ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Η αξιοποίηση της *Ιστορίας* και της *Φιλοσοφίας* της *Επιστήμης* στη διδασκαλία των *Φυσικών Επιστημών*:

Διαμορφώνοντας δράσεις με κέντρο *Ιστορικά Επιστημονικά Όργανα*

ΦΛΩΡΑ ΠΑΠΑΡΟΥ

ΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2012

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Η αξιοποίηση της *Ιστορίας* και της *Φιλοσοφίας*
της *Επιστήμης* στη διδασκαλία των *Φυσικών Επιστημών*:

Διαμορφώνοντας δράσεις με κέντρο *Ιστορικά Επιστημονικά Όργανα*

ΦΛΩΡΑ ΠΑΠΑΡΟΥ

Α.Μ.: 102402

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:

Αλεξάνδρα Λυμπεροπούλου - Καραλιώτα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Τμήμα Χημείας ΕΚΠΑ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ:

Αλεξάνδρα Λυμπεροπούλου - Καραλιώτα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Τμήμα Χημείας ΕΚΠΑ
Στάθης Ψύλλος, Καθηγητής, Τμήμα ΜΙΘΕ ΕΚΠΑ
Μιχάλης Σιγάλας, Καθηγητής, Τμήμα Χημείας ΑΠΘ

ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Στάθης Ψύλλος, Καθηγητής, Τμήμα ΜΙΘΕ ΕΚΠΑ
Μιχάλης Σιγάλας, Καθηγητής, Τμήμα Χημείας ΑΠΘ
Χρύσα Τζουγκράκη, Καθηγήτρια, Τμήμα Χημείας ΕΚΠΑ
Αντώνης Καλοκαιρινός, Καθηγητής, Τμήμα Χημείας ΕΚΠΑ
Θόδωρος Αραμπατζής, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα ΜΙΘΕ ΕΚΠΑ
Μιχάλης Ασημακόπουλος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα ΣΕΜΦΕ ΕΜΠ
Δέσποινα Σταμπάκη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Τμήμα Χημείας ΕΚΠΑ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΞΕΤΑΣΗΣ 13/1/2012

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αποτελεί μια πρόταση εισαγωγής της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών που επικεντρώνεται στην αξιοποίηση ιστορικών επιστημονικών οργάνων και ιστορικών πειραμάτων. Συνίσταται σε ένα σύνολο διδακτικών προτάσεων, που εφαρμόστηκαν στο Μουσείο Φυσικής της Χίου, στο διάστημα 2003-8 και είχαν ως αντικείμενο τη διδακτική αξιοποίηση συλλογής ιστορικών επιστημονικών οργάνων. Περιλαμβάνει επίσης ένα σύνολο δραστηριοτήτων που σχεδιάστηκαν ως προέκταση του εφαρμοσμένου προγράμματος με στόχο την εμβάθυνση στο περιεχόμενό του.

Η διδακτική μας παρέμβαση, επιδιώκοντας την πλήρωση του χάσματος ανάμεσα στην άτυπη και την τυπική εκπαίδευση,φιλοδοξεί να αρθρώσει λόγο, τόσο στο πεδίο της επικοινωνίας της επιστήμης, όσο στο πεδίο της διδακτικής των φυσικών επιστημών. Απαντώντας σε ερωτήματα που ο απλός επισκέπτης θα είχε σχετικά με το «τι είναι τα αντικείμενα αυτά» και «ποια η σημασία τους», προτείνει τη διδασκαλία της επιστήμης σε ένα ολιστικό πλαίσιο, που συνδυάζει τη μάθηση με την ψυχαγωγία, την περιπλάνηση σε επιστημονικά ερωτήματα με την ανάδειξη θεμάτων της ιστορίας της μεθοδολογίας και της φύσης της επιστήμης.

Όπως αναλύεται στο Α΄ Μέρος της παρούσας εργασίας, η διδακτική μας πρόταση εμπνέεται από το φως που η σύγχρονη ιστοριογραφία έχει ρίξει στα ιστορικά επιστημονικά όργανα, θεωρώντας τα ως πολύτιμους ιχνηλάτες της ιστορίας και τεκμήρια διαυγούς αποτύπωσης της επιστημονικής σκέψης. Εμπνέεται, επίσης, από την αναβάθμιση του ρόλου του πειράματος από τη φιλοσοφία της επιστήμης, η οποία το αντιμετωπίζει σήμερα ως διαδικασία με νοητικές, πρακτικές, κοινωνικές και πολιτισμικές συνιστώσες. Επηρεάζεται, τέλος, από ρεύματα στο χώρο της διδακτικής των φυσικών επιστημών που επιδιώκουν την «μετάφραση» σύγχρονων προβληματισμών στο χώρο της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης σε άξονες σχεδιασμού προγραμμάτων σπουδών και δραστηριοτήτων.

Η διδακτική μας πρόταση είναι πολύμορφη. Αναπτύσσεται, παράλληλα, ως πρόταση κατασκευασμένη για επιτόπια διδασκαλία και ως υλικό εξ αποστάσεως εκπαίδευσης. Στο Β΄ Μέρος της παρούσας εργασίας αναλύεται το γενικό σκεπτικό που διέπει τον σχεδιασμό της και η δομή των δύο κύριων διαφορετικών μορφών δράσεων που περιλαμβάνει, που είναι οι «πειραματικές διαλέξεις» και οι «διαδρομές εξερεύνησης». Παράλληλα, ενότητες δράσεων με κέντρο τις αντλίες κενού και τις ηλεκτροστατικές μηχανές του Μουσείου περιγράφονται αναλυτικά ως εκπαιδευτικά σενάρια, μέσα από στοιχεία που αφορούν στο περιεχόμενο, στην εφαρμογή και αξιολόγησή τους, στην προσαρμογή τους σε διαφορετικά είδη κοινού. Ακόμα, για την πρώτη από τις δύο αυτές ενότητες εξετάζονται οι δυνατότητες μετατροπής τους σε μαθητοκεντρικές δράσεις μεγαλύτερης διάρκειας που να μπορούν να εφαρμοστούν ως επέκταση του προγράμματος του Μουσείου σε διαφορετικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα.

Έχοντας ως βάση στοιχεία που αποδεικνύουν ότι η διδακτική μας παρέμβαση επέτρεψε στο Μουσείο Φυσικής της Χίου να δώσει ένα στίγμα στην τοπική, εθνική και διεθνή εκπαιδευτική κοινότητα, υποστηρίζουμε ότι οι αρχές που διέπουν το σχεδιασμό της συνιστούν προοπτική για τη διδασκαλία των

φυσικών επιστημών.

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

Διδακτική των Φυσικών Επιστημών

ΛΕΞΕΙΣ – ΚΛΕΙΔΙΑ

ιστορικά επιστημονικά όργανα, ολιστική προσέγγιση της επιστημονικής διδασκαλίας, επικοινωνία της επιστήμης, πειραματικές διαλέξεις, αντλίες κενού και ηλεκτροστατικές μηχανές

The Utilization of the History and Philosophy of Science in Science Teaching – Developing Educational Activities around Historical Scientific Instruments

SUMMARY

The present Ph.D. thesis constitutes a proposal for the utilization of the history and the philosophy of science in science teaching which concentrates on the educational use of historical scientific instruments and experiments. It reports on the designing, application and evaluation of series of educational activities created for the exploration of the historic *School of Chios* scientific instrument collection, and tested during the period 2003-8. It also includes the designing of contextual teaching proposals aiming at exploring further and deeper the scientific content of the above activities after the visit to the museum or independently of it.

Our teaching intervention focuses on bridging the gap between formal and informal science education. It answers the common visitor questions, "what are these instruments?" and "how important are they?" through educational scenarios aiming at both teaching and entertaining. It aspires to contribute to contemporary science communication discussions that focus on highlighting the cultural importance of historical scientific instruments, as well as to the science teaching trend that proposes to merge the scientific content with history and nature of science issues in order to stimulate interest in science and cultivate metacognitive skills.

As analyzed in the first part of the present thesis, our teaching proposal is inspired by the light that recent trends in the historiography of science shed on historical scientific instruments. According to them, the latter are attractive as demonstration tools, and as history of science trailblazers. It is also inspired by the contemporary philosophy of science focus on experiment, which is considered as a manifold process in which intellectual, practical, social and cultural factors are highly intertwined. Besides, our teaching proposal is influenced by recent developments in science education, which aspire to interpret the contemporary history and philosophy of science debates as proposals for the designing of science education curricula, projects, and activities.

Our teaching intervention includes different forms of educational scenarios, among which the "lecture demonstrations" and the "paths for the museum exploration" have a prominent place. It is designed both as an in situ learning activity and as a distance learning tool. In the second part of the present dissertation, we analyze the general principles that underlie the designing of our proposal. Furthermore, we describe extensively two series of educational scenarios having in their center the exploration of pneumatic and electrostatic machines of the collection. We report explicitly how we used these scenarios to interact with the visitors, how we evaluated the educational processes conducted and how we transformed and extended part of these proposals into activities that can be conducted in different educational environments.

Based on the fact that our educational intervention was important for the recently founded *Science Museum of Chios*, assisting it to make its mark at a local, regional, national and international level, we consider that the principles and the axes of its designing constitute a promising perspective for the teaching of science.

SUBJECT AREA

Science Education

KEY WORDS

historical scientific instruments, contextual science teaching, science communication, lecture demonstrations, pneumatic and electrostatic machines.

στους γονείς μου…

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

σελίδα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ…….v
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ……vi
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ……..vi
SUMMARY……vii
SUBJECT AREA……viii
KEY WORDS……viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ……xx
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ……xxi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ……xxiv
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΩΝ……xxvi
ΠΡΟΛΟΓΟΣ……xxix

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ……1
Υφαίνοντας μια διδακτική πρόταση……1
Ντύνοντας τα εκθέματα με αναμνήσεις……5
Από Μουσείο Φυσικής της Χίου στα ευρωπαϊκά ιστορικά επιστημονικά μουσεία……6
Η δομή της παρούσας εργασίας……7
Η επιλογή των διδακτικών μας προτάσεων……7

Α' ΜΕΡΟΣ: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ……9

1. ΤΑ ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ……9
1.1. Πρόσφατο ενδιαφέρον……9
1.2. Τι είναι τα επιστημονικά όργανα; Ορισμοί……10
1.3. Όργανα κύρους ή όργανα πλάνης;……11
1.4. Η κουλτούρα της ενεργητικής παρέμβασης και «ανάκρισης» της φύσης……14
1.5. Κατηγορίες, εξέλιξη και χαρακτηριστικά των επιστημονικών οργάνων……16
1.6. «Αναγιγνώσκοντας» τα ιστορικά επιστημονικά όργανα……19
1.7. Εντοπίζοντας τις συλλογές ιστορικών επιστημονικών οργάνων για διδακτική χρήση……21
1.8. Σύνοψη της ενότητας……24

2. ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΨΗΦΙΔΕΣ ΤΗΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ……25
2.1. Ιχνηλατώντας την καταγωγή της πειραματικής διδασκαλίας των φυσικών επιστημών……25
2.2. Θεσμοποιώντας τη μοντέρνα επιστήμη και τη διδασκαλία της……29
2.3. Η εισαγωγή της διδασκαλίας της επιστήμης στον Ελληνικό κόσμο του 18ου αιώνα……31

2.4. Στη γειτονιά της Χίου……35
2.5. Το πείραμα και η διδασκαλία της επιστήμης ως τρόποι εκλαΐκευσης του επιστημονικού αντικειμένου κατά τον 19ο αιώνα……...…...38
2.6. Το πείραμα και η ιστορία της επιστήμης στην επιστημονική εκπαίδευση κατά τον 19ο και τις αρχές του 20ου αιώνα……..…….39
2.7. Διδάσκοντας μέσα από τα «αριστουργήματα της επιστήμης» στις αρχές του 20ου αιώνα….....42
2.8. Η ιδέα της ανακαλυπτικής μάθησης στις αρχές του 20ου αιώνα……..44
2.9. Η κουλτούρα των «πειραματικών διαλέξεων»…….…….45
2.10. Σύνοψη της ενότητας…….…...…..47

3. ΣΚΙΑΓΡΑΦΩΝΤΑΣ ΤΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΚΟΣΜΟ…….…...….49
3.1. Προσεγγίσεις της διδασκαλίας της επιστήμης μέχρι τη δεκαετία του 1980……..49
3.1.1. Η ιδέα της ανακαλυπτικής μάθησης, όπως διαμορφώνεται και εφαρμόζεται κατά το δεύτερο ήμισυ του 20ου αιώνα ……...…49
3.1.2. Βασικά σημεία της κριτικής στη μέθοδο της ανακαλυπτικής μάθησης…….…...52
3.2. Θεωρητικές μετατοπίσεις της δεκαετίας του 1980 στο χώρο της επιστημονικής εκπαίδευσης.....53
3.2.1. Το θεωρητικό υπόβαθρο του ψυχολογικού εποικοδομητισμού…….….....54
3.2.2. Η εμβέλεια της ιδέας της γενετικής ψυχολογίας…….….....56
3.2.3. Η εφαρμογή του εποικοδομητισμού στη διδακτική πράξη…….…..….…...57
3.2.4. Η κριτική στον εποικοδομητισμό ως διδακτικής μεθόδου…….....…...58
3.2.5. Ο εποικοδομητισμός ως εργαλείο διδακτικής πράξης……...…..…....59
3.3. Θεωρητικές μετατοπίσεις στο χώρο της επιστημονικής εκπαίδευσης από τη δεκαετία του 1980 και μετά……..…....60
3.3.1. Επανεξετάζοντας το πείραμα: ιστοριογραφικές και φιλοσοφικές προσεγγίσεις……..…...61
3.3.2. Επανεξετάζοντας το λογικό θετικισμό και την ανακαλυπτική μάθηση……...…...…66
3.4. Οι διαφορετικές όψεις της επιστήμης και η διδασκαλία των φυσικών επιστημών……...72
3.4.1. Η αναζήτηση βάσης σύγκλισης για τη φύση της επιστήμης……..….…72
3.4.2. Όψεις της φύσης της επιστήμης στα προγράμματα σπουδών……...…….…..76
3.5. Από τη θεωρία στην πράξη……..……..…79
3.5.1. Κατευθύνσεις των αναλυτικών προγραμμάτων φυσικών επιστημών……..…....79
3.5.2. Προβλήματα της επιστημονικής εκπαίδευσης σήμερα……...…..…...81
3.5.3. Η ανάπτυξη άτυπων μορφών εκπαίδευσης……...…...83
3.6. Σύνοψη και συζήτηση……85
4. ΤΑ ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΠΡΟΤΑΣΕΩΝ…...…..88
4.1. Προκλήσεις και προβληματισμοί……..…….....88

4.2. Τα ιστορικά επιστημονικά όργανα και οι νέες τάσεις της ιστοριογραφίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης στο κέντρο προτάσεων άτυπης επιστημονικής εκπαίδευσης.……..…...89
4.2.1. Ο εκθεσιακός χώρος ως σκηνικό…….…….……89
4.2.2. Δρώμενα και σενάρια…….....…...91
4.2.3. Ανακαλύπτοντας τα ιστορικά επιστημονικά όργανα μέσα από την ανακατασκευή τους..…….…….....92
4.2.4. Η αξιοποίηση νέων τεχνολογιών και ιστορικών ταινιών…….…….93
4.2.5. Η αναβίωση της κουλτούρας των πειραματικών διαλέξεων……...…….…95
4.2.6. Η επίκληση της κουλτούρας του επιστημονικού λαϊκού θεάματος……..97
4.2.7. Η επιλογή της αξιοποίησης πολυμεσικών εφαρμογών και διαδραστικών εκθεμάτων…….99
4.2.8. Η αντιπαράθεση ανάμεσα στις σύγχρονες ιστοριογραφικές προσεγγίσεις και τις πρόσφατες τάσεις εξέλιξης των παραδοσιακών επιστημονικών μουσείων……..…100
4.3. Ερευνητικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις αξιοποίησης των ιστορικών επιστημονικών οργάνων στο πλαίσιο της τριτοβάθμιας επιστημονικής εκπαίδευσης…….…….....101
4.3.1. Τα επιστημονικά όργανα ως «μηχανές του χρόνου»……...…....101
4.3.2. Η τέχνη της ανακατασκευής των ιστορικών επιστημονικών οργάνων……...101
4.3.3. Τα ιστορικά επιστημονικά όργανα ως «μέθοδοι»……...……102
4.4. Μεθοδολογικές προσεγγίσεις και τρόποι αξιοποίησης των ιστορικών επιστημονικών οργάνων στο πλαίσιο της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης……..105
4.4.1. Ιστορικά πειράματα στο πλαίσιο του προγράμματος του the Bakken Museum. Πρόταση βασισμένη στην ιστορικο-διερευνητική μέθοδο μάθησης……..…106
4.4.2. Ιστορικά πειράματα στο πλαίσιο του προγράμματος του Πανεπιστημίου του Oldenburg. Μια εφαρμογή αξιοποίησης νεώτερων αποχρώσεων της ανακαλυπτικής μάθησης……...108
4.4.3.Τρόποι αξιοποίησης των ιστορικών πειραμάτων στο πλαίσιο της τυπικής εκπαίδευσης στη Γαλλία……...…110
4.4.4. Γεφυρώνοντας το χάσμα μεταξύ τυπικής και άτυπης επιστημονικής εκπαίδευσης…….110
4.5. Σύνοψη και συζήτηση…….…….....112

5. ΕΠΙΛΟΓΟΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ……113

Β' ΜΕΡΟΣ: Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ……115

6. ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ……116
6.1. Το πλαίσιο……116
6.1.1. Από το ιστορικό εργαστήριο φυσικών επιστημών στο Μουσείο Φυσικής της Χίου……116
6.1.2. Χαρακτηριστικά του εκπαιδευτικού προγράμματος 2003-2008 ……119
6.1.3. Βασικά ερωτήματα και πηγές έμπνευσης……121
6.1.4. Από τα επιστημονικά όργανα της συλλογής στην ιστορία της επιστήμης……123
6.1.5. Από την ιστορία της επιστήμης στα εκθέματα ……126
6.1.6. Ιστοριογραφικές προσεγγίσεις και επιλογές – Συζήτηση……129
6.2. Οι πειραματικές διαλέξεις……131
6.2.1. Το πνεύμα και το περιεχόμενο των πειραματικών διαλέξεων……131
6.2.2. Οι άξονες σχεδιασμού και η μορφή των πειραματικών διαλέξεων……132
6.2.3. Επιστημολογικό στίγμα των πειραματικών διαλέξεων……134
6.2.4. Σκηνοθετώντας τη συμμετοχή του κοινού……135
6.2.5. Η εφαρμογή των πειραματικών διαλέξεων……136
6.2.6. Η επιλογή των πειραματικών διαλέξεων ως μορφών εκπαιδευτικής παρέμβασης……138
6.3. Οργανώνοντας δραστηριότητες ενεργητικής μάθησης……139
6.3.1. Σχέδια εργασίας στο πλαίσιο του προγράμματος Comenius……139
6.3.2. Πειραματικές δράσεις και δράσεις εξερεύνησης στο πλαίσιο του προγράμματος Grundtvig……141
6.3.3. Οργανώνοντας υλικό εξ αποστάσεως εκπαίδευσης……144

7. Η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΛΕΞΗ: «ΠΩΣ ΘΑ ΗΤΑΝ Η ΓΗ ΧΩΡΙΣ ΑΕΡΑ;»……145
7.1.Η διδακτική μας πρόταση στο εκπαιδευτικό τοπίο που διαμορφώνουν εκπαιδευτικές παρεμβάσεις με κέντρο τον αέρα, το κενό και την ατμοσφαιρική πίεση……146
7.1.1. Στα επιστημονικά μουσεία……146
7.1.2. Στην τριτοβάθμια εκπαίδευση……147
7.1.3. Στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση……148
7.1.4. Ερευνώντας τις ιδέες των μαθητών……149
7.1.5. Η δική μας πρόταση……150
7.2. Γενικά χαρακτηριστικά, δομικά στοιχεία και άξονες σχεδιασμού της πειραματικής διάλεξης……151
7.2.1. Γενικά χαρακτηριστικά και δομικά στοιχεία……151
7.2.2. Συνυφαίνοντας το επιστημονικό περιεχόμενο με την ιστορία της επιστήμης……152
7.2.3. Το εισαγωγικό παιχνίδι ερωτήσεων……154
7.2.4. Οργανώνοντας τη διεξαγωγή και την αξιολόγηση της πειραματικής διάλεξης……154

7.2.5. Το κοινό…….…....…155
7.3. Το εννοιολογικό τοπίο των μαθητών μέσα από το παιχνίδι ερωτήσεων……..…..…..158
7.3.1. Το δείγμα των μαθητών…….…...…..158
7.3.2. Η επεξεργασία των απαντήσεων…….…159
7.3.3. «Αν δεν υπήρχε αέρας, πώς θα ήταν η πτώση του αλεξίπτωτου;»……...…..…159
7.3.4. «Αν δεν υπήρχε αέρας, πώς θα πετούσαν τα πουλιά;»……...…...161
7.3.5. «Ο αέρας μας πιέζει; Πολύ λίγο ή καθόλου;»……..…….…..…163
7.3.6. «Ο αέρας έχει βάρος;»……..…..……164
7.3.7. «Αν σταδιακά αραίωνε ο αέρας, τι θα πάθαινε το σώμα μας;»……...…...…...165
7.3.8. «Τι θα συνέβαινε στη θάλασσα, αν στη γη δεν υπήρχε αέρας;»……..…..…168
7.3.9. «Αν δεν υπήρχε αέρας, θα υπήρχαν ήχοι;»……..……..…170
7.3.10. «Μπορεί να υπάρξει φλόγα χωρίς αέρα;»……..…..…..…171
7.3.11. «Αν σταδιακά αραίωνε ο αέρας, τι θα πάθαινε η αστραπή;»……172
7.3.12. «Υπάρχει απολύτως κενός χώρος;»……..….....174
7.3.13. «Αν δεν υπήρχε αέρας, τι χρώμα θα είχε ο ουρανός στο ηλιοβασίλεμα;»……....…..…175
7.3.14. Επισημάνσεις και συμπεράσματα……...…..…176
7.4. Παρακολουθώντας την πειραματική διάλεξη……..……....……178
7.4.1. 1η υποενότητα: Πώς και γιατί πέφτουν τα πράγματα στη γη;……....……178
7.4.2. 2η υποενότητα: Το κενό……..…...……..181
7.4.3. 3η υποενότητα: Πόσο μας πιέζει;……...…..……185
7.4.4. 4η υποενότητα: Ένα τεράστιο μπαλόνι…….……...…....……187
7.4.5. 5η υποενότητα: Σιωπηλές καμπάνες…….……...…...…188
7.4.6. 6η υποενότητα: Κερί δίχως φλόγα…….……....……...189
7.4.7. 7η υποενότητα: Παράξενες αστραπές……...…….…190
7.4.8. 8η υποενότητα: Η εξαφάνιση της θάλασσας…….……..191
7.4.9. 9η υποενότητα: Πόσο ζυγίζει;……...……...193
7.4.10. 10η υποενότητα: Το χρώμα του ουρανού…….…….195
7.5. Εφαρμογή και αξιολόγηση της πειραματικής διάλεξης…….…….....198
7.5.1. Μέθοδοι αξιολόγησης της διδακτικής πρότασης……...…...…198
7.5.2. Η στάση των μαθητών απέναντι στην πειραματική διάλεξη…….……..…..198
7.5.3. Ελέγχοντας το βαθμό παρακολούθησης της πειραματικής διάλεξης…….…….....207
7.5.4. Η γνώμη των καθηγητών……....212
7.6. Σχόλια και σημειώσεις……...….....215
7.6.1. Σημείωση πάνω στην προετοιμασία και εξέλιξη της πειραματικής διάλεξης……..….215
7.6.2. Σχόλιο σχετικά με τη σύνδεση των ενοτήτων και τη ροή της πειραματικής διάλεξης…..216
7.6.3. Τι έμαθαν τελικά οι επισκέπτες;……...……..…217
7.7. Μετατρέποντας την πειραματική διάλεξη σε διαδρομή εξερεύνησης μέσα στο μουσείο……...219

7.7.1. Το πλαίσιο…….…...219
7.7.2. Ξενάγηση στη διαδρομή εξερεύνησης «Μελετώντας την Ατμοσφαιρική Πίεση»….…219
7.7.3. Προσαρμόζοντας το εκπαιδευτικό υλικό στις ανάγκες του κοινού……...……...221
7.7.4. Αξιολόγηση της διαδρομής εξερεύνησης…….….…...222
7.7.5. Θέματα φύσης της επιστήμης…….…….……224

8. «ΠΩΣ ΘΑ ΗΤΑΝ Η ΓΗ ΧΩΡΙΣ ΑΕΡΑ;» ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΑΘΗΤΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ 225
8.1. 1η υποενότητα: Πώς και γιατί πέφτουν τα πράγματα στη γη;…….……..……..225
8.1.1. Η άποψη του Αριστοτέλη…….……..…...…225
8.1.2. Η απάντηση του Γαλιλαίου……...…....226
8.1.3. Το πείραμα της ελεύθερης πτώσης……...……229
8.1.4. Από το «πώς» στο «γιατί» πέφτουν τα πράγματα στη γη……..…..…...232
8.2. 2η υποενότητα: Το κενό…….....……233
8.2.1. Αρχαίες, μεσαιωνικές και αναγεννησιακές αντιλήψεις……..……233
8.2.2. Το ερώτημα του Giovanni Battista Baliani και η απάντηση του Γαλιλαίου……..235
8.2.3. Το πείραμα του Gaspar Berti……...…….238
8.2.4. Το πείραμα του Torricelli……...…..……242
8.2.5. Οι αντλίες κενού……..…..……..…243
8.2.6. Υπάρχει το απόλυτο κενό;……..…..…..…..244
8.3. Εξερευνώντας τις ιδιότητες του κενού……..…...……245
8.3.1. 3η υποενότητα: Το πείραμα του Μαγδεμβούργου…..……..…….....…...245
8.3.2. 4η υποενότητα: «Μαγικό φούσκωμα μπαλονιού»..……...…..…...…246
8.3.3. 5η υποενότητα: Σιωπηλές καμπάνες……..……...……249
8.3.4. 6η υποενότητα: Κερί δίχως φλόγα……..……..……251
8.3.5. 7η υποενότητα: Παράξενες αστραπές…….…….…....251
8.3.6. 8η υποενότητα: Η εξαφάνιση της θάλασσας……...……....….254
8.3.7. 10η υποενότητα: Το χρώμα του ουρανού……..…..……...257
8.4. 9η υποενότητα: Πόσο ζυγίζει;…….…..……...……..259
8.4.1. Από την άνωση στα υγρά στην άνωση στον αέρα…….……..259
8.4.2. Από τη ζύγιση του αέρα στο «ζύγιασμα» πουλιών και αεροσκαφών……..…...……265
8.4.3. Η ιδέα του ζυγού στη μελέτη των φαινομένων άνωσης……..……..……266
8.4.4. Η «ελαφρότητα» του Αριστοτέλη και η άνωση στον αέρα……..…..……266
8.5. Ταξινόμηση δραστηριοτήτων……..……..……267
8.5.1. «Ανακαλύπτοντας» στοιχεία της ιστορίας των επιστημονικών ιδεών και μεθόδων……..……..……268
8.5.2. «Ανακαλύπτοντας» το πείραμα…….…..…..……269

8.5.3. «Ανακαλύπτοντας» τα ιστορικά επιστημονικά όργανα……271
8.5.4. «Ανακαλύπτοντας» θέματα επιστήμης και κοινωνίας……272

9. Η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΛΕΞΗ: «ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΗΜΕΡΕΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ»……273
9.1. Το πλαίσιο και οι κεντρικοί άξονες της πειραματικής διάλεξης……274
9.2. Το εισαγωγικό παιχνίδι εξερεύνησης……274
9.3. 1η υποενότητα: «Οιακίζοντας» την αστραπή……277
9.3.1. Με έναν χαρταετό κι ένα κλειδί……277
9.3.2. Ο θάνατος του καθηγητή Richmann……277
9.3.3. Τι είναι τελικά η αστραπή;……278
9.3.4. Οι καμπάνες ειδοποιούν, αν έρχεται καταιγίδα……278
9.3.5. Περί της αστραπής και της μεθόδου προστασίας των κτιρίων από την επίδρασή της…..279
9.3.6. Αλεξικέραυνα και μόδα……280
9.3.7. Με τα λόγια του Ρήγα Φεραίου……281
9.3.8. Εντοπίζοντας τις βασικές έννοιες……281
9.4. 2η υποενότητα: Από το ήλεκτρο στα «ηλεκτρικά»……281
9.4.1. Αρχαίες απόψεις……281
9.4.2. Τα «ηλεκτρικά»……282
9.4.3. Το πρώτο ηλεκτροσκόπιο……282
9.4.4. Συνοψίζοντας……283
9.5. 3η υποενότητα: Οι πρώτες ηλεκτρικές μηχανές……283
9.5.1. Προσομοιάζοντας την έλξη της γης……283
9.5.2. Η πρώτη ηλεκτρική λάμπα……284
9.5.3. Συνοψίζοντας……284
9.6. 4η υποενότητα: Από την «κόλλα της ύλης» στο «ηλεκτρικό ρευστό»……285
9.6.1. Ο ηλεκτρισμός ρέει παντού……285
9.6.2. Τα δύο είδη ηλεκτρισμού……285
9.6.3. Συνοψίζοντας……286
9.7. 5η υποενότητα: Επιστροφή στις μέρες του 1750……286
9.7.1. Μια μηχανή για όλους……286
9.7.2. Ο ηλεκτρισμός σε ένα μπουκάλι……288
9.7.3. Πόσο γρήγορα ρέει ο ηλεκτρισμός;……289
9.7.4. Η λύση του μυστηρίου……290
9.7.5. Από τον ηλεκτρισμό ως ποιότητα στον ηλεκτρισμό ως ποσότητα……290
9.8. 6η υποενότητα: Η εξέλιξη των ηλεκτροστατικών γεννητριών……291
9.9. 7η υποενότητα: Η παράδοση των «πειραμάτων για το κοινό»……292
9.10.8η υποενότητα: Η πρώτη μπαταρία……293

9.11. Εφαρμόζοντας και αξιολογώντας τη διδακτική μας πρόταση……295
9.12. Προσαρμόζοντας την πειραματική διάλεξη σε κοινό ενηλίκων χαμηλού επιπέδου επιστημονικού αλφαβητισμού……...297
9.12.1. Σύνοψη της διαδρομής εξερεύνησης: «Οι πρώτες ημέρες του ηλεκτρισμού»……..…297
9.12.2. Στοιχεία ξιολόγησης……..…..298
9.13. Συζήτηση και σχόλια……..…...…..299
9.13.1. Το στίγμα της εκπαιδευτικής μας παρέμβασης……..……...299
9.13.2. Εντάσσοντας τη διδακτική μας πρόταση στο πλαίσιο μιας ευρύτερης εκπαιδευτικής κουλτούρας……..……...300
9.13.3. Μέσα στη σχολική τάξη……300
9.13.4. Μέσα από μουσεία και εκθέσεις……..…...…...301
9.13.5. Μέσα από το διαδίκτυο……..…...……301
9.13.6. Διδακτικά εγχειρίδια ως οδηγοί.....301

10. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΣΥΖΗΤΗΣΗ & ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ……..……...……303
10.1. Γενικά……..……...……303
10.1.1. Το πλαίσιο του προβληματισμού……...……..303
101.2. Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας……...…....304
10.2. Καλλιεργώντας μια νέα εκπαιδευτική κουλτούρα……..……..…..…305
10.2. 1. Προσεγγίζοντας την κουλτούρα των πειραματικών διαλέξεων……..……..305
10.2.2. Δημιουργώντας «κοινό»……..……..…306
10.2.3. Δίνοντας έμφαση στη μεθοδολογία της επιστήμης…….....306
10.3. Αξιοποιώντας την ιστορία της επιστήμης……...……..…..308
10.3.1. Προβάλλοντας το σύνθετο χαρακτήρα της επιστημονικής εξέλιξης……...…..308
10.3.2. Η ιστορία της επιστήμης ως δεξαμενή για την εισαγωγή θεμάτων μεθοδολογίας της επιστήμης στη διδασκαλία……...…309
10.3.3. Η ιστορία της επιστήμης και οι ιδέες των μαθητών……...……..……..311
10.4. Αξιοποιώντας τη φιλοσοφία της επιστήμης……...…….…..311
10.4.1. Προβάλλοντας τη φύση του πειράματος και των ιστορικών επιστημονικών οργάνων……...…...311
10.4.2. Ανακαλύπτοντας τα ιστορικά πειράματα μέσα από τη διαδικασία αναπαράστασής τους……..….…312
10.5. Αξιοποιώντας τα ιστορικά επιστημονικά όργανα……...313
10.6. Προοπτικές ένταξης των προτάσεων που περιγράφτηκαν στην εκπαιδευτική διαδικασία……314
10.6.1. Σημερινές δυνατότητες……...……314
10.6.2. Μελλοντικές προοπτικές…….....314

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ……..…..…..317
ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ ……...……..323
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ …...……..……..……...327
ΑΝΑΦΟΡΕΣ (ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ)…….……....441
ΑΝΑΦΟΡΕΣ (ΑΛΦΑΒΗΤΙΚΑ)…….……..…..458

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 3.1: Σχηματική περιγραφή της εξέλιξης της επιστήμης σύμφωνα με τη θετικιστική, αντιθετικιστική και μεταμοντέρνα προσέγγιση για τη φύση της επιστήμης (Galison 1988[10]) …….….....62

Σχήμα 3.2: Δεδομένα από τη μελέτη ROSE που δείχνει της απαντήσεις 15χρονων μαθητών στην ερώτηση «Μου αρέσουν οι φυσικές επιστήμες περισσότερο από τα υπόλοιπα μαθήματα του σχολείου» (Πηγή: Osborne & Dillon 2008 σελ.136 [202])…….….….…..81

Σχήμα 7.1: Κατανομή προσέλευσης ανά τάξη και χρόνο……..…..….…157

Σχήμα 7.2: Κατανομή προσέλευσης 2004-8 ανά τάξη……...…..….…157

Σχήμα 7.3: Κατανομή προσέλευσης ανά τόπο προέλευσης και χρόνο……..……...……157

Σχήμα 7.4: Κατανομή προσέλευσης 2004-8 ανά τόπο προέλευσης……..…….…..……157

Σχήμα 7.5: Χαρακτηρισμός «μαθήματος» ως προς το ενδιαφέρον Καταγραφή χαρακτηρισμών ανά μαθητή και τάξη……...…….200

Σχήμα 7.6: Χαρακτηρισμός «μαθήματος» ως προς το ενδιαφέρον Κατανομή χαρακτηρισμών ανά σχολική τάξη……..……..200

Σχήμα 7.7: Χαρακτηρισμός «μαθήματος» ως προς τη δυσκολία του Καταγραφή χαρακτηρισμών ανά μαθητή και τάξη……....……202

Σχήμα 7.8: Χαρακτηρισμός «μαθήματος» ως προς τη δυσκολία του Κατανομή χαρακτηρισμών ανά σχολική τάξη…….....…...202

Σχήμα 7.9: Συνδυασμός θετικής στάσης και πρόθεσης μαθητών να ξανάρθουν στο μουσείο….…...…203

Σχήμα 7.10: Βαθμός συμπλήρωσης ερωτήσεων - Σύνολο τάξεων…….……..……..…210

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Από τη φυσική μαγεία στην φυσική – Η πορεία μέσα από τα επιστημονικά όργανα: (α)&(β) Πρίσματα του 18ου αι., Μουσείο Φυσικής Πανεπιστημίου της Coimbra (γ) Ερευνητικά πρίσματα του Fraunhofer, Deutsches Museum ……..…..……20

Εικόνα 1.2:Εκπαιδευτικά όργανα φυσικής (α)&(γ) Λισαβόνα, (β)&(δ) Χίος……..……..…20
Εικόνα 1.3: Εκπαιδευτικά όργανα φυσικής Σχολείων του19ου αιώνα (α) Χίος, Ελλάδα, (β) Πόρτο, Πορτογαλία……..……..…….....……..21

Εικόνα 2.1. Από το βιβλίο του Benjamin Martin: α) η νέα ηλεκτρική μηχανή, β) φορητή αεραντλία (Martin 1755, Volume I, plates XXV &XXX[97])…….…..…...28

Εικόνα 2.2.Από το βιβλίο του James Ferguson (Ferguson 1760 plate XIV[98])….……...……28

Εικόνα 2.3. Πρόσκληση σε διάλεξη Φυσικής Φιλοσοφίας……..……...29

Εικόνα.2.4: Από το βιβλίο του Willem Jacob's Gravesande ('s Gravesande 1737[101])……....…...…30

Εικόνα 2.5: «Αλεξικέραυνο και μόδα» (Figuier 1867 σελ.597[6])….……...…..…...38

Εικόνα 2.6: Η στήλη του Volta (Ganot 1859 σελ.482[5]).....…….……..….38

Εικόνα 2.7: Πολυσυζητημένη γκραβούρα του James Gillray (1802). Εικονίζει απογευματινή πειραματική διάλεξη στη Royal Institution των αρχών του 19ου αιώνα. Στον πάγκο ο Humphry Davy χειρίζεται ένα φυσερό, ενώ ο εισηγητής είναι έτοιμος να διοχετεύσει ιλαρυντικό αέριο σε ένα από τα μέλη του ακροατηρίου (Frank 2007 σελ.xiv[138])…….....46

Εικόνα 4.1: Ελαιογραφία του Terence Cuneo που εικονίζει τον Lawrence Bragg να παραδίδει διάλεξη πάνω στην ηλεκτροστατική την περίοδο 1961-2, στη Royal Institution (Frank 2007 σελ.xviii[138])……..…96

Εικόνα 4.2: Από τους πλανόδιους εισηγητές πειραματικών διαλέξεων του 19ου αιώνα στην εκλαΐκευση της επιστημονικής γνώσης του 21ου αιώνα (α) Hublin 1854 (Raichvarg 2006[240]), (β) &(γ) Deutsches Museum 2006..……...…….....98

Εικόνα 4.3: Η αξιοποίηση πολυμεσικών εφαρμογών για την ανάδειξη του ιστορικού πλαισίου (α) Royal Institution του Λονδίνου (Tiana & Dugdale 2009[248]),(β) Museo Galileo 2010.…...99

Εικόνα 4.4: Από την αναπαράσταση του ιστορικού πλαισίου στο ανιστορικό έκθεμα-παιχνίδι……..…100

Εικόνα 6.1: Συνδέοντας την επιστήμη με την τέχνη και τον πολιτισμό……...…....115

Εικόνα 6.2: Γενιές οργάνων στο Μουσείο Φυσικής της Χίου. Όργανα των αρχών του 20ου αιώνα για επίδειξη ή πρακτική……...….118

Εικόνα 6.3: Από τα εκθέματα στην Ιστορία της Επιστήμης: Όψεις από το εκπαιδευτικό υλικό που παράχθηκε για την ενημέρωση του κοινού σχετικά με το πρόγραμμα φυσικών επιστημών στο Μουσείο Φυσικής της Χίου, 2003-2008……...…...124

Εικόνα 6.4. Deutsches Museum: Ιστορικά πειράματα για την εξερεύνηση των ιδιοτήτων του κενού: (α) & (β) Η ιστορική αντλία του von Guericke, (γ) Σύγχρονες αναπαραστάσεις ιστορικών πειραμάτων…...……125

Εικόνα 6.5.: « Συνδέοντας» τα εκθέματα με αναμνήσεις: Από το βιβλίο του Ganot (Ganot 1859 σελ.119[5]) στο Μουσείο Φυσικής της Χίου, 2005……...…….....126

Εικόνα 6.6. Αντλίες κενού στο Μουσείο Φυσικής της Χίου……...……..127

Εικόνα 6.7 Από την έκθεση επιστημονικών οργάνων στην έκθεση οργάνων & ιστορικών πειραμάτων, Μουσείο Φυσικής Χίου, 2005-8…….….……127

Εικόνα 6.8 :Σύστημα ασύρματου τηλέγραφου Morse σε λειτουργία (κάτω: σύστημα πομπού, επάνω: σύστημα δέκτη). Μουσείο Φυσικής της Χίου, 2007……128

Εικόνα 6.9: Από την ιστορία της επιστήμης στα εκθέματα. Μουσείο Φυσικής της Χίου, 2006….....128

Εικόνα 6.10: Οι πειραματικές διαλέξεις ως ανάμνηση στιγμών της ιστορίας της επιστήμης ……...…...131

Εικόνα 6.11: Τα ιστορικά επιστημονικά όργανα εμπνέουν κατασκευές και πειράματα……140

Εικόνα 6.12: Το κλίμα του σχολείου αλλάζει ενόψει της διεθνούς συνεργασίας (α) &(β): Παρουσίαση πειραματικών διαλέξεων, (γ) Διαγωνισμοί πειραμάτων…..……...141

Εικόνα 6.13: Εξερευνώντας τα ιστορικά όργανα μέσα από πειράματα και κατασκευές……...…143

Εικόνα 7.1: Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;…… …….…….145

Εικόνα 7.2: «Εξερευνώντας την ατμοσφαιρική πίεση» μέσα από ιστορικά κείμενα και πειράματα……...….222

Εικόνα 8.1: Σκίτσο του σιφωνίου (Baliani 27-7-1630[312])..……...…235

Εικόνα 8.2: «Μετρώντας την αντίσταση του κενού» (Galilei 1638/1954, 1st day [61-62][299])……...…...236

Εικόνα 8.3.:Η αρχική και η τελική εκδοχή της συσκευής για το πείραμα του Berti (Shea 2003 σελ.26, 27[310])…….....240

Εικόνα 8.4: Η λεπτομερής σχεδίαση της πειραματικής συσκευής στο βιβλίο του Boyle (Boyle 1725 ed.II Plate VI[302]) σε αντιπαράθεση με τη σκιαγράφησή της στο βιβλίο του Faraday (Faraday 1861/1993 σελ.115[321])…….……....…248

Εικόνα 8.5: Το «μαγικό φούσκωμα» της κύστης, τον 17ο & 19ο αιώνα αντίστοιχα. Εικόνες από τον ιστοχώρο του Museo Galileo……...…249

Εικόνα 8.6: Η αναπαράσταση του πειράματος του Αρχιμήδη, με βάση τις απόψεις των επιστημόνων του 16ου αι.…….…260

Εικόνα 8.7: Το βαροσκόπιο, 19ος αιώνας (Ganot 1894 σελ.205[333])…….…...…...261

Εικόνα 8.8: Ζυγίζοντας τον αέρα (von Guericke 1672 σελ. 99&108[318])……...…..…..…262

Εικόνα 8.9: Εκτίμηση της άνωσης στον αέρα με τη βοήθεια του βαροσκόπιου, Deutsches Museum……264

Εικόνα 8.10: Μετρώντας τη δυναμική άνωση, Μουσείο Φυσικής Χίου…..…….……...……266

Εικόνα 9.1: Οι πρώτες ημέρες του ηλεκτρισμού……...……273

Εικόνα 9.2: Εξερεύνηση των ηλεκτρικών μηχανών στο Μουσείο Φυσικής…….….275

Εικόνα 9.3: Εξερεύνηση σχεδίων ιστορικών ηλεκτρικών μηχανών (α),(γ) Figuier 1867[6]
(β),(δ) Science Museum 2011[351,352], ε) Ganot 1894[333], στ) Segrè 1997[353]……....……276

Εικόνα 9.4: Οι ηλεκτρικές καμπάνες: (α) Μουσείο Φυσικής Χίου,
(β) (Ganot 1868 σελ.657,646[358])……..……..….....279
.
Εικόνα 9.5: Μελετώντας τα μηχανικά και θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρισμού
α)Μουσείο Φυσικής της Χίου, β) (Ganot 1868 σελ. 665, 666[358])……....……..280

Εικόνα 9.6: Σημερινές ηλεκτρικές διασκεδάσεις: α) Boston Science Museum 2005
β) Πειραματική διάλεξη (Thomas 2005[364]) ……...……..…..…….293

Εικόνα 9.7: Ανακαλύπτοντας τις «πρώτες ημέρες του ηλεκτρισμού».
Μουσείο Φυσικής Χίου, Απρίλιος 2008…….……..298

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1. Στοχοθεσία της παραδοσιακής και της ανανεωμένης μορφής
της ανακαλυπτικής μάθησης Πηγή: Grandy & Duschl 2007[140]……..……...…69

Πίνακας 3.2. Σύγκριση παραδοσιακής και ανανεωμένης μορφής
της ανακαλυπτικής μεθόδου μάθησης Πηγή: Grandy & Duschl 2007[140])……..…..….70

Πίνακας 3.3. Το επιστημολογικό υπόβαθρο νεώτερων προσεγγίσεων της ανακαλυπτικής μάθησης
Πηγή: Επεξεργασία στοιχείων που δίνουν οι Grandy & Duschl 2007[140]……..…...…71

Πίνακας 3.4. Βάση σύγκλισης για τη φύση της επιστήμης. Πηγή: McComas et al.1998[179]……..…...…..74

Πίνακας 3.5.Βάση σύγκλισης για τη φύση της επιστήμης. Πηγή: Elfin et al. 1999[181]……..….….75

Πίνακας 3.6: Στάση απέναντι της επιστήμες και επίπεδο ανάπτυξης χώρας
Πηγή: Στοιχεία της μελέτης ROSE (Sjøberg & Schreiner 2005[203])……...……82

Πίνακας 6.1: Το κοινό των πειραματικών διαλέξεων στο Μουσείο Φυσικής της Χίου
κατά την περίοδο 2003-8…….....137

Πίνακας 7.1: «Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;» – Περιεχόμενα……..152

Πίνακας 7.2: Ιδιότητα και εκπαιδευτική βαθμίδα του κοινού της πειραματικής διάλεξης, 2004-8..…...155

Πίνακας 7.3: Τόπος προέλευσης του μαθητικού κοινού της πειραματικής διάλεξης, 2004-8……...157

Πίνακας 7.4: Ταξινόμηση ερωτηματολογίων καταγραφής ιδεών των μαθητών…….....……158

Πίνακας 7.5: Αν δεν υπήρχε αέρας πώς θα ήταν η πτώση του αλεξίπτωτου;……160

Πίνακας 7.6: Αν δεν υπήρχε αέρας, πώς θα πετούσαν τα πουλιά;……...……162

Πίνακας 7.7: Πόσο μας πιέζει ο αέρας; Πολύ, λίγο ή καθόλου;……164

Πίνακας 7.8: Ο αέρας έχει βάρος;……..……165

Πίνακας 7.9: Αν σταδιακά αραίωνε ο αέρας, τι θα πάθαινε το σώμα μας;……...……167

Πίνακας 7.10: Τι θα συνέβαινε στη θάλασσα, αν στη γη δεν υπήρχε αέρας;……..……169

Πίνακας 7.11: Αν δεν υπήρχε αέρας, θα υπήρχαν ήχοι;…….……..….…170

Πίνακας 7.12: Μπορεί να υπάρξει φλόγα χωρίς αέρα;……..……...……172

Πίνακας 7.13: Αν σταδιακά αραίωνε ο αέρας, τι θα πάθαινε η αστραπή;…….…….…...……173

Πίνακας 7.14: Υπάρχει απολύτως κενός χώρος;……..…….…174

Πίνακας 7.15: Αν δεν υπήρχε αέρας στη γη, τι χρώμα θα είχε ο ουρανός στο ηλιοβασίλεμα;……..….175

Πίνακας 7.16: Η εφαρμογή της πειραματικής διάλεξης – Καταγράφοντας το βαθμό ενδιαφέροντος
και τη δυσκολία παρακολούθησης για το «μάθημα στο Μουσείο»
που εκφράζουν οι συμμετέχοντες…….….….199

Πίνακας 7.17: Εκτιμώντας το βαθμό παρακολούθησης της πειραματικής διάλεξης……..…..208
.
Πίνακας 7.18: Βαθμός συμπλήρωσης του ερωτηματολογίου από τις διαφορετικές σχολικές βαθμίδες……..….……209

Πίνακας 9.1: Ιδιότητα και εκπαιδευτική βαθμίδα του κοινού της πειραματικής διάλεξης, 2005-8..…....295

Πίνακας 9.2: Απαντήσεις στα ερωτηματολόγια στάσης…….…...…296

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I: Συλλογές ιστορικών επιστημονικών οργάνων για εκπαιδευτική χρήση……327

Πίνακας ΠΙ-1. Βιβλιογραφική καταγραφή συλλογών σε διεθνές, εθνικό ή περιφερειακό επίπεδο……...……328

Πίνακας ΠΙ-2. Βιβλιογραφική καταγραφή ευρωπαϊκών σχολείων με ιστορικές συλλογές επιστημονικών οργάνων…….…329

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II: Προσέλευση στην πειραματική διάλεξη: «Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;»…...……331

Πίνακας ΠΙΙ-1. Προσέλευση μαθητών και ενηλίκων εκπαιδευομένων……..……..…..332

Πίνακας ΠΙΙ-2. Συγκέντρωση ερωτηματολογίων……..…..…333

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III: Επεξεργασία ιδεών των μαθητών……...335

Πίνακας ΠΙΙΙ-1. Η χρήση της λέξης «βάρος»……...……..…..……336

Πίνακας ΠΙΙΙ-2. Η χρήση της λέξης «βαρύτητα»…….……337

Πίνακας ΠΙΙΙ-3. Η χρήση της λέξης «αντίσταση»…….…..……339

Πίνακας ΠΙΙΙ-4. Η χρήση της λέξης «πίεση»……...……340

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV: Έντυπο υλικό που χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο της εφαρμογής της πειραματικής διάλεξης «Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;»……..….....343

Ενότητα 1: Ερωτηματολόγια στάσης μαθητών & καθηγητών……...……..…344

Ενότητα 2: Βιβλίο μαθητή – Τελική έκδοση…….……..….…347

Ενότητα 3: Αρχική μορφή ερωτηματολογίου παρακολούθησης……...……...……356

Ενότητα 4: Έλεγχος ερωτηματολογίων παρακολούθησης. Διαπίστωση δυσκολιών & προβλημάτων……..….357

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V: «Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;» Αξιολόγηση της εφαρμογής της πειραματικής διάλεξης – Πίνακες αποτελεσμάτων……359

Πίνακας ΠV-1: Καταγραφή στάσης μαθητών. Καταγραφή εκφρασμένου βαθμού ενδιαφέροντος και δυσκολίας…….....360

Πίνακας ΠV-2: Εκτίμηση βαθμού παρακολούθησης: Μέσος όρος και μέση απόκλιση του βαθμού συμπλήρωσης καθεμίας από τις διαφορετικές ερωτήσεις……...…361

Πίνακας ΠV-3: Εκτίμηση βαθμού παρακολούθησης: Κλίμακα του βαθμού συμπλήρωσης των διαφορετικών ερωτήσεων του ερωτηματολογίου παρακολούθησης……363

Πίνακας ΠV-4: Καταγραφή στάσης συνοδών καθηγητών απέναντι στην πειραματική διάλεξη...….366

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI: Η εφαρμογή της διαδρομής εξερεύνησης: «Μελετώντας την ατμοσφαιρική πίεση – Υποστηρικτικό υλικό ……..……...…369

Ενότητα 1: Φυλλάδιο παρακολούθησης……..…...…..…371

Ενότητα 2: Ερωτηματολόγιο αξιολόγησης της διαδρομής εξερεύνησης……...….……381

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VII: Ιστορικά επιστημονικά κείμενα…….…….……..383

Ενότητα 1: Πώς και γιατί πέφτουν τα πράγματα στη γη;…….……384

1.1. Οι βασικές αρχές της κίνησης σύμφωνα με τον Αριστοτέλη ……..……..384
1.2. Το άτοπο της πτώσης των σωμάτων στο κενό σύμφωνα με τον Αριστοτέλη
και η απάντηση του Γαλιλαίου……..…...……384
1.3. Πειραματικά δεδομένα……..……...…….390
1.4. Η παρέμβαση του Νεύτωνα …….…...…391
Ενότητα 2: Το κενό……...…392
2.1. Αρχαίες απόψεις……...……392
2.2. 16ος αιώνας: Αντιφατικές ερμηνείες ως προς την ύπαρξη του κενού
σε δημοφιλή μεσαιωνικά πειράματα…….……...…..393
2.2.1. Το πείραμα του φυσερού και της κύστης…….……393
2.2.2. Η κλεψύδρα……..……...……393
2.2.3. Η κρήνη του Ήρωνα…….……...……393
2.3. Ο Γαλιλαίος για το κενό……..……..…394
2.4. Ιστορικά πειράματα για την ανίχνευση του κενού……...……397
2.5. Η αντλία κενού…….……399
2.6. Ο απόλυτος κενός χώρος κατά τον Νεύτωνα και ο χώρος του Einstein……..…...…399
Ενότητα 3: Εξερευνώντας τις ιδιότητες του κενού……..……400
3.1. Μαγικό φούσκωμα μπαλονιού……..…..…400
3.2. Βουβές καμπάνες……..…...……401
3.3. Κερί δίχως φλόγα……..……...…403
3.4. Παράξενες αστραπές……..…..……404
3.5. Η εξαφάνιση της θάλασσας……..…….405
3.6. Το χρώμα του ουρανού…….……406
Ενότητα 4: Πόσο ζυγίζει;……..……408
4.1. Η άνωση στα υγρά…….…...…408
4.2. Η άνωση στον αέρα……..…….…...…411
4.3. Το πέταγμα των πουλιών…….…..……...413

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VIII: «Οι πρώτες ημέρες του ηλεκτρισμού» - Υποστηρικτικό υλικό……...……415
Ενότητα 1: Η πειραματική διάλεξη. Βιβλίο μαθητή – Τελική έκδοση……...…..……417
Ενότητα 2: Η διαδρομή εξερεύνησης. Φυλλάδιο παρακολούθησης – Τελική έκδοση…..……..…..…425

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IX: Εκπαιδευτικό υλικό και υλικό αξιολόγησης σε ηλεκτρονική μορφή..……...……439
Ενότητα 1: Λογισμικό παρουσίασης της πειραματικής διάλεξης:
«Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;» ……..…….....…DVD
Ενότητα 2: Λογισμικό παρουσίασης της πειραματικής διάλεξης:
«Οι πρώτες ημέρες του ηλεκτρισμού»……....……DVD
Ενότητα 3: Αποσπάσματα από την παρουσίαση της πειραματικής διάλεξης:
«Οι πρώτες ημέρες του ηλεκτρισμού» στο ευρύ κοινό……...…DVD

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τελειώνοντας τη Διπλωματική Εργασία Διπλώματος Ειδίκευσης, στο ίδιο Τμήμα, πριν αρκετά χρόνια, θέλησα να έχω μια ένδειξη ότι οι προτάσεις μου για την αξιοποίηση της Ιστορίας και Φιλοσοφίας στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών μπορούσαν να βρουν πεδίο εφαρμογής, να δουλευτούν μέσα από την πράξη και να αλλάξουν το «μικρο-τοπίο» της καθημερινότητάς μου ως εκπαιδευτικού, τον τόνο μου προς τους μαθητές και κάτι από το ύφος του σχολείου. Το εγχείρημα αποδείχτηκε φιλόδοξο, έως Δον Κιχοτικό, ωστόσο ρεαλιστικό. Αλλά θα πάω λίγο πιο πίσω…

Όσο μεγαλώνει κανείς, αν είναι τυχερός, ταυτίζεται με την «ιδιωτική του ζωή», που καθιστά την καθημερινότητα πολύτιμη, αν έχει ένα ειδικό προσωπικό του χρώμα. Για εμένα, ως εκπαιδευτικό, παρόλο που ήμουν «των φυσικών επιστημών», το χρώμα το έδιναν «οι ιστορίες». Από ένα σημείο και μετά, δεν δεχόμουνα να «ανασυγκροτήσω» καμία θεωρία, αν δεν έμπαινα στο «μονοπάτι της ανακάλυψής της»… Κι εκεί ένοιωθα μια έλλειψη στα σχολικά βιβλία. Δεν θεωρείτο πρόβλημα να παρατίθεται ένας νόμος ή ένα συμπέρασμα χωρίς να φαίνεται ο τρόπος, τα όργανα, τα πειράματα οι πρωταγωνιστές, οι σκέψεις που τα γέννησαν. Σαν η κατανόηση της επιστημονικής γνώσης ως διαδρομής να ήταν δευτερεύουσα μπροστά στην ανάγκη περιγραφής του επιστημονικού αποτελέσματος.

Όταν πρωτο-στράφηκα στην εκπαίδευση, διαπίστωσα ότι η διδασκαλία της επιστήμης, έτσι όπως την μετέφερα στους μαθητές, δεν με αντιπροσώπευε. Την αισθανόμουνα, «μερική» και ανίκανη να συναρπάσει. Κι έτσι «αποφασίστηκε μέσα μου» να παρεμβαίνω με προτάσεις και σχέδια μαθημάτων που να αποκαλύπτουν με διάφορους τρόπους κάτι από τη «μαγεία της επιστήμης»… Χρειάστηκα πολλά χρόνια, για να το πετύχω. Στην αρχή ήταν μια όαση ενός πενταλέπτου σε ένα πεντάωρο μάθημα, στο τέλος, σχεδόν όλος ο χρόνος…

Σημεία σε μια διαδρομή, που με συνέπαιρνε όλο και περισσότερο, και οδηγοί στον δρόμο μου τα βιβλία του Ανδρέα Κασσέτα, τα ιστορικά όργανα φυσικής στο Μουσείο Φυσικής της Χίου, το Deutsches Museum, τα γραπτά του Γαλιλαίου, τα ιστορικά πειράματα μέσα από τους πρωταγωνιστές τους, η εργασία του Peter Heering, τα ιστορικά επιστημονικά μουσεία της Ιταλίας και της Πορτογαλίας, η εργασία του Francis Gires, οι προτάσεις του Conant για την πειραματική διδασκαλία της φυσικής οργάνωσαν μέσα μου ένα τρόπο, μια μεθοδολογία, ένα στίγμα. Τα πειράματα του Nollet, του Franklin, του Boyle, του Newton, του Gilbert, οι συσκευές του von Guericke, και του Hawksbee, τα πειράματα του Plücker και του Crookes, ο Thomson, ο Παράκελσος, ο Αριστοτέλης κι ακόμη πολλοί άρχισαν να αναδύονται ως σελίδες υλικού που κατασκεύαζα, για να γοητεύσω τους μαθητές μου και τους επισκέπτες του Μουσείου Φυσικής της Χίου.

Έτσι, η εργασία που ακολουθεί δεν είναι παρά μια σειρά από κρυσταλλοποιημένα όνειρα. Στο ίδιο ασανσέρ βρέθηκαν κι άλλοι, συνάδελφοι, μαθητές, το ίδιο το 1^{ο} Γυμνάσιο Χίου και το Μουσείο Φυσικής. Και η ύλη των ονείρων πέρασε τους τοίχους τους, τα όρια του νησιού, τα όρια της χώρας… Και επιβεβαιώθηκε «ότι αληθινόν». Όμως, ήταν αλήθεια το όνειρο μόνο δικό μου; Κάποιοι θα πουν

ότι εισέβαλλα στα δικά τους… «να ζωντανέψει το πάλαι ποτέ σημαντικό εργαστήριο Φυσικής του σχολείου»… Μπορεί… Έτσι είναι τα όνειρα… Δεν αποφασίζεις που θα μπεις και ποιον θα συναντήσεις, αποφασίζουν εκείνα… Όπως ελπίζω να συνάντησα την άκρη του ονείρου άλλων που πολλά χρόνια πριν θέλησαν στήνοντας το «κάλλιστον της Ελλάδος Γυμνάσιον» να βάλουν την Ελλάδα στο χάρτη, ή άλλων που την ίδια εποχή, σε χώρες μακρινές, ονειρεύτηκαν την επιστήμη να κατεβαίνει από το βάθρο της, για να γοητεύσει, να παρασύρει, να εμπνεύσει…

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας τη μακρόχρονη διαδικασία της παρούσας διδακτορικής διατριβής, θα ήθελα καταρχήν να ευχαριστήσω όλα τα μέλη της επιτροπής παρακολούθησης και της εξεταστικής επιτροπής της εργασίας μου, όπως και την ευρύτερη ομάδα υποστήριξης που είχα, σε πανεπιστημιακό επίπεδο, και συγκεκριμένα:

- την επιβλέπουσα της εργασίας μου, Αλεξάνδρα Λυμπεροπούλου - Καραλιώτα, που με εμπιστεύθηκε απόλυτα σε όλες τις φάσεις του εγχειρήματος και με ενθάρρυνε πάντοτε να συνεχίζω και να προσπερνώ εμπόδια που σε ορισμένες περιπτώσεις δεν ήταν καθόλου ευκαταφρόνητα.
- τον Στάθη Ψύλλο, που παρακολούθησε όλες της φάσεις εξέλιξης της παρούσας εργασίας και με καθοδήγησε να αναζητήσω δόκιμα εργαλεία «μετάφρασης» συζητήσεων από τους χώρους της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης στο χώρο της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών.
- τον Θόδωρο Αραμπατζή, τον Μιχάλη Ασημακόπουλο και τον Κώστα Γαβρόγλου, που, μέσα από τα κείμενά τους, τις εισηγήσεις τους, το εκπαιδευτικό υλικό και τις συζητήσεις που είχαμε, με οδήγησαν να περιπλανηθώ σε θέματα που θέτει η σύγχρονη ιστοριογραφία της επιστήμης, τα οποία με πολύ ενδιαφέροντα τρόπο φώτισαν τμήματα της εργασίας μου.
- την Χρύσα Τζουγκράκη, την Δέσποινα Σταμπάκη και τον Μιχάλη Σιγάλα, τόσο για τις χρήσιμες παρατηρήσεις τους, όσο και για το γεγονός ότι υποστήριξαν θερμά την εργασία μου και την αντιμετώπισαν ως προοπτική για τη διδακτική των φυσικών επιστημών.
- τον Αντώνη Καλοκαιρινό, που στήριξε την επιλογή μας, η παρούσα εργασία να στεγαστεί στο Χημικό Τμήμα του ΕΚΠΑ, ώστε να μπορέσει αποτελεσματικότερα να συνεισφέρει στην ευαισθητοποίηση πάνω στο σχετικά επείγον θέμα της συντήρησης και αξιοποίησης των ιστορικών επιστημονικών οργάνων που βρίσκονται υπό την ευθύνη της Σχολής Φυσικών Επιστημών του ΕΚΠΑ.
- τον Μιχάλη Δερμιτζάκη, τον Χρυσολέοντα Συμεωνίδη και την Αλεξάνδρα Λυμπεροπούλου-Καραλιώτα, που έμπρακτα υποστήριξαν τη δυνατότητα οι σχεδιαζόμενες στο πλαίσιο της εργασίας εκπαιδευτικές δραστηριότητες να αποτελέσουν βάση για την οργάνωση σχεδίων εργασίας για το Μουσείο Φυσικών Επιστημών και Τεχνολογίας του ΕΚΠΑ.
- την Φανή Σέρογλου, που ενέταξε ορισμένες από τις προτάσεις διδακτικής αξιοποίησης ιστορικών πειραμάτων της παρούσας εργασίας στο Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα HIPST, ως προτάσεις εξ

αποστάσεως εκπαίδευσης απευθυνόμενες σε ελληνικό και ευρωπαϊκό κοινό δασκάλων και καθηγητών.

- τον Μιχάλη Ασημακόπουλο, που με ενθάρρυνε ιδιαίτερα στις τελευταίες φάσεις της παρούσας εργασίας, αποτιμώντας την ως σημαντική, τόσο από την πλευρά της αξιοποίησης της ιστορίας της επιστήμης, όσο και ως απόπειρα εκλαΐκευσης της επιστημονικής γνώσης και επικοινωνίας της επιστήμης.

Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω τους προϊσταμένους και συνεργάτες μου στο Μουσείο Φυσικής της Χίου και συγκεκριμένα:

- τον πρώην προϊστάμενο της Διεύθυνσης Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης Χίου Παύλο Καλογεράκη για την ευκαιρία που μου έδωσε να σχεδιάσω το εκπαιδευτικό πρόγραμμα Φυσικών Επιστημών στο Μουσείο Φυσικής της Χίου, κατά το διάστημα 2003-2008, καθώς και για την παρότρυνσή του να εμπλέξω το Μουσείο Φυσικής σε ευρωπαϊκές δράσεις, κινήσεις που επέτρεψαν στην συγκεκριμένη έρευνα να μην αποτελεί «ασκήσεις επί χάρτου», αλλά να έχει ένα ευρύτατο εφαρμοσμένο τμήμα.
- τους Διευθυντές του 1ου Γυμνασίου Χίου Γρηγόρη Σπανό και Φώτη Φραγκάκη, καθώς και το σύλλογο των καθηγητών του 1ου Γυμνασίου Χίου, που ενέκριναν την μερική απόσπασή μου στο Μουσείο Φυσικής για το σχεδιασμό και την υλοποίηση εκπαιδευτικού προγράμματος.
- τον συνάδελφό μου Παράσχο Καλλίτση, πρώην υποδιευθυντή του 1ου Γυμνασίου Χίου και καθηγητή φυσικών επιστημών στο ίδιο σχολείο, γιατί η συνεργασία του καθ'όλη τη διάρκεια των ετών 2003-2008 υπήρξε καθοριστική για την υλοποίηση των εκπαιδευτικών δράσεων που σχεδίαζα για το Μουσείο Φυσικής της Χίου.
- τους Κατίνα, Θεοδωροπούλου, Δημήτρη Βιδάλη, Αργύρη Τσέο, Νικολέτα Γεωργιάδου, καθηγητές του σχολείου Δεύτερης Ευκαιρίας Χίου κατά το σχολικό έτος 2007-8, για τη συνεργασία που είχαμε στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Grundtvig, η οποία μου επέτρεψε να διευρύνω το σχεδιασμό του προγράμματος, προσεγγίζοντας μια νέα κατηγορία κοινού.
- τους Αντώνη Μπουρνιά και Παράσχο Καλλίτση, γιατί το έργο τους σχετικά με τη συντήρηση, καταγραφή και ταξινόμηση των επιστημονικών οργάνων στο Μουσείο Φυσικής της Χίου, υπήρξε προϋπόθεση για τη δική μου εργασία.

Επίσης, οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες στο Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών για τη χρηματοδότηση της συμμετοχής μου σε επιμορφωτικό σεμινάριο πάνω σε θέματα εκπαιδευτικής αξιοποίησης Επιστημονικών Μουσείων, το 2006, όπως και για τη χρηματοδότηση των σχεδίων δράσης Comenius και Grundtvig, που υπέβαλλα με κέντρο το Μουσείο Φυσικής της Χίου, το 2007, αποφάσεις που μου έδωσαν την πολύτιμη ευκαιρία επιτόπιας εξερεύνησης σημαντικών ευρωπαϊκών μουσείων, καθώς και ελέγχου σε διεθνές επίπεδο πολλών από τις ιδέες που διαπότιζαν τα δικά μου εκπαιδευτικά σχέδια. Επίσης, ευχαριστώ τους συνεργάτες μου, εκπαιδευτικούς και μαθητές στα ίδια Ευρωπαϊκά προγράμματα, που μου έδωσαν την σπάνια χαρά της υλοποίησης εκπαιδευτικών σχεδίων σε ευρεία

κλίμακα και διεθνές επίπεδο και της αξιοποίησης ιστορικών εκπαιδευτικών μουσείων στη διδακτική πράξη.

Ευχαριστώ, ακόμα, τον Δημήτρη Κολιόπουλο, την Αναστασία Φιλιππουπολίτη και την Φανή Σέρολου που με προσκάλεσαν να παρουσιάσω το σκεπτικό και τις εκπαιδευτικές δράσεις του εκπαιδευτικού προγράμματος του Μουσείου Φυσικής της Χίου σε κεντρικό συμπόσιο στο πλαίσιο του 11^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου IHPST (11th International History, Philosophy and Science Teaching Conference, 1-5 July 2011, Thessaloniki, Greece).

Επίσης, ευχαριστώ τους Daniel Fauque, Michael Matthews, Peter Heering, Pierre Lauginie για τις συζητήσεις, το εκπαιδευτικό υλικό, τα βιβλία και τις πληροφορίες που μου έστειλαν, τους Marta Lourenco, Traudel Weber, Chris Parkin, Thad Parsons, Roland Wittje, Richard Kremer, Isabel Malaquias, David Pantalony, Alistrair Kwain, Tiemen Cocquyt, Robert Wismer, Thomas Söderqvist, Hans Hooijmaijers, Ben van Tilborg, Wildeman Diederick, Robert D. Hicks, Richard A. Paselk, Norman Heckenberg, Sara Filippin, Manuel Narvaez, Nick Dalacu για τις πληροφορίες που μου έστειλαν πάνω στην εκπαιδευτική αξιοποίηση συλλογών ιστορικών επιστημονικών οργάνων σε μουσεία, πανεπιστήμια και σχολεία.

Ακόμα, ευχαριστώ τον Ανδρέα Κασσέτα και την Αριστέα Μπουλουξή για τις συζητήσεις και τη συνεργασία σε θέματα Φυσικής, τον Γιάννη Κολάκη για τις συζητήσεις και τη βοήθεια που μου προσέφερε για την ανεύρεση πληροφοριών για την ιστορία του Σχολείου στη βιβλιοθήκη Κοραή, την Ειρήνη Στάθη για τις συζητήσεις που είχαμε σχετικά με το οπτικοαουστικό μέρος της εργασίας, την Δήμητρα Λελίγκου για την συνεργασία που είχαμε στο πλαίσιο του προγράμματος Grundtvig και τις επανειλημμένες προσκλήσεις για την παρουσίαση της εκπαιδευτικής δραστηριότητας στο Μουσείο Φυσικής της Χίου στο πλαίσιο εκδηλώσεων της Ένωσης Ελλήνων Φυσικών, τον Δημήτρη Βιδάλη για την πολύτιμη συνδρομή του σε θέματα Η/Υ, τους Βασίλη Στεργιόπουλο και Γιώργο Μαυρογιάννη για την ανεκτίμητη βοήθειά τους σε θέματα μετάφρασης, την Εσθήρ Σακκή, τη Μαρία Βλάσση και τον Βασίλη Τσιτσία για τη βοήθεια σε θέματα που αφορούσαν τη διαδικασία διεκπεραίωσης της εργασίας.

Τέλος, βαθύτατα ευχαριστώ τους γονείς μου, τον σύντροφό μου και τους φίλους μου, που όλα αυτά τα χρόνια με στήριξαν και μοιράστηκαν τις αγωνίες μου.

Αθήνα, 13 Ιανουαρίου 2012

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Υφαίνοντας μια διδακτική πρόταση

Αν κάναμε ένα φανταστικό ταξίδι στο χρόνο και μεταφερόμασταν για παράδειγμα στην Ιταλία του 17ου αιώνα, θα μπορούσαμε να ακούσουμε τους μορφωμένους να μιλάν για σύγχρονά τους επιστημονικά θέματα, ανακατεύοντας στις συζητήσεις τους αρχαία ονόματα… Αριστοτέλης… Αριστοτέλης… Ένας, μάλιστα, διακεκριμένος τότε επιστήμονας διατείνεται πως τον έχει πολύ φίλο, συζητά μερόνυχτα μαζί του και είναι σίγουρος πως έχει διαρρήξει το για αιώνες ακλόνητο σύστημά του. Στην Αγγλία του ίδιου αιώνα, στη νεοσύστατη Royal Society κάποιος άλλος φωτισμένος επιστήμονας παίρνει τη σκυτάλη, για να εξετάσει πειραματικά πολλές από τις επιστημονικές υποθέσεις του Ιταλού συναδέλφου του… Προσκαλεί πολύ κόσμο, ειδικά τους νέους, να μετέχουν στη νέα πειραματική επιστήμη, για την οποία ισχυρίζεται ότι μπορεί παράγει ακλόνητα πραγματικά στοιχεία, κατανοητά για όλους. Έναν αιώνα αργότερα, ένας Γάλλος πολυμήχανος πειραματιστής, άγνωστος σε όλα σχεδόν τα ελληνικά σχολικά βιβλία φυσικής, προτείνει να χρησιμοποιούν παλιές ρόδες κάρων και μπάλες γυάλινες, για να παράγουν αυτό το πρόσφατα ενοχλημένο από αιώνων ύπνο στοιχείο, τον ηλεκτρισμό. Συμβάλλει σε μια λαϊκή επιστήμη που παρουσιάζεται στα σαλόνια, αλλά και σε γωνίες των δρόμων… Το πείραμά του «πόσο γρήγορα τρέχει ο ηλεκτρισμός;», με το οποίο ηλεκτρίζει ταυτόχρονα μια ανθρώπινη αλυσίδα από περισσότερα από 200 άτομα, φτάνει μέχρι την Ιαπωνία.

Στην ερώτηση «τι είναι η επιστήμη;» ο καθένας τους θα είχε μια διαφορετική απάντηση. Για τον πρώτο θα ήταν ίσως σε μεγάλο βαθμό ανατρεπτικοί συλλογισμοί, για τον δεύτερο περίτεχνα ολοένα εξελισσόμενα πειράματα, ενώ ο τρίτος θα προσπαθούσε να μας παρασύρει με τη γοητεία εντυπωσιακών μηχανών και πειραμάτων. Παρά τις διαφορές τους, ωστόσο, οι παραπάνω έχουν περισσότερα από ένα κοινά. Το πρώτο ότι αυτοεντάσσονται στον ίδιο διανοητικό χώρο. Το δεύτερο ότι παρόλο που οι προσεγγίσεις τους είναι διαφορετικές, όλοι έχουν να καταθέσουν έργα λογικής που είναι ταυτόχρονα και έργα αισθητικής τελειότητας, γιατί έτσι χαρακτηρίζονται οι διάλογοι του Γαλιλαίου, τα νατουραλιστικά σχέδια και οι μηχανές του Boyle, οι πειραματικές συσκευές και τα σκηνοθετημένα για το κοινό πειράματα του Nollet. Επιστρέφοντας στη θέση του εκπαιδευτικού και κοιτώντας από αυτή τη σκοπιά το αντικείμενο της επιστήμης, είναι ίσως εύλογο να ενδώσει κανείς στην πρόκληση να φωτίσει το περιεχόμενο της επιστήμης, όχι απλά εκθέτοντας τα συμπεράσματά της, αλλά δημιουργώντας ένα φανταστικό ή και πραγματικό «μουσείο» υψηλών στιγμών της, όπου κανείς, εκτός από το να «μάθει», μπορεί και να «ρεμβάσει».

Φυσικά, αυτή η στάση δεν είναι πρωτότυπη. Θα μπορούσε να την αναγνωρίσει στα λόγια του Mach, που στο γύρισμα του 19ου αιώνα, εισηγείται τη μελέτη αυθεντικών επιστημονικών κειμένων και ιστορικών πειραμάτων, επειδή τα θεωρεί αντικείμενα διανοητικής απόλαυσης (Mach 1919 σελ.7[1]) και αντιπροσωπευτικά υψηλών στιγμών της επιστήμης (Mach 1898 σελ.367-368[2]). Θα μπορούσε να

την αναγνωρίσει στη λογική μεγάλων επιστημονικών μουσείων των αρχών του 20ου αι., όπως το *Deutsches Museum*, όπου ιστορικές επιστημονικές συσκευές εκτίθενται και πλαισιώνονται με τον χαρακτηρισμό «αριστουργήματα της επιστήμης» (masterpieces of science) σε αναλογία με τα αντικείμενα της τέχνης (Sichau 2007[3], Weber 2002[4]). Θα μπορούσε ακόμη να την αναγνωρίσει στα επιστημονικά εγχειρίδια του 19ου αι. (Ganot 1859[5], Figuier 1867[6]) που περιγράφουν επιστημονικά συμβάντα με πλούσιο αφηγηματικό τρόπο και απεικονίζουν πειραματικές συσκευές με καλλιτεχνικά προσεγμένες νατουραλιστικές απεικονίσεις (Ganot 1859[5]). Πηγαίνοντας ακόμα πάρα πέρα συναντά κανείς την ίδια τάση στους κατασκευαστές επιστημονικών οργάνων για εκπαιδευτική χρήση του 19ου αι. και των αρχών του 20ου αι., που συνδυάζουν στις κατασκευές τους, ιστορική πληροφορία, υψηλή ακρίβεια, λειτουργικότητα και κομψότητα (Gires 1997[7], 2004[8], 2006[9]). Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις συντίθενται, αν και με διαφορετική σε κάθε περίπτωση βαρύτητα, τρία ζητούμενα: η δημιουργία συνθηκών ανασυγκρότησης της επιστημονικής σκέψης μέσα από τα πρωτότυπα ίχνη της, η συστράτευση διανοητικών και αισθητικών κριτηρίων για τη διάδοση της επιστημονικής γνώσης, η προσπάθεια να δοθεί στη μεταδιδόμενη πληροφορία ένας ολιστικός (contextual) χαρακτήρας, ώστε αυτή να μπορέσει να συγκινήσει άτομα με διαφορετικές ιδιοσυγκρασίες και ποικίλα ενδιαφέροντα.

Μέσα από το σχεδιασμό διδακτικών προτάσεων που έχουν ως κέντρο ιστορικά επιστημονικά όργανα για εκπαιδευτική χρήση (teaching collections) του 19ου και των αρχών του 20ου αι., η παρούσα εργασία επιδιώκει, έχοντας ως αναφορά στοιχεία από την εκπαιδευτική κουλτούρα εκείνης της εποχής και σύγχρονες διδακτικές προσεγγίσεις, να προβάλλει τη δυνατότητα να παρουσιαστούν επιστημονικά θέματα μέσα σε ένα πλούσιο σε ερεθίσματα εκπαιδευτικό περιβάλλον, ικανό να προκαλέσει σε πρώτη φάση το θαυμασμό, την περιέργεια και το ενδιαφέρον των μαθητών ή του κοινού γενικότερα. Παράλληλα, φιλοδοξεί, οργανώνοντας διδακτικές παρεμβάσεις μη τυπικής επιστημονικής εκπαίδευσης (non formal science education) που έχουν ως άξονες τη συνύφανση επιστημονικών περιεχομένων με την ιστορία και τη φιλοσοφία της επιστήμης, να προσφέρει διδακτικές οδούς βαθύτερης κατανόησης των επιστημονικών θεμάτων, στοχασμού πάνω στη μεθοδολογία και τη φύση της επιστημονικής γνώσης, και ψηλάφησης ζητημάτων που αποκαλύπτουν την επιστήμη ως πνευματικό, πολιτισμικό και κοινωνικό προϊόν.

Η παρούσα εργασία εμπνέεται από το ρεύμα που έχει πρόσφατα διαμορφωθεί στο χώρο της σύγχρονης φιλοσοφίας της επιστήμης, το οποίο αναβαθμίζει το ρόλο των επιστημονικών οργάνων και πειραμάτων στη διαδικασία της επιστημονικής εξέλιξης (Galison 1988[10]) (βλ. *ενότητα 3.4.1*) και από τη σύγχρονη ιστορική έρευνα πάνω στη φύση και την καταγωγή των επιστημονικών οργάνων, θραύσματα της οποίας περιγράφονται στην *ενότητα 1*. Εμπνέεται, ακόμα, από την ιστορία της επιστημονικής εκπαίδευσης και επιδιώκει να αποτελέσει ένα σχόλιο γι' αυτή. Κατασκευάζοντας έναν προσωπικό «ταξιδιωτικό σάκο» που περιλαμβάνει στοιχεία από το πνεύμα των πειραμάτων φυσικής μαγείας (Hankins & Silverman 1995 σελ.3-13[11]) (βλ. *ενότητα 1*) και των «επιστημονικών μαρτυριών» του 17ου αιώνα (Shapin 1984[12]), των διαλέξεων για το κοινό του 18ου αιώνα (Bensaude-Vincent & Blondel 2008[13]), των επιστημονικών εγχειριδίων του 19ου αιώνα (Ganot 1859[5], Figuier 1867[6]), των

οργανωτικών αρχών του *Deutsches Museum* στις αρχές του 20ου αιώνα και της διδασκαλίας στα ελληνικά σχολεία των αρχών του 19ου αιώνα (Jowett & Konnor 1822[14], Karas & Vlahakis 2008[15]) (βλ. *ενότητα 2*), επιδιώκει να ανασυγκροτήσει το αντικείμενο της επιστημονικής διδασκαλίας σε μια βάση που να φέρει ψήγματα του παρελθόντος αυτού.

Η εργασία επιχειρεί να φωτίσει, και να μεταφέρει στη διδακτική πράξη στοιχεία της κουλτούρας των πειραματικών διαλέξεων (lecture demonstrations) (Taylor 1988[16]) (βλ. *ενότητες 2.9 & 4.2.5* και *ενότητες 6.2, 7 & 9*). Επιχειρεί επίσης να φωτίσει στοιχεία της φιλοσοφίας του πειράματος (Arabatzis 2005[17]) (βλ. *ενότητα 3.4.1*), μέσα από την επινόηση δραστηριοτήτων που επικεντρώνονται στην ανάδειξη του τρόπου σύνδεσης πειράματος και θεωρίας, στην ανάδειξη διαφορετικών ειδών πειραμάτων και πειραματικών παραδόσεων, στην ανάδειξη του ρόλου του πειράματος στη συγκρότηση της επιστημονικής κουλτούρας διαφορετικών εποχών (βλ. *ενότητα 8*). Μέσα από αυτά τα χαρακτηριστικά της διδακτικής μας πρότασης συμμετέχουμε στο διάλογο που τις τελευταίες δεκαετίες του 20ου αι. έχει δημιουργηθεί πάνω στην αξιοποίηση ιστορικών επιστημονικών οργάνων (historical scientific instruments) και πειραμάτων στη διδακτική πράξη (βλ. *ενότητα 4*). Παράλληλα, υποστηρίζοντας την ολιστική προσέγγιση της διδασκαλίας, συμμετέχουμε στη συζήτηση πάνω στις προοπτικές που ανοίγει η αξιοποίηση της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης στην επιστημονική εκπαίδευση, θεωρητικά, αλλά και πρακτικά, με βάση την οργάνωση των σύγχρονων προγραμμάτων σπουδών φυσικών επιστημών (βλ. ενότητα *3*).

Στην παρούσα εργασία αξιοποιήσαμε στοιχεία των διδακτικών προσεγγίσεων της ανακαλυπτικής μάθησης (inquiry / discovery learning) και του εποικοδομητισμού (constructivism), τις βασικές αρχές των οποίων περιγράφουμε στην *ενότητα 3* (βλ. ειδικότερα *ενότητες 3.1, 3.2, 3.3*). Στην *ενότητα 6* εξηγούμε πώς τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την οικοδόμηση των διαφορετικών μορφών εκπαιδευτικών παρεμβάσεων που υλοποιήσαμε. Στην ίδια ενότητα δίνουμε γενικά στοιχεία που αφορούν στην εφαρμογή και αξιολόγηση του συνόλου της εκπαιδευτικής μας παρέμβασης με κέντρο το *Μουσείο Φυσικής της Χίου*, η οποία είχε, κατά τη διάρκεια των ετών 2003-2009, τα χαρακτηριστικά της διεύρυνσης από το τοπικό στο εθνικό και κατόπιν στο διεθνές επίπεδο, και πραγματοποιήθηκε μέσα από το εκπαιδευτικό πρόγραμμα *«Πάμε μια βόλτα στο Μουσείο»* 2003-8 (βλ. *ενότητες 6.2, 7.1-7.5, 9.1-9.11*), και δράσεων στο πλαίσιο των ευρωπαϊκών προγραμμάτων: Comenius *«Σχολείο και Επιστημονικό Μουσείο»* 07-GRC01-CO06-00234-1 (βλ. *ενότητα 6.3.1*), Grundtvig *«Ανακαλύπτοντας την Επιστήμη ως Κουλτούρα διαμέσου των Ευρωπαϊκών Επιστημονικών Μουσείων»* 07-GRCO1-GR04-00025-1, 2007-8 (βλ.*ενότητες 6.3.2, 7.7 & 9.12*) Science & Society *«HIPST, History and Philosophy of Science in Science Teaching»* 2008-2010 (βλ. *ενότητα 6.3.3*) (Πάπαρου κ.ά. 2004α[18], 2004β[19], 2005[20], 2006[21], Πάπαρου 2007[22], Πάπαρου & Καλλίτσης 2005[23], Πάπαρου & Καραλιώτα 2007[24], Paparou et al. 2007[25], 2008a[26], 2008b[27], Paparou 2009a[28], Paparou & Karaliota 2009a[29], Paparou 2010a[30], Paparou 2011a[31], Paparou & Karaliota 2011[32], Πάπαρου 2009[33]) (βλ. *ενότητα 6.3.3*).

Από το σύνολο των εκπαιδευτικών μας παρεμβάσεων στο *Μουσείο Φυσικής της Χίου*, που προαναφέρθηκαν, δύο σειρές – που έχουν τη μορφή των «πειραματικών διαλέξεων» ή των

«διαδρομών εξερεύνησης» και κέντρο τις αντλίες κενού ή τις ηλεκτροστατικές μηχανές – αναλύονται στις *ενότητες 7* και *9*, με τη βοήθεια στοιχείων που αναφέρονται στις αρχές σχεδιασμού τους, στο περιεχόμενο και στις δραστηριότητες που προτείνουν, στις λεπτομέρειες της εφαρμογής και αξιολόγησής τους.

Στοχεύοντας στην εφαρμοσιμότητα των διδακτικών μας προτάσεων, επιχειρούμε, ακόμα, στην παρούσα εργασία να άρουμε τους περιορισμούς που το συγκεκριμένο πλαίσιο της εφαρμογής – στο οποίο κινηθήκαμε *(βλ. ενότητες 6, 7, 9)* – δημιουργεί. Έχοντας ως βάση το επιστημονικό περιεχόμενο της εφαρμοσμένης διδακτικής μας πρότασης με τίτλο: *«Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;»* (βλ.*ενότητα 7)*, εξετάζουμε, στην *ενότητα 8*, σε μεγαλύτερο βάθος τα επεισόδια της ιστορίας της επιστήμης στα οποία αναφέρεται, και τα αξιοποιούμε ως άξονα για την οικοδόμηση δραστηριοτήτων μαθητοκεντρικής προσέγγισης που μπορούν να πραγματοποιηθούν ως επέκταση του εφαρμοσμένου προγράμματος ή ανεξάρτητα από αυτό. Η διαδικασία αυτή αποτελεί ένα εγχείρημα συνεισφοράς μας στη συστηματοποίηση του τρόπου με τον οποίο περιεχόμενα του σύγχρονου προβληματισμού στο χώρο της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης μπορούν να μετατραπούν σε συγκεκριμένες δράσεις με κέντρο τον μαθητή.

Όπως αναφέρουμε και στον επίλογο της παρούσας εργασίας, η συγκεκριμένη διδακτική πρόταση αξιοποίησης του *Μουσείου Φυσικής της Χίου* αποτέλεσε μια κεντρική για εμάς διδακτική παρέμβαση, κατά τη διάρκεια των ετών 2003-2008, κατά την οποία είχαμε την ευκαιρία να παράγουμε εκπαιδευτικό υλικό και να το εφαρμόζουμε σε μεγάλη κλίμακα. Η συγκεκριμένη διδακτική παρέμβαση εντάσσεται στον γενικότερο προβληματισμό που είχαμε αναπτύξει κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών στο ίδιο Πανεπιστημιακό Τμήμα, ο οποίος αποτυπώθηκε στην αντίστοιχη ερευνητική εργασία Διπλώματος Ειδίκευσης (Πάπαρου 2003[34]) και είχε ως θέμα την ενσωμάτωση περιεχομένων της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών. Ενώ, τότε, η οικοδόμηση υλικού είχε οραματικό χαρακτήρα, η παρούσα εργασία αποτελεί τεκμήριο του πώς η τότε ιδέα, εμπλουτισμένη με νεώτερους προβληματισμούς από το χώρο της ιστορίας, της φιλοσοφίας και της διδακτικής των φυσικών επιστημών, μπορεί να γίνει πραγματικότητα.

Τόσο το σύνολο των εφαρμοσμένων εκπαιδευτικών παρεμβάσεων που επιλέξαμε να περιγράψουμε στις *ενότητες 7* και *9*, όσο και το σύνολο του εκπαιδευτικού προγράμματος στο *Μουσείο Φυσικής της Χίου* αποτελούν ένα τμήμα της συνολικής δραστηριότητάς μας ως προς την ανάπτυξη εκπαιδευτικού υλικού με άξονα τη σύνδεση της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης με τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών από το 2003 μέχρι σήμερα. Μια παράλληλη σειρά από διδακτικές παρεμβάσεις που είχαν ως στόχο την ανάδειξη της πολιτισμικής διάστασης της επιστημονικής γνώσης μέσα από τη σύνδεση της επιστήμης με την τέχνη, πότισαν το χώρο του σχολείου, δίνοντας στους μαθητές την ευκαιρία, να συμμετέχουν σε θεατρικά δρώμενα (Πάπαρου 2005[35]), να κατασκευάσουν σενάρια, να ανακαλύψουν επιστημονικά θέματα μέσα από λογοτεχνικά κείμενα (Πάπαρου & Καραλιώτα 2003[36], Paparou & Karaliota 2009b[37]) και να απεικονίσουν τα αστέρια. Οι διδακτικές αυτές παρεμβάσεις

λειτούργησαν βοηθητικά ως προς την εφαρμογή του συγκεκριμένου προγράμματος στο *Μουσείο Φυσικής* γιατί, με κάποιον τρόπο, διαμόρφωναν κατάλληλο «κοινό» για αυτό. Ωστόσο, θεωρήσαμε σκόπιμο να μη συμπεριλάβουμε την περιγραφή τους στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας προκειμένου να επικεντρωθούμε σε εκείνες τις διδακτικές προτάσεις που είχαν αυστηρά ως κέντρο τα ιστορικά επιστημονικά όργανα και μεγάλη διάρκεια ελέγχου διαμέσου της εφαρμογής τους.

Ντύνοντας τα εκθέματα με αναμνήσεις…

Στην παρούσα εργασία, τα ιστορικά επιστημονικά όργανα λειτούργησαν ως φορείς διαφόρων ειδών «αναμνήσεων», όπως χαρακτηριστικά γράφαμε στα ενημερωτικά έντυπα για τη διάδοση του προγράμματος «*Πάμε μια βόλτα στο Μουσείο*» που παράχθηκαν το 2004, 2005, 2006, 2007 και στα σχετικά δημοσιεύματα του τοπικού τύπου (Αλήθεια 17/10/2005[38], ChiosNews.com 27/3/2006[39], Αλήθεια 28/3/2006[40], Αλήθεια 6/12/2006[41], ChiosNews.com 7/12/2006[42], Αλήθεια 26/1/2007[43], ChiosNews.com 21/9/2007[44]). Το πρώτο είδος αναμνήσεων προέκυψε από την απάντηση στο ερώτημα *«τι είναι αυτή η συσκευή και τι κάνουμε μ' αυτή;»*, η οποία είχε ως αποτέλεσμα την οργάνωση πειραμάτων με κέντρο τα ιστορικά επιστημονικά όργανα. Με δεδομένο ότι το *Μουσείο Φυσικής της Χίου* αποτελεί εξέλιξη του εργαστηρίου φυσικών επιστημών της ιστορικής *Σχολής της Χίου* – που άρχισε να εξοπλίζεται με επιστημονικά όργανα από το 1812, ενώ λειτουργούσε συνεχώς στον ίδιο χώρο μέχρι το 1985 – για την οργάνωση των πειραμάτων με κέντρο τα επιστημονικά όργανα χρησιμοποιήθηκε ο *Οδηγός του Μουσείου Φυσικής* (Μπουρνιάς 2005[45]), διδακτικά εγχειρίδια της περιόδου λειτουργίας του σχολείου που υπάρχουν ακόμα στη βιβλιοθήκη του εργαστηρίου και γνώσεις των παλαιών καθηγητών του σχολείου. Παράλληλα, χρησιμοποιήθηκαν πηγές της διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικές με την πειραματική διδασκαλία των φυσικών επιστημών κατά τον 19^{ο} και τις αρχές του 20^{ου} αιώνα ή με τη λειτουργία των επιστημονικών οργάνων της ίδιας εποχής.

Το δεύτερο είδος αναμνήσεων προέκυψε από απαντήσεις στο ερώτημα *«ποια η θέση των οργάνων για την ιστορία του πολιτισμού;»* που αναζητήθηκαν κατ' αρχήν με την αντιμετώπιση των οργάνων του εργαστηρίου ως αντιγράφων των πρωτότυπων ιστορικών συσκευών και την παρουσίαση των πειραμάτων στο ιστορικό τους πλαίσιο. Με την ανάκληση αυτού του δεύτερου είδους αναμνήσεων, το εκπαιδευτικό υλικό, που κατασκευάστηκε, διαφοροποιήθηκε από οποιοδήποτε παραδοσιακό μάθημα φυσικών επιστημών, γιατί μετατοπίστηκε προς μια πιο διαθεματική κατεύθυνση. Η δημιουργία αυτού του ιστού συνειρμών γύρω από τα εκθέματα λειτούργησε αμφίδρομα, από τα αντικείμενα του μουσείου προς την οργάνωση του εκπαιδευτικού υλικού και από το εκπαιδευτικό υλικό προς την οργάνωση εκθεμάτων.

Ένα μέρος του εκπαιδευτικού υλικού, που κατασκευάστηκε με τον τρόπο που περιγράψαμε, αναφέρεται σε ιστορικά επιστημονικά όργανα που δεν υπάρχουν στο μουσείο, αλλά συνδέονται με αυτά μέσα από τις ιστορικές διαδρομές που διατρέχονται για την εξερεύνηση των οργάνων της συλλογής. Οι αναφορές αυτές φιλοδοξούν να λειτουργήσουν ως μελλοντικές επεκτάσεις του μουσείου

προς την κατασκευή νέων εκθεμάτων ή τη σύνδεσή του με άλλα ιστορικά ευρωπαϊκά μουσεία.

Από το Μουσείο Φυσικής της Χίου στα ευρωπαϊκά ιστορικά επιστημονικά μουσεία

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας είχαμε την ευκαιρία να επισκεφθούμε από κοντά, στο πλαίσιο εκπαιδευτικών προγραμμάτων, διεθνών συνεδρίων ή ανεξάρτητα, μια σειρά από ευρωπαϊκά μουσεία και να παρακολουθήσουμε από κοντά τους τρόπους που επιλέγουν για την ανάδειξη των εκθεμάτων τους και την επικοινωνία με το κοινό, όπως και τον τρόπο που οργανώνουν τις εκπαιδευτικές τους δράσεις. Ανάμεσα σε αυτά ήταν τα Deutsches Museum (2006), Institute and Museum of the History of Science, Florence (2006), Museo Galileo, Florence (2010), Fondazione Scienza e Tecnica, Florence (2006 και 2010), Museum of Science, University of Lisbon (2008), Science Museum, University of Coimbra (2008), Museum of Physics, University of Coimbra (2008), Maritime Museum, Lisbon (2008), Semmelweis Museum, Library and Archives of the History of Medicine, Budapest (2008 & 2009), Electrotechnical Museum of the Hungarian Museum for Science Technology and Transport, Budapest (2008 & 2009), Chemistry Museum of the Hungarian Museum for Technology and Transport, Várpalota (2009), National Museum of Science and Technology "Leonardo da Vinci", Milan (2009), Whipple Museum of the History of Science, Cambridge (2010), Museo dei Mezzi di Comunicazione, Arezzo (2010), Museum Boerhaave, Leiden (2011), Teylers Museum, Haarlem (2011).

Παράλληλα, επισκεφθήκαμε συλλογές ιστορικών επιστημονικών οργάνων σε ευρωπαϊκά πανεπιστήμια, ιδρύματα τεχνολογικής εκπαίδευσης και ιστορικά σχολεία, εντοπίζοντας βασικά προβλήματα που σχετίζονται με τον τρόπο συντήρησης και αποθήκευσης ή ανάδειξης και διδακτικής αξιοποίησής τους. Ανάμεσα σε αυτές ήταν οι συλλογές του Πειραματικού Λυκείου Μυτιλήνης (2005), του Μουσείου Φυσικών Επιστημών και Τεχνολογίας ΕΚΠΑ (2006), του Αστεροσκοπείου Αθηνών (2009), του Cabinet of Physics, Passos Manuel Secondary School, Lisbon (2008), κι ακόμα οι: Collection of the Academy of Sciences, Lisbon (2008), Physics Collection, Instituto Superior Técnico, Lisbon (2008), Astronomical Observatory of Ajuda, Lisbon (2008), Astronomy Collection, University of Coimbra (2008), Collection of Physics, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (2008), Parada Leitão Museum, Instituto Superior de Engenharia do Porto (2008), Museum of the Faculty of Engineering, University of Porto (2008), Hungarian Museum for Science, Technology and Transport, Study Stores (2009), Natural Philosophy Collections, University of Aberdeen (2010).

Η επιτόπια αυτή έρευνα καθοδηγεί μια προσπάθεια αντιστοίχησης των θεωρητικών ρευμάτων στο χώρο της σύγχρονης ιστοριογραφίας και της επικοινωνίας της επιστήμης με συγκεκριμένα και πραγματικά ερεθίσματα, προσδίδοντας μια ρεαλιστική απόχρωση στο θεωρητικό μέρος της παρούσας εργασίας (βλ. *ενότητες 1.6 και 4.2*) (Paparou 2009b[46], Paparou 2010c[47]).

Η δομή της παρούσας εργασίας

Η παρούσα εργασία δομείται σε δύο μέρη. Στο *Α' Μέρος* επιχειρείται να αναδειχθεί το θεωρητικό πλαίσιο στο οποίο βασίζεται, το οποίο συνοψίζει θέματα που σχετίζονται με τη φύση των επιστημονικών οργάνων και την ένταξή τους στη διδακτική πράξη, με τις αρχές της επιστημονικής διδασκαλίας και με σύγχρονους προβληματισμούς της διδακτικής των φυσικών επιστημών.

Στο *Β' μέρος* της εργασίας συνοψίζεται η διδακτική μας πρόταση που περιλαμβάνει την περιγραφή και το σχολιασμό μιας σειράς από εφαρμοσμένες προτάσεις, που έχουν ως κέντρο ιστορικά επιστημονικά όργανα, όπως και το σχεδιασμό μιας σειράς από δραστηριότητες που αποτελούν επέκταση και εμβάθυνση των προηγουμένων.

Η παρούσα εργασία συνοδεύεται από εκτενή ενότητα *Παραρτημάτων* στα οποία συγκεντρώνονται δεδομένα της εφαρμογής των διδακτικών μας προτάσεων και επισυνάπτεται τμήμα του εκπαιδευτικού υλικού που παράχθηκε, για να τις υποστηρίξει, έχοντας μορφή έντυπη ή ηλεκτρονική.

Η επιλογή των διδακτικών μας προτάσεων

Από το σύνολο των διδακτικών προτάσεων που αναπτύξαμε στην περίοδο 2003-2008, επιλέξαμε να αναλύσουμε στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής δύο ενότητες.

Η πρώτη ενότητα έχει ως κέντρο τις αντλίες κενού, οι οποίες εξερευνώνται μέσα από σενάρια που έχουν ως επίκεντρο την εποχή του 17^{ου} αιώνα και την έρευνα πάνω στη δυνατότητα δημιουργίας κενού και τις ιδιότητές του, που σηματοδοτεί την εμφάνιση μιας νέας επιστημονικής κουλτούρας, αυτής της πειραματικής επιστήμης ή – όπως τότε ονομαζόταν – της «πειραματικής φιλοσοφίας» (experimental philosophy) (Shapin 1984[12]). Έτσι μέσα από το εκπαιδευτικό υλικό με τίτλο *«Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;»*, τις παραλλαγές και τις επεκτάσεις του (βλ. *ενότητες 7 και 8*) επιδιώκεται η εξερεύνηση επιστημονικών θεμάτων που έχουν σχέση με τον αέρα και την ατμοσφαιρική πίεση, αλλά, παράλληλα, και η εξερεύνηση θεμελιωδών θεμάτων της ιστορίας και της φύσης της επιστήμης που σχετίζονται με την πειραματική επιστήμη, τον τρόπο με τον οποίο επιβλήθηκε και τα εργαλεία τα οποία την συναρθρώνουν.

Η δεύτερη ενότητα έχει ως κέντρο τις ηλεκτροστατικές μηχανές και επικεντρώνεται στην εποχή του 18^{ου} αιώνα, οπότε το ενδιαφέρον για την επιστήμη διευρύνεται σημαντικά και η διδασκαλία της γίνεται συχνά μέσα από δημόσια θεάματα και διαλέξεις, γεγονός που θέτει ιστορικά τις βάσεις της διδασκαλίας της επιστήμης και της επιστημονικής εκλαΐκευσης. Έτσι, συζητώντας την ιστορική επιστημονική πορεία που είχε ως επίκεντρο τη σταδιακή διαμόρφωση της έννοιας του ηλεκτρικού φορτίου δίδεται η ευκαιρία να ανιχνεύουμε, παράλληλα, την κουλτούρα των πειραμάτων για το κοινό και των δημοσίων διαλέξεων που απέβλεπαν στη μάθηση μέσα από την ψυχαγωγία και οδηγούσαν στην πρόοδο της επιστήμης μέσα από επινοήσεις και παρεμβάσεις, όχι μόνο διακεκριμένων επιστημόνων, αλλά και πολλών ανώνυμων εκφραστών της (Bensaude-Vincent & Blondel 2008[13]).

Α' ΜΕΡΟΣ: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

1. ΤΑ ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ

1.1. Πρόσφατο ενδιαφέρον

Τα ιστορικά επιστημονικά όργανα (historical scientific instruments), έχουν προκαλέσει τις τρεις τελευταίες δεκαετίες το έντονο ενδιαφέρον διαφορετικών επιστημονικών κλάδων. Ενώ παραδοσιακά τα επιστημονικά όργανα αποτελούσαν σχεδόν αποκλειστικά αντικείμενο ενδιαφέροντος των επιστημονικών και τεχνικών ειδικοτήτων, σήμερα βρίσκονται στο κέντρο ιστορικών, φιλοσοφικών και κοινωνιολογικών μελετών, ενώ αποτελούν αντικείμενο μουσειακών σπουδών (museum studies) και σπουδών επικοινωνίας της επιστήμης (science communication studies). Η τάση αυτή αποτυπώνεται στον αριθμό των νέων μουσείων ή εκθέσεων που δημιουργούνται, για να στεγάσουν παροπλισμένες συλλογές επιστημονικών οργάνων, στις ποικίλες εκπαιδευτικές προτάσεις που στοχεύουν στη μελέτη και αξιοποίηση των ιστορικών συλλογών και στον πολλαπλασιασμό των πεδίων της ιστορικής έρευνας με κέντρο τα επιστημονικά όργανα που φωτίζουν τις βιογραφίες τους, την ιστορία των κατασκευαστών τους, τις ιστορίες των εργαστηρίων που τα στεγάζουν, τη θέση τους στο επιστημονικό, κοινωνικό και πολιτισμικό γίγνεσθαι. Η διεθνής κινητοποίηση εξάλλου για τη σωτηρία και αξιοποίηση της ιστορικής επιστημονικής κληρονομιάς διαγράφεται στην ιστορία των Scientific Instrument Society (SIS) http://www.sis.org.uk και Scientific Instrument Commission (SIC) http://www.sic.iuhps.org, που μετά από τριάντα χρόνια λειτουργίας έχουν σήμερα πολλαπλασιάσει τα μέλη τους, τις δραστηριότητες τους σε διεθνές επίπεδο και την επιρροή τους πάνω στη σημασία της μελέτης, συντήρησης και προβολής των ιστορικών επιστημονικών οργάνων.

Ο Paolo Brenni, διευθυντής του Πανεπιστημιακού Μουσείου *Fondazione Scienza e Tecnica*, στη Φλωρεντία, επισημαίνει τη σημασία της αξιοποίησης των ιστορικών επιστημονικών οργάνων με δεδομένο ότι αυτά αποκαλύπτουν όψεις της φύσης της επιστήμης που μπορεί να είναι ιδιαίτερα γοητευτικές και σημαντικές, τόσο για την εκπαιδευτική διαδικασία, όσο και γενικότερα για την καλλιέργεια της επιστημονικής πολιτισμικής κουλτούρας στο ευρύ κοινό (Brenni 2008[48], Brenni 2007[49]:

> «Τι μπορούμε να κάνουμε σήμερα με τις εκατοντάδες χιλιάδες των ιστορικών επιστημονικών οργάνων, τεχνικών τεχνουργημάτων, μοντέλων, και δειγμάτων φυσικής ιστορίας; Είναι σίγουρο ότι τα αντικείμενα αυτά αποτελούν χρήσιμα στοιχεία για λίγους ερευνητές και ειδικούς, ωστόσο πιστεύω ότι αυτές οι συλλογές μπορεί να είναι ελκυστικές και ενδιαφέρουσες για πολύ ευρύτερο κοινό. Για παράδειγμα, ένα ιστορικό επιστημονικό όργανο δεν είναι απλά μια παλιά τεχνική συσκευή ή ένα ξεπερασμένο διδακτικό εργαλείο. Μπορεί να είναι η αρχή μιας αλυσιδωτής ιστορίας που να περιέχει επιστήμη, τεχνολογία, κοινωνία, εξερεύνηση, οικονομικά, τέχνη, κλπ, κλπ. Με μια τέτοια προσέγγιση οι ιστορικές συλλογές μπορεί να είναι μια ανεξάντλητη πηγή γοητείας, και πιστεύω ότι μόνο η γοητεία μπορεί να πυροδοτήσει την περιέργεια και την επιθυμία της μάθησης...» (Brenni 2007[49]).

Ο Jim Bennett, διευθυντής του *Μουσείου Ιστορίας της Επιστήμης της Οξφόρδης*, σχολιάζει το πρόσφατο ενδιαφέρον, απ' την πλευρά των ιστορικών της επιστήμης, με το οποίο έχουν επενδυθεί σήμερα τα επιστημονικά όργανα, στο σημείο που οι αντίστοιχες σπουδές να θεωρούνται της μόδας (Bennett 2003[50]), ενώ επισημαίνει:

> «Ποτέ ξανά η ιστορία της επιστήμης δεν είχε τέτοιες ευκαιρίες και δεν αντιμετώπιζε τέτοιες προκλήσεις στο χώρο των μουσείων... Παλιότερα οι ιστορικοί της επιστήμης επεδίωκαν να ιχνηλατήσουν την ιστορία των επιστημονικών ιδεών…, τώρα αγκαλιάζουν μια περισσότερο πλατιά επιστημονική κουλτούρα. Η επιστημονική εκπαίδευση, η εκλαΐκευση της επιστημονικής γνώσης, η επινόηση και κατασκευή των επιστημονικών οργάνων, η εργαστηριακή άσκηση, ή η επαγγελματική και βιομηχανική πρακτική αποτελούν λίγα από τα στοιχεία της ευρύτερης αυτής οπτικής της ιστορίας της επιστήμης, στην οποία τα επιστημονικά μουσεία καλούνται να συνεισφέρουν. Οι συλλογές των μουσείων είναι σημαντικές πηγές για την ανασυγκρότηση μιας τέτοιας ιστοριογραφικής προσέγγισης, γιατί η συντριπτική πλειονότητα των ιστορικών επιστημονικών οργάνων που έχουν ποτέ κατασκευαστεί αφορούσαν στην εκπαίδευση και εξάσκηση, στη διασκέδαση του κοινού, στην επαγγελματική πρακτική κ.ά., ενώ αντίθετα ένα πολύ μικρό ποσοστό οργάνων των συλλογών συμμετείχαν στην καθεαυτού επιστημονική έρευνα…» (Bennett 1995[51]).

Ο Jim Bennett προτείνει την οργάνωση εκθέσεων επιστημονικών οργάνων με άξονες που να προβάλλουν την επιστήμη ως περίπλοκη διαδικασία ενταγμένη σε συγκεκριμένο ιστορικό πλαίσιο με διαστάσεις πολιτισμικές, κοινωνιολογικές, τεχνολογικές, και πολιτικές και όχι απλά ως διανοητική και τεχνολογική διαδικασία (Bennett 1995[46], Bennett et al.1993[52]).

Το νέο βλέμμα στα ιστορικά επιστημονικά όργανα συνδέεται και με ένα αντικειμενικό γεγονός, που είναι ότι τα όργανα για εκπαιδευτική χρήση που άρχισαν συστηματικά να εξοπλίζουν πανεπιστήμια, σχολεία ή επιστημονικά κέντρα κατά το τέλος του 19ου αι. ή τις πρώτες δεκαετίες του 20ου αι., έχουν σήμερα κλείσει έναν τουλάχιστον αιώνα ζωής. Έτσι, έχουν σταδιακά μετατραπεί από όργανα χρήσης σε όργανα ανάμνησης ή έχει προστεθεί στη φύση τους, ως οργάνων επιστημονικής εκπαίδευσης, η ιστορική χροιά.

Καθώς τα όργανα του 19ου και των αρχών του 20ου αι. εμφανίζουν μια ομοιομορφία σε διεθνές επίπεδο, αποκρυσταλλώνουν σε μεγάλο βαθμό την εικόνα της ευρωπαϊκής επιστημονικής κουλτούρας και της παγκόσμιας επιστημονικής εκπαίδευσης (Brenni 2009[53], Turner 2003[54]).

1.2. Τι είναι τα επιστημονικά όργανα; Ορισμοί

Τι βλέπουν οι ιστορικοί σήμερα πίσω από τον όρο επιστημονικά όργανα; Σύμφωνα με τον Albert Van Helden, ο όρος *όργανο* (instrument) περικλείει ποικιλία σημασιών, όλες πλεγμένες γύρω από την έννοια του εργαλείου ή συσκευής, ενώ ο όρος *επιστημονικά όργανα* (scientific instruments) σημαίνει συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν από τους επιστήμονες, για να ερευνήσουν τη φύση ποιοτικά ή ποσοτικά. Σύμφωνα με τον Van Helden, αναφερόμενοι στα επιστημονικά όργανα σιωπηρά υπονοούμε α) ότι οι συσκευές αυτές έχουν οργανική σχέση με τη μελέτη της φύσης ως επεκτάσεις των ανθρώπινων αισθήσεων που είναι περιορισμένες, β) ότι τα επιστημονικά όργανα λένε την αλήθεια και γ) η λειτουργία τους βασίζεται σε αδιαμφισβήτητες επιστημονικές αρχές. Σύμφωνα με τον Van

Helden, τα επιστημονικά όργανα με την έννοια που τους δίνουμε σήμερα, υπονοώντας τα παραπάνω, γεννήθηκαν κατά την περίοδο 1550-1700. Την εποχή αυτή, ωστόσο, οι σημασίες αυτές, δεν ήταν αυτονόητες, αντίθετα άρχισαν να προσδίδονται στα επιστημονικά όργανα σιγά-σιγά, όσο αυτά γινόταν η καθημερινότητα και ο κοινός τόπος της επιστημονικής μεθοδολογίας (Van Helden 1983[55]).

Σύμφωνα με την Deborah Warner, ο όρος «επιστημονικά όργανα» είναι αναχρονιστικός, όταν αναφέρεται στον 17ο αιώνα. Την περίοδο μετά το 1650, τα όργανα αυτά ονομάζονταν «φιλοσοφικά» (philosophical) και διακρίνονταν από τα παλαιότερα μετρητικά όργανα που χαρακτηρίζονταν ως «μαθηματικά» (mathematical) ή «όργανα των μηχανικών» (engineering) (στα οποία ανήκαν τα ηλιακά ρολόγια, οι πυξίδες, οι αστρολάβοι και οι εξάντες, ενώ υπήρχαν ακόμη τα «οπτικά» (optical) στα οποία ανήκαν οι φακοί, οι καθρέπτες και τα πρίσματα τα οποία ήταν κατ' εξοχήν εργαλεία παραγωγής θεάματος και όχι επιστημονικά (Warner 1990[56], Taub 2009[57]).

Σύμφωνα με τους Albert Van Helden & Thomas Hankins, τα επιστημονικά όργανα έχουν ισχυρό κοινωνικό έρεισμα, καθώς ενσωματώνουν την ιδέα του κοινού, έχουν λειτουργήσει ιστορικά ως γέφυρες ανάμεσα στη φυσική επιστήμη και τη λαϊκή κουλτούρα, ενώ εγείρουν ζητήματα κύρους κι ανταγωνισμών σ' αυτούς που τα κατέχουν (Van Helden & Hankins 1994[58]).

Στις επόμενες παραγράφους θα προσπαθήσουμε να φωτίσουμε αρκετούς από τους παραπάνω ισχυρισμούς προκειμένου να κατανοήσουμε τη φύση και το πολιτισμικό δυναμικό των επιστημονικών οργάνων.

1.3. Όργανα κύρους και αξιοπιστίας ή όργανα πλάνης;

Στην Αγγλία του 1676 ανεβαίνει στη σκηνή ένα έργο με τον τίτλο: *"The Virtuoso"* (Shadwell 1966[59]), που διακωμωδεί τα «εξωφρενικά» πειράματα της εποχής με τα οποία ζυγίζεται ο αέρας (Shapin 1984[12]). Ένας ισχυρός λόγος για τον οποίο τα επιστημονικά όργανα δεν συγκέντρωναν εξαρχής ιδιότητες κύρους, αντίθετα δημιουργούσαν υποψίες ως προς το βαθμό αλήθειας που μπορούσαν να εγγυηθούν, ήταν το γεγονός ότι τα επιστημονικά όργανα του 17ου αιώνα ή αλλιώς τα όργανα της φυσικής φιλοσοφίας, όπως τότε αποκαλούνταν (Taub 2009[57]) προήλθαν από την παράδοση της «φυσικής μαγείας» (natural magic), που είχε σαν στόχο να διασκεδάσει το κοινό μέσα από την εξαπάτηση των αισθήσεων. Λέγεται ότι ο Νεύτωνας προμηθεύτηκε τα διάσημα πρίσματά του σε μια έκθεση ειδών φυσικής μαγείας, ότι ο Boyle εμπνεύστηκε την αντλία του από τα σχέδια του φυσικού μάγου Caspar Schott (Schott 1664[60]), ότι το παλιότερο σκίτσο τηλεσκοπίου βρίσκεται σε βιβλίο του φυσικού μάγου Giambattista Della Porta (Della Porta 1658[61]), και ότι το βαρόμετρο και το θερμόμετρο προήλθαν κι αυτά από ιδέες του Giambattista Della Porta. Εκτελώντας πειράματα με καθρέφτες και φακούς, με σιφώνια και διατάξεις υδραυλικής ή χημικές ουσίες, οι «φυσικοί μάγοι» (natural magicians) σκάρωναν διασκεδαστικά θεάματα, θέτοντας ως στόχο να αποκρύψουν τα φυσικά αίτια που προκαλούσαν τα φαινόμενα που επιδείκνυαν (Van Helden & Hankins 1994[58], Hankins & Silverman 1995 σελ.3-13[11]). Δεν ήταν λοιπόν εύκολο, ο Γαλιλαίος να πείσει ότι το τηλεσκόπιό του

έλεγε την αλήθεια και ο Boyle ότι οι τεχνητές συνθήκες που δημιουργούσε η αντλία του μπορούσαν να οδηγήσουν σε παρατηρήσεις και συμπεράσματα για τον πραγματικό φυσικό κόσμο.

Οι υποστηρικτές της πειραματικής φιλοσοφίας αποτελούσαν εκπροσώπους μιας νέας κουλτούρας που αξιοποιούσε παρόμοια με τους φυσικούς μάγους όργανα και πειράματα, επιδιώκοντας διαφορετικά, και σ' ένα βαθμό τελείως αντίθετα, αποτελέσματα. Έθετε ως στόχους την αντικειμενική παρατήρηση αντί για την πλάνη των αισθήσεων, τη συμμετοχή του κοινού στην ανάγνωση της φύσης και τη διαδικασία αποκωδικοποίησης των νόμων της, αντί για την απλή διασκέδαση (Van Helden 1983[55], Hankins & Silverman 1995 σελ.3-13[11]). Τα αντικείμενα των πειραμάτων στα χέρια των φυσικών φιλοσόφων έχαναν έτσι πολλή από την αύρα της μαγείας και γίνονταν σκοπευτές της αλήθειας και παράθυρα παρατήρησης της φύσης (Hankins & Silverman 1995 σελ.3-13[11]).

Η διαδικασία της μετάβασης από τη φυσική μαγεία στην καθιέρωση της πειραματικής διαδικασίας ως διαδικασίας έγκυρης προσέγγισης της γνώσης και της αποδοχής των επιστημονικών οργάνων ως μεσολαβητών ανάμεσα στις αισθήσεις και στο λόγο και ως παραγόντων που μπορούσαν να δώσουν πρόσβαση στο αντικειμενικό δεν ήταν καθόλου απλή. Σηματοδοτούσε μια πολιτισμική στροφή που περιελάμβανε υλικές, διανοητικές και κοινωνικές συνιστώσες που επιβλήθηκαν σταδιακά και όχι ανεμπόδιστα.

Η πρώτη δυσκολία σχετίζεται με το γεγονός ότι τα όργανα της φυσικής μαγείας χρειάζονταν συχνά να επενδυθούν με νέα επιστημονική γνώση και τεχνολογία προκειμένου να μπορέσουν να ανταποκριθούν στους νέους στόχους. Οι φακοί που έφτιαχναν οι τεχνίτες την εποχή του Γαλιλαίου μπορούσαν να προσαρμοστούν σ' ένα σωλήνα και να φτιαχτεί ένα τηλεσκόπιο. Κατασκευάζονταν εξάλλου έτσι οι κατασκοπευτικές διόπτρες. Αλλά με αυτό το όργανο δεν ήταν δυνατόν να κάνει κανείς αξιόπιστες ουράνιες παρατηρήσεις. Η διαδικασία με την οποία ένα όργανο μεταχαρακτηριζόταν από παιχνίδι ή αντικείμενο καθημερινής χρήσης σε επιστημονικό όργανο συνδεόταν με την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητά του, πράγμα που απαιτούσε επιστημονικές γνώσεις για τον επανασχεδιασμό και την αριστοποίησή του, τεχνολογικές επινοήσεις και νέα υλικά. Δεν είναι τυχαίο ότι τα πρώτα όργανα της φυσικής φιλοσοφίας κατασκευάζονταν από τους ίδιους τους πειραματικούς επιστήμονες, τους οποίους δεν μπορούσαν εύκολα να ανταγωνιστούν τεχνίτες που δεν έφεραν ανάλογο επιστημονικό υπόβαθρο (Van Helden 1983[55], Van Helden 1994[62]). Ταυτόχρονα, αποτελούσαν ιδιαίτερα ακριβές κατασκευές, τις οποίες ένας απλά ευκατάστατος επιστήμονας δεν μπορούσε εύκολα να αναλάβει (Shapin 1984[12]).

Η δεύτερη δυσκολία σχετίζεται με το γεγονός ότι έπρεπε να δημιουργηθεί μια κουλτούρα γύρω από τη νέα χρήση των οργάνων, ικανή να προσδώσει στην εμπειρική διαδικασία της παρατήρησης το επιστημονικό κύρος που μέχρι τότε είχαν μόνο τα μαθηματικά, ή με άλλα λόγια να δώσει τη δυνατότητα στη «γνώμη», που μέχρι τότε δεν είχε θέση στην επιστήμη, να υφάνει «γνώση» που να επιδέχεται έλεγχο και απόδειξη. Ο τρόπος που επιλέχθηκε γι' αυτό ήταν σύνθετος και αφορούσε τόσο στον τρόπο που πραγματοποιούνταν τα πειράματα, όσο και στον τρόπο που καταγράφονταν και διαδίδονταν τα αποτελέσματά τους (Shapin 1984[12], Van Helden 1994[62]). Ο Shapin εξηγεί πώς ο Boyle

στα μέσα του 17ου αιώνα συμβάλλει στην καθιέρωση επιστημονικών πρακτικών που σήμερα θεωρούνται τόσο αυτονόητες, ώστε οι ιστορικοί να δυσκολεύονται να τις παρατηρήσουν. Ο Boyle προτείνει τα πειράματα να πραγματοποιούνται μπροστά σε αξιόπιστους μάρτυρες, να καταγράφονται οι επικρατούσες τοπικές και ειδικές συνθήκες, να περιγράφονται αναλυτικά όλα τα στάδιά τους, ακόμα και οι φάσεις που δεν καταλήγουν σε επιτυχία. Να προσφέρονται δηλαδή όλα τα δυνατά στοιχεία, ώστε τα πειράματα και να μπορούν να επαναληφθούν και να επικυρωθούν από άλλους, και οι ήδη καταγεγραμμένες πληροφορίες να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω έρευνα χωρίς να αμφισβητείται η εγκυρότητά τους. Προτείνει, επίσης, να διαχωρίζεται η περιγραφή των παρατηρούμενων φαινομένων από εικασίες και υποθέσεις σχετικές με την ερμηνεία τους. Με τους τρόπους αυτούς ο Boyle επιχειρεί να μετατρέψει τα δεδομένα της υποκειμενικής παρατήρησης σε «αντικειμενικά γεγονότα» (matters of fact) δύσκολα αμφισβητήσιμα και το καταφέρνει (Shapin 1984[12]). Την ίδια εποχή, όπως εξηγεί ο Albert Van Helden, ο Hevelius παράγει παρόμοια «αντικειμενικά γεγονότα», μεταφέροντας με νατουραλιστική απεικονιστική και επιδεξιότητα στο βιβλίο του Selenographia (Hevelius 1647[63]) τις τηλεσκοπικές παρατηρήσεις που κάνει με ένα τελευταίας τεχνολογίας την εποχή εκείνη τηλεσκόπιο, στου οποίου την κατασκευή έχει εμπλακεί ο ίδιος. Η προσωπική του εμπλοκή σε όλα τα στάδια, από την κατασκευή του οργάνου μέχρι την παραγωγή του εκτυπωμένου σχεδίου, εξασφαλίζει τον υψηλό βαθμό καθαρότητας της παρατήρησης που μεταφέρεται στον αναγνώστη, προσδίδοντάς της, έτσι, κύρος αντικειμενικού γεγονότος (Van Helden 1994[62]).

Ωστόσο, σε πείσμα της ιστορίας, τα επιστημονικά όργανα δεν χάνουν ποτέ την ιδιότητα να παραπλανούν, χωρίς όμως ταυτόχρονα να χάνουν και το κύρος που έχουν κερδίσει τον 17ο αιώνα. Κατηγορίες οργάνων που τον 17ο αιώνα ανήκουν στον εξοπλισμό των φυσικών μάγων, όπως ομιλώντα κεφάλια, σάλπιγγες αυτιών, μαγικοί καθρέφτες και μαγικά φανάρια, εξελίσσονται κατά τη διάρκεια του 18ου και 19ου αιώνα στην υλική κουλτούρα (material culture) των επιστημών επικοινωνίας, ακουστικής και φυσιολογίας της όρασης, καθώς και των τεχνολογιών οπτικοακουστικής καταγραφής και παρουσίασης. Επίσης, το ερώτημα του 17ου αιώνα, αν τα όργανα λένε την αλήθεια, επανέρχεται τον 20ο αιώνα με τη μορφή του ερωτήματος «τι είναι η αλήθεια;» που προκαλείται μπροστά στην παρατήρηση ενός ολογραφήματος (Hankins & Silverman 1995 σελ.3-13[11]). Τόσο η καταγωγή των επιστημονικών οργάνων από τη φυσική μαγεία, όσο και η διαδικασία μετατονισμού τους από εργαλεία της φυσικής μαγείας σε επιστημονικά εργαλεία ή αντικείμενα της σύγχρονης οπτικοακουστικής τεχνολογίας, αποκαλύπτει ένα ουσιαστικό στοιχείο της φύσης τους, που είναι το ότι είναι φτιαγμένα, για να δείχνουν κάτι, για να παρατηρεί κανείς κάτι μέσα από αυτά χρησιμοποιώντας τις αισθήσεις του. Μόνο που στην περίπτωση της φυσικής μαγείας και της σύγχρονης τεχνολογίας διασκέδασης, ο «φακός της προβολής» είναι ρεαλιστικά και μεταφορικά ζωγραφισμένος, ενώ η φιλοσοφία της επιστημονικής επανάστασης (Bacon 1620/1863[64], Bacon 1623/2008[65], Rossi 1996[66]), επιβάλλει ο «φακός» να μεγεθύνει με ακρίβεια και σωστά, ώστε να μη δημιουργούνται σκιές και αθέμιτες παραμορφώσεις (Hankins & Silverman 1995 σελ.3-13[11], Shapin 1984[12]).

1.4. Η κουλτούρα της ενεργητικής επέμβασης και «ανάκρισης» της φύσης

Το 1620, Ο Francis Bacon, που θεωρείται από τους ιστορικούς ότι κρατάει αρκετά από τα κλειδιά του νέου επιστημονικού πνεύματος που διαμορφώνεται τον 17ο αιώνα (Rossi 1996[66], Hacking 1983/2002 σελ.317-334[67]) εισηγείται στο βιβλίο του με τον χαρακτηριστικό τίτλο Novum Organum την ενεργητική παρέμβαση στη φύση, σε αντίθεση με την αντίστοιχη παθητική παρατήρησή της που προτείνει ο Αριστοτέλης στο δικό του *Όργανον*:

> «η φύση των πραγμάτων αποκαλύπτει τον εαυτό της πιο πρόθυμα όταν ενοχλείται από την τέχνη παρά όταν αφήνεται ελεύθερη…» (Bacon 1620 αφορισμός XCVIII, στον Pesic 1999[68]).

Μέσα από τις λέξεις:

> «ούτε το γυμνό χέρι ούτε η διάνοια από μόνη της μπορεί να έχουν μεγάλη δύναμη. Το έργο μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο με εργαλεία[cvii] και αρωγή, τα οποία τα χρειάζεται, τόσο η διάνοια, όσο και τα χέρια. Και όσον αφορά στα εργαλεία των χεριών, αυτά, είτε τα κινητοποιούν, είτε τα καθοδηγούν, ενώ τα εργαλεία του νου παρέχουν, είτε κινητοποιούν, είτε προειδοποιούν τη διάνοια» (Bacon 1620/2000 αφορισμός II σελ.33[69], Bacon 1620/1813 σελ.9[70]),

ο Bacon ορίζει τα επιστημονικά όργανα, δίνοντάς τους διττή σημασία, την έννοια του εργαλείου και της μεθόδου (Arabatzis 2005[17], Hankins & Silverman 1995 σελ.3-13[11]), χωρίς ωστόσο να έχει τόσο σαφή ιδέα για τα όργανα της φυσικής φιλοσοφίας, που πολύ πρόσφατα έχουν αρχίσει να μετέχουν στην ιστορική πειραματική σκηνή παίζοντας το ρόλο των ενεργητικών αποκωδικοποιητών της φύσης (Hankins & Silverman 1995 σελ.3-13[11]).

Σε αντίθεση με τα όργανα που χρησιμοποιούσαν οι επιστήμονες νωρίτερα και ήταν κυρίως μετρητικά, όπως ζυγαριές, χάρακες, ρολόγια, τοπογραφικά όργανα και όργανα πλοήγησης, τα νέα όργανα της επιστημονικής επανάστασης σπάνια μετρούσαν κάτι, τουλάχιστον αρχικά. Αντίθετα, επενέβαιναν με ενεργητικό τρόπο στην παρατήρηση της φύσης ή στη δημιουργία φαινομένων. Έτσι, το τηλεσκόπιο και το μικροσκόπιο παραμόρφωναν το παρατηρούμενο αντικείμενο μεγεθύνοντας το, η ηλεκτρική μηχανή κατάφερνε να μιμηθεί την αιτία των κεραυνών και η αντλία κενού να δημιουργήσει μη φυσικές ατμοσφαιρικές συνθήκες. Τα πειράματα που γίνονταν με αυτά δεν ήταν προφανή – «obvious» – αλλά περίτεχνα και εξεζητημένα – «elaborate». Ο τελευταίος όρος συνδέεται με τη λέξη elaboratory απ' όπου προέρχεται η λέξη laboratory. Τα νέα όργανα είχαν ως τόπο κατοικίας τους τα νέα εργαστήρια, τα οποία σε αντίθεση με τα αλχημιστικά εργαστήρια που ήταν οι πρόγονοί τους (Smith 2006[71]), ήταν δημόσιοι και όχι ιδιωτικοί χώροι, και φιλοξενούσαν πρακτικές που επεδίωκαν να είναι φανερές σε όλους και μη κρυπτικές (Shapin 1984[12]). Αντιπροσωπευτικοί επικριτές[cviii] της νέας πειραματικής μεθόδου χαρακτήριζαν ως μη ενδεδειγμένα τα «μη προφανή» («unobvious») πειράματα που γίνονταν με τα νέα όργανα (Boyle 1772 ed. I σελ.186, 241[72]), τα οποία, όπως και τα «βεβιασμένα από τη φωτιά» ("forced by fire") πειράματα των αλχημιστών, διέστρεφαν και αυτά στη φύση (Shapin &Schaffer 1985 σελ.174[73]). Έτσι, η νέα πειραματική παράδοση έχει γερές ρίζες στην αλχημεία,

[cvii] Στο λατινικό κείμενο: instrumentum, στο αγγλικό instruments (Bacon aphorism II 1620/1813 σελ.9[70]).
[cviii] Γίνεται αναφορά στον Thomas Hobbes (Shapin&Shaffer 1985 σελ.174[73], Boyle 1772 ed. I σελ.186-241[72]).

παρόλο που καθιερώνει νέες πρακτικές και συνοδεύεται από διαφορετική φιλοσοφία (Rossi 1996[66], Shapin 1984[12]). Κληρονομεί από την τελευταία δύο βασικά στοιχεία της, πρώτον τον χώρο εφαρμογής –το εργαστήριο, και δεύτερον την πρακτική αποκωδικοποίησης της φύσης μέσα από ενεργητικές παρεμβάσεις στις οποίες συμμετέχουν το σώμα και οι αισθήσεις του πειραματιστή (Smith 2006[71]).

Ο Joseph Priestley, το 1775 (Priestley 1775[74]), ενάμισι αιώνα μετά το Novum Organum του Bacon τονίζει το διαφορετικό προσανατολισμό και το νέο πολιτισμικό ρόλο των ενεργητικών οργάνων της φυσικής φιλοσοφίας, διακρίνοντάς τα από όργανα που περιγράφουν ιδέες για τη φύση, χωρίς να μπορούν να παρέμβουν σ' αυτή (Priestley 1775 στον Hackmann 1989[75]):

> «Η εκπαίδευση που μπορεί να πάρει κανείς από τα βιβλία εξαντλείται γρήγορα, αν συγκριθεί με τα φιλοσοφικά όργανα, που αποτελούν, αντίθετα, αστείρευτη πηγή γνώσης. Ως φιλοσοφικά όργανα, ωστόσο, δεν εννοώ σφαίρες, πλανητάρια και άλλα, που είναι μόνο μέσα τα οποία έχουν εφεύρει επινοητικοί άνθρωποι, προκειμένου να εξηγήσουν τις ιδέες τους για τον κόσμο σε άλλους, και, επομένως, όπως τα βιβλία, δεν χρησιμεύουν σε τίποτα περισσότερο, από το να κάνουν ορατή την ανθρώπινη επινοητικότητα. Εννοώ όργανα όπως η αντλία κενού, η ατμομηχανή, το πυρόμετρο κ.ά. (που συγκαταλέγονται στην ίδια κατηγορία με την ηλεκτρική μηχανή), τα οποία αποκαλύπτουν τις ίδιες τις λειτουργίες της φύσης, που είναι θεϊκής προέλευσης και απεριόριστα ποικίλες. Με τη βοήθεια τέτοιων μηχανών, είμαστε σε θέση να υποβάλλουμε απειράριθμη ποικιλία διεργασιών σε απειράριθμη ποικιλία συνθηκών, ενώ η ίδια η φύση θα είναι αυτή που θα καθορίζει τα αποτελέσματα. Έτσι, μπορούν να παρατηρηθούν οι νόμοι με τους οποίους η φύση δρα, και να γίνουν ανακαλύψεις, τόσο σημαντικές, που ούτε και οι ίδιοι οι εφευρέτες των μηχανών αυτών δεν μπορούν να υποψιαστούν» (Priestley 1775, vol.1. σελ.xii-xiii[74] στον Hackmann 1989[75]).

Ο Kuhn, το 1976 (Kuhn 1977a[76]), κατατάσσει τις επιστημονικές πειραματικές μεθόδους που έχουν υπάρξει ιστορικά σε δύο διαφορετικές παραδόσεις. Στην πρώτη εντάσσει τις αρχαίες επιστήμες, μαθηματικά, αστρονομία, αρμονία, οπτική και στατική, οι οποίες αλλάζουν ριζικά τον 17^{ο} αιώνα, χωρίς όμως το πείραμα να παίζει σημαντικό ρόλο σε αυτή την αλλαγή. Στη δεύτερη κατηγορία εντάσσει τις Βακωνικές επιστήμες (Baconian sciences), που τον 17^{ο} αιώνα ερεύνησαν ηλεκτρικά, μαγνητικά, χημικά φαινόμενα και θερμικές διεργασίες, σχολιάζοντας ότι το πείραμα είχε οργανικό ρόλο στην εξέλιξή τους. Ο Kuhn ισχυρίζεται ότι ο τρόπος του πειραματισμού ήταν διαφορετικός στις δύο παραδόσεις. Στην κλασσική παράδοση, τα πειράματα οδηγούνταν από τη θεωρία, ενσωμάτωναν ιδεαλιστικές προσεγγίσεις, δεν διακρίνονταν καθαρά από τα νοητικά πειράματα, ενώ τα αποτελέσματά τους παρουσιάζονταν με τη μορφή καθολικών γενικεύσεων ή νόμων. Αντίθετα στη Βακωνική παράδοση, τα πειράματα που πραγματοποιούνταν με τα νέα επιστημονικά όργανα του 17^{ου} αιώνα, όπως θερμόμετρα, αντλίες κενού και ηλεκτροστατικές γεννήτριες, είχαν εξερευνητικό χαρακτήρα. Η διεξαγωγή τους καταγραφόταν με λεπτομέρειες, μελετιόνταν οι τοπικές και συμπτωματικές συνθήκες που τα επηρέαζαν και, έτσι, αποτελούσαν διαδικασίες κατά τις οποίες η εμπειρία θεμελίωνε «αντικειμενικά γεγονότα» (Arabatzis 2005[17]). Η σαφής οριοθέτηση των δύο παραδόσεων που περιγράφει ο Kuhn, έχει αμφισβητηθεί από νεώτερες ιστορικές έρευνες, που βλέπουν τις δύο παραδόσεις να διαχέονται, είτε επειδή οι επιστήμονες χρησιμοποιούν μικτές

μεθοδολογίες και χρησιμοποιούν τα μαθηματικά όργανα ως όργανα φυσικής φιλοσοφίας (Van Helden 1983[55], Bennett 2003[50]), είτε επειδή τα μαθηματικά όργανα ενσωματώνουν πρακτικές χρήσεις οι οποίες δεν υπαγορεύονται από θεωρητικές επιστημονικές δεσμεύσεις (Bennett 2003[50]), είτε, τέλος, επειδή όργανα της φυσικής φιλοσοφίας – όπως το τηλεσκόπιο – στα χέρια εκείνων που δεν φέρουν το χρίσμα φυσικού φιλοσόφου, λειτουργούν ως απλά μαθηματικά όργανα (Van Helden 1994[62]).

Αναλυτικότερα, ο Van Helden αναλύει την περίπτωση του Γαλιλαίου και βλέπει ότι, παρόλο που ο τελευταίος δεν είχε Βακωνική μεθοδολογία[cix], έπαιρνε απαντήσεις από τη φύση, ρωτώντας την με πειραματικό τρόπο και συγκεκριμένα με τη βοήθεια ποσοτικών πειραμάτων. Χρησιμοποιούσε με τρόπο συμπληρωματικό την αφαιρετική σκέψη και την πρακτικότητα – ή αλλιώς τη μαθηματική και την πειραματική επιστήμη – με τα επιστημονικά όργανα να γεφυρώνουν το χάσμα ανάμεσά τους (Van Helden 1983[55]). Ο Bennett σχολιάζει την περίπτωση του Gilbert και εξηγεί ότι ό Gilbert μεταβαίνει από τη μαθηματική παράδοση στην παράδοση της φυσικής φιλοσοφίας, μετατονίζοντας τα μαθηματικά όργανα που χρησιμοποιεί από όργανα μέτρησης σε όργανα φυσικής φιλοσοφίας – ή αλλιώς αποκωδικοποίησης των νόμων της φύσης (Bennett 2003[50]). Ο Van Helden σχολιάζει το ιστορικό επεισόδιο του 1611, οπότε οι μαθηματικοί του Collegio Romano κλήθηκαν από τον Καρδινάλιο Bellarmine να επιβεβαιώσουν με δική τους παρατήρηση τους ισχυρισμούς του Γαλιλαίου. Δεν μπόρεσαν να αρνηθούν ότι έβλεπαν ό,τι είχε περιγράψει ο Γαλιλαίος σχετικά με τους δορυφόρους του Δία, αρνήθηκαν όμως να χρησιμοποιήσουν τα παρατηρούμενα φαινόμενα, για να εξάγουν κοσμολογικά συμπεράσματα, όπως έκανε ο Γαλιλαίος. Γι' αυτούς, κατά τον Van Helden, το τηλεσκόπιο παρέμενε ένα μαθηματικό όργανο, δεν αποτελούσε εργαλείο της φυσικής φιλοσοφίας (Van Helden 1994[62]). Ο Bennett, φέρνει στο φως την παρατήρηση ότι τα μαθηματικά όργανα, χρησιμοποιούνταν, για να εκτελεσθεί ένα εύρος πρακτικών εργασιών, όπως για παράδειγμα τοπογραφικές εργασίες, εργασίες των μηχανικών του στρατού ή ναυσιπλοΐας, με αποτέλεσμα όργανα, όπως οι αστρολάβοι και οι χάρτες να εμφανίζουν ασυνέπεια ως προς την ανταπόκρισή τους σε κάποιο κοσμολογικό – ή αλλιώς αφαιρετικό μαθηματικό μοντέλο – προκειμένου να κερδίζουν σε απλότητα ή χρηστικότητα. Οι κατασκευαστές τους ενίοτε δικαιολογούνταν, λέγοντας χαρακτηριστικά ότι «ό,τι δεν επιτρέπεται από το φυσικό κόσμο» το επιτρέπουν οι «γεωμετρικές εφευρέσεις»[cx] (Bennett 2003[50]).

1.5. Κατηγορίες, εξέλιξη και χαρακτηριστικά των επιστημονικών οργάνων

Σύμφωνα με την Deborah Warner, ο όρος «επιστημονικά όργανα» εισάγεται στην ιστορία από τον χώρο των κατασκευών. Ο Étienne Lenoir, μηχανικός του Βασιλιά στη Γαλλία του 1787 περιγραφόταν ως κατασκευαστής «οργάνων για επιστημονική χρήση» (instruments à l'usage des sciences). Στη Γερμανία, ο αντίστοιχος όρος (wissenschaftliche Instrumente) πιθανόν εμφανίστηκε γύρω στο 1830, ενώ ήταν πλήρως καθιερωμένος, το 1850, όταν δύο Γερμανοί μετανάστες στη Νέα Υόρκη

[cix] Με αυτό εννοεί ότι ο Γαλιλαίος επέλυε πολλά προβλήματα καταρχήν στο μυαλό του χρησιμοποιώντας την αφαίρεση και όχι βασιζόμενος σε πειραματικά αποτελέσματα.
[cx] Γίνεται αναφορά στον Gemma Frisius κατασκευαστή μαθηματικών οργάνων του 16ου αι. (Bennett 2003[50]).

περιέγραφαν τους εαυτούς τους ως «κατασκευαστές επιστημονικών οργάνων» (scientific instrument makers), όπως και το 1862, όταν στη Διεθνή Έκθεση του Λονδίνου οι Αυστριακοί ισχυρίζονταν ότι η Βιέννη ήταν η έδρα της παραγωγής παντός είδους επιστημονικών οργάνων (Taub 2009[57]).

Όπως φάνηκε από τα θέματα που θίχτηκαν στις προηγούμενες ενότητες (*1.2* και *1.3*), τον 17ο αιώνα η ορολογία «επιστημονικά όργανα» δεν υπήρχε, όπως δεν υπήρχε και η επιστήμη ως αναγνωρισμένος κλάδος με θεσμοθετημένα όργανα για την άσκησή της. Το 1681, είκοσι περίπου χρόνια μετά την πρώτη έκδοση των πειραμάτων του Boyle, και εβδομήντα μετά την παρατήρηση των δορυφόρων του Δία από τον Γαλιλαίο, ο κατάλογος οργάνων της Royal Society περιελάμβανε «όργανα σχετικά με τη φυσική φιλοσοφία[cxi]» και «αντικείμενα σχετικά με τα μαθηματικά[cxii]». Η διάκριση διατηρήθηκε στους καταλόγους του 18ου αιώνα (Van Helden & Hankins 1994[58]). Σε διαφήμιση του 1726, στο Λονδίνο, ο κατασκευαστής[cxiii] ανακοινώνει ότι κατασκευάζει και πουλάει όλων των ειδών τα *Μαθηματικά Όργανα* τελευταίας τεχνολογίας, είτε για την ξηρά είτε για τη θάλασσα, *τοπογραφικά όργανα, τετράντες, αζιμούθια, παντός είδους ρολόγια, υδρόγειους και ουράνιες σφαίρες, χάρτες, χάρτες θαλασσών…* Επίσης, όργανα της «πειραματικής φιλοσοφίας» (experimental philosophy), *αντλίες κενού, τηλεσκόπια,* ολόκληρα ή οποιαδήποτε τμήματά τους (Taub 2009[57]).

Στους εμπορικούς καταλόγους της περιόδου 1800-1914 που περιλαμβάνει η συλλογή του ιδρύματος Smithsonian (Smithsonian Institution Libraries 2003[77]) τα όργανα κατατάσσονται από τους κατασκευαστές τους σε περισσότερες κατηγορίες, ενδεικτικές των επιστημονικών κλάδων που έχουν στο μεταξύ αναπτυχθεί. Τα όργανα των καταλόγων περιλαμβάνουν αντικείμενα που αποδίδονται στις κατηγορίες: Ακουστική, Αστρονομία, Βιολογία, Γεωφυσική, Εκπαιδευτικά όργανα, Ζυγαριές, Ηλεκτρισμός, Ιατρικά Όργανα, Μαθηματικά Όργανα, Μετεωρολογία, Μηχανολογία, Μικροσκοπία, Ναυσιπλοΐα, Οπτική, Όργανα Σχεδίασης, Όργανα της Φυσικής Φιλοσοφίας, Τοπογραφικά όργανα, Φυσική Ιστορία, Χημεία, Φασματοσκοπία, Φυσική, Φωτογραφία. Χαρακτηριστικά παρατηρείται ότι όρος «φιλοσοφικά όργανα» (philosophical instruments) διατηρείται στους καταλόγους μέχρι το 1860. Επίσης, ότι οι κατάλογοι περιλαμβάνουν όργανα για εξοπλισμό επαγγελματικών επιστημονικών εργαστηρίων, για εκπαιδευτική χρήση, για καθημερινή χρήση – όπως για παράδειγμα γυαλιά όρασης, και για μικτές χρήσεις – όπως για παράδειγμα όργανα για την οργάνωση επιστημονικών παραστάσεων.

Έτσι στον κατάλογο του αμερικάνικου οίκου Ritchie (Ritchie & Sons 1860[78]) διαφημίζονται «φιλοσοφικά όργανα και σχολικός εξοπλισμός»[cxiv]. Ο κατάλογος περιλαμβάνει περισσότερα από 120 όργανα για τη διδασκαλία της «φυσικής επιστήμης» (physical science) στο σχολείο. Ο κατάλογος περιλαμβάνει *όργανα μηχανικής, υδροστατικής, αεροδυναμικής, θερμότητας, οπτικής, ηλεκτρισμού, μαγνητισμού, χημείας και αστρονομίας*. Ανάμεσα σ' αυτά είναι γυροσκόπια, τελλούρια, αντλίες κενού, ηλεκτρικές μηχανές, σωλήνες για την παραγωγή ηλεκτρικών εκκενώσεων σε μειωμένη πίεση,

[cxi] "instruments relating to natural philosophy" (Van Helden & Hankins 1994, p.4[53])
[cxii] "things relating to the Mathematicks" (Van Helden & Hankins 1994, p.4[53])
[cxiii] Γίνεται αναφορά στον κατασκευαστή οργάνων Richard Glynn (Taub 2009[57])
[cxiv] "philosophical instruments and school apparatus" (Ritchie & Sons 1860[78])

μπαταρίες, ακόμα και το τελευταίας τεχνολογίας την εποχή εκείνη πηνίο Ruhmkorff. Ο κατάλογος επίσης διαφημίζει μαγικό φανάρι (magic lantern) – όργανο για την προβολή διαφανειών που λειτουργούσε με λάμπα λαδιού, που συνοδευόταν από διαφάνειες φυσικής ιστορίας, βοτανολογίας, θεμάτων της βίβλου, βασιλέων και βασιλισσών, δημοσίων κτιρίων και αστρονομίας. Η τελευταία κατηγορία μάλιστα είναι ιδιαίτερα πλούσια και συνίσταται σε διαφάνειες ιστορικών κοσμολογικών συστημάτων, αστερισμών, επίδειξης της περιστροφής ουρανίων σωμάτων (Ritchie & Sons 1860[78] σελ.41).

Ο κατάλογος του αγγλικού οίκου W.&S. Jones (Jones 1822[79]) περιλαμβάνει *όργανα οπτικής, μαθηματικά όργανα, όργανα αστρονομίας, φιλοσοφικά όργανα και όργανα φιλοσοφικής χημείας*. Ανάμεσα στα *οπτικά όργανα* υπάρχουν διόπτρες, τηλεσκόπια, μικροσκόπια, οπτικός θάλαμος (camera obscura), καθρέπτες, πρίσματα, όργανα για τη μελέτη της πόλωσης και της διάθλασης, όργανα οπτικής απάτης, όπως φακοί που πολλαπλασιάζουν την εικόνα, αναμορφοσκοπικές εικόνες κά. Τα *μαθηματικά όργανα* περιλαμβάνουν θεοδόλιθους, τοπογραφικά όργανα, τηλεσκόπια, όργανα σχεδίασης, τριγωνομετρικά όργανα, ημερολόγια, τετράντες, εξάντες, τεχνητό ορίζοντα, γεωμετρικά σχήματα και παιχνίδια. Στα *αστρονομικά όργανα* περιλαμβάνονται όργανα για αστεροσκοπεία, ουράνιες σφαίρες, πλανητάρια, τελλούρια, περιστρεφόμενα μοντέλα της σελήνης, μπρούντζινα μοντέλα του γεωκεντρικού συστήματος (armillary spheres). Ανάμεσα στα *φιλοσοφικά όργανα* βρίσκει κανείς αντλίες κενού και όλον τον απαραίτητο εξοπλισμό για τα πειράματα στο κενό, όργανα στατικού ηλεκτρισμού με κέντρο την ηλεκτρική μηχανή, κινούμενα μοντέλα που λειτουργούν με τη βοήθεια του ηλεκτρικού ρευστού[cxv], μπαταρία και ηλεκτροφόρο του Volta, φιάλες Leyden, βαρόμετρα, θερμόμετρα, υγρόμετρα, συσκευές υδροστατικής, σετ επίδειξης μαγνητισμού, μαγνητικά ψάρια, πυρόμετρα, σετ μηχανικής, κεκλιμένα επίπεδα, μηχανή Atwood, μοντέλο ατμομηχανής που λειτουργεί κ.ά. Τα *όργανα φιλοσοφικής χημείας* περιλαμβάνουν γυάλινα σκεύη, συσκευές απόσταξης, ευδιόμετρα διαφόρων τύπων, σετ υλικών για συγκεκριμένα πειράματα, δοχεία αποθήκευσης αερίων υπό πίεση, κ.ά.

Ο κατάλογος του γαλλικού οίκου Charles-Chevalier (Charles-Chevalier 1860[80]) διαφημίζει *οπτικά όργανα και όργανα μετεωρολογίας*, και περιλαμβάνει όργανα φτιαγμένα από γυαλί, φακούς και γυαλιά όρασης, βαρόμετρα, θερμόμετρα, αραιόμετρα, αλκοολόμετρα, κι ακόμα κιάλια, τηλεσκόπια, μικροσκόπια, καθρέφτες, σκοτεινό θάλαμο, όργανα προβολής όπως οι μαγικοί φανοί και οι φαντασμαγορίες[cxvi] (fantasmagories).

Σύμφωνα με τον Steven Turner, υπεύθυνο του προγράμματος ηλεκτρονικής ανάδειξης των εμπορικών καταλόγων του ιδρύματος Smithsonian, μερικές γενικές παρατηρήσεις που προκύπτουν από την ανάλυση των στοιχείων της συλλογής – που περιλαμβάνει περισσότερους από 70 κατασκευαστές – είναι ότι η πλειονότητα των καταλόγων προέρχεται από Ευρωπαίους κατασκευαστές, που σημαίνει ότι τα περισσότερα επιστημονικά όργανα εισάγονταν από την Ευρώπη,

[cxv] "working models to be set in motion by the electrical fluid" (Jones 1822 σελ.11[79])
[cxvi] "fantasmagories" (Charles-Chevalier 1860 σελ.30[80]).

ότι το εμπόριο των Αμερικάνικων επιστημονικών οργάνων αυξανόταν σταδιακά, ότι οι κατάλογοι του 19ου αιώνα εμφανίζουν εθνικές διαφοροποιήσεις (ενδεικτικές των εθνικών χαρακτηριστικών που εμφανίζει η επιστήμη την περίοδο αυτή) ενώ οι μεταγενέστεροι κατάλογοι εμφανίζουν μεγαλύτερη ομοιομορφία, και τέλος ότι πολλά από τα επιστημονικά όργανα προορίζονταν για εκπαιδευτική χρήση με σημαντικότερους καταναλωτές τα σχολεία (Turner 2003[54]).

Την πρώτη δεκαετία του 20ου αιώνα η αγορά επιστημονικών οργάνων για εκπαιδευτική χρήση μεγεθύνεται ιδιαίτερα. Είναι χαρακτηριστικό ότι στις ΗΠΑ η αγορά εκπαιδευτικών οργάνων που απευθύνονται σε σχολεία γίνεται η μεγαλύτερη αγορά επιστημονικών οργάνων της χώρας. Πολλές εταιρείες επιστημονικών οργάνων προσανατολίζονται προς αυτήν, διαφοροποιώντας τους παραγωγικούς στόχους τους (Turner 2005[81]). Παρόμοια, στη Γερμανία, η εταιρεία Max Kohl in Chemnitz από το 1900 έως το 1911 υπερδιπλασιάζει το προσωπικό της, απασχολώντας 405 άτομα το 1911 αντί για 175 το 1900, ενώ στο ίδιο διάστημα αυξάνει κατά 3,4 φορές την εγκατεστημένη ισχύ των εργοστασίων της και 1,4 φορές την έκταση (m^2) των εγκαταστάσεών της (Zoller 2009[82]). Παράλληλα, ωστόσο, τα επιστημονικά όργανα των καταλόγων απλοποιούνται. Πολλά από τα όργανα των παλαιότερων καταλόγων θεωρούνται παλιομοδίτικα και καταργούνται ή αντικαθίστανται. Η διαφοροποίηση των οργάνων για εκπαιδευτική χρήση, κατά τη διάρκεια του 19ου αιώνα και της πρώτης δεκαετίας του 20ου, διαγράφεται με ακρίβεια στο κείμενο του Paolo Brenni που ακολουθεί:

> «Στις δεκαετίες ανάμεσα στο 1850 και στις αρχές του 20ου αιώνα, τα επιστημονικά όργανα για διδακτική χρήση άλλαξαν σημαντικά. Στο πρώτο ήμισυ του 19ου αιώνα, η καρδιά μιας τυπικής συλλογής για διδακτική χρήση συνίστατο από όργανα που ήταν πολύ παρόμοια με εκείνα που προτείνονταν τον 18ο αιώνα από τους 's Gravesande, Nollet, Desaguliers και άλλους παρουσιαστές πειραματικών διαλέξεων και κατασκευαστές οργάνων. Από το 1850 περίπου, νέα επιστημονικά όργανα άρχισαν να έρχονται στο φως. Τα περισσότερα από αυτά αφορούσαν στους γρήγορα αναπτυσσόμενους κλάδους της φυσικής, όπως η οπτική, ο ηλεκτρομαγνητισμός και η ακουστική. Οι κατασκευαστές οργάνων (και πολλοί επιστήμονες επίσης) ήταν ιδιαίτερα παραγωγικοί στο να εφευρίσκουν νέα όργανα, προκειμένου να επιδεικνύουν καλύτερα όλους τους νόμους της φύσης και να αναπαριστούν καθαρά όλα τα φυσικά φαινόμενα. Έτσι, γύρω στο 1900, όλοι οι περισσότερο σημαντικοί Γερμανοί, Γάλλοι και Άγγλοι κατασκευαστές πρότειναν στους παχείς καταλόγους που εξέδιδαν χιλιάδες διδακτικών συσκευών… Για διάφορους λόγους, κατά τη διάρκεια της πρώτης δεκαετίας του 20ου αιώνα, ο αριθμός των διαθέσιμων διδακτικών οργάνων μειώθηκε δραστικά. Η καθιέρωση των μαθημάτων εργαστηριακής άσκησης, η αύξηση του κόστους εργασίας και του κόστους των υλικών μετά τον 1ο παγκόσμιο πόλεμο, οι ανάγκες για περισσότερο τυποποιημένη παραγωγή, η πρόοδος της φυσικής, όχι μόνο εξαίρεσαν από τους εμπορικούς καταλόγους πολλά από τα κλασσικά όργανα, που θεωρήθηκαν τότε παλαιάς μόδας, αλλά επίσης προώθησαν τη χρήση συναρμολογούμενων και απλούστερων διδακτικών οργάνων» (Brenni 2009[53]).

1.6. «Αναγιγνώσκοντας» τα ιστορικά επιστημονικά όργανα

Στοιχεία της ιστορίας των επιστημονικών οργάνων για εκπαιδευτική χρήση, όπως αυτή περιγράφτηκε παραπάνω, είναι ανιχνεύσιμα στις αντίστοιχες πανεπιστημιακές και σχολικές συλλογές.

Στη «διαφορά του ύφους» ανάμεσα στα πρίσματα της συλλογής του *Μουσείου Φυσικής του Πανεπιστημίου της Coimbra* (Physics Museum of the University of Coimbra[83]), και σε εκείνα του

εργαστηρίου του Fraunhofer που φιλοξενούνται στις προθήκες του *Deutsches Museum*, διακρίνει κανείς εύκολα την απόχρωση των διαφορετικών εκπαιδευτικών δρώμενων στα οποία τα συγκεκριμένα όργανα ήταν προορισμένα να πρωταγωνιστήσουν (βλέπε *εικόνα 1.1*). Η διαφορά ενός αιώνα μεταξύ τους σηματοδοτεί το πέρασμα από ένα όργανο καθημερινής χρήσης σε ένα όργανο όπου η κάθε λεπτομέρεια στο σχήμα, όπως και το υλικό κατασκευής έχουν ειδικά επιλεγεί. Σηματοδοτεί επίσης το πέρασμα από μια «εκπαιδευτική διαδικασία» που χρησιμοποιεί στον εντυπωσιασμό και την παραπλάνηση των αισθήσεων, ως εργαλεία πρόσβασης στη γνώση των φαινομένων, σε μια διαδικασία απαιτητική για «αντικειμενικά γεγονότα» που προκύπτουν από επίπονη παρατήρηση και μέτρηση.

Εικόνα 1.1: Από τη φυσική μαγεία στην φυσική – Η πορεία μέσα από τα επιστημονικά όργανα: (α)&(β) Πρίσματα του 18ου αι., Μουσείο Φυσικής Πανεπιστημίου της Coimbra (γ) Ερευνητικά πρίσματα του Fraunhofer, Deutsches Museum

Παράλληλα, η χαρακτηριστική ομοιότητα των εκπαιδευτικών συσκευών του 19ου αιώνα, σε εκπαιδευτικά ιδρύματα που βρίσκονται σε διαφορετικές γωνιές της Ευρώπης, αναδεικνύει την παγκοσμιότητα των εξελίξεων στην επιστημονική εκπαίδευση του 19ου αιώνα (βλέπε *εικόνες 2.2&2.3*).

Εικόνα 1.2:Εκπαιδευτικά όργανα φυσικής: (α)&(γ) Λισαβόνα, (β)&(δ) Χίος.

1.7. Εντοπίζοντας τις συλλογές ιστορικών επιστημονικών οργάνων για εκπαιδευτική χρήση

Εικόνα 1.3: Εκπαιδευτικά όργανα φυσικής Σχολείων του 19ου αιώνα: (α) Χίος, (β) Πόρτο, Πορτογαλία.

Το ενδιαφέρον των τελευταίων δεκαετιών για τη διάσωση και μελέτη των ιστορικών επιστημονικών οργάνων, έχει οδηγήσει σε μια προσπάθεια συντήρησης, έκθεσης και τεκμηρίωσης των αντίστοιχων συλλογών, που σε πολλές περιπτώσεις ανασύρθηκαν από αποθήκες σχολείων και πανεπιστημίων και επανεισάχθηκαν με νέους ρόλους στη διδακτική πράξη.

Η τεκμηρίωση των πανεπιστημιακών συλλογών είναι περισσότερο συστηματική και γίνεται σε διεθνές επίπεδο. Η Διεθνής επιτροπή για τα Πανεπιστημιακά Μουσεία και Συλλογές UMAC[cxvii], που ιδρύθηκε το 2001, έχει συγκεντρώσει στοιχεία που αφορούν στις ιστορικές συλλογές των πανεπιστημίων στη βάση δεδομένων (UMAC http://publicus.culture.hu-berlin.de/umac/database). Χρησιμοποιώντας τον όρο "physics" η βάση εντοπίζει 85 διαφορετικές συλλογές, για τις οποίες μπορούν να αναζητηθούν περισσότερες πληροφορίες μέσω κατάλληλα κατασκευασμένων υπερσυνδέσεων, ενώ εντοπίζει αντίστοιχα 50 και 29, όταν αναζητούνται συλλογές που να χαρακτηρίζονται από τους όρους "chemistry" ή "science instruments".

Όσον αφορά στις σχολικές συλλογές, στη Γαλλία έχει πραγματοποιηθεί αξιόλογη προσπάθεια καταγραφής ιστορικών οργάνων εκ μέρους της *Ένωσης για την Προστασία και τη Μελέτη των Επιστημονικών & Τεχνολογικών Διδακτικών Οργάνων* ASEISTE[cxviii], η οποία υποστηρίζει εργασίες αποκατάστασης σε ιστορικά σχολικά εργαστήρια. Από το 1997, η ASEISTE έχει δημοσιεύσει τρείς έντυπους καταλόγους που αφορούν στην περιγραφή των συλλογών τριών ιστορικών σχολείων (Gires 1997[7], 2004[8], 2006[9]). Οι κατάλογοι δεν περιλαμβάνουν απλά τα όργανα, αλλά και μια σειρά πληροφοριών που ανασυγκροτούν το ιστορικό πλαίσιο μέσα στο οποίο αυτά χρησιμοποιούνταν. Στοιχεία για τους κατασκευαστές των οργάνων, τα ιστορικά πειράματα που τα όργανα υποστήριζαν και αποσπάσματα από ιστορικά επιστημονικά εγχειρίδια ή αναφορές σε αυτά συνθέτουν το πλαίσιο

[cxvii] International Committee for University Museums and Collections
[cxviii] Association de Sauvegarde et d'Étude des Instruments Scientifiques et Techniques de l'Enseignement

μέσα από το οποίο αναδεικνύεται η χρήση και η σημασία – εκπαιδευτική και πολιτισμική – των συλλογών. Με παρόμοιο τρόπο, η πρόσφατα κατασκευασμένη και συνεχώς ανανεωνόμενη ιστοσελίδα της Ένωσης (ASEISTE 2009-10 http://www.aseiste.org), προβάλλει, στις 2-7-2010, 2009 ιστορικά όργανα που ανήκουν σε 17 σχολεία 2 κολλέγια και 2 μουσεία.

Στην Πορτογαλία, με τη βοήθεια ερευνητικού προγράμματος με την ονομασία *Ιστορικά Όργανα στην υπηρεσία της Διδασκαλίας και της Εκλαϊκευσης των Φυσικών Επιστημών* (Old Scientific Instruments in the Teaching and Popularization of Physics) που ξεκίνησε το 2004 προτείνει στους καθηγητές και στο κοινό «να επανανακαλύψουν τη χρησιμότητα των ιστορικών επιστημονικών οργάνων» με τη βοήθεια μιας βάσης δεδομένων που αναδεικνύει ιστορικές συλλογές που φιλοξενούνται σε δέκα διαφορετικά ιστορικά σχολεία (Project POCI 2004 http://baudafisica.web.ua.pt) (Malaquias et al. 2008[84]).

Στην Ισπανία, παρόμοια πρωτοβουλία ηλεκτρονικής τεκμηρίωσης επεξεργάζεται η *Επιτροπή Επιστημονικών Οργάνων* COMIC[cxix] η οποία ασχολείται με την καταλογογράφηση, τη συντήρηση και τη μελέτη επιστημονικών οργάνων που ανήκουν σε ιστορικές συλλογές σχολείων, πανεπιστημίων και άλλων επιστημονικών ιδρυμάτων που βρίσκονται στην Καταλονία, τις Βαλεαρίδες Νήσους και τη Βαλένσια http://webonet.no-ip.com/comic. Σε μια άλλη περιοχή της Ισπανίας, τη Μάλαγα, το σχολείο με την επωνυμία *Colegio San Estanislao de Kostka* εκθέτει 300 ιστορικά επιστημονικά όργανα http://portal.fundacionloyola.org/sek/N115/descargas .

Στη Βραζιλία, το *Museu de Ciência da Escola de Minas* φιλοξενεί την εντυπωσιακή συλλογή ενός ιστορικού σχολείου μηχανικών που περιλαμβάνει 400 επιστημονικά όργανα που ανήκουν στις κατηγορίες: αστρονομίας, τοπογραφικά, σχεδίασης, ηλεκτροτεχνίας, μεταλλουργίας http://www.museu.em.ufop.br/museu/index.php. Παράλληλα, ένα πρόγραμμα συνεργασίας ανάμεσα σε φορείς της Πορτογαλίας και της Βραζιλίας – και συγκεκριμένα ανάμεσα στο *Science Museum of the University of Lisbon*, στην Πορτογαλία http://www.mc.ul.pt/, και το *MAST Museu de Astronomia e Ciências Afins*, στη Βραζιλία http://www.mast.br/index2.htm – έχει ως στόχο να εντοπίσει πηγές ιστορικών επιστημονικών συλλογών στις δύο χώρες και να τις καταγράψει (Granato 2007[85], Granato 2008[86]).

Η Ιταλία είναι, σύμφωνα με τον Gerard L'E.Turner, «η πλουσιότερη περιοχή, για να εξερευνήσει κανείς ιστορικά επιστημονικά όργανα» γιατί «απομεινάρια από τον εξοπλισμό ιστορικών πανεπιστημίων, σχολείων και ακαδημιών ανακαλύπτονται συνεχώς, συντηρούνται και αναδεικνύονται» (Turner 1994[87]). Σύμφωνα με προκαταρκτική έρευνα που διεξήγαγε το Ιταλικό Υπουργείο Παιδείας το 1990, 634 Ιταλικά σχολεία έχουν στην κατοχή τους ιστορικές συλλογές επιστημονικών οργάνων, από τις οποίες οι 289 θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικές (Chierego & Angelini 1994[88]). Στην Τοσκάνη μόνο υπάρχουν, σύμφωνα με την καταγραφή που έχει κάνει το *Museo Galileo,* 42 σχολεία που διαθέτουν συλλογές οργάνων για τη διδασκαλία των φυσικών

[cxix] Commissió d'Instruments Científics

επιστημών, που έχουν κατασκευαστεί τον 19ο ή τις πρώτες δεκαετίες του 20ου. Πληροφορίες για την ιστορία των ιδρυμάτων και των συλλογών τους μπορούν να αναζητηθούν διαμέσου της βάσης δεδομένων http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/index/IndexOfPlacesByType.html#museumsandcollections, κατασκευασμένης από το *Institute and Museum of the History of Science* (IMSS) στην οποία έχουν συγκεντρωθεί στοιχεία για όλα τα μουσεία και τις ιστορικές συλλογές επιστημονικών οργάνων της Τοσκάνης. Πέρα από την Τοσκάνη, αντιπροσωπευτικά παραδείγματα της πλούσιας επιστημονικής κληρονομιάς της Ιταλίας, είναι το *Liceo Foscanini*, στη Βενετία, το *Liceo-Ginnasio 'G. B. Vico'* και το *Liceo Classico 'Vittorio Emanuelle II'* στη Νάπολη, και το *Ginnasio Liceo 'Giovanni Prati'* στο Τρέντο. Το *Liceo Foscanini*, που ιδρύθηκε το 1806, διαθέτει συλλογή με 465 επιστημονικά όργανα, που εκτίθενται από το 2003, ενώ από το 2006 παρουσιάζονται στην ιστοσελίδα http://museo.liceofoscarini.it/index_uk.html του σχολικού μουσείου. Το *Liceo Ginnasio 'G. B. Vico'*, που ιδρύθηκε το 1881, διαθέτει συλλογή με 300 επιστημονικά όργανα, που παρουσιάζονται στην ιστοσελίδα http://www.museoliceovico.it/?id=2. Τα δύο τελευταία έχουν εκδώσει καταλόγους των συλλογών τους. Το *Liceo Classico 'Vittorio Emanuele II'*, ειδικότερα, που ιδρύθηκε το 1861, στεγάζει ιστορικό επιστημονικό εργαστήριο http://www.liceovittorioemanuele.it/gabinetto.htm και συλλογή 581 επιστημονικών οργάνων του 19ου αιώνα και των πρώτων δεκαετιών του 20ου. Έχει εκδώσει σχετικό κατάλογο (Liceo Ginnasio Vittorio Emanuele II 2008[89]).

Στην Ελλάδα, στο πλαίσιο προγράμματος του *Εθνικού Ιδρύματος Ερευνών*, καταγράφηκαν την τελευταία δεκαετία ιστορικά επιστημονικά όργανα που ανήκουν σε 20 διαφορετικά εκπαιδευτικά και επιστημονικά ιδρύματα από τα οποία τα 8 είναι ιστορικά σχολεία. Τα αποτελέσματα της καταγραφής παρουσιάζονται στην ιστοσελίδα http://www.hasi.gr. Ανάμεσα στις συλλογές που δεν έχουν συμπεριληφθεί στον κύριο κατάλογο του ιστοχώρου είναι η συλλογή της ιστορικής *Σχολής της Χίου*, το σημερινό *Μουσείο Φυσικής της Χίου*, που άνοιξε τις πόρτες του στο κοινό το 2001 και περιλαμβάνει 800 επιστημονικά όργανα χρονολογούμενα από τα μέσα του 19ου αιώνα μέχρι τα μέσα του 20ου, τα οποία περιγράφονται στην ιστοσελίδα http://1gym-chiou.chi.sch.gr/fysiki.htm και στον *Οδηγό του Μουσείου* (Μπουρνιάς 2005[45]). Επίσης, δεν έχει συμπεριληφθεί στον κατάλογο η συλλογή του *1ου Γυμνασίου Σερρών* http://1gym-serron.ser.sch.gr, η οποία έγινε προσβάσιμη στο κοινό το 2007 και περιλαμβάνει 400 όργανα τα παλαιότερα από τα οποία είναι από το 1850. Τέλος δεν έχει συμπεριληφθεί η συλλογή του *Πειραματικού Γυμνασίου Μυτιλήνης* που περιλαμβάνει 300 περίπου όργανα της ίδιας περιόδου[cxx], όπως και μικρότερες συλλογές, όπως για παράδειγμα του *Γυμνασίου-Λυκείου Οινουσσών*[cxxi], που διαθέτει περίπου 30 ιστορικά επιστημονικά όργανα.

Τα περισσότερα από τα στοιχεία που αναφέρονται στην παρούσα παράγραφο έχουν συνοψισθεί στους *Πίνακες ΠΙ.1* και *ΠΙ.2* του *Παραρτήματος Ι*. Συγκεκριμένα, *ο Πίνακας ΠΙ.1* παρουσιάζει τις βάσεις δεδομένων με τη βοήθεια των οποίων καταγράφονται συλλογές σε διεθνές, εθνικό ή περιφερειακό επίπεδο. Ο *Πίνακας ΠΙ.2*, περιορίζεται στην καταγραφή των σχολείων που διαθέτουν

[cxx] Προσωπική επίσκεψη, Απρίλιος 2005
[cxxi] Προσωπική επίσκεψη, Μάϊος 2007

όργανα για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών που έχουν κατασκευαστεί κατά τον 19^{ο} αιώνα ή τις πρώτες δεκαετίες του 20^{ου}.

Οι πληροφορίες της παρούσας παραγράφου είναι ενδεικτικές τόσο του πρόσφατου ενδιαφέροντος για την καταγραφή των συλλογών, όσο και της μερικότητας του μέχρι στιγμής αποτελέσματος, η οποία και υποδεικνύει την ανάγκη για περισσότερες πρωτοβουλίες στον τομέα αυτό. Ταυτόχρονα, τα δεδομένα στα οποία οι *Πίνακες ΠΙ.1.* και *ΠΙ.2* δίνουν πρόσβαση, επιβεβαιώνουν το γεγονός που προαναφέρθηκε στην *ενότητα 1.6*, ότι η εξέλιξη της διδασκαλίας της επιστήμης κατά τον 19^{ο} αιώνα εμφανίζει ομοιομορφία σε παγκόσμιο επίπεδο.

1.8. Σύνοψη της ενότητας

Η πρόσφατη αναζήτηση της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης πάνω στη φύση των επιστημονικών οργάνων έχει προσδώσει στα ιστορικά επιστημονικά όργανα χαρακτηριστικά που ξεπερνούν κατά πολύ την ιδιότητα που είχαν, να επικουρούν την επιστημονική έρευνα ή διδασκαλία.

Η ευκρίνεια με την οποία αποτυπώνουν τις σύγχρονες με την εφεύρεσή τους επιστημονικές αρχές τους δίνουν κεντρικό ρόλο ως οργάνων επικοινωνίας της επιστήμης, ενώ ζητήματα που αφορούν στο πώς τα όργανα αυτά σχεδιάστηκαν ή εξελίχθηκαν και σε τίνων και τι είδους επιστημονικών διαδικασιών αποτέλεσαν πρωταγωνιστές, τους δίνουν κεντρική θέση στη διαδικασία «ανάγνωσης» της ιστορίας της επιστήμης. Έτσι, τα ιστορικά επιστημονικά όργανα αποτελούν σήμερα πολύτιμα τεκμήρια των πολύπλευρων συνδέσεων μεταξύ επιστήμης, τεχνολογίας και κοινωνίας, όπως και εργαλεία και για την «ανάγνωση» θεμάτων που αφορούν στη φύση και στη μεθοδολογία της επιστήμης.

Παράλληλα, το έργο της συντήρησης και ανάδειξης των επιστημονικών οργάνων για εκπαιδευτική χρήση έχει αποκαλύψει ζητήματα, όπως η οικουμενικότητα της επιστημονικής κουλτούρας και η ύπαρξη διαφορετικών φάσεων στην ιστορία της επιστημονικής εκπαίδευσης.

2. ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΨΗΦΙΔΕΣ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΗΣ «ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ»

2.1. Ιχνηλατώντας την καταγωγή της πειραματικής διδασκαλίας των φυσικών επιστημών

Οι ερευνητές επισημαίνουν ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της φύσης των επιστημονικών οργάνων, που είναι ότι αυτά ενσωματώνουν την έννοια του «κοινού» – που μπορεί να διαφοροποιείται και να περιλαμβάνει άλλοτε απλούς πολίτες και άλλοτε εξειδικευμένους ερμηνευτές πειραματικών αποτελεσμάτων, ωστόσο, υπονοείται πάντα.

Σύμφωνα με τον Boyle, που τον 17^{ο} αιώνα θέτει τις αρχές της επιστήμης όπως την εννοούμε σήμερα, η ίδια η χρήση των επιστημονικών οργάνων και η εκτέλεση των πειραμάτων παρουσία αξιόπιστων μαρτύρων, ουδετεροποιεί τα ιδιοσυγκρασιακά στοιχεία των παρατηρητών. Παρόλο, ωστόσο, που οι ενσαρκωτές της νέας πειραματικής φιλοσοφίας οφείλουν, σύμφωνα με τον Boyle, να διαχωρίζουν συγκινησιακά στοιχεία και παράγοντες εντυπωσιασμού από τη διαδικασία καταγραφής των «αντικειμενικών γεγονότων» (Shapin 1984[12]), φαίνεται ότι τα ίδια τα επιστημονικά όργανα δεν «ξεχνούν» εύκολα την καταγωγή τους – ως εργαλεία της φυσικής μαγείας και κέντρα δημοφιλών θεαμάτων. Έτσι, πριν κλειστούν στον γυάλινο πύργο της ακαδημαϊκής έρευνας και των οργανωμένων εκπαιδευτικών διαδικασιών, που θεσμοθετείται τον 19^{ο} αιώνα, πλησιάζουν το «κοινό» με διάφορους τρόπους που συνδυάζουν την επιστήμη με την τέχνη, τη μετάδοση γνώσης μέσα από τον εντυπωσιασμό, ενώ απευθύνονται σε όλων των ειδών τα κοινωνικά στρώματα και επιστημονικά επίπεδα (Bensaude-Vincent & Blondel 2008[13]). Παρόλο που η διαδικασία αυτή φαντάζει σήμερα ως μη αυστηρά επιστημονική, είναι αυτή που νομιμοποιεί την επιστήμη, καθιστώντας τη δημοφιλή και μέρος της λαϊκής «κουλτούρας». Οι Bensaude-Vincent & Blondel χαρακτηριστικά επισημαίνουν ότι, για να κατανοήσουμε τις επιστημονικές διαδικασίες του 18^{ου} αιώνα πρέπει να ξεχάσουμε τη σημερινή έννοια που δίνουμε στην επιστήμη:

> «Η επιστήμη του Διαφωτισμού δεν μπορεί να περιοριστεί σε έναν στενό ορισμό…Τα περισσότερα από τα ξεκάθαρα όρια που χρησιμεύουν στον καθορισμό της σημερινής επιστήμης – οι διαχωρισμοί μεταξύ ακαδημαϊκών θεσμών και αγοράς, ανάμεσα σε επαγγελματίες και ερασιτέχνες, ανάμεσα σε έρευνα και εκπαίδευση, ανάμεσα σε δουλειά και σχόλη, ανάμεσα σε γνώση και εμπόριο – είναι ακατάλληλοι, ακριβώς επειδή πολλές πρακτικές που ήταν οργανικά κομμάτια της επιστήμης απονομιμοποιήθηκαν αργότερα και σπρώχθηκαν στο περιθώριο της επιστήμης… Η σημερινή έννοια που δίνουμε στην επιστήμη μπορεί να σταθεί σοβαρό εμπόδιο στην κατανόηση του ό,τι συνέβαινε στα εργαστήρια, τα λαϊκά μαθήματα και στις δημοφιλείς εμπορικές εκθέσεις… Ο μεθοδολογικός κανόνας – του να ξεχάσει κανείς τη σημερινή οπτική πάνω στο τι είναι ή τι θα πρέπει να είναι η επιστήμη – ισχύει ιδιαίτερα όσον αφορά στις επιστημονικές δραστηριότητες του 18^{ου} αιώνα. Προκειμένου να συλλάβουμε την ιδιαιτερότητά τους, μια πλουραλιστική έννοια, όπως αυτή των 'διαφόρων ειδών επιστημονικής κουλτούρας' (scientific cultures), είναι ίσως πιο κατάλληλη από την συνηθισμένη μονολιθική και τυποποιημένη ιδέα που έχουμε σήμερα για την επιστήμη» (Bensaude-Vincent & Blondel 2008 σελ.1-2[13]).

Τον 18ο αιώνα, δεν υπάρχουν πολλά σχολεία. Στην Ευρώπη, αλλά και σε ορισμένες περιπτώσεις στην Αμερική και τον υπόλοιπο κόσμο, την εκπαίδευση του ευρέως κοινού πάνω στις φυσικές επιστήμες, την έχουν «αναλάβει» εκατοντάδες εισηγητές δημοσίων διαλέξεων που παρουσιάζουν πειράματα για το κοινό (public lecturers/public demonstrators), συνήθως επ' αμοιβή, παρέχοντας ταυτόχρονα επιστημονική γνώση και θέαμα (Arabatzis 2005[17]). Η ιστορία της επιστήμης άργησε να ασχοληθεί μαζί τους, γιατί το χαρακτηριστικό τους ήταν ότι περνούσαν από την ιστορία χωρίς να αφήνουν ίχνη. Ψάχνοντας στα τοπικά αρχεία οι ιστορικοί έχουν σήμερα ανακαλύψει αρκετούς απ' αυτούς να ταξιδεύουν σε όλη την Ευρώπη, να διασχίζουν εθνικά σύνορα και σε ορισμένες περιπτώσεις να προσαρμόζουν τα ονόματά τους στην τοπική γλώσσα. Χαρακτηριστικό του τρόπου αυτού διάδοσης της επιστημονικής γνώσης είναι η ευρύτητα των στόχων και του κοινού που συμμετέχει σ' αυτές. Τα «μαθήματα» γίνονται σε δημόσιους χώρους, όπως πλατείες και δρόμους, ή ιδιωτικούς, όπως σαλόνια, ακαδημίες, εκπαιδευτικές ενώσεις, αυλές προυχόντων και βασιλέων. Αποτελούν ίσως τον μοναδικό τρόπο να ενημερωθεί κανείς επαγγελματικά, αν είναι γιατρός ή φαρμακοποιός. Αποτελούν ταυτόχρονα και τρόπο διασκέδασης, γιατί συχνά οι εισηγητές των διαλέξεων σκηνοθετούν τις παραστάσεις τους ως θεατρικά δρώμενα. Παράλληλα, αποτελούν κλειδί για την εμπορική διακίνηση των επιστημονικών οργάνων, τα οποία συχνά πωλούνται στο τέλος των διαλέξεων. Ακόμα αποτελούν αφορμή και δίνουν έμπνευση για βελτιώσεις των οργάνων, παραλλαγές των πειραμάτων και νέες επινοήσεις. Η ακαδημαϊκή «αυστηρότητα» δεν είναι ίδιον των περισσότερων από αυτές τις παρουσιάσεις. Οι εισηγητές μπορεί να είναι διακεκριμένοι γνώστες της νεογέννητης φυσικής επιστήμης, αλλά και ερασιτέχνες (Bensaude-Vincent & Blondel 2008[13]).

Ο Jean-Antoine Nollet, ένας από τους κορυφαίους εισηγητές δημοσίων μαθημάτων πειραματικής φυσικής, που ο ίδιος συνδυάζει την ικανότητα να επινοεί θεαματικά πειράματα με την ακαδημαϊκή σκέψη, εκμυστηρεύεται σε γράμμα του στον Φραγκλίνο (Nollet 1753, Part 1 σελ.29[90]) ότι θεωρεί ότι ο ηλεκτρισμός γίνεται πιο ενδιαφέρων, όσο περισσότεροι ερασιτέχνες εμπλέκονται στη διάδοσή του, ακόμα κι αν τα πειράματά τους αποσκοπούν στην πρόκληση θαυμασμού και εντυπωσιασμού (Bensaude-Vincent & Blondel 2008 σελ. 6[13]). Ο ίδιος ο Φραγκλίνος περιγράφει λίγες δεκαετίες αργότερα σε γράμμα του στον John Lining (Franklin 1775[91]) την – πολύ χαρακτηριστική για την εποχή – περίπτωση ενός πλανόδιου οργανωτή ηλεκτρικών θεαμάτων (itinerant demonstrator), «ιερέα ελληνικής εκκλησίας», από την Τρανσυλβανία, με το όνομα Domien που:

> «ταξίδεψε μέσω Γερμανίας, Γαλλίας, Ολλανδίας στην Αγγλία, έμεινε κάποιον καιρό στην Οξφόρδη και από την Αγγλία έφτασε στο Μέρυλαντ, μετά πήγε στην Νέα Αγγλία, επέστρεψε στη Φιλαδέλφεια, από εκεί ταξίδεψε διαμέσου του Μέρυλαντ στην Βιρτζίνια και στη Βόρειο Καρολίνα... Μου έγραψε από την Τσαρλς Τάουν ότι διένυσε οκτακόσια μίλια με τη βοήθεια του ηλεκτρισμού που του επέτρεψε να φάει, να πιεί και να ντυθεί. Το τελευταίο του γράμμα, σε μένα, νομίζω πως ήταν από την Τζαμάικα, όπου με παρακαλεί να του στείλω τους γυάλινους σωλήνες … στην Αβάνα, από όπου προσδοκούσε να βρει πέρασμα για την Βέρα Κρουζ. Σχεδίαζε να ταξιδέψει διαμέσου του Μεξικού στο Ακαπούλκο, από εκεί να βρει πέρασμα για την Μανίλα, και έτσι μέσω Κίνας, Ινδίας, Περσίας και Τουρκίας να επιστρέψει στη

χώρα του, έχοντας κατά νου να βγάζει τα προς το ζην από τον ηλεκτρισμό…» (Franklin 1775[91], Bertucci 2008 σελ.75[92], Dvoichenko-Markov 1955 σελ.383-384[93]).

Σύμφωνα με τις Bensaude-Vincent & Blondel, η παραπάνω διαδικασία διάδοσης της επιστημονικής γνώσης έχει – σε αντίθεση με τη διαδικασία «επιτόπου μαρτυρίας» στη Royal Society της δεκαετίας του 1660, η οποία είναι κοινωνικά προσδιορισμένη (Shapin 1984[12]) –το χαρακτηριστικό ότι διαρρηγνύει τα όρια μεταξύ των κοινωνικών τάξεων, καθώς δίπλα-δίπλα στα επιστημονικά θεάματα μπορούν να βρεθούν ακαδημαϊκοί και απλοί πολίτες, κληρικοί, έμποροι και προύχοντες. Παράλληλα, αποτελεί για κάποιους, όπως ο Nollet, τρόπο ανάδειξης στην ακαδημαϊκή σφαίρα. Τέλος, αποτελεί ισχυρό μέσο για την καθιέρωση της πειραματικής επιστήμης, η οποία κερδίζει έδαφος, τόσο ανάμεσα στους απλούς πολίτες, όσο και στους φιλοσόφους[cxxii] (Bensaude-Vincent & Blondel 2008[13]).

Σε μια σχετικά πιο «τυπικά εκπαιδευτική» ατμόσφαιρα, όπως την περιγράφει ο Millburn (Millburn 1983[94]) στην Αγγλία του 1760, οι Benjamin Martin (1704-1782) και James Ferguson (1710-1776), μεγαλωμένοι, αμφότεροι, στην αγροτική Μ. Βρετανία, έχουν ευρεία μόρφωση. Διδάσκουν την πειραματική επιστήμη σε διάφορες πόλεις της Αγγλίας ως πλανόδιοι δάσκαλοι (itinerant lecturers), με τη βοήθεια φορητών εργαστηρίων. Από τις δεκαετίες 1730 και 1740, αντίστοιχα, διδάσκουν και στο Λονδίνο στα σαλόνια των σπιτιών τους που, συμπτωματικά, βρίσκονται στον ίδιο δρόμο. Δημοσίευμα της εφημερίδας *Gazetter* το φθινόπωρο του 1772 αναφέρει:

> «Το μάθημα του κου MARTIN απόψε το απόγευμα στις 6.30 το απόγευμα, στο σπίτι του στην οδό Fleet, αρ.17, περιλαμβάνει τα βασικά πειράματα πάνω στον Ηλεκτρισμό που εκτελούνται με τη βοήθεια πολλών επιστημονικών οργάνων, ειδικά προσαρμοσμένων, ώστε να αποκαλύπτεται η χρησιμότητα του ηλεκτρισμού στη Φυσική Φιλοσοφία και στην Ιατρική Τέχνη… Η επόμενη διάλεξη, την Παρασκευή, θα είναι πάνω στη φύση και τις ιδιότητες του Αέρα, τη χρήση των Βαρομέτρων, Θερμομέτρων, Υγρομέτρων, Ανεμιστήρων, Σιντριβανιών, Ατμομηχανών, Μηχανισμών της Αντλίας Κενού κλπ…» (Millburn 1983[94]).

Η *Daily Advertiser* της 16ης Νοεμβρίου του 1772 δημοσιεύει:

> «Ο κύριος Ferguson, στην πλατεία Bolt, οδό Fleet, αρ. 4, τελευταίο σπίτι στη δεξιά πλευρά, θα ξεκινήσει κύκλο διαλέξεων πάνω στην ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ, στις επτά σήμερα το απόγευμα, και θα συνεχίζει για κάθε απόγευμα (εκτός Κυριακής) μέχρι να ολοκληρωθεί ο κύκλος μαθημάτων που αποτελείται από 12 διαλέξεις πάνω στη Μηχανική, Υδροστατική, Αερομηχανική, Ηλεκτρισμό και Αστρονομία. Κόστος κάθε διάλεξης: 1 Σελίνι το άτομο. Δεν ανταλλάσσεται χρυσός» (Millburn 1983[94]).

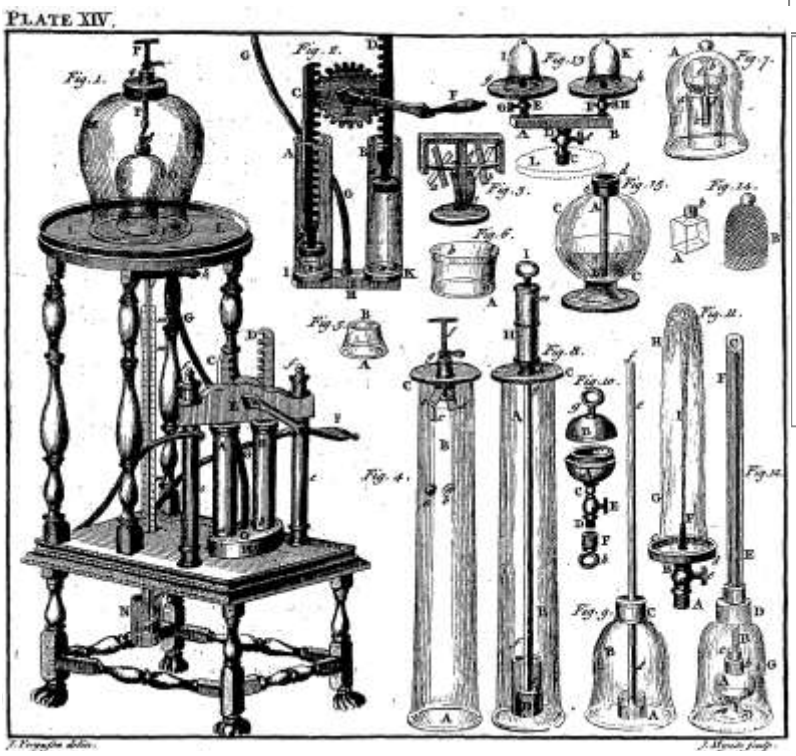
Η ίδια εφημερίδα την 1η Δεκεμβρίου ανακοινώνει:

> «Ο κύριος Ferguson… θα ξεκινήσει διάλεξη στις επτά το απόγευμα, απόψε, πάνω στη φύση και τις ιδιότητες του ΑΕΡΑ, η οποία θα περιλαμβάνει ποικιλία βασικών πειραμάτων πάνω στην αντλία κενού. Και αύριο την ίδια ώρα, θα ξεκινήσει άλλη διάλεξη πάνω στο ίδιο θέμα, γιατί δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν όλα τα πειράματα το ίδιο απόγευμα» (Millburn 1983[94]).

[cxxii] Οι Bensaude-Vincent & Blondel αναφέρουν το παράδειγμα των φιλοσόφων Diderot και του Voltaire που τάσσονται υπέρ του εμπειρικού τρόπου κατάκτησης της γνώσης, θεωρώντας την πειραματική επιστήμη ανώτερη από τον θεωρητικό στοχασμό που δεν τεκμηριώνεται με όργανα και πειράματα (Bensaude-Vincent & Blondel 2008, pp.6-7[13]).

Και ο Benjamin Martin και ο James Ferguson είναι συγγραφείς εγχειριδίων φυσικής φιλοσοφίας, τα οποία κυκλοφορούν ευρύτατα και μεταφράζονται σε διάφορες γλώσσες. Το εγχειρίδιο του Benjamin Martin του 1735 (Martin 1735[95]), γραμμένο με τη μορφή διαλόγων μεταφράζεται σε τουλάχιστον τέσσερεις γλώσσες, μεταξύ των οποίων Γαλλικά, Ρωσικά και Ελληνικά (Petrou 2006[96]). Οι πρώτοι δύο τόμοι του μεταγενέστερου δεκατετράτομου έργου, με τίτλο: *The General Magazine of Arts*, που εκδίδεται σε μηνιαία τεύχη, συγκεντρώνουν θέματα φυσικής και αστρονομίας, γραμμένα επίσης υπό μορφή διαλόγων, απευθυνόμενων στο ευρύ κοινό (Martin 1755-1765[97]). Ο Brewster που διασκευάζει και δημοσιεύει, στις ΗΠΑ, το 1806, εγχειρίδιο του Ferguson με επιλογή πειραματικών διαλέξεων το οποίο και στην Αγγλία γνωρίζει πολλαπλές εκδόσεις (Ferguson 1760[98]), το σχολιάζει ως το μοναδικό βιβλίο που είχε κυκλοφορήσει σε τόσο μεγάλη έκταση και είχε διαβαστεί από τόσο μεγάλο εύρος κοινού (Matthews 1994 σελ.12[99]).

Εικόνα 2.1. Από το βιβλίο του Benjamin Martin: (α) η νέα ηλεκτρική μηχανή, (β) φορητή αεραντλία (Martin 1755-1765, Volume I, plates XXV &XXX[97]).



Εικόνα 2.2. Από το βιβλίο του James Ferguson (Ferguson 1760, plate XIV[98])

Οι δημόσιες διαλέξεις και τα θεάματα πάνω στον ηλεκτρισμό και άλλα θέματα φυσικής φιλοσοφίας έμειναν στη μόδα για περισσότερο από έναν αιώνα. Στο Whipple Museum of the History of Science of Cambridge, τον Ιανουάριο του 2010 υπήρχε έκθεση με θέμα «η βικτωριανή σάλα»[cxxiii]. Ο επισκέπτης καλείτο να περιεργαστεί το σαλόνι μιας οικογένειας του 19ου αιώνα που ενδιαφερόταν για την επιστήμη. Ανάμεσα στα ράφια της βιβλιοθήκης υπήρχε αφίσα επιστημονικού θεάματος. Η αφίσα καλούσε το κοινό, μικρούς και μεγάλους στην παρουσίαση θεμάτων της «μοντέρνας φυσικής» – του «ηλεκτρισμού», του «γαλβανισμού», του «ηλεκτρο-μαγνητισμού» και της «ρευστομηχανικής» με πειράματα. Ο κ. Richardson θα παρουσίαζε επίσης ένα είδος επαγωγικού πηνίου που μπορούσε να προκαλέσει «500 ηλεκτρικούς σπινθήρες το δευτερόλεπτο» και ακόμα το υποξείδιο του αζώτου ή «ιλαρυντικό αέριο» (laughing gas). Οι διαλέξεις θα παραδίδονταν στις 8.00 το βράδυ από 27 μέχρι 30 Ιανουαρίου του 1846 στο Guild Hall στο Huddersfield. Τα παιδιά θα πλήρωναν μισό εισιτήριο.

Εικόνα 2.3. Πρόσκληση σε διάλεξη Φυσικής Φιλοσοφίας

2.2. Θεσμοποιώντας τη μοντέρνα επιστήμη και τη διδασκαλία της

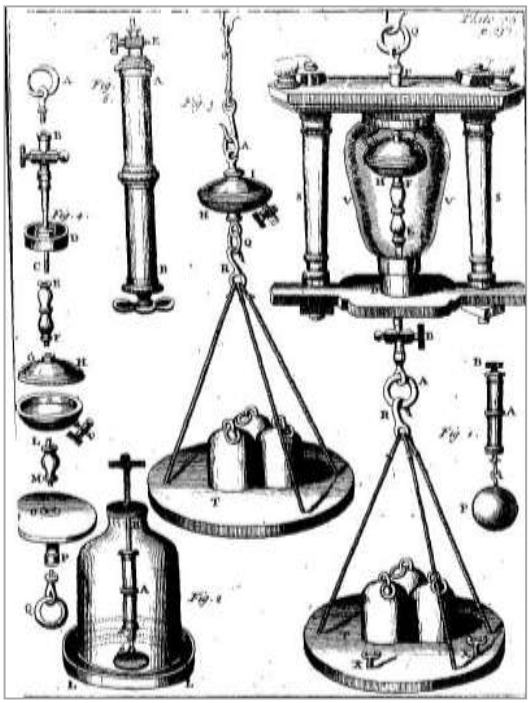
Σύμφωνα με τον McClellan (Mc Clellan 2008[100]), ο οργανωτικός χαρακτήρας της επιστήμης τον 18ο αιώνα αναπτύχθηκε ως αποτέλεσμα της «οργανωτικής επανάστασης» που αποτέλεσε μέρος της επιστημονικής επανάστασης του 17ου αιώνα. Χαρακτηριστικό της ήταν η δημιουργία χώρων επιστημονικής έρευνας έξω από το Αριστοτελικό μεσαιωνικό Πανεπιστήμιο. Η πατρωνία και οι επιστημονικές ακαδημίες αποτελούσαν τις πρώτες μορφές θεσμικής υπόστασης της επιστήμης έξω από τα Πανεπιστήμια. Τον 18ο αιώνα, οι ακαδημίες και οι επιστημονικές ενώσεις κερδίζουν σε κύρος, αποκτούν σχέση με το κράτος ή με τοπικούς κυβερνητικούς θεσμούς, και διαδίδονται σε πολλές χώρες και πόλεις. Την Accademia dei Lincei (Ρώμη 1603-1630) και την Accademia del Cimento (Φλωρεντία 1657-1667) διαδέχθηκε η ίδρυση επιστημονικών εταιρειών ή ακαδημιών στο Λονδίνο (1662), στο Παρίσι (1666), στο Βερολίνο (1700) στην Αγία Πετρούπολη (1724), στη Στοκχόλμη (1739), στο Μονπελιέ (1706), στη Μπολόνια (1714), στη Λυών (1724), στη Ντιζόν (1725/1740), στην Ουψάλα (1728), στην Κοπεγχάγη (1742), στο Γκέντιγκεν (1752), στο Τορίνο (1757), στο Μόναχο (1759), στο Μανχάιμ (1763), στη Βαρκελώνη (1764), στις Βρυξέλλες (1769), στην Πάδουα (1779), στο Εδιμβούργο (1783), στο Δουβλίνο (1785), στο Τρόντχαϊμ (1760), στη Νάπολη (1778), στη

[cxxiii] The Victorian Parlour, προσωπική επίσκεψη 2010.

Λισσαβώνα (1779), στη Φιλαδέλφεια (1768), στο Ρίο ντε Τζανέιρο (1770), στη Βιρτζίνια (1772, 1786), στη Νέα Υόρκη (1784), στο Κονέκτικατ (1786), στο Κεντάκι (1787) (Mc Clellan 2008[100]). Σε αντίθεση με τα Πανεπιστήμια, οι επιστημονικές ακαδημίες και ενώσεις δεν είχαν ως πρωταρχικό στόχο την τυπική διδασκαλία της επιστήμης. Εκτός από την πειραματική έρευνα, η οποία ανακοινωνόταν διαμέσου παρουσιάσεων στο κοινό και δημοσιεύσεων που οργάνωναν, οι ακαδημίες επενέβαιναν και με άλλους τρόπους στη δημόσια ζωή. Για παράδειγμα, η Ακαδημία του Παρισιού εξέταζε ζητήματα πατέντας, ενώ η Royal Society του Λονδίνου παρείχε εξειδικευμένες συμβουλές στο κράτος για την προστασία των δημοσίων κτιρίων από τους κεραυνούς (Mc Clellan 2008[100]).

Την ίδια εποχή, η έντυπη μορφή επικοινωνίας της επιστημονικής γνώσης ανθίζει. Η Παρισινή Ακαδημία εκδίδει τα *Memoires (*1ο τεύχος *1699),* η Royal Society τα *Philosophical Transactions (*1ο τεύχος *1665).* Ιδρύονται ανεξάρτητες περιοδικές εκδόσεις όπως η γαλλική *Journal des Sçavants (*1ο τεύχος *1665),* η Ιησουίτικη έκδοση *Memoires de Trévoux (*1ο τεύχος *1701),* η περιοδική έκδοση του Pierre Bayle, *Memoires de la Republique des Lettres (*1ο τεύχος *1684)* και εκείνη του Leibnitz *Acta Eruditorum (*1ο τεύχος *1682).* Οι ακαδημίες συστηματικά έστελναν τα έντυπα που εξέδιδαν στις άλλες ακαδημίες και μεριμνούσαν για τη μετάφραση των επιστημονικών πληροφοριών. Ο χαρακτήρας των επιστημονικών περιοδικών εκδόσεων μέχρι το τέλος σχεδόν του 18ου αιώνα ήταν γενικός, ενώ από τότε και μετά το στυλ τους αλλάζει και αρχίζουν να εμφανίζουν εξειδίκευση που αφορά στους διαφορετικούς επιστημονικούς κλάδους που έχουν στο μεταξύ διαμορφωθεί. Ανάμεσα στις νεώτερες εκδόσεις είναι η γαλλική περιοδική έκδοση *Annales de Chimie (*1ο τεύχος *1789)* και οι γερμανικές *Chemische Journal (*1ο τεύχος *1778*) και *Annalen der Physik (*1ο τεύχος *1799)* (Mc Clellan 2008[100]).

Παρόλο που τα ηνία της επιστημονικής έρευνας και εξέλιξης δεν τα κρατούσαν κατά τον 18ο αιώνα τα πανεπιστήμια, αυτά εξακολουθούσαν να αποτελούν το βασικό θεσμό για τη διδασκαλία της επιστήμης και «πύλη» για την κατανόηση της σύγχρονης επιστήμης μέσα από την πρόσβαση στις επιστημονικές ιστορικές πηγές. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα Πανεπιστήμια προσάρμοζαν τα προγράμματά τους σύμφωνα με τις νεώτερες επιστημονικές εξελίξεις. Χάρη στον 's Gravesande, η διδασκαλία της επιστήμης στο Πανεπιστήμιο του Leyden γινόταν πειραματικά με βάση τις Νευτώνειες αρχές, ήδη από τις αρχές του 18ου αιώνα. Στη Γαλλία επίσης, το Collège Royal πραγματοποίησε σειρές μεταρρυθμίσεων προκειμένου να γίνει φορέας των τελευταίων επιστημονικών εξελίξεων.



Εικόνα.2.4: Από το βιβλίο του Willem Jacob's Gravesande (s' Gravesande 1737[101])

Σε πολλές περιπτώσεις, όπως στην Μπολόνια και στην Αγία Πετρούπολη, οι ακαδημίες ενσωματώνονταν στα Πανεπιστήμια, ενώ σε γενικές γραμμές οι ακαδημίες και επιστημονικές ενώσεις λειτουργούσαν συμπληρωματικά προς τα Πανεπιστήμια και όχι ανταγωνιστικά (McClellan 2008[100]). Προς το τέλος του 18ου αιώνα, το Πανεπιστημιακό τοπίο έχει αλλάξει. Σε πολλά τμήματα η διδασκαλία των επιστημών γίνεται με πειραματικό τρόπο και σύμφωνα με τη Νευτώνεια Φυσική, ενώ συλλογές οργάνων έχουν δημιουργηθεί για την υποστήριξή της στην Ουτρέχτη, την Παβία, την Λισσαβώνα, την Πάδουα (Lourenco 2005 σελ.57-59[102], Brockliss 2008[103]).

2.3. Η εισαγωγή της διδασκαλίας της επιστήμης στον Ελληνικό κόσμο του 18ου αιώνα

Το κλίμα του Ευρωπαϊκού διαφωτισμού δεν άφησε ανεπηρέαστο τον Ελληνικό κόσμο, ο οποίος βρισκόταν σε μια πολύ διαφορετική και πολύ ιδιαίτερη πολιτισμική κατάσταση. Το παιχνιδιάρικο πνεύμα των πειραμάτων για το κοινό και το κοσμοπολίτικο ύφος των εκθέσεων επιστημονικών οργάνων του 18ου αιώνα, δεν μεταφέρεται στην Τουρκοκρατούμενη Ελλάδα, η οποία, εξάλλου, δεν συμμετέχει καθόλου στις ερευνητικές επιστημονικές εξελίξεις του 17ου και 18ου αιώνα. Ωστόσο, η επιστήμη συγκεντρώνει το ενδιαφέρον μιας πολύ αξιόλογης γενιάς ελλήνων λογίων που ζουν από το δεύτερο ήμισυ του 18ου αιώνα μέχρι τα μέσα του 19ου. Στην πλειονότητά τους έχουν βαθιά γνώση της ελληνικής γραμματείας, μιλούν πολλές ευρωπαϊκές γλώσσες και κινούνται άνετα στον φυσικό και πολιτισμικό ευρωπαϊκό χώρο, έχοντας σπουδάσει στα καλύτερα πανεπιστήμια της εποχής, με την οικονομική υποστήριξη των ακμαζουσών, την περίοδο αυτή, ελληνικών κοινοτήτων. Προσβλέπουν στο να σμιλέψουν μια νεοελληνική πολιτισμική ταυτότητα που να βασίζεται στην συνείδηση της συμβολής που ιστορικά είχαν τα ελληνικά γράμματα στη διαμόρφωση του μοντέρνου ευρωπαϊκού λόγου και στην αίσθηση ότι οι Έλληνες μπορούν, ως φυσικοί κληρονόμοι της αρχαίας ελληνικής γραμματείας, να παρακολουθήσουν τις νεώτερες εξελίξεις, να συμπαραταχθούν με αυτές και να ενσωματωθούν στο σύγχρονο ευρωπαϊκό πνεύμα. Θεωρούν ότι η αφύπνιση μιας τέτοιας εθνικής συνείδησης θα μπορούσε να ξαναδώσει στον ελληνικό κόσμο την αυτονομία και την ελευθερία του (Karas & Vlahakis 2004, σελ.13-38[15], Σπανδάγος κ.ά. 2008 σελ.15-18[104]). Έχοντας ως στόχο να μορφώσουν επιστημονικά τους Έλληνες, γράφουν και μεταφράζουν βιβλία, υπενθυμίζοντας πως η επιστήμη έχει καταγωγή ελληνική. Σύμφωνα με τον ιστορικό Παναγιώτη Κονδύλη, ο ελληνικός διαφωτισμός δεν δημιουργεί πρωτότυπες φιλοσοφικές ιδέες, ούτε αντίστοιχο επιστημονικό έργο, αλλά αντανακλά και διαχέει στον ελληνικό χώρο τις ιδέες του αντίστοιχου ευρωπαϊκού κινήματος (Κονδύλης 2008 σελ.9-14[105]). Έτσι, οι λόγιοι της εποχής, παρόλο που στέκονται στα πνευματικά θεμέλια της νεώτερης Ελλάδας, παραμένουν αόρατοι στη διεθνή βιβλιογραφία της ευρωπαϊκής ιστορίας και φιλοσοφίας των επιστημών, κατέχοντας, εκεί, τη θέση απλών δασκάλων. Οι ζωές τους, που συμπυκνώνουν την αποφασιστική βούληση μιας γενιάς να θέσει τις ιδέες της σε πράξη,

αποδεικνύονται ικανές να αλλάξουν τον ρου της ιστορίας και καταναλώνονται στις περισσότερες περιπτώσεις τραγικά μέσα στη δίνη της.

Ο Ρήγας Φεραίος, το 1790, στο βιβλίο του *Φυσικής Απάνθισμα*, μεταφέρει, χρησιμοποιώντας απλή γλώσσα και παραδείγματα από την καθημερινή ζωή, την «τελευταία λέξη» της επιστήμης πάνω στη σελήνη, τα αστέρια, τους πλανήτες, τη γη και την κίνησή της, τον ήλιο, τον αέρα, το κενό και την ατμοσφαιρική πίεση, το νερό ως ουσία και το νερό ως συστατικό της επιφάνειας της γης, τις παλίρροιες, το «πυρ» που νοείται και ως ηλεκτρισμός και ως θερμότητα, τα μέταλλα, τον μαγνήτη, τα καιρικά φαινόμενα, την αστραπή, τη βροντή, τα ζώα, τα φυτά, τον άνθρωπο. Ο στόχος του συγγραφέα αποτυπώνεται στα παρακάτω λόγια:

> «Κάθε νουνεχὴς φιλόπατρις λυπεῖται βλέπωντας τοὺς δυστυχεῖς ἀπογόνους των εὐκλεεστάτων Ἀριστοτέλους και Πλάτωνος, ἤ πάντη γεγυμνωμένους ἀπὸ τὴν ἰδέαν τῆς Φιλοσοφίας, ἤ αφ΄οὗ ἐγήρασαν ἐπικεκυφότες εἰς μόνα τὰ σπάνια της Ἑλληνικῆς διαλέκτου βιβλία, νὰ ἐκαρποφορήθησαν πολλὰ ὀλίγον ἢ παντελῶς. Ὤντας φύσει φιλλέλην, δὲν εὐχαριστήθην μόνον ἁπλώς νὰ θρηνήσω τὴν κατάστασιν τοῦ γένους μου, ἀλλὰ καὶ συνδρομὴν νὰ ἐπιφέρω ἐπάσχισα ὅσον τὸ ἐπ᾽ ἐμοί, ἀπανθίζοντας ἀπό τε τῆς Γερμανικῆς καὶ Γαλλικῆς γλώσσης τὰ οὐσιωδέστερα τῆς Φυσικῆς ἱστορίας, τὰ οποῖα διὰ νὰ γένουν πλέον εὔληπτα, συνέπονται κατ᾽ ἐρωταπόκρισιν δασκάλου καὶ μαθητοῦ ἕως εἰς ἕνα μέρος... Ὅθεν ἀφορῶντας ὁ σκοπὸς μου εἰς τὸ νὰ ὠφελήσω τὸ γένος μου, καὶ ὄχι πρὸς ἐπίδειξιν νὰ ἐπισωρεύσω λέξεις εἰς αὐτὸν μου τὸ ἀπάνθισμα, ἔπρεπε νὰ τὸ ἐκθέσω μὲ σαφήνειαν ὅσον το δυνατὸν ὁποῦ νὰ τὸ καταλάβουν ὅλοι, καὶ νὰ ἀποκτήσουν μίαν παραμικρὰν ἰδέαν τῆς ἀκαταλήπτου Φυσικῆς» (Ρήγας Βελεστινλής 1790 σελ.στ'-η'[106]).

Από το 1700 μέχρι και τις δύο πρώτες δεκαετίες του 19ου αιώνα, εκδίδονται περισσότερα από 160 ελληνικά επιστημονικά βιβλία, και, παράλληλα, συγγράφονται περισσότερα από 1400 χειρόγραφα. Η εκδοτική δραστηριότητα που σχετίζεται με τις φυσικές επιστήμες παρουσιάζει αυξητική τάση. Έτσι, τις δύο πρώτες δεκαετίες του 19ου αιώνα, αμέσως πριν το ξέσπασμα της Ελληνικής Επανάστασης, εκδίδονται 108 ελληνικά επιστημονικά βιβλία, 54 από τα οποία αφορούν στις φυσικές επιστήμες. Παράλληλα, συγγράφονται 310 επιστημονικά χειρόγραφα, από τα οποία τα 158 αφορούν στις φυσικές επιστήμες (Karas & Vlahakis 2004 σελ. 15[15]). Τα σημαντικότερα γαλλικά, γερμανικά, αγγλικά και ιταλικά επιστημονικά βιβλία μεταφράζονται στα ελληνικά χωρίς καθυστέρηση και παράλληλα με τη μετάφρασή τους στις άλλες γλώσσες. Οι Γιάννης Καράς και Γεώργιος Βλαχάκης ενδεικτικά αναφέρουν ότι η απόδοση του έργου *Ομιλίαι περί πληθύος κόσμων* (Fontenelle 1741[107]) στα ελληνικά από τον Κοδρικά (Κοδρικάς 1794[108]) γίνεται παράλληλα με τη μετάφρασή του στα αγγλικά και στα ιταλικά. Παρομοίως, το έργο *Χημική Φιλοσοφία* (Fourcroy 1792[109]), που αποδίδεται στα ελληνικά από τον Θεοδόσιο Ηλιάδη το 1802 (Ηλιάδης 1802[110]), επανεκδίδεται στη συνέχεια στη Γαλλία, ενώ μεταφράζεται σε δέκα ακόμα ευρωπαϊκές γλώσσες (Karas & Vlahakis 2004, p18-19[15]). Σύμφωνα με την Γεωργία Πέτρου, από 24 βιβλία φυσικής φιλοσοφίας που εκδίδονται στο διάστημα 1700-1821, τα 5 (20,8%) αποτελούν μεταφράσεις, τα 16 (66,7%) συνθέσεις και αποδόσεις ξενόγλωσσων βιβλίων στα ελληνικά και τα 3 (12,5%) αυθεντικά κείμενα (Petrou 2006[96]).

Η έκδοση του περιοδικού *Ερμής ο Λόγιος* το 1811 (Ερμής ο Λόγιος 1811-1821[111]) αποτελεί ακόμη ένα τεκμήριο του ενδιαφέροντος των Ελλήνων λογίων, να ποτιστεί ο Ελληνικός κόσμος με το σύγχρονο Ευρωπαϊκό πνεύμα και, παράλληλα, να εκφράσει τη δική του πολιτισμική και εκπαιδευτική

ταυτότητα. Εμπνευστής του εντύπου θεωρείται ο Αδαμάντιος Κοραής. Το περιοδικό εκδίδεται στη Βιέννη, από τον Άνθιμο Γαζή, αρχικά, και, αργότερα, από τους Θεόκλητο Φαρμακίδη και Κωνσταντίνο Κοκκινάκη (Φραγκίσκος 1988[112]). Οι σελίδες του είναι απόλυτα ενημερωμένες για τις πρόσφατες επιστημονικές εξελίξεις, και, παράλληλα, αναφέρονται σε σημαντικά πρόσωπα της ιστορίας των επιστημών. Ο αναγνώστης συναντά αναφορές στους Pico de la Mirandolla, Schott, Gilbert, von Guericke, στους Kepler, Galileo, Tycho Brahe, Cassini, Herschel, Huygens, στους Descartes, Bacon, Hobbes, στους Boyle, Hooke, Newton, Leibnitz, Franklin, Nollet, Musschenbroek, s'Gravesande, Volta, Coulomb, Oested, Ampère, Benjamin Thomson, Laplace, Papin, Bernoulli, Celsius, Leslie, Fresnel, Euler, στους Paracelsus, Libavius, Lémery, van Helmont, Stahl, Glauber, Geoffroy, Lavoisier, Dalton, Davy, Fourcroy, Gay Lussac, Wollaston, Berthollet, Berzelius, Thenard, στον Fontenelle, στους Ferguson και Martin Benjamin (Κέντρο Νεοελληνικών Ερευνών 1976[113]). Ο εκδότης, κοινοποιεί στο πρώτο τεύχος της έκδοσης τον στόχο του περιοδικού, που είναι:

> «…νὰ δίδῃ εἰδήσεις φιλολογικὰς, ἀναφερομένας κυρίως εἰς τὰς γνώσεις τῶν Ἐπιστημῶν καὶ Μαθήσεων· εἰς τὰς παρατηρήσεις τῆς Ἑλληνικῆς Γλώσσης· παραλληλίαν τῶν φράσεων καὶ ἰδιωμάτων τῆς νεωτέρας μετά τῆς παλαιάς· καὶ εἰς τὸν καθαρισμὸν αυτὴς τῆς νεωτέρας. Εἰς τὰς εἰδήσεις τῶν νεοφανῶν βιβλίων Ἑλληνικῶν τε καὶ ἀγγλόγλωσσων, ὅσα ἔχουσι σχέσιν τινά πρὸς τὴν Ἑλληνικήν φιλολογίαν· εἰς τὰς νέας ἐφευρέσεις τῶν Τεχνῶν και Ἐπιστημῶν· εἰς τὴν Ἀρχαιολογίαν, Γεωγραφίαν, Ἱστορίαν, Χρονολογίαν, Οικονομικὴν, καὶ εἰς ἄλλα τοιαῦτα ὠφέλιμα συντείνοντα εἰς τὴν πρόοδον τῶν μαθήσεων…» (Ερμής ο Λόγιος 1-1-1811 σελ.3[111]).

και απευθύνει έκκληση στους απανταχού ευρισκόμενους Έλληνες λογίους να συνδράμουν την προσπάθεια:

> «Παρακαλοῦνται λοιπὸν ὅλοι οἱ Ἐλλόγιμοι τοῦ γένους ὅσοι κατὰ τὴν Ἑλλάδα διατρίβουσιν, εἰς τὸ νὰ εἰδοποιῶσιν αμέσως εἰς ἐμέ τὰς παρατηρήσεις των, τὰς ἀνηκοῦσας δηλαδή εἰς τὴν Γεωγραφίαν, εἰς τὴν Ἀστρονομίαν, εἰς τὴν Φυσικὴν Ιστορίαν, εἰς τὴν Ἀρχαιολογίαν, εἰς τὰς παλαιὰς Ἐπιγραφάς, τὰ μόνα σεβάσμια λείψανα τῆς ἀρχαιότητος· εἰς τὰς θέσεις τῶν παλαιῶν πόλεων· εἰς τὰ νομίσματα· εἰς τὰ ἐν διφθέραις χειρόγραφα, καὶ εἰς πᾶν ἄλλό τι τοιοῦτον πρὸς τὰς μαθήσεις ἀναφερόμενον, αἱ ὁποίαι θέλει σημειοῦνται εἰς τὸν παρόντα Λόγιον Ἑρμῆν μὲ τὸ ὄνομα καὶ μὲ τὰς ἰδίας λέξεις τοῦ παρατηρητοῦ…» (Ερμής ο Λόγιος 1-1-1811 σελ.4[111]).

Την ίδια περίοδο οργανώνονται θεσμικά νέα Σχολεία που ιδρύονται σε πολλές περιοχές του Ελληνικού κόσμου και αποτελούν τους φορείς διάδοσης του ελληνικού διαφωτισμού. Χαρακτηριστικό τους είναι ότι συνδιοικούνται από τις κοινότητες και το Πατριαρχείο και ενσωματώνουν στα προγράμματα σπουδών τις φυσικές επιστήμες που έλλειπαν από τα σχολεία της προηγούμενης περιόδου, όπου, κυρίως, διδάσκονταν τα αρχαία ελληνικά και εκκλησιαστικά κείμενα. Ο Jowett, μέλος του St John's College του Cambridge και της Αγγλικής Ιεραποστολής, που επισκέπτεται τη Χίο το 1919, περιγράφει το θεσμικό καθεστώς του Σχολείου και των Ελληνικών Σχολείων γενικότερα:

> «Χίος, 29 Μαΐου 1818 – Η Σχολή είναι σχετικά ανεξάρτητη από την Κυβέρνηση. Υποστηρίζεται ολοκληρωτικά από τους εμπόρους της Χίου. Αυτοί σε οποιαδήποτε γωνιά της Ευρώπης και να βρίσκονται, στέλνουν το μερίδιο της συνεισφοράς τους. Η προσφορά αυτή είναι προαιρετική, αλλά είναι ένα μεγάλο ζήτημα τιμής μεταξύ τους. Οι πόροι προκύπτουν από ενός είδους εθελοντική φορολόγηση

των κερδών τους στο εμπόριο. Φαίνεται ότι όλα τα Σχολεία στην Ελλάδα υποστηρίζονται από εθελοντικές συνεισφορές και είναι ελεύθερα. Κάθε χρόνο ορίζονται τέσσερεις Επιθεωρητές, οι οποίοι διαχειρίζονται τα κεφάλαια, τις οποιεσδήποτε βελτιώσεις και τα γενικά θέματα της Σχολής» (Jowett & Connor 1822 σελ.71[14]).

Ορισμένες φορές, τα νέα Σχολεία δεν έχουν πολλά να ζηλέψουν από αντίστοιχα ευρωπαϊκά ιδρύματα. Διαθέτουν πλούσια προγράμματα σπουδών και ιδιαίτερα ικανούς δασκάλους. Με την οικονομική υποστήριξη των κοινοτήτων στέλνουν υπότροφους για περαιτέρω σπουδές στα Ευρωπαϊκά Πανεπιστήμια, με στόχο να ανανεώνουν το διδακτικό προσωπικό τους με κορυφαίους δασκάλους, ενώ δέχονται μαθητές από πολλά μέρη της Ελλάδος και το εξωτερικό. Σε ορισμένα Σχολεία όπως της Χίου, της Σμύρνης (Φιλολογικό Γυμνάσιο), των Κυδωνιών, των Ιωαννίνων, των Μηλεών Πηλίου, του Βουκουρεστίου και Ιασίου, της Κωνσταντινούπολης (Πατριαρχική Σχολή Κουρούτσεσμε) οι επιστήμες διδάσκονται με μοντέρνο πειραματικό τρόπο (Karas & Vlahakis 2004 σελ.14[15]), με τη βοήθεια επιστημονικών οργάνων που έχουν αγοραστεί από την Ευρώπη (Κούμας 1812 σελ.ιη'[114], Κυδωνιάτες 1814[115], Καΐρης 1814[116], Άμαντος 1976 σελ.35[117], Ευαγγελίδης 1936 Τόμος Α' σελ. 208 & τόμος Β' σελ. 148, 258[118]). Σε αντίθεση με τον υπόλοιπο ευρωπαϊκό κόσμο, δεν καταγράφονται στα ελληνικά αρχεία της εποχής πλανόδιοι δάσκαλοι και δημοφιλή επιστημονικά θεάματα σε δρόμους και πλατείες. Τα Σχολεία αποτελούν, κατά τη διάρκεια του ελληνικού διαφωτισμού, τα μόνα κέντρα διάδοσης της επιστήμης, τα οποία, σε ορισμένες περιπτώσεις προσφέρουν, παράλληλα με την καθιερωμένη εκπαίδευση των μαθητών, και μαθήματα για το κοινό (Κούμας 1812 σελ. ιδ'[114], Σπανδάγος κ.ά. 2008 σελ.178[104]). Το πνεύμα και το επίπεδο σπουδών των Φυσικών Επιστημών στα Ελληνικά Σχολεία αποτυπώνουν τα λόγια του Κωνσταντίνου Βαρδαλάχου[cxxiv], ο οποίος, παρουσιάζει το βιβλίο του *Φυσική Πειραματική* (Βαρδαλάχος 1812[119]) στον *Ερμή τον Λόγιο* τον Απρίλιο του 1912 (Βαρδαλάχος 1812 στο περιοδικό *Ερμής ο Λόγιος* 15-4-1812 σελ.116-119[111]):

«Προβαίνει εἰς τὸ φῶς διὰ τοῦ τύπου μία Πειραματικὴ Φυσική…Ἐστοχάστην μὲ ποῖον τρόπον ἂν συγγραφεῖ ἡ Φυσική, θέλει προξενήσει εἰς τὸ γένος περισσότερον ὄφελος. Ὅλοι κοινῶς οἱ πεπεδευμένοι τοῦ γένους ἠξεύρουν, ὅτι ἡ Φυσικὴ εἶναι, ἤ μαθηματικὴ, ἤ πειραματικὴ. Ἡ πρώτη ἀποδεικνύει μὲ τὴν Γεωμετρίαν καὶ τον Ὑπολογισμόν. Ἡ δευτέρα μὲ τὰ φαινόμενα καὶ τὰς πείρας. Ὅθεν ἐμπορεῖ νὰ ὀνομασθῇ ἡ μία θεωρητικὴ, καὶ ἡ ἄλλη πρακτική. Ἡ πρώτη ἀπαιτεῖ μεγάλην τριβὴν καὶ πολυχρόνιον γύμνασιν εἰς τὴν ἁπλὴν μαθηματικὴν, καὶ ἑπομένως ὄχι ὀλίγους χρόνους. Πρέπει ὅμως νὰ ἔχουμε κατὰ νοῦν, ὅτι τὰ ἡμέτερα μικρὰ τε ἐστὶ, καὶ ταχεῖαν τινὰ τὴν ἐπικουρίαν ἀπαιτεῖ. Ὀλίγοι εἶναι ἐκεῖνοι οἱ νέοι τοῦ γένους, οἱ ὁποῖοι ἔχουν τρόπον νὰ ἐξακολουθήσουν πολυχρόνιον γύμνασιν καὶ πολυδάπανον σπουδὴν. Ἂν προσθέσωμεν καὶ τὴν κλίσιν, τὴν ὁποίαν καθεὶς ἔλαβεν ἐκ φύσεως πρὸς τοῦτο, ἤ ἐκεῖνο τὸ εἶδος τῆς παιδείας, θέλομεν ἐδεῖ ὅτι καὶ ἀπὸ ὅσους ἔχουν τρόπον, πολλοὶ δὲν ἔχουν φύσιν πρὸς τοῦτο τὸ εἶδος. Πρέπει λοιπὸν νὰ γοητεύσωμεν διὰ τῆς ἡδονῆς τὰς ὀρέξεις τῶν νέων, καὶ διὰ νὰ τὰς γοητεύσωμεν, πρέπει πρῶτον νὰ βάλωμεν πρὸ ὀφθαλμῶν πράγματα ψηλαφητὰ, διὰ νὰ ἰδοῦν, διὰ νὰ ἀκούσουν, διὰ νὰ ψηλαφήσουν κ.τ. καὶ οὕτως ἡδυνόμενοι νὰ παρακινοῦνται εἰς τὰς ὑψηλοτέρας θεωρίας,

[cxxiv] Ο Κωνσταντίνος Βαρδαλάχος (1755-1830), σημαντικός λόγιος της εποχής συνέγραψε διδακτικά εγχειρίδια επιστημονικής και φιλολογικής παιδείας. Δίδαξε στη Σχολή της Χίου, όπως επίσης στις Ελληνικές Ακαδημίες του Βουκουρεστίου και της Οδησσού (Σπανδάγος κά 2008 κά σελ.52-55[104], Karas & Vlahakis 2004 σελ.63-64[15]).

πληροφορούμενοι, ὅτι διὰ νὰ φθάσουν εἰς τὴν τελείαν ἡδονὴν, τὴν ὁποίαν ὀλίγον ἐγεύθησαν, πρέπει πρῶτον νὰ σπουδάσουν ταύτην ἤ ἐκείνην τὴν ἐπιστήμην.

Ἐπρόκρινα λοιπόν διὰ τοὺς νέους τοῦ γένους τὴν Πειραματικὴν Φυσικὴν. Εἶναι δύσκολον ἤθελεν εἰπῇ τις, νὰ βαλθῆ εἰς πρᾶξιν, κατὰ τὴν παροῦσαν τοῦ γένους κατάστασιν, ἡ Πειραματικὴ Φυσικὴ διὰ τὴν ἔλλειψιν πολλῶν ἀναγκαίων. Ὄχι. Τὰ σχολεῖα τῆς Ἑλλάδος τὴν σήμερον ἔχουν ἔνθερμους προστάτας. Ἡ ἱερὰ τῶν Ἀρχιερέων ὁμήγυρις, ἔνδοξοι καὶ ἔκλαμπροι ἄνδρες, τὰ ὑπερασπίζονται. Τὸ γένος ὅλον συνεισφέρει εἰς τὴν βελτίωσιν τῶν νέων, καὶ δὲν φείδονται οἱ κατὰ τόπους πλούσιοι δι' ἀπόκτησιν τῶν ἀναγκαίων. Ἔπειτα μήπως οἱ μεγαλύτεραι τῆς Εὐρώπης ἀκαδημίαι εἶχον ἀρχῆς τῆς θεμελιώσεώς των τὰ πολλὰ καὶ πολυειδῆ ὄργανα, ὅσα ἔχουν τὴν σήμερον; Κατὰ καιροὺς πλουτίζεται ἀπὸ τοιαῦτα ἡ ἀκαδημία. Ἀλλὰ δεδεδόσθω ἡ παροῦσα τοῦ γένους κατάστασις· οὔτ' ἐγὼ λέγω ὅτι λέγω, ὅτι χρειάζεται τὸ γένος Φυσικὴν τοιαύτην, ὥστε νὰ περιέχει ὅλου τοῦ κόσμου τὰ πειράματα. Ὁ σκοπὸς μου εἶπα, ὅτι ἀποβλέπει τοὺς νέους καὶ ἀρχαρίους. Οἱ τοιοῦτοι βέβαια δὲν πρέπει νὰ ζαλίζωνται μὲ ἀλλεπάλληλα, πολυέξοδα καὶ δυσκατόρθωτα πειράματα. Ἡ ἁπλότης θέλει τοὺς ὁδηγήσει εἰς τὸ σκοπιμώτατον τέλος· φθάνει νὰ ἔχουν πρὸ ὀφθαλμῶν τοὐλάχιστον Πνευματικὴν Ἀντλίαν, Ἠλεκτρικὴν μηχανὴν, καὶ ἄλλα τοιαῦτα μετρίου μεγέθους καὶ ἑπομένως εὐθηνά…» (Βαρδαλάχος στο *Ερμής ο Λόγιος* 15-4-1812 σελ.116-119[111]).

2.4. Στη γειτονιά της Χίου…

Ο Άγγλος περιηγητής William Jowett (Jowett &Connor 1822[14]), εύγλωττα μεταφέρει το κλίμα των Σχολείων, όταν επισκέπτεται την Χίο και τις Κυδωνιές, το σημερινό Αϊβαλή, το 1818:

«Κυδωνιές, 21 Μαΐου 1818 –…Μου έδειξαν τη βιβλιοθήκη που περιλαμβάνει 700 ή 800 τόμους ανάμεσα στους οποίους υπάρχει πλήρης σειρά Ελλήνων Κλασσικών. Διαθέτουν επίσης πολλά όργανα αστρονομίας όπως και επιστημονικά όργανα… Έκανα το γύρο του Σχολείου. Είναι ένα μεγάλο τετράπλευρο κτίριο, με περίπου 140 πόδια μήκος και 90 πλάτος. Είναι περιτριγυρισμένο κατά τις τρεις του πλευρές από μικρά δωμάτια, για την υποδοχή των μαθητών που έρχονται από άλλα μέρη. Πρέπει να μένουν, σήμερα, εδώ, περίπου εκατό σπουδαστές που είναι από άλλα μέρη και άλλοι εκατό που προέρχονται από την πόλη. Τα δωμάτια είναι εβδομήντα δύο, συνολικά. Οι ξένοι σπουδαστές δεν πληρώνουν για τη χρήση τους, όπως δεν πληρώνουν και δίδακτρα. Πληρώνουν μόνο το φαγητό τους και τα βιβλία τους. Υπάρχουν δύο όροφοι στο κτίριο. Στον επάνω, υπάρχει ένα μεγάλο στρογγυλό δωμάτιο, όπου δίνονται οι διαλέξεις… Υπάρχει επίσης ένα μεγάλο οβάλ δωμάτιο για τον τρίτο διευθυντή και τους βοηθούς. Στο κέντρο αυτού του τετραπλεύρου υπάρχει κήπος με χορτάρια και δύο τρεις ακμαίες αμυγδαλιές. Η μια πλευρά του Σχολείου βρέχεται από τη θάλασσα» (Jowett & Konnor 1822 σελ.60-61[14]).

«Κυδωνιές, 22 Μαΐου 1818 – Σήμερα το πρωί πήγα στο Σχολείο να παρακολουθήσω τις διαλέξεις. Ο Γρηγόριος[cxxv] είχε περίπου πενήντα σπουδαστές που κάθονταν γύρω-γύρω στη μεγάλη αίθουσα, όπου μιλούσε πάνω στην Ελληνική Γραμματική. Εξηγούσε τους χρόνους. Εξεπλάγην, όταν κατά την κατάληξη της ομιλίας του, τον άκουσα να απευθύνει έναν πανηγυρικό αναφερόμενος στον Ξένο της αίθουσας. Εξηγούσε στους σπουδαστές, πόσο πολύ πρέπει να νοιώθουν ότι τους τιμά και τους ενθαρρύνει η παρουσία επισκεπτών από τόσο μακρινές χώρες, οι οποίοι έρχονται να δουν, όπως στα αρχαία χρόνια, το επίπεδο της ελληνικής παιδείας – το οποίο, έχοντας τόσο πολύ παρακμάσει τα χρόνια που προηγήθηκαν, τώρα άρχιζε να αναβιώνει… Στη συνέχεια παρακολούθησα τον Θεόφιλο[cxxvi]. Περίπου τριάντα σπουδαστές ήταν παρόντες, όταν, προς μεγάλη μου έκπληξη, άρχισε να αναλύει το Ενδέκατο Κεφάλαιο του Νεύτωνα. Δεν ήταν βέβαια όλο το ακροατήριο σε θέση να τον καταλάβει. Είχε διαλέξει τα πιο

[cxxv] Αναφέρεται στον Γρηγόριο Σαράφη διδάσκαλο της Σχολής.

[cxxvi] Αναφέρεται στον Θεόφιλο Καΐρη (1784-1853), του οποίου το ύψος ως διδασκάλου φυσικών επιστημών, τη συνεισφορά στην εκπαίδευση και την τραγική ζωή καταγράφουν οι ερευνητές (Σπανδάγος κά 2008 σελ.144-160[104], Karas & Vlahakis 2004 σελ.49-51[15])

δημοφιλή αστρονομικά θέματα, τα οποία παρουσίαζε στον φαρδύ μαυροπίνακα με κιμωλία. Μου άρεσε η πρακτική που είχαν οι σπουδαστές να του απευθύνουν ερωτήσεις…» (Jowett & Konnor 1822 σελ.61[14]).

«Χίος, 26 Μαΐου 1818 – Το πρωί παρακολούθησα τη διάλεξη του Βαρδαλάχου[cxxvii]. Ασκεί τα καθήκοντά του αξιοθαύμαστα. Ήταν περίπου εβδομήντα σπουδαστές παρόντες. Ερμήνευαν Θουκιδίδη και Πλούταρχο σε Μοντέρνα Ελληνικά, μελετώντας έτσι τους Αρχαίους Κλασσικούς και καθαρίζοντας παράλληλα τη γλώσσα τους … Πήγα να δω την Καινούργια Βιβλιοθήκη. Τα βιβλία δεν είχαν ακόμη μπει στα ράφια, αλλά μου είπαν ότι έχουν 4000 τόμους» (Jowett & Connor 1822 σελ.69[14]).

Χίος, 27 Μαΐου 1818 – Ήρθα στην πόλη να παρακολουθήσω τις διαλέξεις. Ο Βαρδαλάχος είχε εβδομήντα πέντε σπουδαστές. Φαίνεται από τις διαλέξεις του ότι είναι άτομο με βαθιά γνώση, καθαρή αίσθηση και ήρεμο ταμπεραμέντο – ένας αληθινός Σωκράτης… Στη συνέχεια παρακολούθησα τον Καθηγητή Βάμβα[cxxviii]. Παρέδιδε μια διάλεξη χημείας: λάδια, σαπούνια κλπ –χρήσιμο θέμα σε αυτή τη χώρα. Είχε μόνο πέντε σπουδαστές. Κάποιοι, ωστόσο, είχαν ήδη προοδεύσει στον κόσμο… Αυτό το Σχολείο έχει ιδρυθεί εδώ και τριάντα χρόνια. Έτσι μια ολόκληρη γενιά χάρηκε αδιάλειπτα τα αγαθά της εκπαίδευσης που ελπίζω ότι θα ανθεί εδώ για πολλά χρόνια ακόμα … Ωστόσο, τον τελευταίο καιρό αντιμετωπίζουν προβλήματα με τον Βεζύρη, ο οποίος, πληροφορούμενος ότι ο Βάμβας διδάσκει Χημεία (δες τι λόγο έχουν να φοβούνται τους κουτσομπόληδες συμπατριώτες τους!) έστειλε πρόσφατα Απεσταλμένο από την Κωνσταντινούπολη. Ο Βάμβας τρομοκρατήθηκε. Παρόλ' αυτά το Σχολείο υποδέχθηκε δημόσια τον Βεζύρη με ειδική τιμητική τελετή. Σε αυτή ο Βάμβας παρουσίασε ορισμένα από τα πιο εντυπωσιακά πειράματα. Ο Βεζύρης ευχαριστήθηκε και στη συνέχεια του έστειλε, ιδιωτικά, είκοσι φλουριά…» (Jowett & Konnor 1822 σελ.69-70[14]).

Το Σχολείο των Κυδωνιών ιδρύθηκε προς το τέλος του 18ου αιώνα. Την εποχή που δίδασκε εκεί ο Θεόφιλος Καΐρης το σχολείο απέκτησε μεγάλη φήμη, με αποτέλεσμα να προστρέχουν σ' αυτό μαθητές από διάφορα μέρη της Ελλάδος. Η βιβλιοθήκη και τα όργανα φυσικής και χημείας του Σχολείου είχαν αγοραστεί στο Παρίσι. Το Σχολείο διέθετε επίσης τυπογραφείο (Ευαγγελίδης 1936 τόμος Β' σελ.258[118]). Η Σχολή της Χίου, που ιδρύθηκε το 1792, ήταν, επίσης, ανάμεσα στα πιο φημισμένα Σχολεία της προεπαναστατικής Ελλάδας. Είχε χρηματοδοτήσεις από τις Ελληνικές κοινότητες της Σμύρνης, του Λιβόρνο, της Μασσαλίας, της Τεργέστης, της Βιέννης, της Κωνσταντινούπολης και της Ρωσίας (Ευαγγελίδης 1936 τόμος Β' σελ.147[118]) ενώ είχε οργανωθεί με την προσωπική μέριμνα του Αδαμάντιου Κοραή, ο οποίος φρόντιζε να σταλούν βιβλία, επιστημονικά όργανα και δάσκαλοι. Διέθετε βιβλιοθήκη με χιλιάδες τόμους, όργανα φυσικών επιστημών και τυπογραφείο (Άμαντος 1976 σελ.30-42[117], Marcelus 1939 σελ.188-194[120]). Το 1820, η Σχολή είχε πέντε τάξεις και 476 μαθητές, 400 από τη Χίο, 74 ξένους προερχόμενους από την Ελλάδα και κυρίως από την Πελοπόννησο και την Κεφαλληνία και δύο από την Αμερική (Κοραής 1920 στον Άμαντο 1976 σελ.41-42[105] και στον Χαροκόπο 2006 σελ.259[121]). Είχε, επίσης, 14 καθηγητές, που δίδασκαν τα μαθήματα: Θεολογία, Γραμματική, Λατινικά, Γαλλικά, Τουρκικά, Ζωγραφική, Λογική, Μεταφυσική, Ρητορική, Ηθική Φιλοσοφία, Αρχαία Ιστορία, Μαθηματικά, Αριθμητική, Άλγεβρα, Γεωγραφία, Μηχανική, Οπτική, Πειραματική Φιλοσοφία και Χημεία (Jowett & Connor 1822 σελ.76[14]). Στην ίδια

[cxxvii] Αναφέρεται στον Κωνσταντίνο Βαρδαλάχο (1755-1830), διδάσκαλο στη Χίο στο διάστημα 1816-1819.
[cxxviii] Αναφέρεται στον Νεόφυτο Βάμβα (1776-1855), που υπήρξε σχολάρχης στη Σχολή της Χίου στο διάστημα 1815-1821 (Άμαντος 1976 σελ. 162-172[117]).

«γειτονιά» με τα δύο προηγούμενα Σχολεία, το Φιλολογικό Γυμνάσιο Σμύρνης υπήρξε από τα πρώτα ιδρύματα στα οποία, οι φυσικές επιστήμες διδάσκονταν πειραματικά. Ο Κωνσταντίνος Κούμας[cxxix], που ήρθε ως διδάσκαλος στη Σχολή μετά από σχετική πρόταση του Αδαμάντιου Κοραή, έφερε μαζί του από τη Βιέννη όργανα Φυσικής για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών. Ο ίδιος αναφέρει στο βιβλίο του *Σύνοψις Φυσικής* που εκδίδεται το 1812:

> «Πειραματικὰ ὄργανα ἀναφέρω αὐτά ἐκεῖνα, τὰ ὁποῖα διατρίβων εἰς Βιένναν τὴν Αὐστριακὴν ἠγόρασα μὲ δαπάνην τῶν φιλομαθῶν καὶ φιλοκάλων Σμυρναίων διὰ χρήσιν τοῦ φιλολογικοῦ γυμνασίου των, καὶ τὰ ὁποῖα μεταχειρίζομαι καθεκάστην εἰς τὰς παραδόσεις μου…» (Κούμας 1812 σελ. ιη'[114])

Ο Κωνσταντίνος Κούμας δίδασκε το κανονικό μάθημα των φυσικών επιστημών κάθε μέρα εκτός από το Σάββατο, οπότε δίδασκε φυσικές επιστήμες σε πιο ευρύ κοινό αποτελούμενο από αρχαρίους, μικρούς μαθητές και πολίτες κάθε επιπέδου μόρφωσης και ηλικίας (Ερμής ο Λόγος, 15-11-1811 σελ.390[111]). Ο ίδιος ο Κούμας αναφέρει σχετικά με τα μαθήματα του Σαββάτου:

> «Ἐγὼ δὲ μίαν ὥραν ἐδιώρισα τῆς ἀπ' ἄλλα μαθήματα ἐλευθέρας ἡμέρας τοῦ Σαββάτου, κατά τὴν ὁποίαν ἀπό τὰς ἀρχὰς τοῦ Σεπτεμβρίου τοῦ παρελθόντος ἔτους ἐπεχείρησα νὰ διδάσκω τὸ μάθημα τοῦτο μαθητάς πρωτοπείρους, καὶ τὰ πρώτα μέρη τῶν γραμματικῶν διδασκομένους. Ἴδα τὴν απόπειραν ταύτην μὲ χαράν μου ανέκφραστον εὐτυχούσαν ὑπέρ ὅσον ἤλπιζα. Μικρὰ παιδία, τῶν ὁποίων κατ' ἀρχὰς ἐσυγχωρήθη ἡ εἰς τὸ ἀκροατήριον εἴσοδος μόνον πρὸς διατριβήν, εἴδειξαν ἐφεξῆς διὰ τῆς πείρας, ὅτι μανθάνουσι τὰ προβαλλόμενα ὄχι κατώτερα παρὰ τοὺς ἀνωτέρους των τὴν ἡλικίαν· πολλάκις ἐρωτώμενα πῶς γίνεται τοῦτο τὸ πείραμα, καὶ τίς εἶναι αὕτη τῶν σωμάτων ἡ ἰδιότης ἀποκρίνονται ἐξαίρετα. Τοιαύτην δὲ κλίσιν δείχνουσιν εἰς τὸ μάθημα τοῦτο, ὥς' ἡ πικροτέρα πολλῶν ποινὴ, ὅταν σφάλωσίτι εἰς τ' ἄλλα των μαθήματα εἶναι, νὰ ἀποκλείωνται ἀπὸ τοῦ Σαββάτου τῆς φυσικῆς τὸ μάθημα.
>
> Ὄχι μόνον τῶν παίδων ἡ προθυμία εἶναι τοιαύτη ν' ἀκούωσι τὰς τῆς Φυσικῆς ἀληθείας, ἀλλὰ καὶ πολλοὶ μεγάλοι τὴν ἡλικίαν, καὶ γέροντες ἤδη συντρέχουσι μὲ ζῆλον διακαῆ εἰς τοῦ Σαββάτου τὸ μάθημα. Πολλοὶ ἐμπόρων γραμματεῖς, πολλοὶ τεχνῖται, μ' όλον ὅτι ἀμέτοχοι ἀπό πᾶσαν ἄλλην ἐπιστημονικὴν γνῶσιν, συῤῥέουσι και ένόνονται μετὰ τῶν παιδίων, καὶ γίνονται συνακροαταί των, ὥστε πολλάκις τὸ ἀκροατήριον στενοχωρείται ἀπὸ τὴν συναθροιζομένην πληθύν. Ἐξαπλώνεται λοιπὸν καὶ εἰς πολὺ μέρος τῶν ἀνδρῶν τῆς πόλεως ταύτης ἡ ἐκ τῶν φυσικῶν γνώσεων ἐξηγήσεως ὠφέλεια· διότι δὲν ἤθελαν ἄσμενοι ἀφίνειν τὰ ἔργα των καὶ τρέχειν εἰς τὸ γυμνάσιον, ἐάν δὲν ἐκαρποῦντο καμμίαν ὠφέλειαν ἀπό τὰ διδασκόμενα…» (Κούμας 1812 σελ. ιγ'-ιδ'[114]).

Ο κόμης Μάρκελλος, που επισκέπτεται τη Χίο το 1820, επισκέπτεται κι αυτός τη Σχολή της Χίου, τη βιβλιοθήκη και το τυπογραφείο της. Την αναφέρει ως «σχεδόν Πανεπιστήμιο». Συζητάει με τον Βάμβα για τα μαθήματα, τις μεθόδους διδασκαλίας και τα προβλήματα της Σχολής. Φεύγοντας για την πατρίδα του, τον σταματούν χαρούμενα κορίτσια της Χίου. «Ποια σ' αρέσει;» «Από πού έρχεσαι;» τον ρωτούν μέσα σε χείμαρρους γέλιων… Ο περιηγητής γράφοντας τις αναμνήσεις του λίγα χρόνια αργότερα πενθεί για τα κορίτσια…*Ελένκο, Σμαραγδή, Σεβαστίτσα…* και για τα χαρούμενα γέλια που σάρωσε το κύμα της ιστορίας, μαζί με όλο το αισιόδοξο και φωτεινό προεπαναστατικό κλίμα

[cxxix] Ο Κωνσταντίνος Κούμας (1777-1836), μεγάλος δάσκαλος του γένους και συγγραφέας πολλών επιστημονικών εγχειριδίων, δίδαξε στο Φιλολογικό Γυμνάσιο Σμύρνης την περίοδο 1809-1818. Το 1814 ανέλαβε για ένα χρόνο διευθυντής στην Μεγάλη του Γένους Πατριαρχική Σχολή της Κωνσταντινούπολης (Κουρούτσεσμε). Από το 1821 και μετά δίδαξε στο Ελληνικό Σχολείο της Τεργέστης (Karas & Vlahakis 2004 σελ.53-55[15]).

(Marcelus 1913 σελ.188-209[120]). Στην καταστροφή της Χίου, το Σχολείο καταστράφηκε ολοσχερώς. Τίποτα δεν επέζησε από το εργαστήριο και τη βιβλιοθήκη του. Όμοια καταστράφηκε η Ακαδημία των Κυδωνιών. Μέχρι το 1828 κανένα Ελληνικό Σχολείο δεν ιδρύθηκε, κανένα βιβλίο ή περιοδικό δεν εκδόθηκε, ενώ και η ποιότητα της εκπαίδευσης της προεπαναστατικής περιόδου δεν υπήρξε ποτέ ξανά στα σχολεία της μετεπαναστατικής Ελλάδας (Karas &Vlahakis 2004 σελ. 38-39[15]). Όμοια, δεν ξαναγεννήθηκε ποτέ το φώς της προεπαναστατικής περιόδου, που επεδίωκε να δώσει στην Ελλάδα ένα πνευματικό στίγμα που να βασίζεται στην «ανάγνωση» της Ευρωπαϊκής επιστήμης και φιλοσοφίας μέσα από το φίλτρο της αρχαίας ελληνικής φιλοσοφίας, νοούμενης ως σκέψης και ως πράξης.

2.5. Το πείραμα και η ιστορία της επιστήμης ως τρόποι εκλαΐκευσης του επιστημονικού αντικειμένου κατά τον 19ο αιώνα

Στα μέσα του 19ου αιώνα, στη Γαλλία, ο Figuier προλογίζει το εγχειρίδιό του με τίτλο: *«Τα θαύματα της επιστήμης»* (Figuier 1867[6]), με τα παρακάτω λόγια:

> «Τα *Θαύματα της Επιστήμης* απευθύνονται, ειδικά, σε μια πολυάριθμη κατηγορία ανθρώπων που δεν κατέχουν επιστημονικές γνώσεις, ωστόσο επιθυμούν πολύ να γνωρίσουν τις μοντέρνες εφευρέσεις. Προσπάθησα να είμαι ιδιαίτερα σαφής. Επίσης, προσπάθησα να διδάξω χωρίς να κουράσω, γι' αυτό αφαίρεσα όλες τις δύσκολες φόρμες της επιστήμης και της ιστορίας της που συχνά απαντώνται στα κλασσικά εγχειρίδια. Πιστεύω ότι και για το πιο σύνθετο επιστημονικό ερώτημα υπάρχει πάντα μια πλευρά προσιτή σε όλους, συναρπαστική, γραφική και παράξενη. Αναπτύσσοντας συχνά αυτή την πλευρά των επιστημονικών θεμάτων επιδιώκω να ρίξω λίγα λουλούδια στην τραχύτητα του μονοπατιού» (Figuier 1867 σελ.2[6]).

Εικόνα 2.5: «Αλεξικέραυνο και μόδα» (Figuier 1867 σελ.597[6]).

Την ίδια εποχή, ο Ganot δημοσιεύει τα *Μαθήματα Φυσικής για Όλους* (Ganot 1859[5]) όπου χρησιμοποιεί ιστορικά πειράματα και νατουραλιστική απεικόνιση, για να εκλαϊκεύσει την επιστημονική γνώση και να την κάνει ελκυστική. Το βιβλίο του, που γνωρίζει μέχρι το 1932 δέκα διαφορετικές εκδόσεις, πολλές επανατυπώσεις και μεταφράζεται στα Αγγλικά, Ισπανικά, Ιταλικά, και Φλαμανδικά (Khantine-Langois στον Gires 2006 σελ.19-23[122]), ενσωματώνει επίσης την ιδέα του φανταστικού μουσείου πειραμάτων και ιστορικών επιστημονικών συσκευών.

Εικόνα 2.6: Η στήλη του Volta (Ganot 1859 σελ.482[5])

Κατά τον 19ο αιώνα, η τάση για την πειραματική διδασκαλία των φυσικών επιστημών γίνεται κεντρική και επικρατεί σε επίπεδο δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Αγγλία από τις πρώτες δεκαετίες του 19ου αι. (Sherratt 1982[123], Matthews 1994 σελ.12[99]) στη Γαλλία μετά το 1850 (Hulin 2006[124]), στη Γερμανία μετά το 1870 (Zoller 2009[82]) και στις ΗΠΑ μετά το 1880 (Rosen 1953[125], Moyer 1976[126], Turner 2004[127]). Όπως έχει ήδη γίνει σαφές στα προηγούμενα κεφάλαια, η πειραματική διδασκαλία της επιστήμης, ήδη από τον 18ο αιώνα, ήταν στενά συνδεδεμένη με την προσπάθεια εκλαΐκευσης του επιστημονικού αντικειμένου. Κατά τον 19ο αιώνα, πολλά διδακτικά εγχειρίδια διακατέχονται από αυτό το πνεύμα και γράφονται με γνώμονα την παρουσίαση του επιστημονικού αντικειμένου με απλό τρόπο σε «ανειδίκευτο» κοινό. Από την άλλη μεριά, η προσπάθεια εκλαΐκευσης στο εγχειρίδιο του Figuier, επιχειρείται μέσα από την ιστορική αφήγηση και αποτελεί έκφραση της ιστορικής προσέγγισης της διδασκαλίας της επιστήμης, τάση που, στη Γαλλία του 19ου αιώνα, είναι κεντρική στα προγράμματα σπουδών.

2.6. Το πείραμα και η ιστορία της επιστήμης στην επιστημονική εκπαίδευση κατά τον 19ο και τις αρχές του 20ου αιώνα

Στην αναμόρφωση των προγραμμάτων του 1852, που εισηγείται στην Γαλλία ο J.B.Dumas, προτείνεται οι μαθητές να κοινωνούν με τη λογική των εφευρετών και να πληροφορούνται στοιχεία των βιογραφιών τους. Επίσης, προτείνει στους καθηγητές να παρουσιάζουν τις επιστημονικές θεωρίες με ακριβή ιστορικό τρόπο και ακριβή αναπαράσταση των σχετικών πειραμάτων. Τέλος, προτείνει τη μελέτη αυθεντικών επιστημονικών κειμένων, προκειμένου να καλλιεργηθεί στους μαθητές το πνεύμα της ανακάλυψης (Hulin 1996[128]).

> «Όποιος ψάχνει μέσα στα αυθεντικά επιστημονικά κείμενα, την πορεία που οι εφευρέτες έχουν ακολουθήσει για την ανακάλυψη όλων των βασικών ιδεών, μένει ικανοποιημένος από αυτή τη μελέτη. Δεν υπάρχει τίποτα πιο καρποφόρο, γιατί οι καθηγητές μας, ακολουθώντας αυτό το μονοπάτι, θα αισθανθούν οι ίδιοι ικανοί για εφευρέσεις και θα περάσουν εύκολα στους σπουδαστές τους αυτή την ικανότητα» (απόσπασμα από την έκθεση του 1852 στην Hulin 1996 σελ.1215[128]).

Η διδασκαλία της επιστήμης μέσα από την ιστορία της είναι σημαντική για τους σχεδιαστές των γαλλικών προγραμμάτων σπουδών, γιατί με αυτό τον τρόπο οι καθηγητές των φυσικών επιστημών μπορούν να αναδεικνύουν όψεις της εξέλιξης του ανθρώπινου πνεύματος και να συνδέουν την επιστημονική με την ανθρωπιστική κουλτούρα (Hulin 1996[128]). Έτσι, το κείμενο της αναμόρφωσης των προγραμμάτων σπουδών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, του 1891, διευκρινίζει:

> «Για [ένα] λόγο που αφορά στη γενική εκπαίδευση, ο καθηγητής δεν θα παραμελήσει […] την *ιστορία της επιστήμης*. Ο μαθητής έχει συχνά περισσότερα να κερδίσει, αν διδαχθεί μια αλήθεια, αντί να διδαχθεί την ιστορία μιας ανακάλυψης. Η επιστημονική ιδιοφυία έχει να προσφέρει στη νεολαία, μέσα από τις πρωτοβουλίες, τις αμφιβολίες και τα σφάλματα όσο και μέσα από τις επιτυχίες της, μια εκπαίδευση που μπορεί να είναι εξαιρετικά υποβλητική και ηθική. Με τον τρόπο αυτό ο καθηγητής των φυσικών επιστημών είναι σε θέση να συνδέει τα μαθήματά του με τα μαθήματα των καθηγητών της γλώσσας, της

> ιστορίας και της φιλοσοφίας. Παρουσιάζοντας τους νόμους και την εξέλιξη της φύσης, διδάσκει, όπως κι εκείνοι, και με παραδείγματα όχι λιγότερο εντυπωσιακά, τους νόμους και την πρόοδο του ανθρώπινου πνεύματος, ενώ, ταυτόχρονα, συνεισφέρει με το αντικείμενο της διδασκαλίας του στη διδασκαλία της ιστορίας και των ανθρωπιστικών σπουδών» (Hulin 1996 σελ.1216-1217[128]).

Στην αναμόρφωση των προγραμμάτων του 1902, που δίνει έμφαση στην πειραματική διδασκαλία, η ιστορία της επιστήμης εξακολουθεί να αποτελεί άξονα των προγραμμάτων σπουδών. Έτσι, προτείνεται από τον Lucien Poincaré η διδασκαλία μέσα από πρωτότυπα επιστημονικά κείμενα:

> «Θα παρατηρήσουμε ότι μια οποιαδήποτε σελίδα γραμμένη από έναν Pascal, Arago ή έναν Berthelot έχει στο βάθος της περισσότερη σαφήνεια και διαύγεια και περισσότερη αληθινή απλότητα σε σύγκριση με πολλά εγχειρίδια, όπου οι συγγραφείς σπάνια ανατρέχουν στην πηγή, συχνά αντιγράφουν ο ένας τον άλλο και αναπαράγουν με διαστρεβλώσεις όλο και περισσότερο ανεπιθύμητες τις αυθεντικές σκέψεις των εφευρετών» (Poincaré 1904 στην Hulin 1996[128]).

Η ίδια ιδέα σύνδεσης των επιστημονικών και ανθρωπιστικών σπουδών διακατέχει και τους σχεδιαστές των σχολικών προγραμμάτων επιστημονικής εκπαίδευσης στην Αγγλία των αρχών του 20^{ου} αιώνα. Ενώ μέχρι το κλείσιμο του 19^{ου} αιώνα δεν γίνεται μνεία για την εισαγωγή της ιστορίας της επιστήμης στα αγγλικά προγράμματα σπουδών φυσικών επιστημών, το εκπαιδευτικό περιοδικό School World, στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, αρχίζει να παρουσιάζει προτάσεις και πρωτοβουλίες ιστορικής προσέγγισης της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών και καθίσταται πηγή εκπαιδευτικού υλικού για τους καθηγητές που επιθυμούν να παρουσιάσουν μια περισσότερο σφαιρική εικόνα στα μαθήματα των φυσικών επιστημών και να ενσωματώσουν σε αυτά ιστορικά στοιχεία (Sherratt 1982[123]).

Παρόλο που, τόσο στα γαλλικά, όσο και στα αγγλικά προγράμματα σπουδών η ολιστική προσέγγιση των φυσικών επιστημών εμφανίζεται ως μεταρρυθμιστικό ρεύμα, η εισήγησή της έχει διαφορετικά αίτια στα δύο αυτά διαφορετικά εκπαιδευτικά καθεστώτα. Στη Γαλλία, στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, υπάρχει η τάση να αυξηθεί η εργαστηριακή άσκηση και να μειωθεί η εμμονή στην υπερβολική ιστορική ανάλυση που θεωρείται χρονοβόρα και μη αποτελεσματική (Hulin 1996[128]). Αντίθετα, στην Αγγλία, προς το τέλος του 19^{ου} αιώνα, η πειραματική διδασκαλία είναι αυτή που υφίσταται κριτική. Θεωρείται ότι είναι χρονοβόρα και μη αποτελεσματική και ότι οδηγεί σε κατακερματισμένη γνώση. Παρόμοια κριτική δέχεται η πειραματική διδασκαλία της επιστήμης και στις ΗΠΑ στις αρχές του 20^{ου} αιώνα (Moyer 1976[121]). Η κριτική στην Αγγλία είναι τόσο έντονη που οδηγεί στο να αμφισβητηθεί η επιστήμη ως μάθημα γενικού ενδιαφέροντος. Σε απάντηση των παραπάνω επιθέσεων, η έκθεση αναμόρφωσης των εκπαιδευτικών προγραμμάτων του 1917, γνωστή ως *Έκθεση Thompson*, προτείνει την ενσωμάτωση περιεχομένων της ιστορίας της επιστήμης ως τρόπο για την άρση της μερικότητας. Μέσα από τη μελέτη της εξέλιξης των νόμων και των θεωριών της επιστήμης και του εντοπισμού στοιχείων της φύσης και της μεθοδολογίας της, η διδασκαλία της επιστήμης θα αποκτούσε ένα επίπεδο σκέψης, ανάλυσης και στοχασμού που θα αναιρούσε τον μονόπλευρο και αποσπασματικό χαρακτήρα της απλής πειραματικής άσκησης (Sherratt 1982[123]). Έτσι, ενώ η τάση για ολιστική προσέγγιση της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών, στη Γαλλία, προκύπτει από την έγνοια να μην υστερήσει η διδασκαλία των φυσικών επιστημών έναντι των

ανθρωπιστικών σπουδών, οι οποίες θεωρούνταν πρωταρχικής σημασίας και κύρους, στην Αγγλία, η αντίστοιχη τάση προέκυπτε ως ανάγκη να γίνει αντιληπτή η δημιουργική διανοητική περιπέτεια των επιστημόνων που κρύβεται πίσω από τα πειράματα. Χαρακτηριστική έκφραση της αγγλικής εκδοχής αποτελούν τα λόγια του Percy Nunn, ο οποίος δηλώνει το 1919 στο βιβλίο του *New Teaching*:

> «Η πρωταρχική συμβολή των ηρώων της επιστήμης στο παγκόσμιο πολιτισμικό γίγνεσθαι δεν είναι τόσο η μέθοδος της επιστημονικής τους έρευνας, όσο η ίδια η ζωή τους... Ο στόχος μας, επομένως, είναι να επιτρέψουμε στους μαθητές μας να μπουν... στο... πετσί του επιστήμονα, να κοιτάξουν μέσα απ' τα μάτια του και να χρησιμοποιήσουν τα εργαλεία του, βιώνοντας, όχι απλά την εμπειρία κάποιων από τις εργαστηριακές του δοκιμές, αλλά και κάτι από την αίσθηση της χαρούμενης διανοητικής του περιπέτειας» (Nunn 1919 στον Sherratt 1982[123]).

Εφαρμοσμένο παράδειγμα της ίδιας προσέγγισης, που αναφέρει ο Sherratt (Sherratt 1982[123]), αποτελεί το διδακτικό πείραμα του F.W. Sanderson, διευθυντή του Oundle School στο διάστημα 1892 - 1922, ο οποίος, πιστεύοντας ότι ο καθηγητής φυσικών επιστημών οφείλει να εμπνέει ιδανικά και αγάπη για το φυσικό κόσμο, ανέθετε στους μαθητές του ομαδικές εργασίες, με θέμα τη ζωή και τη δουλειά μεγάλων εφευρετών. Το αποτέλεσμα των εργασιών παρουσιάζονταν με τη μορφή εκθέσεων αντικειμένων, πειραμάτων και παρουσιάσεων μπροστά στο κοινό. Ζητούμενο ακόμη ήταν οι μαθητές να έρχονται σε αληθινή επαφή με πρωτότυπα κείμενα:

> «Διαβάστε Αρχιμήδη…διαβάστε κείμενα του Faraday…συνειδητοποιείστε την μακρά πειραματική διαδικασία…τη διαφορετικότητα των μεθόδων, τις δοκιμές, τις αποτυχίες, τις αβεβαιότητες, τις αμφιβολίες και την ανάγκη του ερευνητή να στηριχθεί σε υποθέσεις, την ατμόσφαιρα της ανακάλυψης…» (Sanderson στον Sherratt 1982[123]).

Η έντονη τάση που υπάρχει στη Γαλλία της σύνδεσης της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών με την ιστορία της επιστήμης, επηρεάζει τους κατασκευαστές των επιστημονικών οργάνων, που δίνουν στα διδακτικά όργανα μορφές που παραπέμπουν σε ιστορικά πειράματα και επιτρέπουν την αναπαράστασή τους. Ο σωλήνας του Newton, τα ημισφαίρια του Μαγδεμβούργου, διάφορες συσκευές του Franklin, του Nollet και του Volta βρίσκονται στα περιεχόμενα του καταλόγου Lerebours et Secrétan του 1853 (Lerebours et Secrétan 1853[129]), ενώ η ιστορική συλλογή οργάνων φυσικής του Lycée Guez de Balzac d'Angoulême – που ιδρύεται το 1840 και εξοπλίζει το εργαστήριό του καθ' όλη τη διάρκεια του 19^{ου} αιώνα με όργανα που έχουν κατασκευαστεί από γαλλικούς κατά συντριπτική πλειονότητα οίκους – περιλαμβάνει τα πρίσματα του Newton, τη συσκευή του Tyndall, τη συσκευή του Hooke, τον κοχλία του Αρχιμήδη, μοντέλο της μηχανής του Watt, τη συσκευή μέτρησης ηλεκτρικού φορτίου του Coulomb, τον κλωβό του Faraday, το αλεξικέραυνο του Franklin, τη συσκευή του Oested, το τραπέζι του Ampère κ.ο.κ. (Gires 2006[9]). Με τη βοήθεια διδακτικών εγχειριδίων, όπως του Ganot (Ganot 1959[5]), και των επιστημονικών οργάνων που ενσωματώνουν αναφορές στην ιστορία της επιστήμης, τα σχολικά εργαστήρια του 19^{ου} αιώνα αποκτούν μια διάσταση ιστορικού επιστημονικού μουσείου.

2.7. Διδάσκοντας μέσα από τα «αριστουργήματα της επιστήμης» στις αρχές του 20ου αιώνα

Στην αυγή του 20ου αι. ο Ernst Mach (1838-1916), ανάμεσα στους επιστήμονες-δημιουργούς που διαμορφώνουν τις επιστημονικές και επιστημολογικές εξελίξεις (Matthews 1988[130], Matthews 1990[131], Euler 2006[132]), εκδηλώνοντας ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την εκπαίδευση, αιτιολογεί στην εισαγωγή του διάσημου βιβλίου του *The Science of Mechanics*, γιατί επιλέγει την ιστορική μέθοδο παρουσίασης:

> «Εκτός από τη διαπίστωση ότι δεν μπορούμε παρά να ζημιωθούμε, αν αμελήσουμε να αξιοποιήσουμε τα ισχυρά παιδαγωγικά κίνητρα που μας προσφέρουν οι επιφανέστεροι όλων των εποχών, κίνητρα τα οποία συνολικά είναι πιο γόνιμα από αυτά που οι καλύτεροι των ημερών μας επιστήμονες θα μπορούσαν να προσφέρουν, δεν υπάρχει μεγαλύτερη και πιο ανυψωτική διανοητική απόλαυση από το άκουσμα των λόγων των ερευνητών που με τη γιγάντια δύναμή τους θεμελίωσαν την επιστήμη» (Mach 1919 σελ.7[1]),

ενώ, σε συνέδριο που αφορά στη γερμανική δευτεροβάθμια επιστημονική εκπαίδευση που γίνεται στο Dortmund το 1898, εισηγείται:

> «Θα ήμουν ευχαριστημένος αν ο κάθε νέος σπουδαστής ερχόταν σε ζωντανή επαφή και ακολουθούσε τις έσχατες λογικές συνέπειες *λίγων* βασικά μαθηματικών ή επιστημονικών ανακαλύψεων… Η ιδέα μου είναι να γίνει μια κατάλληλη επιλογή γραπτών από τον Galileo, Huygens, Newton κλπ. Η επιλογή είναι εύκολη, δεν δημιουργεί δυσκολία. Τα περιεχόμενα των κειμένων θα μπορούσαν να συζητηθούν με τους σπουδαστές και τα αυθεντικά πειράματα θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν με τη συμμετοχή τους… Λίγες από τις σημαντικές και φωτεινές επιστημονικές ιδέες θα μπορούσαν έτσι να ριζώσουν στο μυαλό των σπουδαστών και να υποβληθούν σε διεξοδική επεξεργασία…» (Mach 1898 σελ.367-368 [2]).

Εκτός, ωστόσο, από το αίσθημα θαυμασμού που μπορεί να προκαλέσει ένα αυθεντικό επιστημονικό κείμενο, σχέδιο ή πείραμα και έτσι να λειτουργήσει ως εφαλτήριο μάθησης, ο Mach επικαλείται την ιστορία της επιστήμης ως οργανικό στοιχείο της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών, θεωρώντας ότι έτσι, η διδασκαλία της επιστήμης μπορεί να προσφέρει τη δυνατότητα στοχασμού πάνω στα θεμέλια, στα όρια και στην εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης και την ικανότητα ψηλάφησης θεμάτων που αποκαλύπτουν την επιστήμη ως πολιτισμικό και κοινωνικό προϊόν. Ανατρέχοντας ξανά στα λόγια του, θα τον ακούσουμε να λέει:

> «…Εκείνοι που θα γνωρίσουν έτσι τη συνολική διαδρομή εξέλιξης της επιστήμης θα μπορούν να κρίνουν πιο ελεύθερα και πιο σωστά τη σημασία οποιουδήποτε σύγχρονού τους επιστημονικού ρεύματος σε σύγκριση με κείνους που το οπτικό τους πεδίο θα περιορίζεται στα όρια της επιστήμης των ημερών τους. Αυτοί θα είναι σε θέση να ατενίζουν μόνο τη στιγμιαία τάση που θα τυχαίνει να έχει η ακολουθία των διανοητικών γεγονότων τη συγκεκριμένη ιστορική στιγμή» (Mach 1919, σελ.7[1]).

Η ανάγκη του Mach να διδάξει την επιστήμη μέσα από ένα φανταστικό μουσείο υψηλών στιγμών της, συμπίπτει με το όνειρο ομάδας μηχανικών και επιστημόνων με επικεφαλής τον Oscar von Miller (1855-1934), που την ίδια εποχή αποφασίζουν να ιδρύσουν ένα πραγματικό μουσείο «αριστουργημάτων της επιστήμης» (masterpieces of science). Αποδίδοντας τον όρο αυτό – που μέχρι τότε χρησιμοποιούταν για τα έργα τέχνης – σε αυθεντικά επιστημονικά όργανα, όπως για παράδειγμα

στην αντλία κενού του von Guericke, στα ημισφαίρια του Μαγδεμβούργου, στο φασματοσκόπιο του Fraunhofer ή στον εξοπλισμό του εργαστηρίου του Röntgen, φωτίζουν με ύψιστο σεβασμό μεγάλα ιστορικά, αλλά και σύγχρονά τους, επιστημονικά επιτεύγματα, απεικονίζουν την ιστορία των διαφόρων επιστημονικών κλάδων και ανυψώνουν τους επιστήμονες και μηχανικούς στη συνείδηση του κόσμου (Sichau 2007[3], Weber 2002[4]).

Ταυτόχρονα, η ιδρυτική ομάδα, επηρεασμένη από ιδέες του John Dewey για τη σημασία της εμπειρίας ως παράγοντα μάθησης (Dewey & Dewey 1915[133], Dewey 1916[134]), θέτει ως αποστολή του μουσείου την ενεργή εμπλοκή του κοινού σε μαθησιακές διαδικασίες. Ανάμεσα στα μέλη της ιδρυτικής ομάδας βρίσκεται ο Georg Kerschensteiner (1854–1932), δάσκαλος φυσικών επιστημών και ερευνητής, ο οποίος ηγείται εκείνη την εποχή ευρείας εκπαιδευτικής μεταρρύθμισης, στα σχολεία του Μονάχου. Η τελευταία εισάγει το «σχολείο εργασίας» ή αλλιώς ενεργητικό σχολείο, το οποίο επιδιώκει να δημιουργήσει ένα παιδαγωγικό περιβάλλον στο οποίο ο μαθητής να κερδίζει τη γνώση μέσα από την πρωτοβουλία (Arbeitschule) (Πιαζέ 1988/1999 σελ.111[135]). Με την επιρροή του Georg Kerschensteiner τίθεται ως αποστολή του *Deutsches Museum* η εκπαίδευση του κοινού στις Φυσικές επιστήμες μέσα από τη διαδραστική (interactive)[cxxx] επίδραση με τα εκθέματα, η οποία επιτρέπει την εκτέλεση πειραμάτων (Weber 2002[4]). Η δυνατότητα να απευθύνεται σε ευρύ φάσμα κοινού, από τους επιστήμονες μέχρι τους απλούς πολίτες, αποτελεί επίσης ιδρυτικό στόχο του *Deutsches Museum*, που, συνδυάζοντας στα εκθέματά του την επιστημονική εγκυρότητα και τη δυνατότητα εκλαΐκευσης, αποτελεί ταυτόχρονα ναό της ιστορίας της επιστήμης και επιστημονικό κέντρο για το πλατύ κοινό (Sichau 2007[3]).

Το *Deutsches Museum*, συνιστά αποτύπωση του επιστημολογικού και παιδαγωγικού status της εποχής. Η βασική επιστημολογική προσέγγιση που διέπει τον τρόπο παρουσίασης των θεμάτων είναι η θετικιστική – κεντρική στις αρχές του 20ου αιώνα. Σύμφωνα με αυτή, η θεωρία υποκαθορίζεται από την παρατήρηση και το πείραμα, οπότε η πειραματική διδασκαλία των φυσικών επιστημών αποτελεί την ενδεδειγμένη μέθοδο για τη μύηση στην επιστημονική σκέψη (Galison 1988[10]). Η εμπειριστική (empiricist) αυτή επιστημολογική προσέγγιση συνάδει με την ιδέα μάθησης μέσω της ανακάλυψης, που διατυπώνεται την ίδια περίοδο (βλ. *ενότητα 3.3*). Η βασική παιδαγωγική αρχή που το διαπνέει είναι η ιδέα της φιλελεύθερης επιστημονικής εκπαίδευσης, στόχος της οποίας είναι το επιστημονικό αντικείμενο να παρουσιάζεται με τρόπο που να το καθιστά ελκυστικό για διαφορετικά είδη κοινού. Εργαλεία γι' αυτό αποτελούν η ιστορική μέθοδος παρουσίασης των επιστημονικών θεμάτων και τα πειράματα (Paparou 2010c[47]).

[cxxx] Τα πρώτα διαδραστικά εκθέματα (interactive exhibits) ήταν πειραματικές διατάξεις που μπορούσαν να ενεργοποιηθούν με το πάτημα κάποιου κουμπιού. Αργότερα, επιτράπηκε μεγαλύτερη ελευθερία στον επισκέπτη ο οποίος μπορούσε χρησιμοποιήσει τις συσκευές και να εκτελέσει πειράματα (πληροφορίες συνέντευξης από την Traudel Weber 2009 στις 15-9-2009).

2.8. Η ιδέα της ανακαλυπτικής μάθησης στις αρχές του 20ου αιώνα

Η ιστορική προσέγγιση και η πειραματική διδασκαλία συναντιούνται με ενδιαφέροντα τρόπο στην ιδέα των ευρετικών μεθόδων διδασκαλίας (heuristic methods of teaching) στις αρχές του 20ου αιώνα, που αργότερα παίρνουν την ονομασία της ανακαλυπτικής μάθησης (inquiry ή discovery learning). Σύμφωνα με την τελευταία, είναι καίριας σημασίας οι μαθητές να εισάγονται με τη βοήθεια της πειραματικής διαδικασίας στη θέση του εφευρέτη επιστήμονα, και, να καλούνται να κινητοποιήσουν το ένστικτο της περιέργειας, που ενυπάρχει στη φύση τους, προκειμένου να βρίσκουν οι ίδιοι απαντήσεις σε ερωτήματα και όχι απλά να πληροφορούνται γι' αυτές. Ο Henry Armstrong, καθηγητής Χημείας στο Imperial College στο Λονδίνο, εκφράζει με ευκρίνεια την άποψη αυτή, το 1903 (Armstrong 1903 σελ.236[136]).

> «Οι ευρετικές μέθοδοι είναι μέθοδοι που προϋποθέτουν το να τοποθετούμε τους σπουδαστές μας, όσο περισσότερο είναι δυνατόν, στη θέση του εφευρέτη, είναι μέθοδοι που απαιτούν οι μαθητές *να βρίσκουν οι ίδιοι* πράγματα, αντί απλά να ακούν γι' αυτά. Δεν είναι αναγκαίο καν να δικαιολογήσει κανείς μια τέτοια διδακτική άποψη...η ανακάλυψη και η εφεύρεση είναι θεϊκά δώρα, κατά μια έννοια χαρισμένα σε όλους, πράγμα που σημαίνει ότι έχουν δοθεί, για να χρησιμοποιούνται καθημερινά. Κατά συνέπεια, αυτό που χρειάζεται είναι να διδαχθούμε τους κανόνες του παιχνιδιού της ανακάλυψης και να μάθουμε να παίζουμε το παιχνίδι αυτό με επιδεξιότητα... Αυτή η άποψη έχει και μια ιστορική διάσταση. Θα αποδειχθεί ότι ο καλύτερος τρόπος, η αληθέστερη μέθοδος [εφαρμογής της ευρετικής μεθόδου], είναι ο μαθητής να ακολουθεί το μονοπάτι της έρευνας που ακολούθησε η ανθρωπότητα σε παλαιές εποχές» (Armstrong 1903, σελ. 236[136] & στον Matthews 1994 σελ. 21[99]).

Στα παραπάνω λόγια διαφαίνεται ότι η θεωρία της ευρετικής μάθησης που υποστηρίζει ο Armstrong είναι στενά επηρεασμένη από την ιδέα της Γενετικής Μεθόδου (Genetic Method) που διατυπώνεται στο χώρο της ψυχολογίας, σύμφωνα με τη οποία η διανοητική εξέλιξη του ατόμου μπορεί να συσχετιστεί με την εξέλιξη της ανθρώπινης γνώσης. Σύμφωνα με τον Matthews, ανάμεσα στους οπαδούς της Γενετικής Μεθόδου είναι ο Mach, ενώ αργότερα ο Piaget βασίστηκε στην ιδέα αυτή, για να διαμορφώσει το σύστημά του στο χώρο της γνωστικής ψυχολογίας (cognitive psychology) (Matthews 1994 σελ.51[99]). Για τους οπαδούς της ανακαλυπτικής μάθησης που ταυτόχρονα πιστεύουν στην Γενετική Μέθοδο, τα ιστορικά πειράματα μπορούν να γονιμοποιήσουν σημαντικές σκέψεις στους μαθητές, γιατί αποτελούν το μονοπάτι της εμπειρίας το οποίο αν ξαναπερπατηθεί μπορεί να αποκωδικοποιηθεί και να οδηγήσει στην ανακάλυψη των επιστημονικών αρχών. Η άποψη του Armstrong, την εποχή που εκφράζεται, δεν έχει ισχυρή επιρροή στους Άγγλους εκπαιδευτικούς, λόγω της, τότε, δυσαρέσκειάς τους προς την αποκλειστική εξάρτηση της διδασκαλίας από τις εργαστηριακές ασκήσεις (Sherratt 1982[123]). Αργότερα, κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα, η ιδέα της μάθησης ως ανακάλυψης γίνεται κεντρική και καθιερώνεται ως θεμελιώδης για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών. Ωστόσο, η εκδοχή της ανακαλυπτικής μάθησης που γίνεται κεντρική κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα, εμφανίζεται αποσυνδεδεμένη από την ιστορική προσέγγιση που υποστηρίζουν οι θεμελιωτές της στις αρχές του 20ου αιώνα.

2.9. Η κουλτούρα των «πειραματικών διαλέξεων»

Με τον όρο «πειραματική διάλεξη» αποδίδεται ο – πολύ κοινός στη διεθνή βιβλιογραφία – αγγλικός όρος «lecture demonstration» (Taylor 1988[16]) και ο αντίστοιχος γαλλικός «causerie expérimentale» (Turner 2002[137]).

Σύμφωνα με τον Charles Taylor (Taylor 1988 σελ.11[16]), η πρώτη μορφή των πειραματικών διαλέξεων μπορεί να αναζητηθεί στα «θέατρα της ανατομίας» (anatomical theaters) (Lourenco 2005 σελ54[102]) όπου οι τεχνίτες της ανατομίας του σώματος εισηγούνταν μπροστά σε κοινό σπουδαστών ιατρικής σχετικά θέματα, έχοντας μπροστά τους τα κατάλληλα παρασκευάσματα στα οποία μπορούσαν να επέμβουν. Μπορεί ακόμα να αναζητηθεί σε ιστορικά επιστημονικά συμβάντα, στα οποία οι επιστήμονες εξηγούσαν μπροστά στο μονάρχη τις πρόσφατες ανακαλύψεις τους με τη βοήθεια κατάλληλων πειραμάτων. Παρόλο που η καταγωγή του είδους είναι πολύ παλαιά, όπως, κατά τον Taylor, φαίνεται από ξυλογραφίες του 15^{ου} αιώνα που δείχνουν τον Πυθαγόρα να επιδεικνύει πειράματα σχετικά με τις ηχητικές κλίμακες, ο όρος αποκτά τη σημερινή του σημασία το δεύτερο ήμισυ του 17^{ου} αιώνα. Ο ίδιος συγγραφέας αναφέρει ότι ο John Keill (1671-1721) ήταν ο πρώτος εισηγητής πειραματικών διαλέξεων στη νεοσύστατη Βασιλική Εταιρεία του Λονδίνου[cxxxi], για να τον διαδεχθεί κατά τον 18^{ο} αιώνα, ο John Theophilus Desaguliers (1683-1744) και ο Francis Hauksbee (1666-1713). Στη Γερμανία, οι Johannes Andreas Schmidt και Georg Christoph Lichtenberg παραδίδουν πειραματικές διαλέξεις στα πανεπιστήμια του Hemstedt και του Gottingen αντίστοιχα (Taylor 1988 σελ.11-57[16]).

Όπως περιγράφτηκε και στην *ενότητα 2.1*, από το δεύτερο ήμισυ του 18^{ου} αιώνα, μέχρι και όλον τον 19^{ο} αιώνα, οι πειραματικές διαλέξεις είναι ιδιαίτερα διαδεδομένες και οι εφημερίδες συχνά δημοσιεύουν ανακοινώσεις που καλούν το κοινό να τις παρακολουθήσει. Το δεύτερο ήμισυ του 19^{ου} αιώνα χαρακτηρίζεται ως η χρυσή εποχή των πειραματικών διαλέξεων. Η επιστήμη βρίσκεται στο κέντρο του δημόσιου ενδιαφέροντος, πολλές τοπικές επιστημονικές ενώσεις ιδρύονται η μια μετά την άλλη, οι οποίες προωθούν την επίδειξη πειραμάτων και την οργάνωση παρουσιάσεων με τη χρήση του «μαγικού φανού»[cxxxii] (Taylor 1988 σελ.1-11[16]).

Ανάμεσα στους επιστήμονες που εμπλουτίζουν την παράδοση των πειραματικών διαλέξεων, κατά τον 19^{ο} αιώνα, είναι ο Thomas Young (1773-1829), ο Sir Humphry Davy (1778-1829), ο Michael Faraday (1791-1867), ο John Tyndall (1820-1893), ο Sir James Dewar (1842-1923) που δίνουν διαλέξεις στην Royal Institution του Λονδίνου[cxxxiii]. Το 1826 καθιερώνονται, στη Royal Institution, οι απογευματινές διαλέξεις της Παρασκευής, οι οποίες, χάρη στο αυξημένο ενδιαφέρον του κοινού για την επιστήμη, γνωρίζουν μεγάλη επιτυχία. Αποτελούν επίσημες εκδηλώσεις, στις οποίες το κοινό έχει την αίσθηση ότι γνωρίζει την επιστήμη από πρώτο χέρι, γιατί οι εισηγητές διαλέξεων αποτελούν, ταυτόχρονα, και πρωταγωνιστές των επιστημονικών εξελίξεων. Οι διαλέξεις του Davy ήταν τόσο

[cxxxi] Γίνεται αναφορά στη Royal Society που ιδρύθηκε το 1660.
[cxxxii] Ο αγγλικός όρος για το όργανο είναι 'magic lantern' (βλ. σχέδιο στη σελ.128).
[cxxxiii] Η Royal Institution του Λονδίνου ιδρύεται το 1799.

δημοφιλείς, ώστε οι αμαξάδες δέχονταν οδηγίες για την κατεύθυνση προς την οποία έπρεπε να κοιτούν τα άλογα, όταν άφηναν ή έπαιρναν τον κόσμο, ώστε να μη δημιουργείται συμφόρηση, Πρόκειται για την πρώτη μονοδρόμηση στην ιστορία. Έξω από τη Μ. Βρετανία, την τέχνη των πειραματικών διαλέξεων υψηλού επιστημονικού επιπέδου ασκούν, τον 19^{ο} αιώνα, οι Γερμανοί Hermann von Helmholtz (1821-1894), Rudolph König (1832-1901) και ο Αμερικανός Dayton Clarence Miller (1866-1901), οι οποίοι σχεδιάζουν πολύ αξιόλογα όργανα για τη μελέτη των ιδιοτήτων του ήχου (Taylor 1988 σελ.1-57[16]).

Εικόνα 2.7: Πολυσυζητημένη γκραβούρα του James Gillray (1802). Εικονίζει απογευματινή πειραματική διάλεξη στη Royal Institution. των αρχών του 19^{ου} αιώνα . Στον πάγκο εικονίζεται ο Humphry Davy να χειρίζεται ένα φυσερό, ενώ ο εισηγητής είναι έτοιμος να διοχετεύσει ιλαρυντικό αέριο σε ένα από τα μέλη του ακροατηρίου. (Frank 2007 σελ.xiv[138])

Κατά τη διάρκεια του 19^{ου} αιώνα, ο θεσμός πειραματικών διαλέξεων δέχθηκε ισχυρή κριτική. Σύμφωνα με μια ομάδα πολεμίων η εκλαΐκευση μείωνε την ακρίβεια και την εγκυρότητα της επιστημονικής πληροφορίας και τα πειράματα εκφυλίζονταν στην κατηγορία των τεχνασμάτων. Σύμφωνα με μια άλλη άποψη, το γεγονός ότι οι πειραματικές διαλέξεις ήταν ενδιαφέρουσες δεν συνιστούσε απόδειξη της χρησιμότητάς τους. Για τη δεύτερη αυτή κατηγορία επικριτών είχε μεγαλύτερη χρησιμότητα για τον εκπαιδευόμενο να εμπιστεύεται τα επιχειρήματα του διδάσκοντα από το να απολαμβάνει την επίδειξη πειραμάτων. Μια τελευταία ομάδα επιχειρημάτων ενάντια στην εκπαιδευτική αξία των πειραματικών διαλέξεων διατυπώθηκε από τους οπαδούς της ανακαλυπτικής μάθησης, σύμφωνα με τους οποίους η αξία των πειραματικών διαλέξεων ήταν μικρή σε σύγκριση με τις εργαστηριακές ασκήσεις που ήταν σχεδιασμένες να εκτελούνται από τους ίδιους τους μαθητές (Taylor 1988 σελ. 41-44[16]).

Παρόλο που τον 20^{ο} αιώνα, η παράδοση των πειραματικών διαλέξεων εμπλουτίστηκε με σημαντικές παρεμβάσεις, όπως του Sir Lawrence Bragg, τόσο οι επιστημονικές εξελίξεις, οι οποίες

άρχισαν να απέχουν «έτη φωτός» από τη φάση του μεμονωμένου ερευνητή ο οποίος μπορούσε πειραματικά να παρουσιάσει τις ανακαλύψεις του, όσο και η αλλαγή των συνθηκών διδασκαλίας στα σχολεία και πανεπιστήμια, τα οποία δεν διέθεταν, μετά τις πρώτες δεκαετίες του 20ου αιώνα, τη δυνατότητα τεχνικής υποστήριξης και άνεσης χρόνου που απαιτούσε η προετοιμασία των πειραματικών διαλέξεων, οδήγησε στην ιδιαίτερη υποβάθμιση της σημασίας των τελευταίων, ειδικά μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο (Taylor 1988 σελ. 44-48[16]).

2.10. Σύνοψη της ενότητας

Ανάμεσα στα χαρακτηριστικά που οι ιστορικοί της επιστήμης αποδίδουν στα επιστημονικά όργανα είναι ότι η σύλληψή τους εμπεριέχει την έννοια του κοινού, το οποίο μπορεί να ποικίλει, από το περιορισμένο κοινό μιας συγκεκριμένης επιστημονικής ομάδας, στο ευρύ κοινό ενός επιστημονικού θεάματος ή στο συγκεκριμένο κοινό μιας τυπικής εκπαιδευτικής διαδικασίας. Ψηφίδες της ιστορίας της επιστήμης που ιχνηλατούν την καταγωγή της πειραματικής επιστήμης και της διδασκαλίας της αποκαλύπτουν πώς τα επιστημονικά όργανα μπορούν να πρωταγωνιστούν μέσα σε όλες τις παραπάνω διαδικασίες μέσα από το διττό τους ρόλο, που συνίσταται αφενός μεν στο να αντικειμενοποιούν την υποκειμενική γνώμη και αφετέρου στο να λειτουργούν ως εργαλεία που απευθύνονται στις αισθήσεις. Έτσι, ενώ ο 17ος αιώνας «πλάθει» έναν ρόλο κύρους για τα επιστημονικά όργανα, τα οποία καλούνται να επεκτείνουν, να μεγεθύνουν και να καταστήσουν αντικειμενική την ατομική γνώμη, ο 18ος αιώνας «θυμάται» ότι τα επιστημονικά όργανα έλκουν την καταγωγή τους από τα εργαλεία των φυσικών μάγων που είχαν ως σκοπό να γοητεύσουν. Ενώ οι αντλίες του Boyle είναι τον 17ο αιώνα αντικείμενα υψηλής τεχνολογίας που αξιοποιούνται από διακεκριμένες επιστημονικές ομάδες, οι ηλεκτρικές μηχανές του 18ου αιώνα, καθώς μπορούν να κατασκευαστούν από τα εργαλεία μιας εύπορης αγροτικής αποθήκης, αποτελούν, ταυτόχρονα, ερευνητικά όργανα και όργανα για τη διάδοση της επιστήμης και τη διασκέδαση του κοινού. Σημαντικοί δάσκαλοι και κατασκευαστές οργάνων, αλλά και επιδέξιοι πειραματιστές, μπορούν, τότε, να γυρίζουν από τόπο σε τόπο και να βγάζουν το ψωμί τους οργανώνοντας δημόσια επιστημονικά θεάματα.

Στα πρώτα εργαστήρια διδασκαλίας της επιστήμης, τα επιστημονικά όργανα που χρησιμοποιούνται, συχνά συγκεντρώνουν και τα δύο χαρακτηριστικά. Ενώ έχουν σχεδιαστεί, για να λειτουργήσουν ως αποκωδικοποιητές της φύσης, επιδιώκουν ταυτόχρονα να προκαλέσουν αισθήματα θαυμασμού και εντυπωσιασμού. Αυτός ο συγκερασμός της γνώσης και της τέρψης δημιουργεί μια άποψη για την επιστημονική εκπαίδευση που επιδιώκει να παίρνει μορφές ελκυστικές για το ευρύ κοινό, όπως αποκαλύπτουν πολλά από τα επιστημονικά εγχειρίδια του 19ου αιώνα. Μέσα από τέτοιες όψεις η πειραματική επιστήμη φθάνει και στα ελληνικά σχολεία της προεπαναστατικής περιόδου τα οποία, κινούμενα κάτω από την ατραπό της ιδιαίτερης πνευματικής κίνησης που δημιουργεί ο ελληνικός διαφωτισμός, εξοπλίζουν τα εργαστήριά τους με «πνευματικές αντλίες» και «ηλεκτρικές μηχανές» (Βαρδαλάχος 1812 στο περιοδικό *Ερμής ο Λόγιος* 15-4-1812 σελ.118[111]). Ανάμεσα σ' αυτά,

τα σχολεία της γειτονιάς της Χίου καταγράφονται μεταξύ των πρώτων ευρωπαϊκών σχολείων στα οποία η πειραματική διδασκαλία της επιστήμης γίνεται συστηματικά.

Κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, η σύνδεση της επιστημονικής εκπαίδευσης με την ψυχαγωγία αποτελεί ιδέα της επιστημονικής εκπαίδευσης. Μια μορφή της υλοποιούν οι ιδρυτές του *Deutsches Museum*. Με τη βοήθεια εκθεμάτων που προβάλλουν την επιστημονική εξέλιξη μέσα από τα «αριστουργήματα της επιστήμης» επιδιώκουν να εγείρουν τον επιστημονικό στοχασμό, αλλά και ταυτόχρονα το θαυμασμό και την επιστημονική περιέργεια, μορφοποιώντας την ιδέα της επιστήμης για όλους. Η σύνδεση της επιστημονικής εκπαίδευσης με την ψυχαγωγία διαμορφώνει στην Αγγλία του 19^{ου} και των αρχών του 20^{ου} αιώνα την κουλτούρα των πειραματικών διαλέξεων. Οι διαλέξεις που οργανώνονται στην Royal Institution του Λονδίνου συνδυάζουν την επιστημονική εγκυρότητα με την παρουσίαση της επιστήμης ως θεάματος.

Ένας δεύτερος άξονας που διέπει την πειραματική διδασκαλία κατά τον 19^{ο} αιώνα και τις αρχές του 20^{ου} είναι η ιδέα της ανακαλυπτικής μάθησης. Πολλοί από τους οραματιστές της επιστημονικής εκπαίδευσης την εποχή αυτή θεωρούν ότι μέσα από το μονοπάτι της εμπειρίας μπορεί ο σπουδαστής να αρθεί στη γνώση, όπως ο επιστήμονας οδηγείται στην άρθρωση του επιστημονικού λόγου μέσα από το πείραμα.

3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΗΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΚΟΣΜΟ

Ενώ η στοχοθεσία των προγραμμάτων σπουδών και μεγάλης κλίμακας διδακτικών παρεμβάσεων επιβάλλεται από τις κοινωνικοπολιτικές συνθήκες, το θεωρητικό τους υπόβαθρο – παιδαγωγικό και επιστημολογικό – είναι συνάρτηση εξελίξεων στους τομείς της φιλοσοφίας της επιστήμης και της γνωστικής ψυχολογίας. Η βασικότερη παιδαγωγική επισήμανση του 20^{ου} αιώνα είναι η ανάγκη για μαθητοκεντρικές προσεγγίσεις της διδασκαλίας, η οποία παίρνει τη μορφή των θεωριών της ανακαλυπτικής μάθησης μέχρι τη δεκαετία του 1970, του εποικοδομητισμού (constructivism), μετά τη δεκαετία του 1980 (Matthews 1994 σελ.81-158[99]) και αναθεωρημένων μορφών της ανακαλυπτικής μάθησης κατά την τελευταία δεκαετία (NRC 2000[139], Grandy & Duschl 2007[140], PISA 2006[141]). Παράλληλα, οι εικόνες της επιστήμης που προβάλλουν τα προγράμματα σπουδών και οι διδακτικές παρεμβάσεις που αναπτύσσονται αντανακλούν το πέρασμα, από τη θετικιστική (positivist) αντίληψη για την επιστήμη – που μέχρι τα μέσα του 20^{ου} αιώνα έχει εμπειριστική και ρεαλιστική απόχρωση και κατά τις δεκαετίες 1960-70 αποχρώσεις επηρεασμένες από το ρεύμα του λογικού θετικισμού (logical positivism) – στην αντιθετικιστική-μοντέρνα (antipositivist- modern) αντίληψη της δεκαετίας του 1980 (Galison 1988[10], Elkana 2000[142]), και σε σύγχρονες επιστημολογικές προσεγγίσεις, στις οποίες μπορεί να διακρίνει κανείς στοιχεία της μεταμοντέρνας (postmodern) (Galison 1988[10]), όσο και των νεώτερων εκδοχών της μεταθετικιστικής (postpositivist) οπτικής (Grandy & Duschl 2007[140], PISA 2006 σελ.20-43[141]).

3.1. Προσεγγίσεις της διδασκαλίας της επιστήμης μέχρι τη δεκαετία του 1980

Σύμφωνα με τον Elkana, από τη δεκαετία του 1870, μέχρι το 1960, η διδασκαλία της επιστήμης διέπεται από την επαγωγική-ρεαλιστική φιλοσοφική προσέγγιση της επιστήμης (inductivist-realistic philosophy of science) (Elkana 2000[142]). Σύμφωνα με αυτή, η επιστημονική αλήθεια είναι αδιαμφισβήτητη και η επαγωγική μέθοδος ο ενδεδειγμένος τρόπος για την προσέγγισή της. Στην πράξη, το περιεχόμενο της επιστήμης είναι αυτό που έχει προτεραιότητα. Έτσι, η διδακτική πράξη συνίσταται στη μετάδοση πληροφοριών πάνω στα «αντικειμενικά» δεδομένα ('objective' facts) και τους «αποδεδειγμένους» νόμους της φύσης ('proved' laws of nature), η αλήθεια των οποίων επικυρώνεται μέσα από την επίδειξη πειραμάτων ή σε κάποια πολύ πλούσια σχολεία από την πειραματική άσκηση.

Οι ραγδαίες επιστημονικές εξελίξεις των αρχών του 20^{ου} αιώνα, συγκλονίζουν τα θεμέλια της φιλοσοφίας της επιστήμης και ανοίγουν μεγάλες συζητήσεις που αφορούν στις μεθόδους, τα όρια και τη δυνατότητα της επιστήμης να περιγράφει την αλήθεια. Στο πρόσωπο του λογικού θετικισμού – θεωρίας που συγκεντρώνει το ενδιαφέρον και το σύνολο του προβληματισμού στις αρχές του 20^{ου} αιώνα και αποτελεί το κύριο φιλοσοφικό ρεύμα μέχρι τη δεκαετία του 1960 – συγκεράζονται

διαφορετικές απόψεις που καταλήγουν στις βασικές συνιστώσες ότι η επιστήμη θεμελιώνεται στη βάση της εμπειρίας και εργαλείων της λογικής και μαθηματικής ανάλυσης. Σε αντίθεση με το ρεαλιστικό τοπίο του 19ου αιώνα, μέσα στους κόλπους του λογικού θετικισμού διατυπώνεται η θέση ότι τα όρια της γνώσης τελειώνουν στην εμπειρία και ότι οι επιστημονικές θεωρίες αποτελούν εργαλεία εξήγησης του κόσμου και όχι απόλυτες αλήθειες (Psillos 2007 σελ.145[143], Κάλφας 1997[144]).

Μετά το πρώτο ήμισυ του 20ου αιώνα, οι φιλοσοφικές θέσεις του λογικού θετικισμού γίνονται αντικείμενο ευρείας αναφοράς των προγραμμάτων σπουδών και συζήτησης στον εκπαιδευτικό κόσμο (Elkana 2000[142]).

3.1.1. Η ιδέα της ανακαλυπτικής μάθησης, όπως διαμορφώνεται και εφαρμόζεται κατά το δεύτερο ήμισυ του 20ου αιώνα

Υπό την επίδραση του λογικού θετικισμού, ο απόλυτα έγκυρος χαρακτήρας που διεκδικούσε η επιστημονική γνώση υποκαθίσταται από την εγκυρότητα της επιστημονικής μεθόδου. Ως θεμέλιο της τελευταίας αναγνωρίζεται η εμπειρική βάση. Σε κάποιες από τις εκφάνσεις του λογικού θετικισμού, ως θεμέλιο της επιστημονικής μεθόδου ορίζεται ο μαθηματικός θετικισμός (mathematical positivism) (Elkana 2000[142]), ο οποίος αντιμετωπίζει τις προτάσεις που διατυπώνονται ως φυσικοί νόμοι, ως μαθηματικές σχέσεις, και όχι ως πραγματικές σχέσεις μεταξύ ρεαλιστικών οντοτήτων (Losee 2001 σελ.144-148[145]). Κάτω από αυτό το φιλοσοφικό πλαίσιο και σε συνδυασμό με την πίεση που ασκούν διάφοροι κοινωνικοπολιτικοί παράγοντες, οι διδακτικές εφαρμογές αποκτούν, συχνά, κατά τις δεκαετίες του 1960 και 1970, εργαλειακό (instrumentalist) χαρακτήρα, με την έννοια ότι οι μαθητές δεν τίθενται αντιμέτωποι με θεμελιώδη ερωτήματα που αφορούν στο εννοιολογικό πλαίσιο το οποίο χρησιμοποιούν, αλλά καλούνται να βρουν τρόπους να χρησιμοποιήσουν την επιστημονική μέθοδο, για να εξάγουν συμπεράσματα από τις πειραματικές μετρήσεις και να τις μεταφράσουν σε μαθηματικές σχέσεις. Η εκδοχή αυτή της επιστημονικής διδασκαλίας, παρόλο που επικρίθηκε για τη μονομέρειά της και θεωρήθηκε προβληματική στην εφαρμογή της, γιατί μπορούσε να εμπνεύσει μόνο μικρό ποσοστό μαθητών, ήταν αποτελεσματική ως προς την «κατασκευή επιστημόνων». Επίσης, είχε το χαρακτηριστικό ότι έδινε έμφαση στον πειραματισμό, ο οποίος νοούνταν ως διαδικασία με υποκείμενο τον μαθητή και όχι τον διδάσκοντα (Elkana 2000[142], Harris & Taylor 1983[146]).

Η έμφαση της επιστημονικής διδασκαλίας σε δράσεις με κέντρο τον μαθητή, ενισχύεται, κατά τη δεκαετία του 1960, από την έρευνα στο χώρο της γνωστικής ψυχολογίας, η οποία επαναφέρει την ιδέα, που είχε διατυπωθεί από τις αρχές του 20ου αιώνα (Armstrong 1903 σελ.236[136] & στον Matthews 1994 σελ 20-22[99]), της σύνδεσης της προσωπικής οδού μάθησης με την ιστορική (βλ. *ενότητα 2.8*). Έτσι, στο χώρο της διδακτικής των φυσικών επιστημών διαμορφώνεται η υπόθεση ότι, αν ο μαθητής τοποθετηθεί μπροστά σε ένα επιστημονικό ερώτημα, έχοντας τα εργαλεία που οι επιστήμονες είχαν αντιμετωπίζοντάς το, τότε θα ανακαλύψει τμήματα του μονοπατιού που βάδισε η επιστημονική σκέψη σε παλαιότερες εποχές. Πρακτικά, ο μαθητής καλείται να μάθει μέσα από διαδικασίες έρευνας και όχι αποστήθισης. Κλασσικές διεργασίες στις οποίες, καλείται να εμπλακεί είναι *η πραγματοποίηση*

παρατηρήσεων, η διαμόρφωση επιστημονικών υποθέσεων, η πρόβλεψη των συνεπειών μιας επιστημονικής υπόθεσης, η πραγματοποίηση παρατηρήσεων για τον έλεγχο μιας επιστημονικής υπόθεσης, η αποδοχή ή *η απόρριψη μιας επιστημονικής υπόθεσης* με βάση την παρατήρηση (Grandy & Duschl 2007[140]).

Ανάμεσα στους σημαντικούς υποστηρικτές των ανακαλυπτικών μεθόδων μάθησης του 1960 είναι ο Jerome Bruner. Το έργο του, *The Process of Education*, που πρωτοεκδόθηκε το 1960 έγινε γρήγορα best seller και μεταφράστηκε σε 19 γλώσσες. Ένας από τους λόγους της επιτυχίας του ήταν ότι ο συγγραφέας συνέδεσε την εκπαιδευτική έρευνα με τη γνωστική ψυχολογία, φέρνοντας κάτω από το φακό της παρατήρησης την τάξη, τους καθηγητές και τις διδακτικές πρακτικές, σε μια εποχή που οι θεωρίες μάθησης αναφέρονταν μόνο σε ποντίκια, περιστέρια και θεωρίες αντανακλαστικής συμπεριφοράς (Matthews 1994 σελ. 25-26[99]**).** Περιγράφοντας τη μέθοδό του, αναφέρει:

> «Ακριβώς όπως ο φυσικός επιστήμονας έχει καθορισμένη στάση απέναντι στις θεμελιώδεις κανονικότητες της φύσης, που εκφράζεται με την πεποίθηση ότι ο φυσικός νόμος μπορεί να ανακαλυφθεί, έτσι και ο νέος σπουδαστής των φυσικών επιστημών χρειάζεται να προσεγγίσει μια εκδοχή αυτής της βεβαιότητας, αν πρόκειται να οργανώσει τη μάθησή του με τρόπο, ώστε να καταστήσει αυτό που μαθαίνει χρήσιμο και ουσιαστικό για την ανάπτυξη της σκέψης του. Το να ενσταλάξει κανείς αυτή τη στάση διαμέσου της διδασκαλίας απαιτεί κάτι περισσότερο από την απλή παρουσίαση των βασικών επιστημονικών εννοιών. Το τι ακριβώς χρειάζεται, για να πετύχει μια τέτοιου είδους διδασκαλία, αποτελεί αντικείμενο εκτεταμένης εκπαιδευτικής έρευνας. Όμως, φαίνεται πως ένα σημαντικό στοιχείο της είναι να καταφέρει να δημιουργήσει στους σπουδαστές το αίσθημα της έκπληξης για την ανακάλυψη – την ανακάλυψη κανονικοτήτων, την ανακάλυψη σχέσεων και ομοιοτήτων μεταξύ ιδεών που πριν περνούσαν απαρατήρητες, πράγματα που οδηγούν στο να κερδηθεί το αίσθημα αυτοπεποίθησης και εμπιστοσύνης των σπουδαστών στις ικανότητές τους» (Bruner 1960/1996 σελ 20[147]).

Οι Joyce & Weil στο βιβλίο *Models of Teaching*, ορίζουν τη θεωρία της ανακαλυπτικής μάθησης (teaching as inquiry) ως ιδέα που αναπτύχθηκε κατά τη δεκαετία του 1960 από τον Bruner – στο βιβλίο του *The Process of Education* – και τους Schwab & Brandwein – στο *The Teaching of Science* (Schwab & Brandwein 1962[148]). Οι Joyce & Weil περιγράφουν τη μέθοδο με τα παρακάτω λόγια:

> «Η διδασκαλία της επιστήμης πρέπει να είναι, όσο γίνεται περισσότερο, προσομοίωση της ίδιας της επιστημονικής διαδικασίας. Οι έννοιες των διαφόρων επιστημονικών κλάδων πρέπει να μελετώνται σε στενή, αυστηρή σχέση με τη βάση των γνώσεων από τις οποίες γεννιούνται. Έτσι, η μάθηση της επιστήμης θα γίνεται ως ανακάλυψη. Επιπλέον, η πληροφορία, που θα μαθαίνεται, θα μπορεί να συγκρατείται καλά, καθώς θα έχει εμπεδωθεί μέσα σε ένα πλαίσιο κατάλληλης σημαντικής. Ο μαθητής θα μπορεί να κυριαρχεί στις αλληλοσυσχετιζόμενες έννοιες που αποτελούν τους δομικούς λίθους των διάφορων επιστημονικών κλάδων» (Joyce & Weil 1996 σελ 43[149]).

Κατά την περίοδο 1960-1970, η ιδέα της ανακαλυπτικής μάθησης γίνεται βασικός άξονας σχεδιασμού των αναλυτικών προγραμμάτων (science curricula) σε διεθνές επίπεδο (Matthews 1994 σελ.20-22[99], Duit & Treagust 1998[150]), ενώ παράλληλα αρχίζει να αξιολογείται και να δέχεται κριτική, η οποία σχετίζεται, καταρχήν, με την αποτελεσματικότητά της και, κατά δεύτερο, με τα θεωρητικά της θεμέλια.

Ο τρόπος με τον οποίο η μέθοδος της ανακαλυπτικής μάθησης εφαρμόζεται ποικίλει στα διαφορετικά προγράμματα σπουδών. Έτσι, η ιδέα του Bruner, της μάθησης μέσα από την «έκπληξη» σε πολλές εφαρμογές που – επηρεασμένες από την έμφαση στον μαθηματικό θετικισμό – περιορίζουν την «ανακάλυψη» στην εξαγωγή μαθηματικών σχέσεων από τις πειραματικές εφαρμογές, εξαφανίζεται. Επίσης, παρόλο που πολλές από τις διδακτικές εφαρμογές της ανακαλυπτικής μάθησης της δεκαετίας του 1960-70 βασίζονται σε ιστορικά πειράματα, συμβαίνει οι μαθητές να καλούνται να τα μελετήσουν ανεξάρτητα από το ιστορικό τους πλαίσιο. Παράλληλα, παρατηρείται ότι τα προγράμματα σπουδών που εμπνέονται από το θεωρητικό πλαίσιο του λογικού θετικισμού δεν επικεντρώνονται στη περιγραφή του *πώς γεννιέται η επιστήμη*, αλλά μόνο σε θέματα που δείχνουν το *πώς ο επιστημονικός λόγος θεμελιώνεται* (Elkana 2000[142]).

3.1.2. Βασικά σημεία της κριτικής στη μέθοδο της ανακαλυπτικής μάθησης

Βασικό σημείο της κριτικής που δέχθηκε η μέθοδος, ως προς την αποτελεσματικότητά της, ήταν το ότι λίγοι εκπαιδευτικοί ήταν σε θέση να υποστηρίξουν πρακτικές ανακαλυπτικής μάθησης, γιατί στην πραγματικότητα, εφόσον δεν είχαν υπηρετήσει οι ίδιοι την επιστημονική έρευνα, δεν γνώριζαν την επιστήμη ως ερευνητική διαδικασία, ώστε να τη διδάξουν ως τέτοια (Welch et al. 1981[151]).

Παράλληλα, οι εφαρμογές της μεθόδου δέχθηκαν κριτική ως προς το κατά πόσο στην πράξη εμφάνιζαν συνέπεια με τις βασικές αρχές τις οποίες επικαλούνταν (Harris & Taylor 1983[146]). Έτσι, για παράδειγμα, οι Harris & Taylor, αναλύοντας το πώς η μέθοδος εφαρμόστηκε σε δύο από τα σημαντικότερα αναλυτικά προγράμματα της δεκαετίας του 1960, το PSSC (ΗΠΑ 1956) και το Nuffield (Μ. Βρετανία 1967) επισημαίνουν ότι το PSSC εμφάνιζε σε πολλά σημεία την επιστήμη ως μια δεδομένη αλήθεια, την οποία οι μαθητές θα ήταν σε θέση να προσεγγίσουν, αν είχαν στα χέρια τους τα όργανα των επιστημόνων. Επίσης, παρατηρούν ότι το PSSC προσέφερε συχνά έτοιμα συμπεράσματα, αντί για διαδικασίες ανακάλυψης. Όσον αφορά στο πρόγραμμα Nuffield επισημαίνουν ότι, ενώ επιστράτευε με μεγαλύτερη συνέπεια σε σχέση με το PSSC την επαγωγική διαδικασία, οδηγούσε στο πρόβλημα οι μαθητές να μπορούν πολύ δύσκολα να αρθούν στα αναμενόμενα επιστημονικά συμπεράσματα με βάση τις παρατηρήσεις τους. Στην περίπτωση που δεν καθοδηγούνταν από τον διδάσκοντα, οδηγούνταν σε πολύ απλούστερα συμπεράσματα που δεν έμοιαζαν με ανακαλύψεις. Στην περίπτωση που καθοδηγούνταν εντατικά από τον διδάσκοντα, οδηγούνταν στα επιθυμητά συμπεράσματα, ωστόσο σ' αυτή την περίπτωση η διαδικασία έχανε τον μαθητοκεντρικό της χαρακτήρα και, επομένως, τη χροιά της ανακάλυψης. Οι Harris & Taylor καταλήγουν ότι η πραγματική μύηση στην επιστήμη είναι ουτοπική. Αντίθετα, η επιστημονική εκπαίδευση είναι εφικτό να προσφέρει την εκγύμναση σε επιστημονικές διαδικασίες. Στο πλαίσιο αυτό η χρήση των οργάνων και η διεκπεραίωση απλών υπολογισμών, από το μέσο μαθητή, και κάποιου είδους αιτιολόγηση των πεποιθήσεών του από τον πιο προικισμένο είναι ό,τι περισσότερο μπορεί να επιτευχθεί (Harris & Taylor 1983[146]).

Όσον αφορά στα θεωρητικά θεμέλια της μεθόδου, αμφισβητήθηκε κατ' αρχήν η κεντρική παιδαγωγική ιδέα της, ότι ο μαθητής μπορεί «φυσικά» να συναντήσει τη σκέψη των επιστημόνων, αν μπορέσει να εκτεθεί στα ίδια με αυτούς εξωτερικά ερεθίσματα. Ορισμένοι αναλυτές επισήμαναν το γεγονός ότι είναι απίθανο οι μαθητές να αρθούν σε συλλογισμούς ανάλογους με των πρωταγωνιστών της ιστορίας της επιστήμης, αν βρεθούν μπροστά σε ανάλογα, με τα ιστορικά, πειραματικά δεδομένα, γιατί δεν φέρουν το θεωρητικό υπόβαθρο που μπορεί να γεννήσει τέτοιους συλλογισμούς (Matthews 1994 σελ.22-24[99]). Κάποιοι μάλιστα όπως ο Alan Cromer (Cromer 1993/1995[152]), που ανήκει στο χώρο της επιστημονικής εκπαίδευσης, και ο Lewis Wolpert (Wolpert 1992/1997[153]), που ανήκει στο χώρο της επιστημονικής έρευνας, επιχειρηματολόγησαν πάνω στην αντίθετη ιδέα, με βάση την οποία η επιστημονική σκέψη «δεν είναι φυσική», απαιτεί τη μύηση σε έναν τρόπο σκέψης που «δεν είναι φυσικός» και αυτό αποτελεί τη δυσκολία κατάκτησής της, τόσο σε ιστορικό, όσο και σε ατομικό επίπεδο.

Κατά δεύτερον, ως συνδεδεμένη με θετικιστικές προσεγγίσεις της φύσης της επιστήμης, η μέθοδος της ανακαλυπτικής μάθησης δέχθηκε, κατά τη διάρκεια των δεκαετιών 1970-80, κριτική που αφορούσε στα επιστημολογικά της θεμέλια, η οποία αποτελούσε αντίκτυπο της κριτικής που δέχθηκαν οι θετικιστικές προσεγγίσεις κατά τη διάρκεια των δεκαετιών 1960-70 (βλ. *ενότητες 3.2, 3.3.1*).

3.2. Θεωρητικές μετατοπίσεις της δεκαετίας του 1980 στο χώρο της επιστημονικής εκπαίδευσης

Εξελίξεις που συμβαίνουν στο χώρο της φιλοσοφίας της επιστήμης προς το τέλος της δεκαετίας του 1950 και μετά αντιστρέφουν την ιδέα ότι η θεωρία υποκαθορίζεται από την παρατήρηση και το πείραμα, και τοποθετούν στη θέση της την ιδέα ότι η παρατήρηση είναι πάντα ποτισμένη από τη θεωρία. Το κέντρο βάρους της ιστοριογραφικής ανάγνωσης, τότε, μετατοπίζεται, από τη θεώρηση του πειράματος και της παρατήρησης ως θεμελίων της επιστημονικής γνώσης και διαμορφωτικού παράγοντα της θεωρίας, στη θεώρηση του μεταβαλλόμενου επιστημονικού θεωρητικού πλαισίου ως διαμορφωτικού παράγοντα της πειραματικής πρακτικής ή ακόμα και των ψυχολογικών παραμέτρων της αντίληψης και παρατήρησης. Η ιστορία της επιστήμης στις δεκαετίες του 1960 και 1970 αναγιγνώσκεται ως μια διαδικασία παράλληλης ρήξης του θεωρητικού πλαισίου και των πειραματικών πρακτικών που συμπαρασύρει (Galison 1988[10]).

Η παραπάνω προσέγγιση, συνδυαζόμενη με θεωρητικές εξελίξεις, που τότε συμβαίνουν στους τομείς της γνωστικής ψυχολογίας, τροφοδοτεί επιστημολογικά την παιδαγωγική προσέγγιση του εποικοδομητισμού, τμήμα της οποίας είναι η θεωρία του ψυχολογικού εποικοδομητισμού (psychological constructivism).

3.2.1. Το θεωρητικό υπόβαθρο του ψυχολογικού εποικοδομητισμού

Σημείο εκκίνησης του ψυχολογικού εποικοδομητισμού είναι η άποψη του Piaget, ότι δεν υπάρχει γνώση που να μην περιλαμβάνει την ενεργητική νοητική συμμετοχή του ατόμου:

> «Πενήντα χρόνια εμπειρίας μας δίδαξαν πως η γνώση δεν μπορεί να προκύπτει από μια απλή καταγραφή παρατηρήσεων, χωρίς κάποια διαδικασία δόμησης που να οφείλεται σε δραστηριότητα του υποκειμένου. Ούτε μπορεί (στο ανθρώπινο όν) να είναι σύμφυτη με a priori γνωστικές δομές: μόνο η λειτουργία της νοημοσύνης είναι κληρονομική και μπορεί να δημιουργήσει δομές και αυτό το πραγματοποιεί οργανώνοντας διαδοχικές ενέργειες που ασκούνται στα αντικείμενα. Κατά συνέπεια, μια επιστημολογία σε συμφωνία με την ψυχογένεση δεν θα μπορούσε να βασίζεται ούτε απλά στην εμπειρία, ούτε στην ανάμνηση προδιαμορφωμένων σχημάτων, αλλά θα μπορούσε να βασίζεται μόνο στην ενεργητική οικοδόμηση και τη συνεχή επεξεργασία των δημιουργημένων δομών» (Piaget 1979 στον Bertrand 1994 σελ.66[154]).

Βασική ιδέα που τίθεται ως άξονας της θεωρίας του εποικοδομητισμού, είναι η ιδέα της *προϋπάρχουσας αντίληψης*, σύμφωνα με την οποία ο νους του μαθητευόμενου δε μοιάζει με λευκό χαρτί, αλλά αποτελεί ένα σύνολο προ-διαμορφωμένων αντιλήψεων (pre-existing ideas). Σημαντική για τη διαμόρφωση της ιδέας της προϋπάρχουσας αντίληψης υπήρξε, σύμφωνα με τον Bertrand, η σκέψη του Bachelard, ο οποίος, το 1938, στο βιβλίο του με τίτλο: *«La formation de l' esprit scientifique»*, σημειώνει:

> «Πάντοτε μου έκανε εντύπωση ότι οι καθηγητές των φυσικών επιστημών, περισσότερο από άλλους, δεν μπορούν να κατανοήσουν πως οι μαθητές τους δεν καταλαβαίνουν. Το γεγονός πως ο μαθητής φθάνει στο σχολείο κατέχοντας ήδη συγκροτημένες εμπειρικές γνώσεις δεν τους έχει προβληματίσει. Το πρόβλημα δεν είναι να αποκτήσουν οι μαθητές μια πειραματική γνώση, αλλά ν' αλλάξουν γνώση, ανατρέποντας τα εμπόδια που τους έχει συσσωρεύσει η καθημερινή ζωή» (Bachelard στον Bertrand 1994 σελ.68[154]).

Κατά τη δεκαετία του 1970, η ιδέα της φιλοσοφίας της επιστήμης, ότι δεν υπάρχει παρατήρηση που να μην υποκαθορίζεται από τη θεωρία και η ιδέα στο χώρο της γνωστικής ψυχολογίας ότι το προϋπάρχον πλαίσιο ιδεών σε κάθε άτομο καθοδηγεί τον τρόπο που το άτομο κατανοεί τον κόσμο συνδέονται και στρέφουν την έρευνα στη διδακτική των φυσικών επιστημών στην παρατήρηση των ιδεών των μαθητών. Παρόλο που, όπως παρατηρούν οι Duit & Treagust (Duit & Treagust 1995[155], Duit & Treagust 1998[150]), έρευνα πάνω στις ιδέες των μαθητών στις φυσικές επιστήμες υπήρχε ήδη από την αρχή του 20^{ου} αιώνα, κατά τη δεκαετία του 1970 η έρευνα αυτή γίνεται κεντρική και επηρεάζει σημαντικά τη διδακτική πράξη. Ένας από τους κύριους εκφραστές του θεωρητικού πλαισίου του εποικοδομητισμού, ο von Glasersfeld, προτείνει το 1989 :

> «Ο δάσκαλος πρέπει να αλλάξει τον τρόπο που βλέπει τα προβλήματα. Δεν μπορεί να θεωρεί ότι ένα πρόβλημα έχει μόνο μια λύση και ένα συγκεκριμένο τρόπο επίλυσης. Πρέπει να καταλάβει ότι αυτό που αυτός ή αυτή παρουσιάζουν ως 'πρόβλημα' μπορεί να γίνεται αντιληπτό με διαφορετικό τρόπο από τον μαθητή. Συνεπώς, ο μαθητής μπορεί να προτάξει μια λογική, κατ' αυτόν, λύση, η οποία ωστόσο να μη φαίνεται λογική στο δάσκαλο. Το να ακούσει, μετά, ο μαθητής ότι έχει κάνει *λάθος* (ακόμα και αν του εξηγηθεί 'το σωστό') δεν βοηθάει και δρα ανασταλτικά, γιατί δεν λαμβάνεται έτσι υπόψη η προσπάθεια που έχει κάνει ο μαθητής. Επιπλέον τέτοιου είδους αψυχολόγητες διορθώσεις περιορίζουν τα κίνητρα των μαθητών για τη συμμετοχή σε ανάλογες απόπειρες στο μέλλον. Αντίθετα, οι δάσκαλοι που

ακολουθούν τη διδακτική προσέγγιση του εποικοδομητισμού, θα πρέπει να ερευνούν το πώς οι μαθητές βλέπουν το πρόβλημα και το γιατί η λύση, που προτείνουν, φαίνεται υποσχόμενη *σ' αυτούς*. Αυτό με τη σειρά του θα επιτρέψει στους δασκάλους να οικοδομήσουν ένα υποθετικό μοντέλο του εννοιολογικού δικτύου των μαθητών και να προσαρμόσουν την εκπαιδευτική πράξη, ώστε αυτή να προσφέρει δυνατότητες για επεξεργασία και προσαρμογή των εννοιών, τέτοια που να αντιστοιχεί στις δυνατότητες των μαθητών» (Glasersfeld 1989[156]).

Παράλληλα, ο von Glaserfeld αποκαλύπτει το επιστημολογικό υπόβαθρο της θεωρίας του. Παρουσιάζει την επιστημονική γνώση ως προσπάθεια ερμηνείας του κόσμου, της οποίας η αλήθεια έχει αμφισβητηθεί, συντασσόμενος, έτσι, με τη μεταθετικιστική (postpositivist) στροφή της φιλοσοφίας της επιστήμης της δεκαετίας του 1960-70:

«Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες η πίστη σε μια αντικειμενική επιστημονική γνώση, μια πίστη που παλαιότερα χρησιμοποιούταν ως αδιαμφισβήτητη βάση για τις περισσότερες διδακτικές εφαρμογές στο σχολείο ή την τριτοβάθμια εκπαίδευση, έχει διαταραχθεί από ρεύματα σκέψης που έχουν μεταβάλλει το τοπίο της ίδιας της φιλοσοφίας της επιστήμης» (Glasersfeld 1989[156]).

Χρησιμοποιώντας ως αναφορά μια εικόνα της επιστήμης που χρησιμοποιούν οι Einstein & Infeld, το 1938, στο βιβλίο τους *Evolution of Physics:*

«Οι φυσικές έννοιες είναι ελεύθερες δημιουργίες του ανθρώπινου πνεύματος και δεν καθορίζονται, όσο και να φαίνεται, αποκλειστικά, από τον εξωτερικό κόσμο. Στην προσπάθειά μας να κατανοήσουμε την πραγματικότητα, μοιάζουμε κάπως με τον άνθρωπο που προσπαθεί να καταλάβει το μηχανισμό ενός κλειστού ρολογιού. Βλέπει την πλάκα και τους κινούμενους δείκτες, ακούει τους κτύπους του, αλλά δεν έχει τρόπο να ανοίξει το κουτί. Αν έχει εφευρετικό μυαλό, θα μπορέσει να φτιάξει κάποια εικόνα του μηχανισμού, που θα την καταστήσει υπεύθυνη για καθετί που παρατηρεί, αλλά ποτέ δεν μπορεί να είναι εντελώς βέβαιος πως η εικόνα του είναι η μόνη ικανή να εξηγήσει τις παρατηρήσεις. Ποτέ δε θα είναι σε θέση να συγκρίνει την εικόνα με τον πραγματικό μηχανισμό και ακόμα, δε θα μπορεί να φανταστεί τη δυνατότητα ή το νόημα μιας τέτοιας σύγκρισης…» (Einstein & Infeld 1938/1978 σελ.40[157]),

ο Glaserfeld παρουσιάζει το 2001 (Glasersfeld 2001[158]) την άποψη του εποικοδομητισμού για την επιστημονική γνώση, ως μηχανισμού κατασκευής μοντέλων που έχουν ως στόχο να αποτελέσουν εργαλεία για τη διαχείριση της εμπειρίας, και όχι προσβάσεις σε κάποια ανεξάρτητη από τον παρατηρητή αλήθεια του κόσμου:

«Όπως ο πολυμήχανος παρατηρητής στη μεταφορά του Einstein, οι επιστήμονες επινοούν θεωρητικά μοντέλα μηχανισμών και ελέγχουν τη βιωσιμότητά τους με επαναλαμβανόμενες και 'ελεγχόμενες' εμπειρίες που τις αποκαλούν 'πειράματα'… Ο αληθινός στόχος τους δεν είναι να αποκτήσουν μια 'αληθινή' εικόνα μιας ανεξάρτητης από τον παρατηρητή 'πραγματικότητας', αλλά να προσφέρουν εργαλεία για τη διαχείριση της εμπειρίας» (Glasersfeld 2001[158]),

δίνοντας πραγματιστική (pragmatist) χροιά στη φύση της επιστήμης:

«Σύμφωνα με τον εποικοδομητισμό, η επιστήμη δεν μπορεί να υπερβεί το κράτος της εμπειρίας. Οι επιστημονικές θεωρίες γίνονται αντιληπτές ως μοντέλα, που βοηθούν να γίνει οργάνωση και διαχείριση του κράτους της εμπειρίας. Καθώς επεκτείνεται το πεδίο της εμπειρίας, τα μοντέλα αντικαθίστανται από άλλα που βασίζονται σε νέα εννοιολογικά οικοδομήματα» (Glasersfeld 2001[158]).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η επιστημολογική προσέγγιση του εποικοδομητισμού υποστηρίζει ότι η γνώση έχει υποκειμενική και εμπειρική βάση αποβλέποντας στην κατασκευή εργαλείων για την

εξήγηση των δεδομένων της εμπειρίας και όχι στην αλήθεια, όπως περιγράφει ο Matthews (Matthews 1994 σελ.139-141[99]), ο οποίος χρησιμοποιεί τα λόγια του Wheatley, για να συνοψίσει την προσέγγιση αυτή:

> «Η θεωρία του εποικοδομητισμού στηρίζεται σε δύο βασικές αρχές… Η πρώτη υποστηρίζει ότι η γνώση δεν αποκτιέται παθητικά, αλλά οικοδομείται από το υποκείμενο… Η δεύτερη αρχή υποστηρίζει ότι η λειτουργία της νόησης είναι προσαρμοστική και χρησιμεύει στο να οργανώνει τον κόσμο της εμπειρίας, και όχι στο να προσφέρει την ανακάλυψη της οντολογικής πραγματικότητας… Έτσι δεν βρίσκουμε την αλήθεια, αλλά κατασκευάζουμε βιώσιμες εξηγήσεις των εμπειριών μας» (Wheatley 1991 στον Matthews 1994 σελ.141[99]).

Παράλληλα, ο εποικοδομητισμός βασίζεται στην ιδεαλιστική οντολογική προσέγγιση (idealist ontology), σύμφωνα με την οποία ο κόσμος δημιουργείται και εξαρτάται από την ανθρώπινη σκέψη (Matthews 1994 σελ.141-143[99]).

Η θεωρία του εποικοδομητισμού δέχθηκε, άμεσα, ισχυρή κριτική τόσο σε επίπεδο θεωρητικό, όσο και σε επίπεδο εφαρμογής. Παράλληλα, ωστόσο, άσκησε ιδιαίτερη επιρροή στα προγράμματα σπουδών που διαμορφώθηκαν στη δεκαετία του 1980 (βλ. *ενότητα 3.2.3*). Η βασική αρχή του, ότι οι ιδέες των μαθητών πρέπει να εξετάζονται και να αποτελούν εφαλτήρια διδακτικών παρεμβάσεων αποτελεί μέχρι σήμερα θεμέλιο λίθο του σχεδιασμού των προγραμμάτων σπουδών των φυσικών επιστημών και εφαρμόζεται ανεξάρτητα από τον όλο φιλοσοφικό και επιστημολογικό προσανατολισμό των σχεδιαστών τους.

3.2.2. Η εμβέλεια της ιδέας της γενετικής ψυχολογίας

Ο Piaget διατυπώνει τη βασική ιδέα της γενετικής επιστημολογίας με τα παρακάτω λόγια:

> «Η βασική υπόθεση της Γενετικής Επιστημολογίας (Genetic Epistemology) είναι ότι υπάρχει παραλληλισμός ανάμεσα στην πρόοδο που γίνεται στη λογική και ορθολογική οργάνωση της γνώσης και αντίστοιχες διαμορφωτικές ψυχολογικές διαδικασίες» (Piaget 1970 σελ.13[159]).

Η ιδέα ασκεί σημαντική επίδραση στους στοχαστές της εποχής. Ενδεικτικό της εμβέλειάς της είναι το σχόλιο του Thomas Kuhn, ο οποίος γράφει το 1971 στο γαλλικό επιστημονικό περιοδικό *Études d'epistémologie génétique*:

> «Εδώ και είκοσι περίπου χρόνια, ανακάλυψα για πρώτη φορά, σχεδόν ταυτόχρονα, το διανοητικό ενδιαφέρον της ιστορίας της επιστήμης και τις ψυχολογικές μελέτες του Jean Piaget. Έκτοτε, τα δύο αυτά αλληλεπιδράσανε στενά στο μυαλό και τη δουλειά μου. Μέρος αυτών που γνωρίζω πάνω στο πώς να ασκώ ερωτήσεις για επιστήμονες που δεν είναι εν ζωή, το διδάχθηκα εξετάζοντας τα ερωτήματα που έθετε ο Piaget στα παιδιά. Θυμάμαι πολύ έντονα πώς αυτή η επήρεια πρόβαλλε στην πρώτη μου συνάντηση με τον Alexandre Koyré, τον άνθρωπο που περισσότερο από κάθε άλλο ιστορικό, υπήρξε ο *δάσκαλός* μου. Του είπα ότι χάρη στα παιδιά του Piaget έμαθα να καταλαβαίνω τη φυσική του Αριστοτέλη. Η απάντησή του – ότι η φυσική του Αριστοτέλη του έμαθε να κατανοεί τα παιδιά του Piaget – επιβεβαίωσε μόνο την εντύπωσή μου για τη σημασία των όσων είχα μάθει» (Kuhn 1977b[160]).

Αρκετά χρόνια μετά την εισαγωγή της ιδέας σύνδεσης της ιστορίας της επιστήμης με τη γνωστική ψυχολογία, και ενώ, τόσο η φιλοσοφία της ιστορικιστικής προσέγγισης (historicist approach), όσο και

η θεωρία του Piaget έχουν δεχθεί ισχυρή κριτική, ο φιλόσοφος Philip Kitcher, την επικαλείται, ρίχνοντας το μεγεθυντικό του φακό, όχι τόσο στο γενικό σχήμα, αλλά περισσότερο στις λεπτομέρειες της διαδικασίας της εννοιολογικής αλλαγής (conceptual change). Χαρακτηριστικά αναφέρει:

> «Καταρχήν, σχετικά με την πραγματικά προκλητική σύνδεση ανάμεσα στην ανάπτυξη των εννοιών κατά την παιδική ηλικία και την εννοιολογική αλλαγή στην επιστήμη, δεν ισχυρίζομαι ότι η οντογένεια (ontogeny) αποτελεί σύνοψη της φυλογένειας (phylogeny). Ούτε ισχυρίζομαι ότι οι μαθητές οφείλουν να εργαστούν πάνω στις έννοιες της Ελληνικής επιστήμης, της Μεσαιωνικής επιστήμης, της επιστήμης της Αναγέννησης και ούτω κάθε εξής, πριν θριαμβευτικά αναδυθούν μέσα από το ενήλικο εννοιολογικό μας σχήμα. Ισχυρίζομαι, ωστόσο, ότι κάποιες από τις μεταβάσεις που συμβαίνουν κατά τη γνωστική ανάπτυξη των παιδιών περιλαμβάνουν παρόμοια σχήματα και διαδικασίες με αυτές που ανακαλύπτει η ιστορία της επιστήμης» (Kitcher 1988[161]).

3.2.3. Η εφαρμογή του εποικοδομητισμού στη διδακτική πράξη

Η σύνδεση ανάμεσα στην επιστημολογία και τη γνωστική ψυχολογία, που σκιαγραφήθηκε παραπάνω, έγινε εργαλείο στα χέρια της εκπαιδευτικής κοινότητας κατά τη δεκαετία του 1980. Κέντρο της αναζήτησης αυτής αποτέλεσε *η αξιοποίηση της ιστορίας της επιστήμης* ως εργαλείο, τόσο για την κατανόηση, όσο και για την επεξεργασία των ιδεών των μαθητών.

Ένα μεγάλο μέρος της εκπαιδευτικής έρευνας επικεντρώθηκε στο ίδιο το ερώτημα του Piaget, αν οι διαισθητικές, άμεσες αντιλήψεις των παιδιών αντικατοπτρίζουν τα πρώτα στάδια επιστημονικής κατανόησης σε διαφορετικούς τομείς. Ανάμεσα στις χαρακτηριστικές διαπιστώσεις της είναι το γεγονός ότι σε θέματα μηχανικής οι μαθητές, όπως και οι ενήλικες, έχουν Αριστοτελικές αντιλήψεις, ενώ, παρά τη χημική τους εκπαίδευση, πολλοί μαθητές ισχυρίζονται ότι τα αέρια δεν έχουν βάρος (Matthews 1994 σελ. 210[99]).

Ένα άλλο μέρος της σχετικής έρευνας ασχολείται με την κατάλληλη εισαγωγή επεισοδίων της ιστορίας της επιστήμης στη διδασκαλία, ως εργαλείων επεξεργασίας των ιδεών των μαθητών. Χαρακτηριστικά, η Nancy Nersessian προτείνει να χρησιμοποιηθεί η ιστορία της επιστήμης ως ορυχείο πληροφοριών για τη μελέτη των επιστημονικών αλλαγών και των διαδικασιών εννοιολογικής αλλαγής, στοιχεία τα οποία μπορούν στη συνέχεια να αξιοποιηθούν ως εργαλεία, για να δείξουν στους μαθητές το μονοπάτι μέσα από το οποίο μπορούν να ανοικοδομήσουν τις δικές τους ιδέες (Nersessian 2000[162]).

Σε πολλές περιπτώσεις η ανάδυση και διδακτική επεξεργασία των ιδεών των μαθητών συνδέθηκε με την εισαγωγή περιεχομένων της *ιστορίας της επιστήμης* στη διδακτική πράξη, που χρησιμεύουν στην έρευνα, την πρόβλεψη από τους καθηγητές και την ανάλυση του διαφορετικού – σε σχέση με το επιστημονικό – εννοιολογικού πλαισίου των μαθητών. Η Σέρογλου καταγράφει, το 2000, 25 διδακτικές προτάσεις πού έχουν εκπονηθεί στο διάστημα 1980-2000, οι οποίες αξιοποιούν την ιστορία της επιστήμης προκειμένου να ανιχνεύσουν ή να προβλέψουν τις ιδέες των μαθητών, είτε να συγκρίνουν στάδια νοητικής εξέλιξης με αντίστοιχα στάδια στην ιστορία της επιστήμης (Σέρογλου 2000[163]).

Σε ορισμένες περιπτώσεις, η έρευνα πάνω στις ιδέες των μαθητών σε συνδυασμό με την αξιοποίηση της ιστορίας της επιστήμης αποτελεί άξονα σχεδιασμού προγραμμάτων σπουδών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το δανέζικο πρόγραμμα σπουδών που σχεδιάστηκε τη δεκαετία του 1980, το οποίο αξιοποιεί σε μεγάλο βαθμό περιεχόμενα της ιστορίας της επιστήμης, ενώ ανάμεσα στους λόγους που οδήγησαν στο σχεδιασμό του ήταν η παρατήρηση της σταθερότητας των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών που εκπαιδεύονταν στο πλαίσιο του προηγούμενου παραδοσιακού προγράμματος σπουδών (Nielsen & Thomsen 1990[164], Thomsen 1998[165]).

3.2.4. Η κριτική στον εποικοδομητισμό ως διδακτικής μεθόδου

Η κριτική που δέχεται η μέθοδος του εποικοδομητισμού εντοπίζεται, τόσο στο επίπεδο των θεωρητικών της δεσμεύσεων, όσο και στο πρακτικό της αποτέλεσμα.

Σε θεωρητικό επίπεδο η κριτική επικεντρώνεται, αφ' ενός μεν στις επιστημολογικές και οντολογικές δεσμεύσεις της μεθόδου και αφ' ετέρου στην υπόθεση της γνωστικής ψυχολογίας, που ενσωματώνει, ότι η επιστημονική σκέψη είναι σ' ένα βαθμό φυσική (Matthews 1994 σελ.161[99]).

Σε πρακτικό επίπεδο, το πρόβλημα της μεθόδου εντοπίζεται στη δυσκολία της να διδάξει το περιεχόμενο της σημερινής επιστήμης, ειδικά όταν αυτό αναφέρεται σε θέματα που ο σπουδαστής δεν μπορεί να προσεγγίσει με την ήδη υπάρχουσα εμπειρία ή την κοινή λογική. Οι ερευνητές επισημαίνουν ότι:

> «πολύ από το περιεχόμενο της επιστήμης αναφέρεται σε αφηρημένες έννοιες (όπως ταχύτητα, επιτάχυνση, δύναμη, γονίδια), δεν έχει σχέση με την εμπειρία (προτάσεις για την ατομική δομή, τις λειτουργίες των κυττάρων, αστρονομικά γεγονότα), δεν έχει σχέση με προϋπάρχουσες ιδέες (ιδέες για τους ιούς, αντισώματα, τετηγμένο πυρήνα, εξέλιξη των ειδών, ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία), είναι ξένο στην κοινή λογική και βρίσκεται σε σύγκρουση με καθημερινές εμπειρίες, αναμενόμενα αποτελέσματα και έννοιες» (Matthews 1998[166]).

Πώς ένα τέτοιο περιεχόμενο είναι δυνατόν να διδαχθεί με βάση τη μέθοδο της εποικοδομητικής διδασκαλίας; Και πώς, επιπλέον, οι μαθητές είναι δυνατόν να διδαχθούν, όχι μόνο το περιεχόμενο, αλλά και την αντίστοιχη μεθοδολογία, επίσης ξένη στην κοινή λογική και τα δεδομένα των αισθήσεων; Οι οπαδοί του εποικοδομητισμού απαντούν ότι, στην περίπτωση αυτή, ο καθηγητής οφείλει να καθοδηγήσει τους μαθητές στην κατασκευή των δικών τους θεωρητικών μοντέλων, αντί να τους μεταφέρει την επιστημονική πληροφορία ή τη μεθοδολογία. Η ανταπάντηση ότι, με αυτόν τον τρόπο, η μέθοδος του εποικοδομητισμού εκφυλίζεται, περισσότερο σε σχήμα λόγου, παρά σε διακριτό τρόπο διδασκαλίας, αποτελεί κριτική στη δυσκολία της μεθόδου να διαχειριστεί αποτελεσματικά τη διδασκαλία του αφηρημένου οικοδομήματος των φυσικών επιστημών (Matthews 1998[166]).

Όσον αφορά στο θεωρητικό υπόβαθρο της διδακτικής μεθόδου του εποικοδομητισμού, ο Robert Nola, ασκώντας ακραία κριτική, της προσάπτει ότι αδυνατεί να μεταδώσει το σώμα της καλά εδραιωμένης θεωρητικής αλήθειας που υπάρχει στην επιστήμη, επειδή οι επιστημολογικές της δεσμεύσεις της επιβάλλουν να προβάλλει μια συγκεκριμένη ανάγνωση της ιστορίας της επιστήμης και

των επιτευγμάτων της, η οποία κάθε άλλο παρά ουδέτερη είναι. Ακόμα, θεωρεί ότι οι οπαδοί του εποικοδομητισμού έχουν χάσει την αίσθηση του σωστού και του λάθους, τόσο για την επιστήμη, όσο και για τη διδασκαλία της (Nola 1998[167]). Ο Michael Matthews επικεντρώνεται στον ισχυρά σχετικιστικό προσανατολισμό της μεθόδου. Η κριτική του συμπυκνώνεται στο επιχείρημα: αν η δυτική επιστήμη είναι απλά ένα εργαλείο που οργανώνει την εμπειρία, και, αν δεν έχει τίποτα να πει για την αλήθεια του κόσμου, τότε το παραδοσιακό ερώτημα του «γιατί να διδάσκεται η επιστήμη υποχρεωτικά και σε όλους» θα πρέπει πιθανόν να επανεξεταστεί (Matthews 1998[166]).

Σε αντίθεση με τα παραπάνω, δεν έχει αμφισβητηθεί η σημασία της διερεύνησης που προτείνει η μέθοδος του εποικοδομητισμού πάνω στην «επιστήμη των μαθητών» και η πρότασή της για ενεργή εμπλοκή των μαθητών στη διαδικασία της γνώσης. Στο πλαίσιο αυτό, πολλές από τις προτάσεις των οπαδών της μεθόδου του εποικοδομητισμού έχουν ενσωματωθεί σε διδακτικές προτάσεις που στηρίζονται σε διαφορετικά επιστημολογικά θεμέλια (Matthews 1994 σελ.161[99]). Παράλληλα, παραμένει αδιαμφισβήτητη η τεράστια επιρροή της μεθόδου στη διαμόρφωση διδακτικών προτάσεων και προγραμμάτων σπουδών κατά τις δεκαετίες 1970-90 (Matthews 1998[166], Σέρογλου 2000 σελ.13-85[163]).

3.2.5. Ο εποικοδομητισμός ως εργαλείο διδακτικής πράξης

Σύμφωνα με τους ερευνητές, οι μαθητές φέρουν ένα πλαίσιο ιδεών που προέρχονται από την *εμπειρία των αισθήσεων*, από *γλωσσικές συνήθειες*, και τη *διδασκαλία της επιστήμης* που έχουν υποστεί και, ακόμα, από επιδράσεις του *πολιτισμικού τους περιβάλλοντος*, δηλαδή από την πληροφόρησή τους μέσα από συζητήσεις και μέσα μαζικής ενημέρωσης (Duit & Treagust 1995[155]). Στόχος του εποικοδομητισμού, ως εργαλείου στη διδακτική πρακτική, είναι οι μαθητές, διαμέσου κατάλληλα σχεδιασμένης διδασκαλίας, να έρθουν σε σύγκρουση με τις προϋπάρχουσες ιδέες τους, να αισθανθούν λιγότερο βέβαιοι γι' αυτές και να αναζητήσουν την τροποποίησή τους.

Προκειμένου αυτό να γίνει εφικτό στην πράξη, οι Driver & Oldam (Driver & Oldam 1986[168]) προτείνουν ένα σχέδιο μαθήματος που να περιλαμβάνει τις φάσεις του *προσανατολισμού* (orientation), *της ανάδειξης των ιδεών* των μαθητών (elicitation), *της αναδόμησης των ιδεών* (restructuring of ideas), *της εφαρμογής των ιδεών* (application of ideas) και *της τελικής ανασκόπησης της διαδικασίας* (review) από τους μαθητές. Η φάση του *προσανατολισμού* είναι το προκαταρκτικό στάδιο κατά το οποίο εκτίθεται ο στόχος του μαθήματος και δημιουργούνται κίνητρα γι' αυτό. Κατά τη φάση της *ανάδειξης*, οι μαθητές καθιστούν τις ιδέες τους πάνω στο θέμα του μαθήματος σαφείς, με τη βοήθεια κατάλληλα σχεδιασμένων δραστηριοτήτων, όπως ομαδική συζήτηση, σχεδίαση ή απάντηση ερωτηματολογίων. Η φάση της *αναδόμησης* είναι η καρδιά της εποικοδομητικής διδασκαλίας και περιλαμβάνει περισσότερα του ενός στάδια. Σε πρώτη φάση, με τη βοήθεια συζήτησης, οι μαθητές *διευκρινίζουν και ανταλλάσουν* τις ιδέες τους. Παράλληλα, ο καθηγητής με κατάλληλες παρεμβάσεις, πειραματικές ή διαλογικές, προσπαθεί να δημιουργήσει δεδομένα παρατήρησης ή λογικής αντιπαράθεσης που να αντιβαίνουν με τις ιδέες των μαθητών, προκαλώντας έκπληξη. Μέχρι εδώ, η διδακτική διαδικασία

έχει επιτύχει να εκθέσει στους μαθητές εναλλακτικά σενάρια για την εξήγηση του ίδιου φαινομένου. Η φάση της *αναδόμησης των ιδεών* κλείνει με τη βοήθεια του σταδίου της *αξιολόγησης* των εναλλακτικών σεναρίων. Οι μαθητές καλούνται να ελέγξουν τα εναλλακτικά σενάρια, είτε πειραματικά, είτε με βάση τις λογικές τους συνέπειες. Αν είναι δυνατόν, καλούνται να επινοήσουν οι ίδιοι πειραματικές διαδικασίες, για να ελέγξουν τις υποθέσεις τους. Καλούνται να εργαστούν σε ομάδες και να παρουσιάσουν το αντικείμενο της έρευνάς τους στην τάξη. Σε όλη τη φάση της *αναδόμησης* ο καθηγητής επεμβαίνει με κατάλληλα ερωτήματα, σχόλια και αναλύσεις, ώστε να δώσει όσο το δυνατόν περισσότερες ευκαιρίες στους μαθητές να *ανακατασκευάσουν* τις αρχικές τους πεποιθήσεις. Τη φάση της *αναδόμησης* ακολουθεί εκείνη της *εφαρμογής*, κατά την οποία οι μαθητές καλούνται να εφαρμόσουν τις αναδομημένες ιδέες τους σε γνωστό ή καινούργιο πλαίσιο, έτσι ώστε να τις εδραιώσουν και να τις ενισχύσουν. Τέλος, στη *φάση της ανασκόπησης*, οι μαθητές καλούνται να συγκρίνουν τις αρχικές με τις τελικές τους πεποιθήσεις και να στοχαστούν πάνω στην όλη διαδικασία της θεωρητικής τους μετατόπισης. Οι Driver & Oldham θεωρούν το τελικό στάδιο της ανασκόπησης πολύ σημαντικό, γιατί αποτελεί μεταγνωστική διαδικασία (Novak & Gowin 1984/1997[169]), κατά την οποία ο μαθητής «μαθαίνει πώς να μαθαίνει».

Η εφαρμογή του εποικοδομητισμού στην πράξη έδωσε την ευκαιρία να επισημανθεί η δυσκολία της *εννοιολογικής αλλαγής*. Σύμφωνα με τους White & Gunstone, παρόλο που στο τέλος μιας διδασκαλίας με τη μέθοδο του εποικοδομητισμού, μπορεί οι μαθητές να έχουν μετατοπιστεί από τις αρχικές τους πεποιθήσεις, βοηθούμενοι από το πείραμα, ορισμένες φορές επανέρχονται στις αρχικές τους απόψεις, μετά την πάροδο κάποιου διαστήματος. Συχνά, το αρχικό εννοιολογικό πλαίσιο δεν εξαφανίζεται, αλλά συνυπάρχει με το αναμορφωμένο. Άλλοτε, οι αρχικές πεποιθήσεις είναι τόσο ισχυρές, που οι μαθητές, αντί να διατηρούν στη μνήμη τους τις ανασυγκροτημένες έννοιες, επεμβαίνουν ασυνείδητα στην ανάμνηση των πειραματικών παρατηρήσεων που έρχονται σε σύγκρουση με τις αρχικές τους πεποιθήσεις και τις τροποποιούν, προσαρμόζοντάς τις στις αρχικές τους ιδέες (White & Gunstone 1989[170]). Επίσης, η εκπαιδευτική έρευνα δείχνει ότι οι μαθητές είναι συχνά σε θέση να επιστρατεύουν διαδικασίες με ιδιαίτερο επιστημολογικό ενδιαφέρον, προκειμένου να προστατέψουν τις αρχικές τους πεποιθήσεις απέναντι στα ασύμβατα με αυτές πειραματικά δεδομένα. Σχετικά παραδείγματα αναφέρονται στην επινόηση εξηγητικών σχημάτων, στην αμφισβήτηση ή και εξαίρεση των «ανώμαλων» πειραματικών δεδομένων, στην επανάληψη των μετρήσεων (Duit & Treagust 1998[150]).

3.3. Θεωρητικές μετατοπίσεις στο χώρο της επιστημονικής εκπαίδευσης από τη δεκαετία του 1980 και μετά

Όπως προαναφέρθηκε, το θεωρητικό υπόβαθρο των διδακτικών προτάσεων και προγραμμάτων σπουδών στις φυσικές επιστήμες επηρεάζεται από τη συζήτηση που διεξάγεται στο χώρο της

φιλοσοφίας της επιστήμης, χωρίς βέβαια να εξαρτάται μόνο από αυτή. Ευρύτεροι κοινωνικοπολιτικοί παράγοντες, όπως και καθαρά εκπαιδευτικές συνιστώσες έχουν, επίσης, συνδρομή στη διαμόρφωση του θεωρητικού υπόβαθρου της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών. Οι νεώτερες εξελίξεις είναι αποτέλεσμα των αντιδράσεων που εκφράστηκαν απέναντι στην αντιθετικιστική στροφή της φιλοσοφίας της επιστήμης της δεκαετίας του 1960-70, όπως και απέναντι στον εποικοδομητισμό ως φιλοσοφία και ως διδακτική πρακτική.

3.3.1. Επανεξετάζοντας το πείραμα: ιστοριογραφικές και φιλοσοφικές προσεγγίσεις

Στο τέλος της δεκαετίας του 1980, ο Peter Galison επανεξετάζει τις εικόνες για τη φύση της επιστήμης που έχουν διαμορφωθεί κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα. Θεωρεί ως πρώτη καθαρή εικόνα αυτή που διαμορφώνεται το 1920, από τους λογικούς θετικιστές, που επιχειρούν να θεμελιώσουν την επιστημονική δραστηριότητα σε παρατηρησιακή βάση. Ο Galison σχηματοποιεί τον τρόπο εξέλιξης της επιστήμης κατά τη θετικιστική προσέγγιση (βλ. *Σχήμα 3.1α*) και εξηγεί ότι:

> «Η θετικιστική έμφαση στο συσσωρευτικό χαρακτήρα του επιπέδου της παρατηρησιακής δραστηριότητας συνδυάζεται με μια θρυμματισμένη ιστορία της θεωρίας. Το άνω στρώμα δείχνει αυτούς τους νόμους και θεωρίες που λειτουργούν εφήμερα ως οργανωτές του συνεχώς αυξανόμενου σώματος των παρατηρησιακών δεδομένων. Το γεγονός ότι εμφανίζονται ρήγματα σε αυτό το κατασκευασμένο επίπεδο δραστηριότητας δεν προκαλεί έκπληξη στον θετικιστή. Ο λογικός εμπειριστής θεμελιώνει την επιστήμη στα παρατηρησιακά προσεγγίσιμα γεγονότα και όχι στις θεωρητικές κωδικοποιήσεις τους (Galison 1988[10]).

Όπως απεικονίζει ο Galison στο *Σχήμα 3.1β*, σύμφωνα με τη θεωρητική προσέγγιση που αναπτύσσουν οι αντιθετικιστές, η θεωρία αποτελεί το θεμέλιο των επιστημονικών αλλαγών και όχι η συσσώρευση εμπειρικών δεδομένων. Η θεωρία έχει τόσο κεντρική σημασία, ώστε, όταν ο θεωρητικός ιστός κομματιαστεί, τότε το όλο οικοδόμημα της επιστημονικής δραστηριότητας διαλύεται σε ασύνδετα μεταξύ τους κομμάτια:

> «…η επιστήμη δεν μπορούσε πια να παρουσιάζεται ως εξελισσόμενη με συσσωρευτικό τρόπο. Αντίθετα, πολλοί συγγραφείς άρχισαν να μιλούν με έμφαση για τα επιστημικά χάσματα (epistemic ruptures) που προέκυπταν ως αποτελέσματα των μετατοπίσεων στο επίπεδο της θεωρίας. Διαμέσου των ρηγμάτων που άνοιγε η μεταβολή των θεωριών, λίγα πράγματα φαίνονταν να διέρχονται. Κάποιοι από τους συγγραφείς χρησιμοποίησαν την εικόνα των μετατροπών gestalt, για να περιγράψουν τη ριζική αναδιοργάνωση του εμπειρικού κόσμου. Άλλοι χρησιμοποιούσαν τα κοινωνιολογικά χάσματα μεταξύ των γενεών ή τα οντολογικά διάκενα, που σχίζουν σαν γεωλογικά ρήγματα τις θεωρίες στις δύο πλευρές της διαίρεσης που προκαλεί η επιστημονική επανάσταση» (Galison 1988[10]).

Σε αντιπαράθεση με τις δύο παραπάνω προσεγγίσεις ο Galison περιγράφει την ανάγκη για μια νέα ιστοριογραφική προσέγγιση (historiography) που να περιλαμβάνει πιο σύνθετα σχήματα επιστημονικής εξέλιξης και να αναγνωρίζει στην πειραματική εργασία τη συνθετότητα και το βάθος που η αντιθετικιστική προσέγγιση προσδίδει στη θεωρία:

> «Χρειαζόμαστε μια ιστοριογραφία με χώρο για πολλαπλές κουλτούρες κάτω από το γενικότερο τίτλο της επιστημονικής πρακτικής: κουλτούρα θεωρίας, σίγουρα, αλλά επίσης κουλτούρα πειραματισμού και κατασκευής οργάνων. Χρειαζόμαστε μια ιστορία της υλικής κουλτούρας της επιστήμης, αλλά τέτοια που

> να μην αποτελεί τη νεκρή περιγραφή οργάνων που δεν βρίσκονται πια σε χρήση. Αντί γι' αυτή χρειαζόμαστε μια ιστορία που να περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο οι επιστήμονες αξιοποιούν αντικείμενα, για να πετύχουν πειραματικούς σκοπούς, είτε αυτοί έχουν τεθεί από την υψηλή θεωρία, είτε όχι· μια ιστορία της κατασκευής των επιστημονικών οργάνων συνδεδεμένη με την ιστορία της τεχνολογίας· μια ιστορία που να περιλαμβάνει τη σχέση των επιστημονικών οργάνων με μορφές παρουσίασης· μια ιστορία του εργαστηρίου που να παρακολουθεί την ανάπτυξη της οργάνωσης της επιστημονικής εργασίας· και, τέλος, μια ιστορία που να περιγράφει την ενσωμάτωση της θεωρίας στον υλικό επιστημονικό εξοπλισμό. Εν ολίγοις, χρειαζόμαστε μια ιστορία του πειραματισμού που να αποδίδει σε αυτή τη δραστηριότητα το ίδιο βάθος ως προς τη δομή, τις ιδιορρυθμίες, τα ρήγματα και τις συνέχειες, τις παραδόσεις που έχουμε μάθει να αναμένουμε από τη θεωρία» (Galison 1988[10]).

Στο *Σχήμα 3.1.γ*, που συνοψίζει το μοντέλο περιοδολόγησης της μεταμοντέρνας κριτικής προσέγγισης (critical 'postmodern' periodization model), έχει προστεθεί η κατηγορία της κατασκευής επιστημονικών οργάνων, ενώ οι τρεις διαφορετικές φάσεις, του πειραματισμού, της κατασκευής οργάνων και της θεωρίας, συντίθεται με τρόπο που η μια να παρεμβαίνει ανάμεσα στις άλλες, ώστε να οικοδομούνται διαφορετικού τύπου συνέχειες και ασυνέχειες.

….θεωρία 1	θεωρία 2	θεωρία 3	θεωρία 4	…
…	παρατήρηση, πείραμα			…

χρόνος →

α. Μοντέλο θετικιστικής περιοδολόγησης (periodization). Η παρατήρηση (μια πολύ σχηματική και συνεπώς εκφυλισμένη μορφή πειράματος) σχηματίζει μια σωρευτική βάση που δεν εμφανίζει ρήγματα. Η θεωρία κτισμένη πάνω στην παρατήρηση, εμφανίζει ρήγματα, καθώς νέα σχήματα παράγονται προκειμένου να αναδιοργανώσουν τις ήδη πραγματοποιηθείσες παρατηρήσεις.

…παρατήρηση 1	παρατήρηση 2	παρατήρηση 3	παρατήρηση 4…
…θεωρία 1	θεωρία 2	θεωρία 3	θεωρία 4 …

χρόνος →

β. Μοντέλο αντιθετικιστικής περιοδολόγησης. Αντιστρέφοντας τη θετικιστική ιεραρχία, οι αντιθετικιστές τοποθέτησαν τη θεωρία ως θεμέλιο, δίνοντας στην παρατήρηση δευτερεύοντα ρόλο. Όταν η θεωρία εμφανίζει ασυνέχεια, το ίδιο συμβαίνει και στην παρατήρηση.

… θεωρία 1	επιστημονικό όργανο2	επιστημονικό όργανο 4	….
…. επιστημονικό όργανο 1	θεωρία 2	πείραμα 2	….
…. πείραμα 1	επιστημονικό όργανο 3	….	

χρόνος →

γ. Μοντέλο μεταμοντέρνας κριτικής περιοδολόγησης. Εδώ έχουμε μια σειρά περιοδιολογήσεων. Δεν υφίσταται μια και μοναδική μέθοδος με την οποία τα σχήματα της συνέχειας και της ασυνέχειας να ευθυγραμμίζονται και δεν υπάρχει αναγωγή σε κάποια σχετική ιεραρχία. Η παρατήρηση ως κατηγορία έχει απορριφθεί και ο πειραματισμός, η θεωρία και η κατασκευή οργάνων συναρμόζονται σε επίπεδα με μερική αυτονομία. Και το πιο σημαντικό, ρήγματα μπορεί να εμφανιστούν σε οποιοδήποτε από τα επίπεδα, ενώ τα επίπεδα συμπλέκονται με τέτοιον τρόπο, ώστε να είναι αρκετά πιθανό να υπάρχει συνέχεια σε κάποιο από τα επίπεδα και ρήγμα σε άλλο.

Σχήμα 3.1: Σχηματική περιγραφή της εξέλιξης της επιστήμης σύμφωνα με τη θετικιστική, αντιθετικιστική και μεταμοντέρνα προσέγγιση για τη φύση της επιστήμης (Galison 1988[10])

Η μεταμοντέρνα κριτική προσέγγιση που προτείνει ο Peter Galison αντιπαρατίθεται στην αντιθετικιστική προσέγγιση, θεωρώντας ότι η τελευταία επικεντρώνεται υπερβολικά στη θεωρία, αντιμετωπίζει το πείραμα μόνο ως μηχανισμό παραγωγής δεδομένων για την επικύρωση, απόρριψη ή γέννηση της θεωρίας, ενώ αντιλαμβάνεται την επιστημονική κοινότητα μόνο ως κοινότητα

θεωρητικών. Σε αντιπαράθεση προς τη θετικιστική και την αντιθετικιστική προσέγγιση, η μεταμοντέρνα κριτική προσέγγιση υποστηρίζει ότι δεν υπάρχει μια καθολικά καθορισμένη ιεραρχική σχέση ανάμεσα στο πείραμα και τη θεωρία, κάποια a priori επιστημική ή ιστορική προτεραιότητα του ενός έναντι του άλλου, και προτείνει ο φακός της ιστορικής έρευνας να πέσει στις επιμέρους περιπτώσεις, με στόχο την ανακάλυψη των ειδικών διεργασιών που κάθε φορά συμπλέκουν το πείραμα με τη θεωρία. Η μεταμοντέρνα κριτική προσέγγιση φιλοδοξεί να είναι σε θέση να περιγράψει, πώς σε κάποιες περιόδους τα εργαστήρια αποτελούν κεντρική καθοδηγητική δύναμη της επιστημονικής εξέλιξης, ενώ άλλοτε κυριαρχεί η θεωρία. Επίσης, φιλοδοξεί να απεικονίσει το πώς η ασυνέχεια, που παρατηρείται σε τόσο πολλά επίπεδα της επιστημονικής εξέλιξης, δεν έχει ως αποτέλεσμα τον κατακερματισμό της επιστημονικής γνώσης σε τμήματα που δεν επικοινωνούν μεταξύ τους.

Το μοντέλο της μεταμοντέρνας κριτικής προσέγγισης, επιχειρεί, έτσι, να ενσωματώνει στοιχεία των δύο προηγούμενων μοντέλων, χωρίς, ωστόσο, να υιοθετεί την απολυτότητά τους. Παρουσιάζοντας τη φάση του πειραματισμού διακοπτόμενη από παρένθετες φάσεις συνέχειας και ασυνέχειας, απεικονίζει την πεποίθηση των αντιθετικιστών, ότι η εμπειρική γνώση δεν οδηγεί από μόνη της στη διατύπωση καθολικών βασικών προτάσεων (universal basic propositions). Αφήνοντας το πείραμα να διασχίζει τα ρήγματα που δημιουργούν διαφορετικές θεωρίες, απεικονίζει, μερικά, την άποψη των θετικιστών, ότι η αλλαγή των θεωριών αφήνει συχνά αδιάσπαστες αλυσίδες – ή τμήματα – μη θεωρητικών δραστηριοτήτων. Αναγνωρίζοντας ένα μέτρο αυτονομίας στις πειραματικές τεχνικές και στη διαδικασία κατασκευής επιστημονικών οργάνων, αντιπαρατίθεται στην αντιθετικιστική θεώρηση, η οποία αντιμετωπίζει τους παραπάνω παράγοντες ως «ευτελείς εκδόσεις της υψηλής θεωρίας ή πρωτόγονες δομικές μονάδες της».

Εργασία-κλειδί για την ένταξη του πειράματος στο μικροσκόπιο της φιλοσοφίας της επιστήμης αποτέλεσε η εργασία του Ian Hacking, *Αναπαριστώντας και Παρεμβαίνοντας*, που γράφτηκε το 1983 (Hacking 1983/2002[62]). Στόχος του βιβλίου, σύμφωνα με τον συγγραφέα, ήταν η αντιπαράθεση στον ισχυρά θεωρητικό προσανατολισμό της ιστορίας της επιστήμης της περιόδου 1960- 1970, η επανατοποθέτηση της πειραματικής επιστήμης ως κεντρικού ζητήματος της φιλοσοφίας της επιστήμης.

Ο Hacking επαναδιατυπώνει το ερώτημα του «τι προηγείται, το πείραμα ή η θεωρία;» προσθέτοντάς του επιπλέον όρους: «τι προηγείται, το πείραμα, η θεωρία, η εφεύρεση, η τεχνολογία…;» Η απάντηση δίνεται μέσα από διαφορετικά παραδείγματα, τα οποία επιδιώκουν να δείξουν ότι οποιαδήποτε μονόπλευρη θεώρηση του πειράματος είναι λανθασμένη:

> «Ορισμένα εξέχοντα πειραματικά έργα γεννήθηκαν εξ ολοκλήρου από τη θεωρία. Ορισμένες μεγάλες θεωρίες προέρχονται από προθεωρητικά πειράματα. Ορισμένες θεωρίες χωλαίνουν λόγω έλλειψης συσχετισμού τους με τον πραγματικό κόσμο, ενώ ορισμένα πειραματικά φαινόμενα καθίστανται άσκοπα λόγω της έλλειψης θεωρίας. Υπάρχουν επίσης ευτυχείς οικογένειες, στις οποίες συναντώνται θεωρίες και πειράματα που προέρχονται από διαφορετικές κατευθύνσεις…» (Hacking 1983/2002 σελ.214[67]).

Ο Hacking εξετάζει μια πολύ ευρεία κλίμακα πειραμάτων, ανάμεσα στα οποία και τις εφευρέσεις:

> «Η ιστορία της θερμοδυναμικής είναι μια ιστορία πρακτικής εφεύρεσης, που σταδιακά οδηγεί στη θεωρητική ανάλυση… Τι πραγματικά σημαίνει «θερμοδυναμική»; Το αντικείμενο δεν αφορά στη ροή της θερμότητας, που μπορεί να ονομαστεί δυναμική της θερμότητας, αλλά σε αυτά που μπορούμε να αποκαλέσουμε θερμοστατικά φαινόμενα. Κακώς ονομάστηκε έτσι; Όχι. Ο Kelvin έπλασε τις λέξεις θερμο-δυναμική μηχανή, για να περιγράψει κάθε μηχανή σαν την ατμομηχανή ή την ιδανική μηχανή του Carnot. Οι μηχανές αυτές ονομάστηκαν δυναμικές, γιατί μετατρέπουν τη θερμότητα σε έργο. Άρα η ίδια η λέξη θερμοδυναμική» θυμίζει ότι η επιστήμη αυτή προήλθε από μια βαθιά ανάλυση μίας αξιόλογης σειράς εφευρέσεων... Τα πειράματα ήταν οι εφευρετικές δοκιμές που απαιτούνταν για την τελειοποίηση της τεχνολογίας που βρίσκεται στο κέντρο της βιομηχανικής επανάστασης» (Hacking 1983/2002 σελ.218,220[67]).

Στο μοντέλο της μεταμοντέρνας ιστοριογραφικής εξέλιξης που περιγράφτηκε παραπάνω, η παρατήρηση έχει εξαιρεθεί, με το επιχείρημα ότι αντιπροσωπεύει μια πολύ απλοποιημένη μορφή της αντίστοιχης διαδικασίας που στην πραγματικότητα συμβαίνει. Στο έργο του Hacking, η παρατήρηση τίθεται υπό μελέτη και εξετάζεται μέσα στο όλο πλαίσιο σειράς εργασιών που χρειάζεται να γίνουν, για να πραγματοποιηθεί. Θεωρούμενη, έτσι, ως ένα ελάχιστο τμήμα μακράς προετοιμασίας, χαρακτηρίζεται ως ελάσσονος σημασίας:

> «Η παρατήρηση, ως μια πρωταρχική πηγή δεδομένων, αποτελούσε πάντοτε μέρος των φυσικών επιστημών, αλλά αυτό δεν είναι τόσο σημαντικό. Εδώ αναφέρομαι στην αντίληψη των φιλοσόφων περί παρατήρησης: την αντίληψη ότι ο πειραματιστής περνάει τη ζωή του κάνοντας παρατηρήσεις, οι οποίες παρέχουν δεδομένα που θέτουν υπό δοκιμασία τη θεωρία ή πάνω στα οποία δομείται η θεωρία. Αυτού του είδους η παρατήρηση παίζει έναν επουσιώδη ρόλο στα περισσότερα πειράματα… Συχνά το πειραματικό έργο, και το τεκμήριο της εφευρετικότητας ή ακόμα και του μεγαλείου, έχει να κάνει λιγότερο με την παρατήρηση και την καταγραφή και περισσότερο με το να καταφέρουμε, ώστε μια συσκευή να εκθέσει φαινόμενα με έναν αξιόπιστο τρόπο» (Hacking 1983/2002 σελ.223[67]).

Παράλληλα, ο Hacking ξαναδίνει στην παρατήρηση την «ανεξαρτησία» της, αντικρούοντας το δημοφιλές επιχείρημα της αντιθετικιστικής προσέγγισης, ότι οι παρατηρήσεις είναι πάντα ποτισμένες από θεωρία (Hacking 1983/2002 σελ. 242-245[67]).

Μέσα από επιχειρήματα που εμπνέονται από την πραγματικότητα, και όχι από το λόγο, ο Hacking επιχειρεί, ακόμα, να δώσει μια απάντηση στο ισχυρά σχετικιστικό πνεύμα των θεωριών που διατυπώνονται στο πλαίσιο, τόσο του λογικού θετικισμού όσο και αντιθετικιστικών προσεγγίσεων, σύμφωνα με τις οποίες, τόσο οι επιστημονικές θεωρίες, όσο και οι θεωρητικές οντότητες των φυσικών επιστημών είναι χρήσιμες κατασκευές του ανθρώπινου πνεύματος, αλλά δεν αποτελούν «ανάγνωση» του πραγματικού κόσμου. Ο Hacking εξηγεί τη θέση του πειραματιστή, ο οποίος είναι ρεαλιστής ως προς τις θεωρητικές οντότητες τις οποίες χρησιμοποιεί και με τις οποίες αλληλεπιδρά:

> «Το πειραματικό έργο παρέχει την πιο δυνατή απόδειξη για τον επιστημονικό ρεαλισμό. Αυτό δε συμβαίνει επειδή ελέγχουμε υποθέσεις σχετικά με οντότητες. Συμβαίνει επειδή οντότητες που θεωρητικά δεν μπορούν να «παρατηρηθούν» χρησιμοποιούνται συστηματικά για την παραγωγή νέων φαινομένων και την εξερεύνηση άλλων όψεων της φύσης. Αποτελούν εργαλεία, όχι για τη σκέψη, αλλά για την πράξη…» (Hacking 1983/2002 σελ.335[67])

Ο Hacking χρησιμοποιεί ένα παράδειγμα από την ιστορία του ηλεκτρονίου, για να εξηγήσει πώς η πειραματική πρακτική καθιστά τις θεωρητικές οντότητες, ολοένα και πιο πραγματικές για τον πειραματιστή, όσο η εργασία του πειραματισμού προχωράει, από το επίπεδο του προσδιορισμού της θεωρητικής οντότητας στο επίπεδο του χειρισμού της ως εργαλείου ενεργητικής επέμβασης στη φύση:

> «Όταν ο J.J.Thomson συνειδητοποίησε το 1897 ότι αυτά που αποκαλούσε «σωμάτια» (corpuscles) ξεπηδούσαν από θερμές καθόδους, σχεδόν το πρώτο πράγμα που έκανε ήταν να μετρήσει τη μάζα αυτών των αρνητικά φορτισμένων σωματιδίων… Έτσι από την αρχή οι άνθρωποι προσπαθούσαν όχι τόσο να ελέγξουν την ύπαρξη των ηλεκτρονίων, όσο το να αλληλεπιδράσουν μαζί τους. Όσο περισσότερο κατανοούμε μερικές από τις αιτιώδεις δυνάμεις των ηλεκτρονίων, τόσο περισσότερο μπορούμε να κατασκευάζουμε συσκευές, οι οποίες επιτυγχάνουν κατανοήσιμα αποτελέσματα σε άλλα τμήματα της φύσης. Όταν καταφέρουμε να χρησιμοποιήσουμε το ηλεκτρόνιο, για να χειριστούμε συστηματικά άλλα τμήματα της φύσης, το ηλεκτρόνιο σταματά να είναι κάτι υποθετικό, κάτι το συναγόμενο. Έχει σταματήσει να είναι θεωρητικό και έχει μετατραπεί σε πειραματικό» (Hacking 1983/2002 σελ.335-336[67]).

Σύμφωνα με τον Hacking, παρόλο που ο πειραματιστής τείνει από τη φύση του να είναι ρεαλιστής, ο ρεαλισμός του σχετικά με τις επιστημονικές θεωρίες είναι πολύ πιο χαλαρός σε σύγκριση με τον ρεαλισμό σχετικά με τις θεωρητικές οντότητες. Επισημαίνει, ότι συμβαίνει επιστήμονες που εργάζονται, μαζί, πάνω σε μεγάλης κλίμακας πειράματα να έχουν, ταυτόχρονα, διαφορετικές θεωρητικές προσεγγίσεις σχετικά με τις οντότητες που χειρίζονται, κι ότι αυτό εξαρτάται από τις ιδιότητες των οντοτήτων που ο καθένας τους αξιοποιεί στο επιμέρους τμήμα του πειράματος που επεξεργάζεται:

> «Υπάρχει μια σημαντική πειραματική αντίθεση μεταξύ ρεαλισμού σχετικά με τις οντότητες και ρεαλισμού σχετικά με τις θεωρίες. Ας υποθέσουμε ότι λέμε πως ο δεύτερος αντιπροσωπεύει την πίστη ότι η επιστήμη στοχεύει σε αληθείς θεωρίες… Το να στοχεύεις μια ακτίνα ηλεκτρονίων σημαίνει να χρησιμοποιείς τα υπάρχοντα ηλεκτρόνια. Το να στοχεύεις με ένα τέλεια ρυθμισμένο λέιζερ προς ένα συγκεκριμένο άτομο με σκοπό να λακτίσεις ένα συγκεκριμένο ηλεκτρόνιο εντός του ατόμου, ώστε να παραγάγεις ένα ιόν, σημαίνει να στοχεύεις σε υπάρχοντα ηλεκτρόνια… Ποικίλες ιδιότητες αποδίδονται με βεβαιότητα στα ηλεκτρόνια, αλλά οι περισσότερες από τις βέβαιες ιδιότητες εκφράζονται με πολυάριθμες διαφορετικές θεωρίες ή μοντέλα, απέναντι στα οποία ένας πειραματιστής είναι μάλλον αγνωστικιστής…» (Hacking 1983/2002 σελ.337[67]).

Ο Αραμπατζής (Arabatzis 2008[171]) επισημαίνει ότι η εργασία του Hacking είναι ενδεικτική της στροφής του φιλοσοφικού ενδιαφέροντος, από το τελικό προϊόν του πειραματισμού, των πειραματικών εκθέσεων και των παρατηρησιακών δεδομένων, στην ίδια την πειραματική πρακτική, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει, εκτός από τα προσφιλή στους φιλοσόφους θέματα, όπως η διαμόρφωση και ο έλεγχος των επιστημονικών θεωριών, και ζητήματα καθημερινής πρακτικής, όπως ο σχεδιασμός και η κατασκευή οργάνων, η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων, η διαχείριση πειραμάτων μεγάλης κλίμακας:

> «Το κεντρικό ζήτημα σήμερα είναι να γίνει κατανοητή η διαδικασία της ανακάλυψης, ή δημιουργίας, νέων πειραματικών δεδομένων και, έτσι, να αναπτυχθεί μια επιστημολογία του πειράματος, μια θεωρία της γνώσης αυτής που αποκτιέται διαμέσου του πειράματος» (Arabatzis 2008[171]).

Ο Ασημακόπουλος, αναφερόμενος στην ίδια στροφή στη φιλοσοφία της επιστήμης, χρησιμοποιεί τη γλώσσα του Kuhn, για να σχολιάσει ότι με τη μελέτη του πειράματος, όχι ως αποτελέσματος, αλλά ως διαδικασίας, είναι σαν το ενδιαφέρον της φιλοσοφίας να μετατοπίζεται από την ιδιόρρυθμη στην κανονική επιστήμη (Ασημακόπουλος 2002[172]).

Ο Hacking επιχειρώντας να αποδείξει ότι το «σώμα του πειράματος» αξιώνεται το βάθος της ανάλυσης που η φιλοσοφία της επιστήμης έχει αφιερώσει στη θεωρία, αντιστρέφει την κεντρική στη φιλοσοφία της επιστήμης *θέση του Duhem* ότι, αν τα αποτελέσματα ενός πειράματος δεν συμφωνούν με τις προβλέψεις της θεωρίας, τότε μπορεί κάποιος, είτε να απορρίψει τη θεωρία, είτε να τροποποιήσει κάποια από τις βοηθητικές υποθέσεις που να αφορά στη λειτουργία των επιστημονικών οργάνων. Επισημαίνει ότι οι επιστήμονες έχουν περισσότερα περιθώρια ελιγμών, καθώς μπορούν να μετατρέψουν τα ίδια τα πειραματικά όργανα, τα οποία μπορούν να δώσουν μια πλαστικότητα στα πειραματικά αποτελέσματα, και έτσι να ανατρέψουν την αντίφαση που αυτά εμφανίζουν προς την υπό έλεγχο θεωρία (Hacking 1992[173]). Η παρατήρηση του Hacking, την οποία σχολιάζει ο Αραμπατζής (Arabatzis 2008[171]), δεν θα μπορούσε να έχει πραγματοποιηθεί, αν το πείραμα ως είδος και ως διαδικασία δεν είχε μπει στο οπτικό πεδίο της φιλοσοφικής έρευνας.

Από τη δεκαετία του 1980 και μετά, η πειραματική επιστήμη γίνεται το κέντρο σημαντικής ιστορικής έρευνας, ενώ τα ιστορικά επιστημονικά όργανα χρησιμοποιούνται για την «ανάγνωση» ιστορικών επιστημονικών επεισοδίων. Θέματα, όπως το πώς μεγάλης κλίμακας πειράματα λήγουν (Galison 1987[174]), το πώς και κάτω από ποιο κοινωνικό πλαίσιο η πειραματική επιστήμη μπαίνει τον 17^{ο} αιώνα στην ιστορία και επιβάλλεται (Shapin 1984[12], Shapin & Schaffer 1986[73]) τίθενται στο μικροσκόπιο της ιστορικής έρευνας. Ακόμα, επισημαίνεται η διάκριση μεταξύ διαφορετικών ειδών πειραματισμού – του «εξερευνητικού πειραματισμού» (exploratory experimentation), που διέπεται από την πειραματική εξερεύνηση των φυσικών φαινομένων πριν τη διατύπωση οποιασδήποτε θεωρίας πάνω σ' αυτά, και του «θεωρητικά καθοδηγούμενου πειραματισμού» (theory-driven experimentation), που αξιοποιεί το πείραμα ως μέσον επιβεβαίωσης ώριμων θεωρητικών υποθέσεων (Steinle 2002[175]) – η οποία απασχολεί τους αναλυτές.

Όπως θα περιγραφεί αναλυτικά σε επόμενη ενότητα (βλ. *ενότητα 4*), η στροφή της φιλοσοφίας της επιστήμης προς το πείραμα τροφοδοτεί την ανάπτυξη μιας σειράς από διδακτικές παρεμβάσεις, μέσα από τις οποίες τα ιστορικά επιστημονικά όργανα, η ιστορία και η διαδικασία των πειραμάτων μελετώνται στο πλαίσιο προγραμμάτων επιστημονικής εκπαίδευσης.

3.3.2. Επανεξετάζοντας τον λογικό θετικισμό και την ανακαλυπτική μάθηση

Η κριτική στη μέθοδο του εποικοδομητισμού σε συνδυασμό με νεώτερες εξελίξεις στο χώρο της φιλοσοφίας της επιστήμης, έχει επαναφέρει στο προσκήνιο του εκπαιδευτικού σχεδιασμού

προγραμμάτων φυσικών επιστημών τον λογικό θετικισμό[cxxxiv], ως υπόβαθρο ανανεωμένων προσεγγίσεων της ανακαλυπτικής μεθόδου μάθησης.

Ο Michael Matthews σημειώνει ότι η φήμη του λογικού θετικισμού στο χώρο της επιστημονικής εκπαίδευσης ήταν τόσο κακή κατά τις προηγούμενες δεκαετίες, ώστε δεν υπήρχε χειρότερος χαρακτηρισμός για έναν ερευνητή εκπαιδευτικών θεμάτων από τον χαρακτηρισμό του «θετικιστή». Παράλληλα, τα κείμενα των θετικιστών αγνοούνταν ή αποφεύγονταν. Με δεδομένο ότι οι θεμελιωτές του θετικισμού είχαν πολύ πλούσια εικόνα για την επιστήμη και την ιστορικότητά της, τις αλληλεπιδράσεις της με την κοινωνία, την κουλτούρα, τα μαθηματικά και τη φιλοσοφία, ενώ είχαν αναπτύξει ιδιαίτερα προοδευτικές παιδαγωγικές προσεγγίσεις[cxxxv], η φήμη αυτή αποδίδεται, σε μεγάλο βαθμό, σε παρερμηνείες (Matthews 2004a[176], Phillips 2004[177]). Ο Matthews σημειώνει ότι, παρόλο που από τους οπαδούς του εποικοδομητισμού προέρχεται μεγάλο μέρος της αρνητικής κριτικής που έχει δεχθεί ο λογικός θετικισμός, τις περισσότερες από τις γενικές αρχές του εποικοδομητισμού μπορεί κανείς να τις ανασύρει από τα πρώιμα κείμενα των Carnap και Wittgenstein[cxxxvi]. Γνωρίζοντας, ότι και ο Carnap και ο Wittgenstein απέρριψαν αργότερα αυτού του είδους τις αρχικές εργαλειακές (instrumentalist) και φαινομεναλιστικές (phenomenalist) τους απόψεις, οι εποικοδομητιστές μπορεί να θεωρηθούν ως θετικιστές που δεν κατάφεραν να ενηλικιωθούν (Matthews 2004b[178]). Ο Phillips

---

[cxxxiv]Η άποψη των λογικών θετικιστών για τη φύση της επιστήμης συνοψίζεται σύμφωνα με τον Matthews στις ακόλουθες δεσμεύσεις: 1) Η επιστήμη αναζητά την αλήθεια και προσπαθεί να ανακαλύψει πώς ο φυσικός, κοινωνικός και προσωπικός κόσμος λειτουργούν και σε τι συνίστανται. 2) Ο τελικός εμπειρικός έλεγχος και η απόδειξη είναι καθοριστικά για τη διαπίστωση της αλήθειας των επιστημονικών ισχυρισμών. 3) Οι προτάσεις που, κατά βάση, είναι μη εμπειρικές (όπως οι θεολογικές και οι παραδοσιακά μεταφυσικές) μπορεί να έχουν νόημα, ωστόσο δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως αληθινές ή λανθασμένες. 4) Η επιστήμη είναι ενιαία. Παρόλο που μπορεί οι φυσικές και κοινωνικές επιστήμες να διαφοροποιούνται ως προς τις *μεθόδους* που χρησιμοποιούν, υπάρχει μεθοδολογία που χαρακτηρίζει το σύνολο της επιστήμης. 5) Η μεθοδολογία της επιστήμης είναι ορθολογική. 6) Η επιστήμη έχει παγκόσμιο χαρακτήρα. Δεν υπάρχουν «τοπικές» επιστήμες. Οι επιστημονικές αλήθειες είναι εξίσου αληθινές για τους διάφορους πολιτισμούς. 7) Η επιστήμη υποθέτει μεθοδολογικά μια νατουραλιστική (naturalistic) (αλλά όχι υλιστική (materialist)) εικόνα του κόσμου. 8) Η νατουραλιστική εικόνα του κόσμου είναι η μόνη αληθινή. Η υπερβατική, η μεταφυσική και η ορθόδοξα θρησκευτική όψη του κόσμου είναι λανθασμένη. 9) Η επιστήμη αποτελεί μέρος της παράδοσης του διαφωτισμού. Η παράδοση αυτή ωφέλησε την ανθρωπότητα και αξίζει να προστατευθεί και να επεκταθεί (Matthews 2004a[176]).

[cxxxv] Οι παιδαγωγικές προσεγγίσεις των ιδρυτών του λογικού θετικισμού μπορούν, σύμφωνα με τον Matthews να συνοψιστούν στις προτάσεις: 1) Οι σπουδαστές πρέπει να κατανοούν το αντικείμενο που διδάσκονται, όχι να το αποστηθίζουν. 2) Η ορθή κατανόηση της επιστήμης αφορά στην κατανόηση της φιλοσοφικής και ιστορικής της διάστασης, και όχι απλά και μόνο στη γνώση τεχνικών και το χειρισμό πρακτικών θεμάτων. 3) Η ορθή εκπαίδευση απαιτεί την απόκτηση οικειότητας και ικανοτήτων πάνω σε ένα ευρύ φάσμα θεμάτων και αντικειμένων, και όχι πάνω σε ένα στενό αντικείμενο. 4) Ο δογματισμός δεν συμβαδίζει με την εκπαίδευση, η οποία πρέπει, αντίθετα, να προωθεί την ανάπτυξη κριτικής στάσης στους μαθητές. 5) Η ανάπτυξη σκέψης που να βασίζεται σε ορθολογική διάθεση και προσανατολισμό αποτελεί κεντρικό στόχο της εκπαίδευσης. 6) Ο σκοπός όλων των παραπάνω είναι να καταστήσει δυνατή την ηθική και ορθολογική δέσμευση απέναντι στα προβλήματα της ζωής και της κοινωνίας (Matthews 2004a[176]).

[cxxxvi] Σύμφωνα με τον Matthews, οι αρχές του εποικοδομητισμού, που συνοψίζονται στις 11 προτάσεις που παρατίθενται, απεικονίζουν επιστημολογικές και οντολογικές δεσμεύσεις που είχαν λίγο-πολύ αποτελέσει θέσεις του πρώιμου θετικισμού και εμφανίζονται στα κείμενα του Carnap, *Aufbau*, και του Wittgenstein, *Tractatus*: 1) Δεν έχουμε άμεση πρόσβαση στην αλήθεια. 2) Η αντικειμενική γνώση της αλήθειας είναι αδύνατη. 3) Η εμπειρία των αισθήσεων είναι η βάση της επιστημονικής γνώσης. 4) Υπάρχει ξεκάθαρη διάκριση ανάμεσα στους παρατηρησιακούς όρους που βασίζονται στην εμπειρία και στους θεωρητικούς (μη παρατηρησιακούς) όρους σε μια επιστημονική θεωρία. 5) Η εμπειρία των αισθήσεων είναι το μόνο πράγμα για το οποίο έχουμε άμεση γνώση. 6) Η εμπειρία των αισθήσεων είναι η πηγή και ο τρόπος ελέγχου των γνωστικών ισχυρισμών. 7) Το αντικείμενο της γνώσης δεν είναι η αλήθεια, αλλά η εμπειρία. 8) Ο κάτοχος της γνώσης είναι το υποκείμενο της αντίληψης και εμπειρίας. 9) Ο έλεγχος της εγκυρότητας της γνώσης δεν αντιστοιχεί στην αλήθεια που μπορεί να περικλείει, αλλά στη χρησιμότητά της. 10) Ο κόσμος δεν έχει δομή, η δομή δημιουργείται από την αντίληψη που έχουμε για τον κόσμο. 11) Δεν υπάρχει κόσμος έξω από την εμπειρία (Matthews 2004b[178]).

επισημαίνει ότι, παρόλο που δεν τίθεται θέμα αναβίωσης του λογικού θετικισμού, ο σύγχρονος στοχασμός πάνω στην φιλοσοφία της επιστήμης έχει σίγουρα να κερδίσει από τους λογικούς θετικιστές, οι οποίοι:

> «συνέβαλαν κατά πολύ στην κατανόηση της φύσης των φιλοσοφικών ερωτημάτων... Προσκόμισαν στη φιλοσοφία ένα ενδιαφέρον για τη συνεργασία… Υιοθέτησαν υψηλά πρότυπα αυστηρότητας… Προσπάθησαν να διαμορφώσουν μεθόδους έρευνας που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε κοινώς αποδεκτά αποτελέσματα» (Phillips 2004[177]).

Στον εκπαιδευτικό κόσμο, η συζήτηση για τον λογικό θετικισμό είναι στενά συνδεδεμένη με την επαναξιολόγηση της ανακαλυπτικής μάθησης, και την αξιοποίησή της ως κεντρικής μεθόδου για το σχεδιασμό προγραμμάτων σπουδών και διδακτικών προτάσεων. Μέσα από τη συζήτηση για το λογικό θετικισμό και την ανακαλυπτική μάθηση, η σύγχρονη εκπαιδευτική κοινότητα αναζητά λιγότερο σχετικιστικές εικόνες της φύσης και της μεθοδολογίας της επιστήμης από αυτές που φώτιζε η φιλοσοφία του εποικοδομητισμού και εξετάζει τρόπους, ώστε οι εικόνες αυτές να αναδειχθούν στα προγράμματα σπουδών.

Στο πλαίσιο αυτό, το 2005, στις ΗΠΑ, χρηματοδοτείται από το *National Science Foundation* (NSF) συνέδριο που έχει ως στόχο να φέρει κοντά εκπαιδευτικούς φυσικών επιστημών, γνωστικούς ψυχολόγους και φιλόσοφους της επιστήμης, με στόχο να διαπιστωθεί ο βαθμός συμφωνίας που υπάρχει ως προς το τι είναι η ανακαλυπτική μάθηση, να συζητηθούν τρόποι με τους οποίους η ανακαλυπτική μάθηση μπορεί να γίνει μέρος της διδακτικής πράξης, να προσδιοριστούν οι περιοχές στις οποίες η συναίνεση δεν υπάρχει και για τις οποίες απαιτείται περαιτέρω έρευνα και συζήτηση (Grandy & Duschl 2007[140]).

Κατά τη διάρκεια του συνεδρίου αποδόθηκαν μια σειρά από νέα χαρακτηριστικά στον όρο *ανακαλυπτική μάθηση*, έτσι ώστε αυτή να ενσωματώνει όψεις της φύσης της επιστήμης που η συζήτηση στο χώρο της φιλοσοφίας της επιστήμης έχει αποκαλύψει από τη δεκαετία του 1960 και μετά. Έτσι στη θέση των βασικών λειτουργιών που η *ανακαλυπτική μάθηση* της δεκαετίας του 1960-70 προωθούσε, οι σύνεδροι τοποθέτησαν έναν πολύ πιο πλούσιο κατάλογο (βλ. *πίνακα 3.1*).

Σύμφωνα με την ανανεωμένη μορφή της *ανακαλυπτικής μάθησης*, ο μαθητής καλείται να ανταποκριθεί σε μια πιο σύνθετη αντίληψη για τη φύση της επιστήμης μέσα από δραστηριότητες που του επιβάλλουν να χρησιμοποιήσει, παράλληλα με τις γνωστικές λειτουργίες, λειτουργίες σύγκρισης και αξιολόγησης που προϋποθέτουν τη χρήση εργαλείων της μεθοδολογίας του πειράματος και της λογικής ανάλυσης, όπως και διαδικασίες διαλόγου. Με τον τρόπο αυτό, επιδιώχθηκε ο κατάλογος της παραδοσιακής αποκαλυπτικής μάθησης, της οποίας οι δραστηριότητες ήταν κυρίως γνωστικές – με εξαίρεση την τελευταία (v) η οποία επικεντρωνόταν σε επιστημικά ζητούμενα (epistemic tasks) – να συμπληρωθεί με δραστηριότητες που να καλύπτουν και τις τρεις κατηγορίες διεργασιών, τις γνωστικές, τις επιστημικές, και τις διαλογικές (dialogical processes) (βλ. *Πίνακα 3.1*) (Grandy & Duschl 2007[140]).

Πίνακας 3.1. Στοχοθεσία της παραδοσιακής και της ανανεωμένης μορφής της ανακαλυπτικής μάθησης

Παραδοσιακή μορφή	**Ανανεωμένη μορφή**
Ο μαθητής καλείται: i. *να κάνει παρατηρήσεις* ii. *να διαμορφώνει υποθέσεις* iii. *να προβλέπει τις συνέπειες των υποθέσεων που κάνει* iv. *να εκτελεί παρατηρήσεις, για να ελέγξει τις συνέπειες των υποθέσεών του* v. *να αξιολογεί τις υποθέσεις του ως αποδεκτές ή μη με βάση τις παρατηρήσεις του*	Ο μαθητής καλείται: i. *να θέτει, να εκλεπτύνει και να αξιολογεί ερωτήματα* ii. *να σχεδιάζει, να βελτιώνει, να ερμηνεύει πειράματα* iii. *να κάνει παρατηρήσεις και να συλλέγει, να αναλύει δεδομένα των παρατηρήσεων* iv. *να συνδέει δεδομένα των παρατηρήσεων με υποθέσεις/ μοντέλα/ θεωρίες* v. *να διαμορφώνει υποθέσεις* vi. *να μαθαίνει θεωρίες ή μοντέλα* vii. *να εκλεπτύνει θεωρίες ή μοντέλα* viii. *να συγκρίνει εναλλακτικές θεωρίες και μοντέλα με τα δεδομένα των παρατηρήσεών του* ix. *να αναπτύσσει ερμηνείες* x. *να επιχειρηματολογεί υπέρ ή κατά διαφορετικών μοντέλων/ θεωριών, να συγκρίνει εναλλακτικά μοντέλα* xi. *να κάνει προβλέψεις* xii. *να καταγράφει, οργανώνει, συζητάει τα δεδομένα των παρατηρήσεών του* xiii. *να συζητάει και να εξηγεί θεωρίες και μοντέλα* xiv. *να γράφει για τα δεδομένα των παρατηρήσεών του και για θεωρίες ή μοντέλα* xv. *να διαβάζει πάνω στα δεδομένα παρατηρήσεων και πάνω σε θεωρίες ή μοντέλα*

Πηγή: Grandy & Duschl 2007[140].

Επικεντρωνόμενοι στο βασικό ερώτημα-κριτική που προβλημάτισε την εκπαιδευτική κοινότητα, σχετικά με το κατά πόσο *η προσωπική οδός μάθησης των φυσικών επιστημών* μπορεί να παραλληλιστεί με την *ιστορία της επιστημονικής εξέλιξης*, το συνέδριο συναίνεσε στη διαπίστωση ότι οι μαθητές μπορούν να παρομοιαστούν με μικρούς επιστήμονες, γιατί είναι σε θέση να θέτουν ερωτήματα και να επισημαίνουν κανονικότητες. Ωστόσο, διαφέρουν από τους επιστήμονες, γιατί το ερευνητικό έργο των επιστημόνων υποστηρίζεται από ισχυρές κοινωνικές δομές και οι επιστήμονες έχουν ισχυρά κίνητρα γι' αυτό. Ακόμα, σε αντίθεση με τους μαθητές, οι επιστήμονες ψάχνουν ενεργά για αποδείξεις, διαβάζουν για τα δεδομένα των πειραμάτων τους και για σχετικές θεωρίες ή μοντέλα, σχολιάζουν τα δεδομένα των πειραμάτων τους και τα συνδέουν με θεωρίες ή μοντέλα, συζητούν τα πλεονεκτήματα θεωριών και μοντέλων. Επιπλέον, οι επιστημονικές θεωρίες ή μοντέλα εμφανίζουν συνθετότητα και – σε αντίθεση με τα θεωρητικά σχήματα που μπορεί να επινοήσουν οι μαθητές – επικαλούνται συνήθως κρυμμένες, και όχι άμεσα παρατηρήσιμες, μεταβλητές, οντότητες και διαδικασίες, ενώ έχουν συχνά μαθηματικές μορφές έκφρασης. Τέλος, οι επιστήμονες είναι σε θέση να αξιολογούν διαφορετικές θεωρίες ή μοντέλα βάσει αποδεικτικών στοιχείων και, όταν υποστηρίζουν μια θεωρία ή μοντέλο, αναφέρονται και στις συναφείς με τις δικές τους θεωρίες ή μοντέλα που λειτουργούν ενισχυτικά ή περιοριστικά (Grandy & Duschl 2007[140]).

Με βάση τα παραπάνω και με δεδομένο ότι, από τη σύλληψή της, η ανακαλυπτική μάθηση θέτει ως ζητούμενο την προώθηση διαδικασιών ενεργητικής μάθησης, οι σύνεδροι οδηγήθηκαν στη συμφωνία ότι οι διδακτικές προτάσεις και τα νέα προγράμματα σπουδών, που σχεδιάζονται με άξονα την ανακαλυπτική μάθηση, θα πρέπει να επινοούν τρόπους, ώστε να μετατοπίζουν την πρωτοβουλία από τον διδάσκοντα στον μαθητή, σε όλων των ειδών τα ζητούμενα – γνωστικά, επιστημικά και

διαλογικά. Έτσι, σε αντίθεση με ένα ιδανικό πρόγραμμα παραδοσιακής ανακαλυπτικής μάθησης, σύμφωνα με το οποίο η πρωτοβουλία για την κινητοποίηση μαθησιακών διαδικασιών μέσα στην τάξη ανήκε στον καθηγητή, ένα σύγχρονο αντίστοιχο πρόγραμμα θα πρέπει να επιδιώκει να καθιστά τον μαθητή σε θέση να κινεί τις αντίστοιχες διαδικασίες μάθησης, όπως απεικονίζεται στον *Πίνακα 3.2* (Grandy & Duschl 2007[140]).

Πίνακας 3.2. Σύγκριση παραδοσιακής και ανανεωμένης μορφής της ανακαλυπτικής μεθόδου μάθησης

Παραδοσιακή μορφή της ανακαλυπτικής μάθησης	**Ανανεωμένη προσέγγιση της ανακαλυπτικής μάθησης**
Ο καθηγητής εγείρει ερωτήματα με επιστημονικό περιεχόμενο.	Ο εκπαιδευόμενος εγείρει ερωτήματα με επιστημονικό περιεχόμενο.
Ο καθηγητής βασίζει τις απαντήσεις του στα ερωτήματα σε αποδεικτικά στοιχεία.	Ο εκπαιδευόμενος βασίζει τις απαντήσεις του στα ερωτήματα σε αποδεικτικά στοιχεία.
Ο καθηγητής εξηγεί με βάση τα αποδεικτικά στοιχεία.	Ο εκπαιδευόμενος εξηγεί με βάση τα αποδεικτικά στοιχεία.
Ο καθηγητής συνδέει τις εξηγήσεις που δίνει με την επιστημονική γνώση.	Ο εκπαιδευόμενος συνδέει τις εξηγήσεις που δίνει με την επιστημονική γνώση.
Ο καθηγητής παρουσιάζει και αιτιολογεί τις εξηγήσεις του.	Ο εκπαιδευόμενος παρουσιάζει και αιτιολογεί τις εξηγήσεις του.
Ο καθηγητής απαντά κατάλληλα στην κριτική που δέχονται οι εξηγήσεις του.	Ο εκπαιδευόμενος απαντά κατάλληλα στην κριτική που δέχονται οι εξηγήσεις του.
Ο καθηγητής μπορεί να διαμορφώσει κατάλληλη κριτική σε εναλλακτικές εξηγήσεις.	Ο εκπαιδευόμενος μπορεί να διαμορφώσει κατάλληλη κριτική σε εναλλακτικές εξηγήσεις.
Ο καθηγητής είναι σε θέση να κριτικάρει διαφορετικές εξηγήσεις.	Οι εκπαιδευόμενοι είναι σε θέση να κριτικάρουν τις εξηγήσεις τους.
Ο καθηγητής είναι σε θέση να κατασκευάσει κατάλληλες διαδικασίες ελέγχου, για να συγκρίνει ανάμεσα σε διαφορετικές εξηγήσεις.	Ο εκπαιδευόμενος είναι σε θέση να κατασκευάσει κατάλληλες διαδικασίες ελέγχου, για να συγκρίνει ανάμεσα σε διαφορετικές εξηγήσεις.
Ο καθηγητής μπορεί να συζητήσει πάνω στο δεδομένο ότι συχνά υπάρχουν πολλαπλές εξηγήσεις και καμία κατηγορηματική απάντηση.	Ο εκπαιδευόμενος μπορεί να συλλογιστεί πάνω στο δεδομένο ότι συχνά υπάρχουν πολλαπλές εξηγήσεις και καμία κατηγορηματική απάντηση.

Πηγή: Grandy & Duschl 2007[140]

Επιδιώκοντας να φωτιστεί περισσότερο ξεκάθαρα η νέα προσέγγιση της ανακαλυπτικής μάθησης υπό το πρίσμα των νεώτερων εξελίξεων στο χώρο της φιλοσοφίας της επιστήμης, οι σύνεδροι εξέτασαν τις νεώτερες προσεγγίσεις στο χώρο της φιλοσοφίας της επιστήμης, ως αντιπαραθέσεις και συμπληρώσεις επτά σημείων της θεωρίας του λογικού θετικισμού, για τα οποία συναίνεσαν ότι δεν αντιπροσωπεύουν τη σημερινή εικόνα για τη φύση της επιστήμης. Η συζήτηση για κάθε ένα από τα σημεία αυτά κατέληγε σε μια εμπλουτισμένη άποψη για τη φύση της επιστήμης και τη διαμόρφωση προτάσεων για την ανάδυση της εικόνας αυτής στη διδακτική πρακτική. Το σύνολο της συζήτησης συνοψίζεται στον *Πίνακα 3.3* που ακολουθεί. Το γενικό συμπέρασμα ήταν ότι χρειάζεται να αναπτυχθεί μια διευρυμένη ιδέα για την επιστημονική μέθοδο, η οποία να μην αποκλείει τις διαφορετικές όψεις της φύσης της επιστήμης που οι σύγχρονες επιστημολογικές εξελίξεις έχουν αποκαλύψει (Grandy & Duschl 2007[140]).

Παράλληλα, στο ίδιο συνέδριο, επισημάνθηκε με πολλούς τρόπους η δυσκολία του εγχειρήματος. Για παράδειγμα, η μετατόπιση της ανάληψης δράσεων από τον καθηγητή στον μαθητή, που απεικονίζεται στον *Πίνακα 3.2*, θεωρείται ιδιαίτερα δύσκολη, δεδομένου ότι οι δραστηριότητες του

πίνακα ξεπερνούν κατά πολύ τις δυνατότητες του μέσου καθηγητή φυσικών επιστημών. Επίσης, παρόλο που υπήρξε συμφωνία μεταξύ των συνέδρων ότι μια ανανεωμένη άποψη για τη φύση της επιστήμης πρέπει να αποτελέσει τον άξονα των μελλοντικών διδακτικών προτάσεων, δεν υπήρξε *συναίνεση* για ίδια τη φύση της επιστήμης (Grandy & Duschl 2007[140]).

Πίνακας 3.3. Το επιστημολογικό υπόβαθρο νεώτερων προσεγγίσεων της ανακαλυπτικής μάθησης

Σύνοψη απόψεων λογικού θετικισμού	**Νεώτερες προσεγγίσεις της φιλοσοφίας της επιστήμης**	**Επιπτώσεις στο σχεδιασμό προγραμμάτων σπουδών και διδακτικών προτάσεων**
1. Υπάρχει επιστημολογικά σημαντική διάκριση ανάμεσα στη γλώσσα της παρατήρησης και τη θεωρητική γλώσσα και αυτή η διάκριση μπορεί να δηλωθεί με όρους σύνταξης ή γραμματικής.	Οι λογικοί θετικιστές άργησαν να αναγνωρίσουν ότι το τι μετράει ως παρατηρησιακό δεν είναι απλά θέμα γραμματικής, αλλά και ιστορικών εξελίξεων που εξαρτώνται από τα νέα εργαλεία, τεχνολογίες και θεωρίες που επικρατούν. Για παράδειγμα, τόσο ο Rutherford, όσο ο Millikan αναφέρουν ότι «βλέπουν» το ηλεκτρόνιο, χωρίς στην πραγματικότητα να το βλέπουν.	→ Χρειάζεται να διευκρινίζεται διαμέσου συζήτησης ποιο ακριβώς θεωρητικό πλαίσιο χρησιμοποιούμε, όταν κάνουμε κριτική, όταν θέτουμε ερωτήματα, όταν αποφασίζουμε ποια δεδομένα παρατήρησης θα συλλέξουμε και θα χρησιμοποιήσουμε ως αποδεικτικά ανάμεσα σε άλλα.
2. Κάποιας μορφής επαγωγική λογική μπορεί πάντα να παρέχει ένα έγκυρο κριτήριο αξιολόγησης μιας θεωρίας.	Είναι δυνατόν να υπάρξουν εναλλακτικές ορθολογικές εξηγήσεις και εναλλακτικά μοντέλα-θεωρίες που να ερμηνεύουν τα ίδια εμπειρικά δεδομένα.	→ Χρειάζεται να έρθουν οι μαθητές αντιμέτωποι με την οικοδόμηση κριτηρίων για την αξιολόγηση διαφορετικών εξηγήσεων. Θα πρέπει να μετέχουν σε συζητήσεις, ώστε να μάθουν να επιχειρηματολογούν υπέρ ή κατά διαφορετικών μοντέλων ή θεωριών.
3. Υπάρχει σημαντική διάκριση ανάμεσα στο πλαίσιο ανακάλυψης και στο πλαίσιο θεμελίωσης.	Το πιο σημαντικό αντεπιχείρημα που ο Kuhn και οι άλλοι ιστορικιστές ανέπτυξαν ήταν η αναγνώριση του γεγονότος ότι το μεγαλύτερο μέρος των αλλαγών που συμβαίνουν στις επιστημονικές θεωρίες δεν αφορούν στη σύλληψη ή στην τελική αποδοχή των θεωριών, αλλά στην επεξεργασία τους. Έτσι, το 99% των επιστημονικών εξελίξεων δεν μπορεί να ενταχθεί στο πλαίσιο ανακάλυψης (context of discovery) ή στο πλαίσιο θεμελίωσης (context of justification), αλλά στο πλαίσιο της ανάπτυξης μιας θεωρίας και τροποποίησης των επιστημονικών εννοιών (context of theory development, context of conceptual modification). Η διαχείριση ανώμαλων πειραματικών δεδομένων (anomalous data) απασχολεί μεγάλο τμήμα του χρόνου και της ενέργειας των επιστημόνων.	→ Χρειάζεται οι μαθητές να κατανοήσουν την εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης, ως διαδικασίας, η οποία αποκαλύπτει πώς οι επιστήμονες ανταποκρίνονται σε νέα εμπειρικά δεδομένα ή σε νέες θεωρίες που εξηγούν ήδη καταγεγραμμένα δεδομένα. Η εικόνα της επιστήμης που μεταβάλλεται και εξελίσσεται ως αποτέλεσμα της ανταποκριτικότητας των επιστημόνων προτιμάται, παιδαγωγικά, αντί της παρουσίασης της επιστημονικής γνώσης ως αβέβαιης και σχετικής.
4. Ο μεμονωμένος επιστήμονας είναι η βασική μονάδα παραγωγής της επιστημονικής γνώσης και αποτελεί τον πρωταγωνιστή των επιστημονικών εξελίξεων. 5. Διαφορετικά επιστημονικά πλαίσια είναι σύμμετρα.	Η επιστημονική έρευνα περιλαμβάνει περίπλοκα σχήματα διαδικασιών διαλόγου. Το σχήμα του μοναχικού επιστήμονα του 1700, που παρατηρεί, υποθέτει, ερμηνεύει, επιβεβαιώνει, έχει αντικατασταθεί με μεγάλης κλίμακας πειράματα στα οποία η παρατήρηση, ο έλεγχος, η ερμηνεία συμβαίνουν μέσα από πιο περίπλοκες διαδικασίες, για τις οποίες οι κανόνες συχνά δεν είναι προκαθορισμένοι και προκύπτουν μέσα από την αλληλεπίδραση των μελών της ερευνητικής ομάδας. Σε ποιο βαθμό μπορεί να ισχυριστεί κανείς ότι υπάρχουν κανόνες στην επιστημονική έρευνα; Σε ποιο βαθμό η γνώση, οι πεποιθήσεις, οι συλλογισμοί, οι αναπαραστάσεις, οι μέθοδοι και οι σκοποί σε κάποιον τομέα επιστημονικής	→ Λείπει από τα σχολικά προγράμματα η επικέντρωση της προσοχής σε διαφορετικά θεωρητικά πλαίσια, ως πηγών οι οποίες τροφοδοτούν ερωτήματα- οδηγούς για κάθε είδους επιστημονική έρευνα και, ταυτόχρονα, αποτελούν το έδαφος για την εμπλοκή σε πρακτικές διαλόγου. Χρειάζεται να βρεθεί χώρος στα προγράμματα σπουδών, ώστε οι μαθητές να εμπλακούν στην εξέταση εναλλακτικών εξηγητικών μηχανισμών και σε σοβαρές συζητήσεις πάνω στα κριτήρια που χρησιμοποιούνται, για να αξιολογούνται και να κρίνονται οι γνωστικοί ισχυρισμοί. → Έχει ήδη δοθεί μεγάλη προσοχή στο πώς οι ιδέες των μαθητών μπορούν να

6. Η επιστημονική γνώση εξελίσσεται αθροιστικά.	έρευνας μπορεί να καθορίζουν έναν άλλο; Κατά πόσο το έδαφος είναι κοινό και κατά πόσο διάφορο; Η συνέχεια και η ασυνέχεια της επιστημονικής γνώσης είναι αντικείμενα της σύγχρονης επιστημολογικής και ιστοριογραφικής έρευνας. Ο τρόπος με τον οποίο η επιστήμη εξελίσσεται και ο βαθμός στον οποίο οι νέες κατευθύνσεις που επιλέγονται διέπονται από ορθολογικά κριτήρια είναι επίσης αντικείμενο ευρείας συζήτησης.	εμποδίσουν τη μάθηση της επιστήμης ή να διευκολύνουν τη μάθηση της εννοιολογικής αλλαγής. Η συζήτηση εντοπίζεται στο αν οι ιδέες των μαθητών αποτελούν θεωρητικά πλαίσια που εμποδίζουν τη μάθηση της επιστήμης ή αν, αντίθετα, αποτελούν οργανικά μέρη οργανωμένων γνωστικών συστημάτων, οπότε πρέπει να αντιμετωπίζονται με ευελιξία, γιατί τα γνωστικά συστήματα έχουν την ιδιότητα να αυτό-εξελίσσονται.
7. Οι επιστημονικές θεωρίες μπορούν να θεωρηθούν ως συστήματα προτάσεων διατυπωμένων σε μια τυπική γλώσσα.	Μοντέρνες εξελίξεις στις φυσικές επιστήμες, τα μαθηματικά, τη γνωστική επιστήμη και τις επιστήμες Η/Υ έδωσαν στις επιστημονικές αναπαραστάσεις μορφές πέρα από τις αυστηρά γλωσσικές και λογικές. Σύμφωνα με αυτές, οι διαλογικές διαδικασίες θεωρούνται εγγενείς στην επιστημονική διαδικασία, ενώ λειτουργικές και πρακτικές παράμετροι κρίνονται ιδιαίτερα σημαντικές για την περιγραφή της επιστημονικής εξέλιξης και των μεθόδων που συνοδεύουν την επιστημονική έρευνα.	
1-7		→ Χρειάζεται να αναπτύξουμε μια διευρυμένη ιδέα για την επιστημονική μέθοδο. Η διευρυμένη επιστημονική μέθοδος είναι μια άποψη που αναγνωρίζει το ρόλο του πειράματος και του ελέγχου των υποθέσεων, αλλά παράλληλα αναγνωρίζει επιπλέον ότι οι πρακτικές της επιστημονικής έρευνας έχουν νοητικές, επιστημικές και κοινωνιολογικές διαστάσεις, και έχουν την ιδιότητα να μεταβάλλονται. Η διευρυμένη επιστημονική μέθοδος πρέπει να μην αποκλείει κανένα από τα τρία διάδοχα σχήματα: της υποκαθοριζόμενης από το πείραμα υποθετικο-παραγωγικής επιστημονικής μέθοδου (hypothetico-deductive experiment driven science), της επιστήμης ως μεθόδου που καθοδηγείται από τη διαδοχή εννοιολογικών σχημάτων (conceptual change theory driven science), της επιστήμης ως μεθόδου έρευνας που βασίζεται σε εναλλακτικά μοντέλα (model-based driven science).

Πηγή: Επεξεργασία στοιχείων που δίνουν οι Grandy & Duschl 2007[140]

3.4. Οι διαφορετικές όψεις της επιστήμης και η διδασκαλία των φυσικών επιστημών

3.4.1. Η αναζήτηση βάσης σύγκλισης για τη φύση της επιστήμης

Η έλλειψη ενιαίας επιστημολογικής άποψης πάνω στη *φύση της επιστήμης* (nature of science) αποτελεί αντικείμενο προβληματισμού για την εκπαιδευτική κοινότητα εδώ και δύο δεκαετίες. Υπό την πίεση της έντονης ιστορικιστικής στροφής (historicist turn) της δεκαετίας του 1970 στη φιλοσοφία της επιστήμης, η εικόνα της επιστήμης εισάγεται με διαφορετικούς – αντί για ένα και ενιαίο – τρόπους

στα προγράμματα σπουδών. Η αναζήτηση μιας βάσης σύγκλισης για τη φύση της επιστήμης (McComas et al.1998[179], McComas & Olson 1998[180], Elfin et al. 1999[181]), οι επιπτώσεις της πολύμορφης εικόνας για τη φύση της επιστήμης στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών (Jenkins 1996[182], Donnelly 2001[183]) και η διαμόρφωση προτάσεων πάνω στο χειρισμό των διαφορετικών όψεων της φύσης της επιστήμης στα προγράμματα σπουδών και στη διδακτική πρακτική (Elfin et al. 1999[181], Rudolph 2000[184], Donnelly 2001[183], Good & Shymansky[185]) αποτελούν πεδίο προβληματισμού της εκπαιδευτικής κοινότητας κατά τη δεκαετία του 1990. Την πρώτη δεκαετία του παρόντος αιώνα, το τοπίο γίνεται ακόμη πιο περίπλοκο, υπό το πρίσμα των νέων ιστοριογραφικών και επιστημολογικών προσεγγίσεων, που ενισχύουν ακόμη περισσότερο αυτή την πολυμορφία (βλ. Grandy & Duschl 2007[140] και ενότητα 3.3.1).

Προκειμένου να δημιουργηθεί μια βάση σύγκλισης για τη φύση της επιστήμης, οι McComas et al. (McComas et.al 1998[179], McComas & Olson 1998[180]) συγκεντρώνουν μια σειρά από χαρακτηριστικά της *φύσης της επιστήμης*, τα οποία έχουν εξαχθεί από επεξεργασία αντιπροσωπευτικών εγγράφων που αφορούν στον καθορισμό προτύπων διδασκαλίας των φυσικών επιστημών σε εθνικό επίπεδο. Η βάση σύγκλισης έχει προκύψει από την εξέταση εγγράφων που θεσπίζουν προδιαγραφές για τη διδασκαλία της επιστήμης στην τελευταία τάξη της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στις ΗΠΑ[cxxxvii], στο Ηνωμένο Βασίλειο[cxxxviii], στον Καναδά[cxxxix], την Αυστραλία[cxl] και τη Νέα Ζηλανδία[cxli] και μία σημαντική κρατική έκδοση που αφορά στη διδασκαλία της επιστήμης σε προπτυχιακό επίπεδο[cxlii] (Mc Comas & Olson 1998[168]). Στη βάση σύγκλισης έχουν συμπεριληφθεί ισχυρισμοί που αποτελούν ορισμούς ή περιγραφές του τι είναι η επιστήμη και πώς λειτουργεί, πώς η επιστήμη επιδρά στην κοινωνία και πώς η κοινωνία επιδρά σε αυτήν, θέματα παραγωγής της γνώσης, διαδικασίες που αφορούν στο διανοητικό (περισσότερο παρά στο τεχνικό) επιστημονικό τοπίο, λοιπά δεδομένα που προσφέρουν πληροφορία πάνω στην επιστήμη και στη φύση της. Οι παραπάνω ισχυρισμοί έχουν αντληθεί, είτε από ξεχωριστές ενότητες που αφορούν στη φύση της επιστήμης και περιλαμβάνονται στα έγγραφα, είτε, όταν δεν υπάρχει τέτοια ειδική ενότητα, από το σύνολο του εγγράφου. Οι McComas & Olson (McComas & Olson 1998[180]) διαπιστώνουν ότι υπάρχει συμφωνία και των οκτώ εγγράφων στις προτάσεις: «η επιστημονική γνώση είναι ανιχνευτική», «οι επιστήμονες παίρνουν ηθικές αποφάσεις», «η επιστήμη είναι μέρος της κοινωνικής παράδοσης», συμφωνία των επτά από τα οκτώ έγγραφα στις προτάσεις: «η επιστήμη είναι μια προσπάθεια για την εξήγηση των φαινομένων», «οι επιστήμονες χρειάζονται επαναληψιμότητα», «οι επιστήμονες χρειάζονται ειλικρινή αναφορά δεδομένων», «η επιστήμη έχει παγκόσμιες επιπτώσεις» και συμφωνία των έξι από τα οκτώ έγγραφα στις προτάσεις: «η επιστήμη βασίζεται στην εμπειρική απόδειξη», «όλες οι κουλτούρες συνεισφέρουν στην επιστήμη»,

[cxxxvii] AAAS, Benchmarks (1993), California Department of Education, California Framework (1990), NRC, National Science Education Standards (1996)
[cxxxviii] Department of Education: Science in the National Curriculum of England & Wales (1995)
[cxxxix] Council of Ministers of Education, Common Framework (1993)
[cxl] Curriculum Corporation, A Statement on Science (1994)
[cxli] Ministry of Education, Science in the New Zealand Curriculum (1993)
[cxlii] AAAS, The Liberal Art of Science (1990)

«η νέα γνώση πρέπει να παρουσιάζεται ξεκάθαρα και ανοιχτά», «η επιστήμη έχει παίξει σημαντικό ρόλο στην τεχνολογία», «οι επιστημονικές ιδέες επηρεάζονται από το κοινωνικό και ιστορικό τους περιβάλλον». Συνθέτοντας τους ισχυρισμούς ευρείας σύγκλισης, που προαναφέρθηκαν, με απόψεις για τη φύση της επιστήμης για τις οποίες υπάρχει μικρότερου βαθμού συμφωνία στα υπό εξέταση έγγραφα, οι McComas et al. (McComas et al 1998[179]) διαμορφώνουν το σύνολο των παρακάτω δεκατεσσάρων προτάσεων, ως βάση σύγκλισης για τη φύση της επιστήμης.

Πίνακας 3.4.Βάση σύγκλισης για τη φύση της επιστήμης

1	Η επιστημονική γνώση, παρόλο που έχει διάρκεια, εμπεριέχει αβεβαιότητα.
2	Η επιστημονική γνώση βασίζεται ιδιαίτερα, αλλά όχι ολοκληρωτικά, στην παρατήρηση, στα πειραματικά δεδομένα, στα ορθολογικά επιχειρήματα και στο σκεπτικισμό.
3	Δεν υπάρχει ένας τρόπος να εργάζεται κανείς επιστημονικά, δηλαδή, δεν υπάρχει μια παγκόσμια επιστημονική μέθοδος η οποία να ακολουθείται βήμα προς βήμα.
4	Η επιστήμη είναι μια προσπάθεια εξήγησης των φυσικών φαινομένων.
5	Οι νόμοι και οι θεωρίες παίζουν διαφορετικό ρόλο στην επιστήμη, δηλαδή, οι σπουδαστές πρέπει να κατανοήσουν ότι οι θεωρίες δεν μπορούν να μετατραπούν σε νόμους, ακόμη κι αν υπάρχουν γι' αυτές ισχυρά αποδεικτικά στοιχεία.
6	Άνθρωποι όλων των διαφορετικών πολιτισμικών παραδόσεων μπορούν να συνεισφέρουν στην επιστημονική εξέλιξη.
7	Η νέα γνώση πρέπει να παρουσιάζεται με καθαρότητα και ειλικρίνεια.
8	Οι επιστήμονες αξιώνουν ακριβή καταγραφή της επιστημονικής μεθοδολογίας, υποβολή της επιστημονικής διαδικασίας στην κριτική της επιστημονικής κοινότητας, επαναληψιμότητα.
9	Οι παρατηρήσεις είναι διαποτισμένες από τη θεωρία.
10	Οι επιστήμονες είναι δημιουργικοί.
11	Η ιστορία της επιστήμης αποκαλύπτει, τόσο έναν εξελικτικό, όσο και έναν επαναστατικό χαρακτήρα.
12	Η επιστήμη είναι μέρος του κοινωνικού και πολιτισμικού γίγνεσθαι.
13	Η επιστήμη και η τεχνολογία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.
14	Οι επιστημονικές ιδέες επηρεάζονται από το κοινωνικό και ιστορικό περιβάλλον στο οποίο εκφράζονται.

Πηγή: McComas et al.1998[179].

Χαρακτηριστικά της βάσης σύγκλισης αποτελούν η συνεύρεση διαφορετικών επιστημολογικών θεωρήσεων, ενώ απεικονίζονται με σαφήνεια επιρροές που δέχεται η επιστημονική εκπαίδευση κατά τη δεκαετία του 1990 από τις ιστορικιστικές και σχετικιστικές προσεγγίσεις της φιλοσοφίας της επιστήμης (McComas et al.1998[179]).

Μια δεκαετία αργότερα, οι Grandy & Duschl συνοψίζουν τις σύγχρονες φιλοσοφικές συζητήσεις και αντιπαραθέσεις με θέμα τη φύση της επιστήμης, ή αλλιώς τους σύγχρονους *πολέμους της επιστήμης*, χρησιμοποιώντας ως παράρτημα κείμενο των καθηγητών φιλοσοφίας Elfin et al. (Elfin et al. 1999[181]). Σύμφωνα με τους τελευταίους, οι βασικές φιλοσοφικές αντιπαραθέσεις συνοψίζονται στο κατά πόσο υπάρχει ή όχι *ενότητα στην επιστήμη*, κατά πόσο η επιστήμη μπορεί να *οριοθετηθεί* έναντι της μη επιστήμης, στην αντιπαράθεση *ρεαλισμού* (realism) και *εργαλειοκρατίας* (instrumentalism), στην αντιπαράθεση εκείνων που βλέπουν την επιστήμη ως ένα *σώμα γνώσης* (body of knowledge) με

αυτούς που θεωρούν ότι συμπεριλαμβάνει περισσότερα πράγματα, όπως *το πώς οι επιστήμονες κινούνται μέσα στον πολιτισμικό και πολιτικοοικονομικό χώρο* ή *πως εκτελούν τα πειράματά τους και οργανώνουν τα εργαστήριά τους*, στη συζήτηση που αφορά σε *θέματα φύλου* στην επιστήμη. Αντίθετα, η κεντρική κατά τη δεκαετία του 1970 αντιπαράθεση μεταξύ *ορθολογισμού και ιστορικισμού* (rationalism versus historicism) έχει σήμερα ατονήσει (Elfin et al. 1999[181]).

Οι Grandy & Duschl καθιστούν σαφές ότι, εφόσον η φιλοσοφική συζήτηση δεν μπορεί να δώσει ενιαία απάντηση για τη φύση της επιστήμης, το πρόβλημα των πολλαπλών εικόνων για την επιστήμη δεν μπορεί να λυθεί στους κόλπους της εκπαιδευτικής κοινότητας, ενώ το ζήτημα του πώς η *φύση της επιστήμης* ενδείκνυται να παρουσιάζεται στα προγράμματα σπουδών και να μετατρέπεται σε διδακτική πρακτική παραμένει ζήτημα έντονων εκπαιδευτικών διεργασιών και συζητήσεων (Grandy & Duschl 2007[140]). Οι Elfin et al. (Elfin et al. 1999[181]), από τη μεριά τους, εξετάζοντας τα αποτελέσματα έρευνας πάνω στις απόψεις των φιλοσόφων της επιστήμης για τη φύση της επιστήμης και συγκρίνοντάς τα με τις απόψεις της φύσης της επιστήμης που προβάλλουν τα σημαντικότερα κείμενα της εκπαιδευτικής αρθρογραφίας, καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι υπάρχει μέσα στην εκπαιδευτική κοινότητα μια σημαντική βάση σύγκλισης πάνω στη φύση της επιστήμης, που συνοψίζεται στις θέσεις:

Πίνακας 3.5: Βάση σύγκλισης για τη φύση της επιστήμης

1	Ο βασικός στόχος της επιστήμης είναι να προσεγγίσει τη γνώση του φυσικού κόσμου.
2	Υπάρχει μια υποκείμενη τάξη στον κόσμο, την οποία η επιστήμη προσπαθεί να αποκαλύψει με έναν εξαιρετικά απλό και κατανοητό τρόπο.
3	Η επιστήμη είναι δυναμική, υπόκειται σε αλλαγές και δοκιμασίες.
4	Δεν υπάρχει μια μόνο επιστημονική μέθοδος.

Πηγή: Elfin et al. 1999[181]

Οι Elfin et al. παρατηρούν ότι οι εκπαιδευτικοί συμφωνούν πάνω στη θεώρηση της φύσης της επιστήμης σε σημεία στα οποία υπάρχει σύγκλιση και από τη μεριά των φιλοσόφων. Διαπιστώνουν, επίσης, ότι η εκπαιδευτική κοινότητα εμφανίζει διάσταση απόψεων σε θεωρήσεις πάνω στη φύση της επιστήμης που αποτελούν πεδία αντιπαραθέσεων στο χώρο της φιλοσοφίας.

Μεταφέροντας την πείρα τους, από τη διδασκαλία της φιλοσοφίας, οι Elfin et al. προτείνουν στους εκπαιδευτικούς να αποφύγουν την έμφαση στην παράλληλη προβολή πολλών και αντιφατικών όψεων της φύσης της επιστήμης. Θεωρούν ότι η συζήτηση θεμάτων όπως η κριτική στον λογικό θετικισμό, η συζήτηση περί ρεαλισμού και διδακτικές κατευθύνσεις εμπνευσμένες από ακραίες σχετικιστικές απόψεις είναι καλό να αποφευχθούν. Προτείνουν την αξιοποίηση της ιδέας του εμπειρισμού ως μιας ιδέας γενικότερης από το λογικό θετικισμό. Προτείνουν αξιοποίηση της ιδέας του απλοϊκού ρεαλισμού που απλά υποθέτει ότι οι οντότητες που εξετάζει η φυσική είναι υπαρκτές. Συνιστούν οι μικρής ηλικίας μαθητές να έρθουν σε επαφή με τις απόψεις του Kuhn σχετικά με την ύπαρξη αντικρουόμενων παραδειγμάτων και με το ότι θεωρητικές δεσμεύσεις και κοινωνικοί παράγοντες

συνδιαμορφώνουν την εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης, χωρίς να τονίζεται η έννοια της ριζικής ασυμβατότητας (radical incommensurability) μεταξύ παραδειγμάτων (paradigms). Τέλος προτείνουν την ανάδειξη διαφορετικών όψεων της φύσης της επιστήμης μέσα από επεισόδια της ιστορίας της επιστήμης, αντί για την προβολή πολυπρισματικών θεωρήσεων της φύσης της επιστήμης μέσα από συζητήσεις του τύπου «τι είναι η επιστήμη;» (Elfin et al. 1999[181]).

3.4.2. Όψεις της φύσης της επιστήμης στα προγράμματα σπουδών

Οι Good και Shymansky (Good & Shymansky 2001[185]) επικεντρώνονται στη μελέτη αντιπροσωπευτικών εγγράφων-οδηγών για το σχεδιασμό της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών στις ΗΠΑ, κατά τη δεκαετία του 1990, και επισημαίνουν ότι στη μελέτη στοχοθέτησης σε εθνικό επίπεδο: *National Science Education Standards* (NRC 1996[186]) και στη μελέτη στοχοθέτησης ανά σχολική τάξη: *Benchmarks for Science Literacy* (AAAS 1993[187]), που συνοδεύει το αναλυτικό πρόγραμμα: *Science for all Americans* (AAAS 1989[188]), η φύση της επιστήμης παρουσιάζεται πολυδιάστατη. Ενώ, και τα δύο αυτά διδακτικά εργαλεία διακατέχονται, κυρίως, από *ρεαλιστικό πνεύμα*, ταυτόχρονα όμως διαφαίνεται σ' αυτά και η υποστήριξη *σχετικιστικών* προσεγγίσεων. Έτσι, η επιστημονική γνώση παρουσιάζεται, άλλοτε ως σταθερή και άλλοτε ως εξελισσόμενη, η επιστημονική κοινότητα παρουσιάζεται, άλλοτε ως σύνολο ανθρώπων σε συμφωνία και άλλοτε ως σύνολο ανθρώπων με διαφορετικές απόψεις, η επιστημονική γνώση προβάλλεται, άλλοτε ως αβέβαιη και μερική γνώση και άλλοτε ως παγκόσμια και σταθερή. Οι Good και Shymansky παρατηρούν, επίσης, ότι η συνύπαρξη διαφορετικών επιστημολογικών θεωρήσεων στα ίδια εκπαιδευτικά εργαλεία, σχετίζεται με το γεγονός ότι άλλη όψη της φύσης της επιστήμης τείνει να αναδεικνύεται μέσα από την ιστορία της επιστήμης και άλλη μέσα από την φιλοσοφία της:

> «Η φιλοσοφία της επιστήμης τείνει να προβάλλει τη σταθερή, ορθολογιστική, προοδευτική παγκόσμια, ομόφωνα προσδιορισμένη φύση της επιστήμης, ενώ η ιστορία της επιστήμης τείνει να προβάλλει την ειδική, προσωπική, μεταβλητή, πολύπλοκη, μερική φύση της επιστήμης και φυσικά και οι δύο αυτές οπτικές γωνίες είναι σωστές» (Good & Shymansky 2001[185]).

Οι Good και Shymansky επισημαίνουν ότι, για την αποτελεσματική χρήση των εργαλείων στο σχεδιασμό προγραμμάτων σπουδών, θα πρέπει η διδασκαλία των φυσικών επιστημών που απευθύνεται σε αρχάριους μαθητές ή στο ανειδίκευτο κοινό να βασιστεί στην ανάδειξη της *ρεαλιστικής* όψης της φύσης της επιστήμης που αποτελεί και τον κύριο άξονα σχεδιασμού των δύο προαναφερόμενων εργαλείων. Παράλληλα, στις περιπτώσεις που επιχειρείται η συζήτηση του μεταβλητού και υποκειμενικού χαρακτήρα της επιστημονικής γνώσης, η επιστήμη θα πρέπει να συγκρίνεται με άλλες μορφές γνώσης, ώστε να αποκαλύπτεται το γεγονός ότι, παρά τον προσωρινό, τοπικό η αβέβαιο χαρακτήρα της, η επιστημονική γνώση είναι η πιο σταθερή και αντικειμενική γνώση που έχει μέχρι σήμερα κατακτήσει η ανθρωπότητα:

> «Συγκρινόμενος με άλλους τρόπους σκέψης και διαμόρφωσης πεποιθήσεων, οι φυσικές επιστήμες παρέχουν ένα, κατά πολύ ανώτερο, παράδειγμα ορθολογικής, προοδευτικής, καθολικής γνώσης και είναι

> αυτές οι όψεις τους που πρέπει να γίνουν κτήμα των αρχαρίων… Αυτή η όψη της επιστήμης μπορεί να γίνει η βάση, για να κατανοηθεί εκ νέου η έννοια «γνωρίζω». Παρόλο που, όταν μελετάει κανείς την ιστορία, του αποκαλύπτονται οι πολλές αποχρώσεις και πολυπλοκότητες της επιστήμης, ο ορθολογικός, προοδευτικός και καθολικός χαρακτήρας που υπάρχει στα θεμέλιά της είναι η πιο ακριβής εικόνα της φύσης της, στην κατανόησή της οποίας θα πρέπει οι καθηγητές να βοηθήσουν (Good & Shymansky 2001[185]) .

Οι Edgar Jenkins και James Donnelly αναλύουν τη θεώρηση της φύσης της επιστήμης στα εθνικά αναλυτικά προγράμματα, στο Ηνωμένο Βασίλειο. Σύμφωνα με τον Jenkins, η εικόνα της αντικειμενικής και ορθολογικής φύσης της επιστήμης, που παραδοσιακά προβαλλόταν στα προγράμματα σπουδών, θεωρείται από την σημερινή ιστοριογραφία και φιλοσοφία της επιστήμης παρωχημένη. Θεωρεί ότι θα είχε ενδιαφέρον να επιχειρηθεί η διδασκαλία της *φύσης της επιστήμης* με έναν τρόπο που να είναι πιστός στις αντίστοιχες σύγχρονες ιστορικο-φιλοσοφικές προσεγγίσεις και στο πλαίσιο αυτού του εγχειρήματος θα μπορούσαν να εξερευνηθούν οι πολλές, διαφορετικές και συχνά αντιφατικές όψεις που της έχουν αποδοθεί. Ωστόσο, θεωρεί ότι η ενσωμάτωση ενός τέτοιου περιεχομένου στη διδακτική πρακτική των φυσικών επιστημών είναι δύσκολη, γιατί είναι ξένη προς τη μακροχρόνια παράδοση που έχει διαμορφωθεί για τη διδασκαλία της επιστήμης και αντιβαίνει στην ανάγκη των μαθητών να πάρουν από την επιστημονική εκπαίδευση *ρεαλιστικές* απαντήσεις για το *τι είναι στ' αλήθεια ο κόσμος* και πώς πρακτικά *αλληλεπιδρούμε με τους νόμους του* (Jenkins 1996[182]).

Ο Donnelly, αναλύοντας τις διαδοχικές αναμορφώσεις των αναλυτικών προγραμμάτων φυσικών επιστημών Αγγλίας και Ουαλίας, το 1989, 1991, 1995, 1999 εντοπίζει την ύπαρξη δύο αντικρουόμενων εκδοχών της *φύσης της επιστήμης*, ειδικά στο πρώτο και το τελευταίο από τα αναλυτικά προγράμματα. Η πρώτη εκδοχή αφορά στην εμπειριστική, επαγωγική, υποκειμενική[cxliii] προσέγγιση της επιστημονικής γνώσης και υλοποιείται σε μεγάλο βαθμό διαμέσου σταδίων ατομικής εργαστηριακής πρακτικής. Η δεύτερη εκδοχή αφορά στην ιστορικιστική προσέγγιση, σύμφωνα με την οποία η επιστήμη υπόκειται σε αλλαγές που επηρεάζονται από το ιστορικό και κοινωνικό πλαίσιο, για την κατανόηση της οποίας προτείνονται δραστηριότητες διαλόγου που επικεντρώνονται στην ανάπτυξη συλλογισμών και επιχειρημάτων. Καταλήγοντας, ο Donnelly, παρατηρεί ότι σε ολόκληρο το έργο του σχεδιασμού των αναλυτικών προγραμμάτων δεν έχουν αντιμετωπιστεί βασικά προβλήματα. Το πρώτο από αυτά είναι ότι οι διαφορετικές όψεις της φύσης της επιστήμης προβάλλονται με τρόπο που είναι αντιφατικός, με την έννοια ότι η επιστημονική μέθοδος που απορρέει από την πρώτη εκδοχή της φύσης της επιστήμης ανατρέπεται, όταν η φύση της επιστήμης ειδωθεί με τα χαρακτηριστικά της δεύτερης εκδοχής. Από την άλλη μεριά, τόσο η πρώτη, όσο και η δεύτερη εκδοχή, όταν μετατρέπονται σε μεθόδους διδασκαλίας, δεν μπορούν αποτελεσματικά να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα της μετάβασης από την ατομική παρατήρηση και κρίση στο κερδισμένο σώμα της καθιερωμένης επιστημονικής γνώσης. Η μεν εμπειριστική προσέγγιση δυσκολεύεται να προτείνει τρόπους να συνδεθεί το αποτέλεσμα της πειραματικής έρευνας των μαθητών με τη μεθοδολογία και τα αποτελέσματα της αντίστοιχης επιστημονικής έρευνας, η δε σχετικιστική

[cxliii] empiricist, inductivist and individualist

προσέγγιση δεν είναι εύκολο να αποφύγει να δημιουργήσει ερωτηματικά σχετικά με την αξία της οποιασδήποτε επιστημονικής μεθοδολογίας. Ο Donnelly θεωρεί ότι αυτά ακριβώς τα προβλήματα αποτελούν πρόκληση για το σχεδιασμό της διδασκαλίας της φύσης της επιστήμης και θεωρεί ότι θα μπορούσαν να μετατραπούν από προβλήματα σε διδακτικά πλεονεκτήματα, αν κατέληγαν στο σχεδιασμό διδακτικών στρατηγικών ενεργής εμπλοκής των μαθητών σε διαδικασίες που θα αποκάλυπταν τη συμπληρωματική όψη των διαφορετικών όψεων της φύσης της επιστήμης. Και αυτό γιατί και οι δύο παραπάνω εκδοχές της φύσης της επιστήμης έχουν το κοινό χαρακτηριστικό ότι προσπαθούν να «δουν» το άτομο ως δημιουργική ψηφίδα στην οικοδόμηση της επιστημονικής γνώσης (Donnelly 2001[183]).

Ο John Rudolph (Rudolph 2000[184]) αμφισβητώντας την αξία του να οικοδομηθεί εκπαιδευτικό υλικό επιστημονικής εκπαίδευσης με βάση γενικεύσεις, που να προσδίδουν καθολικά χαρακτηριστικά στη φύση της επιστήμης – παρόμοια με αυτά που κατά τους McComas et al. αναδεικνύονται από τα εκπαιδευτικά έγγραφα ως κατευθύνσεις των προγραμμάτων σπουδών – αντιπροτείνει την ανάδυση της φύσης της επιστήμης μέσα από την ανάλυση επιμέρους επιστημονικών επεισοδίων και επιστημονικών πρακτικών. Αφετηρία για τον Rudolph είναι η διαπίστωση, που αποτελεί κέντρο του προβληματισμού και για τον Jenkins (Jenkins 1996[182]), ότι η ιδέα που έχουμε για την επιστήμη έχει αλλάξει δραματικά μετά το 1960, και στη θέση μιας σχετικά ενιαίας όψης για την επιστήμη υπάρχει μια θρυμματισμένη εικόνα που περιλαμβάνει όλες τις ενδιάμεσες αποχρώσεις από τον ακραίο ρεαλισμό (diehard realism) μέχρι τον ριζοσπαστικό εποικοδομητισμό (radical constructivism). Η αντίθεση ανάμεσα στην ολοένα μεταβαλλόμενη και ανοιχτή σε νέες προκλήσεις επιστημολογική αρένα της επιστημονικής έρευνας και της αυστηρά στυλιζαρισμένης, στατικής εικόνας της επιστήμης στα σχολικά προγράμματα αποτελεί, για τον Rudolph, κεντρικό πρόβλημα, όταν κάποιος καλείται να ενσωματώσει το σύγχρονο προβληματισμό πάνω στη φύση της επιστήμης στη σχολική επιστημονική εκπαίδευση. Προκειμένου να υπάρξει η δυνατότητα οι μαθητές να έρθουν σε επαφή με σύγχρονες απόψεις για τη φύση της επιστήμης, ο Rudolph προτείνει να γίνει συστηματική ανάλυση στους επιμέρους επιστημονικούς κλάδους και να επιλεγούν μελέτες περίπτωσης που χαρακτηριστικά να αποκαλύπτουν τις διαφορετικές πρακτικές που χρησιμοποιούνται σε κάθε έναν από αυτούς. Για την παρουσίαση των διαφορετικών αυτών περιπτώσεων προτείνει να παράγεται εκπαιδευτικό υλικό που να περιλαμβάνει ανάγνωση ιστορικών κειμένων, προσομοιώσεις εργαστηριακών προβλημάτων πλούσιες σε δεδομένα, εκπαιδευτικό υλικό για το στήσιμο διαλέξεων και συζητήσεων. Θεωρεί ότι οι μαθητές, ερχόμενοι με τον τρόπο αυτό σε επαφή με την ποικιλομορφία του επιστημονικού εγχειρήματος, θα μπορέσουν μέσα από την ιδιαιτερότητα, τη διαφορετικότητα και τη μερικότητα να αντιληφθούν τη φύση της επιστήμης καλύτερα, παρά αν καλούνταν να την αντιληφθούν μέσα από καθολικούς ορισμούς ή αλγόριθμους περιγραφής της μεθοδολογίας της. Ο Rudolph στο τελευταίο του επιχείρημα – υπέρ της σύνθεσης της φύσης της επιστήμης μέσα από ψηφίδες πιστής περιγραφής επί μέρους επιστημονικών παρεμβάσεων – υποστηρίζει ότι, όπως δεν μπορεί να υπάρχει προσέγγιση προς τον «αληθινό κόσμο», χωρίς την εμπειρία, έτσι και δεν μπορεί να γίνει κατανοητή η επιστήμη μέσα

από αφηγήσεις που προέρχονται έξω από αυτή, όπως είναι οι διάφορες φιλοσοφικές, ιστορικές και κοινωνιολογικές θεωρητικές προσεγγίσεις της φύσης της.

Η διεθνής έρευνα PISA (PISA 2006[141]) για την αξιολόγηση του επιστημονικού αλφαβητισμού, διευκρινίζει ότι ως «επιστημονική γνώση» θεωρείται, τόσο *η γνώση της επιστήμης,* όσο και η *γνώση για την επιστήμη*, επικυρώνοντας με τον τρόπο αυτό *τη φύση της επιστήμης* ως ζητούμενο της επιστημονικής εκπαίδευσης. Ως στόχους του επιστημονικού αλφαβητισμού η έρευνα θέτει:

« - την καλλιέργεια επιστημονικής γνώσης και τη χρήση αυτής της γνώσης για τον προσδιορισμό ερωτημάτων, για την απόκτηση νέας γνώσης, για την εξήγηση επιστημονικών φαινομένων, για την εξαγωγή συμπερασμάτων με βάση αποδεικτικά στοιχεία.
- την κατανόηση χαρακτηριστικών όψεων της επιστήμης ως μορφής της ανθρώπινης γνώσης και ερευνητικής δραστηριότητας.
- την επίγνωση του γεγονότος ότι η επιστήμη και η τεχνολογία διαμορφώνουν το υλικό, διανοητικό και πολιτισμικό μας περιβάλλον.
- την επιθυμία της ενασχόλησης υπό την ιδιότητα του σκεπτόμενου πολίτη με ζητήματα που συνδέονται με την επιστήμη ή τις επιστημονικές ιδέες» (PISA 2006[141]).

Μέσα από τις παραπάνω φράσεις και από επιπλέον διευκρινίσεις που αφορούν στο σχεδιασμό της αξιολόγησης, φαίνεται ότι η έρευνα συνδυάζει όψεις της επιστήμης που αξιοποιούν, τόσο τον εμπειριστικό και επαγωγικό συμπερασμό, όσο και την ιδέα ότι η επιστήμη και η κοινωνία βρίσκονται σε στενή αλληλεπίδραση μεταξύ τους. Στοιχείο του προγράμματος είναι ότι στα ερωτηματολόγια αξιολόγησης της κατανόησης της *φύσης της επιστήμης*, που καταστρώνονται στο πλαίσιο της συγκεκριμένης έρευνας, η φύση της επιστήμης δεν αναζητείται στο πλαίσιο θεωρητικών ή ιστορικών αναφορών, αλλά στο πλαίσιο παραδειγμάτων εφαρμογής της επιστήμης στην καθημερινή ζωή, τα οποία αποτελούν και το φίλτρο για τη διδακτική απλοποίηση των διαφορετικών επιστημολογικών προσεγγίσεων (PISA 2006[141]).

3.5. Από τη θεωρία στην πράξη…

3.5.1. Κατευθύνσεις των αναλυτικών προγραμμάτων φυσικών επιστημών

Εξελίξεις στους τομείς της επιστήμης, της φιλοσοφίας της επιστήμης και της γνωστικής ψυχολογίας, που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, σε συνδυασμό με τις διεθνείς κοινωνικοπολιτικές συνθήκες, δημιουργούν διαφορετικά ρεύματα στο χώρο της επιστημονικής εκπαίδευσης, που καθορίζουν κυρίαρχες τάσεις στην κατασκευή των αναλυτικών προγραμμάτων και τη διδακτική πρακτική. Τα ρεύματα αυτά εμφανίζουν διεθνή χαρακτηριστικά, αλλά και σημαντικές διαφοροποιήσεις. Η εντατικοποίηση των επιστημονικών προγραμμάτων τη δεκαετία του 1960 με στόχο την «κατασκευή επιστημόνων» και η στροφή προς τα διαθεματικά προγράμματα σπουδών μετά τα μέσα της δεκαετίας του 1970 με στόχο τη διεύρυνση του κοινού της επιστημονικής εκπαίδευσης και την «κατασκευή εναλφάβητων επιστημονικά πολιτών» είναι χαρακτηριστικές τάσεις που παρατηρούνται σε διεθνές επίπεδο κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα.

Η τάση για εντατικοποίηση της επιστημονικής εκπαίδευσης και την επίτευξη απτών αποτελεσμάτων ως προς την κατασκευή επιστημόνων προκύπτει σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες και στην Αμερική ως αποτέλεσμα της εκτόξευσης του ρωσικού πυραύλου Sputnik στη Σελήνη το 1957 (Riess 2000a[189], Elkana 1970[142]). Ο ψυχρός πόλεμος οδηγεί το δυτικό κόσμο και κυρίως τις ΗΠΑ σε σημαντικές επενδύσεις στον τομέα της επιστημονικής εκπαίδευσης επιδιώκοντας την επίτευξη εθνικών επιστημονικών ρεκόρ (Matthews 1994 σελ.15-19[99]).

Στις ΗΠΑ, χρηματοδοτούνται από εθνικούς φορείς μέχρι το 1975 εικοσιοκτώ αναλυτικά προγράμματα φυσικών επιστημών, ανάμεσα στα οποία και το *MIT's Physical Sciences Study Committee* (PSSC), που βασίζεται στην πειραματική έρευνα και χρησιμοποιείται ευρύτατα και σε άλλες χώρες. Ανάμεσα στις σημαντικές εξαιρέσεις στον αυστηρά ακαδημαϊκό χαρακτήρα των αναλυτικών προγραμμάτων αυτών στέκεται το πρόγραμμα *Harvard Project Physics*, που επίσης εφαρμόζεται σε μεγάλη κλίμακα εντός και εκτός των ΗΠΑ[cxliv]. Το πρόγραμμα αυτό αρθρώνει έναν περισσότερο φιλελεύθερο και ολιστικό επιστημονικό προσανατολισμό και προτείνει ευρεία χρήση της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης (Matthews 1994 σελ.15-18[99], Holton 2003[190]).

Η στροφή του 1980 προκύπτει ως αποτέλεσμα της διαπίστωσης ότι η επιστημονική εκπαίδευση σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες και στην Αμερική βρίσκεται σε κρίση, με τους μαθητές να μην επιλέγουν τις σπουδές στις φυσικές επιστήμες, να έχουν αρνητική στάση απέναντι σ' αυτές και, μετά την αποφοίτησή τους να θεωρούνται σε μεγάλο ποσοστό «επιστημονικά αναλφάβητοι». Χαρακτηριστικές σχετικές καταγραφές υπάρχουν για τις ΗΠΑ, τη Μ. Βρετανία (Matthews 1994 σελ.20-23[99]) τη Γερμανία (Riess 2000a[189]), τη Δανία (Nielsen & Thomsen 1985[191], 1986[192], 1988[193], 1990[164], Thomsen 1998[165]). Έτσι, μετά το τέλος του ψυχρού πολέμου, το ενδιαφέρον μετατοπίζεται από τους λίγους που προορίζονται για επιστήμονες-ερευνητές στην πλατειά μάζα των μαθητών. Στο πλαίσιο αυτό, η επιστημονική εκπαίδευση αναζητά πιο ελκυστικές όψεις και διευρύνει την παρουσίαση του αντικειμένου της, έτσι ώστε αυτό να μην περιλαμβάνει μόνο την επίλυση προβλημάτων θεωρητικών ή εργαστηριακών, αλλά και συζήτηση πάνω στη φύση της επιστήμης, στην εξέλιξη των επιστημονικών θεωριών, στις σχέσεις επιστήμης και κοινωνίας. Η «επιστήμη για όλους τους μαθητές», γίνεται στη φάση αυτή, κεντρικός διδακτικός στόχος. Η σχετική βιβλιογραφία αναδεικνύει τις τάσεις ανάπτυξης διαθεματικών και ολιστικών προτάσεων διδασκαλίας των φυσικών επιστημών στις περιπτώσεις των ΗΠΑ (Holton 2003[190], Rutherford 2001[194]), της Μ.Βρετανίας (Matthews 1994 σελ. 45-46[99], Jenkins 1990[195], Donnelly 2001[183]), της Γαλλίας (Hulin 1996[128], Fauque 2007[196]), της Δανίας (Nielsen & Thomsen 1985[191], 1986[192], 1988[193], 1990[164], Thomsen 1998[165]), της Καραϊβικής (Whiteley 1993[197]), της Σουηδίας (Andersson 2008[198]), της Ελλάδας (Κασσέτας 2001[199], Πάπαρου 2003 σελ.68-75[34]). Σε άλλες πάλι περιπτώσεις όπως στη Γερμανία (Riess 2000a[189], Riess 2000b[200]) και την πρώην Σοβιετική

[cxliv] Το αντίστοιχο διδακτικό εγχειρίδιο μεταφράστηκε άμεσα και χρησιμοποιήθηκε σε πολλές χώρες, όπως στην Ιταλία, την Πορτογαλία, την Ιαπωνία, την Κίνα, την Αυστραλία και τον Καναδά. Στο πλαίσιο της στροφής προς την προβολή της πολιτισμικής και ανθρωπιστικής διάστασης της επιστημονικής γνώσης των τελευταίων δεκαετιών, το Project Physics Course επανέρχεται στο προσκήνιο και επανεκδίδεται το 2002 ως Understanding Physics (Holton 2003[190]).

Ένωση (Golin 1995[201]), η αρθρογραφία επισημαίνει τα προβλήματα από την έλλειψη αντίστοιχων ολιστικών προσεγγίσεων στα αναλυτικά προγράμματα, ενώ διατυπώνονται σχετικές προτάσεις.

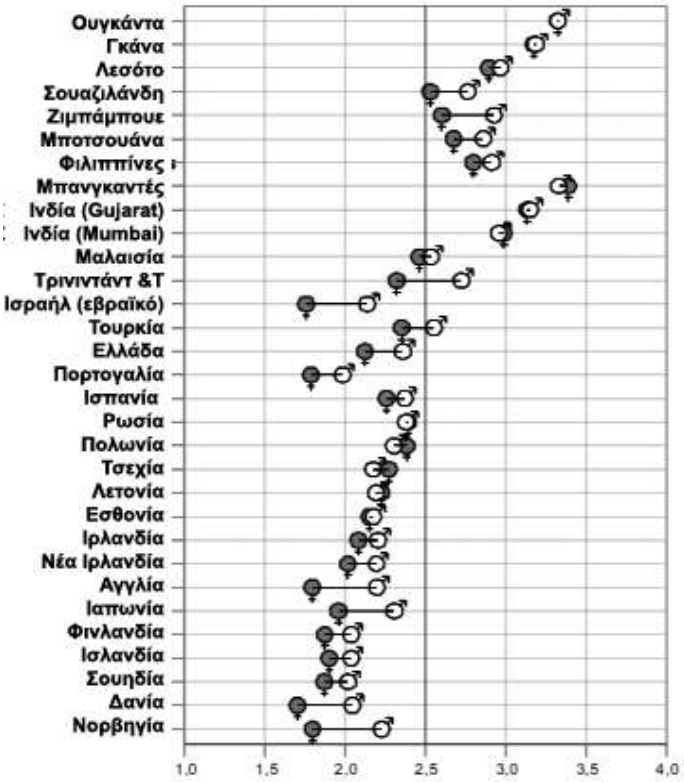
Η στροφή των προγραμμάτων της δεκαετίας του 1980 είναι επηρεασμένη από το θεωρητικό πλαίσιο των ιστορικιστικών προσεγγίσεων της φύσης της επιστήμης, στις οποίες η έμφαση δίνεται στη μεταβολή του εννοιολογικού πλαισίου, ενώ η έμφαση που οι προηγούμενες δεκαετίες έχουν δώσει στην ανακαλυπτική μάθηση και την εμπειρική προσέγγιση ατονεί.

Στις νεώτερες μεταρρυθμίσεις των αναλυτικών προγραμμάτων, που γίνονται υπό το φως της φιλολογίας που έχει αναπτυχθεί γύρω από τα ιστορικά επιστημονικά όργανα, ο συνδυασμός ανακαλυπτικής μάθησης και ιστορίας της επιστήμης αναβαθμίζεται, μέσα από προτάσεις αξιοποίησης ιστορικών επιστημονικών οργάνων και πειραμάτων (Fauque 2007[196], Andersson 2008[198]).

3.5.2. Προβλήματα της επιστημονικής εκπαίδευσης σήμερα

Παρ' όλες τις αλλαγές στο σχεδιασμό των προγραμμάτων σπουδών, η έρευνα που γίνεται την τελευταία δεκαετία αποδεικνύει ότι υπάρχει ισχυρά αρνητική συσχέτιση ανάμεσα στην στάση των μαθητών απέναντι στις επιστήμες και στο επίπεδο ανάπτυξης της χώρας, και πιο συγκεκριμένα, ανάμεσα στη στάση των μαθητών για τις φυσικές επιστήμες και τον Δείκτη Ανθρώπινης Ανάπτυξης του ΟΗΕ – Human Development Index (HDI) – ο οποίος συμπυκνώνει δεδομένα του προσδόκιμου ζωής, της εκπαίδευσης και του κατακεφαλήν εισοδήματος σε επίπεδο χώρας. Η διεθνής έρευνα αποδεικνύει ότι στις χώρες με υψηλό δείκτη ανάπτυξης οι 15χρονοι μαθητές δεν συμπαθούν τις φυσικές επιστήμες και δεν επιθυμούν να γίνουν επιστήμονες (Osborne & Dillon 2008[202], Sjøberg & Schreiner 2005[203]).

Συγκεκριμένα, σύμφωνα με στοιχεία της διεθνούς έρευνας ROSE (the Relevance of Science Education) που διεξάγεται την τελευταία δεκαετία ανάμεσα σε 40 χώρες της Ευρώπης, Ασίας και Αφρικής υπό την αιγίδα του *Ιδρύματος Ερευνών* και του *Υπουργείου Παιδείας της Νορβηγίας* και του *Πανεπιστημίου του Όσλο*, διαπιστώνεται ότι υπάρχει ισχυρά αρνητική συσχέτιση (τιμή δείκτη Pearson-r: -0,92) ανάμεσα στον Δείκτη Ανθρώπινης Ανάπτυξης και



Σχήμα 3.2: Δεδομένα από τη μελέτη ROSE που δείχνει τις απαντήσεις 15χρονων μαθητών στην ερώτηση «μου αρέσουν οι φυσικές επιστήμες περισσότερο από τα υπόλοιπα μαθήματα του σχολείου» (1- διαφωνώ έντονα, 4- συμφωνώ έντονα, μαύρα σύμβολα: κορίτσια /λευκά σύμβολα: αγόρια) (Osborne & Dillon 2008 σελ.136[202]).

στο βαθμό που οι μαθητές προτιμούν τα μαθήματα φυσικών επιστημών περισσότερο από τα υπόλοιπα μαθήματα του σχολείου (βλ. *Σχήμα 3.2*), όπως και ανάμεσα στον ίδιο δείκτη και την επιθυμία των μαθητών να γίνουν επιστήμονες (τιμή δείκτη Pearson-r: -0,94) (βλ. *Πίνακα* 3.6).

Πίνακας 3.6: Στάση απέναντι στις επιστήμες και επίπεδο ανάπτυξης χώρας

Θα επιθυμούσα να γίνω επιστήμονας	-0,94
Θα ήθελα να βρω δουλειά στην τεχνολογία	-0,91
Η επιστήμη και η τεχνολογία είναι σημαντικές για την κοινωνία	-0,78
Τα οφέλη της επιστήμης και της τεχνολογίας είναι περισσότερα από τα καταστροφικά τους αποτελέσματα	-0,73

Πηγή: Στοιχεία της μελέτης ROSE (Sjøberg & Schreiner 2005[203])

Ορισμένοι αναλυτές αποδίδουν την αρνητική στάση των μαθητών στις ανεπτυγμένες χώρες, όχι μόνο στον κόπο που απαιτεί η επιστημονική μάθηση και στη δυσκολία των επιστημονικών μαθημάτων, αλλά και στην αναντιστοιχία ανάμεσα στην εικόνα της επιστήμης στα σχολικά εγχειρίδια και την ιεράρχηση των κοινωνικών προτεραιοτήτων που τα νεαρά άτομα αισθάνονται και χρησιμοποιούν, για να οραματιστούν τη μελλοντική συμβολή τους στον κόσμο (Sjøberg & Schreiner 2005[203]).

Ως απάντηση στα παραπάνω δεδομένα, επισημαίνεται η ανάγκη μακροχρόνιας και σε βάθος εργασίας για την αναμόρφωση του περιεχομένου των αναλυτικών προγραμμάτων φυσικών επιστημών (Osborn & Dillon 2008[202], Millar 2008[204]). Η ιδέα ότι η επιστημονική εκπαίδευση οφείλει να απευθύνεται σε όλους τους πολίτες, και όχι μόνο στους μελλοντικούς επιστήμονες, τίθεται ως κεντρικό ζητούμενο στο σχεδιασμό των προγραμμάτων του 21^{ου} αιώνα. Παράλληλα, ενισχύεται η άποψη ότι η επιστημονική εκπαίδευση πρέπει να προσφέρει γνώση, όχι μόνο για επιστημονικά ζητήματα, αλλά και για τη φύση της επιστήμης. Αυτό χρησιμεύει από τη μια μεριά στο να καθιστά τα μεθοδολογικά εργαλεία της επιστήμης εργαλεία σκέψης για τους μαθητές και από την άλλη να τους παρέχει τη δυνατότητα να στέκονται κριτικά απέναντι στις χρήσεις και εφαρμογές της. Έρευνα για την κατάσταση της ευρωπαϊκής επιστημονικής εκπαίδευσης στην οποία συμμετέχουν εκπαιδευτικοί από εννέα ευρωπαϊκές χώρες και πραγματοποιείται υπό την αιγίδα του ιδρύματος *Nuffield* από το 2006 ως το 2008, έχοντας μελετήσει μεταξύ άλλων τα αποτελέσματα της προαναφερθείσας διεθνούς έρευνας ROSE, καταλήγει:

> «Υποστηρίξαμε ότι ο πρωταρχικός στόχος της επιστημονικής εκπαίδευσης δεν μπορεί να είναι απλά το να παράγει την επόμενη γενιά επιστημόνων. Αντί γι' αυτό, οι κοινωνίες οφείλουν να προσφέρουν στους νέους τους μια εκπαίδευση πάνω στην επιστήμη και για την επιστήμη – και αυτή θα πρέπει να είναι μια εκπαίδευση που να προωθεί την κατανόηση των επιστημονικών τρόπων εξήγησης του κόσμου και να ενισχύει την ικανότητα των νέων να εμπλακούν κριτικά με την επιστήμη στο μέλλον. Επί πλέον, θα πρέπει να τους βοηθήσει να αναπτύξουν βασικές δεξιότητες που η Ευρωπαϊκή Ένωση θεωρεί ότι θα έπρεπε να έχουν οι μελλοντικοί της πολίτες. Η επίτευξη αυτού του στόχου απαιτεί μακροπρόθεσμη επένδυση σε ελκυστικά προγράμματα που να απευθύνονται: στους καθηγητές, προκειμένου αυτοί να αναπτύξουν τις ικανότητες, τη γνώση και την παιδαγωγική τους, και σε συστήματα αξιολόγησης, τα οποία να είναι σε θέση να αντιπροσωπεύουν τους στόχους και αποτελέσματα που επιδιώκουμε να έχει η επιστημονική εκπαίδευση (Osborne & Dillon 2008[202]).

Η ίδια μελέτη σκιαγραφεί με δηκτικό τρόπο το σημερινό πρόβλημα της επιστημονικής εκπαίδευσης και την επιτακτική ανάγκη για αναζήτηση λύσεων:

> Η ειρωνεία της παρούσας κατάστασης είναι ότι με κάποιον περίεργο τρόπο έχουμε καταφέρει να μετατρέψουμε ένα σχολικό μάθημα που ενδιαφέρει όλους τους νέους στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση – και πολλοί θα ισχυρίζονταν ότι αυτό αποτελεί κορυφαία πνευματική επίτευξη της ευρωπαϊκής κοινωνίας – σε ένα μάθημα για το οποίο η πλειονότητα των μαθητών νοιώθει αποξένωση, όταν τελειώνει το σχολείο. Σε αυτό το πλαίσιο, το να μην κάνουμε τίποτα δεν αποτελεί λύση» (Osborne & Dillon 2008[202]).

Στην κατεύθυνση της κατασκευής εργαλείων αξιολόγησης της επιστημονικής γνώσης που έχουν ως γνώμονα, όχι την ακαδημαϊκή γνώση, αλλά τη χρήση της επιστήμης σε θέματα της καθημερινής ζωής (σε ατομικό και σε συλλογικό (εθνικό ή παγκόσμιο) επίπεδο) κινείται η έρευνα PISA 2006. Παρόλο που η κατεύθυνση αυτή αποτελεί μια καινοτόμο άποψη για την ενσωμάτωση θεμάτων της φύσης της επιστήμης στην επιστημονική εκπαίδευση, έχουμε να παρατηρήσουμε ότι δίνει έμφαση σε θέματα που αποκαλύπτουν κατά πόσο η επιστημονική εκπαίδευση μπορεί να δημιουργήσει πολίτες ικανούς για δράση, αλλά όχι σε θέματα επιστήμης και πολιτισμού, που θα μπορούσαν να αποκαλύψουν κατά πόσο η επιστημονική εκπαίδευση μπορεί να δημιουργήσει πολίτες ικανούς για στοχασμό.

3.5.3 Η ανάπτυξη άτυπων μορφών εκπαίδευσης

Ενώ η τυπική επιστημονική εκπαίδευση (formal science education) φαίνεται να μην είναι σε θέση στις μέρες μας να επιλύσει το πρόβλημα του ενδιαφέροντος των μαθητών για τις φυσικές επιστήμες, οι άτυπες μορφές επιστημονικής εκπαίδευσης (informal science education) εμφανίζουν άνθιση, προτείνοντας πληθώρα τρόπων, μέσων και διδακτικών μεθόδων επικοινωνίας της επιστήμης (science communication) για την προσέλκυση των νέων και του ευρύτερου κοινού. Χαρακτηριστικές ενδείξεις της εξέλιξης αυτής αποτελεί η δράση του *Ευρωπαϊκού Δικτύου Επιστημονικών Κέντρων και Μουσείων* (European Network of Science Centres and Museums – ECSITE) http://www.ecsite.eu που, τον Ιούνιο του 2009, έκλεισε 20 χρόνια λειτουργίας (ECSITE 2009[205]). Τα μέλη του ανήκουν σήμερα σε 400 διαφορετικούς φορείς και σε 50 διαφορετικές χώρες από ολόκληρο τον κόσμο, ενώ το ετήσιο συνέδριο του φορέα συγκεντρώνει τα τελευταία χρόνια περισσότερους από 700 συνέδρους και από 200 ομιλίες πάνω σε προγράμματα και εκθέματα μουσείων και επιστημονικών κέντρων. Το ρεύμα απότομης άνθισης αντίστοιχων φορέων άτυπης επιστημονικής εκπαίδευσης ήταν ιδιαίτερα φανερό στις Ευρωπαϊκές χώρες, ήδη από τη δεκαετία του 1980, οπότε ο Charles Taylor αναφέρει:

> «Τα τελευταία πέντε ή δέκα χρόνια ο αριθμός των επιστημονικών κέντρων με διαδραστικά εκθέματα αυξήθηκε πάρα πολύ. Το Questacon στην Canberra, το Museum of Scientific Discovery στο Harrisburg, η Techniquest στο Cardiff, το Exploratory στο Bristol…» (Taylor 1988 σελ.52[16]).

Εξίσου χαρακτηριστική ένδειξη της ανάγκης για την ανάδυση μορφών άτυπης επιστημονικής εκπαίδευσης είναι η έμφαση που δίνει η ιστορική Royal Society του Λονδίνου – φορέας με μεγάλο επιστημονικό κύρος – σε έκθεση του 1985, στη σημασία της «δημόσιας κατανόησης της επιστήμης» (Public Understanding of Science – PUS). Προτείνει, για το σκοπό αυτό, την ενίσχυση του διαλόγου

ανάμεσα στους επιστήμονες και το κοινό, την ενίσχυση προγραμμάτων εκλαΐκευσης της επιστήμης από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης, την ανάληψη εκπαιδευτικών δράσεων στο χώρο της επιστημονικής εκπαίδευσης από τα μουσεία και τη βιομηχανία (Science, Technology & Human Values 1986[206]). Στο ίδιο πνεύμα, επιχειρείται, από τη δεκαετία του 1980 και μετά, η αναθέρμανση των πειραματικών διαλέξεων για το ευρύ κοινό από επιστημονικούς φορείς όπως η Royal Institution του Λονδίνου – παράδοση που είχε ατονήσει στη Μεγάλη Βρετανία κατά το 2^{ο} ήμισυ του 20^{ου} αιώνα, ως αποτέλεσμα της μεγάλης εξειδίκευσης που είχε τεθεί ως κατεύθυνση για την επιστημονική εκπαίδευση και της άποψης ότι η τελευταία έπρεπε να απευθύνεται στους μελλοντικούς επιστήμονες (Taylor 1988 σελ.3-7[16]).

Η άνθιση άτυπων μορφών επιστημονικής εκπαίδευσης – όπως επιστημονικά μουσεία, επιστημονικές ταινίες, διαλέξεις ή θεάματα, επιστημονικές κατασκευές και παιχνίδια – αποτελεί εν μέρει απάντηση στην τάση φυγής των μαθητών από τις τάξεις των φυσικών επιστημών. Παράλληλα, η εκρηκτική ανάπτυξή τους στις αναπτυγμένες χώρες τις τελευταίες δεκαετίες και η έντονη παρουσία τους στην ιδιωτική ζωή των μαθητών καθιστά επιτακτική την ανάγκη αντίστοιχου εκσυγχρονισμού της σχολικής πραγματικότητας. Είναι αυτονόητο ότι, όταν ο μαθητής ζει σε κοινωνικό περιβάλλον που κατακλύζεται από ήχο, εικόνα και δραστηριότητες, η κοινή ελληνική σχολική τάξη – για να περιοριστούμε στη χώρα μας – όπου τη σύντομη συζήτηση πάνω σε ένα θέμα θα διαδεχθεί μια άσκηση, που κατά κύριο λόγο είναι νοητική, για να ακολουθήσει η προετοιμασία ερωτήσεων και ασκήσεων για τις εξετάσεις, μοιάζει ιδιαίτερα φτωχή και αδύναμη να κινητοποιήσει τη φαντασία και το ενδιαφέρον του. Ο γρήγορος ρυθμός που επιβάλλει ο όγκος της ύλης, σε συνδυασμό με τα περιορισμένα οπτικοακουστικά μέσα, εργαστήρια και δραστηριότητες του σημερινού σχολείου περιορίζουν τη δυνατότητα να γίνουν τα μαθήματα των φυσικών επιστημών πραγματικά ενδιαφέροντα. Από την άλλη μεριά, η δυνατότητα, που παρέχει ο σύγχρονος κόσμος, να έχει κανείς πλούσιο σε ερεθίσματα περιβάλλον στην ιδιωτική του ζωή καθιστά ακόμα πιο έντονα τα προβλήματα που τέτοιου είδους ελλείψεις δημιουργούν.

Η εκρηκτική ανάπτυξη των άτυπων μορφών εκπαίδευσης κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων δεκαετιών και η πληθώρα των σχετικών εργασιών οδηγεί τους Burns, O' Connor και Stocklmayer να επαναπροσδιορίσουν, με βάση τη σύγχρονη αρθρογραφία, τον όρο *επικοινωνία της επιστήμης* (science communication). Την ορίζουν ως τη χρησιμοποίηση από τους εφαρμοστές της κατάλληλων δεξιοτήτων, μέσων, δραστηριοτήτων και διαλόγου, προκειμένου αυτοί να προκαλέσουν στους αποδέκτες την επιστημονική επίγνωση (awareness), την ευχαρίστηση (enjoyment), το επιστημονικό ενδιαφέρον (interest), τη διαμόρφωση επιστημονικών απόψεων (opinion-forming) και την κατανόηση επιστημονικών θεμάτων (understanding) (Burns et al. 2003[207]). Οι ίδιοι συγγραφείς θεωρούν σκόπιμο να διευκρινίσουν τον όρο *επικοινωνία της επιστήμης* από συνώνυμους όρους, όπως *δημόσια επίγνωση της επιστήμης* (public awareness of science – PAS), *δημόσια κατανόηση της επιστήμης* (public understanding of science – PUS), επιστημονική κουλτούρα (scientific culture – SC) ή *επιστημονικός αλφαβητισμός* (scientific literacy – SL).

Διευκρινίζουν ότι η *δημόσια επίγνωση της επιστήμης* χρησιμοποιείται ως συνώνυμο της δημόσιας κατανόησης της επιστήμης, ωστόσο έχει στενότερο περιεχόμενο και αφορά περισσότερο στη διαμόρφωση *στάσης* απέναντι στην επιστήμη. Έτσι, αποτελεί *συνιστώσα* της δημόσιας κατανόησης της επιστήμης και του επιστημονικού αλφαβητισμού. Η *δημόσια κατανόηση της επιστήμης* με τη σειρά της αφορά στην κατανόηση, τόσο του περιεχομένου και των μεθόδων της επιστήμης, όσο και της επιστήμης ως κοινωνικού εγχειρήματος. Ο *επιστημονικός αλφαβητισμός* έχει μετατοπιστεί ως έννοια κατά τις τελευταίες δεκαετίες από την ικανότητα κάποιου «να διαβάζει και να κατανοεί επιστημονικά θέματα» στην ικανότητά του «να κατανοεί και να εφαρμόζει επιστημονικές αρχές στην καθημερινή ζωή». Είναι όρος που χρησιμοποιείται ευρύτατα σήμερα στα κείμενα των σύγχρονων αναλυτικών προγραμμάτων και διαφοροποιείται από χώρα σε χώρα, ανάλογα με τα εθνικά πολιτισμικά χαρακτηριστικά.

Τέλος ως *επιστημονική κουλτούρα* ορίζουν ένα ενσωματωμένο στην κοινωνία σύστημα αξιών που εκτιμά την αξία της επιστήμης και προωθεί, τόσο την ίδια, όσο και τον επιστημονικό αλφαβητισμό (Burns et al. 2003[207]).

Επίσης, αναφερόμενοι στην αξιολόγηση των προγραμμάτων *επικοινωνίας της επιστήμης*, επισημαίνουν ότι τα αποτελέσματά τους δεν είναι εύκολο να μελετηθούν επιστημονικά, καθώς αναπόφευκτα ανήκουν στον «πραγματικό κόσμο» και όχι στις ελεγχόμενες συνθήκες ενός εργαστηρίου. Πρακτικά τα αποτελέσματα που συνήθως μετριούνται ποσοτικά είναι βραχυπρόθεσμα. Ωστόσο, η επικοινωνία της επιστήμης μπορεί να κατανοηθεί σε μεγαλύτερο βάθος με τη βοήθεια ποιοτικών μεθόδων. Παράλληλα, είναι σημαντικό να αναγνωρίσει κανείς ότι η επικοινωνία της επιστήμης μπορεί να έχει μακροπρόθεσμα αποτελέσματα στους συμμετέχοντες, τα οποία να εμφανίζονται καθώς οι τελευταίοι ατενίζουν την υπάρχουσα γνώση τους, αντιμετωπίζουν νέες εμπειρίες ή αναδιοργανώνουν τη σκέψη τους (Burns et al. 2003[207]).

3.6. Σύνοψη και συζήτηση

Μέσα από τις ενότητες του παρόντος κεφαλαίου διατρέξαμε τη μετατόπιση του θεωρητικού πλαισίου που συνδέεται με τη διδασκαλία της επιστήμης από το δεύτερο ήμισυ του 20^{ου} αιώνα μέχρι τις μέρες μας, διακρίνοντας i) την έμφαση της δεκαετίας του 1960-70 σε διδακτικές προσεγγίσεις που συνδέονται με εμπειρικές μεθόδους ανακάλυψης της επιστημονικής γνώσης, ii) την έμφαση της δεκαετίας του 1980 σε διδακτικές προσεγγίσεις που επικεντρώνονται στην εξέλιξη των επιστημονικών ιδεών και iii) την έμφαση που το ρεύμα των τελευταίων δεκαετιών δίνει στην προσπάθεια σύνδεσης εμπειρικών μεθόδων και ιστορικών προσεγγίσεων.

Προσπαθήσαμε να κάνουμε σαφές ότι οι τάσεις αυτές συνδέονται με θεωρητικές μετατοπίσεις που συνέβησαν στο χώρο της φιλοσοφίας της επιστήμης. Προσπαθήσαμε επίσης να δείξουμε ότι ιδέες για τη φύση της επιστήμης που οι σχεδιαστές της επιστημονικής εκπαίδευσης δανείζονται από τη φιλοσοφία της επιστήμης διαμορφώνουν την εικόνα της επιστήμης στα προγράμματα σπουδών και τις

διδακτικές μεθόδους που προτείνονται για την προσέγγισή της.

Παράλληλα, μέσα από τις ενότητες του παρόντος κεφαλαίου, παρακολουθήσαμε κεντρικές τάσεις στην αλλαγή των προγραμμάτων σπουδών φυσικών επιστημών, τα οποία, εκτός από τις εξελίξεις στο χώρο της φιλοσοφίας της επιστήμης, επηρεάζονται από προβληματισμούς που αναπτύσσονται στο χώρο της γνωστικής ψυχολογίας, καθώς και από τις εκάστοτε κοινωνικοπολιτικές συνθήκες. Οι τελευταίες επέβαλλαν, για παράδειγμα, τον ακαδημαϊκό προσανατολισμό των προγραμμάτων σπουδών τη δεκαετία του 1970, ως αποτέλεσμα της στόχευσης προς την «κατασκευή» επιστημόνων, και τη στροφή τους προς την ανάδειξη της πολιτισμικής διάστασης της επιστημονικής γνώσης τις επόμενες δεκαετίες, ως τρόπο για τη δημιουργία εναλφάβητων επιστημονικά πολιτών.

Η συζήτηση που προηγήθηκε αποτελεί έμμεση απάντηση στο ερώτημα, αν είναι απαραίτητο, θέματα που άπτονται της φιλοσοφίας της επιστήμης να εμπλέκονται στη διαδικασία σχεδιασμού της επιστημονικής εκπαίδευσης. Κι αυτό γιατί φωτίζει το γεγονός ότι δεν υπάρχει έκθεση επιστημονικού θέματος που να είναι επιστημολογικά ουδέτερη. Με την έννοια αυτή, η ενσυνείδητη αξιοποίηση στοιχείων της φιλοσοφίας της επιστήμης ως αξόνων σχεδιασμού προγραμμάτων σπουδών και διδακτικών προτάσεων περιορίζει ή αποτρέπει την τυχαία προβολή μιας ή αντιφατικών όψεων της φύσης της επιστήμης. Το πώς μπορεί να μεταφερθεί στη διδασκαλία κάτι από την πολυπλοκότητα με την οποία η φιλοσοφία σήμερα βλέπει την επιστήμη και το πώς οι διαφορετικές όψεις της φύσης και της μεθοδολογίας της επιστήμης θα μπορούσαν να μεταφραστούν σε διδακτικές στρατηγικές που να προβάλλουν τη συνθετότητα του «σώματος της επιστήμης», όχι μέσα από θεωρητικού τύπου προσεγγίσεις, αλλά μέσα από τη μαθητοκεντρικά προσανατολισμένη διδακτική πράξη, αποτελούν δύο από τους σοβαρότερους προβληματισμούς που η σύνδεση φιλοσοφίας της επιστήμης και της διδακτικής έχει σήμερα να επιλύσει.

Από τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν έγινε φανερό ότι η εφαρμογή των διαφορετικών προγραμμάτων επιστημονικής εκπαίδευσης αποκαλύπτει, από μια μεριά, τις θεωρητικές αδυναμίες και τους πρακτικούς περιορισμούς τους, αλλά, παράλληλα, και το έδαφος που κάθε φορά κερδίζεται. Τα σύγχρονα προγράμματα σπουδών συχνά υπολείπονται ως προς την ικανότητά τους να προσελκύσουν το μαθητικό κοινό, ως προς την αποτελεσματικότητα των διδακτικών μεθόδων και στρατηγικών που προτείνουν ή ως προς τη δυνατότητά τους να μεταφέρουν σύγχρονο προβληματισμό πάνω στη φύση της επιστήμης. Από την άλλη μεριά, η εφαρμογή τους έχει εντείνει καθοριστικά τον μαθητοκεντρικό χαρακτήρα της επιστημονικής εκπαίδευσης και τη σφαιρικότητα με την οποία η επιστήμη παρουσιάζεται.

Μπροστά στην πρόσφατη αποκάλυψη ότι και τα πιο μοντέρνα προγράμματα σπουδών δεν έχουν καταφέρει να δημιουργήσουν θετική άποψη για τις επιστήμες στους μαθητές των αναπτυγμένων χωρών, η εκπαιδευτική κοινότητα στρέφεται, σήμερα, προς την καλλιέργεια μορφών άτυπης επιστημονικής εκπαίδευσης, που έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν ένα πλουσιότερο σε ερεθίσματα εκπαιδευτικό περιβάλλον. Ταυτόχρονα, καθώς η σύγχρονη ιστορία αποκαλύπτει ότι ο κύκλος «ενόχλησης της φύσης», που άνοιξε ο Bacon, κλείνει έχοντας ελευθερώσει δυνάμεις που δεν

υπόσχονται πάντα ένα καλύτερο μέλλον, η διδασκαλία της επιστήμης φαίνεται να επικαλείται την «ανάμνηση» πιο ρομαντικών στιγμών της, μέσα από μορφές άτυπης επιστημονικής εκπαίδευσης (βλ. και *ενότητα 4.2.6*).

4. ΤΑ ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΠΡΟΤΑΣΕΩΝ

4.1. Προκλήσεις και προβληματισμοί

Όπως χαρακτηριστικά αναφέρει ο Paolo Brenni, τα ιστορικά επιστημονικά όργανα είναι «διαφανή», αν τα συγκρίνει κανείς με τα «μαύρα κουτιά» των σύγχρονων σχολικών εργαστηρίων. Από αυτή την άποψη είναι ιδιαίτερα γοητευτικό να τα αξιοποιήσει κανείς, προκειμένου να ιχνηλατήσει τη σκέψη που καθοδηγούσε το σχεδιασμό τους και τη χρήση τους ως εργαλεία ανάγνωσης της φύσης (Brenni 2008[48]). Παράλληλα, όπως σημειώνει η Marta Lourenco, τα επιστημονικά όργανα είναι εφτάψυχα. Συνοδεύοντας τη ζωή εργαστηρίων για πολλές δεκαετίες, έχουν αλλάξει χέρια, χρήσεις και σκοπούς και πριν καταλήξουν να απορριφθούν ως μη χρηστικά, η τύχη τους αποφασίζει να τα μετατρέψει σε αντικείμενα μιας ιστορικής συλλογής (Lourenco 2005 σελ. 76[102]). Καθώς μέρος από τη γοητεία τους συνδέεται με την ίδια την ιστορία τους, από τη στιγμή που αποφασίζεται αυτά να συντηρηθούν, ώστε να αποτελέσουν ιστορικές αναφορές, η περαιτέρω χρήση τους ως εργαλείων καθημερινής πρακτικής δεν ενδείκνυται, γιατί θέτει σε κίνδυνο την ασφάλειά τους. Άλλες φορές, πάλι, η χρήση ιστορικών οργάνων δεν ενδείκνυται για λόγους ασφαλείας του κοινού, καθώς νεώτεροι κανόνες έχουν απαγορεύσει ιστορικά χρησιμοποιούμενες τεχνικές (Brenni 2008[48]). Πώς, με βάση τις παραπάνω προκλήσεις και περιορισμούς, τα ιστορικά επιστημονικά όργανα μπορούν να εμπλακούν ξανά στη διδακτική πρακτική; Και πώς η διδακτική πρακτική θα μπορούσε, επίσης, να συμπεριλάβει και ιστορικά όργανα που δεν έχουν επιβιώσει ως αντικείμενα, αλλά μόνο ως θραύσματα, εικόνες, σκίτσα ή αναφορές;

Η ευρύτερη εκπαιδευτική κοινότητα έχει για τα παραπάνω ερωτήματα πολλές και ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες απαντήσεις, οι οποίες αξιοποιούν διαφορετικές θεωρητικές προσεγγίσεις και διδακτικά μέσα. Οι προτάσεις αυτές εντάσσονται στο πλαίσιο της τυπικής σχολικής εκπαίδευσης (Fauque 2007[196], Heering 2000[208]), της πανεπιστημιακής εκπαίδευσης ή έρευνας (Riess 1995[209], Riess 2000b[200], Devons & Hartman 1970[210], Hoddeson 1971[211], Lawrenz &Kipnis 1990[212], Kipnis 1994[213], Allchin et al.1999[214], Cavicchi 2008a[215], Heering 1992[216], Sibum 1995[217], Höttecke 2000[218], Heering 2003[219], Lauginie 2007[220], Winkler 2008[221]) και της άτυπης επιστημονικής εκπαίδευσης (Heering &Müller 2002[222], Beneken et al.2001[223], Frercks et al.2001[224], Bennett 1995[51], Bennett et al.1993[52], Taylor 1988[16]). Κάποιες από αυτές αποτελούν συνεργασία φορέων της τυπικής εκπαίδευσης, πανεπιστημίων και ιστορικών επιστημονικών μουσείων (Andersson 2008[198], Talas 2008[225], Kipnis 1994[213]). Ένα άλλο μέρος αφορούν σε δράσεις μέσα σε ιστορικά επιστημονικά μουσεία (Taylor 1988[16], Weber 2002[4], Bennett 1995[51], Bennett et al.1993[52], Parkin 2009[226], Winkler 2008[221]) ή σε προτάσεις εξ αποστάσεως εκπαίδευσης (Bevilaqua & Bordoni 1998[227], Galluzzi 2000[228], Blondel 2009[229], Lauginie et al. 2009[230]).

Στις διδακτικές αυτές προτάσεις, τα ιστορικά επιστημονικά όργανα γίνονται αντιληπτά με τη διττή βακώνεια σημασία τους, ως εργαλεία και ως μέθοδοι. Έτσι, σε πολλές περιπτώσεις, οι διδακτικές παρεμβάσεις συνίστανται στη μελέτη μιας συγκεκριμένης πειραματικής συσκευής (Heering 1992[216], Sibum 1995[217], Höttecke 2000[218], Heering & Sichau 2005[231], Heering 2008[232], Cavicchi 2008b[233]), ενώ σε άλλες το επιστημονικό όργανο αποκωδικοποιείται ως μέθοδος πειραματισμού (Lauginie 2007[220]) ή ως σύμβολο αναπαράστασης των φυσικών νόμων που μπορεί να μεταφραστεί σε νέες «υλικές λέξεις» (Kipnis 1996[234], Cavicchi 2007[235]). Ορισμένες φορές, τα ιστορικά επιστημονικά όργανα αντιμετωπίζονται ως αντικείμενα που συμπυκνώνουν σειρά επιστημονικών συλλογισμών, και αξιοποιούνται ως πηγές έμπνευσης για την οργάνωση ερευνητικών προγραμμάτων που οδηγούν στην επινόηση νέων μεθόδων πειραματισμού ή νέων συσκευών (Cavicchi 2007[235], Cavicchi 2008a[215]).

Όπως σκιαγραφείται στις επόμενες ενότητες, οι διδακτικές προτάσεις πάνω στην αξιοποίηση των ιστορικών επιστημονικών οργάνων, που διατυπώνονται τις τελευταίες δεκαετίες, είναι διαποτισμένες από ένα φάσμα διαφορετικών θεωρητικών δεσμεύσεων και αντανακλούν διαφορετικές διδακτικές προσεγγίσεις και κουλτούρες επικοινωνίας της επιστήμης. Μπορεί κανείς να διακρίνει προτάσεις εμπνευσμένες από τη διδακτική προσέγγιση της ανακαλυπτικής μάθησης της δεκαετίας του 1970 (Devons & Hartman 1970[210], Hoddeson 1971[211], Lawrenz &Kipnis 1990[212], Kipnis 1994[213]) ή από νεώτερες εκδοχές της (Allchin et al.1999[214], Cavicchi 2008a[215]). Μπορεί να διακρίνει προτάσεις που αναδεικνύουν τον σύγχρονο προβληματισμό πάνω στη φιλοσοφία του πειράματος (Riess 1995[209], Sibum 1995[217], Riess 2000b[200], Heering 2000[208], Heering 2003[219], Heering 2007[236]), προτάσεις που επιδιώκουν την παρουσίαση των ιστορικών οργάνων και πειραμάτων μέσα στο ιστορικό τους πλαίσιο (Heering &Müller 2002[222], Beneken et al. 2001[222], Frercks et al.2001[224], Bennett 1995[51], Bennett et al.1993[52], Galluzzi 2000[228], Blondel 2009[229], Lauginie et al. 2009[230]) και παρεμβάσεις που τονίζουν το ρόλο των ιστορικών οργάνων ως σημείων συνάντησης της επιστήμης με την κοινωνία (Sibum 1995[217], Blondel 2009[229], Beneken et al.2001[223], Frercks et al.2001[224], Heering and Müller 2002[222], Bennett 1995[51], Bennett et al.1993[52]).

Η περιγραφή ορισμένων από τις προτάσεις αυτές, στις επόμενες ενότητες, αποσκοπεί στο να αναδείξει τις διαφορετικές τάσεις και προβληματισμούς που διέπουν τη σύνθεσή τους.

4.2. Τα ιστορικά επιστημονικά όργανα και οι νέες τάσεις της ιστοριογραφίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης στο πλαίσιο ερευνητικών προτάσεων και προτάσεων άτυπης επιστημονικής εκπαίδευσης

4.2.1. Ο εκθεσιακός χώρος ως σκηνικό

Σύμφωνα με τον Hackmann τα ιστορικά επιστημονικά όργανα φιλοξενούνται σήμερα σε δύο ειδών μουσεία, τα οποία τα εφοδιάζουν με διαφορετικές αποστολές στη σχέση τους με το κοινό. Το πρώτο προέρχεται από την ιστορία της επιστήμης και το δεύτερο από την επιστημονική εκπαίδευση. Στο πρώτο ανήκουν τα *Μουσεία Ιστορίας της Επιστήμης στην Οξφόρδη* και στη *Φλωρεντία*, το *Whipple*

Museum, το *Πανεπιστημιακό Μουσείο της Ουτρέχτης*, τα Ολλανδικά *Μουσεία Boerhaave* και *Teylers*, ενώ στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν το *Μουσείο Επιστημών του Λονδίνου* και το *Deutsches Museum*. Παραδοσιακά τα δύο αυτά είδη διέφεραν ιδιαίτερα, ως προς τον τρόπο που μελετούσαν και προέβαλλαν τα εκθέματα, όσο και ως προς το κοινό στο οποίο απευθύνονταν. Το πρώτο είδος μουσείων, απευθυνόταν σε ειδικά ενημερωμένο κοινό. Επικεντρώνονταν στην ιστορική μελέτη, τα επιστημονικά όργανα στις οι προθήκες τους ήταν συνήθως στατικά και δεν αναδεικνυόταν ο τρόπος λειτουργίας τους. Αντίθετα, τα μουσεία που ανήκαν στο δεύτερο είδος είχαν ως στόχο την εκλαΐκευση της επιστημονικής γνώσης και αξιοποιούσαν πλήθος τεχνικών για την ανάδειξη της λειτουργίας των οργάνων και την εξήγηση των επιστημονικών αρχών που αυτά ενσωμάτωναν. Ωστόσο, το νέο φως με το οποίο τα ιστορικά επιστημονικά όργανα έχουν σήμερα περιβληθεί έχει διαρρήξει τις στατικές προθήκες των μουσείων ιστορίας της επιστήμης, δίνοντας ιδέες για νέου τύπου εκθέσεις και εκπαιδευτικές δραστηριότητες. Οι ιστορικοί της επιστήμης έχουν «θυμηθεί» ότι η ιδέα της διαδραστικότητας και της μάθησης μέσα από το παιχνίδι δεν γεννήθηκε τις τελευταίες δεκαετίες. Προϋπήρχε, όταν, την εποχή του 18^{ου} αιώνα, οι πλανόδιοι οργανωτές επιστημονικών θεαμάτων (itinerant lecturers) παρουσίαζαν πειράματα στο κοινό ή όταν τα παιδιά της ίδιας εποχής έπαιζαν με στερεοσκόπια, μαγικούς φανούς, καλειδοσκόπια κά. Επικαλούμενοι την κουλτούρα αυτή, οι σχεδιαστές εκθέσεων οργανώνουν στα μουσεία ιστορίας της επιστήμης δράσεις με αυξημένο βιωματικό χαρακτήρα και δυνατότητα αλληλεπίδρασης με το κοινό (Hackmann 1992[237]). Διαπιστώνοντας, επίσης, ότι στις εκθέσεις των παραδοσιακών επιστημονικών μουσείων, όπως το *Deutsches Museum*, τα ιστορικά πειράματα νοούνται, συνήθως, μόνο ως «επιτεύγματα», προτείνουν τα τελευταία να παρουσιάζονται περισσότερο πολυδιάστατα, μέσα σε πλαίσιο που να τα αναδεικνύει, όχι μόνο ως αποτελέσματα, αλλά και ως διαδικασίες. Για το σκοπό, αυτό συνιστούν εκθέσεις-σκηνικά που να παρουσιάζουν πειράματα σε εξέλιξη και ιστορικά όργανα ως αντικείμενα συγκεκριμένων επαγγελματικών, ιδιωτικών ή κοινωνικών χώρων (Bennett 1995[51], Durant 1992[238], Heering &Müller 2002[214]).

Έτσι, στην έκθεση με τίτλο «βικτωριανή σάλα», στο *Whipple Museum*, στην οποία προαναφερθήκαμε (βλ.*ενότητα 2.1*), ο επισκέπτης, χρησιμοποιώντας το στερεοσκόπιο που είναι τοποθετημένο πάνω στο τραπέζι της μικρής σάλας, φαντάζεται ότι μοιράζεται στιγμές της καθημερινής ζωής με τα μέλη της βικτωριανής οικογένειας. Μπορεί να παίξει με τα παιχνίδια τους, να ψάξει τα συρτάρια τους, να διαβάσει τα βιβλία τους, να ενημερωθεί από τις εφημερίδες τους (Whipple Museum 2007-2009[239]).

Σε παλαιότερη έκθεση στο ίδιο Μουσείο, ο επισκέπτης καλούνταν να εξερευνήσει ιστορικά επιστημονικά όργανα, μέσα σε ένα διώροφο σκηνικό που παρουσίαζε το ιστορικό εργαστήριο του Cavendish του 19^{ο} αιώνα (κάτω), και το κλίμα των διεθνών εμπορικών-επιστημονικών εκθέσεων (πάνω) που συνέβαιναν την ίδια εποχή. Ανοιχτά τετράδια σημειώσεων χρησιμοποιούνταν, αντί για τις παραδοσιακές λεζάντες, για την αναγνώριση των πειραμάτων που βρίσκονταν σε εξέλιξη στο εργαστήριο, ενώ η εμπορική έκθεση ζωντάνευε με πειράματα επίδειξης τριών εκπληκτικών «νέων

τεχνολογιών» – του τηλεφώνου, του τηλέγραφου και του φωνογράφου (Bennett 1995[51], Bennett et al.1993[52]).

4.2.2. Δρώμενα και σενάρια

Όπως παρατηρεί ο Graham Farmelo, η ιδέα της αξιοποίησης θεατρικών δρώμενων αποτελεί ενδεδειγμένη τεχνική για την προσέλκυση του κοινού ακόμη και για τα μουσεία, που έχουν χτίσει διάφορους τρόπους επικοινωνίας με τους επισκέπτες, μέσα από εκπαιδευτικές δραστηριότητες και διαδραστικά εκθέματα. Ο ίδιος επισημαίνει ότι, όταν ο χώρος έχει σχεδιαστεί σωστά, το δρώμενο μαγικά τον μεταμορφώνει, προσδίδοντας ιδιαίτερο φως στα αντικείμενα της συλλογής. Σημειώνει, επίσης, ότι υπάρχουν πρόσωπα στην ιστορία της επιστήμης, όπως ο Faraday, που η σχέση που είχαν στη ζωή τους με το κοινό κάνει προνομιακή την αξιοποίηση σεναρίων με θέμα τους ίδιους ή τις πειραματικές τους διαλέξεις (Farmelo 1992[240]). Ο επισκέπτης του αλχημικού εργαστηρίου ή του εργαστηρίου Γαλιλαίου στο *Deutsches Museum* εύκολα φαντάζεται τους χώρους αυτούς ως ιδανικούς για την πλοκή σεναρίων, οι οποίες συχνά παίρνουν τη μορφή αφηγημάτων (Πάπαρου & Καραλιώτα 2003[36], Paparou & Karaliota 2009b[37]) ή θεατρικών δρώμενων (Lauginie 2006[241]), όπως θεωρεί φυσικό να ξεφυτρώνει ο Γαλιλαίος ανάμεσα στα τηλεσκόπιά του στο *Museo Galileo* στη Φλωρεντία, για να συνομιλήσει με το κοινό, όπως στ' αλήθεια συμβαίνει (Giacobassi 2009[242]). Η αξιοποίηση δρώμενων, εκτός από τη γενική προσέλκυση του κοινού, δίνει τη δυνατότητα να μεταδοθούν σύγχρονοι προβληματισμοί πάνω στη φύση της επιστήμης ή του πειράματος, που δεν θα ήταν εύκολο να περιληφθούν σε λεζάντες ή σε κείμενα ξεναγών.

Για την ομάδα εργασίας επιστημόνων και ιστορικών που εργάστηκαν για την οργάνωση έκθεσης πιστών αντιγράφων ιστορικών οργάνων, στο πλαίσιο δραστηριοτήτων ευρύτερου προγράμματος στο Πανεπιστήμιο του Oldenburg (βλ. *ενότητα 4.2.3*), το εφαλτήριο και το κεντρικό σχέδιο εργασίας αποτέλεσε η ιδέα της ανάδειξης διαφορετικών ειδών πειραματισμού. Η έκθεση, που παρουσιάστηκε τον Μάρτιο του 1988, είχε αναπτυχθεί σε πέντε ενότητες. Με τη βοήθεια δραστηριοτήτων που περιελάμβαναν την παρακολούθηση και εκτέλεση πειραμάτων, όπως και την παρακολούθηση δρώμενων, οι επισκέπτες ξεναγούνταν στους χώρους της. Στο χώρο με τίτλο: *Ηλέκτριση στα Σαλόνια*, το κοινό μεταμορφωνόταν στους καλεσμένους ενός αριστοκρατικού σαλονιού του 18^{ου} αιώνα, ή στο ακροατήριο ενός πλανόδιου οργανωτή επιστημονικών θεαμάτων, για να παρακολουθήσει όλα τα δημοφιλή πειράματα της εποχής. Στόχος του σεναρίου ήταν οι επισκέπτες να μείνουν με την αίσθηση ότι είχαν παρακολουθήσει μια διάλεξη του 18^{ου} αιώνα πάνω στην καθολική δύναμη της φύσης. Σε άλλο χώρο της ίδιας έκθεσης, που έφερε τον τίτλο *Μετρήσεις και Υπολογισμοί,* το κοινό ξεναγείτο στα ακριβή πειράματα μέτρησης των μελών της *Βασιλικής Ακαδημίας του Παρισιού* στα τέλη του 18^{ου} αιώνα. Η ανάδειξη της διαφορετικής πειραματικής κουλτούρας που τα πειράματα αυτά έφεραν, σε σύγκριση με τα πειράματα για το κοινό του ίδιου αιώνα, ήταν ανάμεσα στους στόχους της έκθεσης. Το γεγονός ότι τα εκθέματα δεν αποτελούσαν αυθεντικά ιστορικά επιστημονικά όργανα, αλλά κατασκευασμένα αντίγραφα, λειτούργησε στην περίπτωση της συγκεκριμένης έκθεσης ως

πλεονέκτημα, γιατί έδωσε τη δυνατότητα τα όργανα να χρησιμοποιηθούν σε πειράματα (Heering &Müller 2002[214]).

Η ερευνητική ομάδα του Πανεπιστημίου του Oldenburg εργάστηκε συστηματικά πάνω στη δημιουργία σεναρίων που θα μπορούσαν να αναδείξουν τα αποτελέσματα σύγχρονων ιστοριογραφικών ερευνών με αντικείμενο τη φύση των πειραμάτων. Στο πλαίσιο περιοδικής έκθεσης που οργανώθηκε το καλοκαίρι του 1999 με τίτλο *Laboratorium* στο Antwerp του Βελγίου, προετοιμάστηκαν δρώμενα με τη βοήθεια των οποίων θα επιδεικνύονταν ιστορικά πειράματα που μπορούσαν να πραγματοποιηθούν με τη βοήθεια των κατασκευασμένων από την ομάδα αντιγράφων. Τα σενάρια έδιναν την ευκαιρία στους παρουσιαστές και κατασκευαστές των οργάνων να μεταφέρουν το κοινό στην εποχή στην οποία η κατασκευή των αντίστοιχων πρωτότυπων οργάνων αναφερόταν. Στο πλαίσιο της παρουσίασης, τα πειράματα μετατρέπονταν σε σύνθετες διαδικασίες και θέματα, όπως ο τρόπος κατασκευής των οργάνων, η ακρίβεια και αξιοπιστία των πειραματικών αποτελεσμάτων που αυτά μπορούσαν να επιτύχουν και οι διαφορετικές εκδοχές των πειραματικών συσκευών ή διατάξεων που μπορούσαν να παράγουν παρόμοια πειραματικά αποτελέσματα, συζητιούνταν μέσα σε ένα ιστορικό πλαίσιο (Beneken et al.2001[223], Frercks et al.2001[224]).

4.2.3. Ανακαλύπτοντας τα ιστορικά επιστημονικά όργανα μέσα από την ανακατασκευή τους

Η ερευνητική ομάδα του Πανεπιστημίου του Oldenburg, πρότεινε κατά τη δεκαετία του 1990, τη μέθοδο ανακατασκευής (method of replication) ιστορικών επιστημονικών οργάνων και πειραμάτων[cxlv] στο πλαίσιο της εκπαίδευσης των μελλοντικών καθηγητών φυσικών επιστημών. Εμπνευστής της ιδέας ήταν ο καθηγητής Falk Riess (Riess 1995[209], Riess 2000b[200]). Διαπιστώνοντας ότι η τυπική επιστημονική εκπαίδευση δεν ήταν σε θέση, ούτε να ενθαρρύνει το ενδιαφέρον των μαθητών, ούτε να τους παρέχει επαρκή κατανόηση των εννοιών, ιδεών και μεθόδων της ή του κοινωνικού και πολιτικού της ρόλου, ο Riess πρότεινε την ευρεία αξιοποίηση των ιστορικών πειραμάτων. Ανάμεσα στα επιχειρήματά του ήταν η παρατήρηση ότι, μέσα από τη μελέτη ιστορικών πειραματικών διατάξεων, η ίδια η σχέση μεταξύ επιστήμης, δεξιοτεχνίας, τέχνης και φιλοσοφίας μπορεί να ανακατασκευαστεί. Και αυτό το δικαιολογούσε, αναφέροντας ότι ο πειραματισμός αναγκάζει τον μαθητή/σπουδαστή να πάρει πρωτοβουλίες, ότι με τη βοήθειά του καλλιεργούνται παράλληλα πρακτικές και νοητικές ικανότητες και ότι, επειδή η μελέτη και κατασκευή των ιστορικών επιστημονικών οργάνων απευθύνεται, τόσο στις αισθήσεις, όσο και στην αισθητική, λειτουργεί συμπληρωματικά ως προς τις συνήθεις διεργασίες της επιστημονικής εκπαίδευσης, που είναι κυρίως νοητικές (Riess 1995[209]).

Το ερευνητικό πρόγραμμα του Πανεπιστημίου του Oldenburg έδωσε σημαντικούς καρπούς τα χρόνια που ακολούθησαν, ενώ καθιερώθηκε, όχι μόνο ως εκπαιδευτική μέθοδος, αλλά και ως ιστοριογραφική προσέγγιση. Έτσι, οι Peter Heering και Christian Sichau επισημαίνουν το 2005

[cxlv] Για την αναπαράσταση ιστορικών πειραμάτων χρησιμοποιούνται οι όροι redoing/ replicating historical experiments. Για την ανακατασκευή ιστορικών επιστημονικών οργάνων ο όρος replicating historical scientific instruments. Η όλη μέθοδος αναφέρεται ως replication method.

(Heering & Sichau 2005[231]) ότι η ανακατασκευή των επιστημονικών οργάνων φωτίζει, τόσο τα ιστορικά όργανα, όσο και τα ιστορικά κείμενα, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα οργάνωσης μιας νέας γενιάς επιστημονικών μουσείων που δεν έχουν ως στόχο να απεικονίσουν τη «φύση» αλλά τη «φύση της επιστήμης». Στο συμπέρασμα αυτό οι δύο ερευνητές καταλήγουν, έχοντας επιχειρήσει την ανακατασκευή ενός ηλιοσκοπίου που περιγράφει ο Jean Paul Marat και μιας μηχανικής αντλίας που χρησιμοποιούσε ο James Prescott Joule. Η ανακατασκευή της δεύτερης συσκευής αποκάλυψε ότι μικρά τμήματα από το ιστορικό όργανο είχαν χαθεί, ενώ οι πληροφορίες που αφορούσαν στη λειτουργία του οργάνου ήταν σχετικά παραπλανητικές. Ενώ αναφερόταν σ' αυτές ότι ένα άτομο μπορούσε να εκτελέσει μετρήσεις με το όργανο, η λειτουργία του αντιγράφου απέδειξε ότι αυτό ήταν αδύνατο. Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο Joule είχε παραλείψει να αναφέρει την παρουσία δεύτερου ατόμου στην εκτέλεση του πειράματος, γιατί οι κοινωνικές διακρίσεις της εποχής ήθελαν τους βοηθούς να παραλείπονται από τις επιστημονικές αναφορές. Εργαζόμενοι πάνω στην πρώτη συσκευή ανακάλυψαν ότι ο πολιτικός ρόλος του Marat ήταν η αιτία για την εξαφάνιση όλων των ηλιοσκοπίων που χρησιμοποιούσε. Παράλληλα, κατάλαβαν ότι οι σημειώσεις του, που απέβλεπαν στο να γνωστοποιήσουν τα πειράματά του στο ευρύ κοινό, στο οποίο συνήθιζε να τα παρουσιάζει, παρέλειπαν να μπουν σε λεπτομέρειες, αναφορικά με την κατασκευή των οργάνων. Με βάση τα παραπάνω, φαίνεται ότι τα αντικείμενα στα οποία η εργασία των δύο ερευνητών κατέληξε αποτελούν δημιουργική «ανάγνωση» των ιστορικών στοιχείων – λογοτεχνικών και υλικών – και πρόταση *διαδραστικών* εκθεμάτων για μουσεία ιστορίας της επιστήμης που θα έθεταν ως στόχο τους την ανάδειξη του πειράματος ως διαδικασίας που πραγματοποιείται μέσα σε συγκεκριμένο ιστορικο-πολιτικο-κοινωνικό και πολιτισμικό πλαίσιο.

4.2.4. Η αξιοποίηση νέων τεχνολογιών και ιστορικών ταινιών

Το πρόβλημα ανάδειξης της λειτουργίας τους, που θέτει η αρχαιότητα των ιστορικών επιστημονικών οργάνων, λύνουν με υποδειγματικό, συχνά, τρόπο, όπως περιγράφεται στη συνέχεια, πρωτοβουλίες που περιλαμβάνουν τη βιντεοσκόπηση ή την προσομοίωση ιστορικών πειραμάτων.

Μια από αυτές είναι η πρωτοβουλία ομάδας ιστορικών και επιστημόνων του *Εθνικού Ιδρύματος Επιστημονικών Ερευνών* της Γαλλίας (*Centre National de la Recherche Scientifique* - CRNS), που έχει ξεκινήσει την τελευταία δεκαετία, και συνίσταται στην παρουσίαση θεμάτων σχετικών με την ιστορία του ηλεκτρισμού. Για το σκοπό αυτό, έχει παραχθεί εκπαιδευτικό υλικό, διαθέσιμο στο διαδίκτυο, που απευθύνεται σε διαφορετικών τύπων κοινό, ιστορικούς, φυσικούς, μαθητές και απλούς πολίτες. Για την παραγωγή του έχουν αξιοποιηθεί ιστορικά αρχεία και ιστορικά επιστημονικά όργανα. Με τη βοήθειά τους, έχουν αναπαρασταθεί ιστορικά πειράματα τα οποία παρουσιάζονται με τη βοήθεια κειμένων, αναφορών στα πρωτότυπα ιστορικά κείμενα και συνδέσεων με αυτά (Blondel 2009 http://www.ampere.cnrs.fr[229]). Τα παραπάνω παρουσιάζονται με τη μορφή βίντεο, (http://www.ampere.cnrs.fr/parcourspedagogique/index.php) που συνδυάζουν την επίδειξη πειραμάτων με την παροχή εξηγήσεων και την παρουσίαση στοιχείων που ζωντανεύουν το ιστορικό πλαίσιο. Για την

πραγματοποίηση των πειραμάτων έχουν αξιοποιηθεί επιστημονικά όργανα για εκπαιδευτική χρήση του 19ου αιώνα, που αποτελούν αντικείμενα σχολικών και πανεπιστημιακών συλλογών, όπως των συλλογών του *Lycée Emil Zola* στην Rennes http://pharouest.ac-rennes.fr/e350024L/index.php και της *Fondazione Scienza e Tecnica* στην Φλωρεντία http://www.fstfirenze.it.

Στο πλαίσιο εκπαιδευτικού προγράμματος, ομάδα εργασίας στην *Fondazione Scienza e Tecnica* παρήγαγε μια σειρά από ταινίες που δείχνουν τη λειτουργία επιστημονικών οργάνων της συλλογής μέσα από την πραγματοποίηση πειραμάτων (Brenni 2008[48]). Η προσοχή, τόσο στη σωστή αποκατάσταση των συσκευών, όσο και στην ακριβή αναπαράσταση των ιστορικών πειραμάτων, και λεπτομέρειες, όπως η προετοιμασία των οργάνων, η διάρκεια των πειραματικών διαδικασιών, ο ήχος των συσκευών και πειραμάτων, μετατρέπουν τις μηχανές αυτές σε πραγματικές «μηχανές του χρόνου», όπως χαρακτηριστικά σημειώνει ο Paolo Brenni. Καθώς ανάμεσα στην εικόνα και τον θεατή δεν παρεμβάλλεται οποιοδήποτε εξηγητικό κείμενο, οι ταινίες μεταδίδουν «αντικειμενικά γεγονότα», όχι μόνο επιστημονικά, αλλά και ιστορικά (http://www.youtube.com αναζήτηση: *Fondazione Scienza e Tecnica*).

Η ιστοσελίδα του Museo Galileo αποτελεί ένα εξαιρετικό εικονικό μουσείο ιστορίας της επιστήμης, απευθυνόμενο σε μεγάλο εύρος κοινού (Galluzzi 2000[228]). Η παρουσίαση των μεμονωμένων οργάνων γίνεται με τη βοήθεια κειμένων και φωτογραφιών, ενώ ομάδες οργάνων και πειραμάτων παρουσιάζονται με τη βοήθεια ταινιών που περιλαμβάνουν προσομοιώσεις της λειτουργίας τους και αναφορές σε ιστορικά κείμενα που μπορούν να αναζητηθούν μέσα από ψηφιακές ιστορικές βιβλιοθήκες. Περιλαμβάνοντας όλα τα παραπάνω είδη πληροφορίας, οι ταινίες τοποθετούν τα επιστημονικά όργανα και πειράματα στο ιστορικό τους πλαίσιο. Δεδομένου ότι τα όργανα του Museo Galileo είναι πολύ παλαιά, η λειτουργία τους δείχνεται μόνο με προσομοιώσεις, που έχουν το πλεονέκτημα ότι κατασκευάζονται χωρίς να θέτουν σε κίνδυνο τα όργανα της συλλογής (Museo Galileo 2010[243] http://catalogue.museogalileo.it).

Μια ακόμη ενδιαφέρουσα πρόταση που αφορά στην παρουσίαση ιστορικών πειραμάτων μέσα στο ιστορικό τους πλαίσιο αποτελεί η ταινία με τίτλο *Les Magiciens de la Lumière*, που αποτελεί το αποτέλεσμα συνεργασίας της *Υπηρεσίας Παραγωγής Οπτικοακουστικού Υλικού* του *Τμήματος Φυσικών Επιστημών* του Πανεπιστημίου του Orsay (Service de Creation Audiovisuelle de la Faculté des Sciences d' Orsay (SCAVO)) και της *Ερευνητικής Ομάδας για την Ιστορία και τη Διάδοση των Επιστημών* του Orsay (Groupe d' Histoire et de Diffusion des Sciences d' Orsay (GHDSO)). Η ταινία ιχνηλατεί την ιστορία της μέτρησης της ταχύτητας του φωτός, από την εποχή του Γαλιλαίου μέχρι τον 19ο αιώνα, ενώ επικεντρώνεται στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν από το 1850 μέχρι το 1862 και στην προσωπικότητα του Léon Foucault. Η ταινία σκιαγραφεί με πολύ ξεκάθαρο τρόπο το γεγονός ότι το πείραμα δεν είναι απλά μια δοκιμή, αλλά μια σύνθετη διαδικασία που σχετίζεται με το κοινωνικο-πολιτισμικό πλαίσιο και την τεχνολογία της κάθε εποχής. Περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο ο Foucault συνθέτει σταδιακά τη μηχανή του, συνεργαζόμενος με έναν ιδιοφυή κατασκευαστή οργάνων ακριβείας, όπως και με έναν μηχανικό εκκλησιαστικών οργάνων, από τον οποίο ζητά να του

κατασκευάσει μια συσκευή που να μπορεί να διοχετεύει ρεύμα αέρα σε σταθερή πίεση. Μέσα από τα επεισόδια της ταινίας, ο θεατής μετέχει στην πνευματική κίνηση του Παρισιού του 19ου αιώνα. Τα επιστημονικά όργανα της ταινίας, των οποίων η λειτουργία παρουσιάζεται, ανήκουν στις συλλογές των *Musée des Arts et des Métiers*, *Musée de l'Ecole Polytechnique* και του *Αστεροσκοπείου του Παρισιού*. Περιγράφοντας το πέρασμα του Foucault, από ένα ποιοτικό πείραμα σύγκρισης της ταχύτητας του φωτός σε διάφορα μέσα, σε ένα ποσοτικό πείραμα μέτρησής της, η ταινία αποτελεί ένα σχόλιο πάνω στα πειράματα μέτρησης και στην κατασκευή οργάνων ακριβείας – τομείς στους οποίους η Γαλλία άκμασε κατά το δεύτερο ήμισυ του 19ου αιώνα. Επίσης, παρουσιάζοντας μια ομάδα επιστημόνων που για διάστημα μιας εικοσαετίας συζητάει πάνω σε ιδέες για το σχεδιασμό πειραμάτων και στα αντίστοιχα αποτελέσματα, η ταινία παρουσιάζει τη μέτρηση της ταχύτητας του φωτός ως έργο μιας ομάδας περισσότερο, παρά μεμονωμένων επιστημόνων (Lauginie et al.2009[230], Guyon et al.2009[244], Lauginie 2010[245]).

4.2.5. Η αναβίωση της κουλτούρας των πειραματικών διαλέξεων

Οι «πειραματικές διαλέξεις» συνδέονται με την παράδοση των πειραματικών διδασκαλιών για το ευρύ κοινό, που αποτέλεσαν τον κύριο τρόπο διάδοσης της επιστήμης στην Ευρώπη του 18ου αιώνα (βλ.*ενότητα 2.1*). Οι νεώτερες ιστοριογραφικές προσεγγίσεις, έχοντας αναδείξει τις πειραματικές διαλέξεις ως ιστορική μορφή σύνδεσης της επιστήμης με την κοινωνία, έχουν συντελέσει στην αναβίωσή τους, και στην αξιοποίησή τους ως τρόπων ερμηνείας των εκθεμάτων στα ιστορικά επιστημονικά μουσεία ή υπενθύμισης «υψηλών στιγμών» στην ιστορία της διάδοσης της επιστημονικής γνώσης. Όπως οι πειραματικές διαλέξεις του 18ου και 19ου αιώνα είχαν διάφορες αποχρώσεις, από το υψηλού κύρους μάθημα φυσικής μέχρι το διασκεδαστικό θέαμα, έτσι και οι σημερινές εφαρμογές τους διέπονται από διαφορετικές αρχές και κουλτούρες.

Στη Royal Institution, της δεκαετίας του 1970, οι πειραματικές διαλέξεις αναβιώνουν ως τρόπος να κινηθεί το ενδιαφέρον για τις φυσικές επιστήμες. Μαζί τους αναβιώνει μια ολόκληρη κουλτούρα που διαμόρφωσε αυτά τα ιδιαίτερα υψηλού επιστημονικού κύρους και, ταυτόχρονα, δημοφιλή επιστημονικά συμβάντα. Όπως εξηγούν τα λόγια του Sir George Porter, διευθυντή της Royal Institution στο διάστημα 1966-1986, ο εισηγητής μιας πειραματικής διάλεξης πρέπει να ξέρει να μαγεύει το κοινό, το οποίο στις εκδηλώσεις του συγκεκριμένου φορέα φαίνεται ότι αποτελείτο από ιδιαίτερα απαιτητικά μέλη:

> «Κατά τη διάρκεια των 20 χρόνων που υπήρξα Διευθυντής της Royal Institution, παρακολούθησα εκατοντάδες πειραματικές διαλέξεις και έδωσα και εγώ μερικές. Ωστόσο, κανένας από τους εισηγητές τους δεν κατάφερε να ξεπεράσει τον Charles Taylor στην κομψότητα των πειραμάτων που επεδείκνυε ή στον τρόπο με τον οποίο ενέπλεκε το κοινό όλων των ηλικιών… Ποτέ δεν συνέβη σ' αυτόν, όπως συνέβη σε κάποιον από τους προκατόχους του, να έρθει αντιμέτωπος, μετά από μια πειραματική διάλεξη, με κάποιο εξαγριωμένο μέλος του ακροατηρίου, που να του πει: «Νέε μου, αυτή δεν είναι επίδειξη πειραμάτων, αυτά είναι απλώς πειράματα!» (Porter πρόλογος στον Taylor 1988 σελ.xi[16]).

Η επιμέλεια με την οποία εξέχοντες εισηγητές πειραματικών διαλέξεων μελετούσαν το πώς θα

παρουσίαζαν τα πειράματά τους αποτυπώνεται στο αντίστοιχο έργο του John Tyndall. Ο τελευταίος κρατούσε λεπτομερείς σημειώσεις που αναφέρονταν στην εκτέλεση των πειραμάτων που πραγματοποιούνταν στο πλαίσιο των διαλέξεών του, γιατί είχε παρατηρήσει ότι η εμπειρία τον οδηγούσε σε βελτιώσεις που συνεπάγονταν μεγαλύτερο διδακτικό όφελος για το κοινό (Taylor 1988 σελ. 105[16]).

Όπως εξηγούσαν έμπειροι εισηγητές πειραματικών διαλέξεων, η πειραματική διάλεξη απαιτούσε πνευματική και πρακτική προετοιμασία. Όσον αφορά στο πρώτο, ο Sir Lawrence Bragg σημειώνει, το 1974:

> «Μια καλή διάλεξη είναι *κατόρθωμα.* Ο καλός εισηγητής πρέπει να αίρεται σε έναν υψηλό σημείο νευρικής έντασης πριν απ' αυτήν και να αισθάνεται άτονος και εξαντλημένος μετά απ' αυτή. Η εμπειρία μου έδειξε ότι οι περιπτώσεις στις οποίες ένοιωθα σίγουρος ήταν καταστροφικές…» (Bragg 1974 στον Taylor 1988 σελ. 99[16]).

Σχετικά με το δεύτερο, λεπτομέρειες, όπως η σωστή σειρά των διαφανειών και ο έλεγχός τους αμέσως πριν την κάθε παρουσίαση, και άλλες, όπως το μέγεθος των πειραματικών συσκευών, ώστε τα πειράματα να είναι καλά ορατά από όλα τα σημεία του αμφιθεάτρου, έπαιζαν αποφασιστικό ρόλο.

Εικόνα 4.1: Ελαιογραφία του Terence Cuneo, που εικονίζει τον Lawrence Bragg να παραδίδει διάλεξη πάνω στην ηλεκτροστατική, την περίοδο 1961-2, στη Royal Institution (Frank 2007 σελ.xviii[138])

Ο Taylor επισημαίνει ότι εξέχοντες και έμπειροι πειραματιστές, όπως ο Michael Faraday, έδιναν ιδιαίτερη σημασία στον τρόπο που θα τακτοποιούσαν το τραπέζι της διάλεξης, ώστε να μεταφέρεται στον θεατή η αίσθηση ότι τίποτε εκεί δεν ήταν τοποθετημένο τυχαία. Δινόταν ιδιαίτερη προσοχή, ώστε το κοινό να μπορεί να έχει οπτική πρόσβαση σε όλα τα αντικείμενα και τα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνταν στην πειραματική διαδικασία. Διαφορετικά, ο εισηγητής δικαιολογημένα θεωρούνταν άτεχνος και αδέξιος[cxlvi]. Επίσης, σημειώνει ότι για την επιτυχία μιας διάλεξης ο εισηγητής δεν έπρεπε να αφήνει τίποτα στην τύχη. Έπρεπε, για παράδειγμα να έχει μελετήσει πώς να τροποποιήσει το σενάριό του σε περίπτωση τεχνικού προβλήματος (Taylor 1988 σελ.138-141[16]), πώς

[cxlvi] «Αν το τραπέζι της διάλεξης φαίνεται υπερβολικά γεμάτο με πράγματα, αν ο εισηγητής κρυμμένος πίσω από τις συσκευές του δεν φαίνεται, αν τα αντικείμενα της επίδειξης δεν φαίνονται καλά, φαίνονται εν μέρει, κάποια τμήματά τους φαίνονται καλύτερα από άλλα ή δεν είναι καν ορατά, χωρίς να υπάρχει γι' αυτό συγκεκριμένος λόγος, τότε, δικαιολογημένα, ο εισηγητής θεωρείται ως αδέξιος και άτεχνος» (Faraday στον Taylor 1988 σελ. 105[16]).

να προσαρμόσει τη διάλεξη σε χώρο έξω από τον οικείο (Taylor 1988 σελ.114-120[16]), πώς να εξασφαλίσει συνθήκες ασφάλειας για το ακροατήριο και τον ίδιο (Taylor 1988 σελ.168[16]). Τέλος, σημείο κλειδί για την επιτυχία της πειραματικής διάλεξης αποτελούσε ο σχεδιασμός της συμμετοχής του κοινού. Ο George Taylor εξηγεί πως, για το σκοπό αυτό, ο ίδιος επέλεγε να απευθύνει στο ακροατήριο κατάλληλες ερωτήσεις, επινοούσε παιχνίδια, οργάνωνε τα πειράματά του με τρόπο που η συμμετοχή του κοινού να είναι οργανικό στοιχείο της εξέλιξής τους, ενώ επεξεργαζόταν το χειρισμό ανομοιογενούς ακροατηρίου (Taylor 1988 σελ.147-162[16]).

4.2.6. Η επίκληση της κουλτούρας του επιστημονικού λαϊκού θεάματος

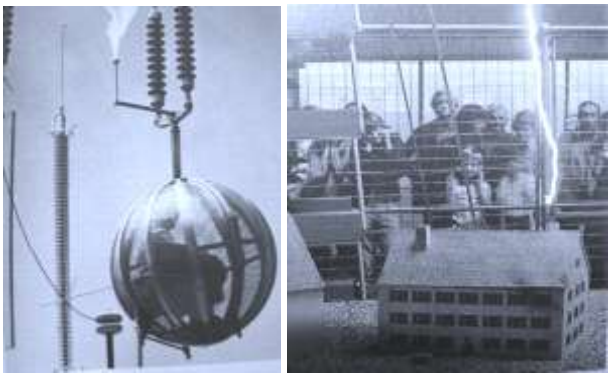
Στο *Deutsches Museum*, στην αίθουσα του ηλεκτρισμού, ένας αφηγητής και δύο πειραματιστές βρίσκονται σε έναν χώρο κυκλικό που έχει μέγεθος ενός μικρού δωματίου. Ένα συρμάτινο πλέγμα χωρίζει τους εισηγητές από το κοινό, ενώ ο περιφραγμένος χώρος είναι γεμάτος συσκευές. Ανάμεσα σ' αυτές, ένας κλωβός Faraday που χωράει άνθρωπο, γεννήτριες παραγωγής υψηλής τάσης, πηνία Tesla, μοντέλα αλεξικέραυνων. Όταν η «παράσταση» αρχίζει οι θεατές παρακολουθούν με κομμένη την ανάσα τον αφηγητή να εξηγεί πως ο ένας εκ των δύο πειραματιστών θα παίξει το ρόλο του πειραματόζωου και θα βομβαρδιστεί με δεκάδες χιλιάδες Volt μέσα στον κλωβό Faraday… Ο αφηγητής εξηγεί ότι χάρη στη σοφία του Faraday, η οποία έμπρακτα επιβεβαιώνεται, το «πειραματόζωο» εξέρχεται σώο από τον κλωβό και το θέαμα συνεχίζεται με την επίδειξη της σωτήριας επίδρασης του αλεξικέραυνου σε μοντέλα σπιτιών γεμάτα με εύφλεκτα υλικά…. (προσωπική επίσκεψη 2006).

Τα πειράματα, στην «παράσταση» που προαναφέρθηκε, είναι πραγματικά επικίνδυνα, όπως πραγματικά επικίνδυνα ήταν και τα πειράματα του 18^{ου} αιώνα με τους κεραυνούς. Παρόλο που οι συσκευές δεν μιμούνται τις αντίστοιχες ιστορικές διατάξεις του 18^{ου} αιώνα (πείραμα αλεξικέραυνου) ή του 19^{ου} αιώνα (κλωβός Faraday), η σύγχρονη παρουσίαση έχει δανειστεί από την ιστορία της επιστήμης την ιδέα της επικοινωνίας της επιστήμης μέσα από ένα θέαμα για το κοινό, και προσπαθεί να προκαλέσει παρόμοιο είδος των αισθημάτων με εκείνο που οι αντίστοιχες ιστορικές παραστάσεις προκαλούσαν. Το κοινό του 20^{ου} αιώνα νοιώθει μπροστά στα συγκεκριμένα πειράματα κάτι από το δέος που ένοιωθε ο άνθρωπος του 18^{ου} αιώνα μπροστά στα πειράματα με τις αστραπές και κάτι από την περιέργεια ή την ευγνωμοσύνη που ο άνθρωπος του 18^{ου} ή 19^{ου} αιώνα ένοιωθε απέναντι στον επιστήμονα των δρόμων που εξηγούσε με πάθος τα θαύματα της φύσης σε όλων των ειδών το κοινό (Hochadel 2006[246], Raichvarg 2006[247], Bensaude-Vincent & Blondel 2008[13], Riskin 2008[248], Golinski 2008[249], Hochadel 2008[250], Roberts 2008[251]).

Ο οριοθετημένος με συρματόπλεγμα χώρος στο *Deutsches Museum* θυμίζει τον περιχαραγμένο με σιδερένιους πασσάλους και σύρμα χώρο, όπου ο Eustache Amour Hublin, στο Παρίσι, του 1850, όπως πολλοί άλλοι επιστήμονες-μάγοι της εποχής, στήνει τις μηχανές του: έναν Καρτεσιανό δύτη (Cartesian

diver)[cxlvii], δύο μπαταρίες, μια φιάλη Leyden, δέρμα γάτας, ένα πιστόλι του Volta (Volta's pistol), μια ηλεκτροστατική γεννήτρια…για να ξεκινήσει:

> «Κυρίες και κύριοι, είμαι ο Εκτελεστής πειραμάτων Φυσικής. Και αν είμαι εδώ ανάμεσά σας είναι επειδή όλοι εσείς πρέπει να καταλάβετε από τα πειράματά μου, την αλήθεια και τις φυσικές αρχές των δυνάμεων που βρίσκονται γύρω μας, αυτών των δυνάμεων που φοβίζουν τον αμαθή αλλά προσφέρουν στον μορφωμένο όλες τις ηθικές απολαύσεις της νοημοσύνης. Θεωρήθηκα άξιος να εργαστώ στα Πριγκηπικά Παλάτια και να διδάξω στα παιδιά της καλής κοινωνίας τι είναι η Επιστήμη. Αλλά, αρνήθηκα. Η φιλοδοξία μου ήταν μεγαλύτερη. Θέλησα να απευθυνθώ σε σας, γιατί είναι καθήκον του ισχυρού άνδρα, λειτούργημα του ισχυρού άνδρα, ιεροσύνη του ισχυρού άνδρα το να μορφώνει τους συνανθρώπους του. Θα μπορούσα να είχα μπει στην Ακαδημία, στη Σορβόννη, στο Κολλέγιο της Γαλλίας και να παραδίδω εξαιρετικά μαθήματα! Αλλά είπα: Όχι. Αρνήθηκα όλες αυτές τις προτάσεις που μου έγιναν. Κι, έτσι, από εκείνη την ημέρα που άρχισα να σας δείχνω τα οφέλη της επιστήμης, κέρδισα το παρατσούκλι «ο αυθεντικός φυσικός του Γαλλικού Έθνους» (Hublin 1854 στον Raichvarg 2006[247]).



Εικόνα 4.2: Από τους πλανόδιους εισηγητές πειραματικών διαλέξεων του 19ου αιώνα στην εκλαΐκευση της επιστημονικής γνώσης του 21ου αιώνα: (α) Eustache Amour Hublin 1854 (Raichvarg 2006[247]), (β)&(γ) Deutsches Museum 2006

Σχολιάζοντας το παραπάνω κείμενο στο εισαγωγικό άρθρο συνεδρίου που είχε ως τίτλο: *Από τους πλανόδιους εισηγητές πειραματικών διαλέξεων του 18ου αιώνα στην εκλαΐκευση της επιστημονικής γνώσης του 21ου αιώνα*[cxlviii], οι Teichmann, Stinner & Riess σημειώνουν ότι η ιστορία της ευρωπαϊκής κουλτούρας δεν είναι μόνο ιστορία της λογικής, αλλά και ιστορία του πάθους. Επικαλούμενοι σύγχρονη ιστορική έρευνα, η οποία εξετάζει την εξέλιξη εκφράσεων του πάθους στην ιστορία του ευρωπαϊκού πολιτισμού[cxlix], οι συγγραφείς θέτουν ως ζητούμενο την επινόηση εκπαιδευτικών διαδικασιών που θα μετατόπιζαν την ορθολογική συνάντηση με το επιστημονικό αντικείμενο στην πρόκληση ενός είδους βιώματος που θα συνδύαζε τη λογική, το πάθος και τα βαθιά αισθήματα[cl]. Θεωρούν ότι κάτι τέτοιο θα ήταν δυνατόν, αν στην προσέγγιση του *τι είναι η επιστήμη*

[cxlvii] Πρόκειται για συσκευή-παιχνίδι που συνδυάζει νόμους της υδροστατικής, της μετάδοσης της πίεσης στα ρευστά και της συμπιεστότητας του αέρα.

[cxlviii] "From Itinerant Lecturers of the 18th Century to Popularizing Science for the 21st Century" (Teichmann et al. 2004[252]).

[cxlix] Οι Teichmann et al. αναφέρονται στη μελέτη των Daston & Park, *Wonders and the Order of Nature, 1150-1750* (1998), η οποία μελετά την εξέλιξη του *θαυμασμού* και της *περιέργειας* ως εκφράσεις του πάθους που χαρακτηρίζουν τη δυτική επιστήμη. Διαπιστώνουν ότι η πρώτη έκφραση ατονεί με το πέρασμα των αιώνων, ενώ η δεύτερη ενισχύεται. Καταλήγουν επίσης στη διαπίστωση ότι το υποκείμενο της περιέργειας μορφοποιείται τον 18ο αιώνα στην *εμβληματική μορφή του ανιδιοτελούς και αφοσιωμένου φυσιοδίφη* (Teichmann et al.2006[253]).

[cl] Το είδος αυτής της εμπειρίας περιγράφεται στα Γερμανικά με τη λέξη "*Erlebnis*" που είναι της μόδας στην γερμανική αρθρογραφία που αναφέρεται σε θέματα εκλαΐκευσης της επιστήμης (Teichmann et al. 2006[253]).

περιλαμβάνονταν, όχι μόνο η κατανόηση του διανοητικού περιεχομένου της και των κοινωνικών παραγόντων που επηρεάζουν την εξέλιξή της, αλλά και η κατανόηση του πάθους που βιώνουν οι επιστήμονες, όπως και ο τρόπος που αυτό λειτουργεί κοινωνικά (Teichmann et al.2004[252], Teichmann et al.2006[253]).

4.2.7. Η επιλογή της αξιοποίησης πολυμεσικών εφαρμογών και διαδραστικών εκθεμάτων

Παρόλο που πολλά σύγχρονα μουσεία ιστορίας της επιστήμης τείνουν να βρουν τρόπους να ελαχιστοποιήσουν τις παρεμβάσεις στο χώρο της έκθεσης, ώστε να αφήσουν τα ίδια τα αντικείμενα να παρασύρουν τον επισκέπτη σε συνειρμούς, υπάρχουν ταυτόχρονα περιπτώσεις που επιλέγονται μικρές ή και μεγάλες παρεμβάσεις, με γνώμονα, τόσο την ανάδειξη της λειτουργίας των οργάνων, όσο και του ιστορικού και κοινωνικού πλαισίου. Έτσι, ενώ στην έκθεση των ιστορικών οργάνων του *Μουσείου Φυσικής του Πανεπιστημίου της Coimbra* επιλέγεται να μη γίνει καμία απολύτως παρέμβαση (*Physics Museum of the University of Coimbra*[83]), στο *Museo Galileo* επιλέγεται η διακριτική παρουσία πολυμεσικών εφαρμογών (βλ.*εικόνα 4.3*) και στο *Μουσείο Φυσικών Επιστημών του Πανεπιστήμιου της Coimbra* η, με μέτρο, ενσωμάτωση διαδραστικών εκθεμάτων[cli] και πολυμεσικών εφαρμογών (multimedia) στο χώρο ενός ιστορικού επιστημονικού εργαστηρίου (Casaleiro 2009[254]). Αντίθετα, στην *Royal Institution* του Λονδίνου, οι πολυμεσικές εφαρμογές αποτελούν καθοριστικό εργαλείο για την εξερεύνηση των ιστορικών χώρων και εκθεμάτων (Tiana & Dugdale 2009[255]).

Η αξιοποίηση διαδραστικών εκθεμάτων ή πολυμεσικών εφαρμογών δεν είναι καινούργια στο χώρο των μουσείων. Στα παραδοσιακά επιστημονικά μουσεία, όπως στο *Deutsches Museum*, για παράδειγμα, υπάρχουν εδώ και μερικές δεκαετίες. Αποτέλεσμα, ωστόσο, επιρροών από τις πρόσφατες ιστοριογραφικές εξελίξεις είναι η επιλογή, οι παραπάνω παρεμβάσεις να λειτουργούν συμπληρωματικά προς την προβολή του ιστορικού και κοινωνικού πλαισίου και των ίδιων των ιστορικών αντικειμένων, και όχι διασπαστικά. Παράδειγμα της τάσης αυτής είναι η έκθεση του

Εικόνα 4.3: Η αξιοποίηση πολυμεσικών εφαρμογών για την ανάδειξη του ιστορικού πλαισίου:
(α) Royal Institution του Λονδίνου (Tiana & Dugdale 2009[254]), (β) Museo Galileo 2010

[cli] Με τον όρο διαδραστικά εκθέματα εννοούμε εδώ τα εκθέματα-πειράματα ή hands-on interactive exhibits.

Museo Galileo, που εγκαινιάστηκε το 2010. Αντίθετα, στο *Deutsches Museum* υπάρχουν, από τη μια μεριά πολυμεσικές εφαρμογές που συνθέτουν το ιστορικό πλαίσιο, όπως αυτές που εξηγούν τη λειτουργία ιστορικών εργαστηρίων, και, από την άλλη, διαδραστικά εκθέματα που έχουν ανιστορικό χαρακτήρα και, τοποθετούμενα δίπλα σε ιστορικά αντικείμενα, κατακερματίζουν το ιστορικό πλαίσιο.

4.2.8. Η αντιπαράθεση ανάμεσα στις σύγχρονες ιστοριογραφικές προσεγγίσεις και τις πρόσφατες τάσεις εξέλιξης των παραδοσιακών επιστημονικών μουσείων

Οι προτάσεις αξιοποίησης σύγχρονων ιστοριογραφικών προσεγγίσεων, που προαναφέρθηκαν, αναπτύσσονται συχνά σε αντιπαράθεση προς τις σύγχρονες τάσεις εξέλιξης παραδοσιακών επιστημονικών μουσείων. Όπως αναλύθηκε και στην *ενότητα 2.7*, ανάμεσα στους άξονες σχεδιασμού του *Deutsches Museum*, στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, ήταν η ιστορική προσέγγιση και η εμπειρική μέθοδος μάθησης. Ωστόσο, παρόλο που η παρουσίαση της επιστήμης γινόταν εκεί, παραδοσιακά, σε σύνδεση με το ιστορικό της πλαίσιο, οι νεώτερες τάσεις επικοινωνίας της επιστήμης έχουν οδηγήσει στην προώθηση ανιστορικών κατευθύνσεων και στην απομάκρυνση «δυσνόητων» ιστορικών αντικειμένων από τους εκθεσιακούς χώρους. Έτσι, παλαιότερα είδη εκθεμάτων, όπως οι αυθεντικές συσκευές ιστορικών πειραμάτων (real objects), οι μακέτες τεχνολογικών αντικειμένων (ή διοράματα (dioramas)), οι αναπαραστάσεις ιστορικών εργαστηρίων, δεν υποστηρίζονται τόσο από τις νεώτερες τάσεις, όσο τα διαδραστικά εκθέματα (interactive exhibits) που επιτρέπουν την εκτέλεση πειραμάτων (hands-on experiments/ hands-on experiences), ενώ πολλές φορές η ανάγκη «μετάφρασης» της επιστήμης σε διαφορετικών τύπων κοινό ωθεί στην αποσύνδεση των επιστημονικών οργάνων από το ιστορικό τους πλαίσιο. Ένα στίγμα των εξελίξεων αυτών περιγράφεται στην *εικόνα 4.4.*, που δείχνει ότι το διόραμα, που πριν μερικές δεκαετίες μπορεί να προσέλκυε διαφορετικών τύπων κοινό, δεν μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για δράση μικρών ηλικιακών ομάδων. Στη θέση αυτής της εκδοχής έχει αναπτυχθεί ένας χώρος εκθεμάτων, όπου τα ιστορικά επιστημονικά όργανα έχουν μετατραπεί σε ιδέες παιχνιδιών. Είναι προφανές ότι, όσο τα διαδραστικά εκθέματα-παιχνίδια προσελκύουν τους μικρούς επισκέπτες, τόσο απομακρύνουν τους μελετητές της επιστήμης ή της ιστορίας της επιστήμης.

Εικόνα 4.4: Από την αναπαράσταση του ιστορικού πλαισίου στο ανιστορικό έκθεμα-παιχνίδι

4.3. Ερευνητικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις αξιοποίησης των ιστορικών επιστημονικών οργάνων στο πλαίσιο της τριτοβάθμιας επιστημονικής εκπαίδευσης

Οι προτάσεις που αναπτύσσονται στο χώρο της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης, σχετικά με την αξιοποίηση των ιστορικών επιστημονικών οργάνων, έχουν μια ιστορία αρκετών δεκαετιών και εκτείνονται σε μεγάλο εύρος εφαρμογών. Η αναλυτική περιγραφή τους θα ξέφευγε από τα όρια της παρούσας εργασίας. Στις επόμενες ενότητες, ωστόσο, θα περιγράψουμε ορισμένες από αυτές, θέλοντας να δώσουμε το στίγμα των στόχων και προβληματισμών που καθοδηγούν τους ερευνητές. Για την ταξινόμησή τους θα τις διακρίνουμε σε δύο κατηγορίες, εκείνες στις οποίες τα ιστορικά επιστημονικά όργανα μελετούνται ως ιστορικά αντικείμενα και σε εκείνες που επικεντρώνονται στη μέθοδο ή την επιστημονική ιδέα της οποίας τα ιστορικά επιστημονικά όργανα αποτελούν υλοποίηση.

4.3.1. Τα επιστημονικά όργανα ως «μηχανές του χρόνου»

Όταν τα ίδια τα ιστορικά όργανα τίθενται σε λειτουργία, γίνονται πραγματικές μηχανές του χρόνου, αποκαλύπτοντας όψεις της ιστορίας της επιστήμης που είναι αδύνατον κάποιος να υποψιαστεί, παρατηρώντας τα ίδια όργανα σε μια βιτρίνα, σε εικόνες ή ταινίες. Τέτοιου είδους έντονη εντύπωση προκάλεσε η χρήση ενός μικροσκοπίου του 18^{ου} αιώνα σε ομάδα ερευνητών που ασχολήθηκαν με την «ανακάλυψή» του στο *Deutsches Museum*. Ο Peter Heering και η Elizabeth Cavicchi αναφέρουν πώς η λειτουργία του οργάνου τους έφερε αντιμέτωπους με την ιδέα της ομαδικής παρατήρησης που τον 17^{ο} αιώνα αποτελούσε σημείο κλειδί για την επικυροποίηση της επιστημονικής γνώσης και τον 18^{ο} αιώνα επιστημονική πρακτική (Heering 2008[232], Cavicchi 2008b[233]). Η ιδέα της ομαδικής παρατήρησης, που το όργανο ενσωματώνει, γίνεται άμεσα αντιληπτή μέσα από την ποιότητα των εικόνων που έχει σχεδιαστεί να παράγει, οι οποίες επιτρέπουν και στον ανειδίκευτο θεατή να κάνει παρατηρήσεις σε αντίθεση με ένα μικροσκόπιο του 19^{ου} αιώνα στο οποίο η επιστημονική παρατήρηση μπορεί να γίνει μόνο εξατομικευμένα και από κάποιον που «ξέρει να βλέπει» διαμέσου του οργάνου. Μέσα από τα τεχνολογικά στοιχεία που επιτρέπουν στο όργανο του 18^{ου} αιώνα να δίνει τόσο καθαρές εικόνες, οι ερευνητές ανακαλύπτουν ιστορικά στοιχεία των τεχνικών παρασκευής των δειγμάτων και της οπτικής τεχνολογίας της εποχής (Heering 2008[232]).

4.3.2. Η τέχνη της ανακατασκευής των ιστορικών επιστημονικών οργάνων

Στις ενότητες που προηγήθηκαν έγινε επανειλημμένα αναφορά στο ερευνητικό πρόγραμμα που ξεκίνησε στη δεκαετία του 1990, στο Πανεπιστήμιο του Oldenburg, έχοντας ως στόχο την εκπαίδευση των μελλοντικών καθηγητών φυσικών επιστημών. Αντικείμενο του προγράμματος ήταν η «ανακάλυψη» των ιστορικών επιστημονικών οργάνων μέσα από την πιστή ανακατασκευή τους. Η τελευταία περιελάμβανε την παραγωγή ενός, όσο το δυνατόν πιστότερου, αντιγράφου. Οι διαστάσεις, και τα υλικά κατασκευής του πρωτότυπου επιστημονικού οργάνου και σχετικές λεπτομέρειες που

περιγράφονταν σε ιστορικά κείμενα ή σχέδια αποτελούσαν οδηγούς για την ανακατασκευή. Στη συνέχεια, το αντίγραφο ετίθετο σε λειτουργία. Τα πειραματικά αποτελέσματα μελετιούνταν και συγκρίνονταν με τα στοιχεία που μπορούσαν να αντληθούν, είτε από τα ιστορικά επιστημονικά κείμενα, είτε από την πρωτότυπη συσκευή που χρησιμοποιούταν ως οδηγός. Η διαδικασία της ανακατασκευής του οργάνου συνεπαγόταν και την οικοδόμηση του αντίστοιχου ιστορικού πλαισίου (Riess 1995[209]). Όπως οι διαφορετικές μελέτες περίπτωσης έχουν δείξει (Heering 1992[216], Sibum 1995[217], Höttecke 2000[218], Heering & Sichau 2005[231], Heering 2003[219]), η ανακατασκευή των οργάνων οδηγεί σε μια αλληλεπίδραση με τα ιστορικά ντοκουμέντα, που βοηθά στην ερμηνεία τους και στην αποκάλυψη στοιχείων που έχουν χαθεί ή αποκρυβεί (βλ. και *ενότητα 4.2.3*). Έτσι, σήμερα, η ανακατασκευή των ιστορικών επιστημονικών οργάνων έχει διαδοθεί ως μέθοδος εκπαίδευσης των καθηγητών (Heering 2003[219]), ως τεχνική παρασκευής οργάνων για ιστορικά επιστημονικά μουσεία (Brenni 2008[48]) και ως μέθοδος «ανάγνωσης» της ιστορίας της επιστήμης. Σε πρόσφατη έρευνα που διεξάγεται στο Βέλγιο στο *Καθολικό Πανεπιστήμιο της Leuven* από τον Pieter Thyssen, εξετάζεται η δυνατότητα αναπαράστασης των ιστορικών πειραμάτων φασματοσκοπίας του 19^{ου} αιώνα, που οδήγησαν στην κατάστρωση των πρώτων μορφών του περιοδικού πίνακα. Το συγκεκριμένο εγχείρημα συναντά την πρόσθετη δυσκολία ότι, τόσο η ποιότητα των πρισμάτων, όσο και τα δείγματα στα οποία βασίστηκαν εκείνες οι φασματοσκοπικές μετρήσεις είναι δύσκολο να ξανακατασκευαστούν.

4.3.3. Τα ιστορικά επιστημονικά όργανα ως «μέθοδοι»

Αντίθετα με τις προηγούμενες διδακτικές προτάσεις που επικεντρώνονται στην ανακάλυψη συγκεκριμένων ιστορικών επιστημονικών οργάνων, έχουν δημιουργηθεί μια σειρά από διδακτικές εφαρμογές που αντιμετωπίζουν τα ιστορικά όργανα ως υλοποιημένες ιδέες ή ως μεθόδους. Με αυτή την έννοια, το ιστορικό αντικείμενο αντιμετωπίζεται πιο γενικά, αντιπροσωπεύοντας μια ολόκληρη κατηγορία παρόμοιων οργάνων που αξιοποιούν τις ίδιες επιστημονικές αρχές, αλλά μπορεί να έχουν διαφορετική μορφή ή να είναι φτιαγμένα από διαφορετικά υλικά. Οι προτάσεις που περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους εκτείνονται σε ένα εύρος μερικών δεκαετιών και αξιοποιούν διαφορετικές εκδοχές της ανακαλυπτικής μεθόδου μάθησης.

Κατά το τέλος της δεκαετίας του 1960, οι Devons and Hartman (Devons & Hartman 1970[210], Hoddeson 1971[211]) εισάγουν μια πρωτοποριακή για την εποχή διδακτική πρόταση, που περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός εργαστηρίου ιστορίας της επιστήμης στο πλαίσιο εργαστηριακού μαθήματος φυσικής στο *Τμήμα Φυσικής* του *Barnard College*, στο *Πανεπιστήμιο Columbia* της Νέας Υόρκης. Στην επινόηση του προγράμματος τους οδήγησε η σκέψη ότι, ενώ η λογική της πειραματικής διδασκαλίας θα όφειλε να περιλαμβάνει την εξερεύνηση της διαδικασίας του πειραματισμού, την άσκηση πάνω στην ακριβή μέτρηση, την κριτική παρατήρηση και τη μελέτη των ιδιοτήτων υλικών και οργάνων, οι στόχοι αυτοί ελάχιστα εκπληρώνονται στο πλαίσιο ενός τυπικού εργαστηρίου φυσικών επιστημών, όπου τα προκατασκευασμένα πειράματα, οι δεδομένες συσκευές, και τα συνήθη

ζητούμενα αφήνουν ελάχιστες δυνατότητες πειραματικής έρευνας, μετρήσεων ακριβείας και κριτικής παρατήρησης (Devons & Hartman 1970[210]). Για την προετοιμασία του εργαστηρίου οι ερευνητές εργάστηκαν ενάμιση περίπου χρόνο, προκειμένου να ανακατασκευάσουν συσκευές για τη διδασκαλία 30 περίπου πειραμάτων, που ανήκαν στην ιστορική περίοδο από τον 16^{ο} μέχρι και τον 20^{ο} αιώνα. Η ανακατασκευή βασίστηκε σε πρωτότυπα ιστορικά επιστημονικά κείμενα και σχέδια και περιελάμβανε ιστορική έρευνα για την ερμηνεία των αντίστοιχων κειμένων. Ανάμεσα στις διατάξεις που αναπαραστάθηκαν ήταν πειράματα των Αρχιμήδη, Γαλιλαίου, του Volta, του Φραγκλίνου, των Priestley, Cavendish, Oersted, Biot-Savart, Joule, Ampère, Faraday, Newton, Young, Ohm, Coulomb, Hertz κά. Μετά την ολοκλήρωση του σταδίου της προετοιμασίας, η ιδέα του νέου εργαστηρίου παρουσιάστηκε στους σπουδαστές, στους οποίους ανατέθηκε να σχηματίσουν ομάδες δύο ή τριών ατόμων και να επιλέξουν ένα ιστορικό πείραμα. Έχοντας τα ιστορικά ντοκουμέντα ως οδηγούς, οι ομάδες είχαν να προετοιμάσουν την εκτέλεση των πειραμάτων. Αυτό συχνά τους έφερνε αντιμέτωπους με ασυνήθιστες εργασίες, που έδιναν ιδιαίτερο χρώμα στο εργαστήριο, όταν έπρεπε να χρησιμοποιήσουν τα υλικά εποχής ή να μιμηθούν τις τεχνικές των ιστορικών πειραμάτων. Κάποιες φορές κατάφερναν να «παρέμβουν στην ιστορική επιστημονική σκηνή», βελτιώνοντας τις ιστορικές συσκευές με υλικά και τεχνικές που βρίσκονταν σε συμφωνία προς την αντίστοιχη εποχή. Η πειραματική εργασία των σπουδαστών ήταν στενά συνδεδεμένη με έρευνα πάνω στα ιστορικά κείμενα, από τα οποία αντλούσαν πληροφορίες για τα πειράματα και το ιστορικό πλαίσιο διεξαγωγής τους. Η εφαρμογή του προγράμματος έγινε αρχικά σε σπουδαστές που δεν είχαν ιδιαίτερη παιδεία στις φυσικές επιστήμες. Το πρόγραμμα αποδείχθηκε ιδιαίτερα επιτυχές, με βάση το γεγονός ότι οι συμμετέχοντες έδειξαν αυξημένο ενδιαφέρον για την πειραματική εργασία, δυσανάλογο προς το ενδιαφέρον που αντιστοιχούσε σε ένα τυπικό εργαστηριακό μάθημα φυσικών επιστημών. Επιδίωξη των εισηγητών του εργαστηρίου, το 1971, οπότε καταγράφηκαν τα πρώτα αποτελέσματα, ήταν να επεκτείνουν την εφαρμογή του προγράμματος σε σπουδαστές με παιδεία στις φυσικές επιστήμες, οι οποίοι θα ήταν σε θέση να θέσουν και να επεξεργαστούν πιο σύνθετα ιστορικά επιστημονικά ερωτήματα (Hoddeson 1971[211]).

Δεκαπέντε χρόνια αργότερα, στα μέσα τις δεκαετίας του 1980, στις ΗΠΑ, παρατηρείται ότι μόνο ένα χαμηλό ποσοστό μαθητών (16%) επιλέγει το μάθημα των φυσικών επιστημών και ότι οι επιδόσεις των μαθητών στις φυσικές επιστήμες εμφανίζονται, σε διεθνείς και εθνικές αξιολογήσεις, ιδιαίτερα χαμηλές. Ως αντίδραση σε αυτές τις προκλήσεις, η εκπαιδευτική κοινότητα αναπτύσσει δύο προτάσεις. Η πρώτη αφορά στην ανάπτυξη ολιστικών προγραμμάτων που προβάλλουν την επιστήμη ως κουλτούρα, αξιοποιώντας στοιχεία της ιστορίας της επιστήμης, και η δεύτερη αφορά στην καλύτερη αξιοποίηση της πειραματικής διδασκαλίας της επιστήμης. Από το 1983 και κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980, το *Bakken Museum* προτείνει εκπαιδευτικό πρόγραμμα για καθηγητές το οποίο επιχειρεί να συνδυάσει τις δύο παραπάνω προτάσεις. Μιλώντας πιο συγκεκριμένα, εν ενεργεία καθηγητές φυσικών επιστημών, καλούνταν σε θερινά σεμινάρια διάρκειας ενός μήνα που οργανώνονταν εκεί σε συνεργασία με το *Πανεπιστήμιο της Minnesota*. Μέχρι το 1990 είχαν οργανωθεί

σεμινάρια πάνω στην οπτική, την κυματική και την ακουστική, κάποια από τα οποία είχαν εθνική χρηματοδότηση[cliii]. Η ιδέα ήταν να εκπαιδευτούν οι καθηγητές στο να εισάγουν στη διδακτική πράξη πειραματικές διαδικασίες, εμπνευσμένες από την ιστορία της επιστήμης, οι οποίες θα βασίζονταν στη χρήση απλών υλικών και θα επεδίωκαν την ανάπτυξη πρωτοβουλίας από τους μαθητές (Lawrenz &Kipnis 1990[212], Kipnis 1994[213]). Το καλοκαίρι του 1987, μια ομάδα καθηγητών κλήθηκε να εργαστεί πάνω σε θέματα ταλαντώσεων και κυματικής. Σε ένα σύνθετο πρόγραμμα, που περιελάμβανε διαλέξεις, σεμινάρια ανταλλαγής εμπειριών και εργαστήρια, οι καθηγητές ενημερώνονταν για την ιστορική εξέλιξη των βασικών εννοιών, ανέπτυσσαν τις απόψεις τους πάνω στο πώς οι έννοιες αυτές θα μπορούσαν να διδαχθούν, και συνεργάζονταν σε ομάδες για τη διεξαγωγή εργαστηριακών ασκήσεων ανοιχτού τύπου. Μια τέτοια ομαδική εργαστηριακή άσκηση είχε ως ζητούμενο να ελεγχθεί ο νόμος που διατύπωσε ο Γαλιλαίος – ότι η περίοδος του εκκρεμούς δεν εξαρτάται από τη μάζα ή το πλάτος της ταλάντωσης – και να συζητηθεί η διαφωνία ανάμεσα στον Γαλιλαίο και τον Huygens[cliii]. Οι συμμετέχοντες καθηγητές, χρησιμοποιώντας μεθόδους μέτρησης του χρόνου – τόσο σημερινές, όσο και της εποχής του Γαλιλαίου – καλούνταν να διερευνήσουν το ερώτημα, αν το συμπέρασμα του Γαλιλαίου ήταν αποτέλεσμα μετρήσεων χαμηλής ακρίβειας (Lawrenz &Kipnis 1990[212]). Η αξιολόγηση του όλου προγράμματος επιμόρφωσης έδειξε ότι οι καθηγητές που το παρακολούθησαν μπόρεσαν να εισάγουν στη διδακτική πράξη δραστηριότητες που ενίσχυσαν τη δημιουργική κριτική σκέψη των μαθητών, την ικανότητά τους να διεξάγουν πειράματα, να απαντούν σε θεωρητικά ερωτήματα με πειραματικό τρόπο, να θέτουν οι ίδιοι ερωτήματα μέσα από κατάλληλες πρωτοβουλίες πειραματισμού. Επίσης, οι παραπάνω παρεμβάσεις έκαναν τους μαθητές να χαίρονται περισσότερο τα μαθήματα φυσικών επιστημών και επηρέασαν θετικά το ενδιαφέρον τους για σπουδές στις φυσικές επιστήμες (Lawrenz &Kipnis 1990[212], Kipnis 1994[213]).

Στις ΗΠΑ πάλι, στη δεκαετία του 1990, στο Πανεπιστήμιο του Τέξας, στο πλαίσιο της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών σε μελλοντικούς καθηγητές προοριζόμενους για τις υψηλότερες τάξεις της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, εφαρμόζεται πρόγραμμα που επιδιώκει να συνδυαστεί με το καθιερωμένο εργαστήριο στις φυσικές επιστήμες, παρουσιάζοντας την επιστήμη στο ιστορικό της πλαίσιο. Οι σχεδιαστές του προγράμματος βασίζονται στις αρχές της ανακαλυπτικής μάθησης που προωθεί στο εγχειρίδιο του Conant (Conant & Nash 1957/1966[256]), για να μετατρέψουν πολλές από τις κοινές εργαστηριακές ασκήσεις σε μελέτες πάνω σε ιστορικά πειράματα. Το πρόγραμμα ενσωματώνει ζητούμενα που δίνουν μαθητοκεντρικό τόνο στη διδασκαλία (Allchin et al. 1999[214]) (βλ. *ενότητα 7.1*).

Μια ακόμα πιο ελεύθερη ερευνητική διαδικασία αποτελεί, την τελευταία δεκαετία, η προσέγγιση της Elizabeth Mary Cavicchi, στο πρόγραμμα προπτυχιακών σπουδαστών *Ιστορίας της Επιστήμης και Τεχνολογίας* στο MIT. Η Cavicchi υιοθετεί ως βασική διδακτική προσέγγιση την *κριτική εξερεύνηση*

[cliii] Τρία από τα σεμινάρια χρηματοδοτήθηκαν από το *Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών* (National Science Foundation -NSF).

[cliii] Ο Γαλιλαίος είχε ανακαλύψει πειραματικά ότι οι ταλαντώσεις του εκκρεμούς ήταν ισόχρονες, τόσο για μικρού όσο και για μεγάλου πλάτους ταλαντώσεις, ενώ οι υπολογισμοί του Huygens κατέληγαν στο ότι αυτό ισχύει μόνο για μικρού πλάτους ταλαντώσεις.

(critical exploration), μια ανοιχτή πειραματική διαδικασία που φέρνει αντιμέτωπο τον σπουδαστή με ένα επιστημονικό ερώτημα και τον αφήνει να περιπλανηθεί δημιουργικά αναζητώντας απαντήσεις, ενώ ο διδάσκων παρακολουθεί την περιπλάνηση και παρεμβαίνει μόνο συμβουλευτικά. Καθώς τα ερωτήματα με τα οποία έρχονται αντιμέτωποι οι σπουδαστές είναι εμπνευσμένα από ιστορικά επιστημονικά κείμενα ή ιστορικά επιστημονικά όργανα, η εξερεύνησή τους συμπλέκεται δημιουργικά με την ιστορία της επιστήμης. Στόχος της παιδαγωγικής μεθόδου που χρησιμοποιεί η Cavicchi είναι η συνάντηση με την ιστορία της επιστήμης μέσα από μια διαδικασία που διεξάγεται στον παρόντα χρόνο και με σημερινά μέσα και υλικά. Επίσης, το πρόγραμμα προσπαθεί να μιμηθεί τον ανοιχτό τρόπο με τον οποίο ο επιστήμονας συνδέει ερεθίσματα της καθημερινής ζωής με την πειραματική έρευνα. Έτσι οι σπουδαστές είναι τελείως ελεύθεροι να αξιοποιήσουν τις ιδέες που τους έρχονται στο μυαλό, όντας αντιμέτωποι με ένα ιστορικό κείμενο ή ένα ερευνητικό πρόβλημα εμπνευσμένο από αυτό. Όταν, στο τέλος της διαδικασίας, ρωτήσει κάποιος, τελικά *πού βρίσκεται σε όλη αυτή τη διαδρομή η ιστορία της επιστήμης*, ανακαλύπτει ότι οι σπουδαστές ακολουθώντας τη δική τους γραμμή έρευνας έχουν σταθεί μπροστά σε προβληματισμούς ή αποφάσεις που τους οδηγούν στο να δουν τα κείμενα πρωταγωνιστών της ιστορίας με νέο φως και οικειότητα, καθώς έχουν κι εκείνοι αντιμετωπίσει τα ίδια ερευνητικά ερωτήματα. Παράλληλα, ο τρόπος που λειτουργούν οδηγεί τον καθέναν από αυτούς σε απροσδόκητα μονοπάτια έρευνας, τα οποία, συντιθέμενα, αποδεικνύουν πόσο διαφορετικές κατευθύνσεις μπορεί να πάρει ένα ερευνητικό ερώτημα και σε πόσο διαφορετικές τεχνικές επινοήσεις μπορεί να οδηγήσει (Cavicchi 2007[235], Cavicchi 2008a[215]).

Αντιμετωπίζοντας, επίσης, τα ιστορικά επιστημονικά όργανα ως μεθόδους, ο Pierre Lauginie χρησιμοποιεί, τη δεκαετία του 1990, στο *Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου του Orsay*, στη Γαλλία, ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα αξιοποίησης ιστορικών πειραμάτων που στέκεται ανάμεσα στην καθαρή έρευνα (που προτείνει, για παράδειγμα, το πρόγραμμα του *Πανεπιστημίου του Oldenburg*) και στην παραδοσιακή ακαδημαϊκή διδασκαλία. Στο πλαίσιο της διδακτικής πρότασης, πολύπλοκα πειράματα μέτρησης όπως το πείραμα *«Ζύγισης της Γης»* μελετήθηκαν μέσα από πειραματικές ασκήσεις που εκτελέστηκαν με τη βοήθεια εκπαιδευτικού μοντέλου της ζυγαριάς του Cavendish και των αντίστοιχων πρωτότυπων ιστορικών οργάνων. Στους σπουδαστές δεν ανατέθηκε η κατασκευή ενός επιστημονικού οργάνου, αλλά η αξιοποίηση του εκπαιδευτικού μοντέλου για την αναπαραγωγή των πειραμάτων μέτρησης ακριβείας του Cavendish. Θέματα όπως η ρύθμιση της συσκευής, η μέτρηση, η εκτίμηση της ποιότητας των μετρήσεων, η διόρθωση των αποτελεσμάτων ήταν ανάμεσα στα προβλήματα που οι σπουδαστές κλήθηκαν να αντιμετωπίσουν (Lauginie 2007[220]).

4.4. Μεθοδολογικές προσεγγίσεις και τρόποι αξιοποίησης των ιστορικών επιστημονικών οργάνων στο πλαίσιο της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης

Στις επόμενες ενότητες θα παρουσιαστούν διδακτικές προτάσεις αξιοποίησης των ιστορικών επιστημονικών οργάνων στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, που πραγματοποιήθηκαν, είτε στο πλαίσιο

της τυπικής εκπαιδευτικής διαδικασίας, είτε στο πλαίσιο προγραμμάτων που είχαν ως στόχο να γεφυρώσουν το χάσμα μεταξύ τυπικής και άτυπης εκπαίδευσης. Οι προτάσεις αυτές συζητιούνται εδώ, επειδή αναδεικνύουν μεθοδολογικές προσεγγίσεις που έχουν βασιστεί σε διαφορετικές ιστορικο-φιλοσοφικές τάσεις. Στην πρώτη περίπτωση (Kipnis 1994[213]), η μέθοδος εργασίας που αξιοποιείται είναι εμπνευσμένη από τις συζητήσεις της δεκαετίας του 1970 πάνω στην ανακαλυπτική μάθηση και ο στόχος του προγράμματος είναι οι μαθητές να ανακαλύψουν, μέσα από την εμπειρία, διαδικασίες, όπως η διατύπωση εξηγητικών υποθέσεων, ο σχεδιασμός πειραμάτων για τον έλεγχό τους, η διερεύνηση παραμέτρων που επηρεάζουν τα πειραματικά αποτελέσματα. Στη δεύτερη εφαρμογή (Heering 2000[208]), η μέθοδος έχει εμπλουτιστεί με το εγχείρημα της διαμόρφωσης θεωρητικών υποθέσεων που ενοποιούν διαφορετικά πειραματικά αποτελέσματα, της προσαρμογής των υποθέσεων σε νέα πειραματικά δεδομένα. Επίσης, θέματα όπως τα προβλήματα μέτρησης και τα διαφορετικά είδη πειραματισμού ανακαλύπτονται παράλληλα με τα θέματα μεθοδολογίας της επιστήμης που προαναφέρθηκαν.

4.4.1. Ιστορικά πειράματα στο πλαίσιο του προγράμματος του Bakken Museum – Πρόταση βασισμένη στην ιστορικο-διερευνητική μέθοδο μάθησης

Κατά τα μέσα της δεκαετίας του 1980, εφαρμόστηκε στο «*the Bakken Museum»* στη Μινεάπολη των ΗΠΑ εκπαιδευτικό πρόγραμμα που απευθυνόταν σε μαθητές. Το πρόγραμμα ήταν εμπνευσμένο από την έκθεση ιστορικών επιστημονικών οργάνων του Μουσείου και βασιζόταν στην αξιοποίηση της ιστορικο-διερευνητικής μεθόδου (historic-investigative method) στη διδακτική πράξη (Kipnis 1994[213]). Στόχος του προγράμματος ήταν να βρεθεί η χρυσή τομή ανάμεσα στις τυπικές εργαστηριακές ασκήσεις και στα ανοιχτού τύπου πειράματα. Η πρόταση του Kipnis έδινε αρκετή ελευθερία στους μαθητές, όμως ο τελικός στόχος της ήταν να παραχθούν «σωστά» αποτελέσματα. Ο ρόλος του καθηγητή ήταν να καθοδηγεί τους μαθητές να «πετύχουν», εκθέτοντάς τους παραδείγματα πειραματικής έρευνας, βοηθώντας τους στην επιλογή κατάλληλου εργαστηριακού εξοπλισμού, και οργανώνοντας συζητήσεις με περιεχόμενο την αξιολόγηση επιμέρους πειραματικών φάσεων. Το συνολικό πλάνο της εργασίας περιελάμβανε *προκαταρκτική* και *κυρίως* έρευνα. Στο *προκαταρκτικό στάδιο* γινόταν ενημέρωση πάνω στην ιστορική καταγωγή του προβλήματος, αρχικές παρατηρήσεις και πειράματα, διαμόρφωση ερευνητικών ερωτημάτων, επιλογή μεταβλητών για διερεύνηση και προσδιορισμός της διαδικασίας έρευνας. Στο κυρίως μέρος γινόταν προκαταρκτικά πειράματα, διαμορφώνονταν υποθέσεις, οι οποίες στη συνέχεια ελέγχονταν πειραματικά, και εξάγονταν συμπεράσματα. Το κυρίως μέρος της έρευνας επαναλαμβάνονταν για κάθε μια από τις μεταβλητές που είχαν επιλεγεί προς διερεύνηση (Kipnis 1996[234]).

Ο Kipnis χρησιμοποιεί ως παράδειγμα, εφαρμογής της παραπάνω διδακτικής μεθοδολογίας, ερευνητικό πρόγραμμα για τη διερεύνηση της *αγωγής του ηλεκτρισμού*. Στο προκαταρκτικό στάδιο, οι μαθητές, οι οποίοι ήδη γνωρίζουν ότι ορισμένα σώματα μπορούν να ηλεκτριστούν με τριβή και ότι η παρουσία ηλεκτρικού φορτίου μπορεί να ανιχνευτεί με τη βοήθεια ηλεκτροσκοπίου που φέρεται κοντά

στο ηλεκτρισμένο σώμα, μεταφέρονται στην εποχή του 1730, για να παρακολουθήσουν τα πειράματα αγωγής του ηλεκτρισμού που επινόησε ο Stephen Gray[cliv]. Ο Kipnis προτείνει οι μαθητές να επαναλάβουν τα πειράματα του Gray, τροποποιώντας τα ελαφρά. Αυτό το στάδιο το αποκαλεί «αρχικά πειράματα». Σε αυτό το σημείο οι μαθητές καλούνται να διαμορφώσουν ένα πρόβλημα[clv]. Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή μεταβλητών[clvi]. Κρατώντας όλες τις παραμέτρους του πειράματος σταθερές, και μεταβάλλοντας μόνο την υπό μελέτη παράμετρο, καταλήγουν σε κάποια συμπεράσματα[clvii]. Ακολουθεί η διαμόρφωση μιας υπόθεσης που αιτιολογεί τα πειραματικά αποτελέσματα[clviii]. Η υπόθεση ελέγχεται με την επινόηση περαιτέρω πειραμάτων. Ο Kipnis παρατηρεί ότι η παραπάνω διαδικασία, παρόλο που είναι επίπονη και χρονοβόρα, είναι πολύ πιο ουσιαστική από ένα τυπικό εργαστηριακό πείραμα (Kipnis 1996[234]).

Ο Kipnis σχολιάζει ότι η διερεύνηση ιστορικών πειραμάτων αποκαλύπτει στους μαθητές στιγμές από την ιστορία των επιστημονικών ανακαλύψεων. Προτείνει την επικέντρωση της πειραματικής έρευνας σε ποιοτικά και όχι ποσοτικά αποτελέσματα, ειδικά στα αρχικά στάδια διδασκαλίας των φυσικών επιστημών, χρησιμοποιώντας ως επιχείρημα το γεγονός ότι ο πειραματισμός στις φυσικές επιστήμες υπήρξε ποιοτικού χαρακτήρα για πολλούς αιώνες και μετατράπηκε σε ποσοτικό μόνο από τον 19^{ο} αιώνα και μετά. Τέλος, προτείνει τη χρησιμοποίηση παλαιών θεωριών για τη μελέτη της αλληλεπίδρασης μεταξύ θεωρίας και πράξης και την κατανόηση του πώς στην ιστορία σχεδιάστηκαν πειράματα, για να αντικρουστεί μια υπάρχουσα θεωρία ή του πώς αναπτύχθηκαν θεωρητικά και πειραματικά επιχειρήματα, για να υποστηριχθεί μια άλλη.

Η ιστορικο-διερευνητική μέθοδος, που προτείνει ο Kipnis, επιχειρεί να διδάξει τους μαθητές ότι η απάντηση σε ένα πρόβλημα, μπορεί να αναζητηθεί, όχι ρωτώντας τον καθηγητή ή ψάχνοντας στο εγχειρίδιο, αλλά σχεδιάζοντας και εκτελώντας ένα πείραμα. Παράλληλα, αποβλέπει στην ανάδειξη όψεων της φύσης της επιστήμης μέσα από εκπαιδευτικές διαδικασίες που επικεντρώνονται στην κατανόηση επί μέρους στοιχείων της μεθοδολογίας ή του ομαδικού χαρακτήρα της επιστημονικής έρευνας (Kipnis 1996[234]).

Η ιστορικο-διερευνητική μέθοδος που προτείνει ο Kipnis βασίζεται στην ανακαλυπτική διδακτική προσέγγιση της δεκαετίας του 1970. Τα σημεία της μετάβασης από τον επαγωγικό συμπερασμό στη διατύπωση θεωρητικών υποθέσεων, όπως και της κρίσης των παλαιών θεωριών, είναι ίσως τα

[cliv] Ο Stephen Gray παρατήρησε ότι, όταν έτριβε έναν γυάλινο σωλήνα, ο σωλήνας μπορούσε να έλκει ελαφριά αντικείμενα, αλλά η ιδιότητα της έλξης δεν περιοριζόταν μόνο στο υλικό που είχε τριφτεί. Ο φελλός που έφραζε το σωλήνα μπορούσε επίσης να έλκει ελαφρά αντικείμενα. Όταν ο Gray τρύπησε με ένα καρφί το φελλό και επανέλαβε το πείραμα, είδε ότι και το καρφί αποκτούσε επίσης την ικανότητα να έλκει. Ο Gray συμπέρανε ότι με κάποιον τρόπο η δύναμη της έλξης μεταβιβάζεται από ένα ηλεκτρισμένο σώμα σε άλλα.

[clv] Για παράδειγμα: «γιατί σε κάποιες περιπτώσεις το ενδιάμεσο σώμα ηλεκτρίζεται και σε άλλες όχι;»

[clvi] Το υλικό του ενδιάμεσου σώματος είναι ένα παράδειγμα μεταβλητής που μπορεί να τεθεί υπό έλεγχο.

[clvii] Κρατώντας, για παράδειγμα, όλες τις παραμέτρους του πειράματος σταθερές, και μεταβάλλοντας μόνο το ενδιάμεσο υλικό, οι μαθητές καταλήγουν στο συμπέρασμα, ότι το ηλεκτροσκόπιο αντιδρά, όταν το ενδιάμεσο σώμα είναι από μέταλλο ή ξύλο, αλλά δεν αντιδρά, όταν το ενδιάμεσο σώμα είναι από πλαστικό ή φελιζόλ. Αλλάζοντας στη συνέχεια το υλικό της βάσης, οδηγούνται στο συμπέρασμα ότι, αν το ενδιάμεσο σώμα είναι σταθερά από μέταλλο, το ηλεκτροσκόπιο αντιδρά, όταν η βάση είναι από πλαστικό ή φελιζόλ, αλλά δεν αντιδρά, όταν η βάση είναι από μέταλλο ή ξύλο.

[clviii] Μια τέτοια υπόθεση θα μπορούσε να είναι ότι «ο ηλεκτρισμός μπορεί να κυκλοφορεί, όπως το νερό, σε κάποια σώματα, αλλά να εμποδίζεται σε άλλα».

αδύνατα σημεία της μεθόδου, σε αντίθεση με το κομμάτι της διερεύνησης των πειραματικών μεταβλητών, για το οποίο τα δεδομένα αξιολόγησης έδειξαν ότι είχε άμεση επίδραση στην κριτική ικανότητα και την αυτενέργεια των μαθητών.

4.4.2. Ιστορικά πειράματα στο πλαίσιο του προγράμματος του Πανεπιστημίου του Oldenburg – Μια εφαρμογή αξιοποίησης νεώτερων αποχρώσεων της ανακαλυπτικής μάθησης

Στο πλαίσιο του ευρύτερου προγράμματος στο Πανεπιστήμιο του Oldenburg, ο Peter Heering κατάφερε, διδάσκοντας το αντικείμενο της ηλεκτροστατικής με τη βοήθεια ιστορικών πειραμάτων, από τη μια μεριά, να μεταφέρει στους μαθητές του, ηλικίας 16-18 ετών, το ενδιαφέρον των ανθρώπων του 18^{ου} αιώνα για τον ηλεκτρισμό και, από την άλλη, να αξιοποιηθούν τα ιστορικά πειράματα, για να διερευνηθεί διαμέσου αυτών η ιστορική οικοδόμηση της έννοιας του ηλεκτρικού φορτίου (Heering 2000[208]). Το ενδιαφέρον της διδακτικής πρότασης είναι ότι ο εισηγητής της χρησιμοποίησε αποτελεσματικά τη μέθοδο της ανακαλυπτικής μάθησης συνδυασμένης με την ιστορική προσέγγιση. Παρόλο που συνάντησε δυσκολίες, γιατί οι μαθητές, και ειδικά οι καλύτεροι σε επιδόσεις, ήταν συνηθισμένοι να παίρνουν απαντήσεις από το μάθημα, και όχι να μένουν με αναπάντητα ερωτήματα και μετέωρες θεωρητικές προσεγγίσεις, πέτυχε να επιβάλλει τη σταδιακή διερεύνηση του θέματος από τους ίδιους τους μαθητές. Μέσα από την εφαρμογή της διδακτικής πρότασης, οι μαθητές αντιμετώπισαν θέματα, όπως η παρατήρηση και εξήγηση των πειραματικών αποτελεσμάτων, η ανάγκη αναπροσαρμογής του θεωρητικού πλαισίου για την εξήγηση νέων πειραματικών δεδομένων, η επινόηση πειραμάτων, η επινόηση τρόπων μέτρησης, η εξέταση της ακρίβειας και αντικειμενικότητας των μετρήσεων, η διαπίστωση διαφορετικών ειδών πειραματισμού (Heering 2000[208]).

Ο Peter Heering είχε στη διάθεσή του μια σειρά από πιστά αντίγραφα ιστορικών επιστημονικών οργάνων, μιας σφαίρας από θειάφι – αντίγραφο της μηχανής του von Guericke, δύο τριβοηλεκτρικές μηχανές, πολλές φιάλες Leyden και διαφόρων τύπων ηλεκτροσκόπια.

Εισάγοντας τη διδακτική ενότητα, και διαπιστώνοντας ότι οι μαθητές είχαν ως βάση για την ερμηνεία των ηλεκτρικών φαινομένων την *έννοια του ηλεκτρονίου*, την οποία φαίνονταν να κατανοούν, και ότι χρησιμοποιούσαν τους όρους *θετικό - αρνητικό φορτίο* και *επαγωγή*, χωρίς να είναι βέβαιο ότι τους κατανοούσαν πλήρως, ο Heering αποφάσισε να εισάγει, ως ερευνητικά ερωτήματα, θέματα της πρώιμης έρευνας πάνω στην ηλεκτροστατική. Για ξεκίνημα, έθεσε στους μαθητές το ερώτημα, *ποια υλικά ηλεκτρίζονται και ποια όχι.* Εκείνοι, αφού εκτέλεσαν σχετική πειραματική έρευνα ήταν σε θέση να απαντήσουν ότι τα μέταλλα δεν μπορούν να ηλεκτριστούν, ενώ τα αντικείμενα που δεν είναι μεταλλικά μπορούν. Η διερεύνηση αναπτύχθηκε σταδιακά στα επόμενα μαθήματα μέσα από τα ερωτήματα που προέκυπταν από τους ίδιους τους μαθητές. Για παράδειγμα, το γεγονός ότι η ομάδα δεν ήταν σε θέση να διαπιστώσει, αν τα σώματα που ηλεκτρίζονται αποκτούν θετικό ή αρνητικό φορτίο, αλλά μπορούσε να εκφέρει άποψη μόνο για το αν τα ηλεκτρισμένα σώματα έχουν το ίδιο ή διαφορετικό φορτίο, την οδήγησε στο να εισάγει τη διάκριση μεταξύ *υαλώδους* και *ρητινώδους*

ηλεκτρισμού.

Το επόμενο πρόβλημα, που ο Heering εισήγαγε, συνίστατο στο να συνδέσουν οι μαθητές τις έννοιες της *ηλεκτρικής έλξης, ηλέκτρισης με επαφή* και *ηλεκτρικής άπωσης* σε ένα συνεκτικό εξηγητικό σχήμα και, σε επόμενη φάση, να διατυπώσουν μια θεωρία που να εξηγεί όλα τα πειραματικά τους αποτελέσματα. Μέσα από τη διαδικασία αυτή, οι μαθητές συνειδητοποίησαν ότι η ενσωμάτωση της ιστορίας της επιστήμης στο μάθημα της φυσικής δεν τους απάλλασσε από επίπονες νοητικές διαδικασίες. Διαπίστωσαν ότι είναι δύσκολο να διατυπώσουν θεωρίες που να εξηγούν το σύνολο των πειραματικών τους δεδομένων, και ότι, ακόμα κι αν το κατάφερναν, έπρεπε αυτές να τροποποιηθούν μετά από λίγα μαθήματα, υπό το φως νέων στοιχείων. Κάποιοι ανάμεσα στην ομάδα των μαθητών, δυσανασχετώντας για τον ανοιχτό χαρακτήρα της διαδικασίας, αρνήθηκαν να συνεχίσουν, εκφράζοντας με αυτόν τον τρόπο την ανάγκη τους το μάθημα να καταλήξει σε αδιαμφισβήτητες απαντήσεις, και όχι σε νέα ερωτήματα.

Παράλληλα με την παραπάνω διερεύνηση, που συνίστατο την ανακάλυψη των εννοιών μέσα από τον πειραματισμό, ο Heering εισήγαγε τους μαθητές στην ανακάλυψη της σχέσης επιστήμης και κοινωνίας μέσα από την αναπαράσταση πειραμάτων για το κοινό. Για το σκοπό αυτό, έδωσε στους μαθητές γκραβούρες του 18^{ου} αιώνα και, με τη βοήθεια των αντιγράφων των ιστορικών μηχανών, η ομάδα ανέλαβε να αναπαραστήσει δημοφιλή πειράματα της ίδιας εποχής. Οι μαθητές, μπαίνοντας στο ρόλο των ανθρώπων του 18^{ου} αιώνα, ανακάλυψαν τα ηλεκτρικά σοκ, ατομικά ή ομαδικά, και κατασκεύασαν κι εκείνοι τις δικές τους ηλεκτρικές μηχανές, και συγκεκριμένα, τις δικές τους φιάλες Leyden.

Όταν μετά από αρκετά μαθήματα, στα θέματα που προαναφέρθηκαν, η προσοχή επικεντρώθηκε στο θέμα της μέτρησης, η ομάδα αντιλήφθηκε ότι το ανθρώπινο σώμα έχει, συχνά, αποτελέσει τρόπο διαπίστωσης των πειραματικών αποτελεσμάτων και μέτρησης της αποτελεσματικότητας των συσκευών. Παρόλο που οι – εξοικειωμένοι με τις σύγχρονες συσκευές μέτρησης – μαθητές έδειξαν αρχικά αμηχανία σε αυτόν τον «ιδιαίτερο» τρόπο επικύρωσης των πειραματικών δεδομένων, ανταποκρίθηκαν, τελικά, στην πρόκληση να τον αξιοποιήσουν. Παράλληλα, όμως, σχολίασαν τον υποκειμενικό του χαρακτήρα και εξέφρασαν την ανάγκη για αντικειμενικότερη μέτρηση. Διαμόρφωσαν προτάσεις, όπως τη μέτρηση του μεγέθους του σπινθήρα ή την εκτίμηση του μέτρου των ελκτικών ή απωστικών δυνάμεων. Εφαρμόζοντας τις προτάσεις τους, διαπίστωσαν, ωστόσο, και σ' αυτές προβλήματα αντικειμενικότητας και ακρίβειας, που οφείλονταν στις συνθήκες των πειραμάτων ή στη συνθετότητα των παραγόντων που επηρέαζαν τα μετρούμενα αποτελέσματα.

Η διδακτική παρέμβαση έκλεισε με τη μελέτη των ερευνών του Coulomb μέσα από ιστορικά κείμενα, η οποία έδωσε τη δυνατότητα στους μαθητές να εντρυφήσουν στο θέμα της επιστημονικής ακρίβειας, των μοναχικών πειραμάτων και της «επαγγελματικής» κατασκευής επιστημονικών οργάνων. Το διαφορετικό αυτό είδος πειραματισμού που χρησιμοποιούσε ο Coulomb τέθηκε σε αντιδιαστολή με τα πειράματα για το κοινό που οι μαθητές είχαν τη δυνατότητα να εξερευνήσουν λίγα μαθήματα νωρίτερα.

4.4.3. Τρόποι αξιοποίησης των ιστορικών πειραμάτων και οργάνων στο πλαίσιο της τυπικής εκπαίδευσης στη Γαλλία

Η φυσική και η χημεία εισάγονται ως μάθημα στη Γαλλία στη δεύτερη βαθμίδα του κολεγίου (ηλικία 12 ετών) και, σε αυτό το αρχικό επίπεδο, δίνεται έμφαση στην πειραματική διδασκαλία. Το αναλυτικό πρόγραμμα προτείνει ο καθηγητής να εισάγει ενότητες, χρησιμοποιώντας την ιστορία της επιστήμης και οι μαθητές να εκτελούν αρκετές δραστηριότητες εμπνευσμένες από ιστορικά πειράματα. Επίσης, δίνει την ελευθερία στον καθηγητή να εισάγει θέματα ιστορίας της επιστήμης κατά την κρίση του ή ανταποκρινόμενος στις ερωτήσεις των μαθητών. Στην αμέσως επόμενη βαθμίδα (ηλικία 13 ετών), προτείνεται η ιστορία της επιστήμης να χρησιμοποιείται για την εισήγηση θεμάτων, όπως η εξέλιξη της ιδέας του μορίου, τα πειράματα του Ampère και του Volta, η έννοια του φυσικού νόμου μέσα από τις εργασίες του Ohm. Επίσης, προτείνεται οι μαθητές να ασχοληθούν με τη μελέτη των πρωτότυπων ιστορικών κειμένων που αναφέρονται στην εξέλιξη της ιδέας του μορίου, στον καθορισμό της ταχύτητας του ήχου και του φωτός, στις ανθρώπινες εφευρέσεις για την ανταλλαγή πληροφοριών από απόσταση. Επίσης, ο εκπαιδευτικός ενθαρρύνεται να βρίσκει τρόπους, ώστε να παρουσιάζει την πρόοδο της επιστημονικής γνώσης μέσα από την ιστορία της επιστήμης. Στην τελευταία βαθμίδα του κολεγίου (ηλικία 14 ετών) προτείνεται οι μαθητές να ασχοληθούν με τη μελέτη πρωτότυπων κειμένων πάνω στην ιστορία του ηλεκτρονίου και το άτομο, με τη μελέτη ιστορικών ντοκουμέντων πάνω στην έννοια του συνεχούς ρεύματος, πάνω στην εφεύρεση της ηλεκτροχημικής στήλης και στην ιστορία του φωτισμού (Fauque 2007[196]).

Πάνω στην ιδέα της ενίσχυσης των καθηγητών στην αξιοποίηση ιστορικών πειραμάτων στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών εργάζεται η ομάδα του *Εθνικού Ιδρύματος Επιστημονικών Ερευνών* της Γαλλίας (CRNS) (Blondel 2009[229]), που προαναφέρθηκε (βλ. *ενότητα 4.2.4*), χάρη στην οποία τα ιστορικά επιστημονικά όργανα έχουν ξαναμπεί στις τάξεις όλων των γαλλικών σχολείων.

4.4.4. Γεφυρώνοντας το χάσμα μεταξύ τυπικής και άτυπης επιστημονικής εκπαίδευσης

Στη Σουηδία, ο σχεδιασμός της επιστημονικής εκπαίδευσης επηρεάζεται από το ρεύμα που εκφράζεται σε διεθνές επίπεδο, μετά τη δεκαετία του 1970, και στοχεύει στη μετατόπιση από το στόχο της κατασκευής επιστημόνων στο στόχο της επιστήμης «για όλους τους πολίτες» ή αλλιώς στον επιστημονικό αλφαβητισμό. Στη νεώτερη αναμόρφωση των αναλυτικών προγραμμάτων, το 2000, μόνο το 50% των στόχων αφορά στη γνώση του περιεχομένου των φυσικών επιστημών. Οι στόχοι του προγράμματος έχουν ομαδοποιηθεί στις κατηγορίες: *i) Άνθρωπος και Φύση, ii) το Επιστημονικό Εγχείρημα* και *iii) Οι Εφαρμογές της Γνώσης*. Οι περισσότεροι από τους στόχους στις δύο τελευταίες από αυτές τις κατηγορίες αφορούν σε γενικότερες εφαρμογές της επιστήμης και αλληλεπιδράσεις της με την κοινωνία και όχι στη γνωστική διερεύνηση καθαρά επιστημονικών θεμάτων. Το διευρυμένο αναλυτικό πρόγραμμα έχει νέες απαιτήσεις από τους δάσκαλους και καθηγητές των φυσικών επιστημών, με τις οποίες συνήθως δεν είναι εξοικειωμένοι. Στο πλαίσιο αυτό, η συνεργασία μεταξύ ιστορικών επιστημονικών μουσείων και σχολείων έχει πολλά να προσφέρει στους εκπαιδευτικούς που

επιφορτίζονται με την εφαρμογή των διευρυμένων αναλυτικών προγραμμάτων.

Ως παράδειγμα μιας τέτοιας συνεργασίας ο Andersson (Andersson 2008[198]) περιγράφει μια πρωτοβουλία του *Museum Gustavianum* του *Πανεπιστημίου της Ουψάλα*, στη Σουηδία, το οποίο αναπτύσσει σε συνεργασία με καθηγητές μια σειρά από εκπαιδευτικά προγράμματα με στόχο την αξιοποίηση συλλογής ιστορικών επιστημονικών οργάνων του 18ου και 19ου αιώνα που αποτελούν την *Αίθουσα Φυσικής* (Cabinet of Physics). Ανάμεσα στις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν, ήταν ο συνδυασμός της παρατήρησης των ιστορικών οργάνων με την πραγματοποίηση πειραμάτων από τους μαθητές, που έγινε εφικτός με την προσθήκη διαδραστικών εκθεμάτων στο χώρο της έκθεσης. Ένας δεύτερος τρόπος ήταν η αξιοποίηση εκπαιδευτικών ή φοιτητών για τη διαμεσολάβηση ανάμεσα στα εκθέματα και το μαθητικό κοινό. Οι εκπαιδευτικοί και οι φοιτητές είχαν τη δυνατότητα να γεφυρώνουν το κενό ανάμεσα στην τυπική και την άτυπη εκπαίδευση, βοηθώντας τους μαθητές να συνδέσουν θέματα σχολικής φυσικής με τα εκθέματα του μουσείου. Η εφαρμογή του προγράμματος απέδειξε ότι, τόσο οι μουσειοεκπαιδευτές (που συνήθως στοχεύουν στη σφαιρικότητα κατά την ανάπτυξη των εκθεμάτων και στην επιλογή τρόπων, ώστε αυτά να προκαλούν την περιέργεια και το στοχασμό στους επισκέπτες), όσο και οι εκπαιδευτικοί (οι οποίοι κυρίως σκέπτονται την επιστημονική διδασκαλία ως περιεχόμενο) μετέβαλλαν τους στόχους τους προκειμένου να πλησιάσουν οι μεν την οπτική των δε. Παράλληλα, οι εκπαιδευτικοί που συμμετείχαν στο πρόγραμμα εκτίμησαν τα ιστορικά επιστημονικά όργανα ως πολύτιμα για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών, γιατί, τόσο τα ίδια τα φαινόμενα, όσο και επιτεύγματα της επιστήμης και οι πρακτικές εφαρμογές της έγιναν περισσότερο πραγματικά και κατανοητά μέσα από τις προτάσεις διδακτικής αξιοποίησης της συλλογής (Andersson 2008[198]).

Η «ερμηνεία» των εκθεμάτων μέσα από κατάλληλα οργανωμένα εργαστήρια είναι ο τρόπος που επιλέγεται από το *Μουσείο Ιστορίας της Φυσικής του Πανεπιστημίου της Πάδοβα* για την αποτελεσματικότερη σύνδεση των εκθέσεων ιστορικών επιστημονικών οργάνων με τους στόχους της δευτεροβάθμιας επιστημονικής εκπαίδευσης. Η έντονη εντύπωση που τα ιστορικά όργανα προκαλούν, συμπληρώνεται από την εκτέλεση πειραμάτων από τους μαθητές στο ειδικά οργανωμένο εργαστήριο, πράγμα που βοηθά στην κατανόηση της λειτουργίας των οργάνων και των επιστημονικών αρχών που αξιοποιούν (Talas 2008[225]).

Σε πολλά Μουσεία Ιστορίας της Επιστήμης, τα εργαστήρια που οργανώνονται προωθούν, παράλληλα με την κατανόηση της λειτουργίας των ιστορικών οργάνων, την εξερεύνηση θεμάτων ιστορίας της επιστήμης. Έτσι, τόσο στο *Μουσείο Ιστορίας της Επιστήμης της Οξφόρδης* όσο και στο *Museo Galileo* της *Φλωρεντίας*, οι στόχοι εξερεύνησης της επιστήμης και της ιστορίας της συμπλέκονται. Στην πρώτη περίπτωση, παράλληλα με τη λειτουργία του μικροσκοπίου, οι μαθητές ανακαλύπτουν τα ιστορικά σχέδια του Robert Hooke, ενώ, στο εργαστήριο του *Museo Galileo*, η αξιοποίηση ακριβών αντιγράφων των οργάνων του μουσείου και ο προσανατολισμός των διδακτικών στόχων στη σύνδεση της επιστήμης με την τέχνη έχουν ως αποτέλεσμα, παράλληλα με την εξερεύνηση των επιστημονικών αρχών, οι μαθητές να απορροφούν πληροφορίες που σχετίζονται με

το ιστορικό πλαίσιο (προσωπική επίσκεψη 2006, 2010).

4.5. Σύνοψη και συζήτηση

Στο πλαίσιο της παρούσας ενότητας, προσπαθήσαμε να περιγράψουμε διαφορετικές μεθόδους ανάδειξης των ιστορικών επιστημονικών οργάνων, τόσο στο πλαίσιο της τυπικής, όσο και της άτυπης επιστημονικής εκπαίδευσης. Όσον αφορά στην άτυπη εκπαίδευση, επικεντρωθήκαμε σε προτάσεις μουσείων ή ερευνητικών φορέων που συνάδουν με τις σύγχρονες ιστοριογραφικές και φιλοσοφικές προσεγγίσεις, οι οποίες δίνουν έμφαση, αφ' ενός στη μελέτη των επιστημονικών οργάνων και των ιστορικών πειραμάτων στο ιστορικό τους πλαίσιο, και αφετέρου στην κατανόηση του πειράματος ως διαδικασίας.

Το ίδιο θεωρητικό πλαίσιο έχει γονιμοποιήσει δύο ειδών προτάσεις διερεύνησης του επιστημονικού αντικειμένου και διδασκαλίας της επιστήμης στην τριτοβάθμια εκπαίδευση. Η πρώτη κατηγορία αντιμετωπίζει τα ιστορικά επιστημονικά όργανα ως μοναδικά ιστορικά αντικείμενα και προσπαθεί να «αναγνώσει» θέματα της ιστορίας της επιστήμης μέσα από τη λειτουργία ή την ακριβή ανακατασκευή τους. Η δεύτερη κατηγορία αντιμετωπίζει τα ιστορικά επιστημονικά όργανα ως υλοποιημένες ιδέες ή ως μεθόδους και προσπαθεί να προσεγγίσει, μέσα από διαδικασίες εξερεύνησης, τις ιδέες που τα γέννησαν ή τις αρχές που τα διέπουν. Και οι δύο προσεγγίσεις διερευνούν θέματα μεθοδολογίας της επιστήμης, φύσης των επιστημονικών οργάνων και των πειραματικών διαδικασιών, ενώ μελετούν το περιεχόμενο της επιστήμης σε σύνδεση με το ιστορικό πλαίσιο.

Η εισαγωγή των προτάσεων αξιοποίησης των ιστορικών επιστημονικών οργάνων στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση καθορίζεται, τόσο από ατομικές πρωτοβουλίες, όσο και από κατευθύνσεις των αναλυτικών προγραμμάτων που ενισχύουν την εισαγωγή της ιστορίας της επιστήμης στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών και την προώθηση συνεργασιών μεταξύ σχολείων και επιστημονικών μουσείων. Οι διαφορετικές πρωτοβουλίες και διδακτικές προσεγγίσεις αντηχούν και σε αυτή την περίπτωση τις σύγχρονες τάσεις και μετατοπίσεις στο θεωρητικό υπόβαθρο διδασκαλίας της επιστήμης.

5. ΕΠΙΛΟΓΟΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ

Η πρόσφατη αναζήτηση της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης πάνω στη φύση των επιστημονικών οργάνων έχει τροφοδοτήσει σειρά από προτάσεις αξιοποίησής τους στη διδακτική πράξη, τόσο μέσα από μορφές της άτυπης, όσο και της τυπικής επιστημονικής εκπαίδευσης. Το θεωρητικό πλαίσιο που διαμορφώνεται δίνει έμφαση στην ανάδειξη των επιστημονικών οργάνων στο ιστορικο-κοινωνικό τους πλαίσιο και σε θέματα φύσης του πειράματος.

Οι παραπάνω προβληματισμοί συναντούν ένα άλλο ρεύμα προβληματισμών που αφορούν στην εισαγωγή της ιστορίας της επιστήμης στην επιστημονική διδασκαλία. Παρατηρείται ότι η έμφαση της δεκαετίας του 1980 στη μελέτη της εξέλιξης των επιστημονικών ιδεών, που είχε διαμορφώσει διδακτικές προσεγγίσεις που επικεντρώνονταν στην ανάδειξη του εφήμερου των επιστημονικών θεωρήσεων, έχει ατονήσει, για να δώσει τη θέση της σε προσεγγίσεις που στρέφονται προς τη μελέτη του πειράματος και προς θέματα μεθοδολογίας της επιστήμης. Οι προσεγγίσεις αυτές διαμορφώνουν έναν ανανεωμένο τύπο ανακαλυπτικής μάθησης, που ευνοεί τη μελέτη πειραμάτων στο ιστορικό τους πλαίσιο και την αξιοποίηση των ιστορικών επιστημονικών οργάνων. Στο πλαίσιο αυτό, καταγράφονται τάσεις που ενθαρρύνουν τη συγχώνευση προγραμμάτων άτυπης επιστημονικής εκπαίδευσης στην τυπική διδασκαλία μέσα από προγράμματα συνεργασίας μουσείων και σχολείων.

Τα ερωτήματα που η παραπάνω επισκόπηση δημιουργεί στη δική μας έρευνα είναι το κατά πόσο θα ήμασταν σε θέση, μέσα από ένα πρόγραμμα μη τυπικής επιστημονικής εκπαίδευσης, να έρθουμε αντιμέτωποι με τους βασικούς προβληματισμούς του σύγχρονου σχεδιασμού της επιστημονικής διδασκαλίας και, πιο συγκεκριμένα, αν θα ήμασταν σε θέση να επινοήσουμε ένα πρόγραμμα εξερεύνησης ιστορικών επιστημονικών οργάνων, τέτοιο ώστε να μπορεί:

- να συνδεθεί αποτελεσματικά με την τυπική επιστημονική εκπαίδευση.
- να λειτουργήσει ως τρόπος εκλαΐκευσης της επιστημονικής γνώσης.
- να αναδείξει τη συγκεκριμένη συλλογή επιστημονικών οργάνων.
- να καλλιεργήσει μια νέα εκπαιδευτική κουλτούρα.
- να καλλιεργήσει θετική στάση και ενδιαφέρον για τις φυσικές επιστήμες.
- να συνδέσει, αποτελεσματικά, στοιχεία της ιστορίας της επιστήμης με την επιστημονική διδασκαλία.
- να αναδείξει στοιχεία του σύγχρονου προβληματισμού πάνω στη φύση της επιστήμης, τη φύση του πειράματος και τη φύση των ιστορικών οργάνων.
- να φωτίσει στοιχεία της μεθοδολογίας των ιστορικών πειραμάτων.
- να αναδείξει την πολιτισμική διάσταση της επιστημονικής γνώσης.
- να κινητοποιήσει μαθητοκεντρικά προσανατολισμένες διαδικασίες.
- να έχει ευελιξία εφαρμογής σε διαφορετικό κοινό και διαφορετικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα.

Β' ΜΕΡΟΣ: Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Εικόνα 6.1: Συνδέοντας την επιστήμη με την τέχνη και τον πολιτισμό

6. ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

6.1. Το πλαίσιο

6.1.1. Από το ιστορικό εργαστήριο Φυσικών Επιστημών στο Μουσείο Φυσικής της Χίου

Η «Σχολή της Χίου» (βλ. *ενότητα 2.4*) άρχισε να λειτουργεί ξανά γύρω στο 1840. Από το 1852, το επιστημονικό εργαστήριο άρχισε να εφοδιάζεται με νέα επιστημονικά όργανα. Παρόλο που δεν άγγιξε ξανά ποτέ τη φήμη της προεπαναστατικής περιόδου, συνέχισε για πολλές δεκαετίες να είναι ένα σημαντικό κέντρο για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών, διαθέτοντας όργανα σπάνια για τα ελληνικά, ακόμα και για τα ευρωπαϊκά δεδομένα. Το εργαστήριο συνέχισε να εξοπλίζεται, μέχρι και τη δεκαετία του 1970, με πρωτοβουλία της τοπικής κοινότητας και χορηγίες μελών της καθώς και με τη συνδρομή, κατά τις δεκαετίες 1960, 1970, του ελληνικού κράτους, στο πλαίσιο του γενικού εξοπλισμού των σχολικών εργαστηρίων φυσικών επιστημών. Κατά τη δεκαετία του 1980, η πειραματική διδασκαλία υποβαθμίστηκε, οι αίθουσες του εργαστηρίου μετατράπηκαν σε αίθουσες διδασκαλίας και πολλά από τα ιστορικά όργανα του εργαστηρίου υπέστησαν φθορές ή καταστράφηκαν. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1990, με πρωτοβουλία καθηγητών της Χίου και τη σύμφωνη γνώμη των τοπικών εκπαιδευτικών και διοικητικών αρχών, άρχισε η επισκευή της συλλογής, η οποία διήρκεσε τέσσερα περίπου χρόνια. Από το 2001, το παλαιό εργαστήριο άνοιξε τις πόρτες του στο κοινό υπό την ιδιότητα του *Μουσείου Φυσικής της Χίου*. Ενσωματωμένο, μέχρι το 2011, στο 1^{ο} Γυμνάσιο Χίου καλύπτει δύο μεγάλες αίθουσες του ισογείου του σχολείου, που στο παρελθόν αποτελούσαν τις αίθουσες πειραματικής άσκησης των μαθητών.

Το σημερινό κτίριο που στεγάζει το Μουσείο χτίστηκε το 1884. Το κτίριο του 1839, που διαδέχθηκε το κτίριο που καταστράφηκε το 1822, κατά τη σφαγή της Χίου, καταστράφηκε από σεισμό το 1881 και επανακατασκευάστηκε το 1884, παίρνοντας τη μορφή που έχει σήμερα. Εκτός από το εργαστήριο Φυσικής υπήρχε και Χημείο με κτιστό πάγκο (Ζολώτας 1926 σελ.592-657[257], Μπουρνιάς 2005[45]). Το Χημείο επικοινωνούσε με εσωτερική πόρτα με μεγάλο αμφιθέατρο 80 θέσεων, το οποίο διέθετε και δεύτερη ανεξάρτητη είσοδο. Το αμφιθέατρο διέθετε πάγκο πειραμάτων, που ήταν σχεδιασμένος στα πρότυπα του πάγκου του Πανεπιστημίου Αθηνών και είχε ενσωματωμένη παροχή συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος. Διέθετε μαυροπίνακα με κινητό το κάτω μέρος, το οποίο, όταν ανυψωνόταν, αποτελούσε παράθυρο για το παρασκευαστήριο, που βρισκόταν ακριβώς από πίσω. Το παρασκευαστήριο ήταν μια μικρή αίθουσα που επικοινωνούσε με το αμφιθέατρο με πόρτα, ενώ είχε και ανεξάρτητη είσοδο. Ο πάγκος χρησιμοποιούταν για επιδείξεις πειραμάτων φυσικής και χημείας. Για τον εμπλουτισμό των επιστημονικών διαλέξεων, το εργαστήριο διέθετε όργανα προβολής, που ανανεώνονταν, όταν άλλαζε η αντίστοιχη τεχνολογία. Ο προβολέας διαφανειών της εποχής του 1840, που λειτουργούσε με κερί, είναι σήμερα το παλαιότερο όργανο της συλλογής. Ο επόμενος προβολέας, της εποχής του 1920, λειτουργούσε με τόξο άνθρακα. Αυτόν τον διαδέχθηκε το επιδιασκόπιο, των μέσων του 20^{ου} αιώνα, που λειτουργούσε με λαμπτήρα.

Τα πρώτα όργανα φυσικής και χημείας, που είχαν αγοραστεί στη Βιέννη και έφθασαν στη Σχολή το 1815, καταστράφηκαν ολοσχερώς το 1822 (Άμαντος 1976 σελ.31-42[117]). Τα παλαιότερα όργανα που αποτελούν σήμερα μέρος της συλλογής του μουσείου αγοράστηκαν από στη Γαλλία, το 1852 (Ζολώτας 1926 σελ. 646-650[257]). Ανάμεσα σ' αυτά περιλαμβάνονται αντλία κενού *Fontana Spinelli* κατασκευασμένη στη Μασσαλία, ζεύγος ημισφαιρίων του Μαγδεμβούργου, τηλεσκόπιο, ηλιακό μικροσκόπιο *Gaggini*, συσκευές για την επίδειξη πειραμάτων ηλεκτροστατικής, ανάμεσα στις οποίες υπάρχουν ηλεκτρικές καμπάνες και φιάλες Leyden, συσκευές για τη παραγωγή ηλεκτρικών εκκενώσεων σε μειωμένη πίεση που ονομάζονται ηλεκτρικά αυγά (electric eggs), ηλεκτροστατική μηχανή Ramsden κατασκευασμένη από τον οίκο *Pixii*, ηλεκτροστατική μηχανή *Carré*, ηλεκτροφόρος του Volta, μπαταρίες Bunsen, ουράνια σφαίρα κατασκευασμένη από τον οίκο *A.Grosselin*, προβολέας διαφανειών με κερί ή μαγικός φανός (Μπουρνιάς 2005[45]). Νέες σειρές οργάνων, που αγοράστηκαν από τη Γαλλία το 1884-5, 1889-90 και το 1911, προστέθηκαν στον εξοπλισμό του εργαστηρίου (Χαροκόπος 2006 σελ. 458, 510[121]). Ανάμεσα στα όργανα που αγοράστηκαν πριν την έναρξη του 20ου αιώνα, περιλαμβάνονται στήλη του Volta, μαγνητοηλεκτρική μηχανή Grammé κατασκευασμένη από τον οίκο *Breguet*, μικρό μοντέλο ατμομηχανής τραίνου που λειτουργεί με οινόπνευμα και νερό, σπινθηροβόλοι σωλήνες (electric snakes) που συνδέονταν με την ηλεκτροστατική γεννήτρια Carré, διάφορες συσκευές για την επίδειξη ηλεκτροστατικών φαινομένων, φορητός σκοτεινός θάλαμος (camera obscura) που χρησίμευε στη σχεδίαση αντικειμένων, κρήνη του Ήρωνα, συσκευές για την επίδειξη χημικών και ηλεκτροχημικών φαινομένων. Ανάμεσα στις συσκευές που αγοράστηκαν το 1911 περιλαμβάνονται όργανα ακριβείας, όπως αραιόμετρα, βαρόμετρα, πυρόμετρα, διάφορα είδη θερμομέτρων, συσκευές για την επίδειξη υδροστατικών και υδροδυναμικών φαινομένων, ζευγάρι σεισμογράφων, καθοδικοί σωλήνες, τηλέγραφος Breguet με οθόνες, συσκευές για την επίδειξη ηλεκτροστατικών, ηλεκτρομαγνητικών και οπτικών φαινομένων. Κάποια από τα θερμόμετρα έχουν κατασκευαστεί από τον γαλλικό οίκο *Pixii*, ενώ, κάποια από τα πυρόμετρα και ο μπρούντζινος οπτικός δίσκος του εργαστηρίου έχουν κατασκευαστεί από τον οίκο *Alvergniat* (Μπουρνιάς 2005[45]).

Το 1923, το εργαστήριο εξοπλίστηκε με νέα σειρά επιστημονικών οργάνων γερμανικής κατασκευής, της εταιρείας *Max Kohl*, τα οποία παραχωρήθηκαν από το Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών. Στο τελευταίο είχε δοθεί μεγάλος αριθμός επιστημονικών οργάνων από τη Γερμανία στο πλαίσιο των πολεμικών επανορθώσεων του πρώτου παγκοσμίου πολέμου. Νέα σειρά οργάνων κατασκευής *Max Kohl* αγοράστηκε από το Σχολείο το 1927. Ανάμεσα στα όργανα κατασκευής *Max Kohl* που αποκτήθηκαν κατά τη δεκαετία του 1920 περιλαμβάνονται μηχανή του Atwood, προβολέας διαφανειών με τόξο άνθρακα, σύστημα ασύρματου τηλέγραφου Morse, πηνίο Ruhmkorff, πηνίο Tesla και φασματοσκόπιο. Το 1927 το Σχολείο προμηθεύεται και μια σειρά μετεωρολογικών οργάνων γαλλικής κατασκευής για επαγγελματική χρήση, των οίκων *Jules Richard* και *Cam Opticien.* Με τη βοήθειά τους, λαμβάνονταν μετεωρολογικές μετρήσεις, οι οποίες αποστέλλονταν στην κεντρική μετεωρολογική υπηρεσία καθημερινά, τηλεγραφικά ή τηλεφωνικά. Τα μετεωρολογικά όργανα είχαν τοποθετηθεί σε ειδικά κατασκευασμένο μετεωρολογικό κλωβό,

τοποθετημένο στο προαύλιο του Σχολείου, ο οποίος λειτουργούσε μέχρι το 1960 (Μπουρνιάς 2005[45]).

Το 1958 και το 1962 νέες σειρές οργάνων κατασκευασμένες από τον οίκο *Phywe* αγοράστηκαν από τη Γερμανία, ανάμεσα στα οποία περιλαμβάνονταν γυροσκόπια, ηλεκτρικές αντλίες κενού, μοντέλα μηχανών εσωτερικής καύσης, μηχανή Van der Graaf, μετρητής Geiger, θάλαμος Wilson. Το 1972, πραγματοποιήθηκε αγορά νέων οργάνων, αγγλικής αυτή τη φορά κατασκευής, των οίκων *Griffin* και *Philip Harris*. Ανάμεσα σε αυτά περιλαμβάνονταν αντλία παραγωγής πολύ υψηλού κενού. Από τη δεκαετία του 1950 μέχρι και τη δεκαετία του 1990, το εργαστήριο εξοπλίζονταν παράλληλα και από το Υπουργείο Παιδείας, με όργανα κατασκευασμένα, τα παλαιότερα, από την Ελληνική Βιομηχανία Επιστημονικών Οργάνων (ΕΒΙΟ) και τα νεώτερα από το Εργοστάσιο Εποπτικών Μέσων του Υπουργείου Παιδείας. Ανάμεσα σε αυτά περιλαμβάνεται ανεμογεννήτρια που ήταν τοποθετημένη στην οροφή του κτιρίου και χρησιμοποιείτο, για να φορτίζει τις μπαταρίες του εργαστηρίου (Μπουρνιάς 2005[45]).

Εικόνα 6.2. Γενιές οργάνων στο Μουσείο Φυσικής της Χίου. Όργανα των αρχών του 20ου αιώνα για επίδειξη ή πρακτική

Η συλλογή του Μουσείου Φυσικής της Χίου περιλαμβάνει σήμερα περίπου 800 επιστημονικά όργανα, τα οποία έχουν ταξινομηθεί στις κατηγορίες *Όργανα Γενικής Χρήσης, Μηχανική, Μηχανική Ρευστών, Μετεωρολογία, Ταλαντώσεις και Κύματα, Θερμότητα, Οπτική, Ηλεκτρισμός, Μαγνητισμός, Ατομική Φυσική, Χημεία, Βιολογία, Αστρονομία, Γεωγραφία, Προβολείς και άλλα Βοηθητικά Όργανα* (Μπουρνιάς 2005[45]). Ο ασκημένος στα επιστημονικά όργανα σημερινός επισκέπτης μπορεί να διακρίνει τέσσερεις τουλάχιστον γενιές επιστημονικών οργάνων· τα ντελικάτα επιστημονικά όργανα από μπρούντζο, ξύλο και γυαλί του 19ου και των αρχών του 20ου αιώνα που προορίζονταν για επίδειξη, τα επιστημονικά όργανα *Max Kohl* της εποχής του 1920 φτιαγμένα από μπρούντζο ή σίδηρο για επίδειξη ή χρήση από τους μαθητές, τα μοντέρνας τεχνολογίας όργανα επίδειξης του τελευταίου ήμισυ του 20ου αιώνα και τα βασισμένα σε απλή σχεδίαση όργανα της ίδιας περιόδου που

προορίζονταν για πρακτική εργαστηριακή άσκηση.

Από το 2001, το ιστορικό εργαστήριο της Σχολής της Χίου άνοιξε τις πόρτες του στο κοινό ως Μουσείο Φυσικής της Χίου, τμήμα του Μουσείου Ιστορίας και Φυσικής του 1^{ου} Γυμνασίου Χίου, μετά από μια περίοδο τεσσάρων περίπου ετών, κατά τη διάρκεια της οποίας τα 800 περίπου όργανα της συλλογής συντηρήθηκαν, συγκεντρώθηκαν και ταξινομήθηκαν (Μπουρνιάς κ.ά. 2002[258]).

6.1.2. Χαρακτηριστικά του εκπαιδευτικού προγράμματος 2003-2008

Από το 2003, η διδακτική αξιοποίηση του Μουσείου Φυσικής της Χίου τέθηκε σε πιο οργανωμένη βάση, και το μουσείο άρχισε να αποκτά ενός είδους εκπαιδευτική ταυτότητα. Σ' αυτό υπήρξε καθοριστικό το γεγονός ότι, αφενός, η διδακτική πρόταση που ανέλαβα να συνθέσω για το σκοπό αυτό τέθηκε παράλληλα στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, και, αφετέρου, ότι η έναρξη της διαδικασίας σύνθεσης της διδακτικής αυτής πρότασης συνέπεσε με την ολοκλήρωση της επισκευής του ιστορικού Αμφιθεάτρου, με την πρόθεση το Μουσείο να ανοίξει στο κοινό και να αποκτήσει εκπαιδευτική δράση. Όπως θα φανεί στις παραγράφους που ακολουθούν, τα βασικά χαρακτηριστικά του εκπαιδευτικού προγράμματος 2003-2008 ήταν ότι συνδύαζε την απαίτηση για αποτελεσματικότητα με τον ερευνητικό χαρακτήρα, ότι το περιεχόμενό του, ο πληθυσμός-στόχος του σταδιακά διευρυνόταν, ενώ, παράλληλα, πολλαπλασιάζονταν και οι διδακτικές μέθοδοι και εργαλεία που χρησιμοποιούνταν.

Όσον αφορά στο πρώτο χαρακτηριστικό, το εκπαιδευτικό πρόγραμμα στο Μουσείο Φυσικής ήταν η πρώτη προσπάθεια να τεκμηριωθούν τα εκθέματα ως ψηφίδες της ιστορίας της ιστορίας της επιστήμης και του πολιτισμού. Όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια, για τα παλαιότερα εκθέματα, τα οποία δεν αποτελούσαν μέρος των πειραματικών ασκήσεων φυσικών επιστημών που διδάσκονταν από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα, η έρευνα στην ιστορία των φυσικών επιστημών και της διδασκαλίας τους ήταν ο μόνος τρόπος τα παλαιότερα αυτά όργανα να αναγνωριστούν και να επανενταχθούν σε διδακτικές διαδικασίες. Η ερευνητική αυτή διαδικασία τεκμηρίωσης των εκθεμάτων με αναφορά στην ιστορία της επιστήμης, είχε, παράλληλα, αντίκτυπο στην οργάνωση του εκθεσιακού χώρου, όταν, σε πολλές περιπτώσεις, τα όργανα τοποθετούνταν, έτσι ώστε να παραπέμπουν σε συγκεκριμένα πειράματα, αντί απλά να παρατίθενται το ένα πλάι στο άλλο. Είχε ακόμα ως αποτέλεσμα να επισκευαστούν τμήματα συσκευών ή να συμπληρωθούν, έτσι ώστε τα επιμέρους όργανα να συντεθούν σε ευρύτερες πειραματικές διατάξεις, οι οποίες τοποθετήθηκαν στο χώρο της έκθεσης με τρόπο, ώστε να είναι δυνατόν να λειτουργήσουν.

Το περιεχόμενο του προγράμματος σταδιακά διευρυνόταν, προσφέροντας τη δυνατότητα εξερεύνησης ολοένα και μεγαλύτερου μέρους του μουσείου. Μετά τα πέντε χρόνια εφαρμογής του, περίπου το ένα τρίτο των επιστημονικών οργάνων του μουσείου είχαν βρει τη θέση τους μέσα σε σενάρια που τα αναδείκνυαν ως επιστημονικά εργαλεία και ως ψηφίδες της ιστορίας της επιστήμης και του πολιτισμού. Από το 2003 μέχρι το 2008, σταδιακά, φωτίστηκαν θέματα της ιστορίας του ηλεκτρισμού του 19^{ου} αιώνα, ο προβληματισμός του 17^{ου} αιώνα πάνω στην ύπαρξη και τις ιδιότητες

του κενού, ο ηλεκτρισμός κατά τον 18^{ο} αιώνα, θέματα σχετικά με τους μαγνήτες και τον ηλεκτρομαγνητισμό, θέματα αστρονομίας και οπτικής. Με τον τρόπο αυτό, το φασματοσκόπιο, οι σωλήνες αερίων, το πηνίο Ruhmkorff, οι αντλίες κενού, τα ημισφαίρια του Μαγδεμβούργου, το βαροσκόπιο, ο σωλήνας του Torricelli, οι ηλεκτροστατικές γεννήτριες, οι φιάλες Leyden, οι καμπάνες του Φραγκλίνου, τα διαφόρων ειδών ηλεκτροσκόπια, διάφορες συσκευές για την παραγωγή ηλεκτρικών σπινθήρων, η στήλη του Volta, και ακόμη, ο μαγνητόλιθος, οι μαγνήτες, οι πυξίδες, η μαγνητοηλεκτρική γεννήτρια και οι ηλεκτρομαγνητικοί κινητήρες, οι φακοί και τα πρίσματα αποτέλεσαν, ταυτόχρονα, πρωταγωνιστές ιστοριών και πειραμάτων (Πάπαρου κ.ά. 2005[20], Pararou et al. 2007[24], Paparou 2011[31]).

Ο πληθυσμός-στόχος του προγράμματος συνίστατο αρχικά σε μαθητές Γυμνασίου και Λυκείου, καθηγητές φυσικών επιστημών και τεχνολογικών μαθημάτων, για να προστεθούν σταδιακά, μαθητές Δημοτικού, δάσκαλοι, ενήλικες εκπαιδευόμενοι σε Σχολείο Δεύτερης Ευκαιρίας, καθηγητές διαφόρων ειδικοτήτων και κοινό. Παράλληλα, το πρόγραμμα διευρυνόταν σταδιακά, απευθυνόμενο τους πρώτους μήνες της εφαρμογής του στους μαθητές του σχολείου, σύντομα στους μαθητές και καθηγητές της Χίου, και αργότερα στην εκπαιδευτική κοινότητα της Περιφέρειας Βορείου Αιγαίου και της Ελλάδας. Από το 2006 μέχρι το 2008, οι εκπαιδευτικές παρεμβάσεις του μουσείου αποτέλεσαν άξονες για το σχεδιασμό και την εφαρμογή ευρωπαϊκών συνεργασιών, με τη βοήθεια των οποίων απευθυνθήκαμε σε διεθνές κοινό – μαθητών, εκπαιδευτικών και μουσειοεκπαιδευτών (Paparou et al. 2008a[26], Paparou 2009a[28], Paparou 2011[31]).

Η προσπάθεια διεύρυνσης του προγράμματος και του προσανατολισμού του προς διαφορετικούς πληθυσμούς-στόχους επέβαλε την αξιοποίηση διαφορετικών διδακτικών μέσων και μεθόδων. Η πρώτη διδακτική παρέμβαση αφορούσε στην εφαρμογή πειραματικών διαλέξεων που είχαν τη μορφή μαθήματος-θεάματος και επιχειρούσαν να ελκύσουν το ενδιαφέρον των συμμετεχόντων, μέσα από πειραματικά, και οπτικοακουστικά συμβάντα, όπως και μέσα από τη συζήτηση. Το κοινό, που αποτελούνταν κυρίως από μαθητές Γυμνασίου και Λυκείου, καλούνταν να κάνει υποθέσεις, να παρατηρήσει πειραματικά αποτελέσματα, να βγάλει συμπεράσματα. Ωστόσο, παρόλο που οι πειραματικές διαλέξεις βασίζονταν στη συμμετοχή του κοινού, το είδος των παρεμβάσεων αυτών δεν μπορεί να χαρακτηριστεί μαθητοκεντρικό, γιατί το κοινό κατείχε το ρόλο του ακροατηρίου. Οι διδακτικές παρεμβάσεις που διαδέχθηκαν τις πειραματικές διαλέξεις είχαν περισσότερο μαθητοκεντρικό χαρακτήρα και απέβλεπαν στην ενεργή εμπλοκή των μαθητών και εκπαιδευομένων στη μαθησιακή διαδικασία. Οι μέθοδοι που κυρίως χρησιμοποιήθηκαν ήταν η μέθοδος έρευνας πεδίου (fieldwork) και σχεδίου εργασίας (project method), ενώ οι δραστηριότητες που προωθήθηκαν ενέπλεκαν τους συμμετέχοντες στην εκτέλεση πειραμάτων και την ανακατασκευή ιστορικών επιστημονικών συσκευών και οργάνων.

Όπως αναλύεται στις ενότητες που ακολουθούν, το σύνολο των παραπάνω προτάσεων αποτέλεσαν ένα φάσμα καινοτόμων δραστηριοτήτων για το ελληνικό σχολικό περιβάλλον. Οι πειραματικές διαλέξεις στάθηκαν μοχλοί προώθησης της ιδέας της διεπιστημονικής προσέγγισης των

επιστημονικών θεμάτων και της παρουσίασής τους με αναφορές στην ιστορική σκηνή. Αποτέλεσαν επίσης μοχλό προώθησης της ιστορικής ιδέας ότι η διδασκαλία των φυσικών επιστημών καθίσταται πολύ ελκυστικότερη, όταν απευθύνεται, όχι μόνο στη λογική, αλλά και στις αισθήσεις (βλ. *ενότητα 2.1*). Από την άλλη μεριά, οι προτάσεις που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο των ευρωπαϊκών προγραμμάτων είχαν ως κύρια στόχευση την κινητοποίηση της πρωτοβουλίας μαθητών και εκπαιδευομένων.

Το φάσμα των παραπάνω προτάσεων λειτούργησε ως γέφυρα μεταξύ της άτυπης και της τυπικής εκπαίδευσης. Διαμορφωμένες, αρχικά, τόσο οι πειραματικές διαλέξεις, όσο και πολλές από τις προτάσεις ενεργητικής μάθησης που διατυπώθηκαν στο πλαίσιο των ευρωπαϊκών προγραμμάτων, επιδιώχθηκε, και σε ένα βαθμό επιτεύχθηκε, να ενταχθούν τμηματικά στην τυπική διδασκαλία των φυσικών επιστημών και της τεχνολογίας, εμπλουτίζοντας τις παραδοσιακά ακολουθούμενες μεθόδους με νέο περιεχόμενο, τεχνικές και μεθοδολογία. Παράλληλα, το περιεχόμενο και το πνεύμα των πειραματικών διαλέξεων συχνά διαχεόταν μέσα στο σχολικό περιβάλλον και την εκπαιδευτική κοινότητα μέσα από παράλληλες δράσεις με κέντρο τους μαθητές. Έτσι, θέματα που θίγονταν στην πειραματική διάλεξη πάνω στην αστρονομία εξερευνήθηκαν και διαμέσου δράσεων διαθεματικής προσέγγισης που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο πολιτιστικού προγράμματος με τίτλο «Επιστήμη και Λογοτεχνία» (2003-4, 2004-5, 2006-7) ανάμεσα στις οποίες ήταν η παραγωγή θεατρικής παράστασης (Πάπαρου 2005[35]), η οργάνωση δρώμενων και η συγγραφή σεναρίων από τους μαθητές.

Το εκπαιδευτικό πρόγραμμα 2003-2008 στο Μουσείο Φυσικής της Χίου δεν θα μπορούσε να είχε οργανωθεί χωρίς τη συνδρομή της Διεύθυνσης Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης Χίου, τη σύμφωνη γνώμη του 1ου Γυμνασίου Χίου, στου οποίου τη δραστηριότητα ήταν σ' ένα βαθμό ενσωματωμένο, την οικονομική στήριξη του Δήμου, της Νομαρχίας Χίου, καθώς και των «Φίλων της Αίθουσας Ιστορίας του 1ου Γυμνασίου Χίου Μουσείου», συλλόγου που είχε ως πυρήνα παλαιούς μαθητές και καθηγητές του σχολείου. Επίσης, οι δράσεις που οργανώθηκαν στο πλαίσιο των Ευρωπαϊκών προγραμμάτων δεν θα μπορούσαν να είχαν πραγματοποιηθεί, χωρίς τη χρηματοδότηση από το ΙΚΥ της συμμετοχής μου στο πρόγραμμα ενδοϋπηρεσιακής κατάρτισης *School and Science Museum: Cooperation for Improving Teaching, Learning and Discovering*, αρ. 94348-CP-1-2001-1-IT-Comenius-C21 (2006), και χωρίς τη χρηματοδότηση των ευρωπαϊκών δράσεων Comenius *Σχολείο και Επιστημονικό Μουσείο*, αρ. 07-GRC01-CO06-000234-1 (2007-2009), και Grundtvig *Ανακαλύπτοντας την Επιστήμη ως Κουλτούρα διαμέσου των Ευρωπαϊκών Επιστημονικών Μουσείων*, αρ. 07-GRC01-GR04-00025-1 (2007-2008).

6.1.3. Βασικά ερωτήματα και πηγές έμπνευσης

Όπως ήδη αναφέρθηκε στην εισαγωγή, δύο ήταν τα βασικά ερωτήματα που τέθηκαν, όταν ξεκίνησε το εγχείρημα «ανάγνωσης» και «ανάδειξης» των ιστορικών επιστημονικών οργάνων του Μουσείου Φυσικής της Χίου, μέσα από την κατασκευή του εκπαιδευτικού προγράμματος φυσικών επιστημών. Το πρώτο ήταν πρακτικό, είχε σχέση με τη λειτουργία των συσκευών και το δεύτερο με τη θέση τους

στην ιστορία της επιστήμης και του πολιτισμού (Πάπαρου κ.ά. 2005[20], Paparou et.al 2007[25]).

Για την απάντησή τους επιστρατεύτηκαν στοιχεία της ευρέως διαδομένης ιδέας της δεκαετίας του 1990 στο χώρο της διδακτικής των φυσικών επιστημών, που ήταν αυτή της αξιοποίησης της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης ως εργαλεία για την οικοδόμηση προτάσεων διδασκαλίας που να αναδεικνύουν την ανθρωπιστική και πολιτισμική διάσταση της επιστημονικής γνώσης και να απευθύνονται σε όλους τους μαθητές (Matthews 1994 σελ.32[99], Stinner & Williams 1998[259]).

Ως πηγές έμπνευσης και άντλησης υλικού στα αρχικά στάδια κατασκευής του εκπαιδευτικού προγράμματος χρησιμοποιήθηκαν επιστημονικά εγχειρίδια-σταθμοί σε διεθνές ή εθνικό επίπεδο, όπως το πανεπιστημιακό εγχειρίδιο *Harvard Case Histories in Experimental Science* (Conant & Nash 1957/1966[256]), το οποίο εκδόθηκε για πρώτη φορά το 1947, το λίγο μεταγενέστερο, επίσης πανεπιστημιακό εγχειρίδιο *Introduction to Concepts and Theories in Physical Science* (Holton & Brush 1985[260]) και το ελληνικό σχολικό εγχειρίδιο φυσικής (Δαπόντες κ.ά. 1997α[261], Δαπόντες κ.ά. 1997β[262]). Το εγχειρίδιο του Conant (Conant & Nash 1957/1966[256]) ιχνηλατεί την ιστορία των επιστημονικών εννοιών και ιδεών μέσα από την ιστορία πειραμάτων, πειραματικών διατάξεων και συσκευών. Η προσέγγιση του Holton (Holton & Brush 1985[260]) είναι περισσότερο θεωρητική και επικεντρώνεται στην εξέλιξη των επιστημονικών ιδεών. Ο Holton δεν εξετάζει τις επιστημονικές έννοιες στον πειραματικό μικρόκοσμο, αλλά στον μακρόκοσμο διαφορετικών συστημάτων σκέψης και πολιτισμικών ρευμάτων. Σε αντίθεση με τα προηγούμενα εγχειρίδια, από τα οποία το πρώτο έχει ως δομική μονάδα τα ιστορικά πειράματα και το δεύτερο την εξέλιξη των επιστημονικών ιδεών, στο ελληνικό σχολικό εγχειρίδιο, που προαναφέρθηκε, ο βασικός άξονας άρθρωσης του περιεχομένου αποτελεί το ακαδημαϊκό περιεχόμενο της φυσικής, το οποίο, ωστόσο, διανθίζεται με ιστορικά ντοκουμέντα και σχόλια.

Παράλληλα με τα παραπάνω, πηγή έμπνευσης για τη μορφή που θα δίναμε στο εκπαιδευτικό υλικό αποτέλεσε το πρωτοποριακό για την εποχή του εκπαιδευτικό λογισμικό *Pavia Project Physics* (Bevilaqua & Bordoni 1998[227]). Το τελευταίο αξιοποιούσε την ιστορία και τη φιλοσοφία της επιστήμης ως άξονες σύνθεσης του περιεχομένου του, το οποίο αναφερόταν, μεταξύ άλλων, στο ιστορικό εργαστήριο του Alessandro Volta στο *Πανεπιστήμιο της Παβία*. Ιστορικά ντοκουμέντα, όπως οι σημειώσεις, τα δημοσιεύματα και η αλληλογραφία του Volta, προσομοιώσεις των ιστορικών επιστημονικών οργάνων του εργαστηρίου και της λειτουργίας τους, συνδυάζονταν με την ανάπτυξη ιστορικών πληροφοριών και επιστημολογικών σχολίων.

Στο διάστημα ανάπτυξης των ενοτήτων του εκπαιδευτικού προγράμματος, ως πηγές άντλησης πληροφοριών πάνω σε ιστορικά πειράματα και ιστορικά επιστημονικά όργανα, όπως και άντλησης ιδεών σχετικά με τους δυνατούς τρόπους ανάδειξης της μουσειακής συλλογής και παραγωγής υλικού εξ αποστάσεως εκπαίδευσης στάθηκαν η ιστοσελίδα του *Institute and Museum of the History of Science*, του σημερινού *Museo Galileo* (IMSS 1994-2010[263]) και ειδικά οι ενότητες *Horror Vacui* (IMSS 1999[264]) και *Multimedia Catalogue* (IMSS 1995-2010[265]). Επίσης, σημαντική ενθάρρυνση για τις κατευθύνσεις που είχαμε δώσει στο πρόγραμμα δεχθήκαμε από την επίσκεψη στο *Deutsches*

Museum και τη μελέτη του εκθεσιακού χώρου, των οργανωμένων εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων και του παραγόμενου εκπαιδευτικού υλικού[clix]. Τέσσερα στοιχεία ήταν ιδιαίτερα ενδιαφέροντα εδώ. Το πρώτο αφορούσε στη μακρόχρονη κουλτούρα του μουσείου ως προς την ιστορική προσέγγιση των φυσικών επιστημών, το δεύτερο αφορούσε στη μέριμνα, ώστε τα εκθέματα να μπορούν να ενδιαφέρουν και να απευθύνονται σε κοινό με διαφορετικά επίπεδα επιστημονικού αλφαβητισμού, το τρίτο ήταν ο τρόπος με τον οποίο το μουσείο πετύχαινε να εμπλέξει τους κάθε είδους και ηλικίας επισκέπτες του σε διαδικασίες ενεργητικής μάθησης και το τέταρτο το πώς οι εκθεσιακοί χώροι παρείχαν ταυτόχρονα επιστημονική πληροφόρηση και αισθητηριακή απόλαυση.

Σημαντικές ενθαρρύνσεις στη διάρκεια της κατασκευής του προγράμματος δεχθήκαμε, επίσης, όταν διαπιστώσαμε ότι σημαντικές πρωτοβουλίες για την ανάδειξη και αξιοποίηση ιστορικών επιστημονικών συλλογών σχολείων στη Γαλλία έχουν ακολουθήσει παρόμοιες με τις δικές μας κατευθύνσεις (Gires 1997[7], 2004[8], 2006[9], Fauque 2007[196], Fauque 2009[266]). Ο Francis Gires παρουσιάζοντας τις ιστορικές συλλογές τριών γαλλικών σχολείων παραθέτει αναφορές σε ιστορικά πειράματα και σε σελίδες από ιστορικά σχολικά εγχειρίδια (Gires 1997[7], 2004[8], 2006[9]). Η Danielle Fauque (Fauque 2007[196], Fauque 2009[266]) περιγράφει οδηγία εισαγωγής της ιστορίας της επιστήμης στο πρόγραμμα σπουδών των φυσικών επιστημών στο Γυμνάσιο που αναφέρεται στην οργάνωση διδακτικής ενότητας, με κέντρο τη στήλη του Volta. Η οδηγία προτείνει τη μελέτη πρωτότυπων επιστημονικών κειμένων, την παρακολούθηση βιντεοσκοπημένων πειραμάτων πραγματοποιημένων με την ιστορική στήλη, και την πραγματοποίηση πειραμάτων με σύγχρονα αντίγραφα της συσκευής.

Ενθάρρυνση στο να προσδώσουμε μια απόχρωση δημόσιου θεάματος στο εκπαιδευτικό πρόγραμμα αποτέλεσαν διδακτικές προτάσεις αναβίωσης της κουλτούρας διάδοσης της επιστήμης, την εποχή του 18ου και του πρώιμου 19ου αιώνα, και συγκεκριμένα της κουλτούρας των πειραματικών διαλέξεων (Taylor 1988[16]) και των πειραμάτων για το κοινό (Teichmann et al. 2006[253], Heering 2007[236]). Έτσι, σε πολλές περιπτώσεις, και ιδιαίτερα στην περίπτωση της ενότητας που αναφέρεται στον ηλεκτρισμό, ο δημόσιος χαρακτήρας των ιστορικών παρουσιάσεων χρησιμοποιήθηκε ως διδακτικό εργαλείο στο εγχείρημα της μεταμόρφωσης των μαθημάτων φυσικής σε πειραματικές διαλέξεις.

Τέλος, κατά τη διαδικασία εμπλουτισμού του εκπαιδευτικού προγράμματος του Μουσείου Φυσικής, μετά το 2006, με δράσεις μαθητοκεντρικού χαρακτήρα, αντλήσαμε έμπνευση από τα εκπαιδευτικά προγράμματα στο *Bakken Museum*, που είχαν ως αντικείμενο την ανακατασκευή ιστορικών πειραμάτων με απλά υλικά (Lawrenz &Kipnis 1990[212], Kipnis 1994[213]) (βλ. *ενότητα 4.4.1*).

6.1.4. Από τα επιστημονικά όργανα της συλλογής στην ιστορία της επιστήμης

Όπως προαναφέρθηκε στην εισαγωγή, η οικοδόμηση του εκπαιδευτικού προγράμματος συνδέθηκε με

[clix] Η επίσκεψη πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του του σεμιναρίου ενδοϋπηρεσιακής κατάρτισης Grundtvig για εν ενεργεία εκπαιδευτικούς και μουσειοεκπαιδευτές, με τίτλο “School and Science Museum: Cooperation for Improving Teaching, Learning and Discovering”, και αρ. 94348-CP-1-2001-1-IT-Comenius-C21, που πραγματοποιήθηκε, στο διάστημα 6-11 Μαρτίου 2006.

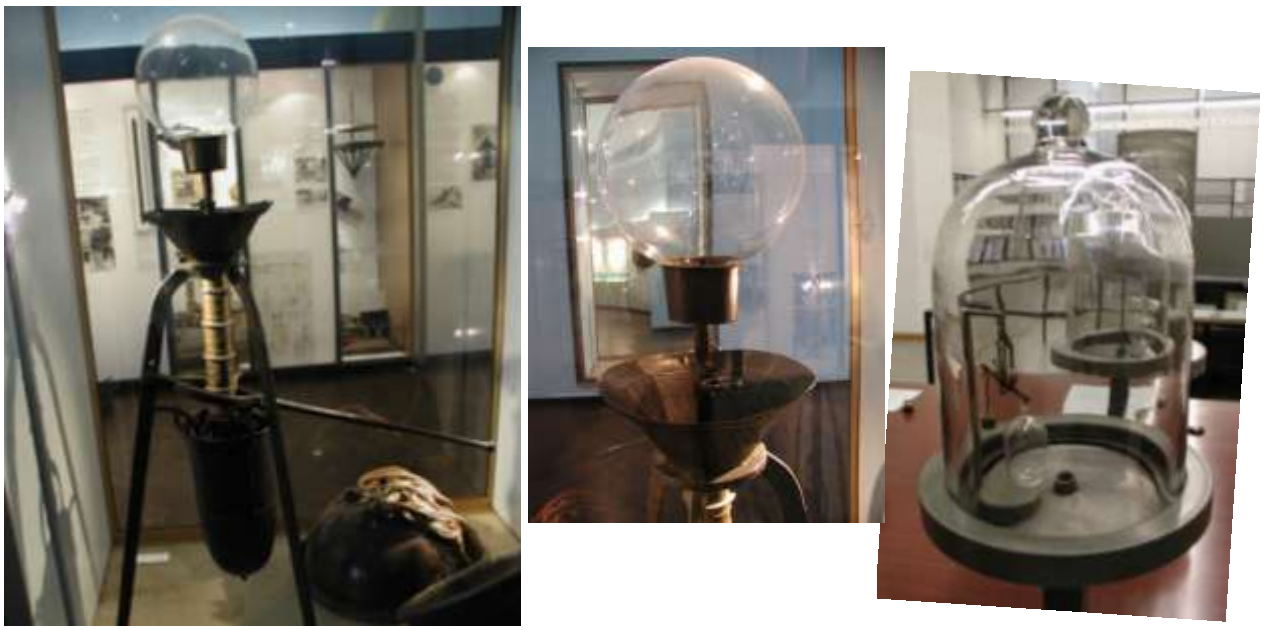
μια ερευνητική διαδικασία, κατά την οποία τα επιστημονικά όργανα της συλλογής έγιναν σταδιακά μέρος ενός συνειρμικού ιστού «αναμνήσεων» που ανήκουν στο χώρο της ιστορίας της επιστήμης, είτε στο χώρο της ιστορίας της εκπαίδευσης. Καθώς η συλλογή δεν περιλαμβάνει ερευνητικά επιστημονικά όργανα, αλλά κυρίως εκπαιδευτικά και λίγα επαγγελματικά όργανα, αντιμετωπίσαμε τα όργανα ως εκπροσώπους των αντίστοιχων πρωτότυπων ιστορικών συσκευών.

Εικόνα 6.3: Από τα εκθέματα στην Ιστορία της Επιστήμης: Όψεις από το εκπαιδευτικό υλικό που παράχθηκε για την ενημέρωση του κοινού σχετικά με το πρόγραμμα φυσικών επιστημών στο Μουσείο Φυσικής της Χίου, 2003-2008

Έτσι, η αντλία κενού, δεν στάθηκε απλώς για μας ένα εργαλείο με το οποίο αφαιρούμε τον αέρα, αποδεικνύοντας, για παράδειγμα, ότι το νερό μπορεί να βράσει χωρίς να το θερμάνουμε μέσα στο θάλαμο της αεραντλίας, όταν η πίεση χαμηλώσει αρκετά. Αντίθετα, στάθηκε, στη συγκεκριμένη περίπτωση, εκπρόσωπος της αντλίας του Boyle, ο οποίος εκτέλεσε το ίδιο πείραμα, για πρώτη φορά στην ιστορία, κατά το δεύτερο ήμισυ του 17^{ου} αιώνα. Με παρόμοιο τρόπο το φασματοσκόπιο δεν είναι απλά ένα όργανο με το οποίο παρατηρούμε τα γραμμικά φάσματα των στοιχείων, αλλά εκπρόσωπος του φασματοσκοπίου το οποίο οι Gustav Kirchhoff & Robert Bunsen παρουσιάζουν, το 1860, ως εργαλείο που επιτρέπει την ταυτοποίηση των ήδη γνωστών στοιχείων και την ανακάλυψη νέων (Kirchhoff & Bunsen 1860[267]). Ανάλογα οι φιάλες Leyden που υπάρχουν στο μουσείο γίνονται αφορμή για αναφορά στο πείραμα του Pieter van Musschenbroek, με τη βοήθεια του οποίου ανακαλύφθηκε στη δεκαετία του 1740 ο πρώτος στην ιστορία πυκνωτής (Musschenbroek 1946 στους Roller&Roller 1957/1966 σελ.594-595[268]), οι ηλεκτρικές καμπάνες στην αντίστοιχη επινόηση του Benjamin Franklin (Franklin 1753[269]), το τηλεσκόπιο στο πρώτο τηλεσκόπιο που στράφηκε ποτέ στον ουρανό και στις παρατηρήσεις που έκανε με αυτό ο Γαλιλαίος πάνω στα φεγγάρια του Δία (Galilei 1610/1880 σελ.12-14[270]). Με παρόμοιο τρόπο, η σειρά των ηλεκτροστατικών γεννητριών Ramsden, Carré, Wimschurst, Van der Graaf του μουσείου αποτελεί αφορμή για αναφορά στην ιστορία των ηλεκτροστατικών γεννητριών, ενώ ο εξάντας αφορμή για αναφορά σε ιστορικούς εξάντες (Hevelius 1673[271]) κ.ό.κ. Ο κατάλογος είναι ιδιαίτερα μακρύς, καθώς μέσα από τις σελίδες του εκπαιδευτικού υλικού που παράχθηκε στο διάστημα 2003-2008, τα επιστημονικά όργανα του μουσείου γίνονται

εφαλτήριο για αναφορά σε περισσότερους από σαράντα επιστήμονες και περισσότερα από εκατό διαφορετικά ιστορικά επιστημονικά επεισόδια.

Η εκπαιδευτική αυτή προσέγγιση συμφωνεί με την αντίστοιχη πρόταση του Deutsches Museum, που χρησιμοποιεί στον εκθεσιακό του χώρο αναπαραστάσεις ιστορικών πειραμάτων που πραγματοποιούνται με σύγχρονες συσκευές, οι οποίες προκαλούν το κοινό να τις «αγγίξει». Έτσι, στη θέση των *δύο ανδρών που πετύχαιναν, μετά από πολύωρη εργασία, τη δημιουργία επαρκούς κενού* όταν, το 1650, χρησιμοποιούσαν την πρώτη στην ιστορία αεραντλία του von Guericke, υπάρχει, σήμερα, ένας *διακόπτης που το πάτημά του παράγει μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα το ίδιο αποτέλεσμα* με τη βοήθεια ηλεκτρικής αεραντλίας. Κάποιος σύγχρονος ιστορικός θα είχε ίσως να παρατηρήσει ότι, παρόλο που με τη βοήθεια μιας τέτοιας μοντέρνας αναπαράστασης η βασική ιδέα του ιστορικού πειράματος γίνεται κατανοητή, η ιστορική πειραματική διαδικασία δεν αναπαρίσταται με συνέπεια. Ωστόσο, από τους σχεδιαστές της έκθεσης του *Deutsches Museum,* που είναι ήδη αρκετών δεκαετιών, δόθηκε προτεραιότητα, όχι στην ακριβή αναπαράσταση των ιστορικών πειραμάτων, αλλά στην ευκολία αναπαραγωγής των βασικών αρχών και ιδεών που αυτά έφεραν (βλ. και *ενότητα 4.2.8*).



Εικόνα 6.4.:Deutsches Museum: Ιστορικά πειράματα για την εξερεύνηση των ιδιοτήτων του κενό: (α), (β) Η ιστορική αντλία του von Guericke, (γ) Σύγχρονες αναπαραστάσεις ιστορικών πειραμάτων

Η ίδια προσέγγιση, της παραγωγής απλοποιημένων εκδοχών των ιστορικών πειραμάτων συνάδει με τη λογική των σχολικών εγχειριδίων του 19^{ου} αιώνα (βλ. ενό*τητα 2.5*) και των κατασκευαστών οργάνων για εκπαιδευτική χρήση, από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα μέχρι τις αρχές του 20^{ου} (βλ. *ενότητες 1.5-1.6*). Την περίοδο αυτή τα διδακτικά εγχειρίδια έχουν πολύ συχνά αναφορές στα ιστορικά πειράματα, ενώ τα επιστημονικά όργανα για εκπαιδευτική χρήση, ακολουθώντας τη λογική των σχολικών εγχειριδίων, παρουσιάζουν τις αρχές της φυσικής μέσα από απλοποιημένες εκδοχές τους.

Με τον τρόπο που στις παραγράφους που προηγήθηκαν περιγράφτηκε, τα ιστορικά όργανα του

Μουσείου Φυσικής συνδέθηκαν με σελίδες της ιστορίας της επιστήμης και, παράλληλα, με σελίδες της ιστορίας της εκπαίδευσης.

Εικόνα 6.5.: « Συνδέοντας» τα εκθέματα με αναμνήσεις:
Από το βιβλίο του Ganot (Ganot 1859 σελ.119[5]) στο Μουσείο Φυσικής της Χίου, 2005

6.1.5. Από την ιστορία της επιστήμης στα εκθέματα

Σε πολλές περιπτώσεις, η περιπλάνηση στην ιστορία της επιστήμης, μας οδήγησε στο να συνδυάσουμε συσκευές μεταξύ τους ή να συνδυάσουμε ήδη υπάρχουσες συσκευές με νέα τμήματα, ώστε, στο χώρο της έκθεσης, ο επισκέπτης να μπορεί να παρατηρεί όχι μόνο ιστορικές συσκευές, αλλά και πειράματα.

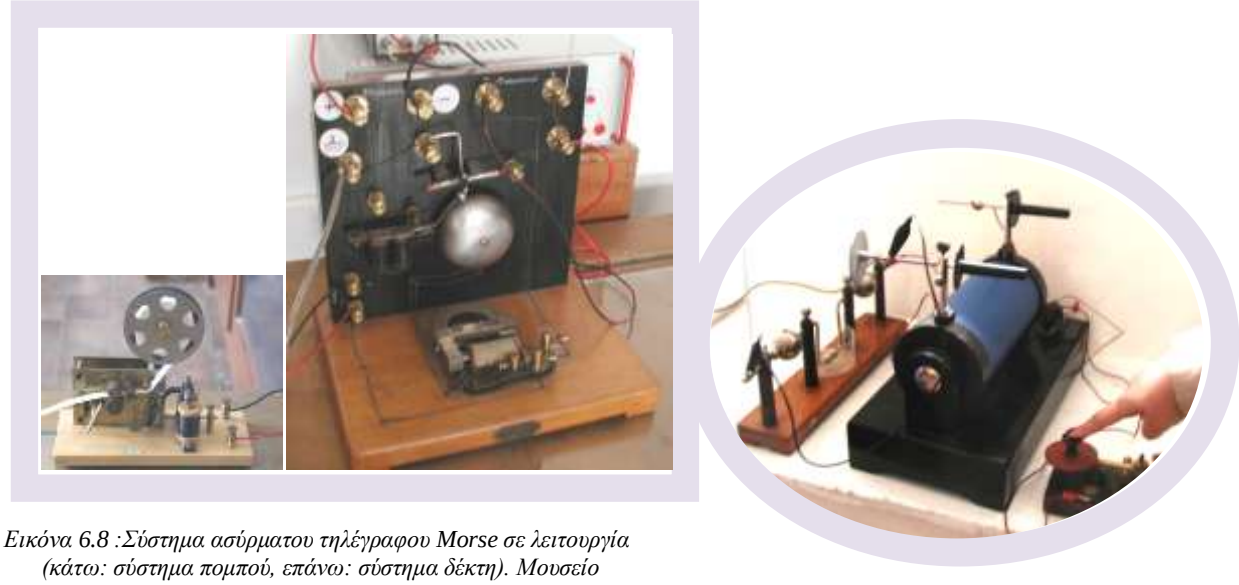
Έτσι, στη θέση που πριν την έναρξη του εκπαιδευτικού προγράμματος υπήρχαν σε παράθεση οι διαφορετικές αντλίες κενού[clx] (βλ. *εικόνα 6.6*), σκηνοθετήθηκαν πειράματα, από τα οποία, άλλα μεν μπορούσαν να παρουσιαστούν επί τόπου, ενώ για άλλα δίνονταν κατάλληλα ερεθίσματα, έτσι ώστε ο επισκέπτης να οδηγείται να τα φανταστεί. Το μαγικό φούσκωμα μπαλονιού, το βαροσκόπιο και η επίδειξη της άνωσης στα αέρια, ο βρασμός του νερού σε χαμηλή πίεση, η αδυναμία της ύπαρξης φλόγας χωρίς αέρα «σκηνοθετήθηκαν», ώστε να εκτελούνται επί τόπου, στο χώρο των αντλιών κενού. Το επιστημονικό τοπίο του 17^{ου} αιώνα, που με τα παραπάνω πειράματα προσπαθήσαμε να επικαλεστούμε, συμπληρωνόταν με τη «σκηνοθεσία» του πειράματος του Boyle για *την αδυναμία ανάφλεξης του θείου στο κενό* (βλ. *ενότητα 7.4.6*). Το πείραμα δεν εκτελούνταν, αλλά ο επισκέπτης

[clx] Όπως φαίνεται στην *εικόνα 6.6,* αναφερόμαστε συγκεκριμένα στις γαλλικής κατασκευής αντλίες των μέσων του 19ου αιώνα (επάνω αριστερά), στις δύο αντλίες γερμανικής κατασκευής των αρχών του 20ου αιώνα (επάνω στο κέντρο – επάνω δεξιά), στην περιστροφική αντλία ελαίου της δεκαετίας του 1950 (κάτω αριστερά) και στην περιστροφική αντλία διάχυσης αγγλικής κατασκευής της δεκαετίας του 1970 (κάτω στο κέντρο).

αφηνόταν να το φανταστεί βλέποντας ποσότητα θειαφιού τοποθετημένη στο εσωτερικό του κώδωνα μιας από τις αντλίες κενού.

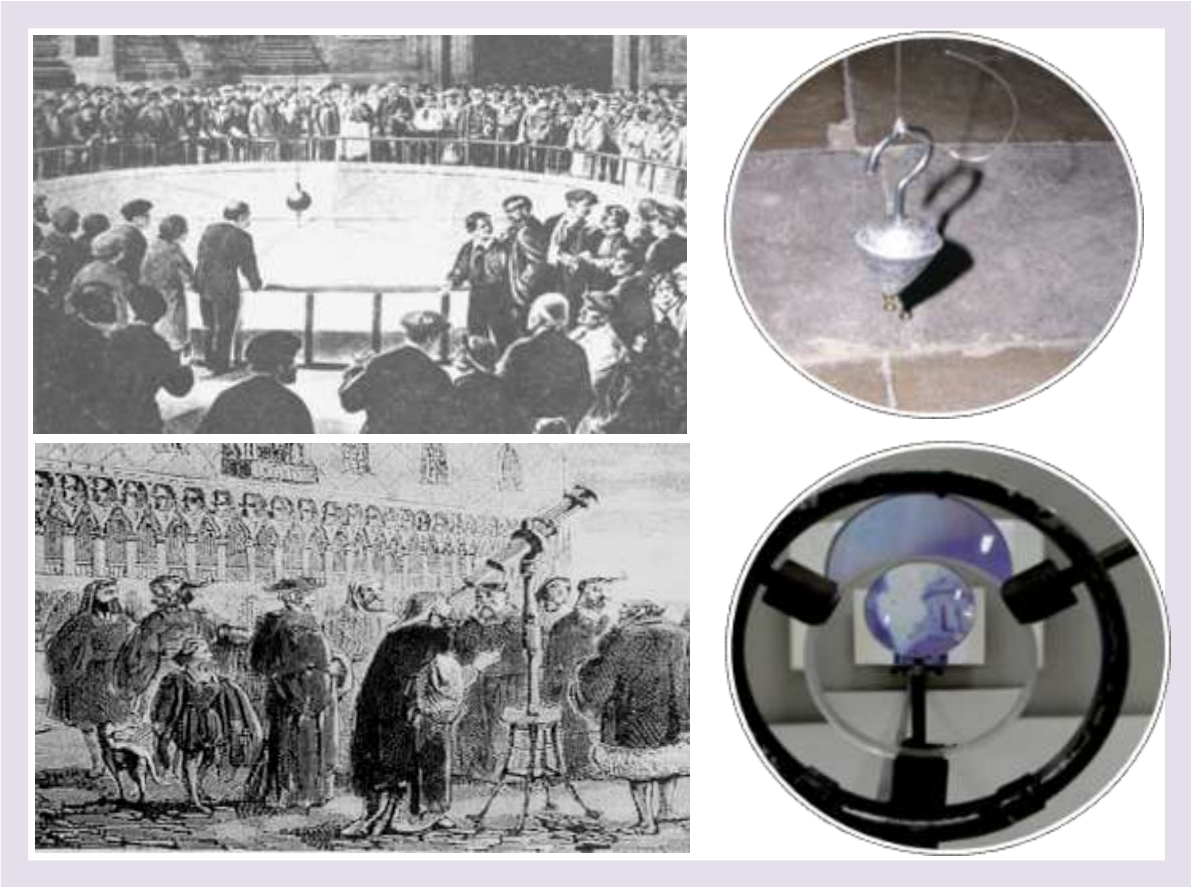
Εικόνα 6.6: Αντλίες κενού στο Μουσείο Φυσικής της Χίου.

Εικόνα 6.7: Από την έκθεση επιστημονικών οργάνων στην έκθεση οργάνων & ιστορικών πειραμάτων, Μουσείο Φυσικής Χίου, 2005-8.



Εικόνα 6.8 :Σύστημα ασύρματου τηλέγραφου Morse σε λειτουργία (κάτω: σύστημα πομπού, επάνω: σύστημα δέκτη). Μουσείο Φυσικής της Χίου, 2007

Με παρόμοιο τρόπο, η εξερεύνηση της ιστορίας της επιστήμης μας κατεύθυνε στην αποκατάσταση του φωρατή Branly στο δέκτη του ασύρματου τηλέγραφου, που είχε σπάσει και το περιεχόμενό του – από ειδικά ρινίσματα μετάλλων – είχε χαθεί. Μας κατεύθυνε, επίσης, στη σύνδεση του όλου τηλεγραφικού συστήματος πομπού-δέκτη, το οποίο, έτσι, μπήκε ξανά σε λειτουργία (βλ.*εικόνα 6.8*).



Εικόνα 6.9: Από την ιστορία της επιστήμης στα εκθέματα. Μουσείο Φυσικής της Χίου, 2006

Η διαδικασία σύνθεσης των σεναρίων που θα επέτρεπε τη σύνδεση των επιστημονικών οργάνων με ιστορίες, οδήγησε σε ορισμένες περιπτώσεις, στη σύνθεση νέων εκθεμάτων. Έτσι, για παράδειγμα, δουλεύοντας το εκπαιδευτικό πρόγραμμα της αστρονομίας κατασκευάσαμε ένα έκθεμα-πείραμα το οποίο αποτελούσε συνδυασμό φακών που μπορούσαν να δείξουν, πώς ήταν σχεδιασμένο εσωτερικά το τηλεσκόπιο του Kepler και πώς το τηλεσκόπιο του Γαλιλαίου, ενώ δύο εκκρεμή, μήκους τριών περίπου μέτρων, που θέσαμε σε ελεύθερη ταλάντωση στην είσοδο του αμφιθεάτρου, χρησίμευαν ως αναφορά, στο εκκρεμές του Foucault – πείραμα με το οποίο απέδειξε, το 1851, την ημερήσια περιστροφή της γης (βλ. *εικόνα 6.9*).

Οι προσπάθειες αυτές σύνδεσης των συσκευών με πειράματα ήταν αποτέλεσμα της διαπίστωσης ότι το ευρύ κοινό ήταν δύσκολο να συγκινηθεί από την απλή έκθεση ιστορικών επιστημονικών οργάνων. Αντίθετα, τα πειράματα στα οποία τα όργανα αυτά ιστορικά χρησιμοποιούνταν, μπορούσαν να τραβήξουν το ενδιαφέρον πολύ μεγαλύτερης μερίδας πληθυσμού ─ μαθητών, καθηγητών, ενηλίκων με ενδιαφέρον στις φυσικές επιστήμες, παλαιών μαθητών του σχολείου και, σε αρκετές περιπτώσεις, απλών πολιτών.

6.1.6. Ιστοριογραφικές προσεγγίσεις και επιλογές - Συζήτηση

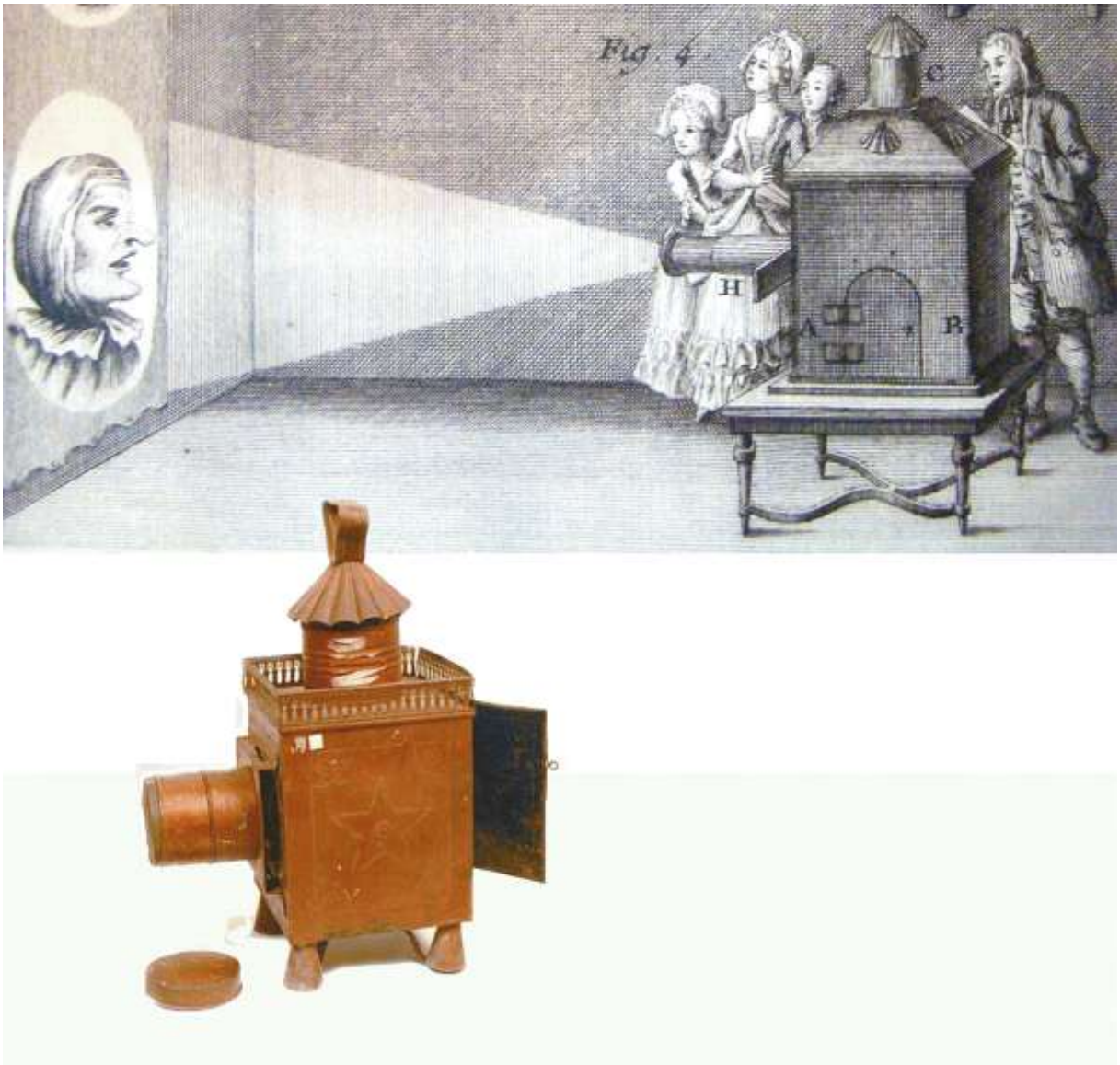
Η σύγχρονη ιστοριογραφία της επιστήμης, θα είχε ίσως να προσάψει δύο αδυναμίες στη διδακτική μας πρόταση. Η πρώτη είναι ότι η σύνδεση των εκθεμάτων έγινε μέσα από τη γενική ιστορία, αγνοώντας τους ανθρώπους που έδωσαν ζωή στο συγκεκριμένο εργαστήριο. Η δεύτερη είναι ότι οι αναπαραστάσεις των ιστορικών πειραμάτων τις οποίες επιχειρήσαμε, ενώ αναφέρονται σε ιστορικά επεισόδια, δεν τα αναπαριστούν με ακρίβεια. Ωστόσο, εξετάζοντας λίγο προσεκτικά τις επιλογές μας, θα μπορούσε να αναπτύξουμε γι' αυτές τα παρακάτω επιχειρήματα.

Το πρώτο είναι ότι το μουσείο περιλαμβάνει όργανα για εκπαιδευτική χρήση, στων οποίων το σχεδιασμό ενσωματώνεται η ιδέα της απλοποίησης. Με τον τρόπο αυτό, κι εμείς, ενώ δεν είμασταν σε θέση να δημιουργήσουμε πιστές ιστορικές αναπαραστάσεις, μπορέσαμε να δημιουργήσουμε πιστές εκπαιδευτικές αναπαραστάσεις των ιστορικών πειραμάτων, όπως τις υπαγορεύουν τα όργανα της συλλογής και τα σύγχρονά τους ευρωπαϊκά σχολικά εγχειρίδια. Παράλληλα, μέσα από τις δράσεις του εκπαιδευτικού προγράμματος, προσπαθήσαμε να επισημάνουμε την αντιστοιχία ανάμεσα στις απλοποιημένες αναπαραστάσεις πειραμάτων, που οι θεατές μπορούσαν να παρακολουθήσουν, και στα αντίστοιχα ιστορικά γεγονότα, χρησιμοποιώντας ιστορικά ντοκουμέντα – κείμενα, εικόνες και φωτογραφίες συσκευών – τα οποία επικοινωνούνταν στο κοινό μέσα από αφήγηση, οπτικοακουστική παρουσίαση ή έντυπο υλικό.

Ως προς την επιλογή μας να συνδέσουμε τα επιστημονικά όργανα του μουσείου με τη γενική ιστορία, αντί για την τοπική, υπάρχουν τρία επιχειρήματα. Το πρώτο, είναι ότι έτσι μπορέσαμε να απευθυνθούμε σε ένα μεγάλο εύρος κοινού. Το δεύτερο, ότι με αυτό τον τρόπο στοχεύσαμε στο να οικοδομήσουμε σε πρώτη φάση ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα φυσικών επιστημών και όχι ιστορίας της επιστήμης. Το τρίτο είναι ότι, παρόλο που, αρχικά, δεν εισαγάγαμε σαν ζητούμενο στο σχεδιασμό του

προγράμματος την ανάδειξη στοιχείων της τοπικής ιστορίας, εκ των υστέρων είμαστε σε θέση να κρίνουμε ότι, έμμεσα, καταφέραμε να φωτίσουμε μια όψη του ιστορικού *Εργαστηρίου Φυσικής*, υπηρετώντας στόχους για τους οποίους δημιουργήθηκε. Το να γνωρίσουν οι μαθητές την ευρωπαϊκή κουλτούρα μέσα από τη διδασκαλία της επιστήμης ήταν ανάμεσα σε αυτούς. Τα επιστημονικά όργανα που τον 19^{ο} αιώνα αγοράστηκαν από την Ευρώπη αποτέλεσαν ισχυρούς εκπροσώπους της κουλτούρας αυτής, ενώ οι πρώτοι δάσκαλοι της Σχολής ήταν απόλυτα ενημερωμένοι πάνω στις ευρωπαϊκές επιστημονικές εξελίξεις, τις οποίες επιθυμούσαν να μεταφέρουν στον ελληνικό κόσμο. Απόδειξη των παραπάνω αποτελεί το γεγονός, ότι ανάμεσα στα εγχειρίδια που βρέθηκαν στα ράφια της βιβλιοθήκης Κοραή, στην οποία έχει μεταφερθεί η παλαιότερη συλλογή βιβλίων του εργαστηρίου, βρέθηκαν τρείς εκδόσεις των εγχειριδίων του Ganot – μια ιταλική του 1859 (Ganot 1859[272]), μια γαλλική του ίδιου έτους (Ganot 1859[273]) και μια ελληνική του 1857 (Γανώτος 1857[274]) – και δύο εκδόσεις του Figuier – μια του 1873-1879 και μια του 1881 (Figuier 1857/1881[275]) – συγγραφείς τους οποίους χρησιμοποιήσαμε ως αναφορές κατά την κατασκευή του εκπαιδευτικού υλικού του προγράμματος. Παρόλ' αυτά, αν ξεκινούσαμε την έρευνα τώρα, μετά από την όλη περιπλάνησή μας στα πεδία της ιστορίας της επιστήμης και στους προβληματισμούς που θέτει, θα είχαμε ανάμεσα στους στόχους μας την έρευνα των τοπικών αρχείων και πηγών για το φωτισμό όψεων της διδασκαλίας της επιστήμης στο εργαστήριο του ιστορικού σχολείου.

6.2. Οι πειραματικές διαλέξεις



Εικόνα 6.10: Οι πειραματικές διαλέξεις ως ανάμνηση στιγμών της ιστορίας της επιστήμης[clxi]

6.2.1. Το πνεύμα και το περιεχόμενο των πειραματικών διαλέξεων

Όπως προαναφέρθηκε, το γενικό πνεύμα των πειραματικών διαλέξεων που συνθέσαμε συνίσταται στη σύνδεση της διδασκαλίας με την ψυχαγωγία, της επιστήμης με την τέχνη. Δίνοντάς τους τη μορφή μαθήματος και θεάματος, απευθυνθήκαμε σε μεγάλο εύρος κοινού – μαθητές διαφόρων επιπέδων, τάξεων και ενδιαφερόντων, καθηγητές και πολίτες. Μιλώντας μεταφορικά, μέσα από αυτή τη μορφή εκπαιδευτικής παρέμβασης προσπαθήσαμε να αποκωδικοποιήσουμε τη φιλοσοφία του πιο παλαιού οργάνου που υπάρχει στη συλλογή του Μουσείου Φυσικής της Χίου, του μαγικού φανού (Μπουρνιάς

[clxi] Η εικόνα της εισαγωγής στο κεφάλαιο που παρατίθεται είναι το αποτέλεσμα σύνθεσης φωτογραφίας του μαγικού φανού του Μουσείου Φυσικής της Χίου (Μπουρνιάς 2005 σελ.183[45]) και ενός σχεδίου από βιβλίο του Brisson, M., γραμμένο το 1781 (Brisson 1781, Σχέδιο.50[276]). Το σχέδιο παρατίθεται στον οδηγό του Μουσείου Φυσικής του Πανεπιστημίου της Coimbra (Museu de Física da Universidade de Coimbra 2006 σελ.12[277]).

2005 σελ.183[45]) που είχε ως στόχο, να συνδέσει την επιστημονική παρατήρηση με τη γοητεία των αισθήσεων, όπως χαρακτηριστικά φανερώνουν σχετικά κείμενα (Brisson 1781 σελ.50[276], Museu de Fisica de Universidade de Coimbra 2006 σελ.12[277]).

Στο διάστημα 2003-2007 κατασκευάσαμε επτά πειραματικές διαλέξεις. Τα εκπαιδευτικά σενάρια, μέσα από τα οποία αυτές παρουσιάστηκαν, περιελάμβαναν την εκτέλεση πειραμάτων με παράλληλη αφήγηση, προβολή οπτικοακουστικού υλικού, παιχνίδια διαλόγου και ενεργό συμμετοχή του κοινού.

Οι τίτλοι των πειραματικών διαλέξεων που παρουσιάστηκαν στο διάστημα 2003-2008 είναι:

i. **Ύλη και Φως:**
   - 1η διαδρομή: Από τον κεραυνό στις ακτίνες Χ – Αφαιρώντας τον αέρα (2003) (Πάπαρου 2003 σελ.150-172[34], Πάπαρου κ.ά. 2004α[18], Paparou 2010a[30]).
   - 2η διαδρομή: Οι φλόγες τ' αστέρια, τα φώτα της πόλης και η ηλεκτρονιακή δομή (2003) (Πάπαρου 2003 σελ.150-172[34], Πάπαρου κ.ά. 2004α[18]).
ii. **Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;** (2004) (Πάπαρου κ.ά. 2004β[19], Πάπαρου & Καλλίτσης 2005[23] Paparou et al.2008b[27], Paparou & Karaliota 2011[32]).
iii. **Οι πρώτες ημέρες του ηλεκτρισμού** (2005) (Πάπαρου κ.ά. 2006[21], Paparou & Karaliota 2009a[29], Paparou 2011[31]).
iv. **Ηλεκτρισμός & μαγνητισμός**
   - 1ο Μέρος: Η ιστορία των μαγνητών και των πυξίδων (2005)
   - 2ο Μέρος: Ηλεκτρισμός, μαγνητισμός: Διαδρομές και συναντήσεις (2005)
v. **Συνομιλώντας με τ' αστέρια μια νύχτα του Αυγούστου**...(2006) (Πάπαρου 2007[22]).

Το σενάριο κάθε μιας από τις πειραματικές διαλέξεις υφάνθηκε γύρω από ένα ή λίγα επιστημονικά όργανα. Το φασματοσκόπιο και οι σωλήνες αερίων· οι αντλίες κενού· οι ηλεκτροστατικές γεννήτριες· ο μαγνητόλιθος και οι πυξίδες· η ουράνια σφαίρα, το τηλεσκόπιο και το χειροκίνητο μοντέλο του εκκρεμούς του Foucault αποτέλεσαν αντίστοιχα τα κέντρα των πέντε διαφορετικών πειραματικών διαλέξεων.

6.2.2. Οι άξονες σχεδιασμού και η μορφή των πειραματικών διαλέξεων

Το περιεχόμενο των πειραματικών διαλέξεων δομείται με κύριο άξονα κάποιο επιστημονικό ή ιστορικό ερώτημα. Έτσι, ο άξονας της διάλεξης με τίτλο: «*Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα*;» είναι επιστημονικός και επιχειρεί να εντοπίσει τα διαφορετικά φυσικά φαινόμενα που συνδέονται με το κενό και την ατμοσφαιρική πίεση (βλ. *ενότητα 7.2*). Αντίθετα, ο κύριος άξονας ανάπτυξης του περιεχομένου της διάλεξης με τίτλο: *«Οι πρώτες ημέρες του ηλεκτρισμού»* είναι ο ιστορικός. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην εποχή του 1750, οπότε η έρευνα πάνω στον ηλεκτρισμό έρχεται στο κέντρο της επικαιρότητας, ενώ οι σχετικές επιστημονικές εξελίξεις επιταχύνονται (βλ.*ενότητα 9.1*).

Σε όλες τις πειραματικές διαλέξεις, η απάντηση των ερωτημάτων που τίθενται ενσωματώνει σχολιασμό πάνω στο *τι είναι η επιστήμη*. Θέματα, όπως το γεγονός ότι τα επιστημονικά ερωτήματα εμφανίζουν διάρκεια, ότι οι επιστημονικές θεωρίες εμφανίζουν συνέχειες, ασυνέχειες και μεταβολές, φωτίζονται μέσα από τον τρόπο ανάπτυξης και έκθεσης τους. Επίσης, αναδεικνύονται οι τρόποι με τους οποίους η θεωρία συμπλέκεται με τα πειραματικά δεδομένα, το γεγονός ότι τα πειράματα και τα επιστημονικά όργανα εξελίσσονται και στοιχεία της σύνδεσης επιστήμης, κοινωνίας, τεχνολογίας και πολιτισμού.

Οι πειραματικές διαλέξεις στέκονται ανάμεσα στη διδασκαλία και την τέχνη. Σκηνοθετώντας, κατάλληλα τη διαδοχή θεαματικών πειραμάτων, αφήγησης, οπτικοακουστικών στοιχείων, παιχνιδιών με το κοινό, επιδιώξαμε ένα αποτέλεσμα πλούσιο σε συμβάντα, ακολουθώντας την πρόταση του Charles Taylor (Taylor 1988 σελ.98[16]) (βλ. *ενότητα 7.4*). Ο ρυθμός εναλλαγής των συμβάντων αυτών, και τα περάσματα από το ένα συμβάν στο άλλο, μελετήθηκαν ιδιαίτερα, με άξονα τη συνεκτικότητα της παρουσίασης και τη διατήρηση του ενδιαφέροντος του κοινού.

Οι πειραματικές διαλέξεις σχεδιάστηκαν, ώστε να μπορούν να υλοποιούνται από έναν ή δύο καθηγητές, ανάλογα με τη δυσκολία των περιλαμβανόμενων πειραμάτων. Η παρουσίασή τους περιλαμβάνει τη χρήση νέων τεχνολογιών. Το εκπαιδευτικό λογισμικό που κατασκευάσαμε για το σκοπό αυτό αποτελεί σύνθεση ήχου, εικόνων και πληροφοριών. Περιλαμβάνει αποσπάσματα από ιστορικά επιστημονικά κείμενα, σχέδια και φωτογραφίες ιστορικών πειραματικών συσκευών και ιστορικών πειραμάτων. Το οπτικοακουστικό αυτό υλικό έχει κατασκευαστεί με τέτοιον τρόπο, ώστε να μπορεί να αποτελέσει, παράλληλα, υλικό εξ αποστάσεως εκπαίδευσης.

Το εκπαιδευτικό σενάριο κάθε μιας από τις πειραματικές διαλέξεις έχει μελετηθεί ιδιαίτερα, ώστε το περιεχόμενο να είναι συνεκτικό και κατανοητό από το κοινό. Κατά τη διάρκεια δοκιμαστικής περιόδου λίγων μηνών, οι πειραματικές διαλέξεις ελέγχονταν, τόσο ως προς το σύνολο, όσο και ως προς τα επιμέρους στοιχεία τους. Οι βελτιωτικές παρεμβάσεις, που γίνονταν αφορούσαν στον τρόπο σύνδεσης των ενοτήτων, εναλλαγής των συμβάντων και προσαρμογής της αφήγησης σε διαφορετικά ακροατήρια.

Ανάμεσα στα επιμέρους στοιχεία που μπήκαν στο μικροσκόπιο κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού των διαλέξεων, ήταν η οργάνωση των πειραμάτων και η χρησιμοποίηση του κοινού για τη διεξαγωγή τους. Τα πειράματα που ενσωματώνονταν σε αυτές βιντεοσκοπούνταν κατά τη διαδικασία σύνθεσης του περιεχομένου τους. Κατόπιν, κατά την εφαρμογή των διαλέξεων, τα πειράματα αυτά βελτιώνονταν. Το μέγεθος του πειραματικού εξοπλισμού, ο χώρος που η πειραματική διαδικασία θα καταλάμβανε μέσα στην αίθουσα, η πυροδότηση σχετικών συζητήσεων, η αξιοποίηση του κοινού για τη διεξαγωγή τους αποτελούσαν χαρακτηριστικά στοιχεία τέτοιων βελτιωτικών επεμβάσεων.

Τα σενάρια των πειραματικών διαλέξεων περιλαμβάνουν συνεχείς μεταβάσεις ανάμεσα στην ιστορική επιστημονική σκηνή και το σήμερα. Οι μεταβάσεις αυτές έχουν οικοδομηθεί, είτε με βάση απλά ερωτήματα για την απάντηση των οποίων επικαλούμαστε επεισόδια της ιστορίας της επιστήμης, είτε με βάση πειραματικά στοιχεία και παρατηρήσεις που εμφανίζουν ομοιότητα με αντίστοιχα

«αντικειμενικά γεγονότα» της ιστορικής επιστημονικής σκηνής. Όταν ο κρίκος σύνδεσης ανάμεσα στο σήμερα και στην ιστορία της επιστήμης επιλέγουμε να είναι οι ιδέες των μαθητών πάνω σε ένα επιστημονικό ερώτημα, οι αρχές της διδακτικής προσέγγισης του εποικοδομητισμού (Driver & Oldam 1986[168]) (βλ. *ενότητα 3.2*) καθοδηγούν την πρόσβαση σε ένα φάσμα απαντήσεων στο ίδιο ερώτημα, μέσα από την ιστορία της επιστήμης. Πολύ συχνά, τα σενάρια που αναπτύσσουμε για την παρουσίαση αυτού του φάσματος απαντήσεων περιλαμβάνουν την παρακολούθηση αλυσίδας συνδέσεων ανάμεσα σε επιστήμονες διαφορετικών εποχών που έχουν συμπληρωματικές ή αντιθετικές απόψεις. Όταν, από την άλλη μεριά, η παρατήρηση ενός πειραματικού στοιχείου δίνει την αφορμή για την είσοδο στην ιστορία της επιστήμης, η διδακτική μέθοδος της ανακαλυπτικής μάθησης (Joyce & Weil 1996 σελ. 43[149]) (βλ. *ενότητα 3.1*), καθοδηγεί τον παραλληλισμό του σημερινού πειράματος με κάποια φάση του αντίστοιχου ιστορικού επιστημονικού επεισοδίου.

6.2.3. Επιστημολογικό στίγμα των πειραματικών διαλέξεων

Όπως προδίδει η μορφή των διδακτικών μας παρεμβάσεων, το πείραμα κατέχει σε αυτές κεντρικό ρόλο ως διδακτικό εργαλείο και μέσο ως μέσο παρουσίασης της επιστήμης. Η επιλογή αυτή, η οποία προκύπτει από την ανάγκη ανάδειξης των ιστορικών επιστημονικών οργάνων του Μουσείου Φυσικής, δίνει την ευκαιρία για την προβολή θεμάτων που σχετίζονται με το πείραμα και τη φύση των επιστημονικών οργάνων.

Ανάμεσα στα στοιχεία που φωτίζονται είναι:

- Η διάκριση διαφορετικού τύπου πειραμάτων και η επισήμανση ιστορικών επεισοδίων στα οποία η πειραματική διαδικασία προηγείται οποιασδήποτε θεωρίας, όπως και άλλων στις οποίες το πείραμα έχει το ρόλο της επιβεβαίωσης ή διάψευσης μιας ώριμης θεωρητικής υπόθεσης.
- Ο ρόλος των επιστημονικών οργάνων ως εργαλείων παρέμβασης στη φύση και ενεργητικών αποκωδικοποιητών της.
- Το πείραμα ως θέαμα και ως διαδικασία παραγωγής αντικειμενικών γεγονότων.

Παράλληλα, μέσα από τη διαπραγμάτευση του περιεχομένου των πειραματικών διαλέξεων, γίνεται προσπάθεια να επισημανθούν οι έννοιες της επιστημονικής υπόθεσης, πρόβλεψης και εξήγησης, ως διαφορετικά στοιχεία άρθρωσης του επιστημονικού λόγου. Θέματα όπως η συνάρθρωση των παραπάνω στοιχείων με τον πειραματικό σχεδιασμό και τα πειραματικά αποτελέσματα θίγονται ή αναλύονται στο πλαίσιο των επιμέρους ενοτήτων.

Ακόμα, μέσα από την αναφορά σε επιστημονικά ερωτήματα που, είτε διέπουν μεγάλες περιόδους της ιστορίας της επιστήμης, είτε επανέρχονται στη σκηνή της επιστημονικής επικαιρότητας σε διαφορετικές ιστορικές περιόδους, επιχειρούμε να φανερώσουμε την επιστήμη ως διαδικασία που η εξέλιξή της ενσωματώνει, τόσο την ιστορική συνέχεια, όσο και τη μεταβολή.

Πέρα από αυτά, η ίδια η μορφή των πειραματικών διαλέξεων αποτελεί επιστημολογική σημείωση που αναφέρεται στη σχέση επιστήμης και κοινωνίας, καθώς αποτελεί ανάκληση των εκλαϊκευμένων

παρουσιάσεων επιστημονικών θεμάτων που τον 18^{ο} και 19^{ο} αιώνα – εποχές στις οποίες αναφερόμαστε είτε μέσω της παρουσίασης του εκπαιδευτικού υλικού, είτε μέσω της παρουσίασης των οργάνων του μουσείου – αποτελούσαν το κύριο μέσο επικοινωνίας της επιστήμης.

6.2.4. Σκηνοθετώντας τη συμμετοχή του κοινού

Η σκηνοθεσία των πειραματικών διαλέξεων προβλέπει διαφορετικούς τρόπους για την ενεργητική συμμετοχή του κοινού, το οποίο καλείται να παρακολουθεί, να παρατηρεί και να παρεμβαίνει, αποτελώντας οργανικό κομμάτι της όλης διαδικασίας. Η οργάνωση των δράσεων του κοινού έχει ως στόχο, αφενός μεν, να προκαλέσει το ενδιαφέρον των συμμετεχόντων και, αφετέρου, να αποτελέσει πρακτικό σχόλιο πάνω σε θέματα φύσης της επιστήμης.

Ένας από τους τρόπους εμπλοκής του κοινού, που χρησιμοποιούμε, είναι τα παιχνίδια διαλόγου. Σταθερός μας στόχος, κατά τη διεξαγωγή τους είναι να δοθεί η αίσθηση στους συμμετέχοντες ότι αποτελούν μέλη ενός συνόλου που ομαδικά παρατηρεί επιστημονικά δρώμενα και συμμετέχει σ' αυτά. Έτσι, για παράδειγμα, σε ερωτήματα διατύπωσης υποθέσεων του τύπου: «*τι νομίζετε ότι θα συνέβαινε αν...»* ζητάμε να διατυπωθούν όλες οι διαφορετικές απόψεις. Κάθε μέλος του ακροατηρίου υποχρεώνεται να ακούσει τις απόψεις που οι άλλοι διατυπώνουν και να προσθέσει τη δική του, μόνο αν αυτή είναι διαφορετική. Με τη βοήθεια αφήγησης, στη συνέχεια, δείχνουμε ότι και οι επιστήμονες διαφόρων εποχών κάνουν διαφορετικές υποθέσεις για πολλά επιστημονικά ζητήματα. Έτσι τους οδηγούμε να παραλληλίσουν την ετερογένεια των απόψεων που εκφράζονται από τους ίδιους με την ετερογένεια των απόψεων των μελών της επιστημονικής κοινότητας. Το ακροατήριο καθοδηγείται με τον τρόπο αυτό στο να κατανοήσει την έκφραση διαφορετικών απόψεων ως οργανικό στοιχείο της εξέλιξης της επιστήμης (βλ. *ενότητα 7.4*). Έτσι, επιχειρούμε να καταστήσουμε το παιχνίδι διαλόγου ένα βιωματικό σχόλιο πάνω στη λειτουργία της επιστημονικής κοινότητας.

Ως εισαγωγή σε κάποιες από τις πειραματικές διαλέξεις, το κοινό καλείται να περιπλανηθεί στον εκθεσιακό χώρο του μουσείου και να εξερευνήσει τις συσκευές που έχουν κεντρικό ρόλο σε αυτή. Καλείται συγκεκριμένα να παρατηρήσει τα χαρακτηριστικά τους, τα υλικά κατασκευής τους, να τις συγκρίνει, να κάνει υποθέσεις ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους και τη σειρά εμφάνισής τους στην ιστορία της επιστήμης. Οι παρατηρήσεις των συμμετεχόντων αποτελούν, σε αρκετές περιπτώσεις, εύστοχα σχόλια πάνω στην καταγωγή των επιστημονικών οργάνων και δίνουν λαβές για συζητήσεις πάνω στη φύση των τελευταίων (βλ. *ενότητα 9.2*).

Οι συμμετέχοντες στις πειραματικές διαλέξεις καλούνται, συχνά, να υποθέσουν την εξέλιξη ή το αποτέλεσμα ενός πειράματος και, στη συνέχεια, να ελέγξουν την ορθότητα των υποθέσεών τους (βλ., για παράδειγμα, *ενότητες 7.4.1, 7.4.5, 7.4.6, 7.4.7, 7.4.8*). Πολλές φορές, τα μέλη του ακροατηρίου καλούνται να παρακολουθήσουν πειραματικές φάσεις, από κοντά, και να τις περιγράψουν στο υπόλοιπο ακροατήριο (βλ. *ενότητα 7.4.8*). Σε ορισμένα πειράματα, όπως στο πείραμα των ημισφαιρίων του Μαγδεμβούργου (βλ *ενότητα 7.4.3*) και το «ηλεκτρικό φιλί» (βλ.*ενότητα 9.7.1*), το κοινό αποτελεί οργανικό τμήμα της πειραματικής διαδικασίας. Σε άλλα πειράματα, όπως η

παρατήρηση των φασματικών γραμμών διαφορετικών στοιχείων, οι μαθητές καλούνται να μετατρέψουν την ατομική παρατήρηση σε ομαδικό αποτέλεσμα, καταγράφοντας και συζητώντας τις μετρήσεις που έχει κάνει ο καθένας χωριστά, μέχρι να προκύψει η απαραίτητη σύγκλιση. Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις, οι δραστηριότητες του κοινού συνδέονται με σχόλια πάνω στη φύση του πειράματος. Συγκεκριμένα, αποτελούν αφορμή για την ανάδειξη του πειράματος ως μέσου για τον έλεγχο προβλέψεων και υποθέσεων, ως τρόπου για τη διάδοση της επιστήμης στο ευρύ κοινό. Αποτελούν, επίσης, αφορμή για την ανάδειξη της σημασίας που ιστορικά προσέλαβε η έγκυρη παρατήρηση και η αντικειμενική καταγραφή των πειραματικών αποτελεσμάτων, οι οποίες, πραγματοποιούμενες μέσα από ομαδικές διαδικασίες, εξελίχθηκαν σε θεμελιώδεις συνιστώσες της μοντέρνας επιστήμης (Shapin 1984[12]).

6.2.5. Η εφαρμογή των πειραματικών διαλέξεων

Για την παρακολούθηση των πειραματικών διαλέξεων επισκέφθηκαν το Μουσείο Φυσικής, στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού προγράμματος 2003-2008, ομάδες μαθητών όλων των τάξεων του Γυμνασίου, όλων των τάξεων του Λυκείου, τόσο της Γενικής, όσο και της Τεχνικής-Επαγγελματικής Εκπαίδευσης, καθώς και μαθητικές ομάδες των τελευταίων τάξεων του Δημοτικού. Επίσης, οργανώθηκαν απογευματινές παρουσιάσεις για εξειδικευμένο κοινό ενηλίκων και για το ευρύ κοινό. Έτσι, «*Οι πρώτες ημέρες του ηλεκτρισμού*» παρουσιάστηκαν στο ευρύ κοινό, την άνοιξη του 2006, ενώ, την επόμενη ακαδημαϊκή χρονιά, η ενότητα που αναφερόταν στην Αστρονομία παρουσιάστηκε στο σύνολο των μαθητών και καθηγητών του Σχολείου Δεύτερης Ευκαιρίας της Χίου. Το θεωρητικό πλαίσιο και η εφαρμογή του προγράμματος αποτέλεσαν θέμα επιμόρφωσης των εκπαιδευτικών σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο, στο πλαίσιο σεμιναρίων που οργανώθηκαν από τη Διεύθυνση Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης Χίου, τα ΕΚΦΕ Χίου[clxii], τα ΠΕΚ Βορείου Αιγαίου[clxiii] και τον ΟΕΠΕΚ[clxiv].

Οι μαθητικές ομάδες επισκέπτονταν το μουσείο, για την παρακολούθηση των πειραματικών διαλέξεων, στη βάση προγραμματισμένων επισκέψεων, συνοδευόμενοι από τους διδάσκοντες. Με τη βοήθεια προσυννενόησης, αποφασιζόταν το κεντρικό θέμα της παρουσίασης, η οποία προσαρμοζόταν στο επίπεδο των μαθητών, λαμβάνονταν υπόψη τυχόν προτιμήσεις-ενδιαφέροντα ή ιδιαιτερότητες αυτών και σημεία στα οποία επιθυμούσαν να δοθεί έμφαση. Για τη διευκόλυνση των καθηγητών στην επιλογή των ενοτήτων, κατασκευάστηκε από την υπογράφουσα, το 2005, η νέα μορφή της ιστοσελίδας του μουσείου που έδινε πληροφορίες για τις περιοχές συνάφειας του αναλυτικού προγράμματος, διαφόρων μαθημάτων και τάξεων, με τα θέματα του εκπαιδευτικού προγράμματος.

Στον *Πίνακα* 6.1, που ακολουθεί, παρουσιάζεται το κοινό των πειραματικών διαλέξεων κατά το διάστημα 2003-2008. Για την καλύτερη κατανόηση των στοιχείων του *Πίνακα 6.1* σημειώνεται ότι,

[clxii] ΕΚΦΕ (Εργαστηριακό Κέντρο Φυσικών Επιστημών)
[clxiii] ΠΕΚ (Περιφερειακό Επιμορφωτικό Κέντρο)
[clxiv] ΟΕΠΕΚ (Οργανισμός Επιμόρφωσης Εκπαιδευτικών)

παρόλο που το μουσείο ήταν ανοιχτό για το κοινό κάποιες ώρες την εβδομάδα, το κοινό δεν είχε εύκολη πρόσβαση στις παρουσιάσεις των πειραματικών διαλέξεων, οι οποίες προγραμματίζονταν για τα σχολεία. Έτσι, οι ομάδες των ενηλίκων και το ευρύ κοινό κλήθηκαν μόνο σε ειδικά οργανωμένες εκδηλώσεις. Στις παρουσιάσεις που απευθύνονταν στους μαθητές, οι καθηγητές είχαν τη δυνατότητα να επιλέξουν ανάμεσα στις πειραματικές διαλέξεις οι οποίες ήταν, κάθε χρονιά, διαθέσιμες.

Τη χρονιά 2003-4, οι εκπαιδευτικοί είχαν τη δυνατότητα να επιλέξουν ανάμεσα στις δύο ενότητες του προγράμματος «*Ύλη και Φως*» (Πάπαρου 2003 σελ.150-172 & περιλαμβανόμενο CD[34], Πάπαρου κ.ά. 2004α[18], Paparou 2010a[30]). Το πρόγραμμα συνιστούσε την *1η Διαδρομή*, ως κατάλληλη για τις τελευταίες τάξεις του Λυκείου και την *2η* κυρίως για τις τάξεις της Β' και Γ' Γυμνασίου.

Πίνακας 6.1:Το κοινό των πειραματικών διαλέξεων στο Μουσείο Φυσικής της Χίου κατά την περίοδο 2003-8

Ομάδες Κοινού / Πειραματική διάλεξη	Μαθητές ηλικίας 10-17 ετών & συνοδοί εκπαιδευτικοί *		Εκπαιδευόμενοι στο Σχολείο Δεύτερης Ευκαιρίας Χίου και συνοδοί καθηγητές **		Επιμορφωτικά σεμινάρια για δάσκαλους και καθηγητές ***		Ευρύ κοινό **		Ο συνολικός αριθμός/ ποσοστό των διαφορετικών ομάδων κοινού στις πειραματικές διαλέξεις	
Ύλη και Φως	921	23%			115	3%			1036	26%
1η διαδρομή	146	4%			50	1%			196	5%
2η διαδρομή	775	20%			65	2%			840	21%
Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;	1285	33%			125	3%			1410	36%
Οι πρώτες ημέρες του ηλεκτρισμού	611	15%			118	3%	120	3%	849	21%
Ηλεκτρισμός & Μαγνητισμός	121	3%			70	2%			191	5%
Συνομιλώντας με τ' αστέρια…	342	9%	60	2%	63	2%			465	12%
Ο συνολικός αριθμός/ ποσοστό συμμετεχόντων στις πειραματικές διαλέξεις	3280	83%	60	2%	491	12%	120	3%	3951	100%

** Οι συνοδοί δάσκαλοι/καθηγητές επέλεγαν ανάμεσα σε διαφορετικές πειραματικές διαλέξεις που ήταν κάθε χρονιά διαθέσιμες*
*** Η επίσκεψη πραγματοποιήθηκε μια φορά, οπότε ολόκληρο το σχολείο παρακολούθησε το «μάθημα-θέαμα» της αστρονομίας*
****Οργανώθηκαν κατά καιρούς διάφορα σεμινάρια με θέμα που καθορίζονταν από την εισηγήτρια/τους εισηγητές*

Κατά το σχολικό έτος προστέθηκε η ενότητα: «*Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;*» (Πάπαρου κ.ά. 2004β[19], Πάπαρου & Καλλίτσης 2005[23], Πάπαρου & Καραλιώτα 2007[24], Paparou et al. 2008b[27], Paparou & Karaliota 2011[32]), η οποία έγινε πολύ δημοφιλής, γιατί περιείχε εντυπωσιακά πειράματα που είχαν μεγάλη συνάφεια με τα προγράμματα σπουδών διαφόρων τάξεων και, ταυτόχρονα, ήταν δύσκολο να πραγματοποιηθούν στα σχολικά εργαστήρια.

Κατά το σχολικό έτος 2005-6 προστέθηκαν οι ενότητες πάνω στον ηλεκτρισμό και τον μαγνητισμό (Πάπαρου κ.ά. 2006[21], Paparou & Karaliota 2009a[29]), που σχεδιάστηκαν με γνώμονα την προσέγγιση κοινού με διαφορετικά επίπεδα επιστημονικού αλφαβητισμού. Προκειμένου να δημιουργήσουμε ένα σημερινό μάθημα-θέαμα για όλες τις ηλικίες, στη διάλεξη: «*Οι πρώτες ημέρες του ηλεκτρισμού»* αξιοποιήσαμε την αναπαράσταση ιστορικών πειραμάτων που ιστορικά είχαν αποτελέσει θεάματα για το κοινό.

Κατά το σχολικό έτος 2006-2007 προστέθηκε η ενότητα πάνω στην Αστρονομία (Πάπαρου

2007[22]), που ήταν η περισσότερο διαθεματική, και προτιμήθηκε από καθηγητές διαφόρων ειδικοτήτων μεταξύ των οποίων και καθηγητών φιλολογικών και καλλιτεχνικών μαθημάτων. Η ενότητα θα μπορούσε να είχε γίνει περισσότερο ελκυστική για τους καθηγητές φυσικών επιστημών, αν υπήρχε η δυνατότητα να αποτελέσει το κέντρο ενός απογευματινού εκπαιδευτικού προγράμματος, που θα περιελάμβανε τη χρήση του τηλεσκοπίου για νυχτερινή παρατήρηση. Ωστόσο, το ωράριο λειτουργίας του μουσείου δεν επέτρεψε τέτοιου είδους εφαρμογή.

6.2.6. Η επιλογή των πειραματικών διαλέξεων ως μορφών εκπαιδευτικής παρέμβασης

Εκθέτοντας την επιλογή των πειραματικών διαλέξεων σε ειδικούς της μουσειακής εκπαίδευσης, θα είχαν, ίσως, να μας προσάψουν ότι οι τελευταίες έχουν το μειονέκτημα ότι επιβάλλουν στον επισκέπτη παθητικότητα. Από την άλλη μεριά, για τους ειδικούς των επιστημονικών οργάνων, η ίδια συζήτηση θα έφερνε στο φως την αντίρρηση, ότι οι πειραματικές διαλέξεις θέτουν σε κίνδυνο τα ιστορικά επιστημονικά όργανα και έτσι, θα στέκονταν, ίσως, κριτικά απέναντί τους. Εμείς, από τη μεριά μας, θεωρώντας ότι η επιλογή των πειραματικών διαλέξεων έχει σημαντικά πλεονεκτήματα, τόσο ως γενική διδακτική πρόταση, αλλά και σε σχέση με το ειδικό περιβάλλον του συγκεκριμένου σχολικού μουσείου, επιμένουμε στην εφαρμογή τους, βρίσκοντας, παράλληλα, τρόπους για την αναίρεση των στοιχείων στα οποία θα μπορούσε να επικεντρωθεί η κριτική.

Ξεκινώντας από τις ειδικές συνθήκες, θεωρούμε ότι οι πειραματικές διαλέξεις συνδέονται οργανικά με το συγκεκριμένο σχολικό μουσείο, όπως μπορεί κανείς «να αναγνωρίσει» περιπλανώμενος μέσα στους χώρους του παλαιού εργαστηρίου και στα όργανα της συλλογής. Το σχολικό αμφιθέατρο, ο πάγκος επίδειξης πειραμάτων, η σειρά οργάνων προβολής, από το μαγικό φανό του 1840, μέχρι τον προβολέα με τόξο άνθρακα των αρχών του 20^{ου} αιώνα και το επιδιασκόπιο των μέσων του 20^{ου} αιώνα, που περιγράφτηκαν στην *ενότητα 6.1.1,* λειτουργούν ως προκλητικό σκηνικό για το σχεδιασμό πειραματικών διαλέξεων. Το ενδιαφέρον, εξάλλου, που συγκέντρωσε η παρουσίαση μιας πειραματικής διάλεξης στο ευρύ κοινό, αποτελεί απόδειξη ότι ο τρόπος αυτός μπορεί να ξυπνήσει ιδιωτικές μνήμες σε πολλούς από τους παλαιούς μαθητές του εργαστηρίου και συλλογικές αναμνήσεις στους νεώτερους. Έτσι, παρόλο που εργαστήκαμε πάνω στη μετατροπή των πειραματικών διαλέξεων σε δράσεις με περισσότερο μαθητοκεντρικό χαρακτήρα, θεωρούμε ότι αυτές θα ήταν καλύτερο να πραγματοποιούνται παράλληλα με τις πειραματικές διαλέξεις, επειδή οι τελευταίες αποτελούν έναν τρόπο επικοινωνίας με το κοινό ο οποίος παραπέμποντας, τόσο στην ιστορία της επιστήμης, όσο και στην ιστορία του εργαστηρίου, είναι σκόπιμο να διατηρηθεί. Παράλληλα θεωρούμε ότι οι πειραματικές διαλέξεις αποτελούν ενδεδειγμένο τρόπο ξενάγησης, όσο ο χώρος του μουσείου εμφανίζει, ακόμα, τη μορφή της συλλογής περισσότερο, παρά της μουσειακής έκθεσης οργάνων και πειραμάτων.

Προκειμένου να αντιμετωπίσουμε τον κίνδυνο της φθοράς των ιστορικών επιστημονικών οργάνων, αξιοποιήσαμε για την εκτέλεση πειραμάτων τις νεώτερες σειρές οργάνων της συλλογής, ενώ παράλληλα παραγγείλαμε και νέες συσκευές, ώστε τα παλαιότερα όργανα να μη χρησιμοποιούνται. Η

μελλοντική και οργανωμένη συνέχιση των πειραματικών διαλέξεων θα απαιτούσε, ωστόσο, την παραγγελία μιας πλήρους σειράς απλών αντιγράφων των πειραματικών συσκευών που πρωταγωνιστούν στις διαλέξεις και ίσως την παραγγελία ειδικά κατασκευασμένων πιστών αντιγράφων ορισμένων από τα παλαιά όργανα του μουσείου. Για το τελευταίο θα ήταν σκόπιμη η συνεργασία του μουσείου με ερευνητικά ιδρύματα που έχουν ως στόχο παρόμοια ερευνητικά προγράμματα.

6.3. Οργανώνοντας δραστηριότητες ενεργητικής μάθησης

Κατά το ακαδημαϊκό έτος 2006-2007, τέθηκε σε εφαρμογή η ιδέα της σύνδεσης του Μουσείου Φυσικής με άλλα ευρωπαϊκά μουσεία και εκπαιδευτικούς φορείς και, με τον τρόπο αυτό, της αναβάθμισης του εκπαιδευτικού και πολιτισμικού του ρόλου, σε επίπεδο σχολείου και τοπικής κοινωνίας. Στο πλαίσιο αυτό σχεδιάστηκαν από την υπογράφουσα δύο προτάσεις ευρωπαϊκής συνεργασίας. Η πρώτη αποτελούσε συνεργασία σχολείων και είχε ως κέντρο μαθητές ηλικίας 12-17 ετών, και η δεύτερη συνεργασία μουσείων και εκπαιδευτικών οργανισμών και είχε ως κέντρο ενήλικες. Το έργο του σχεδιασμού των ευρωπαϊκών προτάσεων ανέλαβε η υπογράφουσα, ως εκπρόσωπος, τόσο του *1ου Γυμνασίου* Χίου, όσο και του *Μουσείου Φυσικής της Χίου*, αντίστοιχα, που αποτέλεσαν τους συντονιστικούς φορείς των δύο προγραμμάτων. Οι προτάσεις κατέληξαν στα Ευρωπαϊκά Προγράμματα Σχολικής Σύμπραξης Comenius «*Σχολείο και Επιστημονικό Μουσείο*» 07-GRC01-CO06-00234-1[clxv] και Εκπαιδευτικής Σύμπραξης Grundtvig «*Ανακαλύπτοντας την Επιστήμη ως Κουλτούρα διαμέσου των Ευρωπαϊκών Επιστημονικών Μουσείων*» 07-GRCO1-GR04-00025-1, για τα οποία, στο διάστημα 2007-2008, σχεδιάστηκαν και οργανώθηκαν διδακτικές παρεμβάσεις για μαθητές και ενήλικες με κέντρο το Μουσείο Φυσικής της Χίου (Paparou et al. 2008a[26], Paparou 2009a[28]).

6.3.1. Σχέδια εργασίας στο πλαίσιο του προγράμματος Comenius

Βασική ιδέα για το σχεδιασμό του σχολικού προγράμματος Ευρωπαϊκής συνεργασίας ήταν οι μαθητές να εμπνευστούν από εκθέματα ιστορικών επιστημονικών μουσείων και να εργαστούν ατομικά ή σε ομάδες, προκειμένου να μελετήσουν τα ίδια τα εκθέματα ή θέματα στα οποία αυτά αναφέρονταν. Προτείναμε οι μαθητές να εργαστούν πάνω σε κατάλληλα σχέδια εργασίας και να τα παρουσιάσουν. Τα σχέδια μπορούσαν να περιλαμβάνουν την ανακατασκευή απλών επιστημονικών οργάνων, την εκτέλεση ιστορικών πειραμάτων, ή, ακόμα, τη συγγραφή θεατρικών σεναρίων, το παίξιμο ρόλων, την οργάνωση εκθέσεων φωτογραφίας και άλλου υλικού. Από τη διεθνή ομάδα συνεργασίας όλα αυτά τα είδη παρεμβάσεων βρήκαν τρόπους εφαρμογής.

[clxv] Το πρόγραμμα αποτελούσε συνεργασία ανάμεσα στο 1ο Γυμνάσιο Χίου (Ελλάδα), το Guzeppi Despott Boys' Lyceum (Μάλτα), το Gimnazjum nr 1 im. Papieża Jana Pawła II w Nowej Dębie (Πολωνία) και το Feyziye Mektepleri Vakfi Özel Ayazağa Işık Lisesi (Τουρκία).

Με κέντρο το Μουσείο Φυσικής της Χίου και τους μαθητές του 1ου Γυμνασίου Χίου που συμμετείχαν στο πρόγραμμα, οργανώθηκαν *σχέδια εργασίας*, ανάμεσα στα οποία ήταν η κατασκευή της φιάλης Leyden, η κατασκευή και παρουσίαση του διπλού κώνου του Nollet, η κατασκευή διαφόρων μοντέλων σκοτεινής κάμερας (camera obscura).

Από τους μαθητές ζητήθηκε, επίσης, να εργαστούν πάνω στην προετοιμασία *μικρών πειραματικών διαλέξεων* που περιελάμβαναν την παρουσίαση μπροστά στο κοινό ενός επιστημονικού θέματος με το οποίο είχαν ασχοληθεί με τη βοήθεια οπτικοακουστικού υλικού, οργάνων που είχαν κατασκευάσει οι ίδιοι ή πειραμάτων. Ένα από τα βασικότερα ζητούμενα που τέθηκαν στις μαθητικές ομάδες ήταν να καταφέρουν να κερδίσουν το ενδιαφέρον του ακροατηρίου, εμπλέκοντας τους συμμετέχοντες σε παιχνίδια διαλόγου ή πειράματα.

Εικόνα 6.11: Τα ιστορικά επιστημονικά όργανα εμπνέουν κατασκευές και πειράματα.

Το σημαντικότερο συμπέρασμα που ανέδειξε η εφαρμογή του προγράμματος ήταν ότι η προετοιμασία των εργασιών για την παρουσίασή τους στο διεθνές ακροατήριο μαθητών και καθηγητών από τις συνεργαζόμενες χώρες αποτέλεσε τόσο ισχυρό κίνητρο, που άλλαξε σε βαθμό μη αναμενόμενο το βαθμό κινητοποίησης των μαθητών, οι οποίοι πραγματοποίησαν σε πολύ σύντομο χρόνο εργασίες που «κανονικά» χρειάζονται μήνες, για να ολοκληρωθούν. Παράλληλα, εργάστηκαν πρόθυμα σε ομάδες, κάτι που επίσης δεν συνηθίζεται στο ελληνικό σχολείο. Τέλος, στο πλαίσιο του προγράμματος βιώθηκε μια σπάνια – για τα προσωπικά μου, τουλάχιστον, δεδομένα – εμπειρία, που ήταν οι μαθητές να απολαμβάνουν την εκπαιδευτική διαδικασία και να περιμένουν με αδημονία να

αρχίσει η παρουσίαση του προγράμματος (Paparou 2009a[28]).

Εικόνα 6.12: Το κλίμα του σχολείου αλλάζει ενόψει της διεθνούς συνεργασίας: (α),(β) Παρουσίαση πειραματικών διαλέξεων, (γ) Διαγωνισμοί πειραμάτων.

6.3.2. Πειραματικές δράσεις και δράσεις εξερεύνησης στο πλαίσιο του προγράμματος Grundtvig

Στο πλαίσιο του προγράμματος Ευρωπαϊκής συνεργασίας μεταξύ μουσείων και επιστημονικών κέντρων, οργανώθηκαν, με κέντρο το Μουσείο Φυσικής της Χίου, δράσεις που απευθύνονταν σε ενήλικες ηλικίας 25-65 ετών, εκπαιδευόμενους στο *Σχολείο Δεύτερης Ευκαιρίας Χίου*. Η δυσκολία του συγκεκριμένου κοινού να παρακολουθήσει μαθήματα με τη μορφή διαλέξεων οδήγησε στην επινόηση νέων μορφών εκπαιδευτικών παρεμβάσεων. Οργανώθηκε μια σειρά από «διαδρομές εξερεύνησης», οι οποίες περιελάμβαναν τη διαδοχή σύντομων και διαφορετικών μεταξύ τους δράσεων που μπορούσαν να πραγματοποιηθούν μέσα στον εκθεσιακό χώρο του μουσείου. Οι εκπαιδευόμενοι καλούνταν να ακούσουν ιστορίες σχετικές με τα εκθέματα ή να παρακολουθήσουν πολύ σύντομες παρουσιάσεις, να περιεργαστούν ιστορικά σχέδια μηχανών και πειραμάτων, να εξερευνήσουν τμήματα της συλλογής και να πραγματοποιήσουν πειράματα ή απλές κατασκευές.

Οι διαφορετικές «διαδρομές εξερεύνησης» που οργανώθηκαν[clxvi] είχαν διάρκεια 1-2 ώρες και τίτλους:

i. Μελετώντας την ατμοσφαιρική πίεση
ii. Παράγοντας ηλεκτρισμό
iii. Χρωμάτων μυστήρια
iv. Οι πρώτες ημέρες του ηλεκτρισμού
v. Ηλεκτρικό ρεύμα και παράξενα φαινόμενα

Στη διαδρομή με θέμα την ατμοσφαιρική πίεση, προσπαθήσαμε με κέντρο τα πειράματα του Μαγδεμβούργου και του Torricelli, να μιλήσουμε για την έννοια της ατμοσφαιρικής πίεσης.

Στη διαδρομή με τίτλο: «*Παράγοντας ηλεκτρισμό*» προσπαθήσαμε να καθοδηγήσουμε τους επισκέπτες στο να εξερευνήσουν τις μηχανές παραγωγής ηλεκτρισμού. Η μηχανή Ramsden και οι περισσότερο περίπλοκες ηλεκτροστατικές γεννήτριες Carré, Wimshurst και Van der Graaf, η φιάλη Leyden, η στήλη του Volta, οι μαγνητοηλεκτρικές μηχανές και η ανεμογεννήτρια, έγιναν αντικείμενο μελέτης. Μέσα από σκίτσα και παιχνίδια λέξεων, οι διαφορετικές αρχές λειτουργίας τους έγιναν φανερές, ενώ, με τη βοήθεια αφήγησης και ντοκουμέντων, στοιχεία του ιστορικού πλαισίου που τις παρήγαγε ήρθαν στο φως.

Η διαδρομή «*Χρωμάτων μυστήρια*» είναι μια περιπλάνηση σε θέματα οπτικής. Στο πρώτο μέρος της, που είχε ως τίτλο: «*Στο δωμάτιο του Νεύτωνα*», οι επισκέπτες κλήθηκαν να εξερευνήσουν με τη βοήθεια κειμένων και σκίτσων του Νεύτωνα τρία πειράματα, την ανάλυση και σύνθεση του λευκού φωτός και την αδυναμία ανάλυσης του μονοχρωματικού φωτός. Κλήθηκαν επίσης να αναπαράγουν, από σημειώσεις του Νεύτωνα, έναν τροχό σύνθεσης χρωμάτων και να πειραματιστούν πάνω σ' αυτόν.

«*Οι πρώτες ημέρες του ηλεκτρισμού*» είναι μια ξενάγηση στην εποχή του 1750. Οι ηλεκτροστατικές γεννήτριες, οι φιάλες Leyden, και πειράματα, όπως το ηλεκτρικό φιλί και η ανθρώπινη αλυσίδα που ηλεκτρίζεται, αποτέλεσαν το κέντρο της παρέμβασης αυτής, που επεδίωκε να μεταφέρει τους επισκέπτες στα μέσα του 18^{ου} αιώνα, οπότε ο ηλεκτρισμός βρισκόταν στο κέντρο του επιστημονικού και κοινωνικού ενδιαφέροντος. Η διαδρομή έκλεινε με την εξερεύνηση της στήλης του Volta, που, την αυγή του 19^{ου} αιώνα, γύρισε τη σελίδα της ιστορίας του ηλεκτρισμού.

Τέλος, μέσα από τη διαδρομή: «*Ηλεκτρισμός και παράξενα φαινόμενα*» προσπαθήσαμε να καθοδηγήσουμε με τη βοήθεια, πειραμάτων, ιστοριών και των οργάνων του Μουσείου, την εξερεύνηση ηλεκτρομαγνητικών και ηλεκτροχημικών φαινομένων.

Οι εκπαιδευόμενοι του *Σχολείου Δεύτερης Ευκαιρίας Χίου* επισκέφθηκαν το μουσείο χωρισμένοι σε δύο ομάδες. Οι συμμετέχοντες στο πρώτο έτος σπουδών (Α' ομάδα) παρακολούθησαν τις τρεις πρώτες *διαδρομές εξερεύνησης*, ενώ οι συμμετέχοντες στο δεύτερο έτος σπουδών (Β' ομάδα) τις τρεις

[clxvi] Υπεύθυνη για το σχεδιασμό των δράσεων και την παραγωγή του εκπαιδευτικού υλικού, ήταν η υπογράφουσα, ενώ οι επισκέψεις στο χώρο του Μουσείου γινόταν με τη συνδρομή του Παράσχου Καλλίτση, καθηγητή φυσικών επιστημών και υπεύθυνου για τη χρήση των ιστορικών οργάνων.

τελευταίες. Το εκπαιδευτικό υλικό που παράχθηκε για την υποστήριξη των εκπαιδευτικών αυτών δράσεων προσαρμόστηκε στο επίπεδο επιστημονικού αλφαβητισμού των συμμετεχόντων. Επειδή ανάμεσά τους υπήρχαν άτομα με μαθησιακές δυσκολίες, έγινε σε περιορισμένο βαθμό χρήση γραπτών επιστημονικών κειμένων. Αντίθετα, χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα ιστορικά σχέδια και εικόνες. Για τον έλεγχο των γνώσεων που απορροφήθηκαν, χρησιμοποιήθηκαν παιχνίδια λέξεων. Για την κατανόηση των εννοιών, προτιμήθηκαν πρακτικές συζητήσεις, κατασκευές και πειραματικές δραστηριότητες, αντί για οποιουδήποτε τύπου θεωρητικές αναλύσεις. Παράλληλα με την προσπάθειά μας για την προσαρμογή του περιεχομένου των *διαδρομών εξερεύνησης* στο γνωστικό επίπεδο των συμμετεχόντων, δώσαμε έμφαση στον ψυχολογικό παράγοντα, προκειμένου να κερδίσουμε το συγκεκριμένο κοινό. Καθώς το γεγονός ότι είχαν εγκαταλείψει το σχολείο νωρίς ήταν, για πολλούς, αποτέλεσμα κοινωνικών προβλημάτων, θεωρήσαμε σημαντικό να τους κάνουμε να αισθανθούν αποδεκτοί, άξιοι και χρήσιμοι. Και το μήνυμα αυτό προσπαθήσαμε να το περάσουμε δείχνοντάς τους ότι βρίσκονταν στο κέντρο μιας εκπαιδευτικής διαδικασίας, που ήταν μοντέρνα, ενδιαφέρουσα και είχε σχεδιαστεί ειδικά γι' αυτούς.

Εικόνα 6.13: Εξερευνώντας τα ιστορικά όργανα μέσα από πειράματα και κατασκευές.

Η στάση των εκπαιδευομένων που συμμετείχαν στις επισκέψεις στο μουσείο ελέγχονταν μέσα από το ειδικό κλίμα που δημιουργούταν σε κάθε μας συνάντηση, το οποίο αποτυπώθηκε, μερικά, στις φωτογραφίες και τις ταινίες που τραβήχτηκαν. Ελέγχθηκε, επίσης, με τη βοήθεια ειδικά κατασκευασμένων ερωτηματολογίων, τα οποία προετοιμάζονταν από ομάδα εργασίας των καθηγητών

του *Σχολείου Δεύτερης Ευκαιρίας*[clxvii]. Η όλη διαδικασία της αξιολόγησης έδειξε ότι η εκπαιδευτική μας παρέμβαση κατάφερε να κινητοποιήσει το ενδιαφέρον των συμμετεχόντων για τις φυσικές επιστήμες και τη δημιουργικότητά τους, όπως και να ικανοποιήσει την ανάγκη τους να αισθανθούν «κοινωνικά αναβαθμισμένοι». Εδώ θα πρέπει να επισημανθεί ότι, καθώς οι εκπαιδευόμενοι είχαν σημαντικό λόγο στη διαμόρφωση του προγράμματος δραστηριοτήτων του σχολείου τους, η θετική στάση τους απέναντι στα «μαθήματα στο μουσείο» ήταν ο μόνος τρόπος τα μαθήματα αυτά να συνεχιστούν.

6.3.3. Οργανώνοντας υλικό εξ αποστάσεως εκπαίδευσης

Πολλές από τις διδακτικές παρεμβάσεις που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο του προγράμματος Grundtvig μετατράπηκαν σε εκπαιδευτικό υλικό εξ αποστάσεως εκπαίδευσης μέσα από την ιστοσελίδα του προγράμματος[clxviii,clxix]. Παράλληλα, η διδακτική μας παρέμβαση με κέντρο τα ιστορικά πειράματα του Νεύτωνα πάνω στο φως και τα χρώματα μετατράπηκε, διαμέσου του Ευρωπαϊκού Προγράμματος HIPST[clxx], σε υλικό εξ αποστάσεως εκπαίδευσης, για εκπαιδευτικούς και μαθητές, το οποίο αναπτύσσεται στον αντίστοιχο ιστοχώρο κάτω από τους τίτλους: «Ο Newton και τα Χρώματα»[clxxi] και «In Newton's Chambers'»[clxxii] (Πάπαρου 2009[33]).

[clxvii] Υπεύθυνη για την κατάστρωση των ερωτηματολογίων ήταν η Αικατερίνη Θεοδωροπούλου, Δρ.Ιστορίας, η οποία συνεργάστηκε για το σκοπό αυτό με τους καθηγητές οι οποίοι συνόδευαν τους εκπαιδευόμενους εντάσσοντας τις *διαδρομές εξερεύνησης* στα μαθήματά τους. Οι τελευταίοι ήταν: ο Αργύρης Τσέος, φυσικός, ο Δημήτρης Βιδάλης, φυσικός και η Νικολέτα Γεωργιάδου, ζωγράφος.

[clxviii] http://www.anakalypto.eu/chios%20museum%20activities.html (είσοδος 30-10-2010)

[clxix] Η κατασκευή της ιστοσελίδας του προγράμματος http://www.anakalypto.eu αποτελεί συνδρομή ομάδας εκπαιδευτικών του *Aberdeen City Council-Strategic Leadership* (Σκωτία), που μετείχε στο πρόγραμμα.

[clxx] Πρόκειται για το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα *Science & Society* «HIPST, History and Philosophy of Science in Science Teaching», το οποίο εκπονήθηκε στο διάστημα 2008-2010.

[clxxi] http://atlaswikigr.wetpaint.com/page/O+Newton+και+τα+χρώματα (είσοδος 30-10-2010)

[clxxii] http://atlaswiki.wetpaint.com/page/In+Newton%27s+Chambers... (είσοδος 30-10-2010)

7. Η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΛΕΞΗ: «ΠΩΣ ΘΑ ΗΤΑΝ Η ΓΗ ΧΩΡΙΣ ΑΕΡΑ;»

Εικόνα 7.1: «Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;»

7.1. Η διδακτική μας πρόταση στο εκπαιδευτικό τοπίο που διαμορφώνουν εκπαιδευτικές παρεμβάσεις με κέντρο τον αέρα, το κενό και την ατμοσφαιρική πίεση

Ο αέρας, το κενό και η ατμοσφαιρική πίεση είναι ανάμεσα στα θέματα που προσφέρεται να διδαχθούν μέσα από την ιστορία της επιστήμης. Έχοντας ως κέντρο τα ερωτήματα του 17ου αιώνα πάνω στο κενό, η διδασκαλία μπορεί περιλαμβάνει την ιχνηλασία του θέματος μέσα στον ιστορικό χρόνο, γιατί ερωτήματα σχετικά με την ύπαρξη του κενού εμφανίζονται στην αρχαιότητα και μέχρι και τον 20ο αιώνα επανέρχονται, για να δεχθούν διαφορετικές απαντήσεις. Η διδασκαλία των ιδιοτήτων του κενού και της ατμοσφαιρικής πίεσης με την ιστορική μέθοδο θα μπορούσε ακόμη να μελετά την ιστορία της εφεύρεσης νέων επιστημονικών οργάνων, να εξερευνά θεαματικά ιστορικά πειράματα και πειράματα-ορόσημα για την ιστορία της επιστήμης. Επίσης, θα μπορούσε να αποτελέσει εφαλτήριο για το στοχασμό πάνω στη φύση της επιστήμης, γιατί σύμφωνα με τον Shapin (Shapin 1984[12]) ο πειραματισμός πάνω στις ιδιότητες του κενού, κατά τον 17ο αιώνα, ταυτίζεται με τη διαμόρφωση μιας πειραματικής κουλτούρας που έθεσε ως στόχο την αντικειμενική καταγραφή και διάδοση των πειραματικών δοκιμών και αποτελεσμάτων. Κατά τον ίδιο συγγραφέα, η κουλτούρα αυτή είναι αυτό που μέχρι σήμερα καθιστά έγκυρη την πειραματική επιστημονική γνώση.

Με βάση τα παραπάνω, η ιστορική διαπραγμάτευση του θέματος καθίσταται ιδιαίτερα ελκυστική για τους σχεδιαστές της επιστημονικής εκπαίδευσης σε σχολεία, πανεπιστήμια και μουσεία.

7.1.1. Στα επιστημονικά μουσεία…

Στο *Deutsches Museum*[clxxiii], η ιστορική αντλία του von Guericke και μοντέρνα αντίγραφα σημαντικών πειραμάτων του 17ου αιώνα, όπως το μαγικό φούσκωμα μπαλονιού, το βαροσκόπιο, η αδυναμία διάδοσης του ήχου σε κενό αέρα, συνδέονται μέσα από μια ιστοριογραφική προσέγγιση που δίνει έμφαση στις βασικές επιστημονικές αρχές που ενσωματώνουν. Το πάτημα ενός κουμπιού θέτει σε λειτουργία ηλεκτρικές αντλίες, με τη βοήθεια των οποίων απλοποιημένες εκδοχές των ιστορικών πειραμάτων αναπαρίστανται με τη θέληση του επισκέπτη.

Στο *Museo Galileo*[clxxiv], τα πειράματα της ιστορικής Ακαδημίας πάνω στο κενό απεικονίζονται με τη βοήθεια ταινιών που, έχοντας στο χώρο της έκθεσης το ρόλο λεζάντας, δείχνουν τη χρήση των ιστορικών οργάνων και την πολιτισμική, επιστημονική και κοινωνική σημασία των πειραμάτων. Στον ιστοχώρο του Μουσείου, κείμενα για την ιστορία της Ακαδημίας (IMSS 2001-2002a[278]), κείμενα πάνω στη διαπραγμάτευση ερωτημάτων για στο «κενό» από επιστήμονες του 17ου αιώνα (IMSS 1999[264]), προσομοιώσεις της λειτουργίας των επιστημονικών οργάνων του μουσείου (IMSS 1995-2010[279]), ταινίες που εξηγούν τα ιστορικά πειράματα παρουσιάζοντας ταυτόχρονα το ιστορικό τους πλαίσιο (IMSS 2001-2002b[280]), και δυνατότητες πρόσβασης σε πρωτογενείς πηγές (Accademia del

[clxxiii] Προσωπική επίσκεψη, Μάρτιος 2006
[clxxiv] Προσωπική επίσκεψη, Οκτώβριος 2010

Cimento 1667[281]) καθιστούν το σχετικό εκπαιδευτικό υλικό κατάλληλο για πολλές κατηγορίες κοινού.

Σε περιοδική έκθεση με τίτλο: *The Strength of 'Nothing'*, που οργανώθηκε την τελευταία δεκαετία από το *Museum Gustavianum* του *Πανεπιστημίου της Ουψάλα*, στη Σουηδία, σε συνεργασία με την Otto von Guericke Society, στη Γερμανία, εκτίθεντο εξαιρετικά αντίγραφα των πειραματικών συσκευών του von Guericke με τα οποία μπορούσαν να πραγματοποιηθούν πειράματα μπροστά στο κοινό. Όταν η έκθεση απευθύνθηκε σε μαθητές Γυμνασίου, ηλικίας 11-13 ετών, διαπιστώθηκε ότι, παρόλο που τα πειράματα σε συνδυασμό με τις πληροφορίες που έδιναν οι λεξάντες αποτελούσαν πλούσιο εκπαιδευτικό υλικό ιστορίας της επιστήμης, δεν ήταν το ίδιο εύκολο να οδηγήσουν στην κατανόηση θεμάτων φυσικής. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε ομάδα εργασίας από καθηγητές, μαθητές των ανωτέρων τάξεων του λυκείου και φοιτητές, οι οποίοι ανέλαβαν να εξηγούν τις ιστορικές συσκευές, χρησιμοποιώντας όρους φυσικής και θέματα καθημερινής ζωής. Πλησιάζοντας την πρόταση του *Deutsches Museum*, οι σχεδιαστές της έκθεσης συμπεριέλαβαν σταδιακά αυτό το εξηγητικό περιεχόμενο στον εκθεσιακό χώρο, με τη μορφή απλών πειραμάτων που, αρχικά, εκτελούνταν από τους ξεναγούς-φυσικούς και, αργότερα, μετατράπηκαν σε διαδραστικά εκθέματα. Με τον τρόπο αυτό, η έκθεση, σταδιακά, συνδύασε το ιστορικό της περιεχόμενο με το περιεχόμενο του Σουηδικού σχολικού προγράμματος σπουδών για τις φυσικές επιστήμες (Andersson 2008[198]).

Προκειμένου να ενισχυθεί το ενδιαφέρον για τις φυσικές επιστήμες, το *Μουσείο Ιστορίας της Φυσικής του Πανεπιστημίου της Πάδοβα* και το *Τμήμα Φυσικής* του ίδιου *Πανεπιστημίου* οργάνωσε μέσα στην τελευταία δεκαετία πρόγραμμα, που απευθύνεται σε μαθητές. Οι τελευταίοι καλούνταν να επισκεφθούν την έκθεση των «πνευματικών μηχανών» του μουσείου που χρονολογούνται από τον 18^{ο} αιώνα και, στη συνέχεια, να εξερευνήσουν τη λειτουργία τους, μέσα από ιστορικά πειράματα που μπορούσαν να πραγματοποιηθούν με σύγχρονες αντλίες κενού σε ειδικά διαμορφωμένο εργαστήριο (Talas 2008[225]).

7.1.2. Στην τριτοβάθμια εκπαίδευση…

Περνώντας στο χώρο της τυπικής εκπαίδευσης, η ιστορική εξερεύνηση του κενού έχει απασχολήσει διάσημα και ευρείας εφαρμογής πανεπιστημιακά εγχειρίδια. Το 1947, ο James Bryant Conant αφιερώνει μια από τις οκτώ μελέτες περίπτωσης του βιβλίου του *Harvard Case Histories in Experimental Science* στα πειράματα του Boyle πάνω στις ιδιότητες του κενού (Conant 1957/1966[282]). Ο συγγραφέας προτείνει την εξερεύνηση των ιστορικών πειραμάτων μέσα από τα ιστορικά επιστημονικά ντοκουμέντα – λεπτομερείς περιγραφές του Boyle πάνω στις πειραματικές του δοκιμές συνοδευόμενες από εξίσου λεπτομερείς περιγραφές και σχέδια των συσκευών του – ως τρόπο για την κατανόηση της διαμόρφωσης του εννοιολογικού πλαισίου πάνω στη φύση και τις ιδιότητες του κενού, στη φύση και τις ιδιότητες του αέρα.

Η πρόταση του Bryant Conant εξακολουθεί μέχρι σήμερα να αποτελεί πηγή έμπνευσης για την κατάστρωση σχεδίων διδασκαλίας της επιστήμης στο ιστορικό της πλαίσιο. Στο Πανεπιστήμιο του Texas οργανώνεται ένα πρόγραμμα διάρκειας δύο εβδομάδων, με κέντρο το ερώτημα του 16^{ου} αιώνα

πάνω στην άντληση νερού από ορυχεία (Allchin et al. 1999[214]), έχοντας ως πηγή έμπνευσης το εγχειρίδιο αυτό. Το πρόγραμμα απευθύνεται σε σπουδαστές των χαμηλότερων ετών, οι οποίοι δεν έχουν επιλέξει ως κατεύθυνση σπουδών τις φυσικές επιστήμες. Σε αντιδιαστολή με το σχέδιο διδασκαλίας του Conant, στο οποίο τα ιστορικά πειράματα έχουν τη θέση παρτιτούρας που ορίζει το περιεχόμενο της διδασκαλίας, η πρόταση των Allchin et al. είναι σε μεγαλύτερο βαθμό βασισμένη στην αυτενέργεια των σπουδαστών. Οι σπουδαστές συμμετέχουν ενεργά στην οικοδόμηση της πειραματικής διαδικασίας, και προτείνουν, για παράδειγμα, τη χρήση διαφόρων σωλήνων, δοχείων και τρόπων ελέγχου, για να καταλήξουν στην ανακάλυψη ότι *η υδροστατική πίεση είναι ανάλογη του ύψους του υγρού, ενώ δεν εξαρτάται από τον όγκο ή το σχήμα του δοχείου*. Με παρόμοιο τρόπο, καλούνται να χρησιμοποιήσουν πειραματικές μεθόδους ανοικτού τύπου, για να προσδιορίσουν τους παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία των σιφωνίων και το λόγο για τον οποίο αυτά μπορούν να «νικούν» τη βαρύτητα, όταν ανεβάζουν νερό από τα ορυχεία. Οι σπουδαστές καλούνται να παρουσιάσουν τα αποτελέσματα των εργασιών τους στους συμφοιτητές τους, υπό μορφή «ανακοινώσεων» σεμιναρίων, τα οποία επιδιώκουν να «θυμίσουν» ιστορικές ανακοινώσεις μπροστά στα μέλη της επιστημονικής κοινότητας, και να αποτελέσουν, έτσι, σχόλιο για την κοινωνική δομή της επιστημονικής γνώσης, όπως την εξηγεί ο Shapin (Shapin 1984[12]). Σε αντίθεση με την πρόταση του Conant, στη διδακτική πρόταση των Allchin et al., η ιστορική διάσταση εισάγεται πολλές φορές εκ των υστέρων. Αφού οι σπουδαστές παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της ομαδικής τους εργασίας, ο διδάσκων τα συνοψίζει και τα αξιολογεί παραλληλίζοντάς τα με ιστορικά επιστημονικά επεισόδια, τα οποία εισάγονται, τότε, για να διευρύνουν το πλαίσιο κατανόησης των επιστημονικών διαδικασιών και να το εμπλουτίσουν με πολιτισμικά και κοινωνιολογικά στοιχεία.

7.1.3. Στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση…

Στο επίπεδο της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, στις ΗΠΑ και το Ηνωμένο Βασίλειο, προτείνεται στο δεύτερο ήμισυ του 20ου αιώνα η ιστορική προσέγγιση της διδασκαλίας της ατμοσφαιρικής πίεσης μέσα από σχετικές μορφοποιήσεις των αναλυτικών προγραμμάτων και των διδακτικών εγχειριδίων (Matthews 1994 σελ.60-63[99]). Έτσι, κατά τη δεκαετία του 1960, ο Leo Klopfer περιλαμβάνει ένα κεφάλαιο για την ατμοσφαιρική πίεση στο διδακτικό του εγχειρίδιο *History of Science Cases*. Παρόλο που η συγκεκριμένη διδακτική παρέμβαση κρίθηκε επιτυχής (Klopfer & Cooley 1963[283]), η εφαρμογή της στάθηκε ιδιαίτερα περιορισμένη. Το 1989, η Joan Solomon παρουσιάζει στο διδακτικό εγχειρίδιο *The Big Squeeze* (Solomon 1989[284]), που γράφεται για την *British Association for Science Education* (ASE), το θέμα της ατμοσφαιρικής πίεσης με ολιστικό τρόπο, διαμέσου ιστορικής αναφοράς σε επιστημονικές θεωρήσεις και επιστημονικά επεισόδια, από τους αρχαίους και μεσαιωνικούς χρόνους μέχρι τα χρόνια της επιστημονικής επανάστασης. Η διδακτική πρόταση περιλαμβάνει την εξερεύνηση των ιδεών του Γαλιλαίου, των πειραμάτων του Torricelli, του von Guericke, του Pascal και του Boyle (Solomon 1989[284], Matthews 1994 σελ.62-63[99]).

Στο επίπεδο της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης διατυπώνονται, επίσης, μεμονωμένες προτάσεις για

την ιστορική διαπραγμάτευση της διδασκαλίας της ατμοσφαιρικής πίεσης. Ο Matthews, στο κλασσικό βιβλίο του *Science Teaching – The role of History and Philosophy of Science*, προτείνει να αξιοποιηθεί το πείραμα του Torricelli ως είσοδος για την ιστορία της επιστήμης και, με εργαλεία την ιστορία της επιστήμης και κατάλληλα σχεδιασμένες δραστηριότητες, να εξερευνηθεί το πώς η θεωρία και το πείραμα αλληλοσυμπλέκονται, πώς, για παράδειγμα, διαφορετικές παρατηρήσεις είναι δυνατόν να δεχθούν αντικρουόμενες εξηγήσεις ή κατά πόσον η πειραματική επιβεβαίωση μιας επιστημονικής υπόθεσης αποτελεί ασφαλές κριτήριο για την εγκυρότητά της. Παράλληλα, προτείνει να αξιοποιηθεί το πείραμα του Torricelli ως είσοδος σε θέματα κοινωνιολογίας της επιστήμης και, αξιοποιώντας ως πηγή πληροφοριών την ιστορία της επιστήμης, να αναδειχθεί το κατά πόσον ο κάθε επιστήμονας βασίζεται στην εργασία άλλων μελών της επιστημονικής κοινότητας και το πόσο σημαντική είναι η αντικειμενική διάδοση της επιστημονικής πληροφορίας (Matthews 1994, σελ.64-70[99]). Με κέντρο τη διδασκαλία της ατμοσφαιρικής πίεσης, οι Arthur Stinner &Harvey Williams προτείνουν, το 1998, την αναπαράσταση του πειράματος του Torricelli με τη χρήση νερού στη θέση του υδραργύρου και την οργάνωση δραστηριοτήτων έξω από τη σχολική τάξη με στόχο τη μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης σε διάφορα υψόμετρα. Προτείνουν την παράλληλη μελέτη σχετικών ιστορικών επιστημονικών κειμένων, όπως η αλληλογραφία μεταξύ των Périer, Torricelli and Pascal, την περαιτέρω εξερεύνηση του θέματος της ατμοσφαιρικής πίεσης με την αναπαράσταση του πειράματος του Μαγδεμβούργου και την εξερεύνηση των ιδιοτήτων του αέρα και του κενού με την αναπαράσταση των πειραμάτων του Boyle (Stinner & Williams 1998[259]).

7.1.4. Ερευνώντας τις ιδέες των μαθητών…

Παράλληλα με τις παραπάνω διδακτικές προτάσεις, κατά τις τελευταίες δεκαετίες του 20^{ου} αιώνα, πολλές ερευνητικές εργασίες στο χώρο της διδακτικής των φυσικών επιστημών ρίχνουν φως στη δυνατότητα αξιοποίησης της ιστορικής πληροφορίας για την κατανόηση ή για τη διδακτική επεξεργασία των ιδεών των μαθητών πάνω στον αέρα, το κενό και την ατμοσφαιρική πίεση. Οι σχετική έρευνα αποκαλύπτει ότι οι μαθητές έχουν συχνά απόψεις που θυμίζουν επιστημονικές θεωρήσεις άλλων εποχών. Ανάμεσα σ' αυτές είναι το ότι *ο αέρας δεν έχει βάρος* (Galili & Bar 1997[285], Hapkiewicz 1999[286], Κασσέτας 2004[287]), ότι *το κενό δεν μπορεί να υπάρξει στη φύση, γιατί, αν προσπαθήσουμε να το δημιουργήσουμε, αφαιρώντας τον αέρα, ο γειτονικός αέρας θα προστρέχει πάντα να το γεμίζει* (Nussbaum 1985/1993 σελ.202[288]), ότι *τα σώματα πέφτουν με σταθερή ταχύτητα/ταχύτητες στο κενό* (Hapkiewicz 1999[286]), ότι *ίσως να είναι δυνατόν να ακουστούν ήχοι/κάποιοι ήχοι στο κενό* (Eshach &Schwartz 2006[289], Hapkiewicz 1992[290]). Επιπλέον, η έρευνα αποκαλύπτει ότι, σε αρκετές περιπτώσεις, η δυσκολία των μαθητών να εξηγήσουν φαινόμενα, χρησιμοποιώντας το εννοιολογικό πλαίσιο της μοντέρνας επιστήμης, μπορεί να παραλληλιστεί με την αντίστοιχη δυσκολία των επιστημόνων να το κατακτήσουν. Έτσι, έχει βρεθεί ότι οι μικρότερης ηλικίας μαθητές έχουν ιδιαίτερη δυσκολία να κατανοήσουν την Νευτωνική ιδέα της βαρύτητας και υποστηρίζουν θέσεις, όπως ότι *η ύπαρξη του αέρα είναι αναγκαία για την ύπαρξη της βαρύτητας* (Watts 1982[291], Ruggiero et al. 1985[292],

Noce et al.1988[293], Phillips 1991[294]), ότι *μακριά από τη γη, όπου δεν υπάρχει αέρας, δεν υπάρχει και βαρύτητα* (Galili 1995[295]), ότι *στο διάστημα ή στο φεγγάρι, εφόσον δεν υπάρχει αέρας, δεν υπάρχει και βαρύτητα και τα αντικείμενα αιωρούνται* (Watts 1982[291], Noce et al.1988[293], Κασσέτας 2004[287]), πίσω από τις οποίες οι ιστορικοί της επιστήμης πιθανόν να αναγνωρίζουν την ιστορική επιστημονική πεποίθηση ότι *η ύπαρξη κάποιου μέσου είναι απαραίτητη, για να ασκηθεί δύναμη από απόσταση*. Με παρόμοιο τρόπο, πίσω από την πολύ κοινή ιδέα των μαθητών ότι *ο αέρας ασκεί δύναμη ή πίεση στα αντικείμενα μόνο όταν κινείται* (Séré 1985[296]), η οποία ταυτίζει τον αέρα με τον άνεμο, μπορεί, εκτός από τον παράγοντα γλώσσα που συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στη διαμόρφωση αυτής της παρανόησης, να αναγνωριστεί η ιστορική πεποίθηση ότι *ο αέρας δεν είναι δυνατόν να έχει βάρος*.

Η διερεύνηση των ιδεών των μαθητών, η οποία στάθηκε ιδιαίτερα δημοφιλής κατά τη διάρκεια των τριών τελευταίων δεκαετιών, έχει αξιοποιηθεί από τη σύγχρονη εκπαιδευτική κοινότητα για την επινόηση σχεδίων μαθημάτων και διδακτικών στρατηγικών για τη διδασκαλία της ατμοσφαιρικής πίεσης και των ιδιοτήτων του αέρα.

7.1.5. Η δική μας πρόταση…

Η δική μας διδακτική πρόταση συνεισφέρει στο εκπαιδευτικό τοπίο που διαμορφώνεται από τις παραπάνω προτάσεις ως πρόταση που επιχειρεί να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ τυπικής και άτυπης εκπαίδευσης. Έχοντας τη μορφή της πειραματικής διάλεξης, αποτελεί μια πρόταση για ολιστική διδασκαλία των φυσικών επιστημών, ενώ ταυτόχρονα καλλιεργεί μια νέα εκπαιδευτική κουλτούρα, συνδυασμού επιστήμης και τέχνης, μάθησης και ψυχαγωγίας, που λειτουργεί ως εργαλείο μετατροπής του παλαιού εργαστηρίου σε επιστημονικό μουσείο. Ξεκινώντας από τον μαθητή, εξερευνά ένα ευρύ φάσμα των ιδεών που αφορούν στον αέρα και την ατμοσφαιρική πίεση και τις χρησιμοποιεί ως εισόδους στην ιστορία της επιστήμης. Μέσα από τον τρόπο που το σενάριο υφαίνει τη συμμετοχή των μαθητών στα πειράματα και στα παιχνίδια διαλόγου, οδηγεί το ακροατήριο στο να περιπλανηθεί σε θέματα ιστορίας της επιστήμης και να αποκτήσει εμπειρίες που απαντούν σε επιστημονικά ερωτήματα και σε θέματα πάνω στη φύση και στη μεθοδολογία της επιστήμης. Σε πολλές περιπτώσεις, μέσα από την παρουσίαση δεν δίνονται απαντήσεις πάνω στις ιδέες των μαθητών, αλλά προτείνονται τρόποι εμπνευσμένοι από την ιστορία της επιστήμης με τους οποίους οι ιδέες αυτές μπορούν να ελεγχθούν από τους ίδιους τους μαθητές. Η πειραματική διάλεξη είναι μια περιπλάνηση που έχει σαν στόχο να δημιουργήσει την περιέργεια, να κινήσει ερωτήματα και διαδικασίες εξερεύνησης, παρέχοντας ταυτόχρονα υλικό και εργαλεία στους μαθητές και τους καθηγητές για την περαιτέρω εξερεύνηση των θεμάτων και ερωτημάτων που θίγονται. Ανάμεσα στα εργαλεία αυτά είναι η ανάδειξη των ιδεών των μαθητών, ιστορικά κείμενα και συγκεκριμένες προτάσεις επεξεργασίας του περιεχομένου της πειραματικής διάλεξης.

7.2. Γενικά χαρακτηριστικά, δομικά στοιχεία και άξονες σχεδιασμού της πειραματικής διάλεξης

7.2.1. Γενικά χαρακτηριστικά και δομικά στοιχεία

Η πειραματική διάλεξη με τίτλο: «*Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;*» άρχισε να σχεδιάζεται κατά το ακαδημαϊκό έτος 2003-2004. Η κατασκευή του εκπαιδευτικού υλικού ολοκληρώθηκε στην αρχή του ακαδημαϊκού έτους 2004-2005 και έκτοτε το «μάθημα-θέαμα» εφαρμόστηκε σε περισσότερους από χίλιους μαθητές της Χίου, του Βορείου Αιγαίου και άλλων περιοχών της Ελλάδας, αποτέλεσε αντικείμενο επιμόρφωσης εκπαιδευτικών σε σεμινάρια οργανωμένα σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο και θέμα εισήγησης σε πανελλήνια (Πάπαρου κ.ά. 2004β[19], Πάπαρου & Καλλίτσης 2005[23], Πάπαρου & Καραλιώτα 2007[24]) και διεθνή συνέδρια (Πάπαρου κ.ά. 2005[20], Parapou et al. 2008[26], Paparou & Karaliota 2011[32]).

Στο κέντρο της πειραματικής διάλεξης βρίσκονται οι αντλίες κενού και ερωτήματα σχετικά με το κενό, τον αέρα και την ατμοσφαιρική πίεση. Η πειραματική διάλεξη μας μεταφέρει κυρίως στην εποχή του 17^{ου} αιώνα, όπου αντίστοιχα επιστημονικά ερωτήματα βρίσκονταν στο κέντρο του επιστημονικού ενδιαφέροντος. Σκέψεις του Γαλιλαίου, πειράματα των επιστημόνων της Accademia del Cimento, του von Guericke και του Boyle, απαντήσεις του Νεύτωνα, και, παράλληλα, συλλογισμοί του Αριστοτέλη, υπολογισμοί του Αρχιμήδη, πειράματα επιστημόνων του 19^{ου} αιώνα, όπως του Faraday, του Tyndall, και θεωρήσεις του Einstein τον 20^{ο} αιώνα υφαίνουν τον συνειρμικό ιστό γύρω από τις αεραντλίες του Μουσείου Φυσικής και τις συσκευές για τη μελέτη φαινομένων που σχετίζονται με τον αέρα και την ατμοσφαιρική πίεση. Μέσα από τις ενότητες της πειραματικής διάλεξης, αποκαλύπτεται ότι φαινόμενα, όπως η πτώση των σωμάτων, ο ήχος, η φλόγα, το πέταγμα του αεροπλάνου και η πτώση του αλεξίπτωτου και, ακόμα, ο βρασμός του νερού, η αστραπή, το χρώμα του ουρανού, θα ήταν τελείως διαφορετικά σε μια γη χωρίς αέρα.

Όπως προαναφέρθηκε, η πειραματική διάλεξη αποτελεί μια προσπάθεια γεφύρωσης του χάσματος μεταξύ τυπικής και άτυπης εκπαίδευσης, ενώ, ταυτόχρονα, αποτελεί ένα ενδιάμεσο στάδιο στη μετατροπή της συλλογής επιστημονικών οργάνων σε επιστημονικό μουσείο. Έτσι, αξιοποιεί, τόσο τεχνικές της άτυπης εκπαίδευσης, η οποία στοχεύει να προσελκύσει τον επισκέπτη μέσα από τη χρήση καλλιτεχνικών μορφών παρουσίασης ή μέσα από την παρουσίαση του πολυδιάστατου των εκθεμάτων (Burns et al. 2003[207]), όσο και τεχνικές της τυπικής εκπαίδευσης, η οποία επικεντρώνεται στην καθοδήγηση του μαθητή για την επίτευξη μαθησιακών στόχων (Burns et al. 2003[207]).

Όπως, θα αναλυθεί στη συνέχεια, η διδακτική πρόταση αξιοποιεί εργαλεία της ανακαλυπτικής μάθησης και του εποικοδομητισμού. Ξεκινώντας από τον μαθητή, εξερευνά ένα ευρύ φάσμα των ιδεών που αφορούν στον αέρα και στην ατμοσφαιρική πίεση και τα χρησιμοποιεί ως εισόδους στην ιστορία της επιστήμης. Δεν υπάρχει στο πλαίσιο της δίωρης παρουσίασης της διάλεξης η δυνατότητα να γίνει ειδική επεξεργασία κάθε μιας από τις ιδέες που εκφράζουν οι μαθητές, όπως συμβαίνει σε πολλές από τις έρευνες που παρατέθηκαν ως αναφορές στην προηγούμενη παράγραφο, οι οποίες

έχουν μόνο αυτό ως αντικείμενο. Ωστόσο, δίνει τη δυνατότητα να διαπιστωθεί η απόσταση, η διαφορά ή η σύμπτωση ανάμεσα στις πεποιθήσεις των συμμετεχόντων και τις επιστημονικές απόψεις, συγκρίνει πολλές από τις πεποιθήσεις αυτές με φάσεις της ιστορίας της επιστημονικής σκέψης και προτείνει εργαλεία για την επεξεργασία τους, εμπνευσμένα από την ιστορία της επιστήμης.

Όπως προδίδει η ονομασία που δίνουμε στη μορφή της διδακτικής μας παρέμβασης, το πείραμα έχει κεντρικό ρόλο σε αυτήν ως διδακτικό εργαλείο, αποτελώντας το κύριο στοιχείο για την πρόκληση γνωστικής σύγκρουσης (cognitive conflict), στις περιπτώσεις που το ξεδίπλωμα του περιεχομένου ξεκινά από τις ιδέες των μαθητών (βλ., για παράδειγμα, *ενότητες 7.4.1, 7.4.8*). Επίσης, στοιχεία του πειράματος, όπως είναι οι παρατηρήσεις των συμμετεχόντων, αξιοποιούνται ως συνειρμικοί τρόποι εισόδου στην ιστορία της επιστήμης (βλ., για παράδειγμα, *ενότητα 7.4.7*), ενώ άλλα, όπως η ομαδική παρατήρηση ή η ομοιογένεια ή ανομοιογένεια των πειραματικών αποτελεσμάτων, αποτελούν εφαλτήρια για το σχολιασμό θεμάτων φύσης της επιστημονικής γνώσης (βλ. *ενότητα 7.4.5*).

Κλείνοντας, θα θέλαμε να σχολιάσουμε ότι ένα από τα πιο ενδιαφέροντα, ίσως, στοιχεία αυτής της πειραματικής διάλεξης, είναι ότι καταφέρνει να ξεδιπλώσει θέματα της ιστορίας της επιστήμης μέσα από απλά επιστημονικά ερωτήματα, στα οποία το κοινό εμπλέκεται εύκολα, γιατί μπορεί να τα σχηματοποιήσει διαμέσου της εμπειρίας. Παράλληλα, καταφέρνει να δώσει ζωή σε ένα κομμάτι της συλλογής του Μουσείου που είχε πάντα κεντρικό ρόλο στη διδασκαλία της επιστήμης, γενικότερα, και στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών στο συγκεκριμένο εργαστήριο.

7.2.2. Συνυφαίνοντας το επιστημονικό περιεχόμενο με την ιστορία της επιστήμης

Ανάμεσα στις σημαντικές πηγές έμπνευσης κατά την έναρξη της διαδικασίας κατασκευής της διδακτικής πρότασης ήταν το εγχειρίδιο Φυσικής των Δαπόντε, Κασσέτα & Μουρίκη (Δαπόντες κά. 1997α[261]), τα ευρείας χρήσης πανεπιστημιακά Εγχειρίδια Φυσικής του Harvard (Conant & Nash 1957/1966[256], Holton & Brush 1985[260]), που θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικά για τους τρόπους που συνυφαίνουν την ιστορία της επιστήμης με τον επιστημονικό περιεχόμενο, αξιοποιώντας, το πρώτο μια θετικιστική προσέγγιση κατά την οποία η επιστημονική γνώση είναι αποτέλεσμα της πειραματικής διαδικασίας και το δεύτερο μια προσέγγιση που επικεντρώνεται στην εξέλιξη και αλλαγή των επιστημονικών ιδεών. Επηρεαστήκαμε, επίσης, ιδιαίτερα από το εκπαιδευτικό υλικό με τίτλο *Horror Vacui* (IMSS 1999[263]) του *Μουσείου Ιστορίας της Επιστήμης της Φλωρεντίας* (του σημερινού *Museo Galileo*), που εκθέτει τα ιστορικά πειράματα του 17^{ου} αιώνα πάνω στο κενό, αναδεικνύοντας ταυτόχρονα τα επιστημονικά όργανα και τα ιστορικά ντοκουμέντα – κείμενα και σχέδια – με τα οποία τα ιστορικά πειράματα συνδέονται.

Όπως φαίνεται *στον Πίνακα 7.1*, που ακολουθεί, το περιεχόμενο της πειραματικής διάλεξης πλέχθηκε με βάση το ερώτημα του τίτλου της, το οποίο είναι επιστημονικό. Η ανάγκη να συγκεντρωθούν απαντήσεις σε διαφορετικά ερωτήματα που συνδέονται με την ατμοσφαιρική πίεση, μας ταξίδεψε σε διαφορετικές εποχές, καθώς προσπαθήσαμε να δούμε πότε τα ιστορικά πειράματα στα οποία αναφερόμαστε έγιναν για πρώτη φορά ή βρίσκονταν στο κέντρο της επιστημονικής

επικαιρότητας. Η διδακτική προσέγγιση συνδυάζει την ιδέα της *«ιστορικής φωτογραφίας»* – που συνίσταται στην παρουσίαση επιστημονικών θεμάτων μέσα στο ιστορικό σκηνικό μιας συγκεκριμένης εποχής – με την ιχνηλασία εννοιών και ιδεών που επανεμφανίζονται σε διαφορετικές ιστορικές περιόδους, τις οποίες προβάλλουμε ως *«νοητική σκυταλοδρομία»* ανάμεσα σε επιστήμονες διαφορετικών εποχών.

Πίνακας 7.1: «Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;» – Περιεχόμενα

1. Πώς και γιατί πέφτουν τα αντικείμενα στη γη; 1.1. Η άποψη του Αριστοτέλη, 4ος αι. πΧ.: Ελαφρότητα και βάρος. Τα βαρύτερα αντικείμενα πέφτουν ταχύτερα. 1.2. Η άποψη του Γαλιλαίου, 17ος αι.: Τα αντικείμενα πέφτουν «σχεδόν» μαζί. Η άποψη του Αριστοτέλη είναι λάθος. 1.2.1. Πτώση στον αέρα και ελεύθερη πτώση (1ο πείραμα – α. Η γκινέα και το φτερό). 1.2.2. Πτώση στην επιφάνεια της σελήνης, 1971 (1ο πείραμα – β. Το φτερό και το σφυρί). 1.3. Η άποψη του Νεύτωνα, 17ος αι.: Το μήλο, το φεγγάρι και η ιδέα της βαρύτητας.
2. Το κενό 2.1. Η άποψη του Λεύκιππου και του Δημόκριτου, 5ος αι. π.Χ.: Τα άτομα και το κενό. 2.2. Η άποψη του Αριστοτέλη, 4ος αι.π.Χ.: Η φύση αποστρέφεται το κενό. 2.3. Η συζήτηση των Giovanni Battista Baliani και Γαλιλαίου, 17ος αι. Τα όρια των αντλιών νερού. Η «δύναμη» ή η «αντίσταση του κενού». 2.4. Το πείραμα του Torricelli, 17ος αι. Η φύση δεν αποστρέφεται το κενό. Ο αέρας έχει βάρος (2ο πείραμα). 2.5. Οι αντλίες κενού του von Guericke και του Boyle, 17ος αιώνας. 2.6. Ο Νεύτωνας, ο Αϊνστάιν και το απόλυτο κενό, 17ος - 20ος αιώνας.
3. Πόσο μας πιέζει; 3.1. Το πείραμα του Μαγδεμβούργου, von Guericke, 17ος αιώνας (3ο πείραμα). 3.2. Εκτιμώντας την ατμοσφαιρική πίεση.
4. Ένα τεράστιο μπαλόνι 4.1. Μαγικό φούσκωμα μπαλονιού, Accademia del Cimento, 17ος αι. Η ύπαρξη του κενού αποδεικνύεται πειραματικά (4ο πείραμα – α). 4.2. Η επανάληψη του πειράματος από τον Boyle, 17ος αιώνας. «Η ελαστική δύναμη και η πίεση του αέρα». 4.3. Η παρουσίαση του πειράματος από τον Faraday, 19ος αι. Η ελαστικότητα του αέρα. Η έννοια της σχετικής πίεσης (4ο πείραμα – β).
5. Σιωπηλές καμπάνες 5.1. Βουβές καμπάνες. Το πείραμα του Gaspar Berti, Ρώμη, 17ος αιώνας. 5.2. Τα πειραματικά αποτελέσματα, Boyle 17ος αι. (5ο πείραμα).
6. Κερί δίχως φλόγα 6.1. «Πάνω στη δυσκολία του να παραχθεί φλόγα χωρίς αέρα». Οι πειραματισμοί του Boyle πάνω στη δυνατότητα καύσης του θείου στο κενό, 17ος αιώνας. 6.2. Κερί δίχως φλόγα (6ο πείραμα).
7. Παράξενες αστραπές 7.1. Ηλεκτρικές εκκενώσεις σε μειωμένη πίεση. Faraday, 19ος αι. (7ο πείραμα – α.Το ηλεκτρικό αυγό). 7.2. Μελέτες των επιστημόνων του 19ου αι. πάνω στις ηλεκτρικές εκκενώσεις σε μειωμένη πίεση (7ο πείραμα – β. Σωλήνες Geissler).
8. Η εξαφάνιση της θάλασσας 8.1. «Έχει ελαστική δύναμη το νερό;» Boyle, 17ος αι. (8ο πείραμα – α. Η φυσική κατάσταση του νερού στο κενό). 8.2. «Ο αναβρασμός θερμών υγρών στο κενό» Boyle, 17th αι. (8ο πείραμα – β. Θερμοκρασία βρασμού του νερού και ατμοσφαιρική πίεση). 8.3. Επιστήμη και «καθημερινή ζωή»: Ιστορίες ορειβατών, αστροναυτών και κομητών. 8.4. Εξερευνώντας το διάγραμμα φάσεων του νερού.
9. Πόσο ζυγίζει; 9.1. Ο Αρχιμήδης και το «εύρηκα», 3ος αι. π.Χ. Ή έννοια της άνωσης στα υγρά. 9.2. Η μεταφορά της έννοιας της άνωσης από τα υγρά στον αέρα, 17ος αιώνας. Γαλιλαίος & Torricelli. 9.3. Το βαροσκόπιο. Boyle, 17ος αι. (9ο πείραμα – α. Ζύγιση στο κενό). 9.4. Δυναμική άνωση (9ο πείραμα – β. Μέτρηση της δυναμικής άνωσης με το ζυγό των αδελφών Wright).
10. Το χρώμα του ουρανού 10.1. Το χρώμα του ουρανού. Ηλιοβασιλέματα στη Σελήνη. 10.2 Η αλληλεπίδραση του φωτός με τον αέρα, Tyndall, 19ος αι. (10ο πείραμα – Προσομοίωση του φαινομένου της σκέδασης του ηλιακού φωτός με τη βοήθεια λευκού φωτός που διέρχεται από κολλοειδές διάλυμα).

7.2.3. Το εισαγωγικό παιχνίδι ερωτήσεων

Η πειραματική διάλεξη εισάγεται μέσα από ένα παιχνίδι, με τη βοήθεια του οποίου οι συμμετέχοντες απαντούν σε ένα σύνολο ερωτήσεων το οποίο λειτουργεί ως προοργανωτής (pre-organizer) του περιεχομένου. Ταυτόχρονα, οι ερωτήσεις ερεθίζουν την επιστημονική περιέργεια και φέρνουν στην επιφάνεια τις ιδέες των μελών του ακροατηρίου πάνω σε θέματα που πρόκειται να συζητηθούν. Οι ερωτήσεις είναι διαλεγμένες προσεκτικά, ώστε να είναι εύλογες και απλές και να αναφέρονται, είτε σε καίρια ιστορικά επιστημονικά ερωτήματα, είτε σε φαινόμενα της καθημερινής παρατήρησης τα οποία θα ήταν διαφορετικά σε διαφορετικές ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Οι ερωτήσεις εισάγονται με τη βοήθεια παιχνιδιού ρόλων, σύμφωνα με το οποίο ο εισηγητής της πειραματικής διάλεξης υποδύεται τον σκηνοθέτη μιας ταινίας και ζητά τη βοήθεια του κοινού, για να κατασκευάσει σενάριο επιστημονικής φαντασίας, πράγμα που, όπως εξηγεί, είναι ζήτημα ζωής και θανάτου γι' αυτόν. Ο «σκηνοθέτης» παροτρύνει κάθε μέλος του ακροατηρίου να εκφράσει τη δική του, συχνά μοναδική, άποψη, η οποία δεν ενδιαφέρει να είναι «σωστή» – όπως θα ενδιέφερε κάτι τέτοιο σε ένα διαγώνισμα φυσικής – αλλά να είναι ειλικρινής. Εξάλλου, για πολλά από τα θέματα που ερωτάται το ακροατήριο δεν έχει προηγηθεί σχετική διδασκαλία στη σχολική τάξη.

Τελικά το ακροατήριο καλείται να σκεφτεί γρήγορα και να απαντήσει:

- Αν δεν υπήρχε αέρας, πώς θα ήταν η πτώση ενός αλεξίπτωτου;
- Αν δεν υπήρχε αέρας, πώς θα ήταν το πέταγμα των πουλιών;
- Αν δεν υπήρχε αέρας, θα υπήρχαν ήχοι;
- Μπορεί να υπάρξει φλόγα χωρίς αέρα;
- Αν δεν υπήρχε αέρας στη γη, τι χρώμα θα είχε ο ουρανός στο ηλιοβασίλεμα;
- Τι θα συνέβαινε στη θάλασσα, αν στη γη δεν υπήρχε αέρας;
- Αν σταδιακά αραίωνε ο αέρας, τι θα πάθαινε η αστραπή;
- Αν σταδιακά αραίωνε η ατμόσφαιρα της γης, τι θα συνέβαινε στο σώμα μας;
- Ο αέρας έχει βάρος;
- Ο αέρας μας πιέζει; Πολύ, λίγο ή καθόλου;
- Υπάρχει απολύτως κενός χώρος;

Στους συμμετέχοντες δίνονται περίπου δέκα λεπτά για τη γραφή των απαντήσεων, ενώ, ταυτόχρονα, εισάγονται στο κλίμα της πειραματικής διάλεξης, καθώς τα φώτα χαμηλώνουν, ακούγεται η μουσική της εισαγωγής και προβάλλεται η πρώτη διαφάνεια του εκπαιδευτικού λογισμικού, που δείχνει τη γη από το διάστημα…

7.2.4. Οργανώνοντας τη διεξαγωγή και την αξιολόγηση της πειραματικής διάλεξης

Όπως προαναφέρθηκε, η πειραματική διάλεξη αποτελεί ένα ψηφιδωτό διαφορετικών συμβάντων συναρθρωμένων μεταξύ τους με στόχο την επιστημονική κάλυψη του θέματος και τη διατήρηση του ενδιαφέροντος του κοινού. Στις επόμενες ενότητες (βλ. *ενότητα 7.4*), θα εξηγηθεί πώς τα επιμέρους στοιχεία της πειραματικής διάλεξης, δηλαδή τα εκθέματα, τα πειράματα, η αφήγηση και η συζήτηση, συμπλέκονται μεταξύ τους και οδηγούν το κοινό στο να παρακολουθεί και να συμμετέχει, να

διατυπώνει υποθέσεις, εξηγήσεις και συμπεράσματα, να εξερευνά επιστημονικά όργανα και πειράματα, σχέδια και κείμενα, αλλά και να παρασύρεται μέσα από την αφήγηση, τους ήχους, τις εικόνες ή να θαυμάζει και να εκπλήσσεται μπροστά σε παράξενες συσκευές και φαινόμενα.

Για την παρουσίαση της πειραματικής διάλεξης έχουν διαμορφωθεί μια σειρά από εκπαιδευτικά εργαλεία, που είναι το λογισμικό παρουσίασης (βλ.Παράρτημα *IX ενότητα Ι*) και τα βιβλιαράκια για τους επισκέπτες, που περιλαμβάνουν το εισαγωγικό παιχνίδι ερωτήσεων, μια σύνοψη της πειραματικής διάλεξης η οποία έχει τη μορφή ερωτήσεων συμπλήρωσης, αποσπάσματα από τα ιστορικά επιστημονικά κείμενα που συζητιούνται στη διάλεξη και δραστηριότητες σχεδιασμένες, για να πραγματοποιηθούν μετά την επίσκεψη στο Μουσείο *(βλ.Παράρτημα IV, ενότητα 2, βιβλίο μαθητή)*.

Το ερωτηματολόγιο σύνοψης, το οποίο απαντιόταν από τους συμμετέχοντες με τη βοήθεια σχετικής συζήτησης, είτε τμηματικά κατά τη διάρκεια της διάλεξης, είτε στο τέλος αυτής, χρησιμοποιήθηκε και ως εργαλείο αξιολόγησής της. Συγκεκριμένα, ο βαθμός συμπλήρωσης των 23 ερωτήσεων του ερωτηματολογίου χρησιμοποιήθηκε ως εκτίμηση του βαθμού παρακολούθησης των θεμάτων που θίγονταν, όπως θα αναλυθεί στην *ενότητα 7.5.3*. Για την αξιολόγηση της πειραματικής διάλεξης χρησιμοποιήθηκαν, ακόμα, ερωτηματολόγια ελέγχου της στάσης του ακροατηρίου, όταν αυτό συνίστατο σε μαθητικές ομάδες. Όπως αναλύεται στις *ενότητες 7.5.2 και 7.5.4*, κατασκευάστηκαν ερωτηματολόγια ελέγχου στάσης που απευθύνονταν, χωριστά, στους μαθητές και τους συνοδούς καθηγητές τους *(βλ.Παράρτημα IV, ενότητα 1)*.

Τόσο το ερωτηματολόγιο παρακολούθησης, όσο και τα ερωτηματολόγια στάσης, αξιοποιήθηκαν για τη βελτίωση της πειραματικής διάλεξης, την προσαρμογή της αφήγησης σε διαφορετικού τύπου κοινό, τη ροή της αφήγησης και την κατάλληλη επιλογή των ενοτήτων. Όπως θα εξηγηθεί στις επόμενες ενότητες, όταν απευθυνόμασταν σε μαθητές του Δημοτικού ή της Α' Γυμνασίου, η έμφαση δινόταν στα πειράματα, ενώ, στους μεγαλύτερους μαθητές η συζήτηση πάνω στις επιστημονικές έννοιες και σε θέματα σχετικά με την ιστορία των πειραμάτων αποκτούσε μεγαλύτερο βάρος και διεκδικούσε, εξίσου, το ενδιαφέρον και την προσοχή τους.

7.2.5. Το κοινό

Όπως αναλυτικά παρουσιάζουν τα στοιχεία του *Πίνακα ΠΙ-1 του Παραρτήματος ΙΙ*, κατά τη διάρκεια των ακαδημαϊκών ετών 2004-2008, η πειραματική διάλεξη παρουσιάστηκε σε περισσότερους από 1400 επισκέπτες. Από αυτούς 1235 ήταν μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης που παρακολούθησαν τη διάλεξη στο πλαίσιο προγραμματισμένων επισκέψεων σχολικών ομάδων στο Μουσείο και 125 ήταν εκπαιδευτικοί που προσκλήθηκαν για την παρακολούθηση σεμιναρίων, στα οποία η πειραματική διάλεξη αναλύθηκε ως διδακτική πρόταση.

Όπως φαίνεται στον *Πίνακα 7.2*, το 91% του συνόλου των εκπαιδευομένων[clxxv] ήταν μαθητές της

[clxxv] Κάτω από τον τίτλο «εκπαιδευόμενοι» συμπεριλαμβάνουμε τους μαθητές πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και τους εκπαιδευτικούς που συμμετείχαν στα σεμινάρια. Δεν έχουν συμπεριληφθεί στο ίδιο σύνολο οι συνοδοί καθηγητές.

πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Καθώς το περιεχόμενο της πειραματικής διάλεξης εμφάνιζε μεγαλύτερη συνάφεια με την ύλη της Β' και Γ' Γυμνασίου, το ποσοστό των μαθητών αυτών των τάξεων ανήλθε σε 62%. Η κατώτερη ηλικιακή ομάδα των μαθητών της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης και της Α' Γυμνασίου κάλυψαν ποσοστό 13% του συνόλου των εκπαιδευομένων, η ανώτερη ηλικιακή ομάδα των μαθητών των τάξεων του Λυκείου και των ΤΕΕ-ΕΠΑΛ αποτέλεσε ποσοστό 16%, ενώ οι καθηγητές που προσήλθαν στα σεμινάρια κάλυψαν το 9% των εκπαιδευομένων.

Πίνακας 7.2: Ιδιότητα και εκπαιδευτική βαθμίδα του κοινού της πειραματικής διάλεξης, 2004-8

	Πρωτοβάθμια εκπαίδευση[clxxvi]		Δευτεροβάθμια εκπαίδευση[xvii]						Εκπαιδευτικοί προσκεκλημένοι σε σεμινάρια[xvii]	Σύνολο	
			Γυμνάσιο				Λύκειο	ΤΕΕ-ΕΠΑΛ			
	Ε' τάξη	ΣΤ' τάξη	Α' τάξη	Β' τάξη	Β' ή Γ' τάξη	Γ' τάξη	Α'& Β' τάξη	Α', Β' & Γ' βαθμίδες			
2004-5	0 0%	0 0%	57 9%	144 22%	28 4%	310 47%	42 6%	24 4%	50 8%	655 100%	48%
2005-6	0 0%	0 0%	0 0%	0 0%	0 0%	60 47%	30 23%	39 30%	0 0%	129 100%	9%
2006-7	35 11%	44 14%	0 0%	84 26%	32 10%	83 26%	16 5%	0 0%	25 8%	319 100%	23%
2007-8	0 0%	0 0%	40 16%	97 38%	0 0%	0 0%	70 27%	0 0%	50 19%	257 100%	19%
Σύνολο	35 3%	44 3%	97 7%	325 24%	60 4%	453 33%	158 12%	63 5%	125 9%	1360 100%	100%
	176 13%			838 62%			221 16%				
	79 6%		935 69%				221 16%				
	1235 91%										

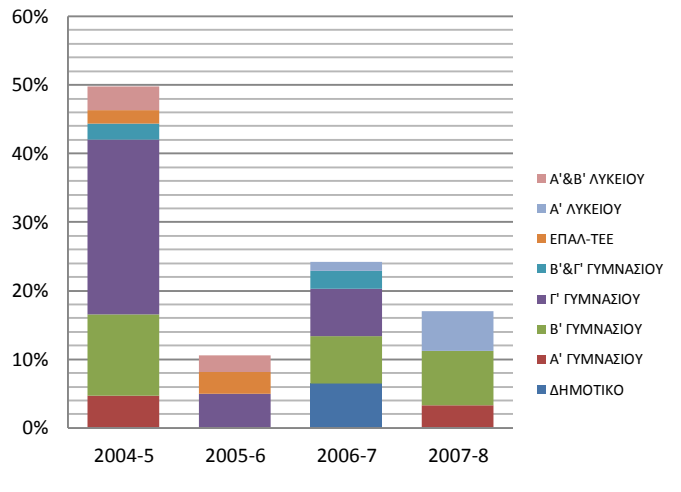
Πηγή: Πίνακας ΠΙ-1 Παραρτήματος ΙΙ

Στα *Διαγράμματα* των σχημάτων *7.1, 7.2,* που ακολουθούν, απεικονίζονται αναλυτικά στοιχεία που αφορούν στο κοινό των μαθητικών ομάδων. Στο πρώτο από αυτά απεικονίζεται η κατανομή των σχολικών ομάδων ανά έτος προσέλευσης και σχολική τάξη, ενώ στο *Σχήμα 7.2* φαίνεται η κατανομή των σχολικών ομάδων σε σχολικές τάξεις για το σύνολο της χρονικής περιόδου 2004-2008.

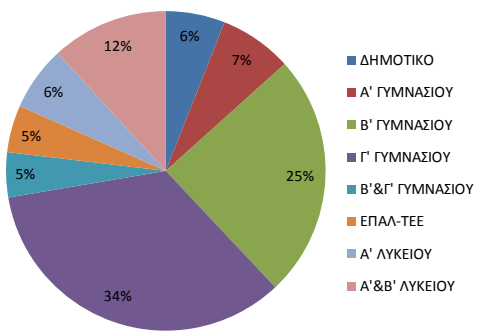
Όπως αποδεικνύεται από τα στοιχεία που παρατίθενται στον *Πίνακα 7.3* και απεικονίζεται στα διαγράμματα των *σχημάτων 7.3, 7.4,* που ακολουθούν, η πειραματική διάλεξη λειτούργησε ως πόλος έλξης για το εκπαιδευτικό κοινό της Περιφέρειας Βορείου Αιγαίου, καθώς μαθητές από το ίδιο το *1ο Γυμνάσιο* Χίου, τα σχολεία της πόλης, του νησιού και των γειτονικών νησιών Λήμνου και Λέσβου αποτέλεσαν το ακροατήριό της σε ποσοστά 35%, 29%, 11%, και 24%, για το σύνολο των ακαδημαϊκών ετών 2004-2008.

[clxxvi] Οι μαθητές συνοδεύονταν από εκπαιδευτικούς, για τους οποίους ο παρόν πίνακας δεν δίνει στοιχεία. Ο πίνακας περιλαμβάνει στην αντίστοιχη στήλη μόνο τους "εκπαιδευτικούς" που παρακολούθησαν σεμινάρια που απευθύνονταν ειδικά σε αυτούς. Οι συνοδοί καθηγητές των μαθητικών ομάδων ήταν ένας ανά είκοσι περίπου μαθητές.

Σχήμα 7.1: Κατανομή προσέλευσης ανά τάξη και χρόνο



Σχήμα 7.2: Κατανομή προσέλευσης 2004-8 ανά τάξη



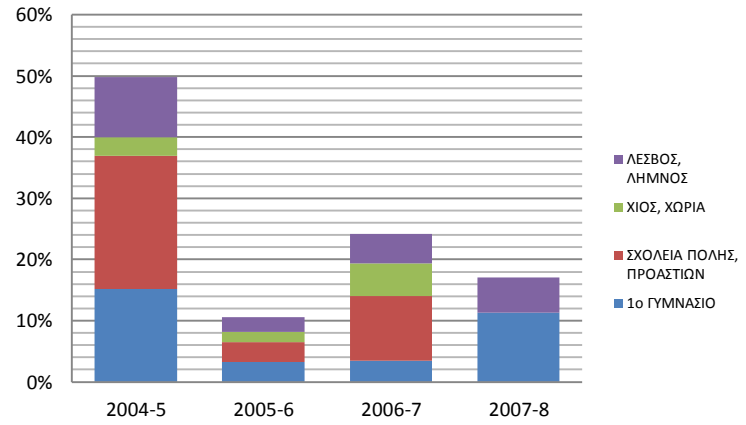
Πηγή: Πίνακας ΠΙΙ-1 Παραρτήματος ΙΙ

Πίνακας 7.3:Τόπος προέλευσης του μαθητικού κοινού της πειραματικής διάλεξης, 2004-8

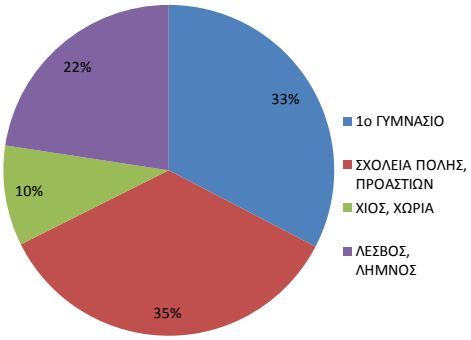
ΤΟΠΟΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΣΧΟΛΙΚΩΝ ΟΜΑΔΩΝ	ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ ΕΤΗ									
	2004-5		2005-6		2006-7		2007-8		ΣΥΝΟΛΟ ΕΤΩΝ	
1° Γυμνάσιο Χίου	184	30%	40	31%	42	14%	137	66%	403	35%
Σχολεία πόλης Χίου & Προαστίων	265	44%	39	30%	128	44%		0%	432	29%
Χωριά Χίου	36	6%	20	16%	65	22%		0%	121	11%
Λέσβος, Λήμνος	120	20%	30	23%	59	20%	70	34%	279	24%
ΣΥΝΟΛΟ	605	100%	129	100%	294	100%	207	100%	1235	100%

Πηγή: Πίνακας ΠΙΙ-1 Παραρτήματος ΙΙ

Σχήμα 7.3: Κατανομή προσέλευσης ανά τόπο προέλευσης & χρόνο



Σχήμα 7.4: Κατανομή προσέλευσης 2004-8 ανά τόπο προέλευσης



Πηγή: Πίνακας ΠΙΙ-1 Παραρτήματος ΙΙ

7.3. Το εννοιολογικό τοπίο των μαθητών μέσα από το παιχνίδι ερωτήσεων

7.3.1. Το δείγμα των μαθητών

Όπως προαναφέρθηκε, ζητήθηκε στους μαθητές να συμπληρώνουν γραπτά τις απαντήσεις στις ερωτήσεις του εισαγωγικού παιχνιδιού, επάνω στα βιβλιαράκια που τους μοιράστηκαν. Μετά το πέρας της πειραματικής διάλεξης τα βιβλιαράκια μαζεύονταν, οι απαντήσεις στις εισαγωγικές ερωτήσεις καταγράφονταν, ενώ μετά από λίγες μέρες τα βιβλιαράκια επιστρέφονταν ξανά στους μαθητές. Παρόλο που τα βιβλιαράκια μοιράζονταν σε όλους τους μαθητές που αποτελούσαν το κοινό της πειραματικής διάλεξης, σε ορισμένες περιπτώσεις οι συνθήκες δεν επέτρεπαν το μάζεμα των ερωτηματολογίων και την καταγραφή των απαντήσεων. Σε πολύ λιγότερες περιπτώσεις, τα βιβλιαράκια δεν παραδίδονταν πίσω. Επίσης, σε λίγες περιπτώσεις που αφορούν ειδικά στους μαθητές του *1ου Γυμνασίου*, η ίδια σχολική τάξη προσερχόταν, για να παρακολουθήσει την πειραματική διάλεξη τμηματικά, δηλαδή δύο φορές αντί για μια, και τη δεύτερη φορά οι μαθητές εργάζονταν πάνω στα ίδια βιβλιαράκια. Έτσι, από την προσέλευση 1235 μαθητών στο διάστημα 2004-2008, στη συγκεκριμένη πειραματική διάλεξη, καταγράφηκαν οι απαντήσεις που έδωσαν 912 από αυτούς στο εισαγωγικό παιχνίδι ερωτήσεων.

Πίνακας 7.4: Ταξινόμηση ερωτηματολογίων καταγραφής ιδεών των μαθητών

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΩΝ	ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ ΕΤΗ									
	2004-5		2005-6		2006-7		2007-8		ΣΥΝΟΛΟ ΕΤΩΝ	
Ι. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΩΝ ΑΝΑ ΣΧΟΛΙΚΗ ΒΑΘΜΙΔΑ										
Δημοτικό		0%		0%	79	9%		0%	79	9%
Γυμνάσιο	509	56%	46	5%	99	11%	37	4%	691	76%
Λύκειο	35	4%	30	3%	16	2%		0%	81	9%
ΕΠΑΛ-ΤΕΕ	22	2%	39	4%		0%		0%	61	7%
ΣΥΝΟΛΟ	566	62%	115	13%	194	21%	37	4%	912	100%
ΙΙ.ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΩΝ ΑΝΑ ΤΟΠΟ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΙΚΩΝ ΟΜΑΔΩΝ										
1ο Γυμνάσιο Χίου	155	17%	26	3%	40	4%	37	4%	258	28%
Σχολεία πόλης Χίου & Προαστίων	261	29%	39	4%	128	14%		0%	428	47%
Χωριά Χίου	35	4%	20	2%	7	1%		0%	62	7%
Λέσβος, Λήμνος	115	13%	30	3%	19	2%		0%	164	18%
ΣΥΝΟΛΟ	566	62%	115	13%	194	21%	37	4%	912	100%

Πηγή: Πίνακας ΠΙΙ-2 Παραρτήματος ΙΙ

Όπως προκύπτει από τα στοιχεία του *Πίνακα ΠΙΙ-2 του Παραρτήματος ΙΙ*, τα ερωτηματολόγια που καταγράφτηκαν αντιπροσωπεύουν το 74% των μαθητών που παρακολούθησαν την πειραματική διάλεξη στο διάστημα 2004-2008, ενώ αντιπροσωπεύουν το 94%, 89%, 66% και 18% των μαθητών που παρακολούθησαν την πειραματική διάλεξη κατά τη διάρκεια του 1ου, 2ου, 3ου και 4ου χρόνου της εφαρμογής της. Σύμφωνα με τα αναλυτικά στοιχεία του ίδιου *Πίνακα* και τα συνοπτικά στοιχεία του

Πίνακα 7.4, το 82% των ερωτηματολογίων, που συλλέχθηκαν, αφορά σε μαθητές που προέρχονταν από σχολεία της Χίου, το 16% σε μαθητές σχολείων της Λέσβου και το 2% σε μαθητές σχολείων της Λήμνου. Ποσοστό 4% των ερωτηματολογίων αφορά σε μαθητές της Ε' Δημοτικού, 5% σε μαθητές της Στ' Δημοτικού, 7%, 25% και 44% σε μαθητές της Α', Β' και Γ' Γυμνασίου, αντίστοιχα, 7% σε τάξεις του ΤΕΕ-ΕΠΑΛ και 9% σε τάξεις του Λυκείου.

7.3.2. Η επεξεργασία των απαντήσεων

Όπως περιγράφεται στις επόμενες ενότητες και τους πίνακες του *Παραρτήματος ΙΙΙ*, οι απαντήσεις των μαθητών έχουν ομαδοποιηθεί ανάλογα με το νόημα που ενσωματώνουν. Προκειμένου να συμβεί αυτό, έχει ληφθεί υπόψη, όχι το πώς ακριβώς εκφράζονται οι μαθητές, αλλά το τι εννοούν. Έτσι πίσω από τις απαντήσεις προσπαθούμε να διακρίνουμε παρόμοιες «*βασικές εικόνες*», οι οποίες περιγράφονται στις διάφορες ηλικίες με διαφορετικές λέξεις. Έτσι, η ιδέα ότι το αλεξίπτωτο θα έπεφτε πιο γρήγορα, αν δεν υπήρχε αέρας, διατυπώνεται σε τάξεις μικρότερες της Β' Γυμνασίου με εκφράσεις του τύπου *το αλεξίπτωτο θα έπεφτε απότομα/ κάθετα/ γρήγορα/ αμέσως* ή του τύπου *θα τραυματίζονταν/ θα σκοτωνόταν ο αλεξιπτωτιστής*. Ωστόσο, θεωρώντας ότι αντιστοιχούν στην ίδια «*εικόνα*» τις ομαδοποιούμε.

7.3.3. «Αν δεν υπήρχε αέρας, πώς θα ήταν η πτώση του αλεξίπτωτου;»

Απαντώντας στην ερώτηση: «Αν δεν υπήρχε αέρας, πώς θα ήταν η πτώση ενός αλεξίπτωτου;» η πλειονότητα των μαθητών, δηλαδή ποσοστό 63% σε σύνολο 912 ατόμων, γράφουν ότι *η πτώση του αλεξίπτωτου θα ήταν γρήγορη/ απότομη/ κάθετη/ θανάσιμη/ ελεύθερη*. Το ποσοστό των μαθητών που δίνουν τέτοιες απαντήσεις είναι μειωμένο στις τάξεις του Δημοτικού και ανέρχεται σε 46% και 41% στις Ε' και Στ' Δημοτικού αντίστοιχα. Ένα αρκετά σημαντικό ποσοστό των μαθητών, 16%, θεωρεί ότι *το αλεξίπτωτο δεν θα έπεφτε*. Το ποσοστό εμφανίζεται αυξημένο σε 19% στην Α' Γυμνασίου και 25% στην Ε' Δημοτικού.

Η άποψη ότι *το αλεξίπτωτο δεν θα έπεφτε* ανέρχεται σε ποσοστό 17% στις τάξεις Β' και Γ' Γυμνασίου, 16% στις τάξεις του ΕΠΑΛ-ΤΕΕ και 11% στις τάξεις του Λυκείου.

Ποσοστό 2% στο σύνολο των 912 μαθητών δηλώνουν ότι το αλεξίπτωτο θα έπεφτε *αργά/ πολύ αργά.* Το ποσοστό των μαθητών που δίνουν αυτή την απάντηση ανέρχεται σε 5% στην Α' Γυμνασίου και στις τάξεις του Λυκείου, είναι 0% ανάμεσα στους μαθητές της Ε' Δημοτικού και ανέρχεται σε 2% στις υπόλοιπες τάξεις. Ένα σημαντικό ποσοστό των μαθητών, 11% συνολικά, που ανέρχεται σε 23% και 27% στις Ε' και Στ' Δημοτικού, 15%, 8% και 12% στις Α', Β' και Γ' Γυμνασίου και 5% και 7% στο ΕΠΑΛ-ΤΕΕ και στις τάξεις του Λυκείου, αντίστοιχα, απαντούν ότι *το αλεξίπτωτο δεν θα μπορούσε να πετάξει.* Ποσοστό 1% του συνόλου των μαθητών ισχυρίζεται ότι το αλεξίπτωτο *θα έπεφτε κανονικά*. Τέλος, ποσοστό 1% που εντοπίζεται κυρίως ανάμεσα στους μαθητές του Δημοτικού, όπου ανέρχεται σε 3% και 2% στις Ε' και Στ' Δημοτικού αντίστοιχα, δίνει έμμεση απάντηση αναφέροντας ότι *δεν θα υπήρχαν άνθρωποι.*

Τα αποτελέσματα των απαντήσεων, τα οποία απεικονίζονται αναλυτικά στον *Πίνακα 7.5*, αποτυπώνουν διαφορετικά εννοιολογικά σχήματα με τα οποία η πτώση των σωμάτων συνδέεται με την παρουσία αέρα.

Η πρώτη ομάδα απαντήσεων αντιστοιχεί στην εικόνα *της «γρήγορης» πτώσης ή της πτώσης σαν να μην υπήρχε το αλεξίπτωτο* και αποτυπώνει την αντίληψη ή τη γνώση των μαθητών ότι ο αέρας (ή η αντίσταση του αέρα) επιβραδύνει την πτώση του αλεξίπτωτου.

Η δεύτερη και η τρίτη ομάδα απαντήσεων, που αντιστοιχούν στις εικόνες του αλεξίπτωτου που *αιωρείται στο διάστημα* ή του αλεξίπτωτου που *πέφτει πολύ αργά «σαν πούπουλο»*, οδηγούν στην υπόθεση ότι οι μαθητές συνδέουν την έλλειψη αέρα με την έλλειψη βαρύτητας. Σύμφωνα με τις παραπάνω ομάδες απαντήσεων, το αερόστατο σε έναν κόσμο χωρίς αέρα μοιάζει σαν να έχει μεταφερθεί σε συνθήκες έλλειψης βαρύτητας ή σε συνθήκες μειωμένης βαρύτητας.

Πίνακας 7.5: Αν δεν υπήρχε αέρας πώς θα ήταν η πτώση του αλεξίπτωτου;

κατηγορίες απαντήσεων	Αν δεν υπήρχε αέρας, πώς θα ήταν η πτώση ενός αλεξίπτωτου;	Δημοτικό		Γυμνάσιο			ΤΕΕ-ΕΠΑΛ	Γενικό Λύκειο	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία		σύνολα
		Ε'	ΣΤ'	Α'	Β'	Γ'					
ομάδα 1	γρήγορη/απότομη/κάθε τη/θανάσιμη/ ελεύθερη	46%	41%	56%	65%	64%	66%	68%	63%	572	
ομάδα 2	δεν θα έπεφτε	6%	25%	19%	17%	17%	16%	11%	16%	148	
ομάδα 3	θα έπεφτε αργά/πολύ αργά	0%	2%	5%	2%	2%	2%	5%	2%	19	
ομάδα 4	θα έπεφτε κανονικά	0%	0%	0%	4%	1%	2%	0%	1%	12	
ομάδα 5	δεν θα μπορούσε να πετάξει	23%	27%	15%	8%	12%	5%	7%	11%	104	
ομάδα 6	δεν θα υπήρχαν άνθρωποι	3%	2%	0%	0%	1%	0%	1%	1%	7	
ομάδα 7	χωρίς απάντηση	20%	2%	3%	1%	3%	3%	5%	4%	38	
	γενικό σύνολο ερωτηματολογίων										912
	σύνολο ερωτηματολογίων ανά τάξη	35	44	62	228	399	61	81			910
	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία								900	900	900
	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία & τάξη	34	44	61	221	393	57	79			889

Η τέταρτη ομάδα απαντήσεων, ότι το αλεξίπτωτο θα έπεφτε όπως έχουμε συνηθίσει να το βλέπουμε να πέφτει, αποκαλύπτει την άποψη των μαθητών ότι η παρουσία αέρα δεν έχει σχέση με τον τρόπο που πέφτει το αλεξίπτωτο.

Η πέμπτη ομάδα απαντήσεων, ότι το αλεξίπτωτο δεν θα μπορούσε να πετάξει, δεν βοηθά στην εξαγωγή κάποιου συμπεράσματος σχετικά με το πώς οι μαθητές συνδέουν την ύπαρξη αέρα με την πτώση των σωμάτων. Όταν στους μαθητές που εξέφραζαν την άποψη αυτή, ζητιόταν να διευκρινίσουν τι εννοούσαν, κάποιοι απαντούσαν ότι το αλεξίπτωτο δεν θα μπορούσε να χρησιμεύσει ως τέτοιο γιατί για παράδειγμα δεν θα μπορούσε να ανοίξει, κάποιοι ότι δεν θα μπορούσε καν να έχει βρεθεί ψηλά και κάποιοι ότι δεν θα μπορούσε να πέσει.

Παράλληλα με τις παραπάνω ομαδοποιήσεις, οι μαθητές δίνουν μεμονωμένες απαντήσεις που έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Μαθητής της Β' Γυμνασίου, για παράδειγμα, εξέφρασε τη χαρακτηριστική για την ομοιότητά της με ιστορικές επιστημονικές απόψεις απάντηση ότι *τα αντικείμενα θα έπεφταν ανάλογα με το βάρος τους.*

Παρατηρείται ότι οι μαθητές των χαμηλότερων τάξεων δεν χρησιμοποιούν θεωρητικούς όρους όπως οι λέξεις *βάρος*, *βαρύτητα* και *αντίσταση του αέρα* ή ακόμα και τον όρο *δύναμη*, για να περιγράψουν την πτώση. Αντίθετα χρησιμοποιούν όρους που περιγράφουν την κίνηση, όπως οι λέξεις *γρήγορα, αμέσως, απότομα*, αντί για τους όρους βάρος, βαρύτητα, που προσπαθούν να ανιχνεύσουν τα αίτια αυτής. Οι μαθητές της Α' Γυμνασίου χρησιμοποιούν συχνά τους όρους *δύναμη* και *φόρα*.

Όπως χαρακτηριστικά απεικονίζεται στους *Πίνακες ΠΙΙΙ-1α, ΠΙΙΙ-2α, ΠΙΙΙ-3α του Παραρτήματος*, για να περιγραφεί η πτώση σε μια γη χωρίς αέρα, η λέξη *βάρος* χρησιμοποιείται σε 4 εκφράσεις που ανήκουν σε μαθητές των Β' ή Γ' τάξεων του Γυμνασίου και η λέξη *βαρύτητα* σε 7 εκφράσεις που ανήκουν σε μαθητές που φοιτούν από την Α' Γυμνασίου και πάνω. Η λέξη *αντίσταση* χρησιμοποιείται σε 34 διαφορετικές εκφράσεις που διατυπώνονται από μαθητές που ανήκουν σε τάξεις από τη Β' Γυμνασίου και πάνω.

Η ιδέα της σύνδεσης της έλλειψης αέρα με την έλλειψη της βαρύτητας, που καταγράφτηκε στις παραπάνω ομαδοποιήσεις και αποτυπώνεται ξεκάθαρα στις εκφράσεις του *Πίνακα ΙΙΙ-2α/εικόνα 2* του *Παραρτήματος ΙΙΙ*, έχει καταγραφεί στις διαφορετικές εκφάνσεις της στη βιβλιογραφία (Watts 1982[291], Ruggiero et al. 1985[292], Noce et al.1988[293], Phillips 1991[294], Galili 1995[295], Κασσέτας 2004[287]), όπως προαναφέρθηκε στην *ενότητα 7.1.4*.

7.3.4. «Αν δεν υπήρχε αέρας, πώς θα πετούσαν τα πουλιά;»

Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση: «Αν δεν υπήρχε ο αέρας, πώς θα πετούσαν τα πουλιά;» φαίνονται αναλυτικά στον *Πίνακα 7.6*.

Σύμφωνα με αυτές: Ποσοστό 54% επί του συνόλου των 912 μαθητών θεωρεί *πως τα πουλιά δεν θα πετούσαν* (ομάδα 1), ποσοστό 11% αναφέρει πως *θα δυσκολεύονταν* (ομάδα 2), ενώ ποσοστό 5% απαντά έμμεσα, πως *δεν θα ζούσαν τα πουλιά* σε έναν κόσμο χωρίς αέρα (ομάδα 8). Παρόλο που από τις δύο πρώτες ομάδες απαντήσεων προκύπτει ότι οι μαθητές θεωρούν απαραίτητο τον αέρα για την πτήση, δεν μπορεί να συναχθεί κάποιο συμπέρασμα σε σχέση με το πώς οι μαθητές κατανοούν την σχέση αυτή.

Σύμφωνα με την ομάδα 3, που αντιστοιχεί σε ποσοστό μαθητών ίσο με 3%, τα πουλιά σε έναν κόσμο χωρίς αέρα *θα αιωρούνταν γιατί δεν θα υπήρχε βαρ*ύτητα. Αντίθετα σύμφωνα με την ομάδα 4, που αντιστοιχεί σε ποσοστό 4%, χωρίς αέρα τα πουλιά *θα έπεφταν/ δεν θα μπορούσαν να πετάξουν λόγω της βαρύτητας*. Οι απαντήσεις των ομάδων 3 και 4 θυμίζουν τις απαντήσεις των μαθητών στην προηγούμενη ερώτηση, τη σχετική με την πτώση του αλεξίπτωτου. Στην περίπτωση της ομάδας απαντήσεων 3, οι μαθητές συνδέουν την έλλειψη αέρα με την έλλειψη βαρύτητας, ενώ στην περίπτωση της ομάδας απαντήσεων 4, εκφράζουν τη γνώση ή την αντίληψη ότι ο αέρας είναι

απαραίτητος για την πτήση και ότι χωρίς αυτόν τα πουλιά πέφτουν, όπως ένα αερόστατο που δεν έχει ανοίξει.

Πίνακας 7.6: Αν δεν υπήρχε αέρας, πώς θα πετούσαν τα πουλιά;

κατηγορίες απαντήσεων	Αν δεν υπήρχε αέρας, πώς θα ήταν το πέταγμα των πουλιών;	Δημοτικό		Γυμνάσιο			ΤΕΕ-ΕΠΑΛ	Γενικό Λύκειο	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία		σύνολα
		Ε'	ΣΤ'	Α'	Β'	Γ'					
ομάδα 1	δε θα πετούσαν	34%	52%	48%	49%	60%	66%	51%	54%	495	
ομάδα 2	θα δυσκολεύονταν	11%	16%	15%	17%	7%	10%	10%	11%	99	
ομάδα 3	θα αιωρούνταν / δεν θα υπήρχε βαρύτητα	0%	0%	3%	4%	2%	3%	7%	3%	25	
ομάδα 4	θα έπεφταν/ δε θα πέταγαν λόγω βαρύτητας	14%	7%	5%	4%	3%	2%	5%	4%	36	
ομάδα 5	δεν θα ταλαντώνονταν/ δε θα πετούσαν χωρίς αντίσταση αέρα	3%	2%	0%	1%	5%	0%	5%	3%	28	
ομάδα 6	πιο γρήγορα /χωρίς αντίσταση	0%	2%	11%	7%	4%	3%	2%	5%	45	
ομάδα 7	κανονικά	0%	2%	3%	4%	2%	3%	2%	3%	25	
ομάδα 8	δεν θα ζούσαν	14%	2%	6%	4%	6%	3%	4%	5%	48	
ομάδα 9	δεν θα υπήρχε αέρας…/αντίσταση….	0%	0%	0%	4%	1%	0%	1%	0%	3	
ομάδα 10	δεν θα κινούνταν/ δε θα μπορούσαν να κινήσουν τα φτερά τους	3%	2%	2%	0%	1%	3%	2%	1%	4	
ομάδα 11	δε θα πετούσαν/ θα περπατούσαν/δε θα άντεχαν πάνω/ θα πετούσαν πιο χαμηλά	3%	2%	2%	0%	1%	3%	2%	1%	12	
ομάδα 12	χωρίς απάντηση	20%	9%	5%	10%	9%	5%	7%	9%	85	
	γενικό σύνολο ερωτηματολογίων										912
	σύνολο ερωτηματολογίων ανά τάξη	35	44	62	228	399	61	81			910
	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία								905	905	905
	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία & τάξη	35	43	61	228	398	60	80			905

Σύμφωνα με την ομάδα 5, χωρίς αέρα *τα πουλιά δεν θα ταλαντώνονταν/ δεν θα μπορούσαν να πετάξουν χωρίς την αντίσταση του αέρα*. Η ομάδα 5 αντιστοιχεί σε ποσοστό 3% του συνόλου των μαθητών, που εκφράζουν τη γνώση ή την αντίληψη ότι ο αέρας είναι απαραίτητος για την πτήση, την οποία αντιλαμβάνονται ως ένα είδος πλεύσης.

Ποσοστό μαθητών ίσο με 5% θεωρεί ότι χωρίς αέρα *τα πουλιά θα πετούσαν πιο γρήγορα γιατί δεν θα συναντούσαν αντίσταση από τον αέρα* (ομάδα 6). Η ομάδα 6 καλύπτει αντίστοιχα ποσοστό 11%, 7% και 4% στις Α', Β' και Γ' Γυμνασίου, 3% και 2% στις τάξεις του ΕΠΑΛ-ΤΕΕ και του Γενικού Λυκείου, και 0% και 2% στις Ε' και ΣΤ' Δημοτικού. Στις απαντήσεις αυτής της ομάδας, χαρακτηριστικές εκφράσεις της οποίας καταγράφονται στον *Πίνακα ΙΙΙ-3β/εικόνα 1 του Παραρτήματος ΙΙΙ*, εκφράζεται η άποψη ότι ο αέρας εμποδίζει την κίνηση και αυτό μπορεί μερικά να αποδοθεί στην ταύτιση του αέρα με τον κινούμενο αέρα ή τον άνεμο, που καταγράφεται στη

βιβλιογραφία (Séré 1985[296]) και αναδεικνύεται και από άλλες απαντήσεις στο πλαίσιο του ίδιου ερωτηματολογίου.

Τέλος, ποσοστό μαθητών ίσο με 3% απαντούν ότι τα πουλιά *θα πετούσαν κανονικά* χωρίς αέρα, εκφράζοντας την πεποίθηση ότι ο αέρας δεν είναι απαραίτητος για την πτήση (ομάδα 7).

Όπως αποτυπώνουν τα στοιχεία του *Πίνακα ΠΙΙ-3β* του *Παραρτήματος ΙΙ*, η λέξη *αντίσταση* χρησιμοποιείται από μαθητές που ανήκουν σε τάξεις από τη Β' Γυμνασίου και πάνω, οι οποίοι συνθέτουν διαφορετικές εικόνες με τη συνδρομή της. Μαθητές μικρότερης ηλικίας δεν ενσωματώνουν τον όρο αντίσταση στις απαντήσεις τους. Αντίθετα προτιμούν εκφράσεις του τύπου *εύκολο, δύσκολο, δεν θα μπορούσαν να πετάξουν.*

7.3.5. «Ο αέρας μας πιέζει; Πολύ λίγο ή καθόλου;»

Σύμφωνα με τις απαντήσεις των ερωτηματολογίων, που συνοψίζονται *στον Πίνακα 7.7*, ποσοστό 50% από το σύνολο των 912 ατόμων θεωρούν ότι *ο αέρας μας πιέζει πολύ ή αρκετά* (ομάδα 1). Το ποσοστό αυτό βρίσκεται αισθητά αυξημένο ανάμεσα στους μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης – κυμαινόμενο σε ποσοστά 67%, 51%, 49% στις Α', Β', Γ' Γυμνασίου, 51% και 54% στις τάξεις του ΕΠΑΛ-ΤΕΕ και του Γενικού Λυκείου – σε σύγκριση με το αντίστοιχο ποσοστό για τους μαθητές του Δημοτικού, που ανέρχεται σε 29% και 27% στις Ε' και ΣΤ' Δημοτικού. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην υπόθεση ότι η ιδέα της ατμοσφαιρικής πίεσης, που σκιαγραφούν οι απαντήσεις του 50% των μαθητών, είναι σε μεγάλο βαθμό αποτέλεσμα της επιστημονικής εκπαίδευσης.

Η παραπάνω υπόθεση ενισχύεται από το γεγονός ότι το ποσοστό των μαθητών που θεωρούν ότι ο αέρας *δεν μας πιέζει καθόλου* (ομάδα 3) είναι αισθητά μεγαλύτερο ανάμεσα στους μαθητές του Δημοτικού, ανερχόμενο σε ποσοστό 17% και 20% στις Ε' και ΣΤ' Δημοτικού, σε σύγκριση με τους μαθητές των μεγαλύτερων τάξεων, και ειδικότερα σε σύγκριση με τους μαθητές της δευτεροβάθμιας γενικής εκπαίδευσης. Οι μαθητές που θεωρούν ότι ο αέρας δεν μας πιέζει καθόλου είναι 0%, 7% και 5% στις Α', Β' και Γ' Γυμνασίου, 15% και 7% στο ΕΠΑΛ και το Γενικό Λύκειο.

Χρωματισμένες από την επιστημονική εκπαίδευση είναι και απαντήσεις του τύπου *ο αέρας μας πιέζει, αλλά δεν το καταλαβαίνουμε* (ομάδα 6), που εμφανίζει ποσοστό 2% των μαθητών, όπως και εκείνες του τύπου *ότι ο αέρας μας πιέζει ανάλογα με το υψόμετρο* (ομάδα 10), που εμφανίζονται σε ποσοστό 1% επί του συνόλου των μαθητών και ανήκουν σε μαθητές οι οποίοι φοιτούν σε τάξεις μεγαλύτερες από τη Β' Γυμνασίου.

Οι απαντήσεις της ομάδας 4 ότι *ο αέρας μας πιέζει άλλοτε πολύ, άλλοτε λίγο*, που ανέρχονται σε ποσοστό 3% στο σύνολο των 912 μαθητών και οι απαντήσεις της ομάδας 5 ότι *ο αέρας μας πιέζει άλλοτε πολύ, άλλοτε λίγο ανάλογα με τη δύναμη, την ένταση, τον καιρό, τα μποφόρ*, που ανέρχονται σε ποσοστό 2%, εκφράζουν και σε αυτή την περίπτωση την ιδέα της ταύτισης του αέρα με τον άνεμο (Séré 1985[296]).

Πίνακας 7.7: Πόσο μας πιέζει ο αέρας; Πολύ, λίγο ή καθόλου;

κατηγορίες απαντήσεων	Πόσο μας πιέζει ο αέρας, πολύ, λίγο ή καθόλου;	Δημοτικό		Γυμνάσιο			ΤΕΕ-ΕΠΑΛ	Γενικό Λύκειο	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία		σύνολα
		Ε'	ΣΤ'	Α'	Β'	Γ'					
ομάδα 1	ο αέρας μας πιέζει πολύ/ αρκετά	29%	27%	67%	51%	49%	51%	54%	50%	455	
ομάδα 2	ο αέρας μας πιέζει λίγο	31%	39%	23%	29%	26%	23%	22%	27%	243	
ομάδα 3	ο αέρας δεν μας πιέζει καθόλου	17%	20%	0%	7%	5%	15%	7%	7%	67	
ομάδα 4	άλλοτε πολύ, άλλοτε λίγο	0%	0%	7%	1%	2%	2%	0%	2%	15	
ομάδα 5	άλλοτε πολύ, άλλοτε λίγο, ανάλογα με δύναμη/ ένταση/καιρό/ μποφόρ	3%	2%	3%	2%	4%	0%	4%		26	
ομάδα 6	μας πιέζει, αλλά δεν το καταλαβαίνουμε	0%	2%	0%	1%	3%	0%	2%	2%	18	
ομάδα 7	μας πιέζει περισσότερο στο διάστημα/ σε υψόμετρο	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	2	
ομάδα 8	μας πιέζει ανάλογα με την ατμοσφαιρική πίεση	0%	0%	0%	1%	0%	0%	1%	0%	4	
ομάδα 9	ίσως / ίσως μας πιέζει λίγο	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	2	
ομάδα 10	ναι, ανάλογα με υψόμετρο	0%	0%	0%	1%	2%	2%	1%	1%	11	
ομάδα 11	τόσο, όσο χρειάζεται, για να μη διαλυθεί το σώμα μας	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1	
ομάδα 12	μας πιέζει στα εργαστήρια/ στην επιφάνεια της θάλασσας	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	2	
ομάδα 13	χωρίς απάντηση	20%	9%	0%	6%	8%	7%	6%	7%	63	
	γενικό σύνολο ερωτηματολογίων										912
	σύνολο ερωτηματολογίων ανά τάξη	35	44	62	228	399	61	81			910
	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία								909	909	909
	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία & τάξη	35	44	61	227	398	61	80	906		906

7.3.6. «Ο αέρας έχει βάρος;»

Σύμφωνα με τα στοιχεία του *Πίνακα 7.8*, μεγάλο ποσοστό, 40%, στο σύνολο των 912 μαθητών θεωρεί ότι *ο αέρας δεν έχει βάρος*. Το ποσοστό αυτό ανέρχεται σε 57% και 45% στις Ε' και Στ' Δημοτικού, 55%, 47% και 32% στις Α', Β' και Γ' Γυμνασίου, 49% και 36% στο ΕΠΑΛ-ΤΕΕ και το Γενικό Λύκειο (ομάδα 1).

Αντίθετα, ποσοστό 50% των μαθητών, 26% και 48% στις Ε' και ΣΤ' Δημοτικού, 42%, 43% και 59% στις Α', Β' και Γ' Γυμνασίου, 41% και 49% στις τάξεις του ΤΕΕ-ΕΠΑΛ και του Γενικού Λυκείου, απαντούν ότι *ο αέρας έχει βάρος* (ομάδα 3).

Παράλληλα, 2% των μαθητών θεωρεί ότι *ο αέρας έχει ελάχιστο βάρος* (ομάδα 2). Ανάμεσα στις υπόλοιπες, έχουν ενδιαφέρον οι απαντήσεις δύο μαθητών ότι *ο αέρας έχει βάρος, αν τον συμπυκνώσουμε* ή *αν υπάρχει πολύς σε έναν χώρο*. Επίσης, ενδιαφέρον παρουσιάζει η απάντηση δύο μαθητών, *ότι ο αέρας δεν έχει βάρος, έχει μόνο αντίσταση*.

Όπως προαναφέρθηκε στην *ενότητα 7.1.4*, η ιδέα των μαθητών ότι *ο αέρας δεν έχει βάρος*, που αποτυπώνεται στην παραπάνω ομαδοποίηση, αποτελεί γνωστή εναλλακτική ιδέα των μαθητών

καταγεγραμμένη στη σχετική βιβλιογραφία (Galili & Bar 1997[285], Hapkiewicz 1999[286], Κασσέτας 2004[287]).

Πίνακας 7.8: Ο αέρας έχει βάρος;

κατηγορίες απαντήσεων	Ο αέρας έχει βάρος;	Δημοτικό		Γυμνάσιο			ΤΕΕ-ΕΠΑΛ	Γενικό Λύκειο	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία		σύνολα
		Ε'	ΣΤ'	Α'	Β'	Γ'					
ομάδα 1	όχι	57%	45%	55%	47%	32%	49%	36%	40%	367	
ομάδα 2	ελάχιστο	0%	2%	2%	1%	2%	3%	0%	2%	14	
ομάδα 3	ναι	26%	48%	42%	43%	59%	41%	49%	50%	458	
ομάδα 4	ίσως	0%	0%	0%	3%	0%	0%	2%	1%	8	
ομάδα 5	ναι, αν τον συμπυκνώσουμε, αν υπάρχει πολύς σε ένα χώρο	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	2	
ομάδα 6	ο αέρας έχει μόνο αντίσταση	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	2	
ομάδα 7	χωρίς απάντηση	17%	5%	2%	4%	7%	7%	10%	7%	61	
	γενικό σύνολο ερωτηματολογίων										912
	σύνολο ερωτηματολογίων ανά τάξη	35	44	62	228	399	61	81			910
	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία								912	912	900
	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία & τάξη	34	44	62	228	399	61	81			910

7.3.7. «Αν σταδιακά αραίωνε ο αέρας, τι θα πάθαινε το σώμα μας;»

Ταξινομούμε στον *Πίνακα 7.9* τις απαντήσεις του δείγματος των 912 μαθητών σε γενικές κατηγορίες που περιλαμβάνουν επιμέρους ομαδοποιήσεις.

Στην πρώτη κατηγορία, που αντιπροσωπεύει ποσοστό 16% των μαθητών, έχουμε εντάξει ομάδες απαντήσεων που επικεντρώνονται στις έννοιες του βάρους, της βαρύτητας και της κίνησης.

Στη δεύτερη κατηγορία, που αντιπροσωπεύει ποσοστό 14% του συνόλου των μαθητών, έχουμε εντάξει ομάδες απαντήσεων που επικεντρώνονται στην έννοια της πίεσης και τα μηχανικά αποτελέσματά της στο σώμα μας, το οποίο αντιμετωπίζεται ως υλικό σώμα.

Στην τρίτη κατηγορία, που αντιπροσωπεύει ποσοστό 34% επί του συνόλου των μαθητών, εντάσσουμε απαντήσεις που επικεντρώνονται στις επιπτώσεις της έλλειψης αέρα για το σώμα μας, το οποίο στην περίπτωση αυτή αντιμετωπίζεται ως ζωντανός οργανισμός.

Στην επόμενη κατηγορία εντάσσονται απαντήσεις που ανέρχονται σε ποσοστό 3% και επικεντρώνονται στη θεώρηση της ατμόσφαιρας ως προστατευτικού σώματος για την ακτινοβολία ή για την πτώση σωμάτων στη γη.

Ανάμεσα στις υπόλοιπες απαντήσεις συναντιέται η άποψη ότι το σώμα μας *δεν θα πάθαινε τίποτα* από την έλλειψη αέρα, η οποία δίνεται από ποσοστό 4% του συνόλου των μαθητών.

Ομαδοποιώντας τις απαντήσεις των μαθητών της πρώτης κατηγορίας, παρατηρούμε την επανεμφάνιση της ιδέας ότι χωρίς αέρα *θα ελαττωνόταν το βάρος μας/ δεν θα υπήρχε βάρος/ θα*

πετούσαμε ή ότι *δεν θα υπήρχε βαρύτητα/θα αιωρούμασταν* ή ότι *θα νοιώθαμε ελαφρύτεροι.* Η νοητική αυτή εικόνα αντιστοιχεί στο 14% του συνόλου μαθητών, ποσοστό που αντιπροσωπεύει αντίστοιχα το 3% και 20% των μαθητών της Ε' και Στ' Δημοτικού, το 5%, 16%, 15% των μαθητών της Α', Β', και Γ' Γυμνασίου, το 13% και 9% των μαθητών του ΤΕΕ-ΕΠΑΛ και του Γενικού Λυκείου, όπως αποτυπώνουν τα στοιχεία του *Πίνακα 7.9*. Η παραπάνω ιδέα αποτυπώνεται με καθαρότητα και στα στοιχεία που εκθέτει στο *Παράρτημα ΙΙΙ* ο *Πίνακας ΠΙΙ-1β /εικόνα 1*, στον οποίο συγκεντρώνονται εκφράσεις που περιέχουν τη λέξη βάρος, ο *Πίνακας ΠΙΙ-2β/εικόνα 1* στον οποίο συγκεντρώνονται εκφράσεις που περιέχουν τη λέξη βαρύτητα και ο *Πίνακας ΠΙΙ-4/εικόνα 2* του *Παραρτήματος ΙΙΙ*, στον οποίο έχουν συγκεντρωθεί οι εκφράσεις των μαθητών που αποτελούν απαντήσεις στη συγκεκριμένη ερώτηση και περιέχουν τη λέξη *πίεση* ή το ρήμα *πιέζω*. Ένας από τους μαθητές της Α' Λυκείου εκφράζει την παραπάνω άποψη χρησιμοποιώντας την έκφραση *θα σκοτωνόμασταν, γιατί θα μας τραβούσε το διάστημα*, η οποία θυμίζει έντονα στην άποψη του Αριστοτέλη ότι υπάρχουν δύο κέντρα έλξης ένα στη γη για τα βαριά σώματα και ένα στον ουρανό για τα ελαφριά. Όπως φαίνεται από την απάντηση του ίδιου μαθητή στην ερώτηση *αν και πόσο μας πιέζει ο αέρας*, όπου απαντά ότι *ο αέρας μας πιέζει τόσο όσο χρειάζεται, για να μένουμε στην επιφάνεια της γης*, ο μαθητής φαντάζεται ότι ο αέρας είναι αυτός που συγκρατεί τα σώματα στην επιφάνεια της γης (βλ. *ενότητα 7.3.5*). Παράλληλα με την άποψη ότι η έλλειψη αέρα θα προκαλούσε την ελάττωση ή το μηδενισμό του βάρους μας, υπάρχει σε ποσοστό 1% η «επιστημονικά σωστή» άποψη ότι *το βάρος μας θα αυξανόταν ή ότι θα πέφταμε πιο γρήγορα*.

Ανάμεσα στις απαντήσεις που επικεντρώνονται στην έννοια της πίεσης και τα μηχανικά της αποτελέσματα, ποσοστό 1% του συνόλου των μαθητών αναφέρει *ότι εάν ελαττωνόταν ο αέρας, δεν θα δεχόμασταν πίεση από αυτόν*. Κάποιοι από τους μαθητές που δίνουν αυτή την απάντηση συνδέουν την πίεση που ασκεί ο αέρας με τη βαρύτητα, θεωρώντας ότι χωρίς την πίεση του αέρα, το σώμα μας δεν θα συγκρατιόταν στη γη, ή την άποψη ότι χωρίς τον αέρα θα νοιώθαμε ελαφρύτεροι. Οι δύο παραπάνω απόψεις φαίνονται ξεκάθαρα στον *Πίνακα ΠΙΙ-4/εικόνα* 2 του *Παραρτήματος ΙΙΙ*, όπου έχουν συγκεντρωθεί οι απαντήσεις των μαθητών οι οποίοι χρησιμοποιούν τη λέξη *πίεση,* για να εκφράσουν την άποψη ότι *ο αέρας δεν θα μας πίεζε.* Ποσοστό 2% των μαθητών εκφράζει την αντίθετη άποψη, ότι χωρίς αέρα, *το σώμα μας θα πιεζόταν ή θα συμπιεζόταν περισσότερο* (βλ. και *Παράρτημα ΙΙΙ, Πίνακα ΠΙΙ-4/ εικόνα 3*). Ποσοστό 7% χρησιμοποιεί διάφορους τρόπους, για να περιγράψει το τι θα πάθαινε το σώμα μας, χρησιμοποιώντας εικόνες ενός υλικού αντικειμένου που πιέζεται ή αποσυμπιέζεται. Ανάμεσα στις απαντήσεις είναι ότι το σώμα θα μάζευε ή θα έλιωνε κάτω από την αυξημένη πίεση που θα δεχόταν. Η ομάδα αυτή των απαντήσεων μας οδηγεί στη διαπίστωση ότι οι μαθητές μπερδεύουν τα αποτελέσματα της άσκησης αυξημένης πίεσης με εκείνα της άσκησης υποπίεσης. Έτσι, διαμορφώνουν δύο διαφορετικές εικόνες ως απάντηση στην ερώτηση, την *εικόνα 1* στην οποία φαντάζονται το σώμα να πιέζεται από το εσωτερικό του ως αποτέλεσμα της έλλειψης εξωτερικού αέρα και την *εικόνα 3* κατά την οποία φαντάζονται το σώμα να δέχεται εξωτερικά μεγαλύτερη πίεση και να ζαρώνει ή να συμπιέζεται. Τέλος ποσοστό 4% δίνει απαντήσεις που έχουν

συνάφεια με την «επιστημονικά ορθή» εικόνα κατά την οποία τα υγρά του σώματος θα έβραζαν και θα μετατρέπονταν σε ατμούς που θα προκαλούσαν εκρήξεις στους ιστούς.

Πίνακας 7.9: Αν σταδιακά αραίωνε ο αέρας, τι θα πάθαινε το σώμα μας;

κατηγορίες απαντήσεων	Αν σταδιακά αραίωνε ο αέρας τι θα πάθαινε το σώμα μας;	Δημοτικό		Γυμνάσιο			ΤΕΕ-ΕΠΑΛ	Γενικό Λύκειο	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία		σύνολα
		Ε'	ΣΤ'	Α'	Β'	Γ'					
επικέντρωση της απάντησης στο βάρος, τη βαρύτητα και την κίνηση											
ομάδα 1	θα πετούσαμε/δε θα υπήρχε βαρύτητα/ θα είχαμε λιγότερο βάρος/ θα μας τραβούσε το διάστημα	3%	20%	5%	16%	15%	13%	9%	14%	126	
ομάδα 2	θα είχαμε περισσότερο βάρος / θα πέφταμε πιο γρήγορα	0%	0%	0%	1%	2%	2%	0%	1%	11	
ομάδα 3	δε θα ισορροπούσαμε/ δε θα μπορούσαμε να κινηθούμε	0%	0%	0%	1%	2%	0%	4%	1%	12	
επικέντρωση της απάντησης στην πίεση και τα αποτελέσματά της											
ομάδα 4	δε θα μας πίεζε ο αέρας	0%	0%	0%	1%	1%	0%	2%	1%	7	
ομάδα 5	θα εξαερωνόμασταν/ θα έσπαγαν οι φλέβες μας/ θα φουσκώναμε /θα παθαίναμε έκρηξη	0%	0%	5%	2%	6%	0%	1%	4%	34	
ομάδα 6	θα πιεζόμασταν περισσότερο	0%	0%	0%	2%	3%	0%	1%	2%	16	
ομάδα 7	θα μάζευε/θα αραίωνε/ θα διαλυόμασταν/ θα έλιωνε	3%	11%	0%	8%	8%	3%	14%	7%	68	
επικέντρωση της απάντησης στη ζωή, το θάνατο, την αρρώστια, τη φθορά, τη φυσική προσαρμογή											
ομάδα 8	θα πεθαίναμε/ δεν θα υπήρχαμε	3%	14%	13%	13%	14%	15%	10%	13%	116	
ομάδα 9	δε θα αναπνέαμε	9%	11%	16%	10%	12%	2%	1%	10%	89	
ομάδα 10	δε θα ήμασταν καλά/ το σώμα μας δεν θα ήταν καλά αναπτυγμένο /θα είχε δυσλειτουργία/ αρρώστια/ φθορά	17%	5%	2%	9%	4%	3%	2%	5%	50	
ομάδα 11	το σώμα μας θα αλλοιωνόταν	6%	0%	2%	4%	1%	5%	10%	3%	27	
ομάδα 12	θα ήμασταν αλλιώς	0%	0%	11%	5%	2%	2%	1%	3%	27	
επικέντρωση της απάντησης στη θεώρηση του αέρα ως προστατευτικού σώματος της γης											
ομάδα 13	δε θα αντέχαμε την ακτινοβολία/ θα καιγόμασταν	0%	9%	5%	3%	3%	0%	0%	3%	26	
ομάδα 14	θα έπεφταν ουράνια σώματα	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	1	
άλλες απαντήσεις											
ομάδα 15	δεν θα παθαίναμε τίποτα	0%	0%	5%	3%	4%	8%	5%	4%	35	
ομάδα 16	χωρίς απάντηση	60%	27%	35%	23%	25%	48%	38%	29%	267	
	γενικό σύνολο ερωτηματολογίων										912
	σύνολο ερωτηματολογίων ανά τάξη	35	44	62	228	399	61	81			910
	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία								911	911	911
	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία & τάξη	35	43	62	228	399	61	80			908

Ομαδοποιώντας την κατηγορία των μαθητών που επικεντρώνουν τις απαντήσεις τους στα αποτελέσματα που θα είχε η αραίωση του αέρα στο σώμα μας ως οργανισμό, παρατηρούμε ότι ποσοστό 13% του συνόλου των 912 μαθητών αντιπροσωπεύεται από την απάντηση πως *θα πεθαίναμε* ή πως *δεν θα υπήρχαμε*, 10% από την απάντηση ότι *δεν θα αναπνέαμε*, 5% από την απάντηση ότι *δεν*

θα ήμασταν καλά, ότι *θα αρρωσταίναμε*, ότι *το σώμα μας θα δυσλειτουργούσε*, *θα φθείρονταν*, *δεν θα ήταν καλά αναπτυγμένο*, 3% από την απάντηση ότι το σώμα μας *θα αλλοιωνόταν*, ενώ ποσοστό 3% θεωρεί ότι το σώμα μας *θα προσαρμοζόταν* ή ότι *θα ήμασταν αλλιώς*.

7.3.8. «Τι θα συνέβαινε στη θάλασσα, αν στη γη δεν υπήρχε αέρας;»

Ταξινομώντας στον *Πίνακα 7.10*, που ακολουθεί, τις απαντήσεις στο ερώτημα *«Τι θα συνέβαινε στη θάλασσα, αν στη γη δεν υπήρχε αέρας;»* κατατάσσουμε και σε αυτή την περίπτωση τις απαντήσεις σε διαφορετικές κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία απαντήσεων, που καλύπτει το 43% του συνόλου των μαθητών, αφορά στην περιγραφή διαφορετικών φαινομένων. Στη δεύτερη κατηγορία, η οποία αντιπροσωπεύει το 32% των μαθητών, εντάσσονται απαντήσεις που επικεντρώνονται στην ύπαρξη της θάλασσας και των ζωντανών οργανισμών. Στην τρίτη κατηγορία εντάσσονται γενικές απαντήσεις, όπως η απάντηση της *ομάδας 13*, που εκπροσωπεί το 8% των μαθητών, σύμφωνα με τους οποίους *η θάλασσα δεν θα πάθαινε τίποτα*.

Από τις απαντήσεις της πρώτης κατηγορίας αναδεικνύονται οι εναλλακτικές ιδέες που έχουν περιγραφεί στις προηγούμενες ενότητες. Σύμφωνα με τις απαντήσεις της *ομάδας 1*, που συγκεντρώνει το 27% του συνόλου των μαθητών, *η θάλασσα θα ήταν ακίνητη, ήρεμη, χωρίς κύματα*, αν στη γη δεν υπήρχε αέρας. Η απάντηση αυτή, που αποτυπώνει με καθαρότητα την ιδέα της ταύτισης του αέρα με τον κινούμενο αέρα (Séré 1985[296]), περιγράφεται από τους μαθητές με διαφορετικές εκφράσεις, όπως *δεν θα υπήρχαν κύματα ή φουρτούνα, η θάλασσα θα ήταν ήρεμη, ήσυχη, λεία, γαλήνια, σαν λίμνη, λάδι, ήπια, ακίνητη, σταθερή, η θάλασσα δεν θα ήταν ταραγμένη, δεν θα κινούνταν, δεν θα είχε μποφόρ, δεν θα ακούγονταν, δεν θα ανανεωνόταν*. Το ποσοστό των μαθητών που εκφράζουν την άποψη αυτή εμφανίζεται περισσότερο αυξημένο στις χαμηλότερες τάξεις, αντιπροσωπεύοντας αντίστοιχα το 31% και 34% των μαθητών της Ε' και Στ' Δημοτικού, το 37%, 26% και 25% των μαθητών της Α', Β' και Γ' Γυμνασίου και το 36% και 21% των μαθητών του ΕΠΑΛ-ΤΕΕ και του Λυκείου.

Σύμφωνα με τις απαντήσεις της *ομάδας 2*, που εκπροσωπούν ποσοστό 4% του συνόλου των μαθητών, *η θάλασσα θα αιωρούταν*. Η ιδέα, που παραπέμπει στην ταύτιση της έλλειψης αέρα με την έλλειψη βαρύτητας, περιγράφεται με εκφράσεις του τύπου *η θάλασσα θα πετούσε*, *θα ανυψωνόταν*, *θα ανέβαινε στον ουρανό*, *θα έφευγε από τη γη*.

Ποσοστό 5% των μαθητών εκφράζει απόψεις που σχετίζονται με την επιστημονική άποψη ότι το νερό της θάλασσας θα έβραζε, θα εξατμιζόταν, θα πάγωνε[clxxvii].

Η ιδέα ότι η θάλασσα *θα απλωνόταν και θα πλημύριζε τα πάντα* που εκφράζεται από ποσοστό 3% των μαθητών είναι πιθανόν να σχετίζεται με την ιδέα ότι ο αέρας συγκρατεί τα πράγματα στην

[clxxvii] Η «επιστημονικά ορθή» απάντηση που δίνουν οι μαθητές, ότι το νερό θα έβραζε ή θα πάγωνε, θεωρούμε ότι είναι αδύνατο να αποτελεί ιδέα που προϋπάρχει, γιατί δεν έχει συνάφεια με την καθημερινή εμπειρία. Πολλές φορές η απάντηση αυτή προέρχεται από σχετική συζήτηση που έχει προηγηθεί από τον καθηγητή στην τάξη, ή από σχετική συζήτηση μεταξύ των μαθητών. Επίσης, παρατηρείται ότι, παρόλο που επισημαίνεται στους μαθητές να μην αλλοιώνουν το ερωτηματολόγιο καταγραφής των αρχικών ιδεών, προσθέτοντας ή διορθώνοντας τις αρχικές τους απαντήσεις κατά τη διάρκεια της πειραματικής διάλεξης, ένα μικρό ποσοστό από αυτούς, έχοντας το φόβο του «λάθους», επεμβαίνει στα αρχικά ερωτηματολόγια.

επιφάνεια της γης.

Τέλος, η ιδέα ότι *η θάλασσα δεν θα πάθαινε τίποτα* αν δεν υπήρχε αέρας, που εκφράζεται από ποσοστό 8% των μαθητών, είναι πιθανόν να σχετίζεται με την ταύτιση του αέρα με τον άνεμο ή με τη δυσκολία μερίδας των μαθητών να φανταστούν φαινόμενα και καταστάσεις που δεν συνάδουν με την καθημερινή εμπειρία.

Όπως φαίνεται στα στοιχεία που παρατίθενται *στον Πίνακα 7.10*, 22% των μαθητών επικεντρώνουν την απάντησή τους στους ζωντανούς οργανισμούς που ζουν στη θάλασσα, υποστηρίζοντας ότι δεν θα μπορούσαν να ζήσουν, 2% θεωρεί ότι η θάλασσα δεν θα είχε οξυγόνο, ενώ 9% θεωρεί ότι θα έπαυε τελείως να υπάρχει.

Πίνακας 7.10: Τι θα συνέβαινε στη θάλασσα, αν στη γη δεν υπήρχε αέρας;

κατηγορίες απαντήσεων	Τι θα συνέβαινε στη θάλασσα, αν στη γη δεν υπήρχε αέρας;	Δημοτικό		Γυμνάσιο			ΤΕΕ-ΕΠΑΛ	Γενικό Λύκειο	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία		σύνολα
		Ε'	ΣΤ'	Α'	Β'	Γ'					
απαντήσεις που επικεντρώνονται σε φαινόμενα											
ομάδα 1	δεν θα υπήρχαν κύματα/ φουρτούνα/ θα ήταν ήρεμη/ ακίνητη/λεία/ γαλήνια…	31%	34%	37%	26%	25%	36%	21%	27%	250	
ομάδα 2	θα αιωρούταν/ θα ανυψωνόταν/ θα πετούσε	0%	2%	0%	4%	5%	5%	5%	4%	34	
ομάδα 3	θα απλώνονταν παντού/ πλημμύριζε/ δε θα υπήρχε στεριά	0%	5%	0%	5%	3%	0%	0%	3%	26	
ομάδα 4	θα εξατμιζόταν/ θα έβραζε/ θα γινόταν πάγος	0%	9%	3%	6%	5%	2%	2%	5%	42	
ομάδα 5	δεν θα κινούνταν τα πλοία	0%	0%	2%	0%	1%	0%	0%	1%	4	
ομάδα 6	δε θα κολυμπούσαμε/ επιπλέαμε	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	3	
ομάδα 7	θα ήταν πυκνή/ ζεστή	0%	2%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	3	
ομάδα 8	δεν θα είχε οξυγόνο	0%	0%	6%	1%	2%	0%	1%	2%	14	
ομάδα 9	θα έχανε το χρώμα της	0%	0%	0%	3%	2%	0%	1%	2%	14	
απαντήσεις που επικεντρώνονται στην ύπαρξη και της θάλασσας και των ζωντανών οργανισμών											
ομάδα 10	δεν θα υπήρχε/ θα εξαφανίζονταν/ καταστρέφονταν/ διαλυόταν/ δε θα είχε νερό	11%	20%	6%	11%	9%	5%	4%	9%	85	
ομάδα 11	δεν θα ζούσαν τα ψάρια/ οι οργανισμοί	9%	14%	15%	21%	26%	11%	27%	22%	198	
ομάδα 12	θα μολυνόταν/ θα ήταν νεκρή	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	2	
λοιπές απαντήσεις											
ομάδα 13	θα ήταν διαφορετική	0%	0%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	4	
ομάδα 14	δεν θα πάθαινε τίποτα	11%	2%	11%	7%	7%	11%	11%	8%	74	
ομάδα 15	χωρίς απάντηση	37%	11%	16%	12%	15%	26%	27%	17%	154	
	γενικό σύνολο ερωτηματολογίων										912
	σύνολο ερωτηματολογίων ανά τάξη	35	44	62	228	399	61	81			910
	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία								908	908	908
	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία & τάξη	35	44	61	225	398	61	81			905

7.3.9. «Αν δεν υπήρχε αέρας, θα υπήρχαν ήχοι;»

Σύμφωνα με τα στοιχεία του *Πίνακα 7.11*, που παρατίθεται στη συνέχεια, ποσοστό 74% των μαθητών, που δεν διαφοροποιείται ιδιαίτερα από τάξη σε τάξη, απαντούν ότι *χωρίς αέρα δεν θα υπήρχαν ήχοι* ή ότι *μάλλον δεν θα υπήρχαν ήχοι*.

Πίνακας 7.11: Αν δεν υπήρχε αέρας, θα υπήρχαν ήχοι;

κατηγορίες απαντήσεων	Αν δεν υπήρχε αέρας θα υπήρχαν ήχοι;	Δημοτικό		Γυμνάσιο			ΤΕΕ-ΕΠΑΛ	Γενικό Λύκειο	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία		σύνολα
		Ε'	ΣΤ'	Α'	Β'	Γ'					
αρνητικές απαντήσεις											
ομάδα 1	όχι/ μάλλον όχι	69%	77%	76%	71%	77%	67%	69%	74%	674	
ομάδα 2	δε θα υπήρχαν οργανισμοί να παράγουν ήχους	6%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	3	
θετικές απαντήσεις											
ομάδα 3	ναι/δεν θα ακούγονταν/ δε θα διαδίδονταν/ δε θα έφταναν στα αυτιά μας / θα διαδίδονταν πιο αργά/ δε θα δημιουργούνταν εύκολα	0%	2%	5%	2%	3%	2%	5%	3%	26	
ομάδα 4	ναι/ άλλοι από τους γνωστούς	6%	9%	15%	18%	12%	20%	11%	14%	123	
ομάδα 5	ναι/ πιο καθαροί/ πιο δυνατοί	0%	0%	0%	1%	1%	2%	1%	1%	7	
ομάδα 6	θα ήταν χαμηλοί/ όχι καθαροί	0%	2%	2%	0%	2%	5%	1%	2%	21	
ομάδα 7	ίσως/ ίσως κάποιοι	0%	0%	0%	0%	1%	2%	0%	1%	6	
ομάδα 8	μόνο από ηλεκτρικά όργανα/άλλοι/ όχι της φύσης /τεχνητοί/ ορισμένοι	0%	0%	0%	2%	0%	2%	1%	1%	7	
ομάδα 9	θα υπήρχαν ήχοι, δεν θα υπήρχαν αντίλαλοι/ αντήχηση					0%				2	
ομάδα 10	δεν θα υπήρχε ο ήχος του αέρα	3%	0%	3%	0%	0%	0%	1%	1%	5	
ομάδα 11	θα υπήρχαν ήχοι στις καταιγίδες	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1	
ομάδα 12	ναι, θα υπήρχαν ήχοι που θα διαδίδονταν σε στερεά και υγρά	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2	
υπόλοιπα											
ομάδα 13	χωρίς απάντηση	17%	7%	0%	1%	4%	2%	10%	4%	35	
	γενικό σύνολο ερωτηματολογίων										912
	σύνολο ερωτηματολογίων ανά τάξη	35	44	62	228	399	61	81			910
	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία								912	912	912
	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία & τάξη	35	44	62	228	399	61	81			910

Για ποσοστό 1% *ίσως θα υπήρχαν ήχοι* ή *κάποιοι ήχοι*. Για ποσοστό 3% οι ήχοι *θα υπήρχαν, αλλά δεν θα ακούγονταν, δεν θα διαδίδονταν, δεν θα έφταναν στα αυτιά μας*, *θα διαδίδονταν πιο αργά* ή *δεν θα δημιουργούνταν εύκολα.* Για ποσοστό 2% οι ήχοι *θα υπήρχαν, αλλά θα ήταν χαμηλοί και όχι καθαροί*. Για ποσοστό 14% *θα υπήρχαν ήχοι, αλλά όχι οι γνωστοί*. Για ποσοστό 2% των μαθητών θα υπήρχαν *μόνο ορισμένοι ήχοι, τεχνητοί και όχι της φύσης*, ενώ σύμφωνα με την απάντηση ενός μαθητή *θα δημιουργούνταν ήχοι στις καταιγίδες*. Η άποψη των μαθητών ότι *στο κενό θα υπήρχαν ήχοι ή κάποιοι ήχοι* αποτελεί ιδέα που η σύγχρονη βιβλιογραφία της διδακτικής έχει καταγράψει (Eshach &Schwartz 2006[289], Hapkiewicz 1992[289]). Η ιδέα ότι οι μαθητές δεν μπορούν να φανταστούν ένα βουβό σύμπαν μπορεί σε ένα βαθμό να οφείλεται στις σύγχρονες απεικονίσεις κοσμικών φαινομένων

σε ταινίες ή στις αναμεταδόσεις από το διάστημα ή την επιφάνεια του φεγγαριού στις οποίες οι αστροναύτες ακούγονται να μας μιλούν. Ακόμα, δύο μαθητές αναφέρουν την επιστημονικά ορθή άποψη ότι θα υπήρχαν ήχοι, εφόσον *θα ήταν δυνατόν να διαδοθούν μέσα από στερεά και υγρά σώματα.*

Για ποσοστό *1% δεν θα υπήρχε ο ήχος του αέρα*. Στην τελευταία απάντηση διακρίνεται για άλλη μια φορά η πιθανή ταύτιση του αέρα με τον κινούμενο αέρα. Η ίδια ιδέα μπορεί να υπονοείται από τους μαθητές που δίνουν την απάντηση ότι *χωρίς αέρα οι ήχοι θα ήταν πιο καθαροί ή πιο δυνατοί* (1%).

Τέλος, μικρός αριθμός μαθητών (3) απαντούν ότι δεν θα υπήρχαν οργανισμοί, για να παράγουν ήχους.

7.3.10. «Μπορεί να υπάρξει φλόγα χωρίς αέρα;»

Σύμφωνα με τα στοιχεία του *Πίνακα 7.12*, το 72% του συνόλου των 912 μαθητών αναφέρουν πως *δεν μπορεί να υπάρξει φλόγα χωρίς αέρα*. Αρκετοί δικαιολογούν την απάντηση αναφέροντας ότι *η φλόγα χρειάζεται οξυγόνο*. Το ποσοστό των μαθητών που δίνουν αυτή την απάντηση εμφανίζεται χαμηλότερο στη Ε' Δημοτικού και Α' Γυμνασίου, όπου καλύπτει αντίστοιχα το 43% και 40% του συνόλου των αντίστοιχων τάξεων, ενώ είναι υψηλότερο στη Γ' Γυμνασίου και στις τάξεις του Λυκείου, όπου ανέρχεται αντίστοιχα σε 81% και 78%.

Ποσοστό 1% των μαθητών, που απαντούν επίσης αρνητικά, ισχυρίζονται πως *δεν μπορεί να υπάρξει φλόγα χωρίς αέρα γιατί η φλόγα ανάβει με τον αέρα/ ο αέρας συντηρεί/ μεγεθύνει/ επεκτείνει τη φλόγα*. Η απάντηση αυτή μπορεί μερικά να αποδοθεί στη γνωστή ταύτιση του αέρα με τον κινούμενο αέρα και στην εμπειρική εικόνα της πυρκαγιάς που είναι αδύνατο να σβήσει, αν δεν «πέσει» ο αέρας.

Ανάμεσα στις υπόλοιπες αρνητικές απαντήσεις έχουν ενδιαφέρον από χημική άποψη κάποιες ιδέες που υποστηρίζονται από περιορισμένο αριθμό μαθητών. Η απάντηση *χωρίς αέρα δεν θα υπήρχε φλόγα, γιατί η φωτιά καίει αέρα/ η φωτιά καίει οξυγόνο*, που δίνεται από 5 μαθητές, προδίδει ότι οι μαθητές έχουν πληροφορίες για το φαινόμενο της καύσης, αλλά αποδίδουν στον αέρα ή το οξυγόνο ιδιότητες καύσιμης ύλης. Τέλος, στην απάντηση *χωρίς αέρα δεν θα υπήρχε φλόγα, γιατί ο αέρας περιέχει υδρογόνο*, που δίνεται από 3 μαθητές της Γ' Γυμνασίου, φαίνεται ότι οι μαθητές μπερδεύουν το οξυγόνο με το υδρογόνο.

Για ποσοστό 13% του συνόλου των μαθητών η απάντηση στο ερώτημα είναι θετική, καθώς υποστηρίζουν πως *μπορεί να υπάρξει φλόγα χωρίς αέρα*. Οι μαθητές που δίνουν την απάντηση αυτή είναι σημαντικά περισσότεροι στην Ε' Δημοτικού, καλύπτοντας το 37% των μαθητών της τάξης. 3 μαθητές της Α' Γυμνασίου απαντούν ότι *μπορεί να υπάρξει φλόγα χωρίς αέρα γιατί ο αέρας σβήνει τη φωτιά*. Και σε αυτή την περίπτωση, η καθημερινή εμπειρία της φλόγας του κεριού που σβήνει όταν φυσάει είναι πηγή της ιδέας που υποστηρίζεται. Επίσης, ενδιαφέρον έχει η άποψη 3 μαθητών, ότι χρησιμοποιώντας διαφορετικά αέρια ή μέσα, όπως ο αναπτήρας, θα μπορούσε να υπάρξει φωτιά χωρίς

αέρα. Η απάντηση έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, γιατί μπορεί να αποτελέσει αρχή για το σχεδιασμό πειραμάτων που να διερευνούν τη δυνατότητα ανάφλεξης διαφορετικών υλικών στο κενό.

Πίνακας 7.12: Μπορεί να υπάρξει φλόγα χωρίς αέρα;

κατηγορίες απαντήσεων	Μπορεί να υπάρξει φλόγα χωρίς αέρα;	Δημοτικό		Γυμνάσιο			ΤΕΕ-ΕΠΑΛ	Γενικό Λύκειο	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία		σύνολα
		Ε'	ΣΤ'	Α'	Β'	Γ'					
αρνητικές απαντήσεις											
ομάδα 1	όχι/ η φλόγα χρειάζεται οξυγόνο	43%	68%	40%	68%	81%	74%	78%	72%	659	
ομάδα 2	όχι η φλόγα ανάβει με τον αέρα/ ο αέρας συντηρεί, μεγεθύνει, επεκτείνει τη φλόγα	0%	2%	3%	2%	1%	0%	0%	1%	10	
ομάδα 3	όχι, η φωτιά καίει αέρα/οξυγόνο	1%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	5	
ομάδα 5	όχι, γιατί ο αέρας περιέχει υδρογόνο	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	3	
ομάδα 6	όχι γιατί η ζέστη της φωτιάς πάει προς τα πάνω με τον αέρα	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	1	
θετικές απαντήσεις											
ομάδα 7	ναι	37%	23%	6%	13%	10%	23%	12%	13%	119	
ομάδα 8	ναι, γιατί ο αέρας σβήνει τη φωτιά	0%	0%	3%	0%	0%	0%	1%	0%	3	
ομάδα 9	όχι μόνο ο αναπτήρας/ με τεχνητά αέρια/με οξυγόνο	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	3	
ομάδα 10	ίσως	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	2	
υπόλοιπα											
ομάδα 11	χωρίς απάντηση	20%	7%	45%	17%	6%	2%	7%	12%	107	
	γενικό σύνολο ερωτηματολογίων										912
	σύνολο ερωτηματολογίων ανά τάξη	35	44	62	228	399	61	81			910
	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία								912	912	912
	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία & τάξη	35	44	62	228	399	61	81			910

7.3.11. «Αν σταδιακά αραίωνε ο αέρας, τι θα πάθαινε η αστραπή;»

Από το σύνολο των 912 μαθητών, ποσοστό 29% θεωρεί απαραίτητο τον αέρα για την ύπαρξη της αστραπής και απαντά ότι *η αστραπή δεν θα υπήρχε/θα διαλυόταν/θα χανόταν/θα εξαφανιζόταν* αν δεν υπήρχε αέρας στη γη. Παράλληλα, ποσοστό 1% των μαθητών θεωρεί τον αέρα απαραίτητο για τη διάδοση της αστραπής, αναφέροντας ότι χωρίς αέρα, *η αστραπή δεν θα έφτανε στη γη/δεν θα μεταφερόταν/δεν θα κινούνταν*.

Ποσοστό 33% των μαθητών θεωρεί ότι η αστραπή θα άλλαζε, χρησιμοποιώντας λογική συναγωγή, για να προβλέψει την αλλαγή αυτή. Συγκεκριμένα, 21% των μαθητών θεωρούν ότι η δύναμη της αστραπής θα επηρεαζόταν από την αραίωση του αέρα και θα γινόταν πιο αδύναμη ή πιο δυνατή, θεωρώντας αντίστοιχα τον αέρα ως μέσον ή ως εμπόδιο. Ποσοστό 9% θεωρεί ότι *η αστραπή θα γινόταν πιο δυνατή*. Ποσοστό 2% συγκεκριμενοποιεί περισσότερο την εικόνα της *δυνατότερης αστραπής* απαντώντας ότι *δεν θα υπήρχε αντίσταση του αέρα, οπότε, η αστραπή θα έπεφτε πιο εύκολα στο έδαφος* ή ότι *θα διαδίδονταν πιο εύκολα*, αποτυπώνοντας με καθαρότητα την ιδέα ότι ο αέρας είναι εμπόδιο για τη διάδοση της αστραπής. Η έκφραση που περιλαμβάνει τη λέξη *αντίσταση*

χρησιμοποιείται χαρακτηριστικά σε δύο απαντήσεις. Ποσοστό 12% θεωρεί ότι η αστραπή θα ήταν πιο αδύναμη. Ποσοστό 5% των μαθητών αποτυπώνει την ίδια ιδέα πιο ξεκάθαρα, αναφέροντας ότι η αστραπή *δεν θα άστραφτε/ δεν θα είχε φως/ δεν θα φαινόταν/ δεν θα εμφανιζόταν*, ενώ 4 μαθητές απαντούν ότι σε αυτή την περίπτωση *η αστραπή δεν θα προκαλούσε προβλήματα.* Ακόμα, ποσοστό 6% των μαθητών απαντούν ότι η αστραπή *θα ήταν αθόρυβη*.

Πίνακας 7.13: Αν σταδιακά αραίωνε ο αέρας, τι θα πάθαινε η αστραπή;

κατηγορίες απαντήσεων	Αν σταδιακά αραίωνε ο αέρας, τι θα πάθαινε η αστραπή;	Δημοτικό		Γυμνάσιο			ΤΕΕ-ΕΠΑΛ	Γενικό Λύκειο	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία		σύνολα
		Ε'	ΣΤ'	Α'	Β'	Γ'					
ομάδα 1	διαφορετική/θα έσπαζε/ θα φούσκωνε/θα είχε άλλο χρώμα ή σχήμα/θα απλωνόταν	0%	5%	2%	3%	5%	3%	2%	4%	36	
ομάδα 2	δεν θα υπήρχε/ θα διαλυόταν/ θα χανόταν/ θα εξαφανιζόταν	23%	48%	19%	20%	37%	18%	26%	29%	268	
ομάδα 3	αθόρυβη	0%	0%	5%	13%	4%	2%	9%	6%	56	
ομάδα 5	αδύναμη	11%	23%	13%	12%	10%	16%	9%	12%	105	
ομάδα 6	πιο δυνατή	3%	9%	15%	11%	8%	5%	9%	9%	79	
ομάδα 7	ίδια	0%	2%	5%	7%	6%	10%	5%	6%	55	
ομάδα 8	δεν θα άστραφτε/δεν θα είχε φως/δεν θα φαινόταν/ δεν θα εμφανιζόταν	6%	2%	2%	11%	3%	2%	2%	5%	44	
ομάδα 9	δεν θα προκαλούσε προβλήματα	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	4	
ομάδα 10	δεν θα έφτανε στη γη/ δεν θα μεταφερόταν/ δεν θα κινούνταν	3%	0%	11%	0%	1%	0%	0%	1%	12	
ομάδα 11	δεν θα υπήρχε αντίσταση/θα έπεφτε πιο εύκολα/ θα διαδίδονταν πιο εύκολα	3%	0%	2%	3%	2%	3%	2%	2%	21	
ομάδα 12	θα είχε φως, όχι ηλεκτρισμό	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1	
ομάδα 13	χωρίς απάντηση	51%	11%	27%	17%	24%	41%	35%	25%	227	
	γενικό σύνολο ερωτηματολογίων										912
	σύνολο ερωτηματολογίων ανά τάξη	35	44	62	228	399	61	81			910
	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία								908	908	910
	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία & τάξη	35	44	62	228	397	61	79			906

Ποσοστό 6% δηλώνει ότι η αραίωση του αέρα δεν θα επηρέαζε την αστραπή, η οποία *θα παρέμενε ίδια*.

Ποσοστό 4% των μαθητών θεωρούν ότι η αστραπή *θα ήταν διαφορετική/ θα έσπαζε/ θα φούσκωνε/ θα άλλαζε χρώμα/ θα απλωνόταν*. Οι τελευταίες από αυτή την ομάδα των απαντήσεων απόψεις, ότι, δηλαδή, η αστραπή θα άλλαζε χρώμα, θα απλωνόταν είναι πιθανόν να έχουν διαρρεύσει ως απαντήσεις από άλλους μαθητές που παρακολούθησαν την πειραματική διάλεξη ή να έχουν προστεθεί από τους ίδιους τους μαθητές στο αντίστοιχο ερωτηματολόγιο μετά την παρακολούθηση των αντίστοιχων πειραμάτων[clxxviii].

[clxxviii] Όπως και στην περίπτωση του βρασμού του νερού σε περιβάλλον μειωμένης πίεσης, θεωρούμε ότι οι μαθητές είναι αδύνατον να έχουν προβλέψει την αλλαγή του χρώματος της αστραπής. Παρατηρείται και εδώ ότι, παρόλο που επισημαίνεται στους μαθητές να μην αλλοιώνουν το ερωτηματολόγιο καταγραφής των αρχικών ιδεών, προσθέτοντας ή

7.3.12. «Υπάρχει απολύτως κενός χώρος;»

Στο ερώτημα, αν υπάρχει απολύτως κενός χώρος, το ακροατήριο εμφανίζεται γενικά διχασμένο. Το 31% του συνόλου των μαθητών των 912 μαθητών δηλώνουν πως *δεν υπάρχει απολύτως κενός χώρος*. Το ποσοστό ανέρχεται σε 31%, 32% & 28% αντίστοιχα στην Β', Γ' Γυμνασίου και στις τάξεις του Λυκείου. Το ίδιο ποσοστό ανέρχεται σε 46% στην Α' Γυμνασίου και σε 39% στις τάξεις του ΤΕΕ-ΕΠΑΛ. Πέφτει σε 17% και 2% αντίστοιχα στην Ε'και Στ'Δημοτικού.

Πίνακας 7.14: Υπάρχει απολύτως κενός χώρος;

κατηγορίες απαντήσεων	Υπάρχει απολύτως κενός χώρος;	Δημοτικό		Γυμνάσιο			ΤΕΕ-ΕΠΑΛ	Γενικό Λύκειο	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία		σύνολα
		Ε'	ΣΤ'	Α'	Β'	Γ'					
αρνητικές απαντήσεις											
ομάδα 1	όχι	17%	2%	46%	31%	32%	39%	28%	31%	279	
ομάδα 2	όχι, γιατί ο αέρας έχει όγκο	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	3	
θετικές απαντήσεις											
ομάδα 3	ναι	51%	18%	5%	38%	38%	44%	47%	37%	334	
ομάδα 4	ναι, στο διάστημα/ όχι στη γη	3%	68%	3%	5%	18%	2%	17%	15%	133	
ομάδα 5	ναι, αν το δημιουργήσουμε/ αν αφαιρέσουμε τον αέρα	0%	0%	0%	3%	4%	2%	0%	2%	22	
ομάδα 6	ναι, στη θάλασσα	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1	
ομάδα 7	υπάρχουν τα κενά αέρος/ σε μερικά σημεία	0%	0%	0%	3%	1%	0%	0%	1%	8	
ομάδα 8	ναι, εκεί που δεν υπάρχει οξυγόνο	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1	
ομάδα 9	ίσως	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	2	
υπόλοιπα											
ομάδα 10	χωρίς απάντηση	29%	9%	46%	19%	7%	13%	6%	14%	129	
	γενικό σύνολο ερωτηματολογίων										912
	σύνολο ερωτηματολογίων ανά τάξη	35	44	62	228	399	61	81			910
	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία								912	912	912
	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία & τάξη	35	44	61	224	399	61	81			905

Ποσοστό 37% των μαθητών δηλώνουν *ότι υπάρχει απολύτως κενός χώρος*. Το ποσοστό ανέρχεται σε 38% στις τάξεις Β' και Γ' Γυμνασίου, 47% στις τάξεις του Λυκείου και 44% στις τάξεις του ΤΕΕ-ΕΠΑΛ. Είναι 51% και 18% αντίστοιχα στην Ε' και Στ' Δημοτικού και 5% στην Α' Γυμνασίου. 15% των μαθητών θεωρεί ότι *το κενό υπάρχει μόνο στο διάστημα/ όχι στη γη*. Το ποσοστό αυτό ανέρχεται σε 18% και σε 17% αντίστοιχα στη Γ' Γυμνασίου και στις τάξεις του Λυκείου, ενώ εμφανίζεται 5% και 2% αντίστοιχα στη Β' Γυμνασίου και στις τάξεις του ΤΕΕ-ΕΠΑΛ, 3% στην Α' Γυμνασίου και στην Ε' Δημοτικού και 68% στην Στ' Δημοτικού.

Ποσοστό 2% των μαθητών θεωρεί ότι *το κενό μπορεί να υπάρξει αν το δημιουργήσουμε τεχνητά/ αν αφαιρέσουμε τον αέρα*. Το ποσοστό αυτό ανέρχεται σε 3%, 4%, 2% και 0% αντίστοιχα στις Β', Γ' Γυμνασίου, στις τάξεις του ΤΕΕ-ΕΠΑΛ και του Λυκείου. Είναι 0% στο Δημοτικό και στην Α'

διορθώνοντας τις αρχικές τους απαντήσεις κατά τη διάρκεια της πειραματικής διάλεξης, ένα μικρό ποσοστό από αυτούς, έχοντας το φόβο του «λάθους», επεμβαίνει στα αρχικά ερωτηματολόγια.

Γυμνασίου.

7.3.13. «Αν δεν υπήρχε αέρας στη γη, τι χρώμα θα είχε ο ουρανός στο ηλιοβασίλεμα;»

Σύμφωνα με τα στοιχεία που παρουσιάζονται στον *Πίνακα 7.15*, που ακολουθεί, ποσοστό 42% του συνόλου των μαθητών φαντάζεται ότι ουρανός, χωρίς αέρα, θα είχε στο ηλιοβασίλεμα χρώματα παρόμοια με αυτά που μας έχει συνηθίσει η εμπειρία. Συγκεκριμένα, ποσοστό 16% του συνόλου φαντάζεται τον ουρανό σε μια γη χωρίς αέρα να έχει κοκκινωπά χρώματα την ώρα του ηλιοβασιλέματος, ενώ ποσοστό 14% τον φαντάζεται με *το ίδιο το χρώμα του ηλιο*βασιλέματος, που γνωρίζουμε *αλλά πιο σκούρο*, ποσοστό 7% τον φαντάζεται *γαλάζιο*, *μπλε* ή *μπλε σκούρο* και ποσοστό 5% τον φαντάζεται με το *χρώμα του ήλιου* ή *κίτρινο*.

Πίνακας 7.15: Αν δεν υπήρχε αέρας στη γη, τι χρώμα θα είχε ο ουρανός στο ηλιοβασίλεμα;

κατηγορίες απαντήσεων	Αν δεν υπήρχε αέρας στη γη, τι χρώμα θα είχε ο ουρανός στο ηλιοβασίλεμα;	Δημοτικό		Γυμνάσιο			ΤΕΕ-ΕΠΑΛ	Γενικό Λύκειο	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία		σύνολα
		Ε'	ΣΤ'	Α'	Β'	Γ'					
ομάδα 1	κόκκινο/ βιολετί/ γαλαζοπράσινο και κόκκινο/ πορτοκαλί/ μωβ/ βιολετί	6%	27%	18%	14%	16%	18%	20%	16%	149	
ομάδα 2	κίτρινο	9%	5%	5%	4%	4%	0%	5%	4%	36	
ομάδα 3	το χρώμα του ήλιου	0%	0%	0%	1%	1%	0%	0%	1%	7	
ομάδα 4	το ίδιο/ το ίδιο αλλά πιο έντονο/ πιο σκούρο	0%	11%	5%	16%	15%	18%	17%	14%	128	
ομάδα 5	γαλάζιο/ μπλε/μπλε σκούρο	11%	9%	5%	6%	6%	13%	7%	7%	62	
ομάδα 6	γκρι/ ασπρόμαυρο/ μαύρο και κίτρινο	0%	5%	0%	2%	2%	2%	1%	2%	15	
ομάδα 7	καφέ/πράσινο/πολύχρωμο	0%	0%	5%	3%	1%	3%	2%	2%	18	
ομάδα 8	άχρωμο/ διαφανές/ τίποτα/ διαυγές/ δε θα φαινόταν	20%	16%	23%	23%	13%	5%	11%	16%	143	
ομάδα 9	σκούρο/ αδιαφανές/ σκοτεινό/ θολό	3%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	1%	6	
ομάδα 10	μαύρο	17%	14%	13%	16%	19%	18%	7%	16%	148	
ομάδα 11	διαφορετικό από τώρα	0%	0%	3%	2%	2%	2%	0%	2%	14	
ομάδα 12	δεν θα υπήρχε ηλιοβασίλεμα/ουρανός	0%	0%	0%	2%	1%	0%	0%	1%	9	
ομάδα 13	χωρίς απάντηση	31%	14%	24%	12%	20%	21%	25%	19%	174	
	γενικό σύνολο ερωτηματολογίων										912
	σύνολο ερωτηματολογίων ανά τάξη	35	44	62	228	399	61	81			910
	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία								912	912	912
	σύνολο απαντήσεων ανά κατηγορία & τάξη	34	44	62	228	399	61	80			908

Για ποσοστό 2% το ηλιοβασίλεμα θα ήταν σχετικά αποχρωματισμένο, δηλαδή, ο ουρανός θα είχε χρώμα *γκρι /ασπρόμαυρο / μαύρο & κίτρινο*, ενώ για άλλο ένα 2% θα είχε κάπως διαφορετικά χρώματα από αυτά που έχει σήμερα, όπως *καφέ* ή *πράσινο*.

Ποσοστό μαθητών 16% που υπονοούν ότι ο αέρας δίνει χρώμα στον ουρανό φαντάζονται ότι η απουσία του θα καθιστούσε τον ουρανό *άχρωμο*, *διαφανή*, *διαυγή* ή απαντούν ότι *ο ουρανός δεν θα φαινόταν*. Ποσοστό μαθητών 1% φαντάζονται, αντίθετα, ότι ο αέρας δίνει διαύγεια στον ουρανό και απαντούν ότι σε μια γη χωρίς αέρα, ο ουρανός στο ηλιοβασίλεμα θα ήταν *σκοτεινός*, *θολός αδιαφανής*,

σκούρος.

Ποσοστό μαθητών 16% δίνουν την «επιστημονικά σωστή» απάντηση πως ο ουρανός θα ήταν μαύρος.

Ποσοστό 2% του συνόλου των μαθητών απαντούν πως ο ουρανός θα ήταν *διαφορετικός*.

Τέλος, ποσοστό μαθητών 1% αναφέρουν ότι *δεν θα υπήρχε καθόλου ηλιοβασίλεμα* ή ότι δεν θα υπήρχε *ουρανός*.

7.3.14. Επισημάνσεις και συμπεράσματα

Η παραπάνω ανάλυση αναδεικνύει κάτι που έχει επισημανθεί στη βιβλιογραφία (Κασσέτας 2004[287]), ότι ο παράγοντας εμπειρία, η γλώσσα και η διδασκαλία της επιστήμης διαμορφώνουν τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως στην ερώτηση *αν ο αέρας έχει βάρος* ή στο *αν υπάρχει το απόλυτο κενό,* οι απαντήσεις μεγάλου ποσοστού των μαθητών θυμίζουν προεπιστημονικές ιδέες και μπορούν να αξιοποιηθούν για την εισαγωγή σχετικών ιστορικών πειραμάτων, όπως θα εξηγηθεί στις επόμενες ενότητες.

Άλλες ιδέες, όπως το ότι *το σώμα μας θα πετούσε αν στη γη δεν υπήρχε αέρας,* ή ότι *το αλεξίπτωτο δεν θα έπεφτε*, έχουν σε μεγάλο βαθμό τις ρίζες τους στην πληροφόρηση που παρέχει ο σύγχρονος κόσμος και στην εμπειρία των μαθητών που προέρχεται από ταινίες που δείχνουν τους αστροναύτες να πετούν στο διάστημα ή μέσα στα διαστημόπλοια. Με παρόμοιο τρόπο, οι εικόνες της τηλεοπτικής αναμετάδοσης πειραμάτων από την επιφάνεια της σελήνης ενισχύουν τη διαμόρφωση ιδεών, ότι *χωρίς αέρα μπορούν να υπάρξουν ήχοι – όχι όμως οι γνωστοί, αλλά τεχνητοί,* ή *ηλεκτρικοί*.

Η παραπάνω ανάλυση δείχνει, επίσης, ότι οι προβλέψεις των μαθητών αποτελούν συνήθως λογικές συναγωγές από την ήδη υπάρχουσα εμπειρία. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε θέματα για τα οποία δεν υπάρχει σχετική εμπειρία ή σχετικά ερεθίσματα, όπως στο *τι θα συνέβαινε στην αστραπή, τι θα συνέβαινε στη θάλασσα, τι χρώμα θα είχε ο ουρανός*, οι μαθητές δημιουργούν λογικά σχήματα, για να προεκτείνουν τα δεδομένα της εμπειρίας τους σε μια «άγνωστη περιοχή» αδυνατώντας, όπως εξάλλου και οι επιστήμονες, να φανταστούν πειραματικά αποτελέσματα που δεν αποτελούν γραμμικές προεκτάσεις της εμπειρίας αυτής.

Ο παράγοντας της γλώσσας επηρεάζει τις απαντήσεις των μαθητών συνεισφέροντας σε μεγάλο βαθμό στην ταύτιση του αέρα με τον κινούμενο αέρα.

Κάποιες από τις απαντήσεις των μαθητών αποτελούν αφορμή, για να ανασύρει κανείς κεντρικές ιδέες της ιστορικής επιστημονικής σκηνής, όσον αφορά στις ιδιότητες του αέρα. Σε πολλές από τις απαντήσεις των μαθητών παρουσιάζεται ως μέσον και σε άλλες ως εμπόδιο. Χαρακτηριστικό αυτού του τρόπου σύλληψης του αέρα είναι το γεγονός ότι οι 2 από τους 3 μαθητές που απαντούν ότι *η αστραπή δεν θα έπεφτε αν δεν υπήρχε ο* αέρας, απαντούν, παράλληλα, ότι και *το αλεξίπτωτο δεν θα έπεφτε*. Με παρόμοιο τρόπο, οι 9 στους 10 μαθητές που απαντούν ότι η αστραπή *θα έπεφτε πιο εύκολα* ή ότι *θα διαδίδονταν πιο εύκολα*, απαντούν, ταυτόχρονα, ότι το αλεξίπτωτο θα έπεφτε πιο γρήγορα.

Με παρόμοιο τρόπο, μπορεί ο διχασμός των απόψεων των μαθητών, πάνω στο αν υπάρχει ή δεν υπάρχει το κενό, να συλληφθεί ως μικρογραφία της αντίστοιχης επιστημονικής διαμάχης που αναδύεται σε διάφορες εποχές.

Όπως θα φανεί στις επόμενες ενότητες, η διερεύνηση των ιδεών των μαθητών, στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιείται ως εφαλτήριο για την εισαγωγή ιστορικών επιστημονικών συζητήσεων και πειραμάτων. Αυτό γίνεται με δύο τρόπους. Στην πρώτη περίπτωση οι ιδέες των μαθητών συγκρίνονται με αντίστοιχες επιστημονικές ιδέες και χρησιμοποιούνται ως θύρες για τη μετάβαση στην ιστορική επιστημονική σκηνή. Στη δεύτερη περίπτωση, προσπαθούμε να διδάξουμε στους μαθητές πώς είναι δυνατόν να αναζητήσουν πειραματικές μεθόδους, για να απαντήσουν σε ερωτήματα ή να ελέγξουν αντιφατικές ή συγκεχυμένες ιδέες και, με τον τρόπο αυτό, να συναντήσουν μονοπάτια που οι επιστήμονες διαφόρων εποχών ακολούθησαν.

Η συζήτηση που εκκινείται από τις απόψεις των μαθητών στοχεύει να τους οδηγήσει να κοιτάξουν ή ακόμη και να γνωρίσουν το ήδη υπάρχον γνωστικό τους οικοδόμημα και να το χρησιμοποιήσουν ως βάση για την ανάπτυξη νέας γνώσης ή νέας μεθοδολογίας της γνώσης. Οι μαθητές καλούνται να εκφράσουν την άποψή τους στο πλαίσιο ενός παιχνιδιού συζήτησης, στο οποίο τα μέλη του ακροατηρίου υποχρεούνται να ακούν όποια άποψη εκφράζεται και να προσθέτουν τη δική τους, μόνο όταν αυτή είναι διαφορετική. Σκοπός του παιχνιδιού είναι να βιώσουν οι μαθητές το αίσθημα μιας κοινότητας στην οποία οι διαφορετικές επιστημονικές υποθέσεις κοινοποιούνται, προκειμένου να συγκριθούν και να σχολιαστούν. Μέσα από αυτό το παιχνίδι συζήτησης, που σταδιακά αναπτύσσεται καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διάλεξης, επιδιώκεται οι μαθητές να μάθουν να σέβονται την άποψή τους, όπως και τις απόψεις των άλλων, και να τις αντιμετωπίζουν ως τον μοναδικό τρόπο να εκκινήσουν μια ερευνητική διαδικασία και, μέσα από αυτή, να προσεγγίσουν την επιστημονική γνώση. Κλειδί για την επίτευξη αυτού του στόχου είναι οι μαθητές να κατανοήσουν ότι η επιστημονική γνώση κατακτιέται μέσα από το λάθος, ότι οι επιστήμονες νομιμοποιούνται να γνωρίζουν μέρος της αλήθειας ή να έχουν διαφορετικές απόψεις και ότι η αντιπαράθεση των απόψεων αυτών γίνεται σε ορισμένες περιπτώσεις ιδιαίτερα γόνιμη για την εξέλιξη της επιστήμης.

7.4. Παρακολουθώντας την πειραματική διάλεξη

Στις επόμενες ενότητες θα παρουσιάσουμε πώς χρησιμοποιούμε τις ιδέες των μαθητών, για να ξεδιπλώσουμε το περιεχόμενο της πειραματικής διάλεξης. Θα παρακολουθήσουμε πώς τις μετατρέπουμε σε θύρες για την είσοδο στην ιστορική επιστημονική σκηνή, και πώς με τη βοήθεια αυτής της συστηματικής μετάβασης από το εργαστηριακό παρόν στην ιστορία της επιστήμης προκαλούμε συνειρμούς σύνδεσης των ιδεών αυτών με ιστορικά επιστημονικά ερωτήματα. Θα δείξουμε, ακόμα, τρόπους τους οποίους αξιοποιήσαμε, προκειμένου να αναπτύξουμε, να τροποποιήσουμε ή να προσβάλουμε το εννοιολογικό τοπίο των μαθητών.

7.4.1. 1η υποενότητα: Πώς και γιατί πέφτουν τα πράγματα στη γη;

Εισάγουμε την υποενότητα **συλλέγοντας τις απαντήσεις** στην ερώτηση του εισαγωγικού παιχνιδιού:

- *Αν δεν υπήρχε αέρας, πώς θα ήταν η πτώση ενός αλεξίπτωτου;*

Όπως φαίνεται από τις απαντήσεις των μαθητών στα αντίστοιχα ερωτηματολόγια *(*βλ. *ενότητα 7.3.3)*, πολλοί ανάμεσά τους ισχυρίζονται ότι *η πτώση του αλεξίπτωτου θα ήταν γρήγορη/ απότομη/ κάθετη/ θανάσιμη/ ελεύθερη*, σημαντική μερίδα τους θεωρεί ότι *το αλεξίπτωτο δεν θα έπεφτε* ή διατυπώνει την ασαφή απάντηση ότι *το αλεξίπτωτο δεν θα μπορούσε* να πετάξει και λίγοι θεωρούν ότι *το αλεξίπτωτο θα έπεφτε αργά/ πολύ αργά* ή ότι *θα έπεφτε κανονικά.*

Χωρίς να σχολιάσουμε τις διαφορετικές απόψεις, που η συζήτηση αποκαλύπτει, εισάγουμε την ερώτηση:

- *Τι νομίζετε, τα βαριά σώματα πέφτουν πιο γρήγορα από τα ελαφριά ή όχι;*

στην οποία οι νεώτεροι μαθητές δίνουν με ευκολία θετική απάντηση. Αξιοποιώντας τις διαφορετικές απαντήσεις του κοινού στα παραπάνω ερωτήματα, αναφέρουμε ότι το ερώτημα του «πώς και γιατί πέφτουν τα πράγματα στη γη» δεν είναι σημερινό, αντίθετα, έχει απασχολήσει φιλοσόφους και επιστήμονες σε διαφορετικές εποχές και έχει δεχθεί διαφορετικές απαντήσεις.

► <u>Η άποψη του Αριστοτέλη:</u>

Αφηγούμαστε ότι, όταν ρωτήθηκε σχετικά ο Αριστοτέλης, τον 4^{ο} αιώνα π.Χ., απάντησε ότι *τα βαριά σώματα πέφτουν πιο γρήγορα*, ενώ ταυτόχρονα σημείωνε ότι *δεν πέφτουν όλα τα σώματα στη γη, αλλά τα βαρύτερα από αυτά* (Αριστοτέλης *Περί Ουρανού* Α:269a, Δ: 308a,b, 310a, 311a,b[297]). Εξηγούσε, αναφέρουμε εκλαϊκεύοντας τα λόγια του, ότι οι πέτρες και η βροχή μπορεί να πέφτουν, όχι όμως ο καπνός και η φωτιά *(βλ.διαφάνεια 5)*. Κι αυτό γιατί, όπως σχολιάζει πολυσυζητημένη γκραβούρα του 19^{ου} αιώνα (Flammarion 1888 σελ.183[298]) (βλ. *διαφάνεια 6*), σύμφωνα με τον Αριστοτέλη, υπήρχαν δύο κέντρα έλξης, ένα στο κέντρο της γης, προς το οποίο «φυσικά» και λόγω «ομοιότητας» κινούνταν τα βαρύτερα αντικείμενα, φτιαγμένα από «γη» και «νερό», και ένα στον ουρανό, προς το οποίο, επίσης «φυσικά», κινούνταν τα ελαφρότερα από αυτά, όπως ο καπνός και η

φωτιά. Άρα η «ελαφρότητα» και το «βάρος» ήταν για τον Αριστοτέλη οι αιτίες της προς τα πάνω ή κάτω κίνησης (βλ. *διαφάνειες 8-11*)[clxxix].

► Η απάντηση του Γαλιλαίου:

Τονίζουμε ότι η άποψη του Αριστοτέλη ήταν τεκμηριωμένη τόσο δεξιοτεχνικά, που κατάφερε να επικρατήσει στο ιστορικό σύμπαν για σχεδόν 20 αιώνες. Τον 17ο αιώνα, ο Γαλιλαίος αφιέρωσε τη ζωή του στο να τη διαρρήξει. Το 1638 γράφει μια πραγματεία με τίτλο: *Δύο Νέες Επιστήμες* (Galilei 1638/1954[299]), στην οποία ελέγχει πολλές από τις απόψεις του Αριστοτέλη. Στο βιβλίο, που είναι ταυτόχρονα επιστημονικό και λογοτεχνικό, συζητούν τρία πρόσωπα – ο *Σιμπλίκιο*, που εκπροσωπεί τις απόψεις του Αριστοτέλη, ο *Σαλβιάτι*, που εκπροσωπεί τις απόψεις του Γαλιλαίου, και ο *Σαγκρέντο*, που ακούει απροκατάληπτα τις απόψεις και των δύο.

Χρησιμοποιώντας κατάλληλα την εμπειρική παρατήρηση και τη λογική αιτιολόγηση και βασιζόμενος στη μέθοδο της σε άτοπο απαγωγής, ο Γαλιλαίος αποδεικνύει ότι πολλές από τις προτάσεις του Αριστοτέλη είναι αδύνατες (Holton & Brush 2002 σελ. 104[300]). Αναφερόμενοι σε συγκεκριμένο απόσπασμα, εξηγούμε ότι ο Γαλιλαίος αμφισβητεί τα πειραματικά δεδομένα που επικαλείται ο Αριστοτέλης, ότι τα βαριά σώματα πέφτουν πιο γρήγορα (Αριστοτέλης, *Φυσικά* Δ 215a[301]), και ισχυρίζεται ότι μια μπάλα κανονιού και ένα μικρό σκάγι θα έπεφταν *σχεδόν μαζί* από ένα ύψος σαν αυτό του πύργου της Πίζας (Γαλιλαίος 1638, στον Holton & Brush 2002 σελ.107-109[300]), ενώ υποθέτει ότι αν δεν υπήρχε αέρας, τα ίδια αντικείμενα θα έπεφταν *ακριβώς μαζί* (βλ. *διαφάνειες 12-18*). Καταλήγει στο συμπέρασμα αυτό προσεγγίζοντας το κενό ως ιδεατό σώμα, που μπορεί να προκύψει ως προέκταση ενός πραγματικού σώματος του οποίου η πυκνότητα τείνει σταδιακά στο μηδέν (Galilei 1638/1954, *1st day* [110]-[120][299]). Επισημαίνουμε ότι ο Γαλιλαίος έχει και έναν πολύ *πρακτικό λόγο* να βασίζει τη θεωρία του, για το «πώς πέφτουν τα πράγματα στη γη», σε νοητικά πειράματα, που ξεπερνούν το όριο της εμπειρίας,˙ και ο λόγος αυτός είναι ότι στην εποχή του δεν έχει ακόμη εφευρεθεί η…

Εδώ αφήνουμε το κοινό να μαντέψει το τέλος της φράσης, δηλαδή, τις λέξεις: *«αντλία κενού»*.

► Το πείραμα της ελεύθερης πτώσης:

Εξηγούμε ότι, ελάχιστα χρόνια μετά το θάνατο του Γαλιλαίου, η αντλία κενού εφευρίσκεται και η παραπάνω υπόθεση δοκιμάζεται στην πράξη. Ο Boyle, το 1669, περιγράφει την πτώση ενός φτερού μέσα σε αερόκενο σωλήνα, όχι πια ως νοητική προέκταση της εμπειρικής πραγματικότητας, αλλά ως αντικειμενικό γεγονός που τεκμηριώνεται μέσα από την προσεκτική παρατήρηση και τη λεπτομερειακή καταγραφή του (Boyle 1669 στον Conant 1957/1966 σελ. 46-48[282], Boyle 1725 ed. II

[clxxix] Η *διαφάνεια 5* εικονίζει όψεις των τεσσάρων «στοιχείων» του Αριστοτέλη, τα βότσαλα ως απεικόνιση της «γης», τη φωτιά ως απεικόνιση του «πυρός», το αφρισμένο κύμα, τα βράχια και τον ήλιο, ως απεικονίσεις του «νερού», του «αέρα» της «γης» και του «πυρός». Η *διαφάνεια 6* αποτελεί πολυσυζητημένη γκραβούρα από εκλαϊκευτικό επιστημονικό βιβλίο του 19ου αιώνα (Flammarion 1888 σελ.183[298]),που εικονίζει το διαχωρισμό μεταξύ της γήινης και της ουράνιας σφαίρας. Οι διαφάνειες 8-11 περιλαμβάνουν αποσπάσματα κειμένων του Αριστοτέλη.

σελ.508[302]). Ο Νεύτωνας στο βιβλίο του *Principia Mathematica*, που εκδίδεται τη δεκαετία του 1680, αναφέρει το φαινόμενο της ταυτόχρονης πτώσης στο κενό ενός κομματιού από συμπαγές χρυσάφι και ενός πούπουλου ως έγκυρο επιστημονικό δεδομένο, τεκμηριωμένο από τον Boyle (Newton 1729/1962, Proposition X, Theorem X σελ. 419, General Scholium σελ. 543[303]). Οι αναφορές του Νεύτωνα έδωσαν στον αντίστοιχο αερόκενο σωλήνα την ονομασία *σωλήνας του Νεύτωνα* και στο πείραμα τη διάσημη ονομασία *η γκινέα και το φτερό* από το αγγλικό νόμισμα που οι Άγγλοι κατασκευαστές επιστημονικών οργάνων χρησιμοποιούσαν για την επίδειξή του (Adams 1794 σελ. 138-139[304]).

Με φόντο το σ*ωλήνα του Νεύτωνα* που φιλοξενείται στο *Science Museum* του Λονδίνου – έργο του George Adams – και συσκευές *σωλήνων του Νεύτωνα* σε ιστορικές και σχολικές συλλογές (βλ. *διαφάνειες 19-24*), ερχόμαστε στον πάγκο της πειραματικής διάλεξης, για να πραγματοποιήσουμε το **πείραμα** *της ελεύθερης πτώσης* (βλ. *διαφάνειες 25-32*). Πριν την πραγματοποίηση του πειράματος, **το ακροατήριο καλείται να απαντήσει στην ερώτηση**:

- *Ο Γαλιλαίος λέει ότι στο κενό η πέτρα και το φτερό πέφτουν ταυτόχρονα. Εσείς τι νομίζετε, μέσα στον αερόκενο σωλήνα, που βλέπετε, το φτερό θα πέσει σαν πέτρα ή η πέτρα σαν φτερό;*

Η εκτέλεση του πειράματος και η παρατήρηση της ελεύθερης πτώσης επιδρά αντικρούοντας πολλές από τις απόψεις των μαθητών, που περιγράφτηκαν στην *ενότητα 7.3.3*, σύμφωνα με τις οποίες οι μαθητές συνδέουν την έλλειψη αέρα με την έλλειψη βαρύτητας, υποστηρίζοντας ότι *στο κενό τα σώματα δεν πέφτουν* ή ότι *πέφτουν σαν πούπουλο, δηλαδή, με πολύ μικρή ταχύτητα*.

► <u>Στην επιφάνεια του φεγγαριού…</u>

Μέσα από **εικόνες και βίντεο** μεταφερόμαστε, στο 1971, για να συνοδέψουμε το πλήρωμα του Απόλλων 15 και να παρατηρήσουμε τον αστροναύτη David Scott να πραγματοποιεί το πείραμα της πτώσης ενός σφυριού και ενός φτερού στην επιφάνεια του φεγγαριού, αναφερόμενος και αυτός στην επιστημονική πρόβλεψη του Γαλιλαίου (Apollo 15 1996/2008[305]) (βλ. *διαφάνειες 37-39 & Παράρτημα VII ενότητα 1.3, απόσπασμα 2)*.

Μετά την παρατήρηση του βιντεοσκοπημένου πειράματος, **οι μεγαλύτεροι μαθητές ρωτούνται**:

- *Τι παρατηρείτε; Εδώ, το σφυρί πέφτει σαν φτερό ή το φτερό σαν σφυρί; Γιατί;*

Ο προφανής στόχος της παραπάνω ερώτησης είναι να διευκρινιστεί, εάν οι μαθητές έχουν αρχίσει να διαχωρίζουν την έλλειψη αέρα από την έλλειψη βαρύτητας και, στην περίπτωση που αυτό έχει επιτευχθεί, να μην επανασυνδέσουν τις παραμέτρους αυτές με αφορμή το πείραμα της ελεύθερης πτώσης στο φεγγάρι.

► <u>Από το «πώς» στο «γιατί» πέφτουν τα πράγματα στη γη:</u>

Συνεχίζοντας την **αφήγηση**, εξηγούμε ότι ο Γαλιλαίος δήλωνε ότι δεν σκόπευε να ασχοληθεί με το «γιατί πέφτουν τα πράγματα στη γη», αλλά θα περιοριζόταν στο να εξηγήσει μόνο το «πώς» (Galilei

1638/1954, *3rd day,* [201]-[202][299]). Αφηγούμαστε ακόμη ότι, τη χρονιά που ο Γαλιλαίος πέθανε, γεννήθηκε ο Νεύτωνας, ο οποίος, όπως ο ίδιος σημειώνει, είδε το «γιατί» της πτώσης των σωμάτων στη γη στο πρόσωπο της *δύναμης της βαρύτητας*, την οποία συνέλαβε ως το κοινό αίτιο που προκαλεί την περιστροφή της σελήνης γύρω από τη γη και την πτώση του μήλου στην επιφάνειά της (Newton στον Holton & Brush 2002 σελ.144[300]) (βλ. *διαφάνεια 41*).

Κλείνοντας την ενότητα συχνά **υποβάλλουμε την ερώτηση**:

- *Τελικά, γιατί το φεγγάρι περιστρέφεται γύρω από τη γη ενώ το μήλο πέφτει σε αυτή;*

ή παροτρύνουμε τους καθηγητές να ασχοληθούν με αυτή, μετά την επίσκεψη στο μουσείο. Η σχετική συζήτηση αλληλεπιδρά με την ιδέα των μαθητών ότι το αλεξίπτωτο δεν θα έπεφτε, αν δεν υπήρχε αέρας, η οποία αποτελεί και αφορμή για την έναρξή της.

► Υποστηρικτικό υλικό:

Για την παρακολούθηση του περιεχομένου της υποενότητας χρησιμοποιήθηκαν οι πέντε πρώτες ερωτήσεις του ερωτηματολογίου συμπλήρωσης (βλ. Παράρτημα *IV, βιβλίο μαθητή, Συζήτηση 2η*). Σε αυτό, οι μαθητές κλήθηκαν να συμπληρώσουν τις λέξεις *ελαφρότητα, βάρος, αέρας, αντλία κενού, βαρύτητα κ.ά.* σε κατάλληλες φράσεις, που συνοψίζουν με εκλαϊκευμένο τρόπο τα βασικά σημεία των θεωρήσεων για την πτώση των σωμάτων του Αριστοτέλη, του Γαλιλαίου και του Νεύτωνα.

Παράλληλα, προτάθηκε η πραγματοποίηση δύο δραστηριοτήτων μετά την επίσκεψη στο μουσείο (βλ. Παράρτημα *IV, βιβλίο μαθητή, Συζήτηση 3η*). Στην *1η Δραστηριότητα* οι μαθητές καλούνταν να σχεδιάσουν παιχνίδι ρόλων με βάση αποσπάσματα των κειμένων του Αριστοτέλη και του Γαλιλαίου που παρατίθενται. Στην *4η Δραστηριότητα* καλούνταν να χρησιμοποιήσουν το διαδίκτυο προκειμένου να βρουν περισσότερα στοιχεία για τα πειράματα του πληρώματος του *Απόλλων 15* στην επιφάνεια του φεγγαριού.

Το υποστηρικτικό αυτό υλικό έχει σήμερα συμπληρωθεί με εκτενέστερα αποσπάσματα των πρωτότυπων κειμένων (βλ. *Παράρτημα VII, ενότητα 1)* και με δραστηριότητες που φωτίζουν το περιεχόμενο των επιμέρους θεμάτων που θίγονται κατά τη διάρκεια της παρουσίασης, αποτελώντας, ταυτόχρονα, επιστημολογικές σημειώσεις πάνω σ' αυτά (βλ. *ενότητα 8.1*).

7.4.2. 2η υποενότητα: Το κενό

Η υποενότητα εισάγεται **συλλέγοντας τις απαντήσεις** στο ερώτημα του εισαγωγικού παιχνιδιού:

- *Υπάρχει απολύτως κενός χώρος;*

Όπως περιγράφεται στην *ενότητα 7.3.2,* το ακροατήριο εμφανίζεται γενικά διχασμένο. Εκμεταλλευόμενοι το γεγονός αυτό, εισάγουμε την υποενότητα αναφέροντας ότι, όπως οι απόψεις του ακροατηρίου διχάζονται, έτσι διχάστηκαν και οι απόψεις των επιστημόνων πάνω στο θέμα, σε διάφορες εποχές.

► Αρχαίες διαμάχες:

Αναφέρουμε ότι η διαμάχη, πάνω στο τι είναι και αν υπάρχει το κενό, είναι αρχαία. Οι προσωκρατικοί φιλόσοφοι Λεύκιππος και Δημόκριτος, τον 5ο-4ο αι.π.Χ, υποστήριζαν ότι το κενό υπάρχει, αναφέροντας, χαρακτηριστικά, ότι ο κόσμος αποτελείται από το πλήρες και το κενό ή από τα άτομα και το κενό (Αριστοτέλης, *Μεταφυσικά* A 985b στον Kirk et al. 1998 απόσπασμα 555 σελ.414[306], Σέξτος, *Προς Μαθηματικούς* VII, 135 στον Kirk et al. 1998 απόσπασμα 549 σελ.411[306]). Στις απόψεις αυτές, όπως και σε άλλες απόψεις που παρόμοια υποστήριζαν την ύπαρξη του κενού, αναφέρεται ο Αριστοτέλης, ο οποίος χρησιμοποιεί εκτενή επιχειρηματολογία, για να τις αντιμετωπίσει (Αριστοτέλης *Φυσικά* Δ 213a-217b[301], Ross 1993 σελ.130-132[307]) (βλ. και *ενότητα 8.2.1.*).

► «Η φύση αποστρέφεται το κενό»:

Η άποψη του Αριστοτέλη καταφέρνει να κυριαρχήσει στο επιστημονικό σύμπαν για πολλούς αιώνες, μορφοποιώντας, έτσι, ένα από τα διασημότερα μεσαιωνικά δόγματα που περιγράφεται με την έκφραση «η φύση αποστρέφεται το κενό»[clxxx] (nature abhors vacuum) (Grant 1981 σελ.67[308], Grant 1994[309]). Το δόγμα είχε μεταφυσικές προεκτάσεις αλλά και μεγάλη εξηγητική δύναμη. Ανάμεσα στα φαινόμενα που ερμήνευε ήταν, για παράδειγμα, τα θέματα της καθημερινής ζωής, πώς μπορούμε και ρουφάμε με το καλαμάκι ή πώς κολλάνε οι βεντούζες, καθώς και τα τεχνικά ζητήματα του πώς λειτουργούν οι αντλίες και τα φυσερά (Shea 2003 σελ.24[310], Schmitt 1967[311], Grant 1981 σελ.77-100[308]).

► Ένα εύλογο ερώτημα…:

Και τα χρόνια περνούν… μέχρι που, τον 17ο αιώνα, συμβαίνει κάτι παράξενο… Ένας αριστοκράτης από τη Γένοβα με το όνομα Giovanni Battista Baliani γράφει, το 1630, ένα γράμμα στον Γαλιλαίο και τον ρωτά γιατί το σιφώνιο που έχει κατασκευάσει, για να ανεβάσει το νερό σε ύψος 21 m, δεν λειτουργεί, παρόλο που έχει χρησιμοποιήσει πολύ καλή αντλία νερού (Baliani 27-7-1630[312]). Ο Γαλιλαίος, στην απάντησή του, γράφει ότι αν γνώριζε νωρίτερα για την κατασκευή, θα τους είχε ειδοποιήσει ότι, όσο τέλεια αναρροφητική αντλία κι αν χρησιμοποιούσαν, δεν θα κατάφερναν να ανεβάσουν το νερό σε ύψος μεγαλύτερο από 20 braccia, που αντιστοιχούν σε περίπου 11m (Galilei 6-8-1630[313]). Και εξηγεί ότι, όταν η στήλη του νερού είναι μεγαλύτερη, το βάρος της υπερνικά την αντίσταση της φύσης στο κενό και η στήλη καταρρέει. Λίγα χρόνια αργότερα, ο Γαλιλαίος επανέρχεται στο θέμα της συζήτησης στο βιβλίο του *Δύο Νέες Επιστήμες* (Galilei 1638/1954 *1st day* [59]-[67][299]). Εκεί, ο Σαγκρέντο εκφράζει την ικανοποίησή του για το ότι, επιτέλους, τον είχε οδηγήσει να λύσει τη μακροχρόνια απορία του γιατί οι αναρροφητικές αντλίες

[clxxx] Το δόγμα διαμορφώνεται μέσα στα μεσαιωνικά πανεπιστήμια, όπου το ερώτημα, αν υπάρχει το κενό είναι ανάμεσα στα κεντρικά ερωτήματα που εξετάζονται, ενώ η μελέτη των έργων του Αριστοτέλη γίνεται εκεί με επιμέλεια (Grant 1994 σελ.32-35[309]).

κενού δεν μπορούν να ανεβάσουν το νερό πάνω από τα 18 braccia[clxxxi]. Σύμφωνα με την εξήγηση που δίνει ο Γαλιλαίος, μέσα από τα λόγια του Σαλβιάτι, όταν, με τη βοήθεια της αντλίας, ο αέρας αφαιρείται, το νερό τον ακολουθεί και ανυψώνεται, προκειμένου να μη δημιουργηθεί κενός χώρος. Αλλά η αντίσταση της φύσης στο κενό (resistance of vacuum) δεν είναι απεριόριστη. Για τον Γαλιλαίο, το μέτρο της για ορισμένη επιφάνεια συμπίπτει με το βάρος στήλης νερού ύψους, όσου το όριο ανύψωσης των 18 πήχεων και διατομής ίσης με την επιφάνεια αυτή. Υπό την επίδραση βάρους μεγαλύτερου από το μέτρο αυτό, η αντίσταση στη δημιουργία κενού υπερνικείται και η στήλη του νερού «κόβεται», όπως θα κοβόταν μια ράβδος από στερεό υλικό, αν ασκείτο σε αυτή δύναμη εφελκυσμού μεγαλύτερη από το όριο της αντοχής της ή όπως η ίδια ράβδος θα κοβόταν, αν ήταν επαρκώς μεγάλη, εξ αιτίας του ίδιου της του βάρους[clxxxii] (Shea 2003 σελ.17-24[310], Middleton 1963[314], Drake 1978/1995 σελ.312-313[315]).

Η αφήγηση της ιστορίας, που προηγήθηκε, γίνεται με φόντο τις *διαφάνειες 45-48* του εκπαιδευτικού λογισμικού, όπου εικονίζεται το πείραμα του Gaspar Berti (Schott 1664 σελ.273[60]), που πραγματοποιείται στη Ρώμη λίγα χρόνια μετά την έκδοση του βιβλίου του Γαλιλαίου, εμπνευσμένο από το διάλογο που προαναφέρθηκε. Με το πείραμα αυτό, ο ευγενής και πολυμήχανος αυτός κάτοικος της Ρώμης, προσαρμόζοντας ένα σωλήνα 30 περίπου μέτρων στην πρόσοψη ενός αρχοντικού, προσπαθεί να διαπιστώσει, αν όντως το νερό δεν μπορεί να σχηματίσει στήλη ψηλότερη από 18 πήχεις. Το πείραμα, εκτός από το να επιβεβαιωθεί η παρατήρηση του Γαλιλαίου, έχει ως στόχο να διαπιστωθεί, εάν το επάνω μέρος του σωλήνα παραμένει κενό μετά την κάθοδο του νερού. Ωστόσο, ενώ, όπως περιγράφεται στην *ενότητα 8.2.3*, το πείραμα έδειξε με σαφήνεια ότι το νερό δεν μπορεί να σχηματίσει στήλη ψηλότερη από 10 περίπου μέτρα, οι αυτόπτες μάρτυρες δεν καταφέρνουν να συμφωνήσουν για το αν είχε επιτευχθεί η δημιουργία κενού (Maignan 1653 στον Middleton 1963[314], Middleton 1964 σελ. 10-18[316], Shea 2003 σελ.24-29[310]) (βλ.*ενότητα 8.2.3*).

► <u>Η φύση δεν αποστρέφεται το κενό…Ο αέρας έχει βάρος:</u>

Όταν ο Torricelli πληροφορείται το πείραμα του Berti, έχει την ιδέα να το επαναλάβει,

---

[clxxxi] Σύμφωνα με τον Shea (Shea 2003 σελ.18[310]) 1 φλωρεντινό braccio (= φλωρεντινός πήχυς) είναι 0,584 m, με αποτέλεσμα 18 πήχεις να είναι περίπου 10,5 m. Σύμφωνα με τον Middleton (Middleton 1963[314]) η ίδια μονάδα μήκους ισοδυναμεί με περίπου 0,54 m. Γενικά οι ερευνητές δίνουν στο φλωρεντινό braccio ένα εύρος τιμών σχετικών με τις παραπάνω. Στο δικό μας κείμενο έχουμε χρησιμοποιήσει την εκτίμηση του Shea, με το κριτήριο ότι αποτελεί περισσότερο πρόσφατη βιβλιογραφική αναφορά και αναφέρεται στις προηγούμενες και συγκεκριμένα στον Middleton (Middleton 1963[314]).

[clxxxii] Ο Γαλιλαίος επινοεί μια πειραματική διάταξη, για να υπολογίσει το μέρος της αντοχής των στερεών στον εφελκυσμό. Θεωρεί ότι η αντοχή αυτή οφείλεται ακριβώς στην «αντίσταση του κενού» και εκτιμά ότι η αντίσταση στη δημιουργία *κενού χώρου*, ή, αλλιώς, *κενού που βρίσκεται έξω από τα σώματα*, ισοδυναμεί με τη δύναμη η οποία απαιτείται, για να αντληθεί όμοια σε πάχος στήλη νερού. Επειδή, κατά τον Γαλιλαίο, το νερό είναι υλικό που διαχωρίζεται χωρίς να προβάλλει αντίσταση σε ένα σώμα που κινείται μέσα του, ο λόγος για τον οποίο μια στήλη νερού μπορεί να αντλείται οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στην αντίσταση της φύσης στη δημιουργία *κενού χώρου*. Αντίθετα, για τον Γαλιλαίο, στα στερεά, υπάρχουν και άλλου είδους αίτια συνάφειας, τα οποία γίνονται αντιληπτά από την αντίσταση που προβάλλουν τα στερεά αυτά στο διαχωρισμό. Έτσι, ενώ θεωρεί ότι η δύναμη που χρειάζεται για την άντληση του νερού αποτελεί μέτρο της συνεισφοράς της αντίστασης της φύσης στη δημιουργία *μακροσκοπικού κενού*, αποδίδει τη συνεκτικότητα των στερεών στην αντίσταση της φύσης στη δημιουργία *μικροσκοπικών κενών* μέσα στην ύλη τους (Galilei 1638/1954 1st day [61]-[67][299]) (βλ. *ενότητα 8.2.2* και *ενότητα 2.3 Παραρτήματος VII)*.

χρησιμοποιώντας υδράργυρο στη θέση του νερού. Επινοώντας πολύ ενδιαφέροντα και εντυπωσιακά πειράματα, αποδεικνύει ότι το επάνω μέρος του σωλήνα παραμένει κενό. Ο Torricelli διαπιστώνει ότι το ύψος της στήλης του υδραργύρου δεν εξαρτάται από το σχήμα και το μέγεθος του δοχείου και είναι τόσες φορές μικρότερο σχετικά με το ύψος της στήλης του νερού, όσες το ειδικό βάρος του υδραργύρου είναι μεγαλύτερο του νερού. Εξηγώντας το πείραμά του, αναφέρει ότι με αυτό αποδεικνύεται ότι η φύση δεν αποστρέφεται το κενό, γιατί το κενό μπορεί να δημιουργηθεί εύκολα και με φυσικό τρόπο. Ακόμα ισχυρίζεται ότι το αίτιο της ισορροπίας της στήλης του υδραργύρου στα 76 cm δεν βρίσκεται μέσα στη στήλη, δηλαδή στη δύναμη του κενού (power of void/force of vacuum) αλλά έξω από αυτήν, στο βάρος του αέρα. Έτσι, κατά τον Torricelli, η στήλη νερού ή υδραργύρου στέκεται σε ύψος τέτοιο, ώστε να ισορροπεί με στήλη αέρα ύψους ίσου με το ύψος της ατμόσφαιρας (Torricelli 1644 στον Middleton 1964 σελ.23-24[317]).

Με τη βοήθεια *των διαφανειών 49-23* και την **πειραματική συσκευή του Torricelli**, στην οποία τοποθετούμε νερό αντί για υδράργυρο, παρουσιάζουμε την επιστημονική παρέμβαση του Torricelli, δίνοντας έμφαση στο γεγονός ότι μετά το πείραμά του η δημιουργία του κενού θεωρήθηκε φυσική, οδηγώντας την επιστημονική επινοητικότητα στην εφεύρεση μηχανών με τις οποίες θα μπορούσε να το παράγει. Πράγματι, αναφέρουμε, για να συνδέσουμε την επόμενη ενότητα, λίγο μετά την πραγματοποίηση του πειράματος του Torricelli, γεννήθηκαν οι πρώτες αντλίες κενού.

► <u>Οι αντλίες κενού:</u>

Παρουσιάζοντας τα διαφορετικά μοντέλα των αντλιών κενού που υπάρχουν στο μουσείο (*βλ. διαφάνειες* 66-67), με παλαιότερη την εμβολοφόρο αντλία κενού Γαλλικής κατασκευής των μέσων του 19^{ου} αιώνα (*διαφάνεια 67*), **αναζητάμε το παρελθόν των αντλιών κενού σε άλλα μουσεία και εικονικά αρχεία**. Παρουσιάζουμε την πρώτη στην ιστορία αντλία κενού, που κατασκευάστηκε από τον von Guericke, από φωτογραφίες της συσκευής στο Deutsches Museum και από σχέδια του Gaspar Schott (Guericke 1672 σελ.1,74,76,94[318]), από τα οποία φαίνεται ότι η λειτουργία της βασίστηκε στην ιδέα της δημιουργίας κενού με άντληση του νερού που γέμιζε το χώρο, αρχικά, ενός βαρελιού, και μετά, ενός δοχείου (*βλ.διαφάνειες* 54-60). Επίσης, στο εκπαιδευτικό λογισμικό έχουμε συγκεντρώσει σχέδια με κατασκευαστικές λεπτομέρειες που αφορούν στη δεύτερη στην ιστορία αντλία κενού, του Boyle (Boyle 1725 ed. II σελ.407-409[302], Conant 1957/1966 σελ.14-17[282]) (*βλ.διαφάνειες 62-65*), για να χρησιμοποιηθούν, κατά περίπτωση, κατά τη διαπραγμάτευση των ενοτήτων που ακολουθούν (βλ. ενότητες *7.4.5, 7.4.6, 7.4.8).*

► <u>Νεώτερες διαμάχες για το κενό …:</u>

Επανερχόμενοι μετά την ολοκλήρωση της παρουσίασης της πειραματικής διάλεξης στην εξέταση του εισαγωγικού στο κεφάλαιο ερωτήματος, επισημαίνουμε (ή καθοδηγούμε τους συνοδούς καθηγητές να επισημάνουν σε μετέπειτα σχετικές δράσεις στην τάξη) ότι η συζήτησή μας εντοπίστηκε στον 17^{ο} αιώνα, κατά τον οποίο το ερώτημα του κενού επικεντρώθηκε στη δυνατότητα ύπαρξης κενού

από αέρα χώρου. Ωστόσο, εξηγούμε, ότι αυτό αποτελεί μερικό ζήτημα στο γενικότερο ερώτημα *αν υπάρχει το απόλυτο κενό*. Στους πιο προχωρημένους μαθητές αναφέρουμε ότι η επιστήμη συνέχισε να δίνει αντιφατικές απαντήσεις στο ερώτημα, όπως έδωσαν και αυτοί. Έτσι, αναφέρουμε ως παράδειγμα, ότι ο Νεύτωνας φαντάζεται το διάστημα ως ένα χώρο απόλυτα κενό, κάτι σαν σκηνή μέσα στην οποία τα σώματα υπάρχουν. Κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, όταν η ιστορία φέρνει το θέμα ξανά στο προσκήνιο, ο Einstein αντικαθιστά την έννοια του «απόλυτου κενού χώρου» με την έννοια του «πεδίου», αναφέροντας, χαρακτηριστικά, ότι απόλυτα «κενός» χώρος δεν υπάρχει (Einstein 1953 στον Jammer 1993/2001[319], Newton 1729/1962, Book III, General Scholium σελ.543, Book I, Definitions, Scholium σελ. 6-12[303]).

► Υποστηρικτικό υλικό:

Για την παρακολούθηση της υποενότητας χρησιμοποιήθηκαν οι *ερωτήσεις 6* και *20, 22 (βλ. Παράρτημα IV, βιβλίο μαθητή, Συζήτηση 2^{η})*.

Η διδασκαλία της ενότητας του κενού προσφέρεται για τη μελέτη θεμάτων ιστορίας και φύσης της επιστήμης. Για την εμβάθυνση στα θέματα, που η σύντομη παρουσίαση έθιξε, έχει παραχθεί στο *Παράρτημα VII, ενότητα 2* συλλογή ιστορικών επιστημονικών κειμένων[clxxxiii]. Παράλληλα, στην *ενότητα 8.2*, που ακολουθεί, προτείνεται σειρά δραστηριοτήτων για την αξιοποίηση των κειμένων αυτών. Η εμβάθυνση στα ιστορικά κείμενα θα μπορούσε να δώσει την ευκαιρία να αποκαλυφθεί, σε μεγαλύτερη ανάλυση, κατά πόσο επιμέρους ιδέες των μαθητών, όπως η ιδέα ότι *το κενό υπάρχει στον ουρανό και όχι στη γη* ή ότι *το κενό μπορεί να δημιουργηθεί μόνο τεχνητά*, μπορούν να συσχετιστούν με απόψεις που εκφράζονται στο πλαίσιο της ιστορίας της επιστήμης.

Στην *ενότητα 8.2* δίνεται, επίσης, μια σειρά από βοηθητικά σχόλια που ενισχύουν θεωρητικά τη διδασκαλία της υποενότητας και αναλύουν τα ιστορικά κείμενα στα οποία γίνεται αναφορά.

7.4.3. 3^{η} υποενότητα: Πόσο μας πιέζει;

► Το πείραμα του Μαγδεμβούργου:

Η υποενότητα εισάγεται με το σχόλιο ότι, αμέσως μετά την εφεύρεση της πρώτης αντλίας κενού από τον von Guericke, αυτή χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση ενός διάσημου, τόσο στην εποχή του όσο και σήμερα, πειράματος, του πειράματος του Μαγδεμβούργου. Χρησιμοποιώντας σχέδιο του

[clxxxiii] Η *πρώτη* σειρά αποσπασμάτων αφορά κείμενα που αναφέρονται σε αρχαίες απόψεις πάνω στο κενό, και συγκεκριμένα σε απόψεις προσωκρατικών φιλοσόφων και σε απόψεις Αριστοτέλη. Στις περιλήψεις που παρατίθενται συνοψίζεται ο τρόπος με τον οποίο ο Αριστοτέλης επιχειρηματολογεί, αντιμετωπίζοντας τις θέσεις των προκατόχων του. Η *δεύτερη* σειρά αποσπασμάτων περιλαμβάνει τα διάσημα πειράματα του φυσερού ή της κύστης, το πείραμα της κλεψύδρας ή της κρήνης του Ήρωνα, τα οποία, ενώ πριν τον 16^{ο} αιώνα αποτελούν τεκμήρια της Αριστοτελικής άποψης, οι στοχαστές του 16ου αιώνα τα ερμηνεύουν με αντιφατικούς τρόπους. Η *τρίτη* σειρά αποσπασμάτων είναι από το βιβλίο του Γαλιλαίου *Two New Sciences*. Σε αυτά, ο Γαλιλαίος ξετυλίγει την άποψή του ότι η αντίσταση της φύσης στη δημιουργία κενού είναι πεπερασμένη και μετρήσιμη. Συσχετίζοντάς την με το όριο άντλησης του νερού και τη συνεκτικότητα των σωμάτων επινοεί τρόπους για να τη μετρήσει. Η *τέταρτη* σειρά αποσπασμάτων περιλαμβάνει τις απόπειρες ανίχνευσης της δυνατότητας παραγωγής κενού από τον Gaspar Berti και τον Torricelli. Το επόμενο απόσπασμα, που ανήκει στον Robert Boyle, αναφέρεται στην ιστορία της ανακάλυψης των πρώτων στην ιστορία αντλιών κενού. Τέλος, η έκτη σειρά αποσπασμάτων συντίθεται από κείμενα του Νεύτωνα και του Einstein που αναφέρονται στην ύπαρξη κενού χώρου.

Schott που δείχνει την παρουσίαση της συγκεκριμένης αντλίας (Guericke 1672 σχέδιο εξωφύλλου[318]), εξηγούμε ότι την εποχή εκείνη δεν υπήρχαν φωτογραφίες και τέτοιου είδους εικόνες ενημέρωναν την επιστημονική κοινότητα για την πραγματοποίηση σημαντικών επιστημονικών συμβάντων και πειραμάτων (βλ.*διαφάνειες 70-73*). Μέσα από τα σκίτσα ενός σύγχρονου βιβλίου εκλαΐκευσης της ιστορίας της επιστήμης (Ghigliano & Novelli 1992 σελ.33[320]), οι μαθητές μεταφέρονται στο χώρο όπου ο κόσμος του Μαγδεμβούργου έχει προσέλθει, προσκεκλημένος από τον επιστήμονα, μηχανικό και δήμαρχο της πόλης von Guericke, για να «δει» τα μυστήρια του κενού. Παρατηρούν τον von Guericke να εξηγεί τη λειτουργία της συσκευής του και παρακολουθούν εικονικά το επιστημονικό συμβάν στο οποίο τρία ζευγάρια άλογα προσπαθούν να διαχωρίσουν ημισφαίρια διαμέτρου μισού περίπου μέτρου, από τα οποία έχει αφαιρεθεί ο αέρας (βλ. *διαφάνειες 74-78*). Από τη σύγχρονη εκλαϊκευμένη απεικόνιση περνάμε ξανά στα σχέδια του Schott (Schott 1664 σελ.39[60], Guericke 1672 σελ.105[318]), όπου οκτώ ζευγάρια άλογα χρησιμοποιούνται, για να διαχωρίσουν τα αυθεντικά ημισφαίρια του Μαγδεμβούργου (βλ *διαφάνειες 79,80*), και από εκεί στον πάγκο του αμφιθεάτρου, για να παρακολουθήσουμε **παραλλαγή του πειράματος με τη συμμετοχή των μαθητών** (βλ. *διαφάνειες 81-84*). Η εκτέλεση του πειράματος πλαισιώνεται με την προβολή σχεδίου από σχολικό εγχειρίδιο, του 19^{ου} αιώνα, που εικονίζει μαθητές να εκτελούν το ίδιο πείραμα, 150 χρόνια πριν (βλ *διαφάνεια 85*).

► <u>Υποστηρικτικό υλικό:</u>

Κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης, οι μαθητές καλούνται να **συμπληρώσουν τις ερωτήσεις** 6 και 7 (βλ. *Παράρτημα IV, βιβλίο μαθητή, Συζήτηση 2^{η}*), από τις οποίες η πρώτη αναφέρεται στο πείραμα ως ιστορικό γεγονός, ενώ η δεύτερη επικεντρώνεται στη σχέση ανάμεσα στο μέγεθος των ημισφαιρίων και τη δύναμη η οποία χρειάζεται, για να τα διαχωρίσει. Επίσης, με βάση την τεχνική σημείωση του Schott στο επάνω μέρος της ιστορικής γκραβούρας και κατάλληλα από εμάς σχόλια, οι μαθητές οδηγούνται να φανταστούν την ατμοσφαιρική πίεση ως αιτία του φαινομένου και να διατυπώσουν τη σχέση με την οποία το φαινόμενο περιγράφεται από τα σημερινά βιβλία φυσικής: *δύναμη που πρέπει να βάλουν τα άλογα = ατμοσφαιρική πίεση* x *εμβαδόν διατομής σφαίρας*.

Για την εμπέδωση των παραπάνω σχέσεων και του τρόπου με τον οποίο το πείραμα του Μαγδεμβούργου οδήγησε ιστορικά στην εκτίμηση της ατμοσφαιρικής πίεσης, προτάθηκαν δύο υπολογιστικές ασκήσεις (βλ. *βιβλίο μαθητή, Συζήτηση 3^{η}, 2^{ο} και 3^{ο} θέμα*), ως υλικό για την επεξεργασία της υποενότητας μετά την επίσκεψη στο μουσείο. Στην πρώτη από αυτές ζητάμε από τους μαθητές **να υπολογίσουν**, με βάση τις σημερινές μας γνώσεις για την ατμοσφαιρική πίεση, **πόση δύναμη πρέπει να βάλουν τα άλογα**, για να διαχωρίσουν **ημισφαίρια διαμέτρου ενός μέτρου**, με την προϋπόθεση ότι αυτά έχουν εκκενωθεί πλήρως. Ζητάμε, επίσης, να υπολογίσουν **τη δύναμη που πρέπει να βάλουν οι ίδιοι**, για να διαχωρίσουν τα **ημισφαίρια διαμέτρου δεκαπέντε εκατοστών** περίπου, του σχολικού εργαστηρίου, εάν αυτά εκκενώνονταν πλήρως.

Στην *ενότητα 8.3.1* δίνονται περαιτέρω σχόλια και σημειώσεις για την οργάνωση δραστηριοτήτων

πάνω στη συγκεκριμένη υποενότητα.

7.4.4. 4η υποενότητα: Ένα τεράστιο μπαλόνι

Εισάγουμε την υποενότητα με το **ερώτημα**:

- *Τι θα συνέβαινε σε ένα «μαγικό» μπαλόνι με άπειρη ελαστικότητα, αν αυτό μεταφερόταν στο φεγγάρι;*

Αφήνοντας το ακροατήριο να σκέφτεται, του απευθύνουμε μια δεύτερη ερώτηση:

- *Μπορούμε να φουσκώσουμε ένα μπαλόνι χωρίς να φυσήξουμε αέρα μέσα σ' αυτό;*

Δίνουμε την απάντηση στο δεύτερο από τα ερωτήματά μας μέσα από την **πραγματοποίηση πειράματος**, κατά το οποίο ένα μπαλόνι κλειστό, με ελάχιστο αέρα στο εσωτερικό του, φουσκώνει, όταν τοποθετείται μέσα στον κώδωνα της αντλίας κενού και η αντλία τίθεται σε λειτουργία (βλ.*διαφάνειες 174-175*). Ταυτόχρονα, προβάλλουμε την εικόνα του Faraday που φαίνεται να απευθύνει στο κοινό της *Royal Institution* το ίδιο ερώτημα, καθώς παρουσιάζει το ίδιο πείραμα, τα Χριστούγεννα του 1860 *(βλ διαφάνειες 170-173 & 176*).

Μεταφερόμαστε, στη συνέχεια, δύο αιώνες νωρίτερα, στην *Accademia del Cimento* του 1657 (IMSS 2001-2002a σελ.47-48[277]), για να παρακολουθήσουμε την πρώτη εκδοχή του ίδιου πειράματος μέσα από ιστορικά σχέδια (Accademia del Cimento 1667 σελ.326[281]) (βλ. *διαφάνειες 167-169*). Εξηγούμε, ότι το πείραμα – που αποτελούσε απόδειξη της δημιουργίας κενού στο πάνω μέρος του σωλήνα του Torricelli – ονομάστηκε «μαγικό φούσκωμα μπαλονιού», αποδείχθηκε ιδιαίτερα δημοφιλές και διαδόθηκε άμεσα. Ο Boyle, κατά τη δεκαετία του 1660, το παρουσιάζει στη νεοσύστατη *Royal Society* και προσπαθεί να το χρησιμοποιήσει, για να διακρίνει χαρακτηριστικά της φύσης του αέρα (Boyle 1725 ed. II σελ.410-413[302])[clxxxiv].

Απευθύνοντας στη συνέχεια στους συμμετέχοντες ξανά την εισαγωγική ερώτηση, τους καθοδηγούμε να εξηγήσουν το φαινόμενο, χρησιμοποιώντας την έννοια της σχετικής πίεσης (βλ. *ερώτηση 8, βιβλίο μαθητή, Συζήτηση 2η),* όπως προτείνει ο Faraday (Faraday 1861/1993 σελ.114-115[321]) (βλ. *διαφάνειες 177-180*).

Παραλλάσσοντας το εισαγωγικό ερώτημα (βλ. *ερώτηση 9, βιβλίο μαθητή, Συζήτηση 2η*), καθοδηγούμε τους μαθητές να φανταστούν τα πνευμόνια της κυρίας της φωτογραφίας στην αρχική και τελική διαφάνεια παρουσίασης της ενότητας, ως κύστεις περισσότερο ή λιγότερο γεμάτες από αέρα, οι οποίες – μη διαθέτοντας άπειρη ελαστικότητα – θα διαρρηγνύονταν, αν η κυρία της φωτογραφίας μεταφερόταν χωρίς στολή στο φεγγάρι (βλ. *διαφάνειες 166 & 181*).

Στην *ενότητα 8.3.2* δίνονται μια σειρά από ιστορικές σημειώσεις πάνω στο περιεχόμενο της ενότητας, οι οποίες βοηθούν στη διατύπωση επιστημολογικών σχολίων και στο σχεδιασμό περαιτέρω δραστηριοτήτων.

[clxxxiv] Για το πείραμα και την υπόθεση του Boyle πάνω στην ελαστικότητα του αέρα, γίνεται αναφορά σε επόμενη ενότητα *(βλ.ενότητα 8.3.2*), στην οποία προτείνονται θέματα για την περαιτέρω συζήτηση του θέματος και το σχεδιασμό δραστηριοτήτων.

7.4.5. 5η υποενότητα: Σιωπηλές καμπάνες…

Η ενότητα εισάγεται **συλλέγοντας τις απαντήσεις** στην ερώτηση του εισαγωγικού παιχνιδιού:

- Αν δεν υπήρχε αέρας στη γη, θα υπήρχαν ήχοι;

Όπως περιγράφτηκε αναλυτικά στην *ενότητα 7.3.9*, παρόλο που η πλειονότητα του ακροατηρίου συνήθως ισχυρίζεται ότι *δεν υπάρχουν ήχοι χωρίς αέρα*, σημαντικό ποσοστό αυτών απαντούν ότι *θα υπήρχαν κάποιοι ήχοι*, ακόμα κι αν *αυτοί δεν ακούγονταν* ή *ήταν διαφορετικοί από τους συνηθισμένους* ή *παράγονταν με ειδικό τρόπο*.

Αντί για απάντηση πραγματοποιούμε πείραμα, συνδέοντας στην αντλία κενού γυάλινη φιάλη που φέρει κρεμασμένο καμπανάκι στο εσωτερικό της. Εκκενώνοντας τη φιάλη **ρωτάμε *αν ο ήχος της μικρής καμπάνας ακούγεται***. Συνήθως, ένα ποσοστό των μαθητών δίνει θετική απάντηση στο ερώτημα. Τότε, **ρωτάμε *αν ο ήχος ακούγεται το ίδιο δυνατά, όπως και προηγουμένως***. Χρησιμοποιώντας την αρνητική απάντηση που δίνει τότε το ακροατήριο, εισάγουμε στο αντίστοιχο ιστορικό **πείραμα του Boyle**, και συγκεκριμένα μια από τις φάσεις του, και εντοπίζουμε το ενδιαφέρον μας στη μεθοδολογία του.

Όπως φαίνεται στο απόσπασμα από το βιβλίο του 1669, *A Continuation of New Experiments Physico-Mechanical Touching the Spring and Weight of the Air, and their Effects*, το οποίο έχει μεταφραστεί και παρατίθεται στο *Παράρτημα VII* (βλ. *ενότητα 3.2*), ο Boyle, μη μπορώντας σε αυτή τη φάση του πειράματος να απαντήσει με βεβαιότητα, αν ο ήχος ακούγεται, ή όχι, όταν εκκενωθεί ο κώδωνας, αποφασίζει να μελετήσει κάτι για το οποίο το πείραμα μπορεί να δώσει σαφή απάντηση, και αυτό είναι το κατά πόσον η ποσότητα του εισερχόμενου στον κώδωνα αέρα επηρεάζει την ένταση του παραγόμενου ήχου (Boyle 1669 στον Conant 1957/1966 σελ.34-36[282]). **Ακολουθώντας την πειραματική συνταγή του Boyle**, αφήνουμε τον αέρα να εισέλθει κατά διαστήματα στη γυάλινη φιάλη και ακούμε τον ήχο που παράγει το χτύπημα της μικρής καμπάνας. Το ακροατήριο διαπιστώνει ότι η εισροή μεγαλύτερης ποσότητας αέρα στη φιάλη έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή δυνατότερου ήχου.

Το πείραμα που επιλέξαμε να εκτελέσουμε δεν δίνει ξεκάθαρη απάντηση στο ερώτημα που είχαμε αρχικά θέσει στο ακροατήριο. Γι' αυτό φταίει το γεγονός ότι τα διαθέσιμα όργανα δεν επιτρέπουν την παραγωγή πλήρους κενού στο εσωτερικό της φιάλης. Χρησιμοποιούμε τον περιορισμό αυτό, ο οποίος υπήρχε και στα ιστορικά πειράματα που έχουμε ως αναφορά, για να σχολιάσουμε τη μεθοδολογία του Boyle, και συγκεκριμένα τον τρόπο που είχε επιλέξει, για να καθιστά έγκυρα τα πειραματικά του αποτελέσματα, ο οποίος ήταν να αναφέρει με λεπτομέρεια όλες τις πειραματικές φάσεις, επιτυχείς και ανεπιτυχείς και να παραθέτει όλες τις γνώμες των μαρτύρων. Στην προσπάθειά μας να ζωντανέψουμε τη μεθοδολογία αυτή, τη μιμούμαστε, **χρησιμοποιώντας τα μέλη του δικού μας ακροατηρίου ως μάρτυρες στην πειραματική μας δοκιμή** και ζητώντας τους να γνωμοδοτούν με συνέπεια πάνω στο *αν, πώς και πόσο ακούγεται ο ήχος* στην εκκενωμένη φιάλη.

Κλείνοντας την ενότητα, επιλέγουμε, άλλοτε να πληροφορούμε το κοινό για το γεγονός ότι ο

Boyle, βελτιώνοντας και μετατρέποντας συνεχώς την πειραματική του συσκευή, κατάφερε να φθάσει στο πειραματικό αποτέλεσμα σύμφωνα με το οποίο ο ήχος που παραγόταν από ένα ξυπνητήρι που επιβεβαιωμένα χτυπούσε μέσα στο γυάλινο κώδωνα δεν ήταν ακουστός από κανέναν από τους παρευρισκόμενους μάρτυρες, και άλλοτε να αφήνουμε το αρχικό ερώτημα επίτηδες εκκρεμές για περαιτέρω συζήτηση μέσα στη σχολική τάξη.

Η διδακτική ενότητα, που περιγράφτηκε, υποστηρίζεται από τις *διαφάνειες 86-95* του εκπαιδευτικού λογισμικού, ανάμεσα στις οποίες υπάρχουν βιντεοσκοπημένα τα πειράματα στα οποία αναφερθήκαμε, καθώς και αποσπάσματα και σχέδια από το αντίστοιχο πείραμα του Boyle. Για την πληρέστερη μελέτη του θέματος, στην *ενότητα 3.2* του Παραρτήματος *VII* έχει μεταφραστεί ολόκληρη η πρώτη φάση του ίδιου πειράματος (βλ.*απόσπασμα 1*). Στην *ενότητα 8.3.3* δίνονται ορισμένα επιπλέον στοιχεία που αφορούν στην ιστορική παρουσίαση του θέματος, τα οποία, σε συνδυασμό με τη συζήτηση που προηγήθηκε, μπορούν να εμπνεύσουν το σχεδιασμό περαιτέρω δραστηριοτήτων πάνω στην υποενότητα αυτή.

7.4.6. 6η υποενότητα: Κερί δίχως φλόγα…

Εισάγουμε την ενότητα συλλέγοντας τις απαντήσεις στο εισαγωγικό ερώτημα, *εάν χωρίς αέρα θα υπήρχε φλόγα*. Σχολιάζοντας την απάντηση της πλειονότητας των μαθητών, ότι *χωρίς αέρα δεν θα υπήρχε φλόγα, γιατί η φλόγα χρειάζεται οξυγόνο*, παρουσιάζουμε το πείραμα καύσης ενός κεριού μέσα στον κώδωνα της αντλίας (βλ. *διαφάνειες 107,108*). Αφού παρατηρήσουμε ότι, μόλις η αντλία τίθεται σε λειτουργία, το κερί σβήνει, μεταφέρουμε με τη βοήθεια των *διαφανειών 99-106* του εκπαιδευτικού λογισμικού το ακροατήριο στον 17ο αιώνα, οπότε ο Boyle φαίνεται να σχολιάζει ανάλογα πειράματα, τα οποία, τότε, αποτελούσαν το κέντρο του επιστημονικού ενδιαφέροντος. Εξηγούμε ότι αυτό που με μεγάλη ευκολία έδωσε ως απάντηση το ακροατήριο, *ότι ο αέρας χρειάζεται οξυγόνο*, δεν ήταν γνωστό την εποχή εκείνη, οπότε θεωρούσαν ότι ο αέρας είναι στοιχείο[clxxxv]. Επίσης, την ίδια εποχή συνέδεαν την ευφλεκτότητα με τη *φύση του θείου*[clxxxvi] (Westfall 2006 σελ.91-97[322]).

Εξηγούμε ότι, επεμβαίνοντας σ' αυτό το θεωρητικό πλαίσιο με τα πειράματά του, ο Boyle εξετάζει, αν η φλόγα του κεριού, του καντηλιού, του κάρβουνου, του σπίρτου μπορούν να διατηρηθούν στο κενό, όπως κι αν η πυρίτιδα ή το θειάφι μπορούν να αναφλεγούν στο κενό (Boyle 1725 ed. II σελ.417-421[302], Boyle 1772 ed. III σελ. 563-584[323]). Ο Boyle καταλήγει στο συμπέρασμα ότι, παρόλο που η συμβολή του αέρα δεν αποδεικνύεται ομοίως απαραίτητη σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, η παρουσία του φαίνεται απαραίτητη για πολύ μεγάλο φάσμα αυτών. Έτσι, παροτρύνει τους επιστήμονες να ερευνήσουν περισσότερο αντίστοιχα φαινόμενα (Boyle 1772 ed. III σελ. 566[323]), ενώ έμμεσα πλήττει

[clxxxv] Με βάση την Αριστοτελική αντίληψη, που επικρατούσε ακόμα τον 17ο αιώνα, *ο αέρας, η γη, το νερό και η φωτιά* αποτελούσαν στοιχειακές φύσεις.

[clxxxvi] Αυτό συνέβαινε στο πλαίσιο της πεποίθησης που κατάγονταν από τον Παράκελσο ότι οι φύσεις του *θείου, του υδραργύρου* και του *άλατος* είναι επίσης στοιχειακές και αποτελούν βασικά στοιχεία ή ιδιότητες της ύλης. Αντιστοιχώντας, κατά τον Παράκελσο στην ψυχή, στο πνεύμα και στο σώμα, αντιπροσώπευαν για τους ιατροχημικούς των αρχών του 17ου αιώνα στο υλικό επίπεδο, το θείο την ευφλεκτότητα, ο υδράργυρος τη μεταβλητότητα και το άλας τη στερεότητα (Westfall 2006 σελ.91-97[322]).

τις θεωρήσεις της εποχής του για τη στοιχειακή μορφή της ύλης[clxxxvii] (Boas 1958 σελ.48-107[324]).

Η διδασκαλία της ενότητας υποστηρίζεται από την *ερώτηση 12* (βλ. *βιβλίο μαθητή, Συζήτηση 2η*), ενώ στο εκπαιδευτικό λογισμικό (βλ. *διαφάνειες 103-104*) παρατίθεται απόσπασμα από κείμενο του Boyle πάνω στην αδυναμία ανάφλεξης του θείου στο κενό. Για την περαιτέρω επεξεργασία της υποενότητας, παρατίθενται στην *ενότητα 8.3.4* σύντομα σχόλια και προτάσεις.

7.4.7. 7η υποενότητα: Παράξενες αστραπές…

Η υποενότητα εισάγεται με τη **συλλογή απαντήσεων** στο ερώτημα:

- Αν αραίωνε σταδιακά ο αέρας, τι θα συνέβαινε στην αστραπή;

Αντί να σχολιάσουμε το σωστό ή λανθασμένο των απαντήσεων, αναφέρουμε ότι το παραπάνω ερώτημα αποτέλεσε το κέντρο του επιστημονικού ενδιαφέροντος κατά τον 19ο αιώνα, οπότε η έρευνα πάνω στη φύση των ηλεκτρικών εκκενώσεων εντάθηκε, ειδικά μετά τη σημασία που απέδωσε σ' αυτήν ο Faraday, στις αρχές του ίδιου αιώνα, και την εφεύρεση του επαγωγικού πηνίου, στα μέσα του, που επιτάχυνε τη σχετική πειραματική έρευνα και την εμπλούτισε με εντυπωσιακά πειράματα. Με αφορμή το κείμενο του Faraday, που συνιστά την εντατική και συστηματική μελέτη των ηλεκτρικών εκκενώσεων σε χαμηλή πίεση (Faraday 1838/1849, 12ο τεύχος, παράγραφος 1464[325]), **παρουσιάζουμε το πείραμα** ηλεκτρικών εκκενώσεων σε μεταβαλλόμενες συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης με τη βοήθεια του πηνίου Ruhmkorff και του ηλεκτρικού αυγού (oeuf électrique, electric egg) (βλ.*διαφάνειες 115-117*). Το πείραμα δείχνει ότι, συνδέοντας το ηλεκτρικό αυγό με την αντλία κενού και μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την πίεση, η ηλεκτρική εκκένωση ανάμεσα στα ηλεκτρόδια αλλάζει μορφή και από άσπρη και «ζιγκ-ζαγκ» γίνεται ροζ, ατρακτοειδής και χωρίς διακλαδώσεις (ramifications). Για να δείξουμε με μεγαλύτερη λεπτομέρεια την αλλαγή στη μορφή της ηλεκτρικής εκκένωσης, όταν μειώνεται η πίεση, χρησιμοποιούμε συνήθως δύο αερόκενους σωλήνες (vacuum tubes), εκείνον που αντιστοιχεί σε ατμοσφαιρική πίεση 40 mm Hg και εκείνον που αντιστοιχεί σε ατμοσφαιρική πίεση 8 mm Hg (βλ.*διαφάνειες 118-119*). Ζητάμε από το ακροατήριο να παρατηρήσει προσεκτικά και να καταγράψει τις αλλαγές που υφίσταται το χρώμα και το σχήμα της ηλεκτρικής εκκένωσης με τη μείωση της ατμοσφαιρικής πίεσης.

Η παρατήρηση των πειραμάτων, που περιγράφτηκαν, πάντα εκπλήσσει τους μαθητές και τους οδηγεί στη διαπίστωση ότι δεν θα μπορούσαν να έχουν προβλέψει, χρησιμοποιώντας τη λογική τους, αυτά τα πειραματικά αποτελέσματα. Η διαπίστωση αυτή είναι σημαντική, γιατί μπορεί να συσχετιστεί με «το απροσδόκητο» με το οποίο ιστορικά συνδέθηκε η ανακάλυψη των αυτών φαινομένων (βλ. και

[clxxxvii] Η διαπίστωση ότι το θειάφι δεν αναφλέγεται στο κενό δεν αρκεί, για να ανατρέψει τη θεώρηση της εποχής ότι η ευφλεκτότητα οφείλεται στην *αρχή ή στοιχειακή μορφή του θείου*, γιατί την εποχή του 17ου αιώνα ο όρος *στοιχείο* αντιστοιχούσε σε κάτι τελείως διαφορετικό από αυτό που εννοεί η σημερινή χημεία. Έτσι, η *στοιχειακή μορφή του θείου* είναι μια *ιδεατή μορφή* που δεν ταυτίζεται με το υλικό θειάφι, όπως και η *στοιχειακή μορφή του υδραργύρου* δεν ταυτίζεται με τον υλικό υδράργυρο. Ο Boyle αμφισβητώντας τις θεωρίες αυτές, προσπαθεί να τοποθετήσει στη θέση τους μια άλλη, σύμφωνα με την οποία η ύλη αποτελείται από υπαρκτά σωματίδια, αντί για ιδεατές μορφές (Boas 1958 σελ.48-107[324]) .

ενότητα 8.3.5).

Ενημερώνουμε το ακροατήριο ότι «παράξενες αστραπές» με χρώμα ροζ και σχήμα ατρακτοειδές δεν υπάρχουν μόνο στον εργαστηριακό πάγκο. Οι αστροναύτες κατά την επάνοδό τους από τα διαστημικά ταξίδια. έχουν παρατηρήσει στα υψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας, αστραπές με ροζ χρώματα και ατρακτοειδή σχήματα. Τέλος, αναφέρουμε, επιστρέφοντας στα λόγια του Faraday, με τα οποία εισαγάγαμε την ενότητα, ότι η διαίσθησή του να κατευθύνει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας στη διερεύνηση των ηλεκτρικών εκκενώσεων σε μειωμένη πίεση αποδείχθηκε ορθή, γιατί μέσα από το δρόμο αυτό ανακαλύφθηκε το ηλεκτρόνιο, ενώ οι επιστήμονες απέκτησαν δεδομένα, για να υποψιαστούν, αργότερα, την ύπαρξη της ηλεκτρονιακής δομής των στοιχείων.

Η διδασκαλία της ενότητας υποστηρίζεται από την *ερώτηση 12* (βλ. *βιβλίο μαθητή, Συζήτηση 2η*), ενώ στις παραγράφους της *ενότητας 8.3.5*, που ακολουθεί, δίνονται σχόλια και υλικό για την περαιτέρω επεξεργασία του περιεχομένου της μετά την επίσκεψη στο μουσείο.

7.4.8. 8η υποενότητα: Η εξαφάνιση της θάλασσας…

Η ενότητα εισάγεται **συλλέγοντας τις απαντήσεις** στην ερώτηση του εισαγωγικού παιχνιδιού:

- Αν δεν υπήρχε αέρας στη γη, τι θα συνέβαινε στη θάλασσα;

Καθώς, όπως φαίνεται από τις απαντήσεις των συμμετεχόντων (βλ. *ενότητα 7.3.8*), ένα μικρό ποσοστό των μαθητών συνδέουν τη φυσική κατάσταση του νερού με την ατμοσφαιρική πίεση, στενεύουμε το πλαίσιο της ερώτησης, **ρωτώντας** το ακροατήριο:

- Τι θα συνέβαινε, αν μεταφέραμε ένα ποτήρι με νερό στην επιφάνεια του φεγγαριού;

Αφήνοντας το ακροατήριο να ψάχνει για την απάντηση, υποβάλλουμε και ένα **τρίτο ερώτημα**:

- Είναι δυνατόν να βράσουμε το νερό χωρίς να το θερμάνουμε;

Καθώς, τώρα, το κοινό έχει αρχίσει να υποψιάζεται πως η αντλία κενού μπορεί να είναι σε θέση να πρωταγωνιστήσει σε ακόμα ένα **παράξενο φαινόμενο**, τοποθετούμε ένα μικρό ποτήρι ζέσεως με νερό σε θερμοκρασία περιβάλλοντος στο εσωτερικό του κώδωνα. Προηγουμένως έχουμε ζητήσει από το κοινό να διαπιστώσει ότι το νερό μέσα στο ποτήρι έχει πραγματικά θερμοκρασία περιβάλλοντος. Στη συνέχεια θέτουμε σε λειτουργία την αντλία και μετά από λίγο παρατηρούμε να εμφανίζονται σταδιακά φυσαλίδες και στη συνέχεια έντονος βρασμός του νερού, ενώ, ταυτόχρονα, το γυαλί της αντλίας κενού θολώνει (βλ. *διαφάνειες 148-149*). Αφήνουμε το φαινόμενο να εξελιχθεί για μερικά λεπτά και στη συνέχεια, σταματώντας την αντλία, πιάνουμε προσεκτικά το ποτήρι με το νερό που μόλις έχει σταματήσει να βράζει και ζητάμε από το ακροατήριο να **προβλέψει**, αν το νερό θα είναι ζεστό. Στη θετική απάντηση της συντριπτικής πλειονότητας των συμμετεχόντων **αντιπαραθέτουμε το πειραματικό δεδομένο**, που αποδεικνύει ότι το νερό μέσα στο ποτήρι έχει κρυώσει, αντί να ζεσταθεί. Ζητάμε από τους συμμετέχοντες να διαπιστώσουν με βεβαιότητα το δεδομένο αυτό και για το σκοπό αυτό επαναλαμβάνουμε, εάν χρειάζεται, την πειραματική διαδικασία.

Στην απορία που έχει δημιουργηθεί σχετικά με την **εξήγηση** του φαινομένου, προσθέτουμε ένα ακόμα πειραματικό δεδομένο, που έχει τη μορφή μαρτυρίας. Αναφέρουμε ότι οι αστροναύτες στο διάστημα βλέπουν τα ούρα τους αρχικά να βράζουν και στη συνέχεια να μετατρέπονται μερικές φορές σε πάγο, όταν τα βγάζουν έξω από το διαστημικό όχημα, απαντώντας, έτσι, έμμεσα, στη δεύτερη από τις εισαγωγικές μας ερωτήσεις (βλ.*διαφάνεια 157*). Καθοδηγώντας το ακροατήριο προς την εξήγηση του φαινομένου, τους ζητάμε να θυμηθούν μια πληροφορία του βιβλίου Χημείας της Β' Γυμνασίου, που αναφέρει ότι η θερμοκρασία βρασμού εξαρτάται από την ατμοσφαιρική πίεση (Γεωργιάδου κ.ά. 1998 σελ.27-28[326], Αβραμιώτης κ.ά. 2010 σελ. 17-18[327]). Επεκτείνοντας την πληροφορία, αναφέρουμε ότι οι ορειβάτες δεν καταφέρνουν να φτιάξουν σφιχτό αυγό στο Έβερεστ – όπου η πίεση είναι περίπου το 1/3 της ατμοσφαιρικής και η θερμοκρασία βρασμού του νερού είναι γύρω στους 70°C – όσο και αν το βράζουν (βλ.*διαφάνειες 150-152*).

Στη συνέχεια, ζητάμε από το ακροατήριο **να χρησιμοποιήσει το διάγραμμα φάσεων του νερού** (Atkins 1989/1997 σελ. 380[328]) (βλ. *διαφάνειες 164, 165*), για να συνδέσει τα παραπάνω πειραματικά δεδομένα και να απαντήσει στο δεύτερο από τα αρχικά μας ερωτήματα. Ταυτόχρονα, εξηγούμε ότι το διάγραμμα φάσεων του νερού έχει κατασκευαστεί εμπειρικά και συγκεντρώνει, έτσι, όλα τα στοιχεία που οι επιστήμονες έχουν παρατηρήσει σχετικά με τη φυσική κατάσταση του νερού σε διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Καθοδηγούμε, τέλος, το ακροατήριο να παρατηρήσει ότι, σύμφωνα με το διάγραμμα, κάτω από πίεση 4,58 mm Hg, ή 0,006 atm δεν υπάρχει υγρή κατάσταση, αλλά το νερό βρίσκεται υπό μορφή πάγου ή υδρατμού ανάλογα με τη θερμοκρασία. Διοχετεύοντας στο κοινό την πληροφορία ότι η πίεση στην επιφάνεια της Σελήνης είναι πολύ μικρότερη, έχοντας τιμή $3x10^{-15atm}$, και η θερμοκρασία κυμαίνεται από τη μέγιστη τιμή των 123°C, την ημέρα, μέχρι την ελάχιστη των -233°C, τη νύχτα, **εκμαιεύουμε την απάντηση στα** δύο **εισαγωγικά μας ερωτήματα** (βλ.*διαφάνεια 158*).

Το γεγονός ότι το νερό, καθώς έβραζε μέσα στην αντλία κενού, κρύωνε, έχει δημιουργήσει μια επιπλέον απορία, στην οποία επικεντρώνουμε, τώρα, την προσοχή του ακροατηρίου. Επανερχόμενοι στη *διαφάνεια 154* του εκπαιδευτικού λογισμικού, προσπαθούμε να συνδέσουμε το γεγονός αυτό με τη μαρτυρία των αστροναυτών, ότι αφού τα ούρα τους έβραζαν για κάποιο χρονικό διάστημα μετατρέπονταν σε πάγο. **Βάζοντας ξανά σε λειτουργία την αντλία**, σε περίπτωση που υπάρχει ο ανάλογος χρόνος, επαναλαμβάνουμε το πείραμα, **μετρώντας αυτή τη φορά την πτώση της θερμοκρασίας του νερού.** Οδηγούμε το ακροατήριο στην κατανόηση της *λανθάνουσας θερμότητας βρασμού*, εξηγώντας ότι ο βρασμός χρειάζεται θερμότητα, η οποία, όταν δεν μπορεί να παρασχεθεί από το περιβάλλον, παρέχεται από το ίδιο το σώμα που υφίσταται το βρασμό με αποτέλεσμα την πτώση της θερμοκρασίας του.

Κλείνουμε την ενότητα, με τη βοήθεια ενός ακόμη παραδείγματος, της «λαμπερής και ταπεινής ιστορίας των κομητών». Ζητάμε από το ακροατήριο να χρησιμοποιήσει όλη την προηγούμενη συζήτηση και το διάγραμμα φάσεων του νερού, για να **εξηγήσει** το φαινόμενο, δηλαδή το ότι οι κομήτες, όσο περισσότερο λάμπουν, τόσο ο χρόνος της ζωής τους μικραίνει, γιατί αποτελούνται από

πάγο. Έτσι, όταν περνώντας κοντά από τον ήλιο θερμαίνονται, μετατρέπονται σε ατμό και οι φωτεινές ουρές τους είναι δεν είναι παρά ατμός, που προέρχεται από τον πάγο του σώματός τους που εξαχνώθηκε (βλ.*διαφάνειες 161-163*).

Κατά τη διάρκεια της συζήτησης που προηγήθηκε, το ακροατήριο καλείται να συμπληρώσει τις *ερωτήσεις 13 ως 16 του βιβλίου του μαθητή* (βλ.*Παράρτημα IV*), που αναφέρονται στη δυνατότητα να βράσουμε το νερό χωρίς να το θερμάνουμε, στη θερμοκρασία βρασμού του νερού στο Έβερεστ, στη φυσική κατάσταση του νερού στο φεγγάρι, στην ιστορία των κομητών. Επίσης, τους ζητείται να συμπληρώσουν την *ερώτηση 17*, συνδυάζοντας στοιχεία της παρούσας συζήτησης με τη συζήτηση πάνω στην ελαστικότητα του αέρα. Με βάση αυτά, θα πρέπει να μπορούν να **προβλέψουν** ότι, αν η κυρία που εικονίζεται στις *διαφάνειες 166 & 181 του* εκπαιδευτικού λογισμικού μεταφερθεί χωρίς στολή στη Σελήνη, τα υγρά στο σώμα της θα βράσουν και το σώμα της θα εκραγεί.

Η όλη συζήτηση που προηγήθηκε **επηρεάζει το τοπίο των αρχικών ιδεών** των μαθητών που πιστεύουν ότι, αν δεν υπήρχε αέρας, η θάλασσα θα ήταν ήρεμη, δεν θα πάθαινε τίποτα ή θα αιωρούνταν (βλ. *Πίνακα 7.10*). Ταυτόχρονα, φωτίζει την απάντηση της ερώτησης, *τι θα πάθαινε το σώμα μας σε μια γη χωρίς αέρα*, που τέθηκε στο πλαίσιο του εισαγωγικού παιχνιδιού ερωτήσεων (βλ. *ενότητα 7.3.7*).

7.4.9. 9η υποενότητα: Πόσο ζυγίζει;

Εισάγουμε την ενότητα, προβάλλοντας τις εικόνες αερόστατων και μπαλονιών με ήλιο που κινούνται ανεβαίνοντας προς τα πάνω και πουλιών που πετούν, ενώ μπροστά και στις τρεις προβάλλεται ως τίτλος η λέξη *άνωση* (βλ.*διαφάνειες 121-123 εκπαιδευτικού λογισμικού*). Ταυτόχρονα, **υποβάλλουμε το ερώτημα**:

- *Τι νομίζετε, ένα αερόστατο γεμάτο με ήλιο θα μπορούσε να κινηθεί προς τα πάνω, αν μεταφερόταν στη Σελήνη;*

και, αφήνοντας το ακροατήριο να σκέφτεται την απάντηση, **θέτουμε ένα δεύτερο ερώτημα**:

- *Τι σας θυμίζει η λέξη «άνωση»*;

Μέσα από το συνδυασμό των δύο ερωτημάτων, επιθυμούμε να οδηγήσουμε το ακροατήριο να συνδέσει την προς τα πάνω κίνηση με τον αέρα, χρησιμοποιώντας μια λέξη που σε πολλούς από τους συμμετέχοντες είναι οικεία και θυμίζει φαινόμενα που συνδέονται με την πλεύση. **Συλλέγοντας τις απαντήσεις** του ακροατηρίου πάνω στη δεύτερη ερώτηση, οδηγούμε τη συζήτηση στη σκιαγράφηση της έννοιας της *άνωσης* ως δύναμης προς τα πάνω. Στη συνέχεια επιβεβαιώνουμε τις γνώσεις πολλών μελών ακροατηρίου, ότι η έννοια έχει τις ρίζες της στον Αρχιμήδη και στο περίφημο «εύρηκα».

► Η κορώνα του Ιέρωνα:

Αναφερόμαστε συνοπτικά στο αρχαίο αυτό επεισόδιο[clxxxviii] που έχει φθάσει σε μας από τον Βιτρούβιο (Vitruvius, *Ten Books on Architecture*, Book IX, Introduction [9-12][329]), προβάλλοντας γκραβούρα από την αντίστοιχη γερμανική μετάφραση του βιβλίου (βλ. *διαφάνειες 125 &128 εκπαιδευτικού λογισμικού*), που συνοδεύεται από το συμπέρασμα του Αρχιμήδη:

> «Ένα στερεό βαρύτερο από ένα υγρό, εάν τοποθετηθεί μέσα σε αυτό, κατέρχεται στον πυθμένα του υγρού. Επίσης, το στερεό αυτό, εάν ζυγιστεί μέσα στο υγρό, θα είναι ελαφρύτερο από το πραγματικό του βάρος κατά το βάρος του υγρού που εκτοπίζεται» (Αρχιμήδης στον Heath 1897 σελ.258[330]),

και την αναπαράσταση του πειράματός του, όπως αυτή έχει γίνει από το *Deutsches Museum*[clxxxix] και βασίζεται στην ανάγνωση του Αρχιμήδη από τους επιστήμονες του 16ου και 17ου αιώνα (Della Porta 1658, 18th Book, VIII σελ.354-355[331], Galilei, *La Bilancetta*, 1586/1929 σελ.215-216[332]) (βλ. *διαφάνεια 130*).

► Στον πάτο ενός ωκεανού από αέρα…:

Και οι αιώνες περνούν ξανά… για να φθάσουμε στους επιστήμονες του 17ου αιώνα, οι οποίοι φαίνονται να έχουν μεταφέρει την ιδέα της άνωσης από τα υγρά στον αέρα[cxc]. Χρησιμοποιώντας τα λόγια του Torricelli «Ζούμε στον πάτο ενός ωκεανού από αέρα…» (Torricelli 1644 στον Middleton 1964 σελ.23-24[317]) (βλ. *απόσπασμα 2, ενότητα 2.4 Παραρτήματος VII*, εξηγούμε ότι τα πουλιά δεν θα πετούσαν, χωρίς αέρα, όπως τα ψάρια δεν θα κολυμπούσαν, αν δεν υπήρχε το νερό (βλ. *διαφάνειες 132 έως 136*).

► Το βαροσκόπιο:

Πώς όμως μπορούμε **να μετρήσουμε την άνωση στον αέρα**, δηλαδή το πόσο ελαφρύτερους μας καθιστά ο αέρας; Αναφέρουμε ότι οι επιστήμονες του 17ου αιώνα είχαν διάφορες απαντήσεις γι' αυτό. Ανάμεσα σ' αυτές ήταν η επινόηση του βαροσκόπιου, ενός μικροσκοπικού ζυγού στον οποίο μια κοίλη σφαίρα εξισορροπούνταν από συμπαγές μολύβδινο αντίβαρο (Ganot 1894 σελ.204-206[333]). Εξισορροπώντας το μεταλλικό αντίβαρο με την κοίλη σφαίρα, στο δικό μας βαροσκόπιο, διαπιστώνουμε ότι η φάλαγγα του ζυγού μετατοπίζεται γέροντας προς την πλευρά της σφαίρας, όταν το όργανο τοποθετείται στο εσωτερικό του κώδωνα της αντλίας και η αντλία τίθεται σε λειτουργία.

[clxxxviii] Σύμφωνα με το αρχαίο αυτό επεισόδιο, ο Αρχιμήδης πετάχτηκε έξω από τη μπανιέρα του, φωνάζοντας «εύρηκα», όταν βρήκε τον τρόπο να λύσει το πρόβλημα που του είχε ανατεθεί, δηλαδή, να διαπιστώσει, αν το στέμμα του Ιέρωνα ήταν νοθευμένο, χωρίς να το καταστρέψει Vitruvius, *Ten Books on Architecture*, Book IX, Introduction [9-12][330]).

[clxxxix] Η εκδοχή αυτή προτείνει τη χρήση ενός ζυγού όπου δύο αντικείμενα ίσης μάζας, αλλά διαφορετικής πυκνότητας, ισορροπούν. Ο ζυγός βυθιζόμενος στο νερό μετατοπίζεται, βαραίνοντας προς τη μεριά του αντικειμένου με τον μικρότερο όγκο, και έτσι αποτελεί εύκολη επιβεβαίωση, αλλά και τρόπο μέτρησης, της άνωσης στα υγρά. Όπως εξηγούμε στην *ενότητα 8.4.1,* που βασίζεται στα *αποσπάσματα* της *ενότητας 4.1* του *Παραρτήματος VII,* η εκδοχή αυτή δεν είναι τυχαία, είναι παρεμφερής με αυτή που υποστηρίζει ο Γαλιλαίος (Galilei, *La Bilancetta*, 1586/1929 σελ.209-220[332]), και αντιστοιχεί σε συνηθισμένες πρακτικές των χρυσοχόων κατά τον 16ο αιώνα.

[cxc] Η ιδέα της άνωσης στον αέρα διατυπώνεται με σαφήνεια, τόσο στα γραπτά του Γαλιλαίου, όσο και στο γράμμα του Torricelli που περιγράφει το διάσημο πείραμά του (Torricelli 1644 στον Middleton 1964 σελ.23-24[316]) (*απόσπασμα 2, ενότητα 2.4 Παραρτήματος VII)*.

Αφήνοντας στη συνέχεια τον αέρα να εισέλθει ξανά στον κώδωνα, ο ζυγός επανέρχεται στην αρχική του θέση (βλ. *διαφάνειες 138-140*). Ελέγχουμε την κατανόηση της εξήγησης του πειράματος με τη βοήθεια της *ερώτησης 18* (βλ. *βιβλίο μαθητή, Συζήτηση 2η*) που προτείνει να φανταστούμε, *τι θα δείξει η ζυγαριά, αν ζυγιστούμε μέσα στο νερό, και τι αν ζυγιστούμε στο κενό*[cxci].

► Η έννοια της δυναμικής άνωσης:

Με τις εικόνες των πουλιών και των αεροπλάνων που πετούν, εισάγουμε το τελευταίο από τα θέματα της υποενότητας, τη δυναμική άνωση στον αέρα (βλ. *διαφάνειες 141-142*), και επικεντρώνουμε το ενδιαφέρον του ακροατηρίου στον τρόπο που πετούν τα αεροπλάνα, με τη βοήθεια σχετικού πειράματος προσομοίωσης που πραγματοποιείται με τη βοήθεια εκπαιδευτικού μοντέλου. Το μοντέλο, που βασίζεται σε αντίστοιχη κατασκευή των αδελφών Wright[cxcii] (The Franklin Institute 2011[334]), προσομοιάζει τη σχετική ως προς τον αέρα κίνηση του αεροπλάνου με τη βοήθεια ενός στροβίλου που παράγει δυνατό ρεύμα αέρα, αντίθετα προς το οποίο τοποθετείται ειδικός ζυγός, που μιμείται κατασκευαστικές λεπτομέρειες του αεροπλάνου. Η κίνηση του ζυγού προς τα πάνω η κάτω, όταν δέχεται το ρεύμα αέρα και προκειμένου να ισορροπήσει, εξαρτάται από την κλίση του κινητού του τμήματος, που προσομοιάζει το φτερό του αεροπλάνου (βλ. *διαφάνειες 143-145*).

► Επίλογος και υποστηρικτικό υλικό:

Ελέγχουμε το βαθμό στον οποίο έχει απορροφηθεί το περιεχόμενο της υποενότητας, με τη βοήθεια των **ερωτήσεων** *19, 21* της *2ης Συζήτησης* (βλ. *βιβλίο μαθητή*).

Κλείνοντας το θέμα, **υποβάλλουμε μια επιπλέον ερώτηση**:

- *Πώς, κατά τη γνώμη σας, είναι δυνατόν να απογειωθεί ο πύραυλος από το φεγγάρι;*

ως έναυσμα για τη συνέχιση της συζήτησης μέσα στη σχολική τάξη.

Επίσης, προτείνουμε στους καθηγητές, μετά την επίσκεψη στο μουσείο, να συνδέσουν την υποενότητα της ελεύθερης πτώσης με εκείνη της άνωσης με τη βοήθεια της ερώτησης:

- *Τελικά, σύμφωνα με όσα συζητήθηκαν, τι θα μπορούσαμε να πούμε στον Αριστοτέλη, για να του εξηγήσουμε ότι η «ελαφρότητά» του δεν είναι πια παρούσα στα σχολικά εγχειρίδια;*

7.4.10. 10η υποενότητα: Το χρώμα του ουρανού

Η ενότητα εισάγεται με τη βοήθεια της ερώτησης:

- *Αν δεν υπήρχε αέρα στη γη, ποιο θα ήταν το χρώμα του ουρανού το ηλιοβασίλεμα;*

[cxci] Η ερώτηση βοηθάει τους μαθητές να συνδέσουν το πείραμα του υδροστατικού ζυγού, που προαναφέρθηκε, με το πείραμα του βαροσκόπιου.

[cxcii] Διαμέσου της συσκευής τους, οι αδελφοί Wright, εφευρέτες του αεροπλάνου, μελετούσαν, στις αρχές του 20ου αιώνα, λειτουργικά θέματα της πτήσης, όπως, για παράδειγμα, την επίδραση του σχήματος και της θέσης των φτερών για την απογείωση του αεροπλάνου.

Συλλέγοντας τις διαφορετικές απαντήσεις, εντοπίζουμε το ενδιαφέρον μας στην παρατήρηση ότι πολύ μεγάλο ποσοστό μαθητών, της τάξης του 40%, θεωρούν ότι χωρίς αέρα, το ηλιοβασίλεμα δεν θα είχε, παρά συναφή χρώματα με αυτά που μας έχει συνηθίσει η εμπειρία. Χρησιμοποιώντας εικόνες του ουρανού και του ηλιοβασιλέματος (βλ.*διαφάνειες 183* έως *185*), υποσχόμαστε ότι, αν καταφέρουμε να εξηγήσουμε το μπλε χρώμα του ουρανού και το κίτρινο του ήλιου, θα γίνουμε ικανοί να καταλάβουμε τα υπέροχα χρώματα του ηλιοβασιλέματος.

► Ο ουρανός, ο ήλιος και τα ηλιοβασιλέματα…:

Εξηγούμε, **προβάλλοντας κατάλληλες εικόνες** (βλ. *διαφάνειες 186* έως *188*), ότι, αν ατενίσουμε το ηλιοβασίλεμα στο φεγγάρι, θα δούμε ότι ο ουρανός είναι μαύρος και ο ήλιος λευκός,· ότι ο αστροναύτης που περιστρέφεται σε τροχιά γύρω απ' τη γη βλέπει τον ουρανό στο διάστημα μαύρο και την ατμόσφαιρα της γης κάτω απ' τα πόδια του γαλάζια· κι ότι αυτό που μπορεί κανείς να υποθέσει ως φως προβολέων, κοιτάζοντας τις φωτογραφίες των αστροναυτών στο φεγγάρι, δεν είναι παρά το φως του μεσημεριάτικου ήλιου, που δεν μπορεί όμως να αλλάξει το μαύρο του ουρανού. Μέσα από τα παραπάνω, καθοδηγούμε το ακροατήριο στην υπόθεση ότι το χρώμα του ουρανού, του ήλιου και του ηλιοβασιλέματος σχετίζονται με την παρουσία του ατμοσφαιρικού αέρα.

► Σ' ένα ποτήρι με μαστίχα και νερό…:

Αναφέρουμε, στη συνέχεια, ότι για την εξήγηση του φαινομένου θα εμπιστευθούμε τον John Tyndall, επιστήμονα του 19ου αιώνα, ο οποίος προτείνει να **προσομοιάσουμε** τη διάδοση του φωτός διαμέσου της ατμόσφαιρας, διοχετεύοντας λευκό φωτός σε κολλοειδές διάλυμα[cxciii] και τη διάδοση του φωτός στο κενό, διοχετεύοντας λευκό φως σε καθαρό νερό. Συνιστά να προσθέσουμε στο νερό μαστίχα διαλυμένη σε οινόπνευμα, για να κατασκευάσουμε το καταλληλότερο για το πείραμα κολλοειδές διάλυμα (Tyndall 1906 σελ.152[335]) (βλ. *απόσπασμα 1, ενότητα 3.6, Παράρτημα VII)*.

Όπως αποκαλύπτει το αντίστοιχο πείραμα προσομοίωσης (βλ. *διαφάνειες 190-193*), όταν το λευκό φως διοχετεύεται σε κολλοειδές διάλυμα, το διάλυμα φαίνεται γαλαζωπό, αν το κοιτάξουμε από επάνω, ενώ, αν κοιτάξουμε την πηγή του φωτός διαμέσου του διαλύματος, το χρώμα της φαίνεται κιτρινωπό. Αν αυξήσουμε την περιεκτικότητα του διαλύματος σε μαστίχα, το φώς φαίνεται πιο πορτοκαλί. Όμοια, το φως φαίνεται πιο πορτοκαλί, αν διατηρήσουμε την περιεκτικότητα σταθερή και αυξήσουμε τη διαδρομή του φωτός μέσα στο διάλυμα. Αν αυξάνουμε διαδοχικά την περιεκτικότητα του διαλύματος, το φως φαίνεται να μεταβάλλεται από κίτρινο σε πορτοκαλί και κοκκινωπό μέχρι που, τελικά, όταν το διάλυμα πυκνώσει ακόμη περισσότερο, δεν φαίνεται καθόλου. Αντίθετα, όταν το λευκό φως διοχετεύεται μέσα από καθαρό νερό, το φως εξακολουθεί να φαίνεται λευκό.

Κλείνουμε την ενότητα, παρουσιάζοντας με απλά λόγια την εξήγηση του Tyndall (Tyndall 1906 σελ 149-152[335]) (βλ. *απόσπασμα 2, ενότητα 3.6 Παράρτημα VII)*, ότι το μπλε χρώμα του ουρανού και

[cxciii] Ο Tyndall προτείνει να παρασκευάσουμε το κολλοειδές διάλυμα προσθέτοντας στο νερό μαστίχα διαλυμένη σε οινόπνευμα.

το κίτρινο του ήλιου οφείλεται στην ανομοιόμορφη ανάκλαση των διαφορετικού μεγέθους κυμάτων στα σωματίδια που υπάρχουν στον αέρα, φαινόμενο που στη γλώσσα των σημερινών εγχειριδίων φυσικής ονομάζεται *σκέδαση* ή *διασκορπισμός*. Καθώς τα μικρότερα μήκη κύματος ανακλώνται ευκολότερα, το φαινόμενο αυτό του διασκορπισμού καθιστά δυνατό να βλέπουμε τις μπλε αποχρώσεις της ηλιακής ακτινοβολίας, όχι κοιτώντας απευθείας τον ήλιο, αλλά κοιτώντας σε άλλες κατευθύνσεις τον ουρανό. Ο Tyndall εξηγεί, επίσης, ότι το κίτρινο χρώμα του ήλιου οφείλεται ακριβώς στη μείωση του ποσοστού της μπλε ακτινοβολίας που περιέχει και ότι, στο ηλιοβασίλεμα, η μεγαλύτερη διαδρομή του ήλιου καθιστά το φαινόμενο αυτό εντονότερο, όπως εντονότερο γίνεται το φαινόμενο, συμπληρώνουμε εμείς, όταν οι ατμοσφαιρικοί ρύποι κάνουν το ηλιοβασίλεμα των μεγαλουπόλεων βυσσινί.

► <u>Υποστηρικτικό υλικό:</u>

Με τη βοήθεια της *ερώτησης 23* (βλ. *Συζήτηση 2η*, *βιβλίο μαθητή*) συνοψίζουμε το περιεχόμενο της παρούσας υποενότητας, κλείνοντας με την εικόνα του ηλιοβασιλέματος και τη συνολική παρουσίαση της πειραματικής διάλεξης.

Υλικό για εμβάθυνση στο περιεχόμενο της υποενότητας δίνεται στην *ενότητα 8.4.7* και τα αποσπάσματα της *ενότητας 3.6* του *Παραρτήματος VII*.

7.5. Εφαρμογή και αξιολόγηση της πειραματικής διάλεξης

Στις επόμενες ενότητες θα παρουσιάσουμε στοιχεία που χρησιμοποιήσαμε προκειμένου να αξιολογήσουμε το μέρος της διδακτικής πρότασης που είχε άμεση εφαρμογή στο Μουσείο Φυσικής της Χίου κατά το χρονικό διάστημα 2004-2008. Η αξιολόγηση αυτή έγινε κατά τη διάρκεια εφαρμογής του προγράμματος με ευθύνη της υπογράφουσας και συνοδεύτηκε από εργασίες τροποποίησης με στόχο τη βελτίωσή του. Δραστηριότητες οι οποίες προτάθηκαν στις ομάδες επισκεπτών, αλλά δεν εφαρμόστηκαν άμεσα, δεν περιλαμβάνονται στα στοιχεία της παρούσας ανάλυσης.

7.5.1. Μέθοδοι αξιολόγησης της διδακτικής πρότασης

Για την αξιολόγηση της διδακτικής πρότασης χρησιμοποιήσαμε, καταρχήν, ***ερωτηματολόγια*** που απευθύνονταν στους *επισκέπτες* ***μαθητές*** και *συνοδούς* ***καθηγητές*** τους, με στόχο να προσδιορίσουμε τη **θετική ή αρνητική *στάση*** τους απέναντι στην πειραματική διάλεξη (βλ. *ερωτηματολόγια στάσης 1 & 2, ενότητα 1, Παράρτημα IV*).

Με τα ερωτηματολόγια που απευθύναμε στους μαθητές, προσπαθήσαμε να προσδιορίσουμε, όπως αναλύεται στη συνέχεια (βλ. *ενότητα 7.5.2*), τον βαθμό ενδιαφέροντός τους απέναντι στην πειραματική διάλεξη, τα στοιχεία της που τους τράβηξαν ή τους απώθησαν περισσότερο, το κατά πόσον βρήκαν εύκολη την παρακολούθησή της.

Με τα ερωτηματολόγια που απευθύναμε στους καθηγητές, προσπαθήσαμε να δούμε κατά πόσον βρήκαν την πειραματική διάλεξη ενδιαφέρουσα και χρήσιμη ως διδακτική παρέμβαση, καθώς και να εκμαιεύσουμε θετικά και αρνητικά σχόλια και παρατηρήσεις πάνω στην καταλληλότητα του περιεχομένου της διάλεξης και του τρόπου μετάδοσής του για τους μαθητές τους, (*βλ. ενότητα 7.5.4*).

Παράλληλα, χρησιμοποιήσαμε ***ερωτηματολόγια παρακολούθησης*** απευθυνόμενα τους ***μαθητές*** (βλ. *Παράρτημα V, ενότητα 2: βιβλίο μαθητή, Συζήτηση 2η*), με τα οποία ελέγξαμε μέσα από ερωτήσεις συμπλήρωσης, που συνόψιζαν το περιεχόμενο της πειραματικής διάλεξης, το βαθμό στον οποίο οι μαθητές παρακολουθούσαν (βλ. *ενότητα 7.5.3*).

Εκτός από τις παραπάνω μεθόδους, η εφαρμογή της διδακτικής πρότασης αξιολογήθηκε με ***λιγότερο τυπικούς τρόπους,*** που συνίσταντο σε ***συζητήσεις με τους συνοδούς καθηγητές*** μετά την ολοκλήρωση της πειραματικής διάλεξης, στη ***δυναμική που είχε το συγκεκριμένο πρόγραμμα να συγκεντρώνει κοινό***, καθώς και στην εκτίμηση της στάσης του κοινού, όπως αυτή γινόταν αντιληπτή από την ***ατμόσφαιρα που δημιουργούταν*** κατά τη διάρκεια της πειραματικής διάλεξης. Επίσης, ένα κριτήριο αξιολόγησης της διδακτικής πρότασης αποτέλεσαν και οι ***συζητήσεις που συνόδευαν την παρουσίασή της σε σεμινάρια και συνέδρια***.

7.5.2. Η στάση των μαθητών απέναντι στην πειραματική διάλεξη

Σύμφωνα με τα στοιχεία των ερωτηματολογίων *στάσης*, που συμπληρώθηκαν από το σύνολο σχεδόν

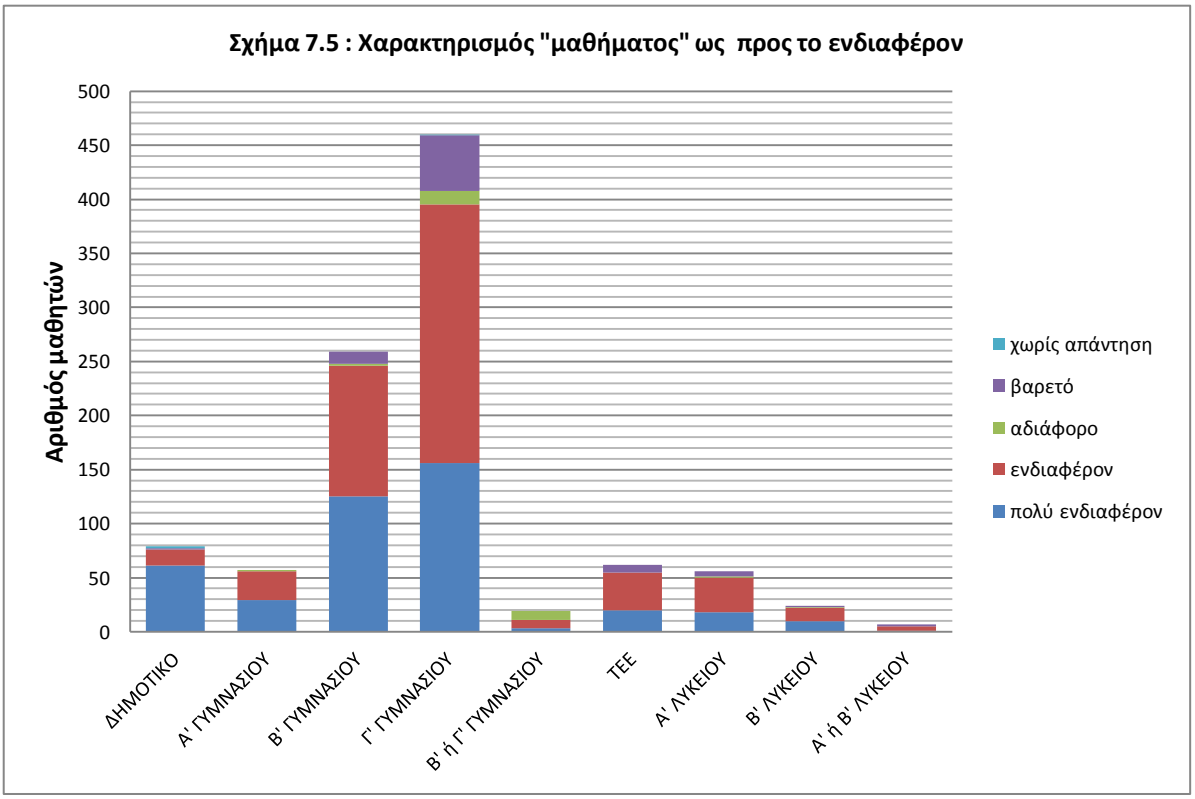
των μαθητών[cxciv] και συνοψίζονται στον *Πίνακα 7.16* και στα διαγράμματα των *Σχημάτων 7.5* και *7.6*, που ακολουθούν**, η πειραματική διάλεξη είχε πολύ καλή υποδοχή από το κοινό των μαθητών**, καθώς 90% από αυτούς τη χαρακτήρισαν *ενδιαφέρουσα* ή *πολύ ενδιαφέρουσα.*

Πίνακας 7.16: Η εφαρμογή της πειραματικής διάλεξης – Καταγράφοντας το βαθμό ενδιαφέροντος και τη δυσκολία παρακολούθησης για το «μάθημα στο Μουσείο» που εκφράζουν οι συμμετέχοντες

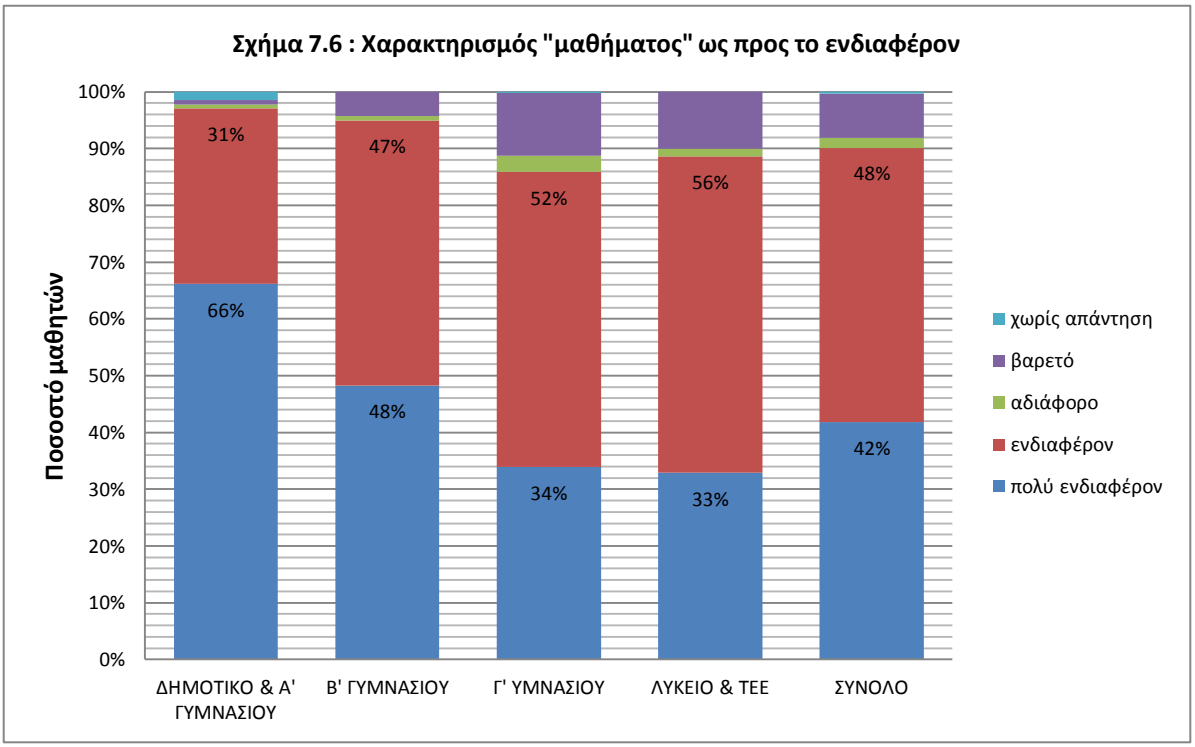
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ «ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ»	*ΣΧΟΛΙΚΕΣ ΤΑΞΕΙΣ*									
	Ε', Στ' Δημοτικού & Α' Γυμνασίου		*Β' Γυμνασίου*		*Γ' Γυμνασίου*		*ΤΕΕ & Α', Β' Γενικού Λυκείου*		*Σύνολο σχολικών τάξεων*	
ΟΙ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΒΑΘΜΟΛΟΓΟΥΝ ΤΟ «ΜΑΘΗΜΑ» ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ *ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝ* ΠΟΥ ΤΟΥΣ ΠΡΟΚΑΛΕΣΕ										
πολύ ενδιαφέρον	90	66%	125	48%	156	34%	49	33%	423	41%
	21%		*30%*		*37%*		*12%*		*100%*	
ενδιαφέρον	42	31%	121	47%	239	52%	83	56%	493	48%
	9%		*25%*		*48%*		*17%*		*100%*	
αδιάφορο	1	1%	2	1%	13	3%	2	1%	26	3%
	4%		*8%*		*50%*		*8%*		*100%*	
βαρετό	1	1%	11	4%	51	11%	15	10%	78	8%
	1%		*14%*		*65%*		*19%*		*100%*	
σύνολο απαντήσεων & κενών	136	100%	259	100%	460	100%	149	100%	1023	100%
	14%		*26%*		*46%*		*15%*		*100%*	
ΟΙ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΖΟΥΝ ΤΟ *ΒΑΘΜΟ ΔΥΣΚΟΛΙΑΣ* ΤΟΥ «ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ»										
πολύ εύκολο	19	14%	26	10%	30	7%	10	7%	85	8%
	22%		*31%*		*35%*		*12%*		*100%*	
εύκολο	75	55%	144	56%	339	74%	102	68%	674	66%
	11%		*21%*		*50%*		*15%*		*100%*	
δύσκολο	37	27%	82	32%	70	15%	29	19%	220	22%
	17%		*38%*		*32%*		*13%*		*100%*	
πολύ δύσκολο	3	2%	7	3%	17	4%	7	5%	36	4%
	8%		*19%*		*47%*		*19%*		*100%*	
σύνολο απαντήσεων & κενών	136	100%	259	100%	460	100%	149	100%	1023	100%
	13%		*25%*		*45%*		*15%*		*100%*	
Η *ΠΡΟΘΕΣΗ* ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ ΠΟΥ ΒΡΗΚΑΝ ΤΟ «ΜΑΘΗΜΑ» ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝ Η ΠΟΛΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝ *ΝΑ ΞΑΝΑΡΘΟΥΝ* ΣΕ ΑΝΑΛΟΓΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΟ ΜΟΥΣΕΙΟ										
κατά το ίδιο ακαδημαϊκό έτος	105	77%	209	81%	320	70%	99	66%	740	72%
	14%		*28%*		*43%*		*13%*		*100%*	
σε επόμενο ακαδημαϊκό έτος	83	61%	181	70%	293	64%	89	60%	653	64%
	13%		*28%*		*45%*		*14%*		*100%*	

Πηγή: Ερωτηματολόγια στάσης απευθυνόμενα στους μαθητές

[cxciv] Τα ερωτηματολόγια *στάσης* ζητήθηκε να συμπληρωθούν από όλους τους συμμετέχοντες στο εκπαιδευτικό πρόγραμμα μαθητές. Η συντριπτική πλειονότητά τους ανταποκρίθηκε σε αυτό, ωστόσο υπήρξαν λίγες περιπτώσεις που τα ερωτηματολόγια δεν ήταν δυνατόν να συμπληρωθούν, λόγω έλλειψης χρόνου ή άλλων περιορισμών. Σε ακόμη λιγότερες περιπτώσεις τα ερωτηματολόγια δεν συμπληρώθηκαν, λόγω έλλειψης αντίστοιχου ενδιαφέροντος.



Πηγή: Πίνακας ΠΥ-1, Παράρτημα V.



Πηγή: Πίνακας ΠΥ-1, Παράρτημα V.

.

Οι μαθητές της Ε', Στ' Δημοτικού και Α', Β' Γυμνασίου αποτέλεσαν το πιο ένθερμο κοινό της πειραματικής διάλεξης, καθώς ποσοστό μεγαλύτερο του 95%, σε αυτή τη μερίδα του κοινού, χαρακτήρισε την πειραματική διάλεξη ως *ενδιαφέρουσα* ή *πολύ ενδιαφέρουσα*. Το αντίστοιχο ποσοστό

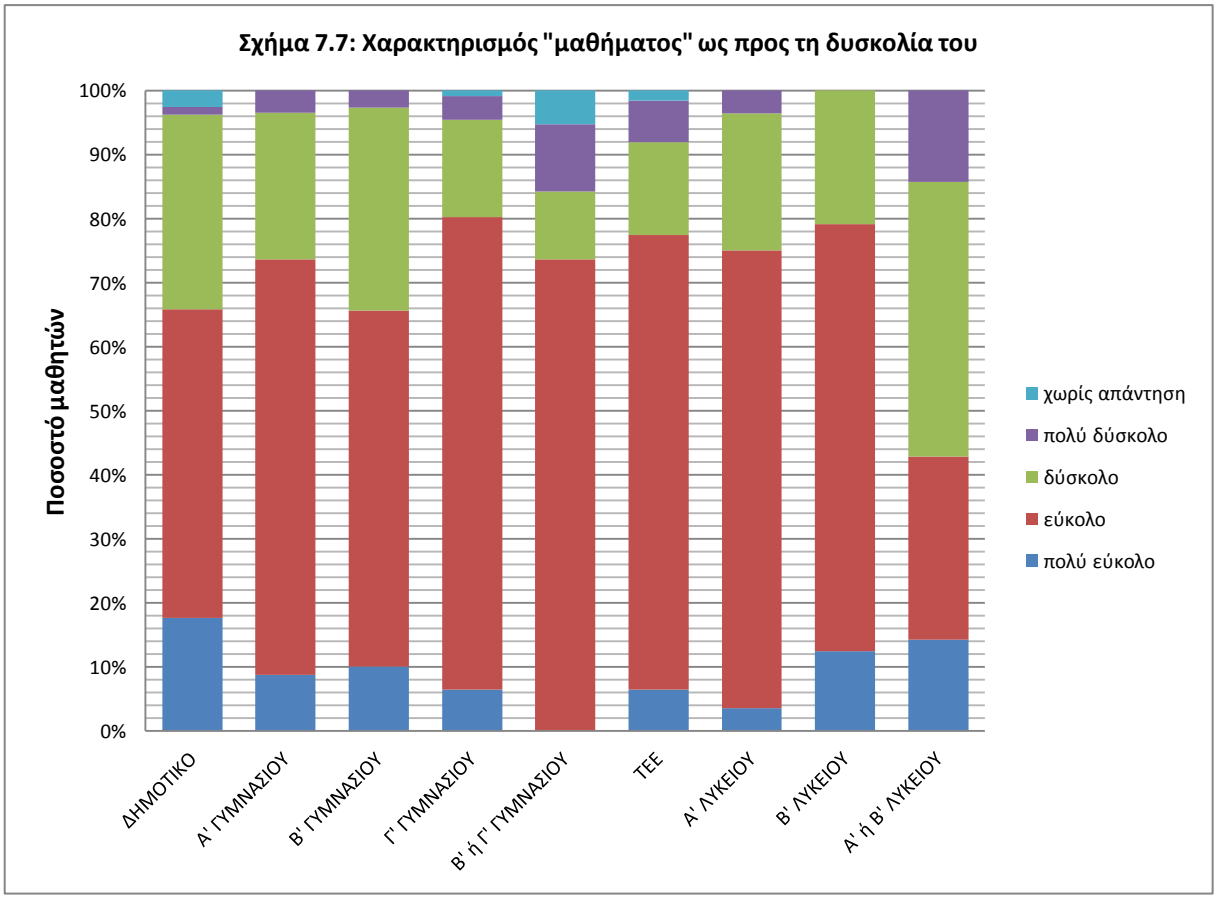
ήταν 86% για τους μαθητές της Γ' Γυμνασίου και 89% για τους μαθητές των τάξεων του Λυκείου και του ΤΕΕ. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τα αναλυτικότερα στοιχεία του *Πίνακα ΠV-1* του *Παραρτήματος V,* η πειραματική διάλεξη χαρακτηρίστηκε ως *ενδιαφέρουσα* ή *πολύ ενδιαφέρουσα* από το 89% των μαθητών της Τεχνικής Επαγγελματικής Εκπαίδευσης, από το 89% των μαθητών της Α' Λυκείου και από το 92% των μαθητών της Β' Λυκείου που την παρακολούθησαν.

Όπως αποκαλύπτουν τα στοιχεία του ίδιου πίνακα και του *Σχήματος 7.8,* η πειραματική διάλεξη φάνηκε *εύκολη* ή *πολύ εύκολη* στο 75% του συνόλου των μαθητών που την παρακολούθησαν. Αναλυτικότερα, όπως απεικονίζεται στο *Σχήμα 7.7* και στον *Πίνακα ΠV-1* του *Παραρτήματος V,* η απάντηση αυτή δόθηκε από το 66% των μαθητών της Ε' και Στ' Δημοτικού, το 74% των μαθητών της Α' Γυμνασίου, το 66% των μαθητών της Β' Γυμνασίου, το 80% των μαθητών της Γ' Γυμνασίου, το 77% των μαθητών της Τεχνικής Επαγγελματικής Εκπαίδευσης, το 75% και 79% των μαθητών των Α' και Β' τάξεων του Γενικού Λυκείου.

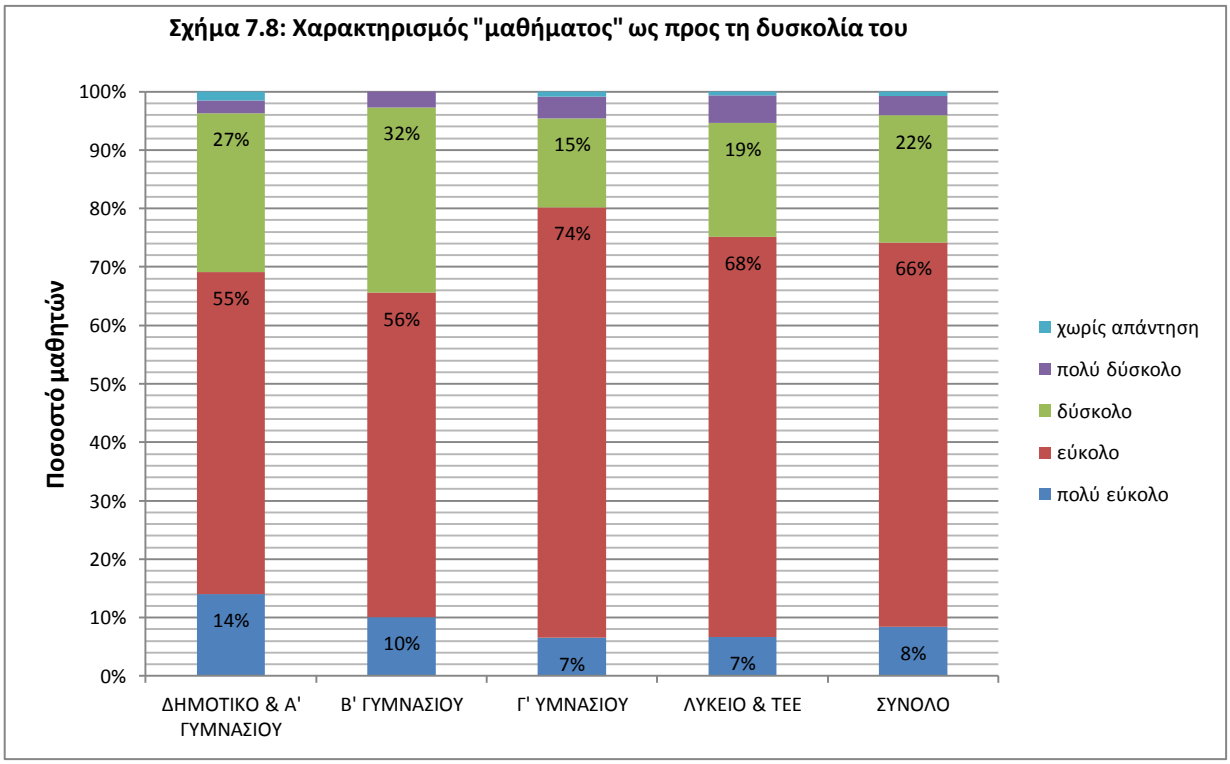
Τα παραπάνω αποτελέσματα φανερώνουν ότι **η πειραματική διάλεξη προσαρμόστηκε αποτελεσματικά στο επίπεδο επιστημονικού αλφαβητισμού των διαφορετικών ομάδων μαθητών που την παρακολούθησαν**. Ωστόσο, παρά το γενικό θετικό αποτέλεσμα, μας προβλημάτισαν τα σχετικά υψηλά ποσοστά των μαθητών της Β' Γυμνασίου και των τάξεων του Δημοτικού που θεώρησαν την πειραματική διάλεξη *δύσκολη*. Εκτιμούμε ότι το ποσοστό 32% των μαθητών της Β' Γυμνασίου που θεώρησαν την πειραματική διάλεξη δύσκολη οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο γεγονός ότι ομάδες μαθητών της Β' και Γ' Γυμνασίου έρχονταν συχνά μαζί στο Μουσείο και η πειραματική διάλεξη προσαρμοζόταν σε ένα ενδιάμεσο επίπεδο γνώσεων. Από την άλλη μεριά, το επίσης υψηλό ποσοστό των μαθητών του Δημοτικού που βρήκαν την πειραματική διάλεξη δύσκολη, το οποίο ανήλθε σε 30%, μας οδήγησε στο να ξανασκεφτούμε, αν η πειραματική διάλεξη θα έπρεπε να απευθύνεται στους μαθητές αυτούς. Ωστόσο, το γεγονός ότι η μερίδα αυτή των μαθητών έβρισκε, ταυτόχρονα, το «μάθημα» *ενδιαφέρον* ή *πολύ ενδιαφέρον* σε ποσοστό 96% μας κατεύθυνε στο να μην τους αποκλείσουμε από την παρακολούθηση της συγκεκριμένης παρουσίασης και, παράλληλα, στο να προσπαθήσουμε, σταδιακά, να προσαρμόσουμε το έντυπο υλικό σε ένα επίπεδο περισσότερο οικείο γι' αυτούς. Ταυτόχρονα, προσπαθήσαμε, μέσα από οργανωμένα σεμινάρια, να βοηθήσουμε τους δασκάλους να καθοδηγήσουν τους μαθητές στο να κατανοήσουν ότι η πειραματική διάλεξη είχε ως στόχο να τους κινήσει το ενδιαφέρον και να τους δημιουργήσει ερεθίσματα και απορίες που θα μπορούσαν να λυθούν αργότερα και σιγά-σιγά μέσα στην τάξη. Με αφορμή το ευρωπαϊκό πρόγραμμα εκπαίδευσης ενηλίκων, το οποίο ανέλαβε το Μουσείο κατά το ακαδημαϊκό έτος 2007-8[cxcv], έγινε προσαρμογή μέρους του έντυπου υλικού της πειραματικής διάλεξης σε επίπεδο επιστημονικού αλφαβητισμού που αντιστοιχεί στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση (βλ. *Παράρτημα VI, ενότητα 1*), όπως θα περιγραφεί σε επόμενη ενότητα (βλ. *ενότητα 7.7*). Ωστόσο, και πάλι, επειδή ο σχεδιασμός του συγκεκριμένου υλικού ανταποκρίνεται στις εμπειρίες και τα ενδιαφέροντα των

[cxcv] Αναφερόμαστε στο Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Εκπαιδευτικής Σύμπραξης Grundtvig, *Ανακαλύπτοντας την Επιστήμη ως Κουλτούρα διαμέσου των Ευρωπαϊκών Επιστημονικών Μουσείων*, αρ. 07-GRC01-GR04-00025-1.

ενηλίκων, θα το τροποποιούσαμε ξανά, εάν επρόκειτο να απευθυνθούμε στους μικρούς μαθητές.

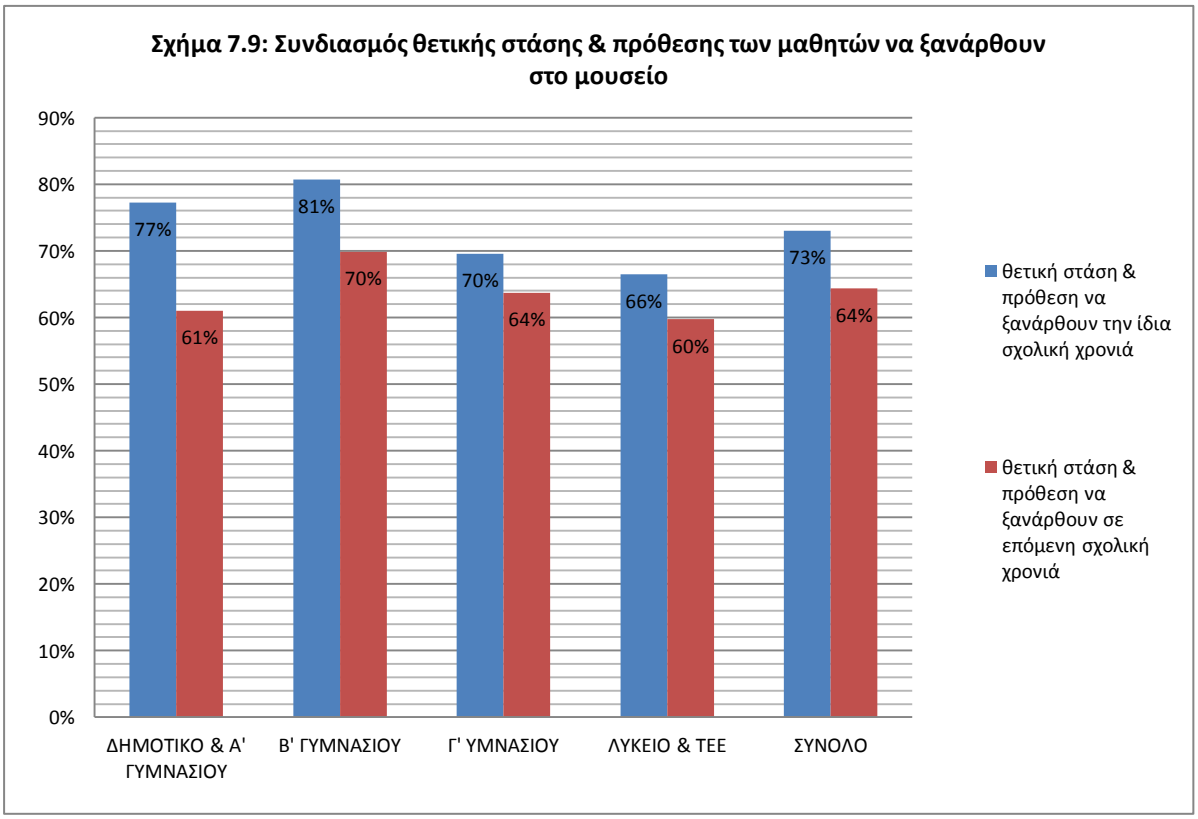


Πηγή: Πίνακας ΠΥ-1, Παράρτημα V.



Πηγή: Πίνακας ΠΥ-1, Παράρτημα V.

Προκειμένου να αποκτήσουμε ένα πιο σίγουρο κριτήριο σχετικά με τη στάση των μαθητών απέναντι στην πειραματική διάλεξη, ζητήσαμε από τους συμμετέχοντες να δηλώσουν *αν επιθυμούσαν να ξανάρθουν* στο Μουσείο κατά τη διάρκεια της *ίδιας*, είτε *επόμενης σχολικής χρονιάς*, για να παρακολουθήσουν παρόμοια παρουσίαση. Σύμφωνα με τα στοιχεία του *Πίνακα 7.16* και του *Σχήματος 7.9*, το ποσοστό του συνόλου των μαθητών που βρήκαν την πειραματική διάλεξη *ενδιαφέρουσα* ή *πολύ ενδιαφέρουσα* και *θα επιθυμούσαν να ξανάρθουν* κατά τη διάρκεια του *ίδιου*, είτε *επόμενου σχολικού έτους* ανήλθε σε 72% και 64% αντίστοιχα.



Πηγή: Πίνακας ΠV-1, Παράρτημα V.

Πιο αναλυτικά, όπως αποτυπώνεται στα στοιχεία του *Πίνακα ΠV-1* του *Παραρτήματος V*, το ποσοστό των μαθητών που βρήκαν την επιστημονική διάλεξη *ενδιαφέρουσα* ή *πολύ ενδιαφέρουσα* και ζήτησαν *να έρθουν στο Μουσείο ξανά* κατά την *ίδια σχολική χρονιά* κυμάνθηκε από 57% μέχρι 88% και βρέθηκε 72% για τους μαθητές της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης, 84% για τους μαθητές της Α' Γυμνασίου, 81% για τους μαθητές της Β' Γυμνασίου, 70% για τους μαθητές της Γ' Γυμνασίου, 73% για τους μαθητές της Τεχνικής Επαγγελματικής Εκπαίδευσης, 57% για τους μαθητές της Α' Λυκείου και 88% για τους μαθητές της Β' Λυκείου. Το ποσοστό των μαθητών που δήλωσαν ότι βρήκαν την πειραματική διάλεξη *ενδιαφέρουσα* ή *πολύ ενδιαφέρουσα* και ότι επιθυμούσαν *να ξανάρθουν στο Μουσείο* κατά τη διάρκεια *επόμενης σχολικής χρονιάς* κυμάνθηκε από 52% μέχρι 74%. Αναλυτικά, πήρε τις τιμές 52% για τους μαθητές της Ε' και Στ' Δημοτικού, 74% για τους μαθητές της Α' Γυμνασίου, 70% για τους μαθητές της Β' Γυμνασίου, 64% για τους μαθητές της Γ' Γυμνασίου, 63%

για τους μαθητές της Τεχνικής Επαγγελματικής Εκπαίδευσης, 59% για τους μαθητές της Α' Λυκείου και 63% για τους μαθητές της Β' Λυκείου. Το γεγονός ότι **η πλειονότητα των μαθητών όλων των σχολικών βαθμίδων και τύπων σχολείων εξέφρασε θετική στάση απέναντι στο «μάθημα» στο Μουσείο και ταυτόχρονα εκδήλωσε την επιθυμία να προγραμματίσει και επόμενη επίσκεψη στο Μουσείο** ήταν ιδιαίτερα ενθαρρυντικό για εμάς και αποτέλεσε επιβεβαίωση της αρχικής μας διαπίστωσης, ότι η πειραματική διάλεξη αντιμετωπίστηκε πολύ θετικά από το μαθητικό κοινό.

Όσον αφορά στην ανοιχτού τύπου ερώτηση *τι τους άρεσε περισσότερο*, ποσοστό 17% του συνόλου των μαθητών απάντησαν «*τα πειράματα γενικά»*, ενώ ποσοστό 31% των μαθητών έδωσαν περισσότερο εξειδικευμένη απάντηση. Πιο συγκεκριμένα, το 17% των μαθητών δήλωσαν ότι εντυπωσιάστηκαν περισσότερο από τις *παράξενες αστραπές*, το 3% από το *χρώμα του ουρανού*, το 2% από *τα πειράματα με την αντλία κενού*, το 2% από την *ελεύθερη πτώση*, το 2% από το *νερό στο κενό*, το 2% από το *μαγικό φούσκωμα μπαλονιού*, το 1% από τη φ*λόγα στο κενό*, το 1% από τον *ήχο στο κενό*, το 1% από τα πειράματα της *άνωσης*. Παράλληλα, ποσοστό 4% του συνόλου των μαθητών δήλωσαν ότι τους άρεσε περισσότερο *η αφήγηση* και *το οπτικοακουστικό μέρος* της πειραματικής διάλεξης και περισσότερο συγκεκριμένα τα video και οι εικόνες, οι πληροφορίες σχετικά με τις απόψεις των επιστημόνων, οι εξηγήσεις και οι συζητήσεις. Το υπόλοιπο μαθητικό κοινό περιορίστηκε σε γενικές απαντήσεις. Συγκεκριμένα, ποσοστό 24% αυτών απάντησαν ότι η πειραματική διάλεξη *τους άρεσε γενικά* και 6% ότι *δεν τους άρεσε* η παρουσίαση. Τέλος, ποσοστό 18% των μαθητών *δεν απάντησαν* στη συγκεκριμένη ερώτηση.

Προσπαθώντας να εντοπίσουμε τα στοιχεία που οι μαθητές βρήκαν *κουραστικά ή βαρετά*, συγκεντρώσαμε τις απαντήσεις στην αντίστοιχη ανοιχτού τύπου ερώτηση. Σύμφωνα με αυτές, για το 58% των μαθητών δεν υπήρχε τίποτα βαρετό ή κουραστικό. Για ποσοστό 10% υπήρχαν στοιχεία που τους κούρασαν ή τους έκαναν να βαρεθούν, τα οποία ωστόσο δεν τα προσδιόρισαν. Από το 13% των μαθητών που ονόμασαν τα στοιχεία αυτά το 4% βρήκε κουραστική *την ομιλία, τις ερωτήσεις, τη συζήτηση, την παρουσίαση θεωριών και εξηγήσεων*, το 3% βρήκε κουραστικά κάποια από τα *πειράματα*[cxcvi], το 2% βρήκε κουραστική ή βαρετή τη διαδικασία *συμπλήρωσης των ερωτηματολογίων*[cxcvii], το 1% βρήκε κουραστική την *οπτικοακουστική παρουσίαση*, το 1% βρήκε κουραστική την *έλλειψη διαλείμματος*, το 1% θεώρησε την παρουσίαση πολύ *μεγάλη*. Τέλος, το 19% των μαθητών δεν απάντησε στη συγκεκριμένη ερώτηση.

Στο ερώτημα *αν είχαν κάτι να προτείνουν*, το 28% των μαθητών απάντησε ότι η όλη παρουσίαση τους άρεσε και δεν είχαν κάτι να προτείνουν. Το 1% σημείωσε ότι η όλη παρουσίαση τους άρεσε και ότι είχαν κάτι να προτείνουν, αλλά αυτό το κάτι δεν διευκρινιζόταν περισσότερο. Το 3% πρότεινε να γίνονται *περισσότερα πειράματα*, το 1% ζήτησε *πιο πλούσια συμμετοχή των μαθητών*, το 2% πρότεινε

[cxcvi] Ανάμεσα στα τα πειράματα τα οποία δέχθηκαν τα περισσότερο αρνητικά σχόλια ήταν το πείραμα της *ελεύθερης πτώσης*, το *πείραμα τουTorricelli* και τα πειράματα *της άνωσης*.

[cxcvii] Οι μαθητές αναφέρονται κυρίως στα ερωτηματολόγια του εισαγωγικού παιχνιδιού και σύνοψης του περιεχομένου (βλ. *1η* και *2η Συζήτηση* στο *βιβλίο μαθητή*), που συνολικά καταλάμβαναν δεκαπέντε με είκοσι λεπτά του συνολικού χρόνου της παρουσίασης.

την *ανάπτυξη και νέων πειραματικών διαλέξεων* πάνω σε άλλα θέματα, το 1% πρότεινε θέματα για την ανάπτυξη μελλοντικών πειραματικών διαλέξεων, το 3% πρότεινε *να επαναληφθεί η επίσκεψη* στο Μουσείο, το 2% πρότεινε το Μουσείο να αποτελέσει χώρο συχνότερων επισκέψεων. 2% των μαθητών εξέφρασαν την ευχή *να υπάρξουν ανάλογες παρουσιάσεις* και σε άλλα σχολεία, σε άλλες πόλεις ή, επίσης, το να έρθουν στο Μουσείο και άλλοι μαθητές. 1% πρότειναν *μεγαλύτερης διάρκειας επισκέψεις* στο Μουσείο, 2% πρότειναν *πιο σύγχρονο περιβάλλον παρουσίασης*, αναφέροντας, συγκεκριμένα, ότι θα επιθυμούσαν καλύτερο ήχο, μεγαλύτερη οθόνη προβολής, 1% πρότειναν να υπάρχει *διάλειμμα*. Παράλληλα, 3% των μαθητών δήλωσαν ότι η όλη παρουσίαση δεν τους άρεσε και ότι δεν είχαν τίποτε να προτείνουν. Τέλος, ποσοστό 51% των μαθητών δεν απάντησε στη συγκεκριμένη ερώτηση.

Σχολιάζοντας καταρχήν τις θετικές από τις παραπάνω απαντήσεις, θεωρούμε αξιοσημείωτο το γεγονός ότι, από όλα τα πειράματα, οι μαθητές εντυπωσιάστηκαν περισσότερο από τις *παράξενες αστραπές*. Παρόλο που στην απάντηση αυτή σίγουρα συνεισέφερε το γεγονός ότι το πείραμα είναι ιδιαίτερα θεαματικό, θεωρούμε ότι την επηρέασε, επίσης, το ότι το αντίστοιχο θέμα δεν θίγεται σε κανένα από τα διδακτικά εγχειρίδια της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Η ίδια παρατήρηση ισχύει και για το δεύτερο ─ στις προτιμήσεις των μαθητών ─ πείραμα, το *χρώμα του ουρανού*, που, επίσης, λείπει από τα διδακτικά εγχειρίδια των τάξεων που παρακολούθησαν την πειραματική διάλεξη. Η παραπάνω υπόθεση ενισχύεται από το γεγονός ότι κανένα από τα *απροσδόκητα* πειράματα δεν αναφέρθηκε ως βαρετό. Αντίθετα, ως τέτοια, χαρακτηρίστηκαν από μικρό ποσοστό μαθητών τα πειράματα εκείνα για τα οποία υπάρχουν συχνές αναφορές στα σχολικά εγχειρίδια, όπως το *πείραμα της ελεύθερης πτώσης*, το πείραμα του *Torricelli* και τα *πειράματα της άνωσης*.

Οι απαντήσεις που συλλέξαμε μας οδήγησαν να δούμε ότι τα επιστημονικά όργανα κινητοποιούν τις αισθήσεις με έναν τρόπο που κανένα οπτικοακουστικό μέσο δεν μπορεί να συναγωνιστεί. Η παρατήρηση σε προσωπικό χρόνο, η εμπειρία του ήχου, της αφής, τα απροσδόκητα συμβάντα, τα σχόλια των διπλανών κάνουν το *θέατρο του πειράματος* πολύ πιο πλούσια εμπειρία από την *κινηματογραφική του παρουσίαση*. Εδώ, δεν μπορούμε παρά να θυμηθούμε και να επιβεβαιώσουμε το θέμα που πολλαπλά θίξαμε στο πρώτο μέρος της παρούσας εργασίας, σχετικά με τη φύση των επιστημονικών οργάνων, που είναι να δημιουργούν γεγονότα, ενώ, παράλληλα, να ενσωματώνουν την έννοια του κοινού (βλ. *ενότητα 1.3*). Τα χαρακτηριστικά αυτά φαίνονται εντονότερα, όταν χρησιμοποιούμε ιστορικά επιστημονικά όργανα επίδειξης (demonstration instruments), για τα οποία, τόσο η γοητεία του κοινού, όσο και η ευκρίνεια των επιστημονικών αρχών που ενσωματώνουν ήταν ανάμεσα στις βασικές παραμέτρους του σχεδιασμού τους (Brenni 2008[48]). Επίσης, η προτίμηση των μαθητών για τα πειράματα φωτίζει το γεγονός ότι, καθώς αυτά απευθύνονται στην εμπειρία και την αίσθηση, έχουν τη δυνατότητα να εμπλέκουν μεγαλύτερο φάσμα κοινού απ' ότι μια συζήτηση που έχει τη δυνατότητα να κινητοποιεί, περισσότερο, τα άτομα που είναι διανοητικά προσανατολισμένα.

Στο σημείο αυτό, ωστόσο, θα θέλαμε να επισημάνουμε, ότι, παρόλο που μικρό ποσοστό των

μαθητών δήλωσε ότι γοητεύτηκε από την οπτικοακουστική παρουσίαση και την αφήγηση, δεν μπορούμε να αγνοήσουμε το γεγονός ότι η εκτέλεση των πειραμάτων στο πλαίσιο του σκηνοθετημένου «μαθήματος» δεν έχει καμία σχέση με την πραγματοποίηση των πειραμάτων στο πλαίσιο της τυπικής διδασκαλίας. Μέσα στο περιβάλλον της συνηθισμένης σχολικής τάξης, τα πειράματα σπάνια καταφέρουν να συγκεντρώσουν την προσοχή και το ενδιαφέρον της πλειονότητας των μαθητών. Έτσι, παρόλο που οι μαθητές δεν ήταν σε θέση να το επισημάνουν, θεωρούμε ότι η αφήγηση και η οπτικοακουστική παρουσίαση σε συνδυασμό με τον επιστημολογικού τύπου προβληματισμό που αναπτύξαμε γύρω από τα πειράματα, μπόρεσε να τα αναδείξει ως *γεγονότα*, προσθέτοντάς τους διαστάσεις που λείπουν από τη σημερινή τυπική διδασκαλία, η οποία τα υποβιβάζει σε *πεντάλεπτες διαδικασίες παρατήρησης* για τους μαθητές. Επίσης, θεωρούμε ότι το γεγονός ότι τα πειράματα «άρεσαν» δεν ήταν ανεξάρτητο από το ότι επιδιώξαμε να προκαλέσουμε το εξερευνητικό ενδιαφέρον του κοινού, προβάλλοντας τον εξερευνητικό χαρακτήρα ορισμένων ιστορικών πειραμάτων. Με την επιλογή μας αυτή προσπαθήσαμε να δείξουμε, τόσο στους μαθητές, όσο και στους διδάσκοντες, ότι η *επιστημονική απορία* αποτελεί κινητήριο μοχλό της επιστημονικής έρευνας και, ως τέτοια, θα έπρεπε να συνιστά σοβαρά *επιδιωκόμενο στοιχείο* της επιστημονικής εκπαίδευσης.

Από την άλλη μεριά, η εμπειρία[cxcviii] μας έδειξε ότι η παρακολούθηση οπτικοακουστικής ή αφηγηματικού τύπου παρουσίασης, για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των δεκαπέντε λεπτών, είναι επίπονη για άτομα που παρουσιάζουν χαμηλή ικανότητα συγκέντρωσης. Έτσι, παρόλο που, κατευθυνόμενοι από τις αντιδράσεις του κοινού, επεξεργαζόμασταν τα επιμέρους στοιχεία – της αφήγησης, της χρήσης οπτικοακουστικών μέσων και των πειραμάτων – ώστε αυτά να εναλλάσσονται με τρόπο που η προσοχή του ακροατηρίου να διατηρείται τεταμένη, δεν μπορέσαμε να αποφύγουμε η μορφή της πειραματικής διάλεξης, που δώσαμε στην εκπαιδευτική μας παρέμβαση, να μην καταφέρει να λειτουργήσει εποικοδομητικά για κάποιο μικρό ποσοστό μαθητών, σε κάθε μια από τις διακριτές μερίδες κοινού του *Πίνακα 7.16*. Οι απαντήσεις που πρακτικά δώσαμε λαμβάνοντας υπόψη μας τις αρνητικές παρατηρήσεις των μαθητών ήταν δύο τύπων. Καταρχήν, εμπλουτίσαμε όσο μπορούσαμε την παρουσίαση με βιωματικά στοιχεία, ελαφρώνοντας το μέρος της που αφορούσε εικονική περιγραφή πειραμάτων και συσκευών. Ταυτόχρονα, προσανατολιστήκαμε προς την οργάνωση εναλλακτικού εκπαιδευτικού προγράμματος, με βιωματικό χαρακτήρα, συνθέτοντας την αντίστοιχη «διαδρομή εξερεύνησης» (βλ. *ενότητα 7.7*).

Ωστόσο, επειδή δεν θα θέλαμε να υποτιμηθεί η αξία της συγκεκριμένης μορφής που δώσαμε στη διδακτική μας πρόταση, αυτή της πειραματικής διάλεξης, θα θέλαμε, στο σημείο αυτό, να συμπληρώσουμε την πληροφόρηση που αποτυπώνουν τα ερωτηματολόγια, μεταφέροντας μια «εικόνα της ατμόσφαιρας» που συχνά δημιουργούταν. Αναφερόμαστε στη μοναδική εμπειρία που είχαμε, όταν

[cxcviii] Αναφερόμαστε κυρίως στην εμπειρία που είχαμε από την παρουσίασης της πειραματικής διάλεξης πάνω στην Αστρονομία στους μαθητές του Σχολείου Δεύτερης Ευκαιρίας Χίου, που έγινε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2006-7, στο πλαίσιο του σχεδιασμού της πρότασης του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Grundtvig.

νοιώθαμε μαθητικό ακροατήριο μεγαλύτερο των πενήντα ατόμων να παρακολουθεί απορροφημένο και να σέβεται τη διαδικασία. Σε πολύ μεγάλο βαθμό, το «μάθημα» στο Μουσείο κατάφερνε να παρασύρει τους επισκέπτες, οι οποίοι δεν ένοιωθαν την ανάγκη να διακόψουν και να καταστρέψουν τη ροή της παρουσίασης– κάτι που συχνά χαρακτηρίζει το κλίμα, όχι μόνο των σχολικών μαθημάτων, αλλά και πολλών σχολικών εκδηλώσεων. Το γεγονός ότι το σκηνοθετημένο αυτό «μάθημα» είχε την πρόθεση να δημιουργήσει ένα διαφορετικό πλαίσιο από το πλαίσιο της τυπικής διδασκαλίας, φροντίζαμε να δηλώνεται μέσα από λεπτομέρειες που αφορούσαν στα ερεθίσματα που έπαιρναν οι μαθητές, όταν έμπαιναν στο χώρο της παρουσίασης, ανάμεσα στα οποία ήταν η μουσική, η εικόνα, ο φωτισμός, τα όργανα του μουσείου, οι εικόνες στο εξώφυλλο του έντυπου υλικού, το εισαγωγικό παιχνίδι ερωτήσεων... Όλα αυτά ξεκαθάριζαν ότι τους καλούσαμε να μεταφερθούν σε έναν νοητικό χώρο που ζητούσε την έντονη κινητοποίηση της φαντασίας και των αισθήσεων. Το γεγονός ότι με όλα αυτά τα μέσα καταφέρναμε να πετύχουμε υψηλό βαθμό συγκέντρωσης και προσοχής από το ακροατήριο αποτέλεσε τον λόγο για τον οποίο συχνά αποφεύγαμε το διάλειμμα πριν την ολοκλήρωση της πειραματικής διάλεξης, παρόλο που η διάρκειά της υπερέβαινε τη μια σχολική ώρα. Όταν τελικά αποφασίζαμε να επιτρέψουμε το διάλειμμα, φροντίζαμε να μην συμπίπτει με το διάλειμμα του σχολείου, που λειτουργούσε στο ίδιο κτίριο, για να διαταράξουμε, όσο το δυνατόν λιγότερο, τον φαντασιακό χώρο στον οποίο προκαλούσαμε σε περιπλάνηση τους μαθητές.

Ανάμεσα στα στοιχεία που οι μαθητές χαρακτήρισαν ως κουραστικά ή βαρετά ήταν η συμπλήρωση ερωτήσεων. Είναι αλήθεια ότι τα σχόλια αυτά μας προβλημάτισαν κάτω από το πρίσμα ότι η συμπλήρωση ερωτηματολογίων και ειδικά του ερωτηματολογίου παρακολούθησης ενέτεινε τον καθοδηγούμενο χαρακτήρα της διδακτικής μας παρέμβασης, περιορίζοντας την ελευθερία που ένοιωθαν οι επισκέπτες. Παρόλα αυτά αποφασίσαμε να διατηρήσουμε αυτή τη δραστηριότητα για δύο λόγους. Ο πρώτος ήταν ότι ο βαθμός και ο τρόπος συμπλήρωσης των ερωτηματολογίων παρακολούθησης αποτελούσε πληροφορία για το κατά πόσο το περιεχόμενο της παρουσίασης ήταν εύληπτο. Ο δεύτερος λόγος ήταν ότι θέλαμε οι μαθητές να έχουν, μετά την παρακολούθηση της παρουσίασης της πειραματικής διάλεξης, μια σύνοψη του περιεχομένου της και θεωρήσαμε ότι θα ήταν πιο εποικοδομητικό αν στη δημιουργία της σύνοψης αυτής είχαν συμβάλλει και οι ίδιοι.

Τέλος, από τις προτάσεις που έκαναν οι μαθητές στα ερωτηματολόγια στάσης, λάβαμε σοβαρά υπόψη μας τις επιθυμίες που εξέφραζαν σχετικά με την παραγωγή νέων εκπαιδευτικών προγραμμάτων και ακολουθήσαμε πολλές από τις κατευθύνσεις που υποδεικνύονταν.

7.5.3. Ελέγχοντας το βαθμό παρακολούθησης της πειραματικής διάλεξης

Όπως προαναφέρθηκε, ως εργαλείο για τη μέτρηση της δυσκολίας παρακολούθησης του περιεχομένου της πειραματικής διάλεξης, χρησιμοποιήσαμε τα *ερωτηματολόγια παρακολούθησης* που δόθηκαν στους μαθητές με τη μορφή της *2ης Συζήτησης* στο *βιβλίο μαθητή* (βλ. *Παράρτημα IV, ενότητα 2*).

Σύμφωνα με τα στοιχεία του *Πίνακα ΠV-2* του *Παραρτήματος V,* ο *μέσος όρος του βαθμού συμπλήρωσης* των διαφορετικών ερωτήσεων του *ερωτηματολογίου παρακολούθησης* κυμαίνεται από

59% μέχρι 100%. Η *ελάχιστη τιμή* του 59%, που παρατηρείται, αντιστοιχεί στην *ερώτηση 17*, όπως απαντήθηκε από τους μαθητές του Γενικού Λυκείου ή ΤΕΕ, ενώ η *μέγιστη τιμή* του 100% αντιστοιχεί στις *ερωτήσεις 1,4,9 και 13*, όπως αυτές απαντήθηκαν από τους μαθητές της Α' Γυμνασίου. Ο *μέσος όρος των 23 μέσων όρων των βαθμών συμπλήρωσης διαφορετικών ερωτήσεων* κυμαίνεται από 75% μέχρι 93% στις διάφορες σχολικές τάξεις, λαμβάνοντας τις τιμές 88% στις Ε' και Στ' Δημοτικού, 93% στην Α' Γυμνασίου, 91% στη Β' Γυμνασίου, 84% στη Γ' Γυμνασίου, 75% στις τάξεις Λυκείου και ΤΕΕ, και 85% για το σύνολο των μαθητών όλων των σχολικών τάξεων. Σύμφωνα με τα στοιχεία του *Πίνακα 7.17, ο βαθμός συμπλήρωσης του συνολικού ερωτηματολογίου* κυμαίνεται από 75% μέχρι 92% στις διαφορετικές βαθμίδες και λαμβάνει την τιμή του 86% για το σύνολο των μαθητών.

Πίνακας 7.17: Εκτιμώντας το βαθμό παρακολούθησης της πειραματικής διάλεξης

εκπαιδευτική βαθμίδα	αριθμός επισκεπτών	περίοδος κατά την οποία πραγματοποιήθηκε η επίσκεψη στο Μουσείο	Βαθμός συμπλήρωσης του συνόλου των ερωτήσεων του ερωτηματολογίου			Βαθμός συμπλήρωσης της κάθε μιας από τις 23 διαφορετικές ερωτήσεις του ερωτηματολογίου Εύρος τιμών		
			αριθμός ερωτήσεων	Βαθμός συμπλήρω-σης του ερωτηματο-λογίου	τυπική απόκλιση	ελάχιστη τιμή	μέγιστη τιμή	μέσος όρος
Ε' & Στ' Δημοτικού	79	24/11/2006 μέχρι 1/12/2006	1598	88,22	25,93	72,85	98,10	87,94
Α' Γυμνασίου	64	25/11/2004 μέχρι 11/4/2005	1095	91,90	23,79	71,88	100,00	93,30
Β' Γυμνασίου	368	19/11/2004 μέχρι 12/10/2007	4557	90,52	25,60	76,51	97,95	90,53
Γ' Γυμνασίου	205	17-12-2004 μέχρι 30-5-2007	6993	85,42	31,28	71,41	96,56	84,28
Λύκειο & ΤΕΕ	143	24-2-2005 μέχρι 12-3-2007	3077	75,13	39,76	59,34	94,06	74,71
όλες οι τάξεις	859	25/11/2004 μέχρι 12/10/2007	17320	85,60	31,22	74,60	96,41	85,14

Πηγή: Επεξεργασία στοιχείων ερωτηματολογίων παρακολούθησης, Πίνακας ΠΙV-2 Παραρτήματος ΠΙVΙ

Σύμφωνα με τα στοιχεία του *Πίνακα 7.18*, το 82% των μαθητών συμπλήρωσε το ερωτηματολόγιο σε ποσοστό 75-100%, το 7% των μαθητών σε ποσοστό 25-75%, το 10% των μαθητών σε ποσοστό 0-20%. Οι μαθητές της Α' Γυμνασίου ήταν αυτοί που εμφάνισαν τα καλύτερα αποτελέσματα, καθώς το 89% αυτών συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο κατά 75-100%. Η μερίδα των μεγαλύτερων μαθητών, του Λυκείου και ΤΕΕ, φάνηκαν πολύ περισσότερο απρόθυμοι να συμπληρώσουν το *ερωτηματολόγιο παρακολούθησης*, καθώς το 20% αυτών συμπλήρωσε το ερωτηματολόγιο σε ποσοστό 0-20%.

Το γεγονός ότι το ποσοστό των μαθητών που συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο κατά 25-75% ήταν 10% στις τάξεις Ε' και Στ' Δημοτικού, και μικρότερο από 10% σε όλες τις υπόλοιπες σχολικές βαθμίδες, σε συνδυασμό με όλα τα προηγούμενα στοιχεία, αποτελεί ένδειξη του γεγονότος ότι **ο τρόπος με τον οποίο κατασκευάσαμε το ερωτηματολόγιο επέτρεπε στους μαθητές όλων των σχολικών τάξεων να το συμπληρώσουν, παρακολουθώντας την πειραματική διάλεξη**. Δείχνει, επίσης, ότι **το παρόν σχήμα της πειραματικής διάλεξης μπορούσε καλύτερα να απευθυνθεί στο**

κοινό των μαθητών του Γυμνασίου. Οι νεώτεροι μαθητές είχαν δυσκολίες στην παρακολούθηση της πειραματικής διάλεξης και στη συμπλήρωση των ερωτήσεων, ενώ πολλοί από τους μεγαλύτερους μαθητές δεν ανταποκρίθηκαν στη συμπλήρωση του ερωτηματολογίου επιδεικνύοντας μια μορφή απειθαρχίας ή έλλειψης ενδιαφέροντος.

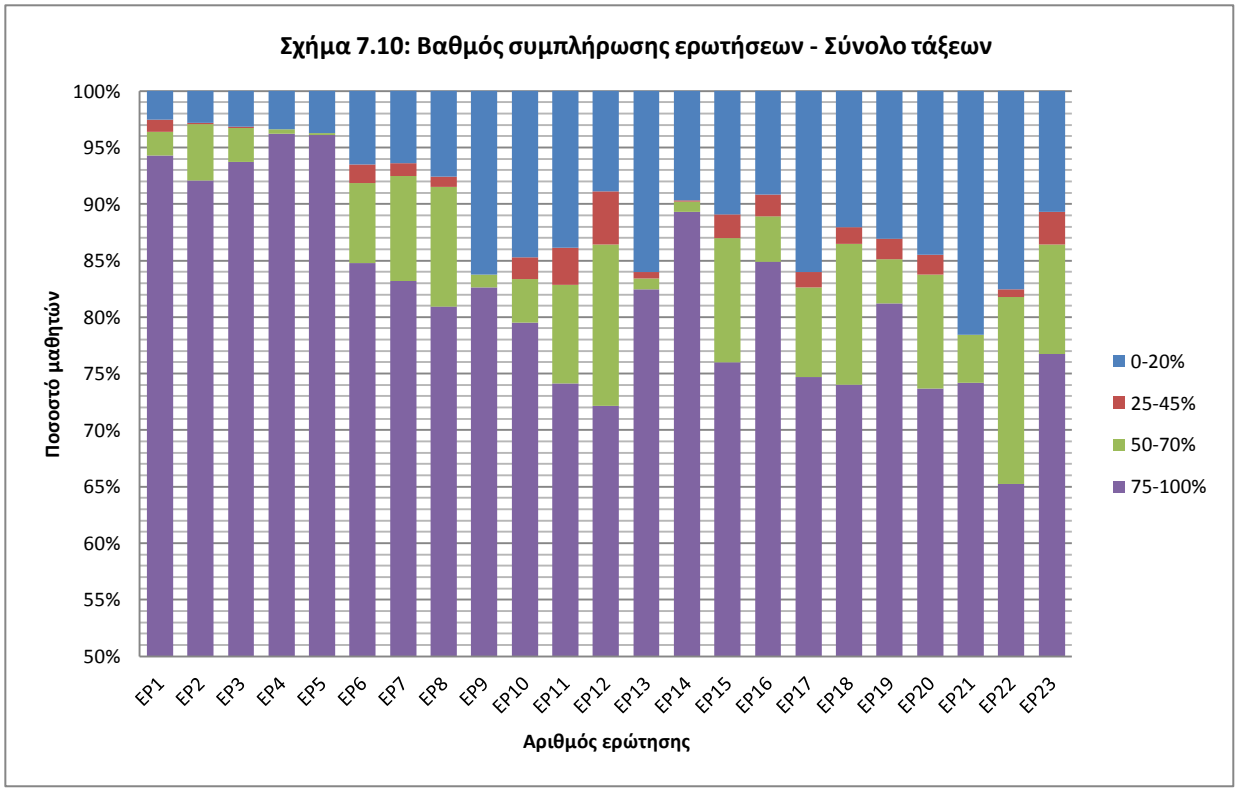
Παρατηρώντας τα δεδομένα του διαγράμματος του *Σχήματος 7.10 και του Πίνακα ΠV-3 του Παραρτήματος ΠV,* διαπιστώνουμε ότι, **με μια μόνο εξαίρεση, όλες οι ερωτήσεις του ερωτηματολογίου παρακολούθησης συμπληρώθηκαν σε βαθμό μεγαλύτερο του 75% από ποσοστό μεγαλύτερο από το 70% των μαθητών.** Η ερώτηση που παρουσίασε τον μικρότερο βαθμό συμπλήρωσης ήταν η ερώτηση με *αριθμό 22*, η οποία συμπληρώθηκε σε ποσοστό 75-100% από το 65% των μαθητών. Το ίδιο διάγραμμα δείχνει ότι οι ερωτήσεις 1-5 απαντήθηκαν σε μεγαλύτερο βαθμό, καθώς συμπληρώθηκαν κατά 75-100% από ποσοστό μεγαλύτερο από το 92% των μαθητών. Αποδίδουμε το αποτέλεσμα αυτό στο γεγονός ότι οι ερωτήσεις 1-5 ήταν πάντα οι πρώτες ερωτήσεις που ζητούσαμε από τους μαθητές να συμπληρώσουν, καθώς αποτελούσαν σύνοψη της πρώτης από τις υποενότητες που η διάλεξη περιελάμβανε. Έτσι, φαίνεται ότι, μετά τη συμπλήρωση της πέμπτης ερώτησης, το ακροατήριο ήταν λιγότερο πρόθυμο να συμπληρώνει το ερωτηματολόγιο.

Πίνακας 7.18: Βαθμός συμπλήρωσης του ερωτηματολογίου από τις διαφορετικές σχολικές βαθμίδες

Ποσοστό συμπλήρωσης του ερωτηματολογίου εύρος τιμών (%)	Ε' & Στ' Δημοτικού ερωτήσεις		Α' Γυμνασίου ερωτήσεις		Β' Γυμνασίου ερωτήσεις		Γ' Γυμνασίου ερωτήσεις		Λύκειο & ΤΕΕ ερωτήσεις		όλες οι σχολικές βαθμίδες ερωτήσεις	
	αριθμός	%	αριθμός	%	αριθμός	%	αριθμός	%	αριθμός	%	αριθμός	%
75-100	1351	85%	973	89%	4031	88%	5707	82%	2190	71%	14252	82%
50-75	119	7%	62	6%	208	5%	505	7%	210	7%	1104	6%
25-45	40	3%	5	0%	30	1%	77	1%	76	2%	228	1%
0-20	88	6%	55	5%	288	6%	704	10%	601	20%	1736	10%
0-100	1598	100%	1095	100%	4557	100%	6993	100%	3077	100%	17320	100%

Πηγή: Πίνακας ΠV-3 Παραρτήματος V.

Αναλυτικότερα στοιχεία σχετικά με τη συμπλήρωση, από διαφορετικές βαθμίδες της σχολικής εκπαίδευσης, τόσο των επιμέρους ερωτήσεων, όσο και του συνόλου των ερωτηματολογίων απεικονίζονται στον *Πίνακα ΠV-3* του *Παραρτήματος V.* Στον ίδιο πίνακα απεικονίζονται και τα θέματα που συστηματικά, σε ορισμένες μερίδες του κοινού, παραλείπονταν, όπως και οι ερωτήσεις που κατά περίπτωση δεν συμπληρώνονταν, είτε επειδή δεν υπήρχε χρόνος για τη συζήτησή τους, είτε επειδή η υποενότητα στην οποία αναφέρονταν είχε ελλείψει χρόνου παραλειφθεί.



Πηγή: Πίνακας ΠΙV-2 Παραρτήματος V.

Εδώ θα ήταν σκόπιμο να διευκρινίσουμε τον τρόπο με τον οποίο τα ερωτηματολόγια συμπληρώνονταν. Συνήθως, όταν ολοκληρωνόταν μια εκτενής ενότητα (όπως η ελεύθερη πτώση, ο βρασμός του νερού ή η άνωση) ή σειρά σύντομων ενοτήτων (όπως ο ήχος, η φλόγα και οι αστραπές στο κενό) ζητούσαμε από τους μαθητές να διαβάζουν δυνατά τις αντίστοιχες ερωτήσεις της *2ης Συζήτησης* στο *βιβλίο του μαθητή*, συμπληρώνοντας τις λέξεις που έλειπαν. Ο χρόνος που διατίθετο γι' αυτό ήταν περιορισμένος, οι απαντήσεις έπρεπε να ρέουν και να καταγράφονται αμέσως. Αυτό σήμαινε ότι ο μαθητής ή οι μαθητές που έδιναν τις απαντήσεις, γιατί συχνά η λέξη που έλειπε δινόταν από πολλά μέλη του ακροατηρίου ταυτόχρονα, έπρεπε να έχει παρακολουθήσει καλά την παρουσίαση και να του έχουν εντυπωθεί χαρακτηριστικές λέξεις, εκφράσεις και σχόλια που είχαν εκτεθεί κατά τη διάρκειά της. Επίσης, οι προτάσεις συμπλήρωσης έπρεπε να έχουν με τέτοιο τρόπο κατασκευαστεί, ώστε να οδηγούν εύκολα στην απάντηση. Για το σκοπό αυτό, φροντίσαμε κάποιες από τις προτάσεις να έχουν βιωματικό χαρακτήρα, άλλες να απαιτούν απλές λογικές συναγωγές, άλλες διατυπώσεις χαρακτηριστικών σχολίων που είχαμε φροντίσει να τονιστούν κατά τη διάρκεια της παρουσίασης. Παράλληλα, εκτός από τις παραπάνω ερωτήσεις υπήρχαν και περισσότερο περίπλοκες, που συνιστούσαν τη διάγνωση παραμέτρων διαφόρων φαινομένων, όπως *η ερώτηση 7*, ή τη διατύπωση εξηγήσεων.

Ανάμεσα στις διαπιστώσεις μας ήταν ότι η διατύπωση των ερωτήσεων ήταν καθοριστικής σημασίας ως προς τη δυνατότητα να συμπληρώνονται κάτω από τις συνθήκες που περιγράφτηκαν. Ο

τρόπος με τον οποίο, καθοδηγούμενοι από την εφαρμογή, επεξεργαστήκαμε το αρχικό ερωτηματολόγιο, τροποποιώντας το και συμπληρώνοντάς το, φαίνεται στο *Παράρτημα IV* (*αρχικό ερωτηματολόγιο παρακολούθησης*), όπου αντιπαραβάλλεται η πρώτη και η τελική μορφή του ερωτηματολογίου παρακολούθησης. Στην πρώτη μορφή του ερωτηματολογίου υπήρχαν ερωτήσεις, για τις οποίες δεν μπορούσε να υπάρξει άμεση απάντηση, καθώς απαιτούσαν υπολογισμούς ή βιβλιογραφική διερεύνηση.

Έτσι, η *ερώτηση 2*, που η απάντησή της απαιτούσε να ανατρέξουμε σε απόσπασμα του επισυναπτόμενου κειμένου του Γαλιλαίου (Γαλιλαίος, στον Holton & Brush 2002 σελ.107-109[300]), αφαιρέθηκε από το ερωτηματολόγιο και αντικαταστάθηκε από την εισήγηση δράσεων με γενικό τίτλο «*Μελετώντας τις επιστημονικές γραφές…*», που περιγράφονται στο *βιβλίο του μαθητή* (βλ. *Συζήτηση 3η, Θέμα 1ο*) ως προτεινόμενες να πραγματοποιηθούν μετά την επίσκεψη στο Μουσείο. Οι δράσεις αυτές αφορούν στην ενεργητική διερεύνηση του προαναφερόμενου κειμένου και στην οργάνωση σχετικού παιχνιδιού ρόλων.

Για τον ίδιο λόγο, οι *ερωτήσεις 8* και *9* του αρχικού ερωτηματολογίου που περιελάμβαναν υπολογισμούς και δεν μπορούσαν να λάβουν άμεση απάντηση μετατράπηκαν σε δραστηριότητες προτεινόμενες για μετά την επίσκεψη στο Μουσείο (βλ. *Θέμα 2ο*, *Συζήτηση 3η* στο *βιβλίο μαθητή*). Οι ερωτήσεις που αφαιρέθηκαν υποκαταστάθηκαν από τις *ερωτήσεις 7* και *22* (βλ. *Συζήτηση 2η στο βιβλίο μαθητή*), στις οποίες η απάντηση καθοδηγείται μέσα από διαδοχικά ερωτήματα τα οποία δεν απαιτούν χρόνο σκέψης.

Με τον ίδιο τρόπο, *η ερώτηση 13* στην *1η έκδοση* μετατράπηκε στην *ερώτηση 18* στη *2η έκδοση*, μετά από την παρατήρηση ότι οι μαθητές δυσκολεύονταν στη συμπλήρωση του τελευταίου κενού. Αλλάζοντας τη διατύπωση, καταφέραμε να βελτιώσουμε το βαθμό συμπλήρωσής της, μειώνοντας τη δυσκολία της και το χρόνο που χρειαζόταν για να απαντηθεί.

Μια δεύτερη διαπίστωση ήταν, ότι, παρά το γεγονός ότι η συμπλήρωση του ερωτηματολογίου δεν αποτύπωνε τη μοναχική προσπάθεια του κάθε μαθητή (με την έννοια ότι πριν τη συμπλήρωση της κάθε μιας από τις ερωτήσεις προηγούνταν σχετική συζήτηση η οποία κατέληγε στο να απαντηθεί ή σχεδόν να απαντηθεί η ερώτηση), λεπτομέρειες στη γραφή των απαντήσεων καθιστούσαν εύγλωττο τον τρόπο που οι μαθητές υποδέχονταν το αντίστοιχο περιεχόμενο της πειραματικής διάλεξης. Παρόλο που οι απαντήσεις συζητιώνταν ομαδικά, ο ρυθμός ήταν τέτοιος που, αν κάποιος μαθητής είχε αφαιρεθεί, δεν προλάβαινε να συμπληρώσει την ερώτηση ή την συμπλήρωνε με τρόπο που φαινόταν ότι δεν κατείχε το περιεχόμενό της. Από τα φωτογραφημένα ερωτηματολόγια που παρατίθενται στην *ενότητα 4* του *Παραρτήματος IV* φαίνεται, για παράδειγμα, ότι οι συγκεκριμένοι μαθητές δυσκολεύονται με τη χρήση της λέξης *σκέδαση*. Παρόμοια προβλήματα και στις απαντήσεις και άλλων μαθητών της συγκεκριμένης τάξης μας οδήγησαν στην προτίμηση της λέξης *αλληλεπίδραση*, αντί για τη λέξη *σκέδαση*, κατά τη διάρκεια της αφήγησης σε αυτό το επίπεδο επιστημονικού αλφαβητισμού.

7.5.4. Η γνώμη των καθηγητών

Για την αποτύπωση της στάσης των καθηγητών απέναντι στην πειραματική διάλεξη, χρησιμοποιήθηκε το ερωτηματολόγιο που επισυνάπτεται στο *Παράρτημα IV, ενότητα 1*. Σύμφωνα με τις απαντήσεις στα 46 ερωτηματολόγια που συμπλήρωσαν οι συνοδοί καθηγητές, οι οποίες συνοψίζονται στον *Πίνακα ΠV-4* του *Παραρτήματος V*, η πειραματική διάλεξη θεωρήθηκε *ενδιαφέρουσα* από ποσοστό 13% αυτών, *πολύ ενδιαφέρουσα* από ποσοστό 78% και *πάρα πολύ ενδιαφέρουσα* από ποσοστό 2%, ενώ ποσοστό 7% δεν απάντησε στην ερώτηση. Στο επόμενο ερώτημα, *εάν η πειραματική διάλεξη μπορούσε να κινητοποιήσει το ενδιαφέρον των μαθητών για τις φυσικές επιστήμες*, ποσοστό 91% των συνοδών καθηγητών απάντησε θετικά, ποσοστό 2% ─ που αντιστοιχεί σε έναν καθηγητή ─ απάντησε ότι η πειραματική διάλεξη μπορούσε μεν να ενθαρρύνει το ενδιαφέρον των μαθητών για τις φυσικές επιστήμες, αλλά ο ρυθμός της ήταν υπερβολικά γρήγορος, ενώ ποσοστό 7% δεν απάντησε στο συγκεκριμένο ερώτημα. Στην τρίτη ερώτηση, που αφορούσε στο *κατά πόσον οι καθηγητές βρήκαν επαρκή τα διδακτικά εργαλεία που αξιοποιήθηκαν*, το 71% του συνόλου απάντησε θετικά, ένας καθηγητής (ποσοστό 2%) πρότεινε περισσότερη ανάλυση των φαινομένων κατά τη διάρκεια της παρουσίασης, ένας δεύτερος (ποσοστό 2%) πρότεινε η αφήγηση να περιοριστεί και να περιέχει μόνο επεξηγήσεις των φαινομένων, ενώ ποσοστό 24% δεν απάντησαν στη συγκεκριμένη ερώτηση.

Στο επόμενο ερώτημα, *αν το περιεχόμενο της πειραματικής διάλεξης είχε σχέση με την ύλη της συγκεκριμένης τάξης*, το 46% των εκπαιδευτικών, οι οποίοι συνόδευαν τάξεις του Δημοτικού, της Β' και Γ' Γυμνασίου ή των Α' και Β΄ τάξεων του Λυκείου, απάντησαν θετικά. Τρεις καθηγητές (ποσοστό 7%), από τους οποίους ο πρώτος συνόδευε μαθητές της Α' Γυμνασίου και οι δύο άλλοι μαθητές της Β' Γυμνασίου, υποστήριξαν ότι το περιεχόμενο της πειραματικής διάλεξης είχε μερική μόνο σχέση με το αναλυτικό πρόγραμμα των συγκεκριμένων τάξεων. Ένας καθηγητής (ποσοστό 2%), ο οποίος συνόδευε μαθητές των Β' και Γ' τάξεων του Γυμνασίου, απάντησε ότι το περιεχόμενο της πειραματικής διάλεξης ήταν σχετικό μόνο με την ύλη της Γ' Γυμνασίου, τρεις καθηγητές (ποσοστό 7%), από τους οποίους ο πρώτος συνόδευε μαθητές της Β' Γυμνασίου, ο δεύτερος μαθητές της Γ' τάξης της Τεχνικής Επαγγελματικής Εκπαίδευσης της ειδικότητας Οικονομίας και Διοίκησης ο τρίτος μαθητές της Α' και Β' Λυκείου, απάντησαν ότι το περιεχόμενο της πειραματικής διάλεξης δεν ήταν σχετικό με την ύλη των αντίστοιχων τάξεων. Ποσοστό 11% του συνόλου των συνοδών καθηγητών δήλωσαν αδυναμία να απαντήσουν στο συγκεκριμένο ερώτημα, ως καθηγητές άλλων ειδικοτήτων (4 άτομα), ή επειδή δεν δίδασκαν στη συγκεκριμένη σχολική τάξη (1 απάντηση). Τέλος ποσοστό 28% του συνόλου των καθηγητών δεν απάντησαν στη συγκεκριμένη ερώτηση.

Στο ερώτημα *αν η πειραματική διάλεξη μπορούσε να εμπλουτίσει τις γνώσεις των μαθητών πάνω στις φυσικές επιστήμες*, το 87% του συνόλου των συνοδών εκπαιδευτικών απάντησε θετικά, ενώ το 13% δεν απάντησε. Στο ερώτημα *αν η πειραματική διάλεξη μπορούσε να χρησιμοποιηθεί, για να συνδέσει κεφάλαια της Φυσικής της Χημείας και της Τεχνολογίας*, το 69% των συμμετεχόντων απάντησε θετικά, ένας (ποσοστό 2%) απάντησε αρνητικά και ποσοστό 28% δεν απάντησε. Στο ερώτημα *αν η παρούσα πειραματική διάλεξη μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο συζήτησης στα*

μαθήματα Φυσικής, Χημείας και Τεχνολογίας, το 74% των συνοδών εκπαιδευτικών απάντησε θετικά και το 26% αυτών δεν απάντησε.

Στο ερώτημα *αν υπήρχε επιθυμία οι συνοδοί καθηγητές να έρθουν ξανά στο Μουσείο, προκειμένου να παρακολουθήσουν άλλη πειραματική διάλεξη*, το 39% του συνόλου των συνοδών εκπαιδευτικών απάντησε θετικά, και το 61% δεν απάντησε. Ζητώντας από τους εκπαιδευτικούς να διευκρινίσουν *ποια ενότητα θα ήθελαν να αποτελέσει το κέντρο νέων παρουσιάσεων στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού προγράμματος στο Μουσείο Φυσικής*, το 11% του συνόλου απάντησαν ότι θα επιθυμούσαν παρουσίαση πάνω στον ηλεκτρισμό, μαγνητισμό ή ηλεκτρομαγνητισμό, ένας (ποσοστό 2%) πάνω στη βαρύτητα, ένας (ποσοστό 2%) πάνω στην οπτική, ένας (ποσοστό 2%) πάνω στην ιστορία της επιστήμης, ενώ ποσοστό 80% δεν απάντησε στην ερώτηση.

Ζητώντας από τους συνοδούς εκπαιδευτικούς να καταγράψουν οποιαδήποτε *σχόλια* πάνω στο συγκεκριμένο εκπαιδευτικό πρόγραμμα, το 20% του συνόλου εξέφρασε *συγχαρητήρια*, ένας από αυτούς ζήτησε *συντομότερες παρουσιάσεις για τους μαθητές της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης*, ένας πρότεινε *να προηγείται η διδασκαλία των συγκεκριμένων ενοτήτων και πειραμάτων στο σχολείο* πριν την επίσκεψη στο Μουσείο, ένας πρότεινε *η παραγωγή του εκπαιδευτικού υλικού να μην ξεφεύγει από το αναλυτικό πρόγραμμα του σχολείου,* δύο πρότειναν την τροποποίηση του προγράμματος με τρόπο που να δίνει *μεγαλύτερη κινητικότητα στους μαθητές*, ενώ 67% δεν απάντησαν στο συγκεκριμένο ερώτημα.

Τα παραπάνω αποτελέσματα είναι ενδεικτικά τόσο της θετικής — πλην όμως όχι άκριτης στάσης — των συνοδών εκπαιδευτικών απέναντι στο εκπαιδευτικό πρόγραμμα. Εδώ, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η κύρια μέριμνα κατά τη διεξαγωγή του προγράμματος ήταν να διατηρηθεί η εκπαιδευτική λειτουργία, όσο το δυνατόν, αδιατάρακτη. Έτσι, το έργο της αξιολόγησης, παρόλο που δεν υποτιμήθηκε καθόλου ως διαδικασία, εφόσον ήταν λειτουργικό κομμάτι της δυναμικής του προγράμματος, έγινε με τρόπο που να στερεί όσο το δυνατό λιγότερο χρόνο από τους συμμετέχοντες. Παρόλο, λοιπόν που οι συνοδοί καθηγητές προσκαλούνταν να απαντήσουν στα ειδικά διαμορφωμένα ερωτηματολόγια, πολλές φορές αυτά δεν ήταν δυνατόν να απαντηθούν διεξοδικά, γιατί οι μαθητικές ομάδες έρχονταν από μακριά και είχαν προγράμματα πολύ πιεσμένα χρονικά. Πολλές φορές, τα σχόλια τα οποία δεν υπήρχε χρόνος να διατυπωθούν γραπτά στα ερωτηματολόγια, διατυπώνονταν προφορικά.

Το σίγουρο ήταν ότι το εκπαιδευτικό πρόγραμμα άρεσε, γιατί εντυπωσίαζαν, τόσο τα όργανα και τα πειράματα, όσο και το οπτικοακουστικό υλικό. Οι καθηγητές ήταν σε θέση να καταλάβουν τον πολλαπλάσιο κόπο που χρειαζόταν η όλη οργάνωση και προετοιμασία της πειραματικής διάλεξης σε σχέση με ένα απλό μάθημα. Επίσης, εντυπωσιάζονταν από την ίδια την προετοιμασία της επίσκεψης. Από την άλλη μεριά, είχαν τις αντιρρήσεις τους. Τα κριτικά σχόλια, ωστόσο, δεν ανέτρεπαν τη θετική τους στάση απέναντι στο πρόγραμμα. Είναι χαρακτηριστικό ότι ορισμένα από τα αυστηρότερα σχόλια του ερωτηματολογίου διατυπώθηκαν από καθηγητές οι οποίοι επέλεξαν να προγραμματίσουν και επόμενες επισκέψεις στο Μουσείο. Είναι, ακόμα, ενδεικτικό της θερμής υποδοχής της συγκεκριμένης

διδακτικής πρότασης, το πόσο εύκολα, τον πρώτο κιόλας χρόνο της εφαρμογής του, έγινε πόλος έλξης για εκπαιδευτικούς πέρα από τα όρια του νησιού.

Από την άλλη μεριά, είναι επίσης σαφές ότι το εκπαιδευτικό πρόγραμμα προέβαλλε μια νέα εκπαιδευτική κουλτούρα, σε σχέση με τον παραδεδομένο τρόπο διδασκαλίας των φυσικών επιστημών, η οποία συχνά ξένιζε τους παραδοσιακούς καθηγητές. Για κάποιους από αυτούς είχε μεγάλη σημασία το περιεχόμενο να είναι σύμφωνο με την ύλη του σχολείου και είχαν αμηχανία απέναντι στο υλικό που δεν περιλαμβανόταν στο σχολικό εγχειρίδιο. Συνηθισμένοι και από τη χρήση του παλαιού εργαστηρίου ως βοηθητικού στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών ήθελαν το «μάθημα» στο μουσείο να λειτουργεί επικουρικά στο δικό τους μάθημα, και όχι εναλλακτικά. Χαρακτηριστικό ήταν το παράδειγμα ενός καθηγητή, ο οποίος θορυβωδώς ζήτησε να παραλειφθεί άμεσα από το εισαγωγικό παιχνίδι ερωτήσεων η ερώτηση σχετικά με τις αστραπές, γιατί οι μαθητές δεν την ήξεραν!

7.6. Σχόλια και σημειώσεις

7.6.1. Σημείωση πάνω στην προετοιμασία και εξέλιξη της πειραματικής διάλεξης

Στο σημείο αυτό θεωρούμε σκόπιμο να προσθέσουμε λίγα σχόλια, προκειμένου να δώσουμε ένα στίγμα πάνω στον τρόπο με τον οποίο προετοιμάστηκε και εφαρμόστηκε η πειραματική διάλεξη.

Η προετοιμασία της άρχισε το φθινόπωρο του 2004, ενώ ήδη στο Μουσείο εφαρμοζόταν ως εκπαιδευτικό πρόγραμμα η πειραματική διάλεξη με τίτλο: «*Υλη και Φως*» (Πάπαρου 2003 σελ.150-172[34], Πάπαρου κ.ά. 2004α[18]).

Η εικόνα των αντλιών κενού έδωσε το έναυσμα, για να ετοιμάσουμε «κάτι πάνω στον αέρα». Με τη βοήθεια του Παράσχου Καλλίτση, η αντλία κενού μπήκε μπροστά μετά από περισσότερα από δεκαπέντε χρόνια παύσης της λειτουργίας της. Το λάδι μηχανής που βρέθηκε στο ντουλάπι του παλαιού εργαστηρίου – και το χρησιμοποιήσαμε, για να βελτιώσουμε την επίδοσή της – έδειχνε ότι η αντλία κενού αποτελούσε ενεργό εργαλείο της διδασκαλίας της φυσικής στο εργαστήριο του ιστορικού σχολείου. Τα πειράματα που αποτέλεσαν το περιεχόμενο της πειραματικής διάλεξης επινοήθηκαν σταδιακά, ως αποτελέσματα αναζητήσεων στην ιστορία της επιστήμης, επιρροών από την εξαιρετική ιστοσελίδα του *Institute and Museum of the History of Science in Florence* (σημερινό *Museo Galileo*) και από τα βιβλία πειραματικής διδασκαλίας της φυσικής που βρέθηκαν στα ράφια του εργαστηρίου. Τα πειράματα αυτά, τα οποία αξιοποιούσαν όργανα της συλλογής, βιντεοσκοπήθηκαν κατά τη διάρκεια του σχολικού έτους 2003-2004. Μετά από εντατική εργασία καθ' όλη τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2004, κατασκευάσαμε το εκπαιδευτικό λογισμικό. Η ευχάριστη έκπληξη, της ανακάλυψης του πειράματος με τη μαστίχα Χίου ανάμεσα στις σελίδες της *Φυσικής του Μάζη* (Μάζης 1960 σελ.261-262[336]), όπου προτείνεται για την επίδειξη του φαινομένου της σκέδασης, έδωσε την ευκαιρία να επιλεγεί η τελευταία ενότητα ως θέμα για το κλείσιμο της πειραματικής διάλεξης, τον Σεπτέμβριο του 2004.

Η εφαρμογή της πειραματικής διάλεξης άρχισε τον Νοέμβριο του 2004. Κατά τη διάρκεια των πρώτων δύο μηνών έγιναν διορθώσεις και παρεμβάσεις, τόσο στα ερωτηματολόγια, όσο και στη σκηνοθεσία των πειραμάτων και στα παιχνίδια με το κοινό. Η τελική μορφή του *βιβλίου του μαθητή* ήταν έτοιμη τον Φεβρουάριο του 2005, με αφορμή την πρώτη επίσκεψη σχολείου πέρα από τα όρια της Χίου. Κατά τη διάρκεια των ετών που ακολούθησαν, οι πειραματικές διαλέξεις οργανώθηκαν στη βάση της μεγαλύτερης ασφάλειας για τα όργανα του Μουσείου. Αυτό έγινε μέσα από την παραγγελία νέο-κατασκευασμένων οργάνων για την εκτέλεση πολλών από τα πειράματα μπροστά στο κοινό, η εκτέλεση των οποίων συνοδευόταν από την προβολή βιντεοσκοπημένων πειραμάτων που είχαν πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια των ιστορικών συσκευών.

Τα πειράματα διαδόθηκαν με μεγάλη ταχύτητα στο εκπαιδευτικό κοινό της Χίου, μέσα από το *Εργαστηριακό Κέντρο Φυσικών Επιστημών* που προσκλήθηκε στην παρακολούθηση της πειραματικής διάλεξης και μετά το τέλος της δανείστηκε μια από τις αντλίες κενού της νεώτερης συλλογής του Μουσείου για τη μελέτη και επίδειξη των πειραμάτων. Το όλο περιεχόμενο της πειραματικής διάλεξης

διαδόθηκε και μέσα από το σχετικό τμήμα της ιστοσελίδας του Μουσείου που προετοιμάστηκε από την υπογράφουσα κατά το σχολικό έτος 2005-2006 http://1gym-chiou.chi.sch.gr/aeras.htm (είσοδος 13-9-2011), όπως και μέσα από την παρουσίασή του σε πανελλήνια και διεθνή συνέδρια (Πάπαρου κ.ά. 2004β[19], Πάπαρου & Καλλίτσης 2005[23], Πάπαρου & Καραλιώτα 2007[24], Πάπαρου κ.ά. 2005[20], Paparou et al.2008b[27]).

Όπως θα αναπτυχθεί στην *ενότητα 7.7*, κατά τη διάρκεια του σχολικού έτους 2007-8, μέρος από το περιεχόμενο της πειραματικής διάλεξης μετατράπηκε σε «διαδρομή εξερεύνησης» του Μουσείου για ενήλικες μαθητές του Σχολείου Δεύτερης Ευκαιρίας Χίου, στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Grundtvig, *Ανακαλύπτοντας την Επιστήμη ως Κουλτούρα διαμέσου των Ευρωπαϊκών Επιστημονικών Μουσείων*, αρ. 07-GRC01-GR04-00025-1.

7.6.2. Σχόλιο σχετικά με τη σύνδεση των ενοτήτων και τη ροή της πειραματικής διάλεξης

Παρουσιάζοντας την πειραματική διάλεξη, είχαμε να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα της διοχέτευσης μέρους της συνολικής πληροφορίας που περιλαμβανόταν στο εκπαιδευτικό λογισμικό, ώστε ο χρόνος της συνολικής παρουσίασης, δηλαδή της αφήγησης μαζί με τα πειράματα, να μην ξεπερνά τα ογδόντα λεπτά. Ταυτόχρονα, το θέμα της σύνδεσης των ενοτήτων και του ρυθμού διαδοχής των επιμέρους στοιχείων της πειραματικής διάλεξης μελετήθηκαν ιδιαίτερα, με στόχο να κρατιέται αμείωτο το ενδιαφέρον του κοινού.

Επειδή το περιεχόμενο της πειραματικής διάλεξης ήταν αρκετά εκτενές, βρεθήκαμε μπροστά στο δίλημμα να αφαιρέσουμε ενότητες, ώστε ο χρόνος παρουσίασης να μειωθεί στη μία περίπου ώρα. Ωστόσο, επειδή όλες οι ενότητες μπορούσαν να συνεισφέρουν, ώστε να δοθεί η πολυδιάστατη επιρροή του αέρα στα φαινόμενα της καθημερινής ζωής, αποφασίσαμε τις διατηρήσουμε, έστω και αν κατά περίπτωση αυτές παραλείπονταν ή συζητιούνταν πολύ περιληπτικά. Στις περιπτώσεις που οι ακροατές ανήκαν σε τάξεις του Δημοτικού, για παράδειγμα, η αναφορά στο πείραμα του Torricelli και στην άνωση ήταν αυτές που κατά κανόνα γίνονταν πολύ περιληπτικά. Επίσης, υπήρχαν περιπτώσεις, που η παρουσίαση μπορούσε να γίνει τμηματικά, ανάλογα με την επιθυμία του συνοδού καθηγητή, και αυτό συνέβαινε ειδικά, όταν η μαθητική ομάδα προερχόταν από το ίδιο το *1ο Γυμνάσιο Χίου*.

Ένας ακόμη λόγος που μας έκανε να μην επέμβουμε ιδιαίτερα στο συνολικό περιεχόμενο της πειραματικής διάλεξης ήταν το γεγονός ότι συνειδητοποιήσαμε ότι για περισσότερους από έναν λόγους μας έδινε την αίσθηση της κυκλικής δομής. Έτσι, θίγοντας, αρχικά, ένα ή περισσότερα θέματα, βλέπαμε ότι μπορούσαμε μέσα από την ανάπτυξη του περιεχομένου να επιστρέψουμε αβίαστα σε αυτά, απαντώντας σε ανοιχτά ή έρποντα ερωτήματα που η παρουσίαση είχε δημιουργήσει στο κοινό. Συνειδητοποιήσαμε, επίσης, ότι τα στοιχεία που έδιναν αυτή την αίσθηση δεν ήταν μόνο νοητικά — δηλαδή θέματα προς συζήτηση — αλλά και εικαστικά ή καλλιτεχνικά. Έτσι, η εικόνα του αστροναύτη που βλέπει τη γη από το διάστημα, με την οποία η πειραματική διάλεξη αρχίζει, συναντιέται ξανά στο τέλος της, όταν αναφερόμαστε στο χρώμα του ουρανού. Η πρώτη ενότητα, που αναφέρεται στο πώς τα πράγματα πέφτουν στη γη, δημιουργεί ερωτηματικά που απαντιόνται στην

προτελευταία ενότητα, που αναφέρεται στην άνωση. Η διάλεξη ξεκινάει «εκτοξεύοντας τον θεατή στο διάστημα» μέσα από την ταύτιση του τελευταίου με τον αστροναύτη που παρατηρεί από εκεί την ατμόσφαιρα της γης, για να καταλήξει στην πολύ τοπική εικόνα της προσομοίωσης του ηλιοβασιλέματος μέσα σε ένα δοχείο με μαστίχα και νερό.

Επίσης, μέσα από την εφαρμογή της πειραματικής διάλεξης, συνειδητοποιήσαμε ότι, όπως οι μεταβάσεις από τον πάγκο του εργαστηρίου στην ιστορική επιστημονική σκηνή έδιναν ρυθμό στην παρουσίαση, έτσι έδιναν ρυθμό και συνοχή σε αυτή οι αναφορές σε θέματα του διαστήματος που γινόταν εκτενώς στις ενότητες *ελεύθερη πτώση*, *το κενό*, *ένα τεράστιο μπαλόνι*, *η εξαφάνιση της θάλασσας*, «*πόσο ζυγίζει;*», *το χρώμα του ουρανού*.

Τέλος, για λόγους καλύτερης ροής και συνοχής του περιεχομένου, η ενότητα με τίτλο *ένα τεράστιο μπαλόνι*, που αρχικά είχε επιλεγεί να παρουσιάζεται μετά τα πειράματα εξερεύνησης του ήχου και της φλόγας στο κενό, μεταφέρθηκε αμέσως μετά την παρουσίαση των ημισφαιρίων του Μαγδεμβούργου, για να δομηθεί καλύτερα η ιδέα της σχετικής πίεσης, μέσα από την αντίθεση των δύο πειραμάτων.

7.6.3. Τι έμαθαν τελικά οι επισκέπτες;

Ανάμεσα στα πράγματα που σίγουρα έμαθαν οι επισκέπτες είναι ότι υπάρχει μια ιστορία γύρω από κάθε θέμα που συζητιέται στο σχολικό βιβλίο φυσικής, ότι τολμώντας να κάνει κανείς απλές ερωτήσεις πάνω στα φυσικά φαινόμενα μπορεί να προσεγγίσει νήματα σκέψης της ιστορίας της επιστήμης ή και της ίδιας της επιστήμης, ότι οι επιστημονικές απορίες αποτελούν το εισιτήριο για την επιστημονική έρευνα, ότι τα επιστημονικά προβλήματα είναι θέματα που μπορούν να απασχολούν τους επιστήμονες για πολλά χρόνια και την επιστήμη για αιώνες, ότι οι επιστήμονες δεν συμφωνούν πάντα, ότι η εξέλιξη των πειραμάτων δεν είναι πάντα προβλέψιμη, ότι η πραγματικότητα που αποκαλύπτει ένα πείραμα μπορεί να είναι τελείως διαφορετική από αυτό που μπορεί να φανταζόμαστε, ότι δεν είναι πάντα απλό να εξηγήσει κανείς ένα πείραμα. Ακόμα, ότι έχει σημασία ένα πείραμα να το παρατηρούν περισσότερα από ένα άτομα, ότι ορισμένες φορές η όψη των πειραμάτων είναι πολύ ελκυστική, ότι τα «παράξενα» φαινόμενα αποτελούν πόλο έλξης, τόσο για εμάς, όσο και για την επιστημονική έρευνα. Κι ακόμα, ότι υπάρχουν πολλά φαινόμενα που συνδέονται με τον αέρα: το φως, οι ήχοι, οι φλόγες, το χρώμα του ουρανού, το πέταγμα των αεροπλάνων… κι ότι ο αέρας μας πιέζει…

Μέσα από τα παραπάνω στοιχεία, που θεωρούμε ότι έμειναν στο μυαλό ακόμα και του αδιάφορου επισκέπτη, δημιουργείται ένα πλαίσιο πάνω στο οποίο μπορούν να δομηθούν εκπαιδευτικά σενάρια πιο μεγάλης διάρκειας. Δεδομένου ότι στο πλαίσιο της πειραματικής διάλεξης δεν υπήρξε η δυνατότητα να ελεγχθεί κατά πόσον οι μαθητές κατέκτησαν γνωστικούς στόχους ή μετέβαλλαν τις αρχικές τους απόψεις, επιδιώξαμε η πειραματική διάλεξη να λειτουργήσει ως κίνητρο για περαιτέρω έρευνα μέσα στην τάξη ή έξω από αυτή. Έτσι, επιδιώχθηκε η πειραματική διάλεξη να χρησιμεύσει, για να αναδειχθεί το τοπίο των ιδεών των μαθητών και για να λειτουργήσει ως πηγή έμπνευσης και πληροφορίας για την περαιτέρω επεξεργασία των ιδεών αυτών από τους καθηγητές.

Όπως έχει αναφερθεί στις ενότητες που προηγήθηκαν, στην *ενότητα 8*, που ακολουθεί, αναπτύσσουμε μια σειρά από ιστορικά στοιχεία και σχόλια με βάση τα οποία προτείνουμε κατευθύνσεις για την οργάνωση μαθητοκεντρικών δραστηριοτήτων, με στόχο τη λεπτομερέστερη επεξεργασία του περιεχομένου της πειραματικής διάλεξης και την περαιτέρω εμβάθυνση σε θέματα φύσης της επιστήμης.

7.7. Μετατρέποντας την πειραματική διάλεξη σε διαδρομή εξερεύνησης

7.7.1. Το πλαίσιο

Όπως εκτέθηκε στην *ενότητα 6.3,* ανταποκρινόμενοι στις ανάγκες των ενηλίκων εκπαιδευομένων του *Σχολείου Δεύτερης Ευκαιρίας Χίου*, μετατρέψαμε, κατά τη διάρκεια της σχολικής χρονιάς 2007-8, μέρος του περιεχομένου των πειραματικών διαλέξεων σε «διαδρομές εξερεύνησης» μέσα στο χώρο του Μουσείου (Paparou 2009a[28]). Το περιεχόμενο της πειραματικής διάλεξης: «*Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;»* αξιοποιήθηκε για την κατασκευή της διαδρομής εξερεύνησης με τίτλο: *«Μελετώντας την ατμοσφαιρική πίεση».* Η διαδρομή αυτή αποτέλεσε την έναρξη των επισκέψεων των ενηλίκων εκπαιδευομένων του συγκεκριμένου σχολείου στο χώρο του Μουσείου. Η δράση εφαρμόστηκε στις 5/12/2007 και είχε διάρκεια μιας ώρας, περιλαμβάνοντας την εναλλαγή δραστηριοτήτων διαφορετικού τύπου (βλ. *ενότητα 7.7.2*) (Paparou et al.2008a[26]).

7.7.2. Ξενάγηση στη διαδρομή εξερεύνησης: «Μελετώντας την Ατμοσφαιρική Πίεση»

Προκειμένου να εμπλέξουμε άμεσα τους ενήλικες εκπαιδευόμενους στην εκπαιδευτική διαδικασία, εισαγάγαμε τη διαδρομή εξερεύνησης με τη βοήθεια της ερώτησης:

- *Υπάρχει κάποιος καλός υδραυλικός ανάμεσά σας;*

Αξιοποιώντας τη θετική απάντηση κάποιων ανάμεσα τους συμμετέχοντες, ρωτήσαμε, χρησιμοποιώντας το σκίτσο της *σελίδας 6* του φυλλαδίου παρακολούθησης (βλ. *Παράρτημα VI, ενότητα 1)*:

- *Τι νομίζετε, μπορείτε να βρείτε μια αναρροφητική αντλία νερού που να ανυψώνει το νερό σε ύψος μεγαλύτερο των είκοσι μέτρων;*

Με αφορμή τη θετική απάντηση των συμμετεχόντων, ανοίξαμε την αυλαία της ιστορίας της επιστήμης, για να αφηγηθούμε με τη βοήθεια του σχεδίου του Schott (Schott 1664 σελ.273[60]), που εικονίζει το πείραμα του Gaspar Berti (βλ. *ενότητες 7.4.2* & *8.2.3*), το ερώτημα για **το όριο στην ανυψωτική δύναμη των αντλιών** που συζητάει ο Γαλιλαίος στο βιβλίο του *Δύο Νέες Επιστήμες* (Galilei 1638/1954 1st day [59]-[67][299]). Με απλά λόγια εξηγήσαμε ότι σε μια εποχή που πολλοί πίστευαν ότι το κενό δεν μπορεί να υπάρξει, γιατί η φύση το αποστρέφεται και τείνει πάντα να το αναπληρώνει με ύλη, ο Γαλιλαίος ισχυρίζεται ότι η αντίσταση της φύσης στο κενό, ναι μεν υπάρχει, αλλά δεν είναι απεριόριστη. Εξηγήσαμε ότι, σύμφωνα με τον Γαλιλαίο, σε αυτήν οφείλεται το γεγονός ότι η αντλία μπορεί και ρουφάει το νερό, ενώ στο γεγονός ότι η αντίσταση αυτή δεν είναι άπειρη οφείλεται το γεγονός ότι ακόμη και η καλύτερη αντλία του κόσμου δεν μπορεί να ρουφήξει το νερό σε ύψος μεγαλύτερο από τα 11 περίπου μέτρα.

Αφήνοντας, στη συνέχεια, τους επισκέπτες να παρατηρήσουν το **πείραμα του Torricelli** με τη χρήση νερού, αντί για υδράργυρο, ρωτήσαμε:

- *Μήπως ξέρετε τι σημαίνει η έκφραση «η βαρομετρική πίεση είναι 760 χιλιοστά υδραργύρου»;*

Παράλληλα, τους ζητήσαμε **να εξερευνήσουν το σχέδιο** της *σελίδας 7* του φυλλαδίου παρακολούθησης, ενημερώνοντάς τους ότι σε όλους αυτούς τους σωλήνες ο υδράργυρος δεν μπορεί να ανέβει παραπάνω από τα 76 εκατοστά. Συνδέοντας το ερώτημα αυτό με την έκφραση της καθημερινής ζωής, που προηγήθηκε και αποδείχθηκε οικεία σε αρκετούς από τους συμμετέχοντες, τους ζητήσαμε να κοιτάξουν προσεκτικά το χώρο πάνω από τη στήλη του νερού και του υδραργύρου στα δύο πειράματα και ταυτόχρονα να παρατηρήσουν το σχέδιο της *σελίδας 8* του φυλλαδίου παρακολούθησης (*βλ.Παράρτημα VI ενότητα 1*). Εξηγήσαμε ότι στο σχέδιο αυτό περιγράφεται ένας πολύ έξυπνος τρόπος που οι επιστήμονες της *Accademia del Cimento* επινόησαν, για να επιβεβαιώσουν κάτι που ο Torricelli ισχυριζόταν εξηγώντας το πείραμά του, ότι ο χώρος στο πάνω μέρος του σωλήνα ήταν κενός. Οδηγώντας τους μπροστά στην ηλεκτρική αντλία κενού, που ο κώδωνάς της περιείχε ένα **μπαλονάκι** σφραγισμένο στο λαιμό και με λίγο αέρα στο εσωτερικό του, τους ζητήσαμε **να εξερευνήσουν τι θα συνέβαινε, αν έθεταν την αντλία σε λειτουργία**. Μετά την παρατήρηση του πειράματος, τους ζητήσαμε να επιστρέψουν στο σχέδιο της *σελίδας 8* και να περιγράψουν τι παριστάνει. Τους ζητήσαμε ακόμη να σκεφτούν «*γιατί φουσκώνει το μπαλόνι;*» ή αλλιώς «*τι το πιέζει;*».

Αντί για εξήγηση, προχωρήσαμε στην **εκτέλεση του πειράματος** των ημισφαιρίων του Μαγδεμβούργου (βλ. *σελίδα 3 φυλλαδίου*), διατυπώνοντας το **ερώτημα**:

- *Γιατί οι σφαίρες δεν ανοίγουν; Τι τις κρατάει κλειστές; Τι τις πιέζει;*

Καθοδηγήσαμε σιγά-σιγά τους συμμετέχοντες να φανταστούν ότι η αιτία των παραπάνω φαινομένων είναι ο αέρας, ο οποίος στην πρώτη περίπτωση πιέζει το μπαλόνι από μέσα, καθώς ο περιβάλλων αέρας αφαιρείται, ενώ στη δεύτερη πιέζει τα ημισφαίρια απ' έξω, όταν ο αέρας ανάμεσά τους αφαιρείται. Χρησιμοποιώντας, επιπλέον, ως νοητική εικόνα, **το παράδειγμα της βεντούζας που κολλάει στον τοίχο**, εξηγήσαμε ότι κι εκεί αιτία είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας, ο οποίος πιέζει τη βεντούζα εξωτερικά, όταν αυτή εφαρμόσει τέλεια στον τοίχο.

«**Πόσο, όμως, μας πιέζει ο αέρας**;» ήταν το επόμενο πείραμα που οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να εξερευνήσουν. Επαναλαμβάνοντας το πείραμα του Μαγδεμβούργου, τους ζητήσαμε να μετρήσουν πόση δύναμη έβαζαν, για να χωρίσουν τα ημισφαίρια, παρεμβάλλοντας ανάμεσα στο χέρι τους και τα ημισφαίρια ένα δυναμόμετρο, όπως υποδεικνύει η διάταξη που απεικονίζεται στη *σελίδα 4* του φυλλαδίου.

Επιστρέφοντας, ξανά, στην ιστορική επιστημονική σκηνή, ζητήσαμε από τους συμμετέχοντες να χρησιμοποιήσουν ένα μεγεθυντικό φακό, για *να μετρήσουν πόσα άλογα* χρειάστηκε, το 1610, ο δήμαρχος του Μαγδεμβούργου και κατασκευαστής της πρώτης στην ιστορία της επιστήμης αντλίας κενού, για να διαχωρίσει ημισφαίρια διαμέτρου 60 περίπου εκατοστών. Με τον τρόπο αυτό, οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να κάνουν το συνειρμό ανάμεσα στα *άλογα του πειράματος* και τη χρήση του *αλόγου ως μονάδας μέτρησης* στη μηχανική. Τους ζητήσαμε, επίσης, να διακρίνουν τα διαφορετικά

είδη πληροφορίας που το συγκεκριμένο σχέδιο μεταφέρει. Με τη βοήθεια της *σελίδας 2 του φυλλαδίου παρακολούθησης,* που δίνει πληροφορίες για το ιστορικό συμβάν μέσα από τα σκίτσα του βιβλίου: *Η Ιστορία της Χημείας σε Κόμικς* (Ghigliano & Novelli 1992 σελ.33[320]), οι συμμετέχοντες καθοδηγήθηκαν στο να κατανοήσουν ότι το πείραμα του Μαγδεμβούργου είναι ένα πείραμα με το οποίο ο von Guericke επεδίωκε να δείξει πόσο μεγάλη πίεση ασκεί ο ατμοσφαιρικός αέρας.

Συνοψίζοντας την εξερεύνηση, προσπαθήσαμε να συνδέσουμε το πείραμα του Μαγδεμβούργου με τα πειράματα του Torricelli και του Gaspar Berti και να καθοδηγήσουμε τους συμμετέχοντες να δουν με τα μάτια του Torricelli, ότι ζούμε στον πάτο ενός ωκεανού από αέρα, το βάρος του οποίου μας πιέζει, όσο θα μας πίεζε το νερό στον πάτο μιας λίμνης βάθους 10,3 μέτρων και υδράργυρος ύψους 76 εκατοστών στον πυθμένα ενός δοχείου.

7.7.3. Προσαρμόζοντας το εκπαιδευτικό υλικό στις ανάγκες του κοινού

Όπως ελπίζουμε να έγινε σαφές από την παρουσίαση που προηγήθηκε, η διαδρομή εξερεύνησης που περιγράφτηκε διαφέρει ως προς την πειραματική διάλεξη στο ότι ήταν πιο σύντομη χρονικά, η εναλλαγή των διαφορετικών δραστηριοτήτων ήταν πλουσιότερη, δεν περιελάμβανε οπτικοακουστικά μέσα και οι αφηγηματικές παρεμβάσεις όπως και οι συζητήσεις δεν ξεπερνούσαν το πεντάλεπτο, ενώ τις διαδέχονταν δραστηριότητες ενεργητικής συμμετοχής των επισκεπτών. Οι τελευταίες συνίσταντο στη διερεύνηση ιστορικών σχεδίων και τη διατύπωση σχολίων, όπως και στην εκτέλεση πειραμάτων, που ενσωμάτωνε τα επιμέρους στάδια της παρατήρησης των πειραματικών αποτελεσμάτων, της διεξαγωγής μετρήσεων και της διατύπωσης εξηγήσεων.

Ως προς την έκθεση του περιεχομένου, προσπαθήσαμε να δώσουμε, ξανά, την αίσθηση της κυκλικής ροής, παρέχοντας, στο τέλος, απαντήσεις σε ερωτήματα που επίτηδες είχαμε αφήσει ανοιχτά κατά τη διάρκεια της εξερεύνησης, ώστε να λειτουργούν ως απορίες στο μυαλό των συμμετεχόντων και να απαντιούνται, μερικά, μέσα από τη διαδοχή των δράσεων.

Ως προς το επίπεδο διαπραγμάτευσης, φροντίσαμε, καταρχήν, να ανταποκρίνεται στο επίπεδο επιστημονικού αλφαβητισμού των συμμετεχόντων, αποφεύγοντας την αναφορά σε έννοιες που αποτελούν αντικείμενο πιο υψηλού επιπέδου επιστημονικής εκπαίδευσης. Παράλληλα, φροντίσαμε, να αξιοποιήσουμε την πλούσια εμπειρία που η καθημερινή ζωή είχε προσφέρει στους συμμετέχοντες και να καταστήσουμε σαφές σε αυτούς, ότι οι απορίες πάνω σε φυσικά φαινόμενα με τα οποία η καθημερινή πράξη μας φέρνει σε επαφή είναι πολύτιμο εργαλείο για τη μύησή μας στην επιστήμη. Ταυτόχρονα, παρόλο που το επίπεδο των συζητήσεών μας αντιστοιχούσε σε βαθμίδα επιστημονικού αλφαβητισμού αντίστοιχη των τελευταίων τάξεων της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης, φροντίσαμε ο τρόπος που θα εκθέταμε το περιεχόμενο να μην μοιάζει απλοϊκός. Μέσα από τη σύνθεση θεμάτων ιστορίας της επιστήμης με τα ερωτήματα της καθημερινής ζωής και μέσα από την αξιοποίηση ιστορικών επιστημονικών ντοκουμέντων που δεν είναι δυσνόητα για το ευρύ κοινό, προσπαθήσαμε να κάνουμε τους συμμετέχοντες να αισθανθούν ότι η επιστημονική εκπαίδευση μπορεί να είναι ενδιαφέρουσα, ελκυστική και ευχάριστη για όλες τις ηλικίες και τα επίπεδα επιστημονικής γνώσης.

Κατά την παραγωγή του έντυπου υλικού, φροντίσαμε να αποφύγουμε τις μικρές σελίδες γεμάτες πληροφορίες ή ερωτήσεις, για τις οποίες είχαμε από τους καθηγητές του *Σχολείου Δεύτερης Ευκαιρίας* την πληροφορία ότι απωθούν τους εκπαιδευόμενους. Αντί γι' αυτές προτιμήσαμε μεγάλες σελίδες με μεγάλα γράμματα, με σχέδια, σκίτσα και παιχνίδια λέξεων.

Για την υλοποίηση των δραστηριοτήτων που περιελάμβανε η διαδρομή εξερεύνησης, ένα μικρό μέρος του εκθεσιακού χώρου μεταμορφώθηκε. Στοιχεία πληροφορίας, υπό μορφή εικόνων και σχεδίων, τοποθετήθηκαν πάνω από τις συσκευές που επρόκειτο να χρησιμοποιηθούν, ενώ οι συσκευές είχαν προετοιμαστεί, ώστε τα πειράματα να μπορούν να πραγματοποιηθούν άμεσα. Έτσι, τα ημισφαίρια του Μαγδεμβούργου, το δυναμόμετρο, η αντλία κενού με το σφραγισμένο μπαλονάκι και το πείραμα του Torricelli είχαν στηθεί σε μια από τις γωνιές του Μουσείου και μέρος από το έντυπο υλικό που είχαμε ετοιμάσει, για να αξιοποιηθεί από τους συμμετέχοντες, στόλιζε τον συγκεκριμένο χώρο.

Έτσι, η διαδρομή εξερεύνησης αποτέλεσε έναν τρόπο ενεργής παρέμβασης στον εκθεσιακό χώρο, διαμέσου της οποίας στοιχεία της διερεύνησης, που είχε προηγηθεί, πάνω στην ιστορία της επιστήμης άρχισαν να αποτίθενται στο χώρο έκθεσης των ιστορικών οργάνων.

Εικόνα 7.2: «Εξερευνώντας την ατμοσφαιρική πίεση» μέσα από ιστορικά κείμενα και πειράματα.

7.7.4. Αξιολόγηση της διαδρομής εξερεύνησης

Ως μεθόδους αξιολόγησης της διαδρομής εξερεύνησης χρησιμοποιήσαμε, καταρχήν, τη λεπτομερή παρατήρηση του τρόπου με τον οποίο οι συμμετέχοντες λειτούργησαν στο πλαίσιό της. Θέλοντας, ωστόσο, να είμαστε βέβαιοι για την αντικειμενικότητα των παρατηρήσεών μας, χρησιμοποιήσαμε, παράλληλα, την τυπική μέθοδο των ερωτηματολογίων. Το σχεδιασμό των ερωτηματολογίων ανέλαβε η Αικατερίνη Θεοδωροπούλου, φιλόλογος και καθηγήτρια του *Σχολείου Δεύτερης Ευκαιρίας Χίου*. Το γεγονός ότι η συγκεκριμένη καθηγήτρια δεν ήταν παρούσα στη δράση καθιστά το ερωτηματολόγιο

περισσότερο αντικειμενικό, και από την άποψη ότι η ίδια δεν θα μπορούσε να είχε προβλέψει τις απαντήσεις και από την άποψη ότι οι συμμετέχοντες απαντούσαν περισσότερο ελεύθερα παραδίδοντας τα ερωτηματολόγια σε κάποιο πρόσωπο που δεν εμπλεκόταν άμεσα με τη δράση στο Μουσείο.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της αξιολόγησης, που παρουσιάζονται στην *ενότητα 2* του *Παραρτήματος VI,* κανένας από τους οκτώ συμμετέχοντες, οι οποίοι ήταν μαθητές του Α' κύκλου σπουδών[cxcix], δεν είχε ξανάρθει στο Μουσείο, ενώ οι μισοί από αυτούς δεν ήταν καν ενήμεροι για την ύπαρξή του. Οι συμμετέχοντες δήλωσαν ότι εκτέλεσαν πειράματα και έμαθαν πράγματα που δεν ήξεραν, σε ποσοστό 100%, και ότι επιθυμούσαν να ξανάρθουν για επόμενη εξερεύνηση στο Μουσείο, σε ποσοστό 88%. Η απάντηση στην τελευταία ερώτηση ήταν απόλυτα αντιπροσωπευτική της στάσης των εκπαιδευομένων, γιατί οι τελευταίοι γνώριζαν ότι από την απάντησή τους θα εξαρτιόταν ο προγραμματισμός επόμενης επίσκεψης στο Μουσείο. Οι συμμετέχοντες βρήκαν *κάπως δύσκολη* τη συμπλήρωση των ερωτηματολογίων – κάτι που λήφθηκε σοβαρά υπόψη στη συνέχεια του προγράμματος – ωστόσο, κανένας ανάμεσά τους δεν βρήκε τη συμπλήρωση των φύλλων εργασίας *δύσκολη* ή *πολύ δύσκολη* – γεγονός που μας χαροποίησε ιδιαίτερα.

Τόσο από την ανάλυση που προηγήθηκε, όσο και από τα αποτελέσματα της αξιολόγησης φαίνεται ότι η εξερεύνηση στο Μουσείο Φυσικής υπήρξε καθοδηγούμενη. Παρόλο που οι εκπαιδευόμενοι δεν φαίνεται να αντιμετώπισαν αρνητικά ένα τέτοιο «μάθημα» φυσικής, θα μπορούσε να γίνει η παρατήρηση, ότι η σύνθεση τόσο καθοδηγούμενων δράσεων αντιβαίνει με τα ζητούμενα της άτυπης εκπαίδευσης, σύμφωνα με τα οποία ο επισκέπτης ενός μουσείου πρέπει να έχει την ελευθερία να ακολουθεί τα ερεθίσματα και την περιέργεια που του προκαλούν τα αντικείμενα, έστω κι αν στο τέλος δεν καταφέρνει να αποκτήσει μια τόσο σφαιρική εικόνα από την εξερεύνηση κάποιου θέματος, όπως αυτή που προσπαθήσαμε μέσω της συγκεκριμένης δράσης να προσφέρουμε. Παρόλο που παραμένει και για εμάς πρόκληση η δημιουργία λιγότερο καθοδηγούμενων δράσεων, η παρούσα μορφή «μαθήματος» στο Μουσείο δεν επελέγη τυχαία. Κύριος λόγος γι' αυτό ήταν, καταρχήν, ο τύπος των εκθεμάτων, ο οποίος δεν επιτρέπει στον επισκέπτη να αλληλεπιδράσει με αυτά. Ένας δεύτερος λόγος είναι ότι δεν υπάρχουν ακόμα στο Μουσείο τρόποι, ώστε ο επισκέπτης να μαθαίνει μέσα από λεζάντες ή οπτικοακουστικό υλικό, με αποτέλεσμα η πληροφορία να παρέχεται μέσα από τους ξεναγούς-καθηγητές. Από την άλλη μεριά, η κατασκευή «μαθημάτων» φυσικής μέσα στο συγκεκριμένο Μουσείο φωτίζει την ιδιαιτερότητα της έκθεσης, η οποία παραδοσιακά αξιοποιούταν για την εκμάθηση της φυσικής. Έτσι, ένας τέτοιος τρόπος επικοινωνίας της επιστήμης δεν φαίνεται να αντιβαίνει στις νεώτερες μουσειολογικές απόψεις για την αξιοποίηση ιστορικών επιστημονικών εκθεμάτων.

Παράλληλα, ωστόσο, με την εισήγηση της καθοδηγούμενης εξερεύνησης, προσπαθήσαμε να μην αγνοήσουμε τελείως την ανάγκη του κοινού για περισσότερη ελευθερία. Στο διάλειμμα, οι επισκέπτες

[cxcix] Οι σπουδές στο ΣΔΕ χωρίζονται σε δύο κύκλους που αντιστοιχούν σε δύο έτη. Μετά τα δύο αυτά έτη οι εκπαιδευόμενοι παίρνουν απολυτήριο Γυμνασίου.

αφέθηκαν να παρατηρήσουν τις προθήκες ή να δουν κι άλλα πειράματα με την αντλία κενού. Όπως φαίνεται στις απαντήσεις του ερωτηματολογίου, οι απρόβλεπτες αυτές συναντήσεις με τις συσκευές και τα πειραματικά συμβάντα λειτούργησαν θετικά για αυτούς.

Τέλος, σύμφωνα με στοιχεία που προέκυψαν, από τη συζήτηση πάνω στην επίσκεψη στο Μουσείο που είχαν οι συμμετέχοντες με τους καθηγητές τους, διαπιστώθηκε ότι σχολίασαν αρνητικά την έλλειψη ετικετών στις προθήκες και το ότι δεν είχαμε μεριμνήσει, ώστε να υπάρχουν στο χώρο καρέκλες.

7.7.5. Θέματα φύσης της επιστήμης και ιδέες για την περαιτέρω επεξεργασία του περιεχομένου της διαδρομής εξερεύνησης

Μέσα από το σχεδιασμό της παρούσας διαδρομής εξερεύνησης, προσπαθήσαμε να θίξουμε κυρίως δύο στοιχεία της φύσης της επιστήμης, που θα μπορούσαν να γίνουν περισσότερο σαφή με την ανάπτυξη δράσεων και συζητήσεων μετά την επίσκεψη στο Μουσείο. Το πρώτο είναι το γεγονός ότι **πολλές από τις ιστορικές επιστημονικές παρεμβάσεις σχετίζονται με θέματα της καθημερινής εμπειρίας** και το δεύτερο είναι το ότι **πολλά από τα ιστορικά επιστημονικά συμβάντα απευθύνονταν στο κοινό**.

Θεωρήσαμε τα στοιχεία αυτά κατάλληλα, για να αποτελέσουν ταυτόχρονα τρόπο έκθεσης του περιεχομένου και μέσον για το σχολιασμό του τι μπορεί να είναι η επιστήμη. Θεωρήσαμε ότι η απλή και γοητευτική όψη της επιστήμης που αναδεικνύεται μέσα από αυτά είναι κατάλληλη για την επανασύνδεση των ενηλίκων εκπαιδευομένων με την επιστημονική εκπαίδευση. Παράλληλα, αναδεικνύει το ρόλο του επιστημονικού μουσείου, που οφείλει ταυτόχρονα να εκπαιδεύει και να τέρπει. Τέλος, είναι σύμφωνη με το πνεύμα της επιστημονικής εκπαίδευσης της εποχής του 19^{ου} αιώνα και των αρχών του 20^{ου}, που αποπνέουν πολλά από τα επιστημονικά όργανα της συλλογής (βλ. *Θεωρητικό Μέρος*, ενότητα 2.6).

Η σχέση ιστορικών επιστημονικών επεισοδίων με θέματα της καθημερινής εμπειρίας θα μπορούσε να γίνει σαφής μέσα από τη μελέτη ιστορικών κειμένων, όπως είναι, για παράδειγμα, το κείμενο του Γαλιλαίου στο οποίο αναφερθήκαμε (Galilei 1638/1954, 1st day [63-65][299]).

Παράλληλα, το γεγονός ότι πολλά από τα ιστορικά επιστημονικά συμβάντα απευθύνονταν στο κοινό, το οποίο είχε οργανικό ρόλο στην εκτέλεσή τους, προτείνουμε να αξιοποιηθεί πρακτικά στην εκπαίδευση ενηλίκων. Θα μπορούσε να επιλεγεί, ο επιστημονικός γραμματισμός να δώσει βάρος στη μετάδοση πληροφοριών μέσα από τέτοια συμβάντα, γιατί αυτά ενσωματώνουν την ιδέα του ότι η επιστήμη πρέπει να απευθύνεται σε όλους, εκφράζοντας όχι μια ανάγκη κοινωνική, αλλά μια ανάγκη που σχετίζεται με την ίδια την επικυροποίηση της επιστήμης. Έτσι, περιγράφουν ιστορικά επιστημονικά επεισόδια που αποτελούν, ταυτόχρονα, νευραλγικά σημεία της επιστημονικής εξέλιξης και εκλαϊκευμένο τρόπο έκφρασης των επιστημονικών θεμάτων.

8. «ΠΩΣ ΘΑ ΗΤΑΝ Η ΓΗ ΧΩΡΙΣ ΑΕΡΑ;» ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΑΘΗΤΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ

Στην *ενότητα 7*, που προηγήθηκε, η πειραματική διάλεξη: *«Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;»* περιγράφτηκε ως εφαρμοσμένη διδακτική πρόταση. Έτσι, αναλύθηκε το ίδιο το περιεχόμενό της, ο τρόπος που αυτό χρησιμοποιήθηκε, για να αναδείξει την ιστορική συλλογή του *Μουσείου Φυσικής της Χίου*, ο τρόπος που μετατράπηκε σε εκπαιδευτικό συμβάν για περισσότερους από 900 επισκέπτες και αξιολογήθηκε ως τέτοιο, και, τέλος, ο τρόπος με τον οποίο προσαρμόστηκε, ώστε να καλύψει ανάγκες εξειδικευμένου κοινού.

Παρόλο που η εφαρμογή ήταν εκτεταμένη, και ως προς το φάσμα των επιστημονικών θεμάτων που προσέγγισε, όσο και ως προς το μέγεθος του δείγματος στο οποίο εφαρμόστηκε, είχε το χαρακτηριστικό ότι δεν μπορούσε να ξεπεράσει τους περιορισμούς που έθετε το συγκεκριμένο πλαίσιο της εφαρμογής και το συγκεκριμένο κοινό. Επίσης, η περιγραφή της ως εκπαιδευτικού σεναρίου επέτρεψε ένα συγκεκριμένο επίπεδο διαπραγμάτευσης θεμάτων της ιστορίας της επιστήμης.

Επειδή ανάμεσα στους στόχους της παρούσας εργασίας είναι να αναπτυχθεί προβληματισμός πάνω στο πώς θέματα της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης μπορούν να ενσωματωθούν στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών, θεωρούμε σημαντικό να συζητήσουμε σε μεγαλύτερο βάθος το περιεχόμενο της εφαρμοσμένης διδακτικής πρότασης, κατασκευάζοντας ένα σύνολο σημειώσεων για τους καθηγητές. Έτσι, στην παρούσα ενότητα (βλ. *ενότητα 8*), το περιεχόμενο των ιστορικών επιστημονικών επεισοδίων που περιλαμβάνει η πειραματική διάλεξη εμπλουτίζεται με λεπτομέρειες και σχολιάζεται, ενώ η μελέτη αυτή μας καθοδηγεί στο σχεδιασμό μιας σειράς οδηγιών για την οργάνωση δραστηριοτήτων. Οι δραστηριότητες αυτές φιλοδοξούν να αποτελέσουν οδηγό για τη μετατροπή του περιεχομένου της πειραματικής διάλεξης, όσο και των θεμάτων φύσης της επιστήμης, που θίγει, σε δράσεις με κέντρο τον μαθητή.

Η μελέτη των θεμάτων της πειραματικής διάλεξης, που αναπτύσσεται στην *ενότητα 8*, βασίζεται σε μια σειρά από πρωτότυπα επιστημονικά κείμενα τα οποία παρατίθενται στο *Παράρτημα VII*.

8.1. *1η υποενότητα*: «Πώς και γιατί πέφτουν τα πράγματα στη γη;»

8.1.1. Η άποψη του Αριστοτέλη

► Κείμενα:

Στην *ενότητα 1* του *Παραρτήματος VII* παρατίθενται αποσπάσματα από μια σειρά κειμένων του Αριστοτέλη, που φωτίζουν την άποψή του πάνω στην προς τα άνω και κάτω κίνηση των σωμάτων. Στο *απόσπασμα 1* (Αριστοτέλης, *Περί Ουρανού* Α, 269a[297]), ο Αριστοτέλης εκθέτει τη βασική αρχή στην οποία στηρίζει τη θεωρία του, ότι *τα σώματα αυθόρμητα κινούνται προς τον φυσικό τους τόπο*. Στο *απόσπασμα 2* (Αριστοτέλης, *Περί Ουρανού* Δ, 308a[297]), ορίζει ως *απόλυτα ελαφριά* και *βαριά* τα σώματα που κινούνται αντίστοιχα προς το κέντρο του ουρανού και της γης, ενώ παράλληλα ορίζει ως

σχετικά βαρύτερο, ανάμεσα σε σώματα ίδιου όγκου, εκείνο που κινείται προς τα κάτω ταχύτερα. Στο *απόσπασμα 3* αποδίδει *ελαφρότητα* στη «φωτιά» και *βάρος* στα σώματα με «γήινη σύνθεση» (Αριστοτέλης, *Περί Ουρανού* Δ, 308b[297]), στο *απόσπασμα 4* (Αριστοτέλης, *Περί Ουρανού* Δ, 310a[297]) προσδιορίζει την προς τα άνω και κάτω κίνηση ως κίνηση προς τον φυσικό τόπο με *αίτια* την «ελαφρότητα» και το «βάρος». Στο *απόσπασμα 5* ορίζει ως *απόλυτα ελαφρύ* το σώμα που θεωρητικά τοποθετείται πάνω από όλα τα σώματα και *απόλυτα βαρύ* εκείνο που τοποθετείται κάτω από αυτά (Αριστοτέλης, *Περί Ουρανού* Δ, 311a[297]). Στο *απόσπασμα 6* επιχειρεί να εξηγήσει το *σχετικά βαρύ* ή *ελαφρύ* ως συνάρτηση της σύνθεσης των σωμάτων και του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκονται (Αριστοτέλης, *Περί Ουρανού* Δ, 311a,b[297]).

► Δράσεις:

Με κέντρο τα παραπάνω αποσπάσματα του Αριστοτέλη, μπορούν να οργανωθούν θεωρητικές και πειραματικές δραστηριότητες στο πλαίσιο ειδικού διαθεματικού προγράμματος. Έτσι, θα μπορούσε να συζητηθεί, κατ' αρχήν, **τι από αυτά που ισχυρίζεται ο Αριστοτέλης φαίνεται στον σημερινό κοινό νου οικείο και τι παράξενο**. Σε δεύτερη φάση, θα μπορούσε να ζητηθεί, από τους μεγαλύτερους μαθητές, να **αντιπαραθέσουν** τις **απόψεις** της φυσικής του βιβλίου τους με τις απόψεις του Αριστοτέλη. Στους μικρότερους μαθητές, η παραπάνω δραστηριότητα θα μπορούσε να μετατραπεί σε **παιχνίδι ρόλων**. Η παραπάνω διερεύνηση θα μπορούσε να γίνει ένα «ζωντανό μάθημα» πάνω στον Αριστοτέλη, αν γινόταν προσπάθεια να αναπαρασταθούν οι αναφορές του στην εμπειρία, με την **αναπαράσταση και βιντεοσκόπηση πειραμάτων**. Τα ίδια πειράματα θα μπορούσαν, στη συνέχεια, να εξηγηθούν με τους όρους της σημερινής σχολικής φυσικής.

8.1.2. Η απάντηση του Γαλιλαίου

Η επιχειρηματολογία του Γαλιλαίου αναδεικνύεται στα αποσπάσματα που παρατίθενται στο *Παράρτημα VII, ενότητα 1.2*. Για την καλύτερη κατανόησή τους, στην ίδια ενότητα παρατίθενται τα αποσπάσματα του Αριστοτέλη στα οποία ο Γαλιλαίος φαίνεται να αναφέρεται και να απαντάει.

► Κείμενα:

Στο *απόσπασμα 1* (Galilei 1638/1954, 1st day [105]-[106][299]), ο Γαλιλαίος συνοψίζει τις απόψεις του Αριστοτέλη στις οποίες πρόκειται να αντιπαρατεθεί, και συγκεκριμένα, το ότι *δεν είναι δυνατόν να υπάρξει κίνηση στο κενό*, το ότι *τα σώματα πέφτουν στο ίδιο μέσον με ταχύτητες που διαφοροποιούνται ανάλογα με τη διαφοροποίηση του βάρους τους*, ενώ *το ίδιο σώμα πέφτει σε διαφορετικά μέσα με διαφορετικές ταχύτητες, που έχουν μεταξύ σχέση αντίστροφης αναλογίας ως προς τη σχέση που έχουν οι πυκνότητες*[cc] *των μέσων αυτών*.

[cc] Οι Henry Crew and Alfonso di Salvio χρησιμοποιούν τον όρο density of water μεταφράζοντας το κείμενο του Γαλιλαίου (Galilei 1638/1954, 1st day [106][299]). Ο Drake Drake (Galilei 1638/1989 σελ.65[337]) αντικαθιστά τον όρο αυτό με τη λέξη

Στο *απόσπασμα 2* (Αριστοτέλης, *Φυσικά* Δ, 215a-216a[301]), ο Αριστοτέλης ισχυρίζεται ότι *η κίνηση στο κενό είναι αδύνατη, γιατί θα γινόταν με άπειρη ταχύτητα*. Ο Αριστοτέλης καταλήγει στο συμπέρασμα αυτό, ξεκινώντας από την αρχή ότι το ίδιο σώμα πέφτει σε διαφορετικά μέσα με διαφορετικές ταχύτητες, που έχουν σχέση αντίστροφης αναλογίας με τις πυκνότητες των μέσων αυτών.

Στο *απόσπασμα 3* (Αριστοτέλης, *Φυσικά* Δ,216a[301]), ο Αριστοτέλης καταλήγει στο συμπέρασμα ότι, *στο κενό, σώματα διαφορετικού βάρους θα έπεφταν με την ίδια ταχύτητα*, που το θεωρεί, επίσης, *αδύνατο*. Στο συμπέρασμα αυτό τον οδηγεί η αρχή ότι τα σώματα πέφτουν στο ίδιο μέσον με ταχύτητες που έχουν μεταξύ τους τέτοια σχέση αναλογίας, όμοια με την αναλογία των βαρών των σωμάτων που πέφτουν, γιατί τα βαρύτερα σώματα διαιρούν το μέσον ταχύτερα.

Στα *αποσπάσματα 4 και 5* (Galilei 1638/1954[299], Galilei 1638/1989[337] 1st day [106]-[112]), ο Γαλιλαίος, χρησιμοποιώντας την **εις άτοπο απαγωγή**, πλήττει τις υποθέσεις του Αριστοτέλη, ότι **στο ίδιο μέσον τα αντικείμενα πέφτουν με ταχύτητες που έχουν μεταξύ τους την ίδια σχέση αναλογίας[cci] προς την αναλογία των βαρών τους** (weight/ heaviness) και ότι **σε διαφορετικά μέσα ένα και το αυτό αντικείμενο πέφτει με ταχύτητες που έχουν μεταξύ τους σχέση αντίστροφης αναλογίας προς τη σχέση των πυκνοτήτων** (density / crassitude) **των διαφορετικών μέσων.**

Στο *απόσπασμα 6*, ο Γαλιλαίος εισάγει την άποψη ότι **σώματα με διαφορετικά ειδικά βάρη** (specific gravities) **πέφτουν με διαφορά ταχύτητας μεγαλύτερη σε μέσα μεγαλύτερης αντίστασης** (more resistant mediums) (Galilei 1638/1954[299] & Galilei 1638/1989[337], 1st day [112]-[113]).

Στο *απόσπασμα 7* (Galilei 1638/1954[299], Galilei 1638/1989[337], 1st day [117]-[118]), ο Γαλιλαίος **προσεγγίζει το κενό ως μέσον μηδενικής αντίστασης** (a medium of no resistance) και, επεκτείνοντας τον προβληματισμό του αποσπάσματος 5, υποστηρίζει ότι, πράγματι, **στο κενό όλα τα σώματα θα έπεφταν με την ίδια ταχύτητα**.

Στο *απόσπασμα 8* (Galilei 1638/1954[299] , Galilei 1638/1989[337], 1st day [118]-[119]), ο Γαλιλαίος διατυπώνει το νόμο της **πτώσης στο κενό**, ορίζοντάς την ως **σταθερά επιταχυνόμενη κίνηση** (constantly and uniformly accelerated motion/ continually accelerated movement and always equally accelerated), ενώ θεωρεί την **αντίσταση του μέσου στην κίνηση** ως **συνάρτηση της ταχύτητας πτώσης**.

Στο *απόσπασμα 9* (Galilei 1638/1954[299], Galilei 1638/1989[337], 1st day [119]-[120]), ο Γαλιλαίος χρησιμοποιεί έναν **αλγόριθμο**, για να προσδιορίσει την **ταχύτητα πτώσης σε διάφορα μέσα**, χρησιμοποιώντας ως παραμέτρους **την ταχύτητα της πτώσης στο κενό, το βάρος** και τη σημερινή **άνωση**, που εκφράζεται, τότε, ως **διαφορά** ανάμεσα **στο απόλυτο βάρος** ενός σώματος (absolute weignt) και στο **μετρούμενο βάρος** του μέσα στο περιβάλλον μέσο.

---

crassitude που αποδίδει τη φυσική ιδιότητα του να είναι ένα σώμα πυκνό ή αραιό και όχι τον αντίστοιχο ορισμό της φυσικής που είναι μεταγενέστερος.

[cci] Οι μεταφραστές χρησιμοποιούν τους όρους ratio και inverse ratio, για να αποδώσουν τις αντίστοιχες έννοιες που χρησιμοποιεί ο Γαλιλαίος. Ο Drake επισημαίνει ότι η αναλογία που χρησιμοποιεί ο Γαλιλαίος έχει αυστηρά την έννοια της συσχέτισης ομοίων μεγεθών, χωρίς αυτή να ταυτίζεται με το αποτέλεσμα της σύγκρισης, δηλαδή, με το αριθμητικό κλάσμα (Εισαγωγή του Drake στο Galilei 1938/1989[326]).

► Σχόλια:

Σε πολλά σημεία στα παραπάνω αποσπάσματα, φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο ο Γαλιλαίος ανατρέπει τα συμπεράσματα του Αριστοτέλη, βρίσκοντας τα κατάλληλα λόγια, για να αντιμετωπίσει τον «δάσκαλο» και «αντίπαλό» του. Χρησιμοποιεί **τα ίδια τα παραδείγματα** του Αριστοτέλη και, ακόμα, όπως αναφέρει ο Losee, το Αριστοτελικό εργαλείο της **επαγωγικο-απαγωγιστικής** (inductive-deductive) συλλογιστικής, που i) εκκινείται από τις εμπειρικές παρατηρήσεις (observations), ii) χρησιμοποιεί την επαγωγή, για να εξάγει γενικές αρχές (general principles), και iii) επιστρέφει στις παρατηρήσεις, τις οποίες επιδιώκει να εξηγήσει σύμφωνα με τις γενικές αρχές (Losee 1972/2001 σελ.48-49[145]). Επίσης, με τον ίδιο τρόπο όπως και ο Αριστοτέλης, ο Γαλιλαίος αξιοποιεί την **εις άτοπον απαγωγή**, για να καταλήξει, όμως, σε αντίθετα, ως προς τον Αριστοτέλη, συμπεράσματα.

Όπως αναφέρθηκε και στην *ενότητα 7.4.*1, το γεγονός ότι ο Γαλιλαίος χρησιμοποιεί ευρέως τη δομή της Αριστοτελικής επιχειρηματολογίας έχει σχέση με το είδος της επιστημονικής επιχειρηματολογίας που ήταν αποδεκτό την εποχή του. Καθώς, τότε, το πείραμα δεν κατείχε, ακόμα, τη θέση του τεκμηρίου που θα του έδινε η επιστήμη του ύστερου 17ου αιώνα, ο Γαλιλαίος δεν επιχειρηματολογεί εκθέτοντας, αναλυτικά, τα πειραματικά συμβάντα. Τα τελευταία περιγράφονται με τρόπο κάπως σχηματικό, χωρίς έμφαση στην περιγραφή περιστασιακών λεπτομερειών. Επιπλέον, οι αναφορές του στα πειράματα συνοδεύονται με μια σειρά από επιχειρήματα, που αποτελούν αναφορές στα λογικά επιχειρήματα του Αριστοτέλη, καθώς δανείζονται από τα τελευταία την ακριβή δομή τους.

Έτσι, στην ιστορία της επιστήμης, **ο Γαλιλαίος** λειτουργεί, προσθέτοντας έναν κρίκο **συνέχειας** στην αλυσίδα που έχει πλεχθεί κατά τη διάρκεια των αιώνων που προηγήθηκαν[ccii] (Grant 1994 σελ.57-92[309]). Ταυτόχρονα, πραγματοποιεί ένα **σύνολο ρήξεων**, που σηματοδοτείται από το γεγονός ότι εισάγει **νέα μεθοδολογικά εργαλεία**, όπως είναι **ο συνδυασμός της εμπειρικής βάσης** και της **μαθηματικής αφαίρεσης** που χρησιμοποιεί, όπως και από το γεγονός ότι βασίζεται σε μια **νέα φιλοσοφική οπτική** ή **κοσμοθεώρηση**. Η επιστήμη του 17ου αιώνα, στην οποία ο Γαλιλαίος μετέχει, συνδιαμορφώνοντάς την, ξανακοιτάει τα φαινόμενα και προσπαθεί να διακρίνει πίσω από αυτά *μαθηματικούς νόμους*, ενώ απομακρύνεται, και σταδιακά διαχωρίζεται, από την απαίτηση του Αριστοτελικού κόσμου να διακρίνει *τελικά αίτια* πίσω από τα φαινόμενα (Holton & Brush 2002 σελ.105-106[300]).

► Δράσεις:

Μέσα από τη μελέτη των αποσπασμάτων στα οποία προαναφερθήκαμε και με τη βοήθεια κατάλληλα σχεδιασμένων δραστηριοτήτων, μπορεί να αναδειχθεί i) **ο τρόπος** με τον οποίο **ο Γαλιλαίος συνομιλεί με την Αριστοτελική επιστήμη**, ii) ο τρόπος με τον οποίο **δομεί** τις **ανατροπές**

[ccii] Όπως αναλυτικά περιγράφει ο Grant, το θέμα της κίνησης στο κενό ήταν ένα από τα θέματα που συζητιόταν ευρέως στα μεσαιωνικά Πανεπιστήμια (Grant 31-56[302]). Ο Γαλιλαίος συνοψίζει και συνεχίζει τη συζήτηση αυτή, απαντώντας όμως διεξοδικά σε όλα τα ζητήματα που έχει θέσει τόσο ο Αριστοτέλης, όσο και οι μεσαιωνικοί σχολιαστές του (Grant 1994 σελ.57-92[309]).

του, βασιζόμενος στη **σύνθεση της υπάρχουσας επιστημονικής μεθοδολογίας με νέα στοιχεία**, καθώς και iii) η **νέα οπτική**, την οποία εισάγει.

Πιο συγκεκριμένα, στο πλαίσιο ειδικά σχεδιασμένης δραστηριότητας, θα μπορούσε να στηθεί ένα είδος **παιχνιδιού ρόλων** που να περιλαμβάνει την **αναπαράσταση** των **πειραμάτων** στα οποία θα αναφέρονται οι πρωταγωνιστές του, οι οποίοι θα έχουν βγει, είτε από τα *κείμενα του Αριστοτέλη*, είτε από τον *Διάλογο για τις Δύο Νέες Επιστήμες του Γαλιλαίου*. Τα πειράματα αυτά προτείνεται να έχουν βιντεοσκοπηθεί, ώστε να μπορούν να επαναλαμβάνονται σε προβολή παράλληλη με τη δράση στη σκηνή, όποτε οι πρωταγωνιστές του διαλόγου αναφέρονται σε αυτά. Κατά τη διάρκεια της προετοιμασίας των πειραμάτων, θα ήταν καλό να γίνει μελέτη των σημείων στα οποία οι ομιλητές ειδικά θα αναφέρονται, ώστε να παραχθούν με ακρίβεια τα αντίστοιχα παρατηρησιακά δεδομένα. Με τον τρόπο αυτό, θα μπορούσε να αναδειχθεί η **δομή των ανατροπών** που προκαλεί ο Γαλιλαίος και, συγκεκριμένα, το κατά πόσον και σε ποια σημεία αυτή βασίζεται σε **λεπτομερέστερες εμπειρικές παρατηρήσεις**, το κατά πόσον και σε ποια σημεία οφείλεται στη χρήση ενός **διαφορετικού γενικού εξηγητικού πλαισίου** ή στη χρήση μιας **διαφορετικής μεθοδολογίας.**

Η προηγούμενη δραστηριότητα, η οποία θα έδινε έμφαση στην παραγωγή των εμπειρικών και παρατηρησιακών δεδομένων που να ανταποκρίνονται στα κείμενα του Γαλιλαίου και του Αριστοτέλη, θα ήταν σκόπιμο, ειδικά για μεγαλύτερους μαθητές, να πλαισιωθεί από μια θεωρητικού τύπου διερεύνηση, στο πλαίσιο ειδικού προγράμματος διαθεματικής μελέτης των φυσικών επιστημών. Έτσι, θα μπορούσε **να διαπιστωθεί**, για παράδειγμα, **η ιστορική συνέχεια την οποία ο Γαλιλαίος δομεί**, αναφερόμενος σε εμπειρικά δεδομένα στα οποία αναφέρεται και ο Αριστοτέλης. Σε μια τέτοιου είδους μελέτη, η **αντιστοιχία των αποσπασμάτων του Γαλιλαίου και του Αριστοτέλη**, δηλαδή, η παράθεση αποσπασμάτων του Γαλιλαίου τα οποία θεωρούμε απαντήσεις σε συγκεκριμένα αποσπάσματα του Αριστοτέλη, που παρατίθεται στο *Παράρτημα VII*, θα μπορούσε να λειτουργήσει πολύ βοηθητικά.

Όμοια, θα μπορούσε να διαπιστωθεί η ιστορική συνέχεια ανάμεσα στον Γαλιλαίο και τον Αριστοτέλη, με τον εντοπισμό των σημείων στα οποία ο Γαλιλαίος χρησιμοποιεί λογικά επιχειρήματα, και ειδικότερα **τη μέθοδο της εις άτοπο απαγωγής**, ακριβώς με τον ίδιο τρόπο, όπως και ο Αριστοτέλης.

Σε αντιπαράθεση με τα στοιχεία της ιστορικής συνέχειας, θα μπορούσαν να αναδειχθούν **τα σημεία της διαφοροποίησης** και **να εντοπιστεί**, για παράδειγμα, **ο διαφορετικός τρόπος με τον οποίο ο Γαλιλαίος συνδέει τα φυσικά μεγέθη**.

Τέλος, η αναζήτηση του γιατί ο Γαλιλαίος πραγματοποιεί διαφορετικές συνδέσεις φυσικών μεγεθών, σε σχέση με τον Αριστοτέλη, θα μπορούσε να οδηγήσει στο να διαφανούν **στοιχεία του διαφορετικού φιλοσοφικού πλαισίου**, το οποίο ο Γαλιλαίος υποστηρίζει.

8.1.3. Το πείραμα της ελεύθερης πτώσης

Η εκτέλεση του πειράματος της ελεύθερης πτώσης πλαισιώνεται από μια σειρά από μεταφρασμένα

αποσπάσματα, τα οποία επιδιώκουν να φωτίσουν **θέματα της φύσης του πειράματος**, μέσα από την ιστορία του συγκεκριμένου πειράματος.

► Κείμενα και επιστημολογικά σχόλια:

Το πρώτο από τα κείμενα που έχουν επιλεγεί είναι το **κείμενο του Boyle** (Boyle 1669 στον Conant 1957/1966 σελ. 46-48[282], Boyle 1725 ed. II σελ.508[302]) (*βλ. Παράρτημα VII, ενότητα 1.3, απόσπασμα 1*), που ιστορικά αποτελεί, όπως αναφέρθηκε και στην *ενότητα 7.4.1*, μια από τις πρώτες απόπειρες μετατροπής της υπόθεσης του Γαλιλαίου σε πειραματική πραγματικότητα. Στο κείμενο αυτό αναδεικνύεται η προσπάθειά του Boyle να θεμελιώσει την πειραματική επιστήμη. Μέσα από την πραγματοποίηση και επανάληψη του πειράματος παρουσία μαρτύρων, την απεικόνιση της πειραματικής συσκευής και τη λεπτομερή καταγραφή της διαδικασίας και των πειραματικών αποτελεσμάτων, επιδιώκει τη μεταφορά επαρκούς πληροφορίας, ώστε το πείραμα να μπορεί να επαναληφθεί. **Επιδιώκει, επίσης, τη μετατροπή των πειραματικών αποτελεσμάτων σε έγκυρα, αξιόπιστα και αδιαμφισβήτητα γεγονότα**. Και το καταφέρνει. Ο Νεύτωνας, αναφερόμενος στο ίδιο πείραμα, στα *αποσπάσματα 2 & 3* της *ενότητας 1.4* του *Παραρτήματος VII* (Newton 1729/1962, Proposition X, Theorem X σελ. 419, General Scholium σελ. 543[303]), δεν αισθάνεται την ανάγκη να επαναλάβει το πείραμα, προκειμένου να χρησιμοποιήσει τα αποτελέσματά του, γεγονός ενδεικτικό του ότι τα πειραματικά δεδομένα που προσέφερε ο Boyle έχουν αναγνωριστεί ως έγκυρα πειραματικά τεκμήρια.

Εάν ο Boyle διέθετε βιντεοκάμερα, σίγουρα θα την είχε χρησιμοποιήσει, προκειμένου να μεταφέρει το τι ακριβώς συνέβαινε κατά τη διάρκεια των πειραμάτων του. Το δεύτερο από τα κείμενα της *ενότητας 1.3*, που παρατίθενται στο *Παράρτημα VII*, είναι η απομαγνητοφώνιση της **απευθείας μετάδοσης του πειράματος της ελεύθερης πτώσης από την επιφάνεια του φεγγαριού,** τον Φεβρουάριο του 1971. Μέσα από αυτό, μπορεί να αναλυθεί ─ εκτός από το ίδιο το φυσικό φαινόμενο και την ιδέα της **εμβέλειας των Γαλιλαιικών κειμένων μέσα στον ιστορικό χρόνο** ─ και η κοινωνιολογική διάσταση του συμβάντος. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί να προβληθεί ο τρόπος και ο βαθμός με τον οποίο η βιντεοσκόπηση μας καθιστά παρόντες σε ένα πειραματικό γεγονός, ή αλλιώς ο τρόπος με τον οποίο τα σύγχρονα μέσα εικονικής πληροφόρησης βοηθούν στην **υλοποίηση της ιδέας του Boyle**, να μεταφέρει περιστασιακές λεπτομέρειες που αφορούν στην πραγματοποίηση ενός πειράματος, με στόχο την **αντικειμενοποίηση της γνώμης και τη διάδοση της επιστημονικής γνώσης**.

Το τρίτο από τα κείμενα της *ενότητας 1.3* είναι του George Adams (Adams 1794 σελ. 138-139[304]) (βλ.*απόσπασμα 3*) και σηματοδοτεί τη μετατροπή του πειραματικού δεδομένου που εξερευνά ο Boyle και επιβεβαιώνει ο Νεύτωνας σε **αντικείμενο εκλαΐκευσης και διάδοσης της επιστημονικής γνώσης**, που ενσωματώνει μια **διαφορετική πειραματική κουλτούρα** από την ερευνητική. Το κείμενο αποτελεί απόσπασμα πειραματικής διάλεξης και ο συγγραφέας της είναι, ταυτόχρονα, και

κατασκευαστής της πειραματικής συσκευής που χρησιμοποιεί[cciii]. Το κείμενό του, που απευθύνεται στο ευρύ κοινό, αναδεικνύει το σχόλιο των Van Helden & Hankins (Van Helden & Hankins 1994[58]), ότι τα επιστημονικά όργανα ενσωματώνουν την ιδέα του κοινού και έχουν λειτουργήσει ιστορικά ως γέφυρες ανάμεσα στη φυσική επιστήμη και τη λαϊκή κουλτούρα (βλ. *ενότητα 1.2* θεωρητικού μέρους).

► Δράσεις:

Οι διαφορετικές εκφάνσεις περιγραφής του ίδιου πειράματος στα παραπάνω αποσπάσματα, σε συνδυασμό με την παρακολούθηση της εκτέλεσης του πειράματος και εκδοχών της εικονικής αναπαράστασής του, δίνουν αφορμή για το σχεδιασμό μιας σειράς δραστηριοτήτων, τόσο πειραματικών, όσο και θεωρητικών.

Στις πρώτες εντάσσεται η χρήση της σχολικής αεραντλίας και του σωλήνα του Νεύτωνα για την **επανάληψη και μελέτη του πειράματος**. Οι μαθητές μπορούν να αναλάβουν τη **μετατροπή των παρατηρήσεών τους σε πειραματικά τεκμήρια**, μέσα από τη **φωτογράφηση φάσεων** και τη **βιντεοσκόπηση του πειράματος**. Αν αφιερωθεί χρόνος για το σκοπό αυτό, στο πλαίσιο κάποιου ειδικά σχεδιασμένου προγράμματος, θα διαπιστωθεί ότι η μετατροπή των πειραματικών δεδομένων σε πειραματικά τεκμήρια δεν είναι εύκολη υπόθεση. Οι μαθητές θα χρειαστεί να επαναλάβουν πολλές φορές, τόσο το πείραμα, όσο και τη φωτογράφηση και βιντεοσκόπησή του, ώστε να πετύχουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Η επιλογή, στη συνέχεια, του τρόπου παρουσίασης των καταγεγραμμένων τεκμηρίων τους, θα εμπλουτίσει την κατανόησή τους στη δυσκολία, αλλά και στην αξία της επικοινωνίας της επιστημονικής γνώσης.

Στην εκτίμηση της αξίας της καταγεγραμμένης επιστημονικής πληροφορίας τους μπορεί να τους οδηγήσει **η χρησιμοποίηση των παραγομένων τεκμηρίων για λεπτομερέστερη παρατήρηση του φαινομένου, για τη διεξαγωγή συγκριτικών παρατηρήσεων, ακόμα και μετρήσεων**. Με τον τρόπο αυτό, μπορούν σταδιακά να περάσουν, από το πείραμα απλής επίδειξης ενός φαινομένου, στο πείραμα μελέτης του και στην κατανόηση, έτσι, της πειραματικής διαδικασίας, ως διαδικασίας έρευνας. Συγκεκριμένα, θα μπορέσουν να κατανοήσουν τα στάδια της παραγωγής δεδομένων και της συγκριτικής τους ανάλυσης και σύνδεσης.

Επιπλέον, **η σύγκριση των βιντεοσκοπημένων πειραμάτων στη γη και στην επιφάνεια του φεγγαριού** μπορεί να προσφέρει ουσιαστικότερη κατανόηση των ιδεών που οι μαθητές έχουν πάνω στην ελεύθερη πτώση (*βλ.ενότητα 7.4.1*). Συγκεκριμένα, μπορεί να οδηγήσει στη λεπτομερέστερη επεξεργασία της ιδέας, ότι *χωρίς αέρα τα αντικείμενα θα έπεφταν αργά - πολύ αργά*. Η αποκάλυψη της ομοιότητας, ανάμεσα στο επιβραδυμένο βίντεο του πειράματος της ελεύθερης πτώσης στο σωλήνα του Νεύτωνα και στο βίντεο της πτώσης των αντικειμένων στο φεγγάρι, μπορεί καταρχήν να αναδείξει τους λόγους της δυσκολίας αποδόμησης της ιδέας των μαθητών σύμφωνα με την οποία

[cciii] Ο George Adams υπήρξε ένας από τους πολύ σημαντικούς κατασκευαστές οργάνων του 18ου αιώνα. Εργάστηκε στην υπηρεσία του βασιλιά Γεωργίου του 3ου της Αγγλίας και του πρίγκιπα της Ουαλίας και μεταξύ άλλων δίδασκε και την τέχνη της κατασκευής επιστημονικών οργάνων.

συνδέουν την ύπαρξη της βαρύτητας με την ύπαρξη του αέρα. Μπορεί ακόμα να οδηγήσει στην κατανόηση της δυσκολίας να εντοπιστεί η βαρύτητα ως αίτιο πίσω από το φαινόμενο της πτώσης. Η δυσκολία των μαθητών μπορεί να κατανοηθεί περισσότερο, και έτσι να αξιοποιηθεί διδακτικά, αν παραλληλιστεί με τη δυσκολία που συνάντησε και ο ίδιος ο Γαλιλαίος στο να «δει» το νόμο της βαρύτητας πίσω από το φαινόμενο της πτώσης. Μια τέτοια αναζήτηση ανοίγει ένα τεράστιο κεφάλαιο συζήτησης, που μπορεί να έχει ως τίτλο «τι δεν μπόρεσε να δει ο Γαλιλαίος» ή «ποια διαφορά έχει η συσχέτιση μεγεθών που περιγράφουν την εξέλιξη ενός φαινομένου από την ανεύρεση των αιτίων που το διέπουν».

Παράλληλα, μπορεί να ζητηθεί, ως **εργασία πάνω στη φύση του πειράματος**, το να παρουσιάσουν οι μαθητές το πείραμα της ελεύθερης πτώσης με δύο τρόπους, με **έμφαση ως προς τη διερεύνηση του φαινομένου** και **με έμφαση ως προς την επικοινωνία του**, ή, αλλιώς, το να εργαστούν, σαν να παρουσιάζουν το πείραμα, είτε σε κοινό επιστημόνων και μαρτύρων, είτε σε ανειδίκευτο κοινό με ενδιαφέρον στις φυσικές επιστήμες.

Τέλος, μπορεί να προταθεί ως δραστηριότητα, με αφορμή τα κείμενα που αναφέρονται στο πείραμα της ελεύθερης πτώσης, οι μαθητές να διακρίνουν τη **θέση των εμπειρικών δεδομένων** στα κείμενα του Γαλιλαίου, του Boyle και του Νεύτωνα.

8.1.4. Από το «πώς» στο «γιατί» πέφτουν τα πράγματα στη γη

► Δράσεις:

Με βάση το απόσπασμα του Νεύτωνα στο οποίο ο ίδιος αναφέρεται στο πώς ανακάλυψε την έννοια της βαρύτητας *(βλ. απόσπασμα 1, ενότητα 1.4, Παράρτημα VII)*, μπορούν να σχεδιαστούν δραστηριότητες προς τρεις διαφορετικές κατευθύνσεις. Η μια αφορά στη **συλλογή βιογραφικών πληροφοριών πάνω στην προσωπικότητα του Νεύτωνα**, η δεύτερη στην **οργάνωση συζήτησης** με στόχο τη συνειδητοποίηση του γεγονότος ότι ο Γαλιλαίος, σε αντίθεση με τον Νεύτωνα, μπόρεσε να ασχοληθεί μόνο με το «πώς» και όχι με το «γιατί» πέφτουν τα πράγματα στη γη, και η τρίτη με τη χρησιμοποίηση των μεταφρασμένων αποσπασμάτων του Boyle και του Νεύτωνα, με στόχο τη **σκιαγράφηση της διαφοροποίησης** ανάμεσα στον «τρόπο» τον οποίο ο Boyle και ο Νεύτωνας αντίστοιχα χρησιμοποιούν, προκειμένου να «δημιουργήσουν» επιστήμη.

Σχετικά με το τελευταίο, μαθητές των τελευταίων σχολικών τάξεων θα μπορούσαν, στο πλαίσιο ειδικά σχεδιασμένου προγράμματος, να οδηγηθούν στο να κατανοήσουν ότι, λίγα χρόνια μετά την καθιέρωση της πειραματικής επιστήμης από τον Boyle, ο οποίος «διυλίζει» την εμπειρία, για να προχωρήσει σε εξηγήσεις που τις περισσότερες φορές δεν την υπερβαίνουν, ο Νεύτωνας δομεί θεωρητικά σχήματα με αναφορά στην εμπειρία, αλλά πολύ πέραν αυτής. Η παρατήρηση αυτή μπορεί να συνδυαστεί με τη δραστηριότητα που αναφέρεται στη σύγκριση των μεθοδολογιών που χρησιμοποιούν ο Γαλιλαίος, ο Boyle και ο Νεύτωνας, προκειμένου να γίνει ένα σχόλιο για τα **όρια του επαγωγικού συμπερασμού**, ως τρόπου μετάβασης από το πείραμα στη θεωρία**.**

Παράλληλα, στην κοινή γυμνασιακή τάξη, το απόσπασμα του Νεύτωνα θα μπορούσε να αξιοποιηθεί στο μάθημα της φυσικής, για την εισαγωγή της έννοιας της βαρύτητας, μέσα από συζήτηση που θα μπορούσε να ξεκινήσει με αφορμή την ερώτηση «*γιατί το μήλο πέφτει στη γη, ενώ το φεγγάρι περιστρέφεται γύρω από αυτή;*», η οποία διατυπώθηκε στην πειραματική διάλεξη στο τέλος της παρουσίασης της ενότητας πάνω στην ελεύθερη πτώση. Στο πλαίσιο αυτό, οι ιδέες των μαθητών πάνω στον αέρα και τη βαρύτητα μπορούν να διερευνηθούν περισσότερο.

8.2. *2η υποενότητα*: Το κενό

8.2.1. Αρχαίες, μεσαιωνικές και αναγεννησιακές αντιλήψεις

► Κείμενα και ιστορικά σχόλια:

Εισάγοντας την υποενότητα με τίτλο *«το κενό»* (βλ.*ενότητα 7.4.2*), αναφερθήκαμε σε αρχαία κείμενα που αποκαλύπτουν το ενδιαφέρον για τη σχετική συζήτηση. Όπως φαίνεται στην *ενότητα 2.1* του *Παραρτήματος VII*, στην οποία παρατίθενται περιλήψεις από συγκεκριμένα αποσπάσματα του Αριστοτέλη, ο τελευταίος, χρησιμοποιώντας λογικά επιχειρήματα, ανασκευάζει ένα από τα βασικά επιχειρήματα των οπαδών του κενού, και συγκεκριμένα το ότι *χωρίς το κενό δεν μπορεί να υπάρξει κίνηση* (Αριστοτέλης, *Φυσικά* Δ 213b-216a[301]). Αποδεικνύει, αντίθετα, ότι *το κενό δεν μπορεί να υπάρχει, ούτε ως χώρος ανεξάρτητος από τα σώματα και υποδοχής της κίνησής τους, ούτε ως διάστημα μέσα στα ίδια τα σώματα* (Ross 1993 σελ.130-132[307]).

Η συζήτηση πάνω στο κενό επανέρχεται στο ιστορικό προσκήνιο κατά τα μεσαιωνικά χρόνια, ως αποτέλεσμα των μεταφράσεων των έργων του Αριστοτέλη. Στα μεσαιωνικά πανεπιστήμια, η μελέτη των έργων του Αριστοτέλη γίνεται με επιμέλεια, ενώ το ερώτημα, αν υπάρχει το κενό είναι ανάμεσα στα κεντρικά ερωτήματα που εξετάζονται (Grant 1994 σελ.32-35[309]). Σύμφωνα με τον Schmitt, οι στοχαστές του λατινικού μεσαίωνα υποστήριζαν, σχεδόν χωρίς εξαίρεση, ότι το κενό δεν μπορεί να παραχθεί στη φύση, παρά μόνο με την παρέμβαση υπερφυσικών δυνάμεων (Schmitt 1967[311]). Ωστόσο, παρόλο που απέρριπταν την ύπαρξη του *ενδοκοσμικού κενού* (intracosmic space), ήταν διατεθειμένοι να μελετήσουν τη συμπεριφορά των σωμάτων σε *υποθετικό κενό* (imaginary space), καταλήγοντας, κάποιοι από αυτούς, στο να φανταστούν, αντίθετα με τον Αριστοτέλη, την κίνηση στο κενό ως πεπερασμένη και συνεχή. Επίσης, ανάμεσα στους στοχαστές του 14ου αιώνα υποστηρίζεται η ιδέα ότι ένας άπειρος κενός χώρος υπάρχει πέρα από τον σφαιρικό πεπερασμένο κόσμο μας, ο οποίος είναι φανταστικός και πλήρης θεότητας (Grant 1981 σελ. 259-260[308]). Κατά τον 16ο και 17ο αιώνα, ενώ η ιδέα του φανταστικού άπειρου εξωκοσμικού κενού (extracosmic infinite space) κερδίζει ευρεία αποδοχή, ταυτόχρονα, κάτω και από την επίδραση νέων ελληνικών κειμένων που γίνονται διαθέσιμα τον ύστερο 15ο και 16ο αιώνα, ένα ρεύμα αντιαριστοτελικών στοχαστών αρχίζει να δίνει πραγματική διάσταση στο άπειρο κενό (Grant 1981 σελ.99-100[308]). Χαρακτηριστική ένδειξη αυτής της αλλαγής

στάσης αποτελεί το γεγονός ότι οι στοχαστές του 16ου αιώνα χρησιμοποιούν τα ίδια πειράματα ή γενικότερα τις ίδιες αναφορές στην εμπειρία που χρησιμοποιούν και οι αριστοτελικοί των μεσαιωνικών χρόνων, για να βγάλουν, όμως, τα αντίθετα με εκείνους συμπεράσματα.

Διαφορετικές ερμηνείες των χαρακτηριστικών πειραμάτων του φυσερού ή της κύστης (the bellows) και της κλεψύδρας (clepsydra), που παραθέτει ο Schmitt (Schmitt 1967[311]), έχουν μεταφραστεί στο *Παράρτημα VII, ενότητα 2.2*. Στα παραδείγματα αυτά φαίνεται καθαρά αυτό που σχολιάζει ο Grant (Grant 1981 σελ.97[308]), δηλαδή το πώς οι στοχαστές του 16ου αιώνα ανασυγκροτούν τα εμπειρικά δεδομένα και τα παρουσιάζουν έχοντας ως πεποίθηση ότι το κενό μπορεί να δημιουργηθεί. Η τεκμηρίωση της πεποίθησης απαιτεί συχνά λεπτές διαφοροποιήσεις στις πειραματικές διατάξεις, οι οποίες ορισμένες φορές είναι μόνο νοητικές. Έτσι, στο πείραμα της αδειασμένης από αέρα κύστης, ο Patrizi φαντάζεται ότι η έλξη των παρειών της θα είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία κενού, αν το υλικό της κύστης ήταν ανθεκτικό και δεν σχιζόταν (βλ. *απόσπασμα 3, ενότητα 2.2.1*). Παρόμοια, στο πείραμα της κλεψύδρας, ο Telesio (βλ. *απόσπασμα 6 ενότητα 2.2.3*) ισχυρίζεται ότι η διεύρυνση μιας από τις κάτω οπές της ή η αλλαγή του περιεχομένου της κλεψύδρας θα επέτρεπε τη ροή του υλικού και τη δημιουργία κενού. Τέλος, στο απόσπασμα με το οποίο ο Turnèbe εξηγεί τη λειτουργία της κρήνης του Ήρωνα είναι και αυτό χαρακτηριστικό της μεσαιωνικής αντίληψης που βασίζεται στις αριστοτελικές εξηγήσεις της κίνησης προς τον τόπο και της αποστροφής της φύσης προς το κενό. Σύμφωνα με τον Turnèbe, η φύση επιλέγει να επιτρέψει μια αφύσικη προς τα πάνω κίνηση, προκειμένου να αποτρέψει την περισσότερο αφύσικη δημιουργία κενού (βλ. *απόσπασμα 7, ενότητα 2.2.3*).

► Δράσεις:

Με κέντρο τα μεσαιωνικά πειράματα πάνω στο κενό, που έχουν το χαρακτηριστικό ότι αναφέρονται σε δεδομένα της καθημερινής εμπειρίας, **μπορούν να ανιχνευτούν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια οι ιδέες των μαθητών πάνω στη δυνατότητα ύπαρξης του κενού**. Στο πλαίσιο ειδικά σχεδιασμένων δραστηριοτήτων, **τα ευκολότερα από τα πειράματα μπορούν να αναπαρασταθούν** από τον καθηγητή ή και από τους ίδιους τους μαθητές και να ζητηθεί η **εξήγησή** τους.

Παράλληλα, στο πλαίσιο διαθεματικής δράσης οργανωμένης στο μάθημα της φυσικής ή στο πλαίσιο του μαθήματος της τεχνολογίας, **μπορεί να μελετηθεί θεωρητικά και πειραματικά η κρήνη του Ήρωνα**, η οποία αποτελεί συσκευή του συγκεκριμένου μουσείου και διαδεδομένη συσκευή σε αντίστοιχα μουσεία και συλλογές ιστορικών επιστημονικών εργαστηρίων. Η άμεση ή εικονική παρατήρηση της συσκευής και η πειραματική αναπαράσταση της αρχής λειτουργίας της μέσα από την κατασκευή απλοποιημένων μοντέλων αυτής μπορεί να πλαισιωθεί θεωρητικά με τη μελέτη του *αποσπάσματος 7* της *ενότητας 2.2.3* του *Παραρτήματος VII)* και την αντιπαράθεση της ερμηνείας που δίνει με την αντίστοιχη ερμηνεία ενός σημερινού βιβλίου φυσικής. Τα δύο παραπάνω εξηγητικά μοντέλα μπορούν παράλληλα να συγκριθούν με τις ιδέες των μαθητών πάνω στο ίδιο φαινόμενο.

8.2.2. Το ερώτημα του Giovanni Battista Baliani και η απάντηση του Γαλιλαίου

► Ιστορικά στοιχεία και σχόλια:

Στην επιστολή του στον Γαλιλαίο το 1630, ο Giovanni Battista ρωτάει γιατί το σιφώνιο που είχαν κατασκευάσει οι Γενοβέζοι, για να φέρουν νερό στην πόλη περνώντας το πάνω από τους λόφους, που είχαν ύψος 21 περίπου μέτρων, δεν μπορούσε να λειτουργήσει σωστά (Baliani 27-7-1630[312], Middleton 1963[314]). Ο Baliani εξηγεί, παραθέτοντας το σχέδιο της *εικόνας 8.1*, ότι παρόλο που γέμιζαν όλο το σιφώνιο αρχικά με νερό, όταν άνοιγαν το άκρο του σιφωνίου που βυθιζόταν μέσα στη δεξαμενή προκειμένου να αρχίσει η άντληση, η στήλη του νερού διεκόπτετο, σαν να είχε περάσει μέσα στο σιφώνιο αέρας. Όταν με παρόμοιο τρόπο άνοιγαν το σιφώνιο στο αντίθετο άκρο, πάλι το νερό κατέρχονταν και η στήλη του δεν ξεπερνούσε τα δέκα μέτρα (Middleton 1963[314], Shea 2003 σελ.18-21[310], Drake 1978/1995 σελ.312-313[315]).

Στην απάντησή του στον Giovanni Battista Baliani (Galilei 6-8-1630[313]), ο Γαλιλαίος αναφέρεται στο όριο ανύψωσης του νερού, λέγοντας ότι οι αναρροφητικές αντλίες δεν μπορούν να ανυψώσουν το νερό πάνω από τα 20 braccia. Όταν επανέρχεται στο θέμα στο βιβλίο του *Two New Sciences*, (Galilei1638/1954 *1st day* [63-64][298]) (βλ. *απόσπασμα 6, ενότητα 2.3, Παράρτημα VII*), δίνει για το ίδιο όριο το νούμερο των 18 braccia. Αυτό είναι πιθανόν να οφείλεται, είτε σε ακριβέστερη μέτρηση του φαινομένου, είτε στο βαθμό ακρίβειας ή ορισμού των μονάδων μέτρησης. Όπως αναφέρεται και στη σχετική σημείωση της *ενότητας 7.4.2*, οι ιστορικοί διαφοροποιούνται ως προς την απόδοση των μετρήσεων αυτών σε σημερινές μονάδες μήκους. Ωστόσο, παράλληλα, διατυπώνουν την άποψη ότι η μεταγενέστερη μέτρηση ήταν ακριβέστερη (Drake 1978/1995 σελ.312-313[315], Shea 2003 σελ.21[310], Maffioli 2009[338]).

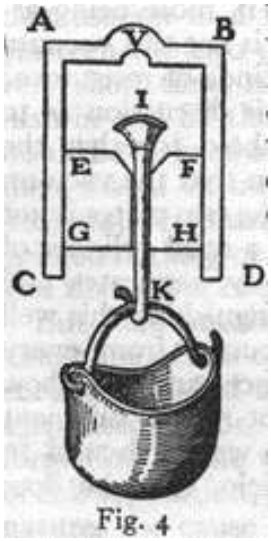
Εικόνα 8.1: Σκίτσο του σιφωνίου (Baliani 27-7-1630[312])

Η θέση του Γαλιλαίου πάνω στο θέμα του κενού είναι, όπως και πάνω στο θέμα της ελεύθερης πτώσης, χαρακτηριστική του τρόπου με τον οποίο συνομιλεί με το «παλαιό», ενώ ταυτόχρονα χτίζει «το καινούργιο». Ενώ συνεχίζει να χρησιμοποιεί την επιχειρηματολογία του Αριστοτέλη, ότι «η φύση αποστρέφεται το κενό», ταυτόχρονα, ενισχύει την αντίρρηση που έχει εγερθεί απέναντί της κατά τη διάρκεια του 16ου αιώνα (Schmitt 1967[311], Grant 1981 σελ.67-100[308]), σύμφωνα με την οποία ναι μεν η φύση αποστρέφεται το κενό, όμως, ταυτόχρονα, υπάρχουν περιπτώσεις που το δημιουργεί ή το επιτρέπει (βλ.*ενότητα 8.2.1*). Και η παρέμβασή του είναι χαρακτηριστικά καινοτόμος, καθώς οι υποθέσεις του βασίζονται, όχι μόνο σε λογικά επιχειρήματα – όπως, για παράδειγμα, αυτά που χρησιμοποιούν οι σχολιαστές του Αριστοτέλη, για να επανερμηνεύσουν τα παραδοσιακά πειράματα της κύστης και της κλεψύδρας – αλλά και στον ορισμό και τη μέτρηση φυσικών μεγεθών (Galilei

1638/1954 *1st day* [59-67][299]) (βλ. *αποσπάσματα 1-8 ενότητα 2.3, Παράρτημα VII*).

Ο Γαλιλαίος απαντά με επιμέλεια στα επιμέρους θέματα που η Αριστοτελική θεώρηση του θέματος εγείρει. Έτσι, δεν παραλείπει να αναφερθεί, για παράδειγμα, στο θέμα της κίνησης στο κενό, αντιπαραθέτοντας ότι η κίνηση στο κενό είναι δυνατή και ότι το κενό προκαλεί την κίνηση. Παράλληλα, ξεκινάει τη συζήτηση πάνω στο θέμα του κενού, αναφερόμενος στα πολυσυζητημένα πειράματα της εποχής του, όπως το πείραμα των λείων πλακών (Galilei 1638/1954 *1st day* [59-60][299]) (βλ. *αποσπάσματα 1 & 2 και 3)*.

Ο Γαλιλαίος διακρίνει δύο είδη κενού, το μακροσκοπικό κενό (macroscopic void), δηλαδή αυτό που βρίσκεται έξω από τα σώματα και αποτελεί κενό χώρο, και τα μικροσκοπικά κενά, που βρίσκονται μέσα στα σώματα και αποτελούν αίτιο της συνεκτικότητας των στερών σωμάτων, ένα είδος δηλαδή «κόλλας της ύλης» (Galilei 1638/1954 *1st day* [61][299]) (βλ. *απόσπασμα 4*). Παρουσιάζει την υπόθεσή του, ότι η αντίσταση της φύσης στη δημιουργία κενού χώρου αποτελεί μερικό αίτιο της συνεκτικότητας της ύλης και περιγράφει πειραματική διάταξη που έχει επινοήσει προκειμένου να τη μετρήσει (Galilei 1638/1954 *1st day* [61-63][299]) (βλ. *απόσπασμα 5*). Η συσκευή βασίζεται στην υπόθεση ότι το μέτρο της αντίστασης αυτής ταυτίζεται με τη δύναμη που χρειάζεται, για να ανυψωθεί η μέγιστη δυνατή ποσότητα νερού.



Εικόνα 8.2: «Μετρώντας την αντίσταση του κενού» (Galilei 1638/1954, 1st day [61-62][299])

Έτσι, εξηγεί το πρόβλημα του ορίου ανύψωσης του νερού, από τις αναρροφητικές αντλίες, ως αποτέλεσμα της αντίστασης της φύσης στο να δημιουργηθεί κενός χώρος (Galilei 1638/1954 *1st day* [63-64][299] (βλ. *αποσπάσματα 6, 7*). Τέλος, συμπληρώνει την υπόθεσή του, ότι το κενό ευθύνεται για τη συνεκτικότητα της ύλης, παρουσιάζοντας τα μικροσκοπικά κενά μέσα στα υλικά (intersistial void) ως αιτία της συνεκτικότητας των στερεών σωμάτων (*βλ. απόσπασμα 8)* (Galilei 1638/1954 *1st day* [65-67][299]).

Ο τρόπος με τον οποίο ο Γαλιλαίος συνθέτει την υπόθεσή του είναι χαρακτηριστικός της μικτής επιστήμης που χρησιμοποιεί, η οποία συνδυάζει λογική επιχειρηματολογία με νοητικά πειράματα και εμπειρικά δεδομένα. Ξεκινώντας από την υπόθεση ότι το κενό μπορεί να υπάρξει και ότι η αντίσταση της φύσης απέναντι στη δημιουργία του είναι πεπερασμένη, επινοεί τη συσκευή που προαναφέραμε, για να το μετρήσει. Σε αντίθεση με την περιγραφή που ο Maignan κάνει στο πείραμα του Gaspar Berti (βλ.*ενότητα 8.2.3*) ή τις περιγραφές του Boyle, η περιγραφή της χρήσης της συσκευής από τον Γαλιλαίο, παρόλο που φαίνεται ρεαλιστική, εγείρει ταυτόχρονα την απορία, αν τα αντίστοιχα πειράματα όντως πραγματοποιήθηκαν, γιατί ο Γαλιλαίος δεν καταγράφει καθόλου περιστασιακού τύπου στοιχεία *(βλ. απόσπασμα 2, ενότητα 2.3)*.

Ο Γαλιλαίος χρησιμοποιεί στη συνέχεια μια σειρά εμπειρικών δεδομένων, για να αιτιολογήσει την

υπόθεσή του, τα οποία αποτελούν παραδείγματα «ολιστικής ανάγνωσης» της φύσης. Έτσι, την ευαισθησία του δεν αφήνουν αδιάφορη εικόνες της καθημερινής ζωής, όπως το άδειασμα του νερού από τις στοές των ορυχείων, τα σχοινιά που μικραίνουν από την υγρασία, το φαινόμενο του ότι τα μικρά κομμάτια στερεών διαχωρίζονται δυσκολότερα από τα μεγαλύτερα. Επιχειρηματολογώντας, χρησιμοποιεί, ακόμα, παρομοιώσεις και αναλογίες. Για να παρουσιάσει τη θεωρία του για τη συνεισφορά των μικροσκοπικών κενών στη συνοχή των στερεών σωμάτων, χρησιμοποιεί παραδείγματα, όπως το τεράστιο μηχανικό έργο που επιτελούν τα μικροσκοπικά μυρμήγκια και τη δυνατότητα συσσώρευσης χρημάτων από τη φορολογία (Galilei 1638/1954 *1st day* [65-67][299]) (βλ.*απόσπασμα 8*).

Το συγκεκριμένο κείμενο του Γαλιλαίου (Galilei 1638/1954 *1st day* [59-67][299]) έχει υψηλή αισθητική αξία, καθώς καταφέρνει να παρασύρει τον αναγνώστη να φανταστεί επιστημονικά προβλήματα με φόντο στιγμιότυπα της καθημερινής ζωής, τα οποία αποτυπώνει με καλλιτεχνική ακρίβεια. Παράλληλα, το ξετύλιγμα των επιχειρημάτων περιλαμβάνει απροσδόκητες ανατροπές. Έτσι, ο Γαλιλαίος, αρχικά, θέτει το όριο της ανύψωσης στήλης νερού ως μέτρο της αντίστασης της φύσης στη δημιουργία κενού χώρου και ως μερική αιτία της συνεκτικότητας των υλικών. Με τον τρόπο αυτό δημιουργεί την απορία στον αναγνώστη, ποια να είναι τα υπόλοιπα αίτια της συνεκτικότητας των υλικών που δεν διαχωρίζονται τόσο εύκολα όπως το νερό, για να επανέλθει στη συνέχεια ξανά στο κενό, αυτή τη φορά το μικροσκοπικό, θέτοντάς το ως επιπλέον αίτιο της συνεκτικότητας των σωμάτων.

► <u>Δράσεις:</u>

Το συγκεκριμένο κείμενο του Γαλιλαίου μπορεί να αποτελέσει εφαλτήριο για το σχεδιασμό σειράς δραστηριοτήτων, πειραματικών και θεωρητικών στο πλαίσιο ειδικά σχεδιασμένων, εκτενέστερων, διαθεματικών δράσεων. Κεντρικά σημεία αυτών είναι αυτά που παραπάνω επισημάνθηκαν, δηλαδή, οι θέσεις και απόψεις του Γαλιλαίου, ο τρόπος που αρθρώνει τα επιχειρήματά του, δηλαδή, τα κείμενα με τα οποία «συνομιλεί» και ο τρόπος που εμπλουτίζει τον επιστημονικό λόγο με σκηνές από την καθημερινότητα.

Έτσι, στο πλαίσιο ειδικού προγράμματος, απευθυνόμενου περισσότερο σε μαθητές των μεγαλύτερων τάξεων, θα μπορούσε **να διερευνηθεί η επιχειρηματολογία του Γαλιλαίου και να εντοπιστούν οι βασικές υποθέσεις του και τα βασικά στοιχεία της επιχειρηματολογίας του**. Ως προς τα τελευταία, θα μπορούσαν να διαχωριστούν σε στοιχεία στα οποία αναφέρεται σε **δεδομένα της εμπειρίας**, σε στοιχεία στα οποία αναφέρεται σε **προεκτάσεις της εμπειρίας** και σε μέρη στα οποία **υπερισχύει η λογική επιχειρηματολογία**. Παράλληλα, θα ήταν σκόπιμο, με τη βοήθεια των κειμένων που παρατίθενται στις *ενότητες 2.1, 2.2* και *2.3 του Παραρτήματος VII,* να εντοπιστούν τα σημεία στα οποία **αναφέρεται και απαντάει στους Αριστοτελικούς**, εκείνα στα οποία **αναφέρεται στα πολυσυζητημένα μεσαιωνικά πειράματα** και εκείνα στα οποία εμφανίζει **επιρροές από αρχαίες ελληνικές απόψεις** για το κενό. Τέλος, πάντα με βάση τα ίδια κείμενα, θα μπορούσαν να

υπογραμμιστούν τα σημεία στα οποία φαίνεται να **εισάγει νέα οπτική** στα φαινόμενα.

Στο πλαίσιο δραστηριοτήτων που απευθύνονται σε μικρότερους μαθητές, παρόμοια εργασία θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια **παιχνιδιού ρόλων**, κατά το οποίο μέρη από το διάλογο του Γαλιλαίου θα μπορούσαν να αναπαρασταθούν και να μελετηθούν ως προς τα επιχειρήματα που οι πρωταγωνιστές ενσωματώνουν. Στη δράση αυτή θα μπορούσαν να προτιμηθούν τα τμήματα του διαλόγου τα οποία αποκαλύπτουν πως ο Γαλιλαίος κάνει μαζί **φυσική και λογοτεχνία**, συνδυάζοντας την αφαιρετική επιστημονική σκέψη με τις πλούσιες σε λεπτομέρειες εικόνες της φύσης και της καθημερινής ζωής.

Περαιτέρω εργασία εμβάθυνσης πάνω στις θέσεις του Γαλιλαίου θα μπορούσε να γίνει με τη μελέτη και **ανακατασκευή των πειραματικών διατάξεων** που ο ίδιος προτείνει. Η δράση θα μπορούσε να αποκαλύψει τα στοιχεία της εμπειρικής πραγματικότητας τα οποία ο Γαλιλαίος έχει παραλείψει, προκειμένου να «αφαιρέσει το θόρυβο» της πραγματικότητας και να «δει» τις βασικές αρχές. Για τις μικρότερες ηλικίες, η έμφαση θα μπορούσε να μετατοπιστεί στο να επιτύχουμε να εξάγουμε από το κείμενο του Γαλιλαίου την πειραματική διάταξη και να αναπαραστήσουμε, έστω και με απλοποιημένο τρόπο, την προτεινόμενη πειραματική διαδικασία.

8.2.3. Το πείραμα του Gaspar Berti

► Ιστορικά στοιχεία:

Σύμφωνα με τους ιστορικούς (Middleton 1963[314], Middleton 1964 σελ.10-18[316]), γύρω στο 1640, μια ομάδα επιστημόνων της εποχής με επικεφαλής τον Gaspar Berti[cciv] οργανώνει τη διεξαγωγή ενός πειράματος που έχει ως στόχο να μελετήσει στην πράξη τη συζήτηση σχετικά με το όριο ανύψωσης του νερού, που ο Γαλιλαίος εκθέτει στο βιβλίο του *Two New Sciences* (Galilei 1638/1954 *1st day* [63-64][299]).

Ο Berti προσαρμόζει στην πρόσοψη του ψηλού πύργου ενός αρχοντικού, στη Ρώμη, σωλήνα που έχει ύψος 30 περίπου μέτρων και το κάτω μέρος του καταλήγει σε ένα βαρέλι με νερό. Γεμίζοντας τον σωλήνα με νερό από το πάνω του μέρος, οι αυτόπτες μάρτυρες παρατηρούν ότι, όταν στη συνέχεια τον σφραγίζουν από πάνω και τον ανοίγουν από κάτω, το νερό δεν συγκρατείται, αλλά κατεβαίνει μέχρι περίπου τα δέκα μέτρα από το επίπεδο του βαρελιού. Το πείραμα, εκτός από το να επιβεβαιώσει την παρατήρηση του Γαλιλαίου, είχε ως στόχο να διαπιστωθεί, εάν το επάνω μέρος του σωλήνα παρέμενε κενό μετά την κάθοδο του νερού. Ωστόσο, οι μάρτυρες δεν κατάφεραν να συμφωνήσουν πάνω στο τελευταίο, παρά τις ειδικά σχεδιασμένες πειραματικές δοκιμές.

Ο Emmanuel Maignan, περιγράφοντας το πείραμα, το 1653, αναφέρει ότι, όταν μετά την κάθοδο της στήλης του νερού στα 10 m η στρόφιγγα στο επάνω μέρος του βαρελιού ανοίχτηκε, ο αέρας όρμησε μέσα, προκαλώντας δυνατό θόρυβο. Με στόχο να διαπιστωθεί, αν όντως ο χώρος της

[cciv] Η ομάδα αποτελούνταν από τον μαθηματικό Rafael Maggioti , τον μαθηματικό και αστρονόμο Gaspar Berti, τον Ιησουίτη Athanasius Kircher και πιθανόν τον Ιησουίτη Nicolo Zucchi (Middleton 1964 σελ.10[316]).

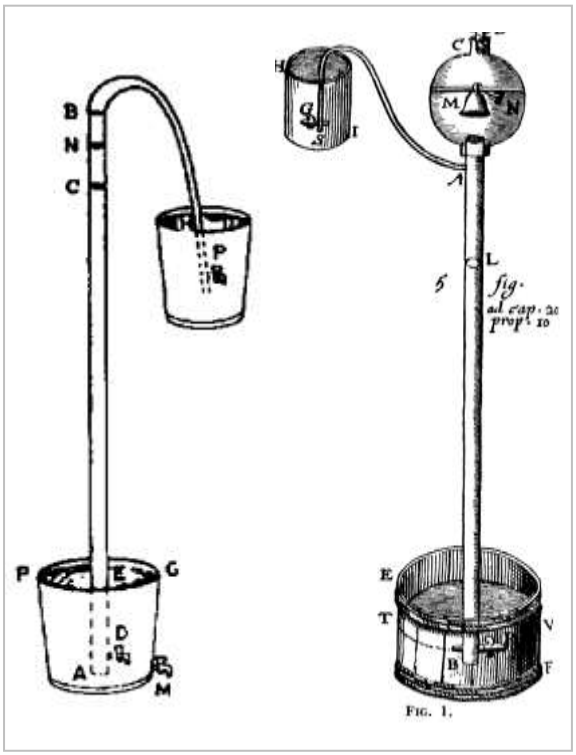
γυάλινης φιάλης παρέμενε κενός, ο Athanasius Kircher είχε την ιδέα να κρεμάσουν στο χώρο αυτό μικρό καμπανάκι και να το εξαναγκάσουν σε ταλάντωση με τη βοήθεια μαγνήτη.

Τότε, από τη μια μεριά, διαπίστωσαν ότι μπορούσε να ασκηθεί μαγνητική έλξη διαμέσου της φιάλης και, από την άλλη, ότι ο ήχος ακουγόταν. Με βάση το δεύτερο κυρίως πειραματικό αποτέλεσμα, δύο από τους αυτόπτες μάρτυρες συμπέραναν ότι ο φαινομενικά κενός χώρος περιείχε τελικά αέρα. Ο Maignan, αντίθετα, διαφωνούσε, θεωρώντας ότι ο ήχος που είχε ακουστεί δεν είχε διαδοθεί διαμέσου του αέρα, αλλά διαμέσου των υλικών με τα οποία η καμπανούλα ερχόταν σε επαφή, και ότι ο χώρος ήταν πραγματικά κενός. Οι αντικρουόμενες απόψεις των συμμετεχόντων, σχετικά με το αν η γυάλινη φιάλη ήταν ή όχι πραγματικά κενή, είχαν ως αποτέλεσμα το πείραμα να μην καταλήξει σε σαφές συμπέρασμα (Maignan 1653 στον Middleton 1963[314], Shea 2003 σελ.24-29[310]) (βλ. *απόσπασμα 1, ενότητα 2.4 Παραρτήματος VII)*.

► <u>Σχόλια:</u>

Σε αντίθεση με τα δύο πειράματα που περιγράφει ο Γαλιλαίος, στις *Δυο Νέες Επιστήμες*, για τη διερεύνηση του αν υπάρχει το κενό (βλ.*ενότητα 8.2.2*) (Galilei 1638/1954 *1st day* [61]-[66][299]), το πείραμα του Gaspar Berti, όπως αυτό περιγράφεται από τον Maignan, έχει τη χροιά αντικειμενικού γεγονότος που παρακολουθείται, βελτιώνεται και σχολιάζεται από τους μάρτυρες. Η πειραματική αυτή κουλτούρα, που στα πρώιμα στάδιά της υποστηρίχθηκε και σε μεγάλο βαθμό θεσμοθετήθηκε από τον Boyle, για να αποτελέσει αργότερα βασική επιστημονική μέθοδο (Shapin 1984[12]), δεν αποτελούσε την επιστημονική μεθοδολογία του Γαλιλαίου. Παρόλο που δεν υπάρχει αμφιβολία ότι ο Γαλιλαίος εκτελούσε πειράματα και αναλυτικές μετρήσεις και ότι βασιζόταν σε αυτά για τη διατύπωση υποθέσεων, ο τρόπος του δεν ήταν καθαρά εμπειρικός. Η φαντασία του συχνά τον οδηγούσε να προσθέτει στην εμπειρική πραγματικότητα στάδια στα οποία δεν μπορούσε να έχει πρόσβαση ή να αφαιρεί λεπτομέρειες που αποτελούσαν «θόρυβο», όταν προσπαθούσε να διακρίνει βασικές αρχές πίσω από τα φαινόμενα. Χαρακτηριστικό αυτής του της στάσης είναι το γεγονός ότι δεν συνήθιζε να περιγράφει τα πειράματα σε παρόντα χρόνο. Στο προαναφερόμενο απόσπασμα στις *Δύο Νέες Επιστήμες*, μιλάει για το πρόβλημα των αντλιών μέσα από την εμπειρία τρίτων, ενώ περιγράφει τη συσκευή που επινοεί για τη μέτρηση της αντίστασης στο κενό, περισσότερο ως πειραματική ιδέα, παρά ως πειραματικό γεγονός. Οι μετέχοντες στη σχετική συζήτηση φαίνονται να μιλάνε για ένα πείραμα που θα μπορούσε να έχει γίνει και για προβλήματα που θα μπορούσαν να έχουν προκύψει, χωρίς να παραθέτουν αποδείξεις για την εκτέλεσή του πειράματος ή για την επίλυση προβλημάτων που προέκυψαν κατά την εκτέλεσή του. Το κείμενο εγείρει την αμφιβολία σχετικά με το αν η πειραματική διάταξη είχε ποτέ κατασκευαστεί, σε αντίθεση με την περιγραφή του πειράματος του Berti, για το οποίο γνωρίζουμε μια σειρά από κατασκευαστικές και περιστασιακές λεπτομέρειες, που καθιστούν αδιαμφισβήτητη την πραγματοποίησή του. Έτσι, πληροφορίες που, για παράδειγμα, αναφέρονται στη σταδιακή βελτίωση της συσκευής (βλ. *εικόνα 8.3*), στα υλικά που επιλέχθηκαν για την κατασκευή της, στον τρόπο που επινοήθηκε, για να παρατηρούν το ύψος του νερού μέσα από το

μολύβδινο σωλήνα, και περιστασιακά γεγονότα, όπως το ότι η γυάλινη φιάλη έσπασε και αναγκάστηκαν να την ξαναφτιάξουν, ή ότι, όταν ανοίχτηκε η συσκευή από το επάνω μέρος, ο αέρας όρμησε μέσα με τρομερό θόρυβο *(βλ. Παράρτημα VII, ενότητα 2.4, απόσπασμα 1)* συντελούν στο να καταστήσουν τους μάρτυρες αξιόπιστους, την πληροφορία έγκυρη και το πειραματικό αποτέλεσμα επαναλήψιμο και ελέγξιμο.



Εικόνα 8.3.:Η αρχική και η τελική εκδοχή της συσκευής για το πείραμα του Berti (Shea 2003 σελ.26,27[310])

Οι ιστορικοί τοποθετούν την πραγματοποίηση του πειράματος του Gaspar Berti ανάμεσα στο 1639 και το 1644. Παρόλο που ως επιστημονικό γεγονός ήταν ιδιαίτερα σημαντικό, δεν είναι γνωστή η ακριβής ημερομηνία διεξαγωγής του και αυτό αποτελεί ένδειξη του γεγονότος ότι, στην εποχή του, δεν έγινε ευρέως γνωστό. Κατά τον Middleton (Middleton 1963[314]), το γεγονός αυτό δεν είναι ανεξάρτητο από το ότι στη Ρώμη του 1640 δεν ήταν ιδιαίτερα ασφαλές να συζητιέται δημόσια η δυνατότητα παραγωγής του κενού. Έτσι, ενώ η σημασία του πειράματος θα δικαιολογούσε αυτό να βρίσκεται στο κέντρο της επικαιρότητας, γνωστοποιήθηκε μόνο στον πολύ στενό κύκλο της ομάδας που το οργάνωσε και στο άμεσο περιβάλλον τους.

Σύμφωνα με τους ιστορικούς (Middelton 1963[307], Middleton 1964 σελ.10-18[316], Shea 2003 σελ.24-31[310]), το πείραμα του Gaspar Berti αποτελεί συνδετικό κρίκο ανάμεσα στον Γαλιλαίο και τον Torricelli, γιατί η σύλληψή του βασίστηκε στο αντίστοιχο κείμενο του Γαλιλαίου (Galilei 1638/1954 *1st day* [63-64][299]), ενώ ενέπνευσε τα μετέπειτα πειράματα του Torricelli. Εκτός από την ιδιότητά του αυτή, ο λόγος που η σύγχρονη ιστοριογραφία του έχει δώσει μείζονα σημασία έχει σχέση με την πρόσφατη τάση της φιλοσοφίας της επιστήμης να μελετά τα πειράματα ως διαδικασίες, και όχι ως αποτελέσματα. Έτσι, συμβάντα που κατέληξαν ανεπιτυχώς ή οδήγησαν σε αντιφατικά συμπεράσματα, όπως το πείραμα αυτό, μπαίνουν στο φακό της ιστορικής έρευνας, ως πολύτιμοι κρίκοι στον ιστό δόμησης της επιστημονικής γνώσης.

Για τους σημερινούς ιστορικούς είναι ιδιαίτερα αξιοπρόσεκτος ο τρόπος με τον οποίο το πείραμα του Gaspar Berti λήγει. Έτσι, ενώ οι συμμετέχοντες βρέθηκαν μια τρίχα πριν την αποκάλυψη του γεγονότος ότι «το κενό μπορεί να δημιουργηθεί», για διάφορους λόγους, ανάμεσα στους οποίους κύριο βάρος είχαν οι αντιλήψεις τους, δεν ανέγνωσαν έτσι τα πειραματικά αποτελέσματα. Ενδείξεις, όπως ο ήχος του αέρα που ακούγονταν να γεμίζει το σωλήνα, όταν ανοιγόταν η επάνω στρόφιγγα, δεν έμοιαζαν τόσο πειστικές, όσο άλλες, όπως η παραγωγή του ήχου και η διάδοση του φωτός διαμέσου της φιάλης. Οι οπαδοί του «πλήρους» βγήκαν περισσότερο ενισχυμένοι από την εκτέλεση του

πειράματος σε σχέση με τους οπαδούς της αντίθετης άποψης και ισχυρίζονταν ότι ο αέρας μπορούσε να βρει διάφορους τρόπους, για να εισέλθει στη γυάλινη φιάλη, όπως να διεισδύσει μέσα από το γυαλί ή να γλιστρήσει μέσα από το νερό. Ο ίδιος ο Berti, αναφέρεται χαρακτηριστικά, θεώρησε τον ήχο της μικρής καμπανούλας ως το αγγελτήριο θανάτου του κενού και εγκατέλειψε το πείραμα, θεωρώντας το αποτυχημένο. Λίγους μήνες μετά, το πείραμα είχε ξεχαστεί και φαίνεται ότι κανείς δεν το θυμήθηκε όταν, λίγα χρόνια αργότερα, ο Torricelli, άρχισε να διερευνά πειραματικά το ίδιο επιστημονικό ερώτημα (Middleton 1963[314], Middleton 1964 σελ.3-18[316], Shea 2003 σελ.24-31[310]).

Όπως περιγράφει ο Middleton (Middleton 1964 σελ. 55-82[316]), το γεγονός ότι ο χώρος πάνω από τον υδράργυρο επέτρεπε στο φως να περάσει και στη μαγνητική έλξη να διαδοθεί παρέμειναν ερωτήματα πολύ μετά την απόδειξη ότι ο χώρος αυτός ήταν κενός από αέρα. Ενώ την εποχή του πειράματος του Berti, οι περισσότεροι από τους μάρτυρες θεώρησαν, απλά, ότι το πείραμα απέτυχε να δημιουργήσει κενό και ότι το κενό δεν υπάρχει, αργότερα, δόθηκε η εξήγηση ότι, πιθανόν, ο χώρος να περιείχε κάποιο «λεπτοφυέστερο από τον αέρα μέσον» (“subtle matter”), τον «αιθέρα» (“ether”) (Middleton 1964 σελ. 57[316]), ή κάποια «πύρινης φύσης ουσία» (“spirits of fire”) (Middleton 1964 σελ. 59[316]).

► <u>Δράσεις:</u>

Με τα σημερινά δεδομένα στο χώρο της ελληνικής επιστημονικής εκπαίδευσης, το συγκεκριμένο πείραμα του Berti μπορεί **να συζητηθεί ως εισαγωγή στο πείραμα του Torricelli**, για να εμπλουτίσει την τυπική διδασκαλία του θέματος και να συνδέσει τη δυσκολία των μαθητών να σκεφτούν το αίτιο που προκαλεί την άνοδο της στήλης του υδραργύρου με την αντίστοιχη δυσκολία των επιστημόνων.
Παράλληλα, στο πλαίσιο κάποιας δραστηριότητας που θα επέτρεπε περισσότερο χρόνο για συζήτηση πάνω στη φύση της επιστήμης, προτείνουμε να αξιοποιηθεί η ιστορική μαρτυρία του Maignan (βλ.*Παράρτημα VII, ενότητα 2.4, απόσπασμα 1)*, προκειμένου να διερευνηθούν **οι αντιλήψεις των πρωταγωνιστών του πειράματος πάνω στο κενό** και προκειμένου **να μελετηθεί το πείραμα ως περιστασιακό γεγονός**. Η δεύτερη δραστηριότητα θα μπορούσε, αυθόρμητα, να εξελιχθεί στην **προσπάθεια αναπαράστασης του πειράματος**, ή εκδοχής του, η οποία προτείνουμε να γίνει, κατ’ αρχήν, με απλά υλικά. Ζητούμενο της πειραματικής δραστηριότητας θα μπορούσε να είναι, τόσο η μελέτη του φαινομένου στην πράξη, όσο και η λεπτομερής καταγραφή του, κατά τα πρότυπα του κειμένου του Maignan.

8.2.4. Το πείραμα του Torricelli

► Ιστορική σημείωση & σχόλια:

Όπως αναφέρθηκε στην *ενότητα 7.4.2.*, λίγα χρόνια μετά την πραγματοποίηση του πειράματος του Gaspar Berti, ο Torricelli επιλέγει διαφορετική απάντηση στο ερώτημα του ορίου στο οποίο ανέρχεται η στήλη του νερού, αναζητώντας την αιτία του φαινομένου, όχι μέσα στο σωλήνα, αλλά έξω από αυτόν, στο βάρος του αέρα. Ταυτόχρονα, δίνει ξεκάθαρη απάντηση στο πρόβλημα του κενού, υποστηρίζοντας ότι αυτό μπορεί να δημιουργηθεί εύκολα με φυσικά μέσα. Όπως φανερώνουν τα λόγια του στην ιστορική επιστολή προς τον Michelangelo Ricci, ο Torricelli συλλαμβάνει την εικόνα της επιφάνειας της γης ως πυθμένα ενός ωκεανού από αέρα, όπου τα αντικείμενα πιέζονται, λόγω του βάρους του αέρα. Έτσι, ο λόγος που οι στήλες ύψους 10,5 περίπου μέτρων νερού και 76 εκατοστών υδραργύρου στέκονται είναι ότι βρίσκονται σε ισορροπία ως προς την δύναμη με την οποία ο αέρας πιέζει την επιφάνεια της λεκάνης (Torricelli 1644 στον Middleton 1964 σελ.23-24[317]) (βλ.*απόσπασμα 2, ενότητα 2.4. Παράρτημα VII*).

Όπως φαίνεται, ωστόσο, στις τελευταίες παραγράφους της ίδιας επιστολής, ο Torricelli θεωρεί μεν το πείραμά του επιτυχημένο ως προς τη θεωρητική επίλυση του προβλήματος του κενού, σημειώνει όμως ότι η πρόθεσή του δεν σταματούσε εκεί, αλλά επεδίωκε να κατασκευάσει ένα όργανο με το οποίο θα μπορούσε πραγματικά να μετρήσει διαφοροποιήσεις στο βάρος του αέρα. Παρόλο που η σύλληψη του Torricelli αποδεικνύεται αργότερα ορθή, ο ίδιος αποτυγχάνει στην πράξη να διαπιστώσει ότι με τη συσκευή του μπορεί να επιτύχει τέτοιες πειραματικές μετρήσεις. Έτσι, όπως σχολιάζει ο Middleton, ενώ η ιστορία της επιστήμης τον θεωρεί ως τον εφευρέτη του βαρομέτρου, ο ίδιος θεωρούσε ότι το πείραμά του είχε αποτύχει ως προς τη δεύτερη αυτή θεωρητική υπόθεση (Middleton 1963[314]).

Ο Middleton αναφέρει ότι η ιδέα, ότι *διαφορετικά υγρά μπορούν να αντληθούν σε διαφορετικό ύψος, που εξαρτάται από το ειδικό τους βάρος*, είχε ήδη απασχολήσει τον Γαλιλαίο. Επίσης, αναφέρει ότι η ιδέα, ότι, *αν ο αέρας έχει βάρος, το κενό είναι δυνατόν να δημιουργηθεί*, είχε και αυτή διατυπωθεί ως ενδεχόμενο από τον Baliani. Ο ίδιος αναλυτής καταλήγει στο σχόλιο ότι, παρόλο που με αυτόν τον τρόπο η σημασία του πειράματος του Torricelli μεταβάλλεται, δεν παύει να ισχύει ότι ο Torricelli εισάγει μια νέα οπτική στο πρόβλημα του κενού, εφόσον καταφέρνει να διατυπώσει ένα εξηγητικό σχήμα που να συνοψίζει τις προηγούμενα διατυπωμένες απόψεις με ολοκληρωμένο και, επομένως, με πειστικά ανατρεπτικό τρόπο (Middleton 1963[314]).

► Δράσεις:

Το πρώτο ζήτημα που προτείνουμε **να μελετηθεί σε μεγαλύτερο βάθος**, αναφορικά με το πείραμα του Torricelli, είναι ακριβώς **τα δομικά στοιχεία του νέου εξηγητικού σχήματος που εισάγει**. **Προτείνεται να επισημανθεί** ότι η θεώρηση του Torricelli αποτελεί νέα οπτική στην ιστορία της επιστήμης, γιατί σβήνει τα ίχνη του μεσαιωνικού τρόπου εξήγησης του φαινομένου, καθώς

αντικαθιστά την τελεολογικού *τύπου εξήγηση κατά την οποία η φύση μπορεί να προτιμά ή να αντιπαθεί κάτι* από μια καθαρά μηχανικού τύπου ερμηνεία.

Το γεγονός ότι η χρήση του υδραργύρου έχει απαγορευτεί στερεί τη δυνατότητα να σχεδιαστούν πειραματικές δραστηριότητες αναπαράστασης του πειράματος του Torricelli. **Η παρατήρηση και μελέτη των παραδοσιακών συσκευών** για την πραγματοποίηση του πειράματος, **η πραγματοποίηση του πειράματος με τη χρήση νερού αντί για υδράργυρο**, **η μελέτη βιντεοσκοπημένων πειραμάτων και προσομοιώσεων** αποτελούν δραστηριότητες για τη αναπλήρωση αυτού του κενού. Παράλληλα, θα μπορούσαν να σχεδιαστούν μια σειρά από δραστηριότητες εξερεύνησης ιστορικών επιστημονικών συλλογών, με γνώμονα την **παρατήρηση των διαφορετικών τύπων βαρομέτρων** και **τη διάκριση εκείνων** των τύπων που **οι αρχές λειτουργίας τους περιγράφονται από το εξηγητικό σχήμα του Torricelli**.

8.2.5. Οι αντλίες κενού

► Ιστορική σημείωση & σχόλια:

Η Anne van Helden (Van Helden 1991[339]) σημειώνει ότι η εμφάνιση και εξέλιξη των μηχανών παραγωγής του κενού δεν αποτέλεσε απάντηση στο ερώτημα του αν υπάρχει ή όχι το κενό. Κατά κάποιον τρόπο, όπως σχολιάσαμε κι εμείς σχετικά κατά την αφήγηση του πειράματος του Berti (βλ. *ενότητα 8.2.3*), η εμφάνιση διατάξεων που θα μπορούσαν να αποδείξουν την ύπαρξη του κενού, δημιουργώντας το, μπορούσαν να πείσουν μόνο όσους ήταν ήδη πεπεισμένοι για την ύπαρξη του κενού. Από την άλλη μεριά, σύμφωνα πάντα με την Van Helden, η εμφάνιση των αντλιών κενού και η εξέλιξή τους συνδέθηκαν, όχι με την επίλυση του ερωτήματος σχετικά με το κενό, αλλά με τη μετατροπή του σε ερωτήματα σχετικά με τις ιδιότητες του κενού και του αέρα. Αυτός ο μετατονισμός γίνεται ιδιαίτερα φανερός στην έρευνα του Boyle, η οποία συνοδεύεται από τη μετατροπή των τεχνικών χαρακτηριστικών της αντλίας κενού με γνώμονα, από τη μια μεριά την ευκολία και δυνατότητα εκτέλεσης πειραμάτων στο εσωτερικό του εκκενωμένου από αέρα κώδωνα και, από την άλλη, τη βελτίωση της ποιότητας του παραγόμενου κενού με την αντιμετώπιση των διαρροών. Στη δική μας έρευνα, ο μετατονισμός αυτός, ο οποίος απλά σκιαγραφείται κατά την παρουσίαση της πειραματικής διάλεξης, καθώς με τη σειρά μας αφήνουμε να ατονήσει το ερώτημα που απευθύνουμε σχετικά με το κενό (βλ. κυρίως *ενότητα 7.4.2*), μπροστά στα εντυπωσιακά πειράματα που θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν σε περιβάλλον μειωμένης ατμοσφαιρικής πίεσης (βλ. κυρίως *ενότητες 7.4.4-7.4.8*), γίνεται περισσότερο σαφής με τη βοήθεια των αποσπασμάτων του *Παραρτήματος VII* (βλέπε χαρακτηριστικά την αντιπαράθεση των ερωτημάτων που τίθενται στο *απόσπασμα 1* της *ενότητας 2.4* με τα ερωτήματα που θέτει ο Boyle στο *απόσπασμα 1* της *ενότητας 3.2* και την περιγραφή των αλλαγών στα τεχνικά χαρακτηριστικά των αντλιών που επίσης περιγράφει ο Boyle στην *ενότητα 2.5*).

Ακόμα, η Van Helden (Van Helden 1991[339]) επισημαίνει ότι, σταδιακά, από τα μέσα του 17^{ου} αιώνα

μέχρι τον 18^{ο} αιώνα, η αντλία κενού μετατράπηκε από εξαιρετικά ακριβό *ερευνητικό όργανο υψηλής τεχνολογίας* σε όργανο για την *επίδειξη πειραμάτων* και τη *διάδοση της επιστήμης*, μετατοπίζοντας την προσοχή των κατασκευαστών, από την δυνατότητα παραγωγής υψηλής ποιότητας κενού στη δυνατότητα εύκολης χρήσης του οργάνου.

► Δράσεις:

Η ιστορία της επινόησης και κατασκευής των αντλιών κενού, όπως εν μέρει προβάλλεται από το κείμενο του Boyle που παρατίθεται στην *ενότητα 2.5 του Παραρτήματος VII* και από τα σχέδια του Schott και του Boyle που παρατίθενται στο εκπαιδευτικό λογισμικό, μπορεί να αποτελέσει κέντρο δραστηριοτήτων εξερεύνησης ιστορικών επιστημονικών οργάνων, σχεδίων και κειμένων, καθώς και εφαλτήριο για τη μελέτη θεμάτων ιστορίας της τεχνολογίας.

Ξεκινώντας από το τελευταίο, όπως ήδη αναφέρθηκε στην *ενότητα 7.4.2,* θεωρούμε σκόπιμο να **γίνει μελέτη της αρχής λειτουργίας ιστορικών αντλιών κενού**, με στόχο να αποκαλυφθεί, πώς τα **θεωρητικά ερωτήματα** πάνω στην ύπαρξη του κενού μετατρέπονταν σε **πειραματικές διατάξεις** και οι πειραματικές διατάξεις, με τη σειρά τους, σε **ιδέες για την κατασκευή μηχανών**.

Επίσης, προτείνουμε την **εξερεύνηση ιστορικών αντλιών**, στη συλλογή του συγκεκριμένου μουσείου ή άλλων μουσείων, που μπορούν να προσεγγιστούν πραγματικά ή εικονικά. Για τους πιο προχωρημένους μαθητές, προτείνουμε η **εξερεύνηση της υλικής κουλτούρας παραγωγής κενού** να συνδεθεί με την παρατήρηση της van Helden, ότι η **τροποποίηση** οργάνων παραγωγής του κενού αντανακλά, από τη μια μεριά, την **τροποποίηση των επιστημονικών ερωτημάτων**, και από την άλλη, **τη μεταβολή της χρήσης** της αντλίας κενού (van Helden 1991[339]). Η παραπάνω εξερεύνηση μπορεί να πλαισιωθεί από τη μελέτη σχετικών ιστορικών κειμένων του *Παραρτήματος VII* (βλ. *ενότητες 2.4, 2.5, 3*).

Τέλος, στο πλαίσιο μαθημάτων όπως το μάθημα της τεχνολογίας, μπορεί να μελετηθεί η λεπτομερής περιγραφή ιστορικών αντλιών κενού σε ιστορικά κείμενα και σχέδια (Guericke 1672 σελ. 1,74,76, 94[318], Boyle 1725 ed. II σελ.407-409[302], Conant 1957/1966 σελ.14-17[282]). Με τη βοήθειά τους, μπορεί να σχολιαστεί η «**φιλολογική τεχνολογία»** (literary technology) που, όπως περιγράφει ο Shapin (Shapin 1984[12]), σταδιακά αναπτύσσεται μέσα στον 17^{ο} αιώνα και συνίσταται στη λεπτομερή σχεδίαση και περιγραφή των μηχανών, με στόχο τη διάδοση πληροφορίας που επιδιώκεται να είναι έγκυρη και ελέγξιμη και να μπορεί να χρησιμεύσει στον πολλαπλασιασμό των σχετικών επιστημονικών μαρτυριών και στην εξέλιξη των μηχανών και των πειραμάτων.

8.2.6. Υπάρχει το απόλυτο κενό;

► Δράσεις:

Η **σύνοψη** των απόψεων για το κενό, από τους **Προσωκρατικούς,** τον **Αριστοτέλη,** τον **Γαλιλαίο,**

τον **Torricelli,** τον **Νεύτωνα** και τον **Einstein**, θα μπορούσε να αποκαλύψει **όψεις της πολυπλοκότητας** του θέματος και να συγκριθεί με την **πολυμορφία** των αρχικών απόψεων των μαθητών. Η ίδια πολυπλοκότητα θα μπορούσε να αποκαλυφθεί σε χρονική **μικροκλίμακα**, με κέντρο **το κείμενο του Γαλιλαίου όπου απαντάει σε απόψεις άλλων** ή με βάση **το κείμενο του Torricelli που ανατρέπει προηγούμενα θεωρητικά σχήματα**. Για να αποκτήσει μια τέτοια μελέτη βιωματικό χαρακτήρα, θα μπορούσε να ζητηθεί από τους μαθητές **να επιλέξουν** τα κείμενα ή τις απόψεις με τις οποίες ταυτίζονται περισσότερο και **να αντιπαραθέσουν** τις απόψεις τους με **παιχνίδια ρόλων**, εμπνευσμένα από την αντιπαράθεση απόψεων που αποκαλύπτουν τα ιστορικά κείμενα.

Στόχος μιας τέτοιας δραστηριότητας θα είναι οι μαθητές να καταλάβουν ότι η επιστήμη δεν είναι στατική, ότι δεν έχουν όλοι οι επιστήμονες την ίδια άποψη για κάποιο θέμα κι ότι ο διάλογος ανάμεσα στις διαφορετικές οπτικές είναι ιδιαίτερα σημαντική επιστημονική διαδικασία.

8.3. Εξερευνώντας τις ιδιότητες του κενού

8.3.1. 3η υποενότητα: Το πείραμα του Μαγδεμβούργου

► Σχόλια:

Το πείραμα του Μαγδεμβούργου συγκεντρώνει δύο χαρακτηριστικά. Αποτελεί, ταυτόχρονα, ορόσημο ως επιστημονικό συμβάν και ως επιστημονικό θέαμα. Ενώ εισάγει τη χρήση της αντλίας κενού και ανοίγει το δρόμο για τη διερεύνηση φλεγόντων επιστημονικών θεμάτων, φέρει την κουλτούρα των θεαμάτων φυσικής μαγείας. Έτσι, ο von Guericke καταφέρνει, παράλληλα, να πρωταγωνιστεί στις επιστημονικές εξελίξεις και να τις χρησιμοποιεί, για να γοητεύει.

► Δράσεις:

Το πείραμα του Μαγδεμβούργου μπορεί να αποτελέσει αφορμή για την οργάνωση **δράσεων** που να προωθούν την **επικοινωνία της επιστήμης** μέσα από τη μελέτη της οργάνωσης παρουσιάσεων επιστημονικών «παράδοξων» από τους μαθητές. Θεωρούμε ότι τέτοιες δραστηριότητες μπορούν να αυξήσουν το ενδιαφέρον για τις επιστήμες και την επινοητικότητα των μαθητών και ταυτόχρονα να εμπλουτίσουν τις όψεις της φύσης επιστήμης που προβάλλουν τα σχολικά εγχειρίδια.

Παράλληλα, το στίγμα του ιστορικού πειράματος μπορεί να συμπληρωθεί με δραστηριότητες, παρόμοιες με αυτές που προτείναμε στις *ενότητες 7.4.3* και *7.7.2*. Έτσι, μπορεί να ζητηθεί από τους μαθητές i) να **μετρήσουν τη δύναμη** που βάζουν **οι ίδιοι**, για να ανοίξουν τα σχολικά ημισφαίρια και **να τη συγκρίνουν** με τη δύναμη που χρειάστηκε να βάλουν τα **άλογα** στο αντίστοιχο ιστορικό πείραμα, έχοντας ως βάση σύγκρισης το **μέγεθος των ημισφαιρίων**, ii) να εκτιμήσουν τις αντίστοιχες δυνάμεις στην περίπτωση που οι αντλίες κενού θα κατάφερναν να εκκενώνουν τα ημισφαίρια πλήρως, iii) **να εκτιμήσουν το βαθμό στον οποίο η σχολική αντλία δημιουργεί κενό** με δεδομένη την ατμοσφαιρική πίεση και τη δύναμη που βάζουν οι ίδιοι, για να διαχωρίσουν τα ημισφαίρια, και, τέλος,

iv) **να εκτιμήσουν**, με βάση **παραδοχές** για το βαθμό επίτευξης κενού από την ιστορική αντλία του von Guericke και τη δύναμη των αλόγων, το **μέτρο για την ατμοσφαιρική πίεση** που υπολογίστηκε **τότε**.

Επίσης, μέσα από την αναφορά στη δύναμη των αλόγων προτείνεται να θιγεί η ιστορία του ορισμού της **ιπποδύναμης** ως μονάδας μηχανικής ισχύος.

8.3.2. 4η υποενότητα: «Μαγικό φούσκωμα μπαλονιού»

► Ιστορική σημείωση, κείμενα και σχόλια:

Σύμφωνα με τους ιστορικούς του Museo Galileo, που στεγάζει την ιστορία της *Accademia del Cimento*, το *«μαγικό φούσκωμα μπαλονιού»* πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά τον Αύγουστο του 1657 και αποτελούσε άμεση εφαρμογή των συμπερασμάτων του πειράματος του Torricelli. Συγκεκριμένα, αποτελούσε απόδειξη του γεγονότος ότι ο χώρος του δοχείου επάνω από τον υδράργυρο ήταν όντως κενός από αέρα (Academie del Cimento 1684/1964 σελ.18[340]) (βλ. *απόσπασμα 1, ενότητα 3.1, Παράρτημα VII*).

Οι ειδήσεις για τις πειραματικές έρευνες της Accademia del Cimento έφθασαν γρήγορα στο Λονδίνο, για να εμπνεύσουν μια σειρά από πειράματα στη δεύτερη στην ιστορία Ακαδημία, τη Royal Society του Λονδίνου. Ένα από τα πειράματα που περιγράφει ο Robert Boyle στο βιβλίο του *New Physico-mechanical experiments Touching the Spring of Air (Νέα Φυσικο-μηχανικά πειράματα σχετικά με την ελαστικότητα του αέρα)*, που εκδίδεται το 1660, είναι το πείραμα της κύστης που φουσκώνει από μόνη της, όταν τεθεί σε περιβάλλον αραιωμένου αέρα (Boyle 1725 ed. II σελ.412-413[302]) (βλ. *απόσπασμα 2, ενότητα 3.1, Παράρτημα VII*).

Ο Boyle δεν χρησιμοποιεί το πείραμα του «μαγικού φουσκώματος», για να διερευνήσει, αν το κενό μπορεί να δημιουργηθεί. Καθώς θεωρεί δεδομένο ότι η αντλία κενού έχει την ικανότητα να αφαιρεί τον αέρα, αναρωτιέται πάνω στη φύση του αέρα, για την οποία οικοδομεί την υπόθεση ότι ο αέρας αποτελείται από ελαστικά σωματίδια (elastic particles), τα οποία μπορούν να συμπιέζονται με την άσκηση εξωτερικής δύναμης – που στην προκειμένη περίπτωση είναι το βάρος του ατμοσφαιρικού αέρα – όπως τα ελατήρια (springs). Όταν η δύναμη αυτή δεν υπάρχει, όπως συμβαίνει μέσα στον εκκενωμένο από αέρα κώδωνα της αεραντλίας, τα ελαστικά σωματίδια του αέρα αποσυμπιέζονται και εκτείνονται καταλαμβάνοντας όλον τον διαθέσιμο χώρο. Ο Boyle παρομοιάζει τα ελαστικά σωματίδια του αέρα με τις τούφες του μαλλιού που συμπιέζονται αισθητά, όταν τοποθετηθούν η μια πάνω στην άλλη σχηματίζοντας σωρό ή όταν πιεστούν από τα δάχτυλα του χεριού, και αποσυμπιέζονται, όταν το αίτιο που τις πιέζει πάψει να υφίσταται (Boyle 1725 ed. II σελ.410-412[302]) (βλ. *απόσπασμα* 3, *ενότητα 3.1, Παράρτημα VII*).

Σε αντίθεση με τις δύο αυτές εκδοχές του πειράματος, το αντίστοιχο πείραμα που πραγματοποιεί ο Faraday μπροστά το ακροατήριο της Royal Institution τα Χριστούγεννα του 1860 (βλ. *ενότητα 7.4.4*) δεν έχει ερευνητικό χαρακτήρα, αλλά στοχεύει στο να παρουσιάσει με τρόπο προσιτό στο ευρύ κοινό

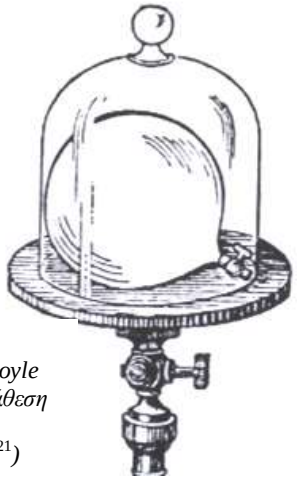
ένα ήδη γνωστό πείραμα και μια ήδη γνωστή πειραματική διάταξη. Προτείνει την εξήγηση του πειράματος σε μακροσκοπικό επίπεδο, που είναι περισσότερο εύληπτο σε μη εξειδικευμένο κοινό (Faraday 1861/1993 σελ.115[321]) (βλ. *απόσπασμα 4, ενότητα 3.1, Παράρτημα VII*).

► Δράσεις:

Η συγκριτική μελέτη των διαφορετικών εκδοχών του πειράματος μπορεί να αποκαλύψει σε μεγαλύτερης ηλικίας μαθητές **όψεις της φύσης του**. Για το σκοπό αυτό προτείνουμε **να συγκεντρωθούν** από τους μαθητές **τα ερευνητικά ερωτήματα**, που τέθηκαν σε καθεμία από τις δύο πρώτες απόπειρες πραγματοποίησης του πειράματος, και οι **απαντήσεις**, που λήφθηκαν διαμέσου των πειραματικών αποτελεσμάτων. Προτείνεται, έτσι, το να καθοδηγηθούν οι μαθητές στη διαπίστωση ότι το κεντρικό ερώτημα των επιστημόνων της ***Accademia del Cimento*** ήταν το **εάν ο χώρος πάνω από τον υδράργυρο είναι πράγματι κενός**, ενώ ο **Boyle** έθεσε ως επιπλέον ερώτημα την **εξήγηση του μηχανισμού με τον οποίο η κύστη φουσκώνει**. Είναι ενδιαφέρον, επίσης, να διαπιστώσουν οι μαθητές ότι, ενώ η πρώτη πειραματική διάταξη της *Accademia del Cimento* επέτρεπε τη σύγκριση μόνο ανάμεσα σε δύο καταστάσεις, η πειραματική συσκευή του Boyle επέτρεπε την παρατήρηση της σταδιακής αφαίρεσης του αέρα. Έτσι, ενώ η απάντηση στην οποία καταλήγουν οι επιστήμονες της Accademia del Cimento είναι ότι ο χώρος πάνω από τη στήλη του υδραργύρου είναι κενός από αέρα, εφόσον η κύστη φουσκώνει, ο Boyle χρησιμοποιεί τη μελέτη των ενδιάμεσων σταδίων, για να αναρωτηθεί για τη φύση του αέρα.

Στο πλαίσιο σχεδιασμού θεωρητικών δραστηριοτήτων για τις μεγαλύτερες σχολικές τάξεις, έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον **να αποτυπωθεί σχηματικά η ιδέα του Boyle πάνω στη φύση των αερίων** και να εντοπιστούν κάποια από τα **βασικά επιχειρήματα** που τον οδήγησαν σ' αυτή. Κατά τη διεξαγωγή μιας τέτοιας δραστηριότητας, προτείνεται να δοθεί έμφαση στην **ανάδειξη** της **επιστημονικής μεθοδολογίας** του Boyle, που είναι η εμπειρική μέθοδος, και στο να οδηγηθούν οι μαθητές στο να φανταστούν τον τρόπο με τον οποίο εξαρτούσε την υπόθεσή του από τα πειραματικά δεδομένα. Για την καλύτερη κατανόηση του τελευταίου, προτείνεται να καθοδηγηθούν οι μαθητές στο να επισημάνουν ότι λείπουν από τα κείμενα του Boyle λογικά επιχειρήματα του τύπου της εις άτοπον απαγωγής και ρητορικά παιχνίδια ανατροπής, που συνήθιζε να χρησιμοποιεί ο Γαλιλαίος, ή ότι λείπουν, επίσης, αξιωματικά δομημένα συστήματα, όπως αυτά που χρησιμοποιεί ο Νεύτωνας.

Συγκρίνοντας **το πείραμα του Boyle** με το πείραμα του **Faraday**, προτείνεται να προσανατολιστεί το ενδιαφέρον στον εντοπισμό των διαφορετικών τους στόχων. Ο **ερευνητικός στόχος** του πρώτου σε σχέση με τον **εκπαιδευτικό** του δεύτερου αποτυπώνεται, εκτός από τις λεπτομέρειες στα κείμενα, στις λεπτομέρειες που εμφανίζουν τα σχέδια που περιγράφουν τις αντίστοιχες πειραματικές συσκευές (βλ.*εικόνα 8.4*).

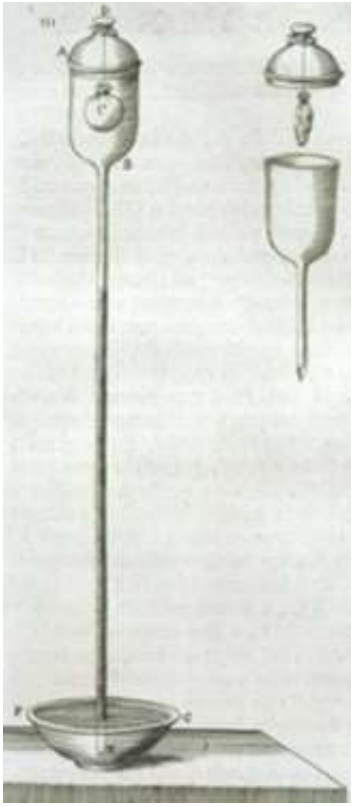


Εικόνα *8.4: Η λεπτομερής σχεδίαση της πειραματικής συσκευής στο βιβλίο του Boyle (Boyle 1725 ed. plate VI*[302]*) σε αντιπαράθεση με τη σκιαγράφησή της στο βιβλίο του Faraday (Faraday 1861/1993 σελ..115*[321]*)*

Παράλληλα, το κείμενο του Faraday (Faraday 1861/1993 σελ.115[321]) (βλ. *απόσπασμα 4*), που αποτυπώνει την **κουλτούρα των πειραματικών διαλέξεων**, προτείνεται να αξιοποιηθεί, προκειμένου να διερευνηθεί από τους μαθητές, πώς οι ίδιοι θα μπορούσαν **να στήσουν μια ενδιαφέρουσα πειραματική διάλεξη**, σεναριογραφώντας, για παράδειγμα, τον τρόπο που θα χρησιμοποιούσαν, για να προκαλέσουν την επιστημονική περιέργεια του κοινού, τον τρόπο που θα χρησιμοποιούσαν, για να δομήσουν απλές και πειστικές εξηγήσεις με βάση τα πειραματικά τεκμήρια που θα προσέφεραν.

Οι διαφορετικές εκδοχές του «μαγικού φουσκώματος μπαλονιού» προτείνεται, επίσης, να αξιοποιηθούν ως αφορμή για την οργάνωση δραστηριότητας πάνω **στη διερεύνηση της υλικής επιστημονικής κουλτούρας.** Προτείνεται, στο πλαίσιο κατάλληλα σχεδιασμένου προγράμματος, οι μαθητές **να εξερευνήσουν το ιστορικό κείμενο** της *Accademia del Cimento* (Academie del Cimento 1684/1964 σελ.18[340]) (βλ. *απόσπασμα 1, ενότητα 3.1, Παράρτημα VII*), αναζητώντας, παράλληλα, στοιχεία για τα **ιστορικά επιστημονικά όργανα** που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτό μέσα από το διαδικτυακό υλικό του Museo Galileo. Προτείνεται, στη συνέχεια, να συνδέσουν την αλλαγή στον **τρόπο σχεδιασμού** των **επιστημονικών οργάνων** με τις **επιστημονικές και τεχνολογικές εξελίξεις**, σχετικά με τη δυνατότητα παραγωγής κενού, και να μελετήσουν πώς ο Boyle **τροποποιεί την πειραματική διάταξη** που είχε χρησιμοποιηθεί από την Accademia del Cimento.

Βοηθητικά στη δραστηριότητα αυτή μπορούν να σταθούν στοιχεία που υπάρχουν στο δικτυακό χώρο του Museo Galileo. Τέτοια στοιχεία είναι η προσομοίωση του ιστορικού πειράματος (IMSS, *The Bladder in the Void*, 2001-2002b[341]), η οποία βασίζεται στο κείμενο του 1657 (Accademia del Cimento 1667 σελ.32-34[281]) και αναπαριστά τη χρήση του πειραματικού εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα του 1657 και σήμερα έχει καταστραφεί, όπως και οι φωτογραφίες και η προσομοίωση της λειτουργίας επιστημονικού εξοπλισμού του 19^{ου} αιώνα που υπάρχει σήμερα στις προθήκες του ίδιου μουσείου και χρησίμευε για την αναπαράσταση του ίδιου πειράματος (βλ.*εικόνα 8.5*).



Εικόνα 8.5: Το «μαγικό φούσκωμα» της κύστης, τον 17ο & 19ο αιώνα αντίστοιχα. Εικόνες από τον ιστοχώρο του Museo Galileo

8.3.3. 5η υποενότητα: Σιωπηλές καμπάνες…

► Ιστορική σημείωση και σχόλια:

Το πείραμα του Boyle στο οποίο αναφερθήκαμε στην πειραματική διάλεξη (βλ. *ενότητα 7.4.5*) αποτελεί μόνο μια φάση μιας από τις ιστορικές απόπειρες απάντησης του ερωτήματος, *αν είναι δυνατόν να παράγεται και να διαδίδεται ο ήχος στο κενό*. Σύμφωνα με τα ιστορικά ντοκουμέντα, η απάντηση στο ερώτημα δεν δόθηκε εύκολα, ενώ, ο τρόπος με τον οποίο οι ερευνητές συνέδεαν αποτελέσματα και συμπεράσματα στις διαφορετικές ιστορικές εκδοχές του πειράματος είναι πολύ διαφορετικός.

Έτσι, το πείραμα του Berti (βλ. *ενότητα 8.2.3*) θεωρήθηκε από τους διοργανωτές του *ως αποτυχημένη απόπειρα παραγωγής κενού*, όταν διαπιστώθηκε ότι το καμπανάκι που τοποθετήθηκε στο επάνω μέρος του σωλήνα, που το νερό είχε εκκενώσει κατά την κάθοδό του, ακούγόταν, όταν διεγείρετο από εξωτερικό μαγνήτη. Το δεδομένο αυτό, σε συνδυασμό με την πεποίθηση, ότι δεν είναι δυνατόν να υπάρχει ήχος στο κενό, οδήγησε τους εμπνευστές του πειράματος στο να εγκαταλείψουν τη συγκεκριμένη έρευνα.

Μετά την πειστική απόδειξη του Torricelli, ότι ο χώρος στο επάνω μέρος του δοχείου είναι κενός, τα μέλη της *Accademia del Cimento* επιχείρησαν να επαναλάβουν τη δοκιμή, χρησιμοποιώντας υδράργυρο, αντί για νερό. Διαπιστώνοντας ότι ο ήχος μικρής καμπάνας, που τοποθετήθηκε στο επάνω μέρος σωλήνα που εκκενώθηκε με τη μέθοδο του Torricelli, συνέχιζε να ακούγεται, αναρωτήθηκαν, εάν αυτό οφειλόταν στους ατμούς του υδραργύρου ή στη μετάδοση του ήχου διαμέσου δονήσεων στα στερεά σώματα (Academie del Cimento 1684/1964 σελ.18[340]) (βλ. *απόσπασμα 2, ενότητα 3.2, Παράρτημα VII*).

Ο Boyle, θέλοντας να απομονώσει τους παράγοντες που θα μπορούσαν να αποτελέσουν «θόρυβο» στη διερεύνηση του ίδιου προβλήματος, επινόησε ειδική πειραματική συσκευή, την οποία περιγράφει με ακρίβεια. Επίσης, περιόρισε το ερευνητικό του ερώτημα. Αντί για τη γενική του εκδοχή, *αν υπάρχει ο ήχος στο κενό*, το ερώτημα συγκεκριμενοποιήθηκε *στο αν παράγεται και διαδίδεται ο ήχος σε φιάλη εκκενωμένη από αέρα*. Καθώς το αποτέλεσμα της πειραματικής δοκιμής δεν του προσέφερε ικανοποιητική απάντηση, καθοδήγησε το πείραμα στον προσδιορισμό των παραγόντων που μπορούσαν να επηρεάσουν τον παραγόμενο ήχο. Δίνοντας σημασία, όχι απλά στην αρχική και τελική κατάσταση, αλλά στα ενδιάμεσα στάδια, ο Boyle μετέτρεψε μια πειραματική διαδικασία, που σε άλλη περίπτωση θα μπορούσε να θεωρηθεί αποτυχημένη, σε πηγή πλούσιας πληροφορίας, διαπιστώνοντας ότι *η ένταση του παραγόμενου ήχου ελαττώνεται, όταν ελαττώνεται η ποσότητα του αέρα στο εσωτερικό του κώδωνα* (Boyle 1669 στον Conant 1957/1966 σελ.34-36[282]) (βλ. *απόσπασμα 1, ενότητα 3.2, Παράρτημα VII*). Παράλληλα, επιμένοντας στο αρχικό ερώτημα, επανασχεδίασε πολλές φορές την πειραματική διάταξη, μέχρι το πείραμα να καταλήξει σε επιτυχία και να διαπιστωθεί ότι κανένας από τους μάρτυρες δεν μπορούσε να ακούσει τον χτύπο ενός ρολογιού που βρισκόταν στο εσωτερικό του καλά εκκενωμένου από αέρα κώδωνα (Conant 1957/1966 σελ.36-38[282]).

Ο λόγος που ο Boyle συγκεκριμενοποίησε το ερευνητικό του ερώτημα, στο αν παράγεται και διαδίδεται ο ήχος σε φιάλη εκκενωμένη από αέρα, δεν είναι ανεξάρτητος από την περιέργεια που του προκαλούσε το ερώτημα, *αν υπάρχει κάποιο μέσον πιο λεπτοφυές από τον αέρα* (more subtle than the air), δηλαδή αν υπάρχει ο λεγόμενος αιθέρας στο χώρο, όταν ο αέρας αφαιρείται. Και στο ερώτημα αυτό αφιέρωσε, επίσης, μια σειρά από πειραματικές δοκιμές (Conant 1957/1966 σελ.38-46[282]).

► Δράσεις:

Με βάση τα παραπάνω, μπορεί να ζητηθεί από τους μαθητές στο πλαίσιο ειδικά σχεδιασμένης δραστηριότητας, να επαναλάβουν την **πειραματική δοκιμασία**, χτίζοντας οι ίδιοι τους **επιμέρους ελέγχους** και χρησιμοποιώντας κατάλληλα το ακροατήριο. Πρώτο ζητούμενο στη συγκεκριμένη δράση προτείνεται να είναι η λεπτομερής καταγραφή της πειραματικής διάταξης, διαδικασίας και μαρτυριών κατά τα πρότυπα του Boyle, με στόχο την παραγωγή αντικειμενικών δεδομένων. Δεύτερο ζητούμενο προτείνεται να είναι η **εξαγωγή συμπεράσματος** από τα πειραματικά αποτελέσματα και η λήψη κατάλληλων αποφάσεων σε περίπτωση που τα πειραματικά αποτελέσματα δεν μπορούν να οδηγήσουν σε συμπέρασμα.

Σε θεωρητικό επίπεδο, μπορεί να δοθεί ως εργασία η διερεύνηση του κειμένου του Boyle, με στόχο i) να γίνει κατανοητή η προσπάθειά του να αποτυπώνει με λεπτομέρεια τις συσκευές, τη διαδικασία και τα αποτελέσματα των πειραμάτων, ii) να γίνει αντιληπτή η στάση του να σέβεται τους περιορισμούς που η πραγματικότητα θέτει στην εξαγωγή συμπερασμάτων, iii) να αξιολογηθεί η προσπάθειά του να επανασχεδιάζει τις πειραματικές διαδικασίες, ξανά και ξανά, αναιρώντας σταδιακά τους παράγοντες που εμπόδιζαν την εξαγωγή συμπερασμάτων.

8.3.4. 6η υποενότητα: Κερί δίχως φλόγα…

► Δράσεις:

Ανάμεσα στις **απαντήσεις των μαθητών**, σχετικά με τη δυνατότητα ύπαρξης φλόγας χωρίς αέρα, υπάρχει ένα μικρό ποσοστό θετικών απαντήσεων. Στο πλαίσιο ειδικά σχεδιασμένης δραστηριότητας, μπορεί να γίνει **λεπτομερέστερη εξέταση** αυτών. Η διερεύνηση αυτή θα μπορούσε να συσχετιστεί, στη συνέχεια, με τα θετικά αποτελέσματα στα πειράματα ύπαρξης της φλόγας στο κενό που διαπιστώνει ο Boyle. Έτσι, οι μαθητές θα μπορούσαν να ενθαρρυνθούν **να σχεδιάσουν πειραματικές δραστηριότητες**, προκειμένου να διερευνήσουν τις ίδιες τους τις ιδέες, εμπνεόμενοι από τις αντίστοιχες πειραματικές δοκιμές του Boyle (Boyle 1725 ed. II σελ. 417-418[302], Boyle 1772 ed.III σελ.567[323]) (βλ. *Παράρτημα VII, ενότητα 3.3., αποσπάσματα 1&2*).

Στο πλαίσιο αυτό, η αποκάλυψη ότι, για παράδειγμα, μίνι πυροτεχνήματα που περιλαμβάνουν χλωρικό κάλιο και ζάχαρη μπορούν να αναφλεγούν στο κενό μπορεί να συσχετιστεί με την πειραματική δοκιμή του Boyle, σύμφωνα με την οποία το μπαρούτι μπορεί να αναφλεγεί στο κενό. Η συσχέτιση αυτή μπορεί να δώσει την ευκαιρία για τη λεπτομερέστερη εξέταση του αρχικού ερωτήματος και την αποσαφήνιση του ρόλου του οξυγόνου στην καύση.

Παράλληλα, με αφορμή το κείμενο του Boyle (Boyle 1772 ed. III σελ.566[323]) (βλ. *Παράρτημα VII, ενότητα 3.3., απόσπασμα 3*), μπορεί, στο πλαίσιο θεωρητικής δραστηριότητας, να μελετηθεί πόσο προσεκτική είναι η στάση του Boyle απέναντι στην εξαγωγή συμπερασμάτων με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα.

8.3.5. 7η υποενότητα: Παράξενες αστραπές…

► Ιστορική σημείωση και σχόλια:

Σύμφωνα με τους ιστορικούς, η έρευνα πάνω στις ηλεκτρικές εκκενώσεις σε μειωμένη πίεση είχε το χαρακτηριστικό ότι, για δεκαετίες, το πείραμα είχε τον πρώτο ρόλο στην εξερεύνηση του πεδίου. Τα εντυπωσιακά αισθητηριακά δεδομένα καθοδηγούσαν την εξερεύνηση των φαινομένων, χωρίς αυτή να συνοδεύεται από τη διατύπωση κάποιας ικανοποιητικής θεωρίας (Hiebert 1995[342]). Ο γρίφος περιπλεκόταν περισσότερο όσο, προχωρώντας η έρευνα, εμπλουτιζόταν με καινούργια πειραματικά δεδομένα (Falconer 1987[343]), τα οποία ήταν σε μεγάλο βαθμό αποτελέσματα της διαφοροποίησης και τελειοποίησης των πειραματικών συσκευών (Müller 2006[344]).

Έτσι, χαρακτηριστικό στοιχείο της συγκεκριμένης έρευνας ήταν ο πλούτος της υλικής επιστημονικής κουλτούρας που παρήγαγε. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρει ο William Crookes: «σε κάθε φάση αυτής της έρευνας, η θεωρία και η παρατήρηση προχωρούσαν χέρι με χέρι. Για κάθε βήμα που κατακτιόταν, η προσπάθειά μου ήταν να αποτυπώσω μόνιμα τις πειραματικές αποδείξεις, δίνοντάς τους τη βολική μορφή ενός επιστημονικού οργάνου, ώστε αυτές να υπάρχουν αργότερα διαθέσιμες για περαιτέρω έρευνα» (Crookes 1879 σελ.244[345]). Όταν το 1930 γιορτάστηκαν στη

Γερμανία τα 80 χρόνια από τη γέννηση του Eugen Goldstein – που ήταν ένας από τους πρωταγωνιστές των ερευνών πάνω στις ηλεκτρικές εκκενώσεις σε χαμηλή πίεση – οι οργανωτές του αφιερώματος εξεπλάγησαν, όταν, επισκεπτόμενοι το *Ινστιτούτο Φυσικής* και το *Αστεροσκοπείο του Βερολίνου*, όπου ο ερευνητής εργαζόταν, βρέθηκαν αντιμέτωποι με εκατοντάδες σωλήνες κενού που είχε παραγγείλει ο ίδιος (Müller 2006 σελ.126-127[344]).

Η μελέτη των ηλεκτρικών εκκενώσεων σε χαμηλή πίεση αποτελεί, επίσης, χαρακτηριστική περίπτωση φαινομένων, των οποίων η αισθητηριακή πλευρά κινητοποιούσε τους επιστήμονες παράλληλα με την επιστημονική. Σε πολλές φάσεις της έρευνας, εκτός από τα αντικείμενα της καθαρά επιστημονικής έρευνας, παράγονταν και επιστημονικά όργανα που απέβλεπαν στην παρουσίαση των εντυπωσιακών αυτών φαινομένων στο ευρύ κοινό. Στη δεκαετία του 1850, ο Heinrich Geissler εμπλούτισε τον πειραματικό εξοπλισμό της εποχής με μια σειρά περίτεχνων σωλήνων, που προωθούσαν την έρευνα στο πεδίο αυτό, αποτελώντας, ταυτόχρονα, έργα τέχνης. Οι σωλήνες περιείχαν αέρια σε χαμηλή πίεση και φθορίζοντα άλατα και έπαιρναν υπέροχους χρωματισμούς, όταν ετίθεντο σε λειτουργία. Η κουλτούρα της παραγωγής αερόκενων σωλήνων για εμπορική χρήση συνεχίστηκε από τον William Crookes, ο οποίος αποτελεί, τη δεκαετία του 1870, αντιπροσωπευτικό παράδειγμα επιστήμονα που δρα στην κεντρική επιστημονική σκηνή και εργάζεται, παράλληλα, για τη διάχυση της επιστήμης στην καθημερινή ζωή. Υπήρξε εφευρέτης επιστημονικών οργάνων για εξειδικευμένη επιστημονική έρευνα και για εντυπωσιακές επιδείξεις φαινομένων και εμπλούτισε την ιστορία του ηλεκτρονίου με ισχυρές θεωρητικές επιστημονικές υποθέσεις, όπως και με κείμενα περίφημων διαλέξεων για το κοινό, στις οποίες χρησιμοποιούσε αερόκενους σωλήνες που είχε επινοήσει ο ίδιος (Müller 2006[344]).

Ο Müller (Müller 2006 σελ. 105[344]), εξηγώντας τη σχέση επιστήμης-τεχνολογίας-κοινωνίας που αναδεικνύεται μέσα από την ιστορία των ηλεκτρικών εκκενώσεων σε μειωμένη πίεση, παραθέτει ένα απόσπασμα από το βιβλίο του Ιουλίου Βερν *Ταξίδι στο κέντρο της Γης*, που εκδίδεται το 1864. Μέσα από αυτό, φαίνεται ότι το πηνίο Ruhmkorff και οι αερόκενοι σωλήνες είχαν ξεπεράσει, την εποχή εκείνη, τα όρια των επιστημονικών εργαστηρίων. Στο *Ταξίδι στο κέντρο της Γης*, οι εξερευνητές των υπογείων στοών συμπεριλαμβάνουν στον εξοπλισμό τους το πηνίο Ruhmkorff και αερόκενους σωλήνες. Αντικαθιστώντας μ' αυτά τη λάμπα λαδιού των ανθρακωρύχων, διασχίζουν στοές με τα πιο εύφλεκτα αέρια, χωρίς κίνδυνο, ενώ τους συνοδεύουν οι απαλές λάμψεις της συσκευής, που ανακλώνται πάνω στις γωνίες των πετρωμάτων και κάνουν το ταξίδι τους μαγευτικό. Ο Ιούλιος Βέρν, ο οποίος σύμφωνα με τον Müller είχε επισκεφθεί το εργαστήριο του Ruhmkorff και είχε παρακολουθήσει τα πειράματά του, παραθέτει πλήθος σχετικών λεπτομερειών – για τη λειτουργία του πηνίου, τις δυνατότητες και τη σημασία του, ακόμα και για την προσωπικότητα του εφευρέτη του – συμβάλλοντας, έτσι, στη διάδοση της επιστημονικής κουλτούρας και την εκλαΐκευση της επιστημονικής γνώσης (Verne 1877 σελ.58[346], Βερν 2009 σελ.113-114,176,197,207-208,359[347]) (βλ. *αποσπάσματα 5,6,7,8, ενότητα 3.4 Παραρτήματος VII)*.

► Δράσεις:

Μέσα από τα παραπάνω ιστορικά σχόλια, γίνεται κατανοητό το γεγονός ότι **η υλική επιστημονική κουλτούρα** (material culture of science) αποτελεί το πιο εύγλωττο εργαλείο για την εξερεύνηση των «παράξενων αστραπών» ή ηλεκτρικών εκκενώσεων σε μειωμένη πίεση. Μέσα από αυτήν, μπορεί να τονιστεί ο **διαθεματικός χαρακτήρας της επιστήμης** και **η σχέση επιστήμης, τεχνολογίας και κοινωνίας**.

Τα **επιστημονικά όργανα** που θα αξιοποιηθούν για τη διδασκαλία της ενότητας μπορεί εύκολα να αποδειχθεί ότι συγκεντρώνουν τους περισσότερους από τους **ρόλους** που οι ιστορικοί της επιστήμης τους έχουν πρόσφατα αποδώσει. Μέσα από την **αναπαράσταση συγκεκριμένων πειραμάτων**, το κοινό μπορεί να αντιληφθεί άμεσα την **εντυπωσιακή όψη των πειραματικών δεδομένων**, το ρόλο των επιστημονικών οργάνων ως **εργαλείων εξερεύνησης** και ως εργαλείων μέσα από τα οποία **θεωρητικές υποθέσεις και ερωτήματα στο πλαίσιο της συγκεκριμένης έρευνας πήραν υλική μορφή**. Παράλληλα, μπορεί να βιωθεί ο ρόλος των επιστημονικών οργάνων ως **διαμεσολαβητών της επιστημονικής γνώσης στο ευρύ κοινό**, μέσα από τη χρήση τους ως εκπαιδευτικά επιστημονικά όργανα ή ως όργανα για την προετοιμασία δημοσίων πειραματικών διαλέξεων.

Στη δική μας προσπάθεια να προσεγγίσουμε το θέμα, στο πλαίσιο της πειραματικής διάλεξης *«Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;»*, περιοριστήκαμε στη φάση της έρευνας που προηγήθηκε της ανακάλυψης των καθοδικών ακτίνων (cathode rays) και έλαβε χώρα, από τη δεκαετία του 1830 μέχρι τη δεκαετία 1850. Ανάμεσα στα όργανα στα οποία χρησιμοποιήσαμε ήταν το πηνίο Ruhmkorff, το ηλεκτρικό αυγό και αερόκενοι σωλήνες[ccv]. Με τη βοήθειά τους προσπαθήσαμε να αναδείξουμε τον εντυπωσιακό χαρακτήρα των φαινομένων αυτών, τη σημασία των συγκεκριμένων επιστημονικών οργάνων στην εξερεύνηση του σχετικού επιστημονικού πεδίου, όπως και θέματα της σχέσης επιστήμης και τεχνολογίας (βλ. *ενότητα 7.4.7*). Για την περαιτέρω μελέτη του θέματος, προτείνουμε την **ανάδειξη των επιστημολογικών χαρακτηριστικών** της έρευνας πάνω στον τομέα κατά την ίδια ιστορική περίοδο**, μέσα από τη μελέτη των ιστορικών κειμένων** που παραθέτουμε στην *ενότητα 3.4* του *Παραρτήματος VII*.

Τα *αποσπάσματα 1, 2 & 3*, που αποτελούν κείμενα του Faraday (Faraday 1838/1849 12^{ο} τεύχος παράγραφοι 1464, 1456 και 13^{ο} τεύχος, παράγραφος 1529[325]), προτείνουμε να αξιοποιηθούν, για να αναδειχθεί, από τη μια μεριά, **η έλξη που ασκεί η μορφή των φαινομένων** αυτών στον ερευνητή και,

[ccv] Μέσα από τα συγκεκριμένα πειράματα, αξιοποιήσαμε ένα μικρό μέρος της αξιόλογης συλλογής οργάνων για τη μελέτη των ηλεκτρικών εκκενώσεων σε χαμηλή πίεση του Μουσείου Φυσικής της Χίου. Περαιτέρω αξιοποίηση της συγκεκριμένης συλλογής έγινε στο πλαίσιο των δύο πειραματικών διαλέξεων της ενότητας *«Ύλη και Φως»* (Πάπαρου 2003 σελ.150-172[34], Πάπαρου κά 2004α[18], Paparou 2010a[30]), που αναφέρεται, κατά πρώτον, στην έρευνα πάνω στις ηλεκτρικές εκκενώσεις σε μειωμένη πίεση του 19^{ου} αιώνα, που κατέληξε στην ανακάλυψη του ηλεκτρονίου και των ακτίνων Χ και, κατά δεύτερον, στη φασματοσκοπία. Παράλληλα, στο πλαίσιο της πειραματικής διάλεξης: *«Οι πρώτες ημέρες του ηλεκτρισμού»* αξιοποιήθηκαν επιστημονικά όργανα των αρχών του 19^{ου} αιώνα, όπως οι σπινθηροβόλοι σωλήνες, που αναδεικνύουν ηλεκτρικά φαινόμενα σε σωλήνες σε μειωμένη πίεση που πραγματοποιούνταν με τη βοήθεια των ηλεκτροστατικών γεννητριών, όπως η ηλεκτροστατική γεννήτρια του Carré, και ανήκαν στην ιστορική σκηνή του 18ου αιώνα (Πάπαρου κά 2006[21], Paparou & Karaliota 2009a[29]).

από την άλλη, η **εξερευνητική φύση των πειραμάτων**. Τα στοιχεία αυτά προτείνεται να επιβεβαιωθούν μέσα από την **αναπαράσταση** των συγκεκριμένων **πειραμάτων**.

Το *απόσπασμα 4*, που προέρχεται από έκδοση που χρηματοδοτήθηκε από τον ίδιο τον Ruhmkorff και απέβλεπε στην παρουσίαση στο ευρύ κοινό των πειραμάτων στα οποία το επαγωγικό πηνίο του μπορούσε να πρωταγωνιστήσει (De Moncel 1867 σελ.165-167[348]), μπορεί να εκπληρώνει μέχρι σήμερα τον αρχικό του σκοπό, δηλαδή να δείχνει, πώς το πηνίο Ruhmkorff και το ηλεκτρικό αυγό μπορούν να αξιοποιηθούν για τη μελέτη της μορφής των ηλεκτρικών εκκενώσεων. Με βάση το συγκεκριμένο αυτό απόσπασμα, μπορεί να ζητηθεί από τους μαθητές, στο πλαίσιο ειδικού προγράμματος, **να εργαστούν πάνω στην αναπαράσταση του πειράματος**, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει και την **ανακατασκευή** από εξειδικευμένο τεχνίτη της συσκευής του ηλεκτρικού αυγού. Μέσα από τη δραστηριότητα αυτή, μπορεί **να αναδειχθεί η δυνατότητα του εγχειριδίου να λειτουργεί ως όργανο διάδοσης των πειραματικών τεχνικών** ή, όπως λέει ο Shapin (Shapin[12]), να φανεί η **φιλολογική τεχνολογία** που ενσωματώνει.

Με αφορμή τις αναφορές του Ιουλίου Βερν στα φαινόμενα παραγωγής ηλεκτρικών εκκενώσεων σε μειωμένη πίεση, προτείνεται **να διερευνηθεί η σχέση επιστήμης-τεχνολογίας-κοινωνίας**, στο πλαίσιο ειδικού προγράμματος που μπορεί να έχει διαφορετικές κατευθύνσεις. Η πρώτη μπορεί να αφορά στη **μελέτη** του συγκεκριμένου **λογοτεχνικού έργου** και στην **ακριβή αποτύπωση** των **πληροφοριών** που δίνει, πάνω στις **συσκευές παραγωγής ηλεκτρικών εκκενώσεων σε μειωμένη πίεση**. Η δεύτερη μπορεί να είναι η **αναζήτηση** παρόμοιων **συσκευών και πειραμάτων** σε **μουσεία** και **συλλογές**, διαμέσου του **διαδικτύου**. Η τρίτη προτείνουμε να είναι η **ανασυγκρότηση του επιστημονικού τοπίου της εποχής**, όπως αυτό φαίνεται να έχει **διεισδύσει στην καθημερινή ζωή του 19ου αιώνα**, μέσα από τα επιστημονικά όργανα που φαίνεται να κατέχουν στην κατοχή τους οι πρωταγωνιστές του συγκεκριμένου λογοτεχνικού έργου. Με δεδομένο ότι τα παλαιότερα όργανα της συλλογής του *Μουσείου Φυσικής της Χίου* είναι γαλλικής κατασκευής και έχουν αγοραστεί την εποχή που το λογοτεχνικό έργο περιγράφει, **θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον να αξιοποιηθεί το κείμενο αυτό ως τρόπος εξερεύνησης της συγκεκριμένης συλλογής**.

8.3.6. 8η υποενότητα: Η εξαφάνιση της θάλασσας…

Στην παρουσίαση της παρούσας υποενότητας, δόθηκε, στο πλαίσιο της πειραματικής διάλεξης, έμφαση στη σχέση επιστήμης και καθημερινής ζωής. Αντίθετα με τις περισσότερες από τις υπόλοιπες ενότητες, δεν έγινε, κατά τη διαπραγμάτευση της συγκεκριμένης υποενότητας, αναφορά στην ιστορία της επιστήμης. Αυτό επελέγη για λόγους οικονομίας χρόνου και ποικιλίας στο χειρισμό του επιστημονικού περιεχομένου της παρουσίασης. Ωστόσο, στο πλαίσιο της ανάπτυξης περαιτέρω δραστηριοτήτων, θεωρούμε σκόπιμη την ανάδειξη στοιχείων του αντίστοιχου ιστορικού πλαισίου.

► Ιστορικά στοιχεία:

Η εμφάνιση φυσαλίδων στο νερό, όταν αυτό φερόταν σε περιβάλλον έλλειψης αέρα, είχε

παρατηρηθεί κατά τον 17^{ο} αιώνα και αποτέλεσε έναν από τους γρίφους στο πείραμα του Gaspar Berti (Middleton 1964 σελ. 17[316], Shea 2003 σελ. 30-31[310]). Όπως χαρακτηριστικά αναφέρει ο Middleton, αρκετά χρόνια μετά την εκτέλεση του πειράματος, το 1648, ο Raphael Magiotti, ένας από τους αυτόπτες μάρτυρες αυτού, δεν είχε λύσει το πρόβλημα της προέλευσης των φυσαλίδων που εμφανίζονταν στο σωλήνα. Όταν το πείραμα επαναλήφθηκε από τον von Guericke, στο Μαγδεμβούργο, κατά τη δεκαετία του 1650, εκείνος θεώρησε ότι οι φυσαλίδες ήταν αναθυμιάσεις (effluvia) που είχαν διεισδύσει, τόσο από τα τοιχώματα του σωλήνα, όσο και από τη μάζα του νερού (Middleton 1964 σελ.17-18[316]). Ο Boyle, το 1660, θεώρησε ότι οι φυσαλίδες στο νερό ήταν ατμοί, παρόλο που οι απόψεις του πάνω στο θέμα δεν φαίνονται ιδιαίτερα ξεκάθαρες.

Σύμφωνα με τα κείμενα που έχουν μεταφραστεί στην *ενότητα 3.5* του *Παραρτήματος VII*, ο Boyle εξετάζει, κατ' αρχήν, το φαινόμενο του βρασμού του νερού μέσα στον κώδωνα της αντλίας κενού, κάτω από τον τίτλο «είναι το νερό ελαστικό;» (βλ. *απόσπασμα 1*). Ο τίτλος παραπέμπει στη σύγκριση ανάμεσα στο πείραμα της κύστης με ελάχιστο αέρα, που διογκώνεται σε περιβάλλον μειωμένης πίεσης, αποδεικνύοντας την ελαστικότητα του αέρα, με την αντίστοιχη συμπεριφορά του νερού, που σε περιβάλλον μειωμένης πίεσης καταλαμβάνει μεγαλύτερο όγκο, καθώς αναβράζει. Σε αντίθεση με την ευκολία με την οποία ο Boyle από το πείραμα της κύστης καταλήγει στο θεωρητικό σχήμα των «σωματιδίων-ελατηρίων» του αέρα, το πείραμα στο οποίο περιγράφει τον αναβρασμό (ebullition) του νερού σε περιβάλλον μειωμένης πίεσης δεν ακολουθείται άμεσα από κάποια θεωρητική εξήγηση (Boyle 1725 ed. II σελ.425-426[302]). Ωστόσο, η αντίστοιχη πρόθεση φαίνεται να υπάρχει. Ο Boyle τροποποιεί το πείραμα, εξετάζοντας τη συμπεριφορά θερμών υγρών σε μειωμένη πίεση (Boyle 1725 ed. II σελ.473-474[302]). Καταγράφει τις διαφορές τους, ως προς την ένταση του αναβρασμού που παρατηρείται, όταν διαφορετικά θερμά υγρά – νερό, κρασί, ρετσίνι και ζωμός – φέρονται στο περιβάλλον της αντλίας κενού και μειώνεται η πίεση. Διαπιστώνει, επίσης, ότι πολλά από τα παραπάνω υγρά, όπως το νερό, το νέφτι και το κρασί συνεχίζουν να βράζουν μέσα στον κώδωνα της αντλίας κενού, όταν η αντλία λειτουργεί, μέχρι να γίνουν χλιαρά. Συνδέοντας τα πειραματικά δεδομένα που αφορούν στη συμπεριφορά διαφορετικών θερμών υγρών σε μειωμένη πίεση, τα εξηγεί, υποθέτοντας ότι η μείωση της πίεσης διαφοροποιεί τις λειτουργίες της θερμότητας, την οποία προσπαθεί να προσεγγίσει ως λειτουργία σε μικροσκοπικό επίπεδο (βλ. *απόσπασμα 2*).

Το δεύτερο αυτό κείμενο αποτελεί έναυσμα για την επανάληψη του πειράματος από τα μέλη της Accademia del Cimento. Στην έκδοση του 1667, αναφέρονται στο πείραμα του Boyle και διευκρινίζουν ότι προτίθενται να το επαναλάβουν μόνο για το νερό (Academie del Cimento 1684/1964 σελ.57[340]). Με τον τίτλο «ένα πείραμα με το νερό στο κενό», εξετάζουν τη συμπεριφορά νερού διαφορετικών θερμοκρασιών στο κενό. Σε σχέση με τα πειράματα που περιγράφει ο Boyle, η περιγραφή του πειράματος στην έκδοση της Accademia del Cimento είναι πολύ λιτή, παραθέτει με καθαρότητα τα παρατηρησιακά δεδομένα και δεν επεκτείνεται στην προσπάθεια εξήγησής τους. Οι συγγραφείς παρατηρούν το ότι το θερμό νερό βράζει ζωηρά στο κενό, σαν να βρίσκεται πάνω από ισχυρή φωτιά, και, παράλληλα, διαπιστώνουν, όταν απομακρύνουν το δοχείο από τον κώδωνα της

αντλίας, ότι ο βρασμός αυτός δεν έχει καθόλου συνοδευτεί από την παραγωγή θερμότητας (βλ. *απόσπασμα 3*).

► Δράσεις με άξονα την ιστορία της επιστήμης:

Τα παραπάνω στοιχεία, σε συνδυασμό με τα μεταφρασμένα αποσπάσματα της *ενότητας 7* του *Παραρτήματος VII*, δίνουν υλικό για το σχεδιασμό δραστηριοτήτων που εντάσσουν τη μελέτη του πειράματος βρασμού του νερού σε μειωμένη πίεση στο ιστορικό του πλαίσιο.

Ανάμεσα στα στοιχεία που μπορούν να διερευνηθούν, στο πλαίσιο ειδικά σχεδιασμένου προγράμματος, είναι **ο επαγωγικός χαρακτήρας της επιστήμης του Boyle**, που αναδεικνύεται, στη συγκεκριμένη περίπτωση, από **τον τρόπο με τον οποίο διευρύνει τη βάση δεδομένων του**, προκειμένου να οδηγηθεί σε εξηγητική υπόθεση, είτε να ανακαλύψει παράγοντες που συνδιαμορφώνουν το πειραματικό του αποτέλεσμα και εμποδίζουν την παραγωγή εξήγησης.

Παράλληλα, θα είχε ενδιαφέρον, με αφορμή το συγκεκριμένο πείραμα, να διερευνηθούν, στο πλαίσιο θεωρητικής δραστηριότητας, θέματα διάδοσης της επιστήμης. Συγκεκριμένα, θα μπορούσε να διερευνηθεί το πώς τα επιστημονικά νέα ταξιδεύουν από χώρα σε χώρα, κινητοποιώντας νέες πειραματικές δοκιμές, οι οποίες διαφωτίζουν προηγούμενα πειράματα και δημιουργούν **σιγά-σιγά ένα σώμα διευρυνόμενης γνώσης,** πάνω σε συγκεκριμένα θέματα. Θα μπορούσε, επίσης, να διερευνηθεί το πώς το σώμα αυτό της γνώσης **καθίσταται ολοένα και πιο έγκυρο**, τόσο μέσα από τη μ**εθοδολογία** που ακολουθείται, την οποία τα αντίστοιχα κείμενα περιγράφουν, όσο και μέσα από τις **αναφορές των επιστημόνων στα πειράματα που προηγήθηκαν**.

Επίσης, ο τρόπος που τα ιστορικά κείμενα φωτίζουν το συγκεκριμένο πείραμα μπορεί να αντιπαρατεθεί με τη γλώσσα και τα εργαλεία που εμείς χρησιμοποιήσαμε, εκτελώντας το. Από τη σύγκριση αυτή θα μπορούσε εύκολα να διαπιστωθεί **η αντίθεση** ανάμεσα **στην ευκολία** με την οποία εμείς χρησιμοποιήσαμε το **θερμόμετρο** (για τη διεξαγωγή μετρήσεων θερμοκρασίας) και **το διάγραμμα φάσεων του νερού** (για την αξιολόγηση των πειραματικών μας αποτελεσμάτων και την εξαγωγή συμπερασμάτων), με τη **δυσκολία** της εποχής του 17^{ου} αιώνα, οπότε τα αντίστοιχα φαινόμενα αποτελούσαν, καταρχήν, **γρίφο** και, κατά δεύτερο, **πηγή εντατικής έρευνας για τη συλλογή πειραματικών δεδομένων**. Η συγκεκριμένη δραστηριότητα θα μπορούσε να εμπλουτιστεί με **τη μελέτη της ιστορίας του θερμομέτρου**, η οποία θα μπορούσε, με τη σειρά της, να αποκαλύψει ότι η μέτρηση της θερμοκρασίας, γεγονός τόσο οικείο σε όλους μας σήμερα, τότε, μόλις γεννιόταν. Επίσης, ο εντοπισμός των στοιχείων, στα ιστορικά κείμενα, που αναφέρονται σε συγκεκριμένες μετρήσεις και η αντιπαραβολή τους με το **διάγραμμα φάσεων του νερού**, που χρησιμοποιείται σήμερα, μπορεί να φωτίσει **τη διαδικασία κατασκευής του διαγράμματος φάσεων του νερού** από **πληθώρα** αντίστοιχων **εμπειρικών δεδομένων**.

► Δράσεις με άξονα το διάγραμμα φάσεων του νερού:

Στο πλαίσιο της πειραματικής διάλεξης, προτείναμε στους μαθητές **να χρησιμοποιήσουν το**

διάγραμμα φάσεων του νερού, για **να προβλέψουν** ποια θα πρέπει να είναι η πίεση στο εσωτερικό του κώδωνα της αντλίας, όταν αρχίζει ο βρασμός του νερού, με δεδομένο ότι το νερό εισάγεται στον κώδωνα σε θερμοκρασία περίπου 20°C. Η δραστηριότητα αυτή μπορεί να επεκταθεί. Προτείνεται, στο πλαίσιο των μαθημάτων φυσικών επιστημών, οι μαθητές **να παρακολουθήσουν το φαινόμενο**, χρησιμοποιώντας το **θερμόμετρο**. Στη συνέχεια να μεταφέρουν τις παρατηρήσεις τους στο διάγραμμα φάσεων του νερού, σημειώνοντας την αρχική θερμοκρασία του νερού, την πορεία πτώσης της θερμοκρασίας, από τη στιγμή που το νερό αρχίζει να βράζει, και τις τελικές συνθήκες. Ως τελικές συνθήκες εννοούμε το σημείο στο οποίο η θερμοκρασία του νερού θα σταματήσει να κατεβαίνει, που σχετίζεται με την ικανότητα της αντλίας που εκάστοτε χρησιμοποιείται. Προτείνουμε να ζητηθεί από τους μαθητές να καταγράψουν αναλυτικά τις μετρήσεις τους, εργαζόμενοι σε διαφορετικές ομάδες, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα στο τέλος να διασταυρώσουμε τα αποτελέσματα. Επίσης, προτείνουμε οι μαθητές να παρατηρήσουν προσεκτικά το φαινόμενο και να καταγράψουν, για παράδειγμα, τη θερμοκρασία σημείων στα οποία το νερό σταματά να βράζει, με στόχο αυτά να χρησιμοποιηθούν για την εξήγηση του φαινομένου, με βάση το διάγραμμα φάσεων του νερού.

Η δράση που μόλις περιγράφτηκε μπορεί να αποκτήσει ακόμα ένα σκέλος, που συνιστά ένα σχόλιο πάνω στη μεθοδολογία της επιστήμης. Προτείνεται, αφού οι μαθητές εξοικειωθούν με τη χρήση του διαγράμματος φάσεων, να ερωτηθούν, αν το διάγραμμα εξηγεί το γιατί το νερό εμφανίζει αυτή τη συμπεριφορά. Το αποτέλεσμα της δράσης εντοπίζεται στο να κατανοήσουν οι μαθητές, κάτι στο οποίο ήδη αναφερθήκαμε, ότι, δηλαδή, το **διάγραμμα** δεν έχει προκύψει από μια θεωρητική σχέση, αλλά από **τη συγκέντρωση εμπειρικών παρατηρήσεων**.

8.3.7. 10η υποενότητα: Το χρώμα του ουρανού

► 1η ιστορική σημείωση: Το πρόβλημα της διάδοσης του φωτός στο κενό τον 17ο αιώνα

Η παρούσα υποενότητα, όπως και η υποενότητα πάνω στις *παράξενες αστραπές*, φαίνονται κάπως αποκομμένες από το πλαίσιο του 17ου αιώνα, ο οποίος αποτελεί το πλαίσιο των περισσότερων από τις υπόλοιπες υποενότητες. Παρόλο που θεωρήσαμε τις απαντήσεις του 19ου αιώνα πιο ενδιαφέρουσες, γιατί, τόσο τα προβλήματα των ηλεκτρικών εκκενώσεων σε μειωμένη πίεση, όσο και η μελέτη της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας έχουν ως κέντρο τους τον 19ο αιώνα, θα πρέπει να σημειώσουμε ότι σχετικά ερωτήματα υπήρχαν και τον 17ο αιώνα. Έτσι, τα μέλη της Accademia del Cimento πειραματίζονταν πάνω στη δυνατότητα ύπαρξης ηλεκτρικών έλξεων στο κενό (Academie del Cimento 1684/1964 σελ 43-46[340]), ενώ το θέμα της διάδοσης του φωτός στο κενό αποτέλεσε έναν από τους βασικούς γρίφους με τους οποίους οι επιστήμονες του 17ου αιώνα βρέθηκαν αντιμέτωποι (Middleton 1964 σελ.17, 65[316], Boyle 1772 ed. I σελ. 36-38[349]).

► 2η ιστορική σημείωση: Για τον John Tyndall

Σύμφωνα με τον Taylor (Taylor 1988[16]), ο John Tyndall ήταν ένας από τους χαρισματικούς

εισηγητές πειραματικών διαλέξεων στη Royal Institution, κατά τον 19ο αιώνα. Αποτέλεσε αντικείμενο θαυμασμού και για τον ίδιο τον Charles Taylor, ο οποίος, όπως αναφέρθηκε στην *ενότητα 4.2.5*, ήταν ένας από τους συνεχιστές της ίδιας παράδοσης, κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα. Ανάμεσα στα πράγματα που ο Taylor επισημαίνει είναι ότι ο John Tyndall ενσωμάτωνε στις διαλέξεις του ιδέες από πολλές διαφορετικές πηγές, τις οποίες και ανέπτυσσε. Σημειώνει, επίσης, ότι ο John Tyndall κρατούσε λεπτομερείς σημειώσεις, πάνω στις πειραματικές του διαλέξεις, οι οποίες αποτελούν μέχρι σήμερα πολύτιμη πηγή πληροφοριών για αυτή τη μορφή επικοινωνίας της επιστήμης κατά τον 19ο αιώνα (Taylor 1988 σελ.29[16]).

Πράγματι, στο κείμενο της πειραματικής διάλεξης του John Tyndall πάνω στο *χρώμα του ουρανού*, που παρατίθεται στην *ενότητα 3.6* του *Παραρτήματος VII*, φαίνεται πώς ο εισηγητής της συνδυάζει σαφήνεια, απλότητα και εγκυρότητα. Ξεκινώντας, αντιμετωπίζει, καταρχήν, με τη μέθοδο της σε άτοπο απαγωγής την προϋπάρχουσα ιδέα των ακροατών του, ότι το μπλε χρώμα του ουρανού οφείλεται στο ίδιο το χρώμα του αέρα. Το επιχείρημά του γι' αυτό είναι ότι, αν δεχόμασταν ότι ο αέρας είναι ένα γαλάζιο διαφανές υλικό, δεν θα μπορούμε να εξηγήσουμε το χρώμα του ηλιοβασιλέματος. Χρησιμοποιώντας, στη συνέχεια, εικόνες από τη φύση, δομεί ένα σύνολο δεδομένων, που αποτελούν την εμπειρική βάση της υπόθεσής του. Βότσαλα, κύματα και βράχια, ο καθαρός ο ουρανός των Άλπεων και τα πορφυρά χρώματα του χιονιού στο ηλιοβασίλεμα, συνθέτουν, παράλληλα με τις εικόνες της εμπειρίας που αξιοποιούνται ως βάση για την εξήγηση, ένα κείμενο που λογοτεχνικά παρασύρει τον αναγνώστη (βλ.*απόσπασμα 1*).

Στη συνέχεια της ίδιας πειραματικής διάλεξης, ο John Tyndall εισάγει πείραμα προσομοίωσης, προτείνοντας, εναλλακτικά, τη χρήση μαστίχας διαλυμένης στο οινόπνευμα, για καλύτερα αποτελέσματα, ή τη χρήση γάλακτος, που καθιστά το πείραμα εύκολα πραγματοποιήσιμο από τον καθένα. Τέλος, κλείνοντας την ενότητα με το σχόλιο ότι «ο Helmholtz ασεβώς αποκάλυψε το γεγονός ότι τα μπλε μάτια είναι απλά ένα θολό μέσον», μάλλον καταφέρνει να τραβήξει την προσοχή και του πιο αδιάφορου ή κουρασμένου ακροατή (*απόσπασμα 2*).

► <u>Δράσεις:</u>

Η παρούσα πειραματική διάλεξη μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο μελέτης, τόσο πρακτικής, όσο και θεωρητικής, στο πλαίσιο ειδικά σχεδιασμένων δράσεων. Η **δομή** της **διάλεξης,** ο τρόπος που η θεωρητική υπόθεση τεκμηριώνεται με βάση τα εμπειρικά δεδομένα (που είναι εικόνες της φύσης ή τα αποτελέσματα του πειράματος προσομοίωσης), όπως και ο **τρόπος** που τα στοιχεία αυτά **επικοινωνούνται** μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο θεωρητικής διερεύνησης. Παράλληλα, το **πείραμα προσομοίωσης** μπορεί να εισαχθεί ως **πειραματική δραστηριότητα** εξερεύνησης σε διαφορετικά επίπεδα εκπαίδευσης, επειδή αποτελεί, ταυτόχρονα, παράδειγμα απλότητας και ακρίβειας. Για τους μαθητές ή επισκέπτες της Χίου, έχει το πρόσθετο ενδιαφέρον ότι βασίζεται στη μαστίχα. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποτελέσει αφορμή για την **ανάπτυξη διαθεματικών δράσεων** με θέμα **τη διερεύνηση της διάδοσης και χρήσης της μαστίχα**ς **ιστορικά και σε παγκόσμιο**

επίπεδο, ως προϊόντος καθημερινής ζωής ή ως προϊόντος επιστημονικών εφαρμογών.

Παράλληλα, η λεπτομερέστερη μελέτη της εξήγησης που δίνει ο Tyndall για το χρώμα του ουρανού μπορεί να αξιοποιηθεί, προκειμένου **να αναλυθούν περισσότερο οι ιδέες των μαθητών** που φαντάζονται ότι, **χωρίς αέρα, ο ουρανός θα ήταν *άχρωμος, διαφανής, διαυγής* ή *δεν θα φαινόταν,*** υποθέτοντας και αυτοί, όπως και οι ακροατές του Tyndall, ότι **ο αέρας έχει χρώμα**.

Ακόμα, η εξήγηση που δίνει ο Tyndall θα μπορούσε να αξιοποιηθεί, προκειμένου να δειχθεί πως η επιστημονική **απάντηση του Tyndall** δομείται πάνω στους **νόμους της οπτικής**, αντίθετα με πολλές από τις **απαντήσεις των μαθητών** που φαίνονται **τυχαίες**. Έτσι, η ιδέα της δομής που ενυπάρχει στη φύση και αποκαλύπτεται μέσα από την επιστημονική σκέψη που την αποκωδικοποιεί μπορεί να συγκριθεί με τις αβασάνιστες απαντήσεις πολλών από τους μαθητές, με στόχο να αναδειχθεί η σχετική **διαφοροποίηση** και το πρόβλημα που η σύγχρονη διδακτική έχει θέσει, πάνω στο κατά πόσον η επιστημονική σκέψη είναι φυσική (βλ. *ενότητες 3.1.2* και *3.2.4*).

8.4. *9η υποενότητα*: Πόσο ζυγίζει;

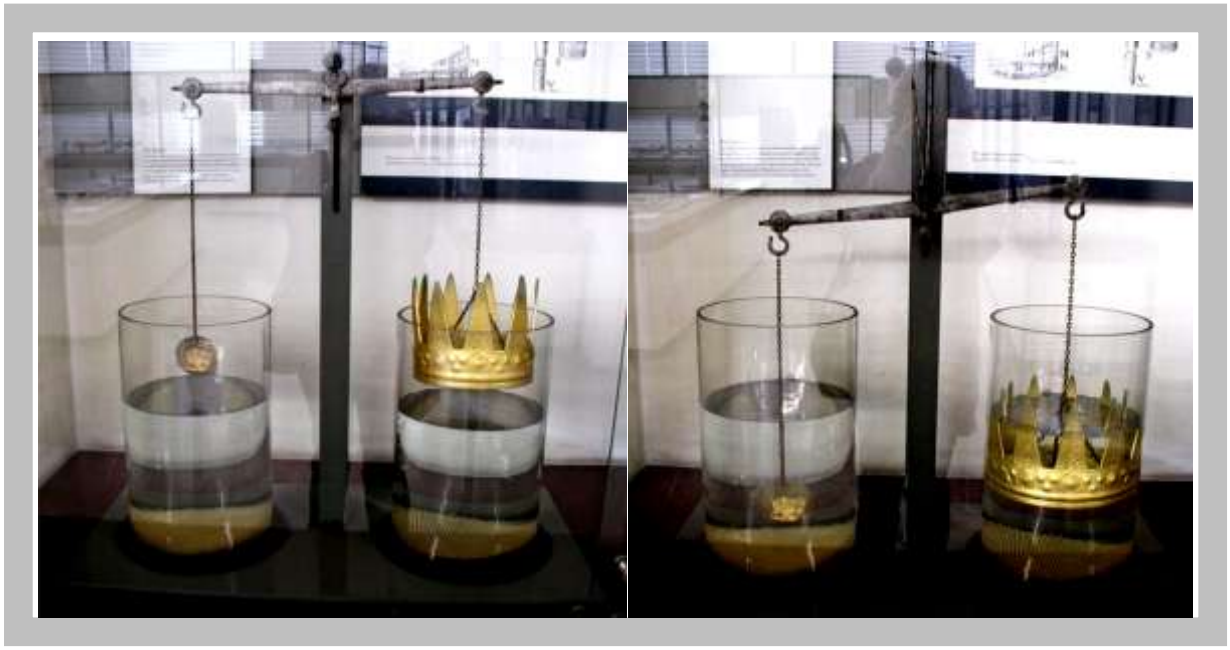
8.4.1. Από την άνωση στα υγρά στην άνωση στον αέρα

► 1η ιστορική σημείωση: Οι επιστήμονες του 16ου και 17ου αιώνα «διαβάζουν» Αρχιμήδη:

Όπως αναφέρθηκε στην *ενότητα 7.4.9*, το επεισόδιο του «εύρηκα» φθάνει στην επιστημονική κοινότητα του 17ου αιώνα μέσα από τα κείμενα του Βιτρούβιου (Vitruvius, *The Ten Books on Architecture*, Book IX, Introduction [9-12][329]) και τα γραπτά του Αρχιμήδη (Αρχιμήδης στον Heath 1897 σελ.258[330]) (*βλ. αποσπάσματα 1 & 3, ενότητα 4.1, Παράρτημα VII*). Παράλληλα, οι χρυσοχόοι χρησιμοποιούσαν, στην πράξη, την αρχή του Αρχιμήδη για την ανίχνευση της νοθείας στα μεταλλικά κράματα, εφαρμόζοντας μεθόδους πολύ ακριβέστερες από το πείραμα που περιγράφει ο Βιτρούβιος. Συνδυάζοντας τα στοιχεία αυτά, ο Γαλιλαίος, ο οποίος χρησιμοποιεί την αρχή του Αρχιμήδη, εφαρμόζοντας πειραματικές τεχνικές μεγάλης ακρίβειας (Galilei 1638/1954, *1st day* [113-114][299]) (βλ. *απόσπασμα 2, ενότητα 4.1, Παράρτημα VII*), θεωρεί ότι η μέθοδος που ο Βιτρούβιος αποδίδει στον Αρχιμήδη δεν ανταποκρίνεται, ούτε στη λεπτότητα των επινοήσεων, ούτε στη λεπτομέρεια των γραπτών του Αρχιμήδη. Στο βιβλίο του *La Bilancetta*, που γράφεται το 1586 (Galilei, *La Bilancetta*, 1586/1929 σελ.215-216[332]), ο Γαλιλαίος εξηγεί τις ενστάσεις αυτές και προτείνει τη δική του εκδοχή για το πείραμα του Αρχιμήδη, η οποία συνίσταται την αξιοποίηση ενός είδος υδροστατικού ζυγού (βλ. *απόσπασμα 4, ενότητα 4.1 Παραρτήματος VII)*.

Την ίδια εποχή, ο Jean Batista Della Porta περιγράφει και σχολιάζει, επίσης, το συμβάν της κορώνας του Ιέρωνα που περιγράφει ο Βιτρούβιος, στο δέκατο-όγδοο από τα είκοσι βιβλία της συλλογής του με τίτλο *Natural Magick*, που εκδίδεται το 1589. Θεωρώντας κι αυτός τη μέθοδο που περιγράφει ο Βιτρούβιος ανακριβή, προτείνει μια καλύτερη, που κατά τη γνώμη του, αφήνει τον Αρχιμήδη πίσω και επιτρέπει στους σύγχρονους πειραματιστές να φωνάξουν δυνατότερα «σούπερ-

εύρηκα, σούπερ-εύρηκα». Σύμφωνα με τον Della Porta, η διαπίστωση της νοθείας γίνεται πολύ απλά, βυθίζοντας την ισορροπημένη στον αέρα ζυγαριά ακριβείας που στο ένα σκέλος της έχει καθαρό χρυσό και στο άλλο ίσο βάρος από το χρυσό αντικείμενο που θέλουμε να ζυγίσουμε μέσα σε λεκάνη με νερό. Η απώλεια της ισορροπίας της ζυγαριάς, που έχει ως αποτέλεσμα το σκέλος της με τον καθαρό χρυσό να βυθίζεται προς τα κάτω, όταν αυτή τοποθετηθεί μέσα σε λεκάνη με νερό, αποτελεί σαφή ένδειξη της νοθείας του χρυσού αντικειμένου, ενώ με μια εξίσου απλή διαδικασία μπορεί με το ίδιο όργανο να μετρηθεί η σύσταση του κράματος (Della Porta 1658 σελ.354-355[331]) (βλ. *απόσπασμα 5, ενότητα 4.1 Παραρτήματος VII)*. Η πειραματική διάταξη που αναπαριστά το πείραμα του Αρχιμήδη στο *Deutsches Museum* (βλ. *εικόνα 8.6*), στην οποία αναφερθήκαμε ξανά στην *ενότητα 7.4.9*, είναι η ίδια με τη διάταξη που αναφέρει ο Della Porta.

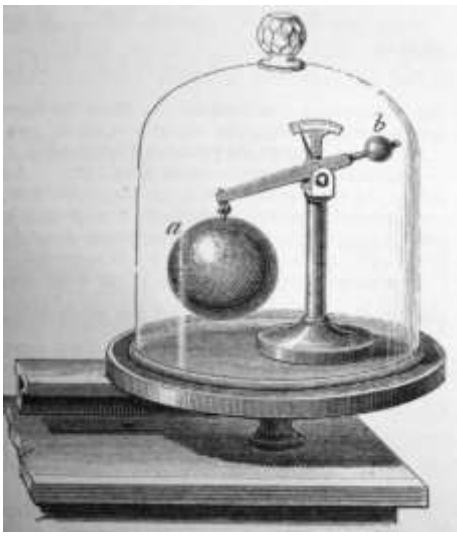


Εικόνα 8.6: Η αναπαράσταση του πειράματος του Αρχιμήδη, με βάση τις απόψεις των επιστημόνων του 16^{ου} αι., Deutsches Museum 2006

► 2^{η} ιστορική σημείωση : Από την άνωση στα υγρά στην άνωση στον αέρα:

Η μεταφορά της έννοιας της άνωσης από τα υγρά στον αέρα δεν περιορίστηκε απλά και μόνο στη μεταφορά της αρχής του Αρχιμήδη από τα υγρά στα αέρια, η οποία αναδιατυπώνεται από τον Γαλιλαίο με τα λόγια: «όταν ένα βαρύ σώμα βρίσκεται μέσα στον αέρα, χάνει τόσο βάρος, όσο το βάρος του αέρα που έχει όγκο ίσο με το σώμα αυτό». Συνοδεύτηκε, όπως ήδη αναφέρθηκε, και από την επινόηση αντίστοιχων οργάνων μέτρησης. Η κατασκευαστική συνάφεια του υδροστατικού ζυγού που περιγράφει ο Jean Battista Della Porta (βλ. *σχήμα 8.6*) με το βαροσκόπιο του 19^{ου} αιώνα που περιγράφει ο Ganot (βλ.*εικόνα 8.7*) (Ganot 1894 σελ.204-206[333]) (βλ. *απόσπασμα 3, ενότητα 4.2, Παραρτήματος VII*) είναι προφανής.

Πριν, όμως, από την επινόηση των οργάνων που έκαναν δυνατή την πραγματική μέτρηση του βάρους του αέρα, υπήρξε, και σε αυτή την περίπτωση, όπως και στην περίπτωση της ελεύθερης πτώσης, η νοητική προσέγγιση του θέματος. Έτσι, όταν ο Γαλιλαίος μεταφέρει, με διατυπώσεις σαν αυτή της προηγούμενης παραγράφου, την έννοια της άνωσης από τα υγρά στα αέρια, προβληματίζεται πάνω στον τρόπο με τον οποίο μπορεί το πραγματικό βάρος ενός σώματος να προσδιοριστεί. Στο βιβλίο του *Δύο Νέες Επιστήμες* (Galilei 1638/1954, *1st day* [125][299]), βάζει τα πρόσωπα του διαλόγου να καταλήγουν ότι, προκειμένου να υπάρξουν ακριβείς μετρήσεις πάνω στο πραγματικό βάρος των σωμάτων, θα έπρεπε αυτά να ζυγιστούν στο κενό. Παρόλο που αυτό ακούγεται σε πρώτη φάση σαν σενάριο επιστημονικής φαντασίας, ο μεν Γαλιλαίος καταφέρνει να λύσει το πρόβλημα έμμεσα, υπολογίζοντας το βάρος του αέρα μέσα από τη ζύγιση συμπιεσμένου αέρα (Galilei 1638/1954, *1st day* [124]-[126][299]) *(βλ. απόσπασμα 1, ενότητα 4.2 Παραρτήματος*), ενώ η εφεύρεση, λίγα χρόνια αργότερα, της αντλίας κενού επιτρέπει τον άμεσο προσδιορισμό της διαφοροποίησης του βάρους των σωμάτων σε διαφορετικές συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης με τη χρήση ζυγού ισορροπίας.



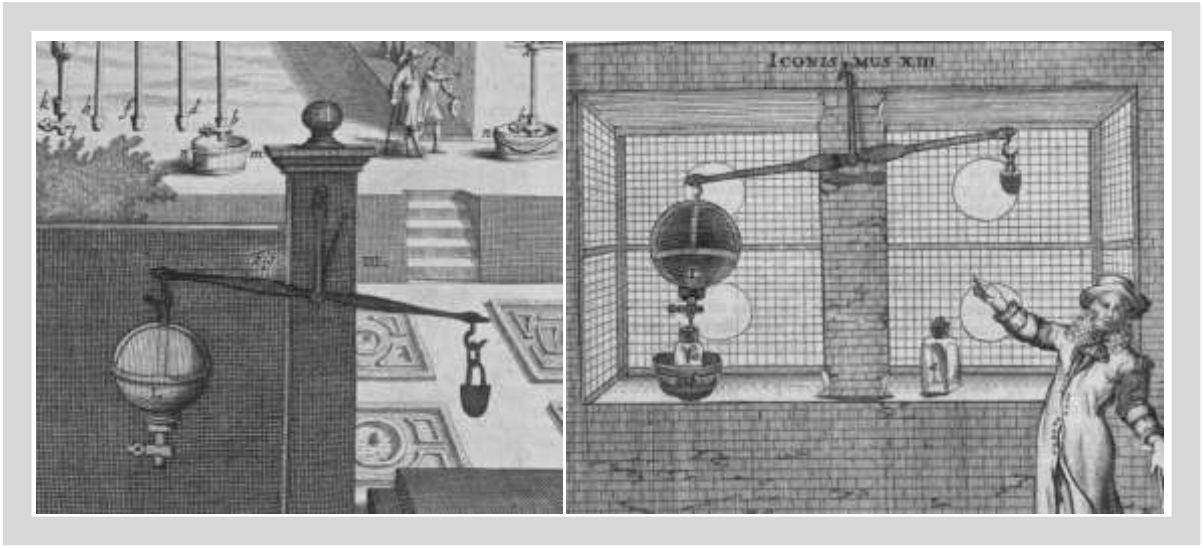
Εικόνα 8.7: Το βαροσκόπιο,19ος αι. (Ganot 1894 σελ.205[333])

Ο Boyle, στην έκδοση του 1660, περιγράφει πείραμα με τίτλο: «*Σώματα με διαφορετικά ειδικά βάρη, χάνουν την ισορροπία τους στο κενό*». Στο πείραμα αυτό, ο Boyle τοποθετεί στο ένα σκέλος του ζυγού μια κύστη γεμάτη κατά το ήμισυ με αέρα και στην άλλη άκρη ένα βαρίδι. Ισορροπώντας το ζυγό στον αέρα, διαπιστώνει ότι η ισορροπία χάνεται, όταν η ζυγαριά εισάγεται στον κώδωνα της αντλίας κενού και αφαιρείται ο αέρας, οπότε η φάλαγγα αρχίζει να γέρνει προς την πλευρά της κύστης, η οποία ταυτόχρονα φουσκώνει (Boyle 1725 ed. II σελ.445-446[302]) (βλ.*απόσπασμα 3, ενότητα 4.2, Παράρτημα VII*). Παρόλο που το πείραμα φαίνεται, από την περιγραφή του, εντυπωσιακό, η εξήγησή του αποδεικνύεται γριφώδης. Ο λόγος είναι ότι, αντίθετα με το βαροσκόπιο που περιγράφει ο Ganot (Ganot 1894 σελ.204-206[333]) (βλ. *απόσπασμα 3, ενότητα 4.2, Παραρτήματος VII)*, η συσκευή του Boyle επανέρχεται για λίγο στην ισορροπία, όταν ο αέρας αφεθεί να εισέλθει ξανά στον κώδωνα, αλλά κατόπιν η κύστη παρουσιάζεται να υπερτερεί σε βάρος. Ο Boyle, θεωρεί υπεύθυνη γι' αυτό την υγρασία του αέρα και ελέγχει τις συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας στο εσωτερικό του κώδωνα. Επίσης, αντικαθιστά, χωρίς όμως επιτυχία, την κύστη με φελλό και μετά με κάρβουνο, υποθέτοντας ότι αυτά τα υλικά θα ήταν λιγότερο ευαίσθητα στην απορρόφηση υγρασίας από τον αέρα[ccvi].

[ccvi] Ο Boyle χρησιμοποιεί το κάρβουνο, μετά τον φελλό, θεωρώντας ότι απορροφά λιγότερη υγρασία από τον φελλό. Έτσι, είναι πιθανόν, η αποτυχία του πειράματός να οφείλεται ακριβώς στο γεγονός ότι το κάρβουνο είναι ισχυρά προσροφητικό υλικό.

► 3η ιστορική σημείωση: Το βαροσκόπιο:

Μια σημείωση του Ganot, που αναφέρεται στο βαροσκόπιο (Ganot 1894 σελ.204-206[333]), φωτίζει μια ακόμα πτυχή της ιστορίας του συγκεκριμένου οργάνου. Πρόκειται για την ετυμολογία της λέξης, που, όπως εξηγεί ο Ganot στους ελληνομαθείς της εποχής του, «*προέρχεται από τις λέξεις «βάρος» και «σκοπείν» που σημαίνει εξετάζω»* και την πληροφορία ότι το όργανο αυτό εφευρέθηκε από τον von Guericke. Και, πράγματι, μια πρώτη μορφή της συσκευής, φαίνεται ότι αποτέλεσε παράλληλη επινόηση του von Guericke, κατά το 1661, και του Boyle, κατά το 1661 ή 1662, και είχε ως στόχο τη μέτρηση των μεταβολών βάρους του ατμοσφαιρικού αέρα.



Εικόνα 8.8: Ζυγίζοντας τον αέρα (von Guericke 1672 σελ. 99&108[318])

Το βαροσκόπιο που ο von Guericke περιγράφει σε γράμμα του προς τον Gaspar Schott, τον Ιανουάριο του 1661, αποτελείται από κοίλη σφαίρα που ισορροπείται στη φάλαγγα μιας ζυγαριάς με τη βοήθεια μικρού αντίβαρου (βλ. *εικόνα 8.8*). Ζυγίζοντας τη σφαίρα, πλήρη με αέρα και εκκενωμένη, ο von Guericke βρίσκει ότι το βάρος του αέρα δεν έχει σταθερή τιμή, αλλά παρουσιάζει διακυμάνσεις που εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και το ύψος του βαρομέτρου (Mach 1919 σελ.122-123[1], Middleton 1964 σελ.373-374[316]).

Ο Boyle περιγράφει σε γράμμα του προς τον γραμματέα της Royal Society, Henry Oldenburg, στις 24 Μαρτίου 1665, τις έρευνές του πάνω στο *στατικό βαροσκόπιο* (statical baroscope). Η συσκευή του αποτελείται από μια γυάλινη φούσκα, όσο το δυνατόν μεγαλύτερη, λεπτότερη και ελαφρότερη, η οποία ισορροπείται από μικρό αντίβαρο. Η διαφορές στο βάρος του ατμοσφαιρικού αέρα μεταβάλλουν την ισορροπία του ζυγού αυτού, κάνοντας τη φάλαγγα να γέρνει προς την πλευρά της φούσκας, όταν ο καιρός είναι καλός, και προς τη μεριά του αντίβαρου, όταν ο αέρας είναι βαρύς. Παρόλο που η ευαισθησία του οργάνου δεν είναι αντίστοιχη του υδραργυρικού βαρομέτρου, ο Boyle ικανοποιείται, όταν το στατικό βαροσκόπιο του επιτρέπει να προβλέπει την άνοδο ή κάθοδο της

στάθμης του υδραργυρικού βαρομέτρου. Επίσης, επισημαίνει το γεγονός ότι το όργανο αυτό διασαφηνίζει θέματα σχετικά με τη λειτουργία του υδραργυρικού βαρομέτρου, αποτρέποντας εξηγήσεις που αναζητούν το αίτιο της ανύψωσης της στήλης υδραργύρου μέσα στο σωλήνα και όχι στο βάρος της ατμόσφαιρας (Boyle 1772 ed. V σελ.648-651[350]) (βλ. *απόσπασμα 4, ενότητα 4.2, Παράρτημα VII).*

► Δράσεις:

Οι παραπάνω ιστορικές ψηφίδες φιλοδοξούν να δώσουν έναυσμα σε μια σειρά από δραστηριότητες, που μπορούν να φωτίσουν περαιτέρω θέματα που δόθηκε ευκαιρία να θιγούν κατά τη διάρκεια της πειραματικής διάλεξης. Με βάση τη συζήτηση που προηγήθηκε και τα μεταφρασμένα αποσπάσματα των *ενοτήτων 4.1* και *4.2* του *Παραρτήματος VII*, προτείνουμε να δοθεί έμφαση στο **θέμα της ιστορικής σύνδεσης και συνέχειας**, που αναδεικνύεται μέσα από την εξέλιξη των πειραματικών συσκευών και διαδικασιών.

Έτσι, στο πλαίσιο ειδικά σχεδιασμένου προγράμματος, προτείνεται να μελετηθούν **αναπαραστάσεις** αρκετών από τα παραπάνω **πειράματα**, από **ομάδες μαθητών**, και να ανακατασκευαστούν κάποιες από τις απαιτούμενες συσκευές. Προτείνεται οι ομάδες να καταγράψουν τις παρατηρήσεις τους και τα πειραματικά τους αποτελέσματα και να οδηγηθούν στο **να διακρίνουν** αναλυτικά τα **στοιχεία ομοιότητας** ανάμεσα στα πειράματα που αναφέρονται **στην άνωση στο νερό** και σε εκείνα που αφορούν **στην άνωση στον αέρα**.

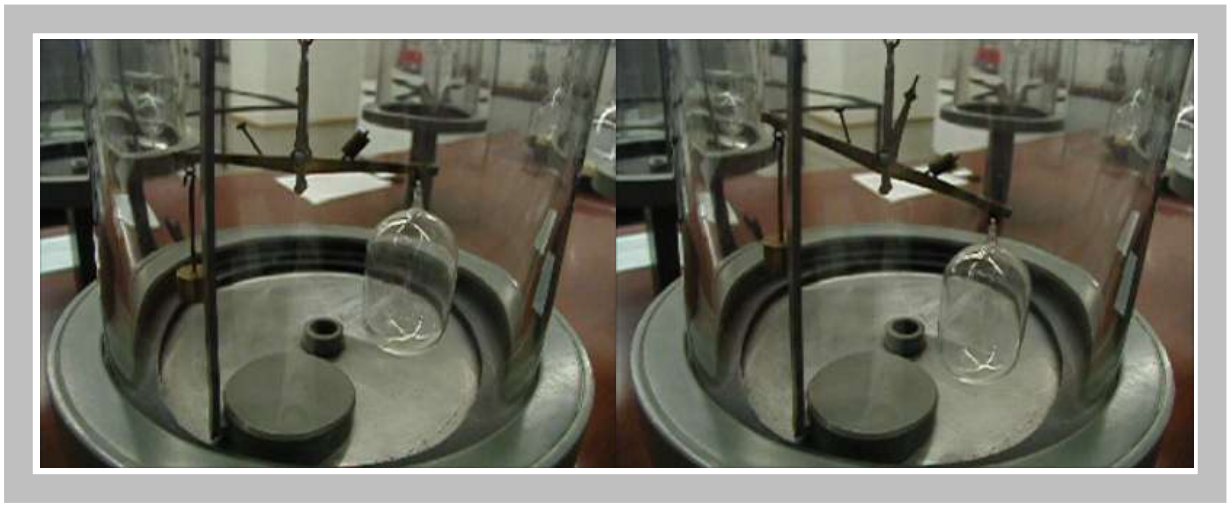
Το θέμα της **πειραματικής ακρίβειας** μπορεί επίσης να μελετηθεί, με βάση τις συζητήσεις που προηγήθηκαν πάνω στον υδροστατικό ζυγό και πάνω στο βαροσκόπιο. Τα **θέματα ακρίβειας** πάνω στα αντίστοιχα ιστορικά πειράματα προτείνεται να μελετηθούν από διαφορετικές ομάδες, τόσο **θεωρητικά,** με βάση τις βελτιώσεις που υπέστη κάθε μια από τις προαναφερόμενες πειραματικές διαδικασίες, όσο και **πρακτικά**, με αφορμή ένα συγκεκριμένο πείραμα, του οποίου τα αποτελέσματα θα γίνει προσπάθεια να βελτιστοποιηθούν. Συνδυάζοντας το αντικείμενο μελέτης των θεωρητικών και πρακτικών εργασιών των ομάδων, το σύνολο των συμμετεχόντων μπορεί να οδηγηθεί στο να διαπιστώσει τη **σημασία του σχεδιασμού της πειραματικής διαδικασίας** και στο να κατανοήσει το ότι η βελτίωση των πειραματικών αποτελεσμάτων μπορεί να απαιτεί από την απλή βελτίωση των συσκευών μέχρι τον ριζικό ανασχεδιασμό τους.

Επίσης, η **ανάλυση των παραγόντων** που μπορεί να **επηρεάζουν** συγκεκριμένα **πειραματικά αποτελέσματα** μπορεί να μελετηθεί με αφορμή το πείραμα του Boyle που αναφέρεται στη ζύγιση αντικειμένων διαφορετικής πυκνότητας στο κενό. Η εργασία και εδώ μπορεί να ανατεθεί σε διαφορετικές ομάδες μαθητών και να αναπτυχθεί, παράλληλα, σε **πρακτικό** και σε **θεωρητικό** επίπεδο. Σε πρακτικό επίπεδο, κάποιες από τις ομάδες μπορούν να κληθούν **να επαναλάβουν το πείραμα του Boyle** με τίτλο: *«Σώματα με διαφορετικά ειδικά βάρη, χάνουν την ισορροπία τους στο κενό»* (Boyle 1725 ed. II σελ.445-446[302]) (βλ. *απόσπασμα 2, ενότητα 4.2, Παράρτημα VII),*

ανακατασκευάζοντας τις τρεις εκδοχές της συσκευής που χρησιμοποιεί ο Boyle, και καταγράφοντας τα αντίστοιχα πειραματικά αποτελέσματα σε διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Άλλες ομάδες μπορούν να ασχοληθούν με τη θεωρητική ανάλυση του κειμένου του Boyle, με την καταγραφή των **αποτελεσμάτων** που περιγράφει και με την παρακολούθηση του τρόπου που αυτά τον οδηγούν σε **συμπεράσματα**, **ερωτήματα** και **αποφάσεις**. Η σύνθεση των αποτελεσμάτων των δύο ομάδων μπορεί να οδηγήσει **στην καλύτερη κατανόηση του πειράματος ως διαδικασία**.

Ένα ακόμη θέμα που με αφορμή το υλικό της παρούσας ενότητας μπορεί να μελετηθεί είναι η **αλλαγή στη χρήση των επιστημονικών οργάνων**. Όπως, συγκρίνοντας το πείραμα του Berti με το πείραμα του Torricelli, αντιλαμβανόμαστε ότι η συσκευή του Torricelli ενσωμάτωνε τον επιπλέον στόχο να καταστήσει δυνατή τη μέτρηση μεταβολών στο βάρος του αέρα, ενώ το πείραμα Berti είχε απλά ως στόχο να διαπιστωθεί, εάν ο χώρος πάνω από το νερό παρέμενε κενός, έτσι διαπιστώνουμε, αντίστοιχα, ότι το **βαροσκόπιο**, είχε ως αρχικό στόχο **να εντοπίζει μεταβολές στο βάρος του ατμοσφαιρικού αέρα**, ενώ αργότερα μεταβλήθηκε **σε όργανο για την επίδειξη και μέτρηση της άνωσης στον αέρα**.

Η αντίστοιχη μετατροπή στη χρήση συνδέεται με μετατροπές στη μορφή του οργάνου, που μπορούν να αποτελέσουν έναυσμα για την **αναζήτηση στοιχείων της αντίστοιχης υλικής επιστημονικής κουλτούρας** σε διάφορα **ιστορικά επιστημονικά μουσεία**. Μέσα από μια τέτοια αναζήτηση, μπορεί να αναδειχθεί, για παράδειγμα, πως η γυάλινη φούσκα στο πείραμα του βαροσκοπίου στο *Deutsches Museum* (βλ. *εικόνα 8.9*) παραπέμπει έντονα στο στατικό βαροσκόπιο που περιγράφει ο Boyle (Boyle 1772 ed. V σελ.648-649[348]) (βλ. *απόσπασμα 4, ενότητα 4.2, Παράρτημα VII)*.



Εικόνα 8.9: Εκτίμηση της άνωσης στον αέρα με τη βοήθεια του βαροσκόπιου, Deutsches Museum

Οι πολλαπλοί τρόποι ζύγισης του αέρα που μπορούν να εξερευνηθούν με τη βοήθεια των παραπάνω πειραμάτων μπορούν να συνδεθούν με τις **ιδέες των μαθητών** πάνω στο **βάρος του αέρα, δίνοντας έναυσμα για την επανασυζήτηση των αρχικών απαντήσεων**. Στο σημείο αυτό θα ήταν

πολύ ενδιαφέρον, οι ίδιοι οι μαθητές να συνδέσουν τις ιδέες τους με αντίστοιχες ιδέες στην ιστορία της επιστήμης και να επιλέξουν να ασχοληθούν με ιστορικές πειραματικές ενδείξεις που να τις αναδεικνύουν ή να αντιπαρατίθενται σε αυτές. Η ανάδειξη των ιδεών των μαθητών μπορεί να γίνει πιο ενδιαφέρουσα, μέσα από **την οργάνωση παιχνιδιού ρόλων** που θα τις έθετε στο κέντρο πειραμάτων και συζητήσεων, σκηνοθετημένων ως μικρών δρώμενων. Σε επόμενο στάδιο, θα μπορούσε να τεθεί ως ζητούμενο να μετατραπεί η **διαδικασία κατανόησης** και **ανάδειξης των ιδεών**, που περιγράφηκε προηγουμένως, σε **διαδικασία διάδοσης της επιστήμης** που θα έχει ως σεναριογράφους και πρωταγωνιστές τους ίδιους τους μαθητές.

8.4.2. Από τη ζύγιση του αέρα στο «ζύγιασμα» πουλιών και αεροσκαφών

► Σχόλια:

Στο πλαίσιο της πειραματικής διάλεξης, η έννοια της δυναμικής άνωσης στον αέρα προσεγγίζεται μέσα από την έννοια της πλεύσης και μέσα από τη σύνδεση της πλεύσης των ψαριών, μέσα στο νερό, με το πέταγμα των πουλιών, στον αέρα. Με τη βοήθεια ιστορικών επιστημονικών κειμένων που αξιοποιούν παρόμοιο τρόπο προσέγγισης, είναι δυνατόν η εκλαϊκευτική αυτή προσέγγιση της άνωσης να μελετηθεί περισσότερο. Για το σκοπό αυτό έχει επιλεγεί ένα απόσπασμα από την πειραματική διάλεξη του George Adams, ο οποίος, το 1794, χρησιμοποιεί την έννοια της αντίστασης που προβάλλει το νερό στην πλοήγηση των ψαριών και ο αέρας στο πέταγμα των πουλιών. Επικεντρωνόμενος, στη συνέχεια, στην αντίσταση του αέρα, εξηγεί πώς, στα πουλιά, το σχήμα του σώματος και των φτερών τους, όπως και το είδος των κινήσεων που εκτελούν, παίζουν καθοριστικό ρόλο στο αν και πώς πετούν (Adams 1794 σελ. 139-140[304]) (βλ.*ενότητα 4.3, Παράρτημα VII*).

► Δράσεις:

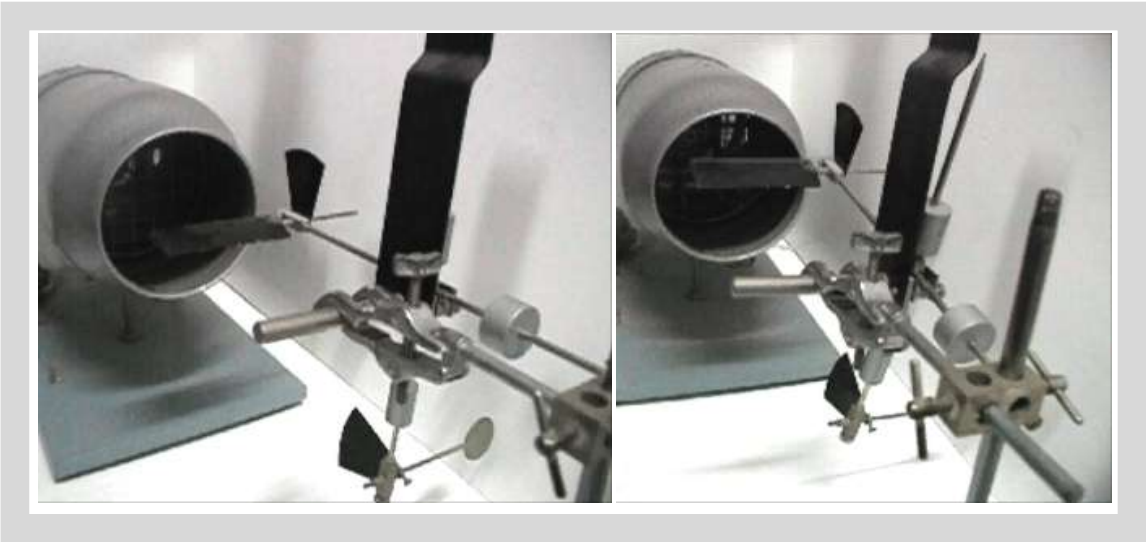
Το κείμενο του George Adams μπορεί να αξιοποιηθεί διδακτικά, ως πολύ εύστοχος και απλός τρόπος εισαγωγής της δυναμικής άνωσης, μέσα από εικόνες της καθημερινής παρατήρησης. Μπορεί, επίσης, να αξιοποιηθεί για την **επανεπεξεργασία της ερώτησης του εισαγωγικού παιχνιδιού**, *πώς θα ήταν το πέταγμα των πουλιών χωρίς αέρα*, και συγκεκριμένα, να συνδεθεί με τις **ιδέες** των μαθητών που θεωρούν τον **αέρα απαραίτητο για την πτήση**. Η συζήτηση μπορεί να γίνει πιο σύνθετη, με τη βοήθεια του ερωτήματος που τέθηκε κατά την πειραματική διάλεξη και αφορά στο **πώς ένας πύραυλος μπορεί να απογειωθεί από την επιφάνεια της σελήνης.**

Παράλληλα, στο πλαίσιο ειδικά σχεδιασμένης δράσης απευθυνόμενης σε μεγαλύτερους μαθητές, το κείμενο του George Adams μπορεί να συνδεθεί με τις μελέτες των αδελφών Wright πάνω στο σχήμα του αεροπλάνου, για **να διερευνηθεί ο τρόπος με τον οποίο η φύση αποτελεί πηγή έμπνευσης για την επινόηση μηχανών**.

8.4.3. Η ιδέα του ζυγού στη μελέτη φαινομένων άνωσης

► Σχόλια:

Στην παρούσα υποενότητα δώσαμε τον τίτλο: «*Πόσο ζυγίζει;*». Μέσα από τον τίτλο αυτό, θελήσαμε να δώσουμε έμφαση στο ότι η έννοια της άνωσης στις διάφορες εκφάνσεις της προσεγγίζεται με τον ζυγό, ο οποίος νοείται τόσο ως ιδέα, όσο και ως επιστημονικό όργανο και πρακτική. Διαφορετικών ειδών ζυγοί και ζυγίσεις, όπως ο υδροστατικός ζυγός, το βαροσκόπιο, η ζύγιση στον αέρα και στο κενό, ο ζυγός των αδελφών Wright, το ζύγιασμα των πουλιών στον αέρα και η ισορροπία των ψαριών στο νερό εξερευνήθηκαν ως αποτυπώσεις της προσέγγισης αυτής.



Εικόνα 8.10: Μετρώντας τη δυναμική άνωση, Μουσείο Φυσικής Χίου

► Δράσεις:

Στο πλαίσιο ειδικά σχεδιασμένης δραστηριότητας, τα διαφορετικά είδη ζυγών και ζυγίσεων που συναντήσαμε στα επιστημονικά επεισόδια που παραπάνω εκτέθηκαν μπορούν να μελετηθούν σε μεγαλύτερο βάθος. Διαφορετικές ομάδες μαθητών μπορούν να επικεντρωθούν στην **αναζήτηση σημείων** στα **ιστορικά κείμενα**, στα οποία τα **φαινόμενα της άνωσης** εισάγονται και εξηγούνται μέσα από την **ιδέα της ζύγισης**, ενώ **διαφορετικές εφαρμογές της έννοιας** αξιοποιούν **διαφορετικούς ζυγούς και ζυγίσεις**.

Επίσης, με βάση το κείμενο του Γαλιλαίου που παρατίθεται στο *απόσπασμα 2* της *ενότητας 4.1* του *Παραρτήματος VII* (Galilei 1638/1954, *1st day* [113-114][299]) μπορεί να οργανωθεί δραστηριότητα, με στόχο να μελετηθεί το **πώς** από την **παρατήρηση ενός φαινομένου** μπορεί κάποιος να καταλήξει στην **επινόηση συσκευών**. Η επανάληψη των πειραματικών δράσεων που περιγράφει ο Γαλιλαίος μπορεί, σε συνδυασμό με κατάλληλη εξερεύνηση των υπολοίπων τμημάτων του Μουσείου ή την παροχή των αντιστοίχων πληροφοριών από τα μαθήματα των φυσικών επιστημών, να οδηγήσει τους

μαθητές **να κατασκευάσουν** τα δικά τους **πυκνόμετρα** και **αραιόμετρα**. Η παραπάνω δράση μπορεί να συνδυαστεί με τη μελέτη των αντιστοίχων φαινομένων στον **αέρα.** Ένα **μπαλόνι ηλίου** που με τη βοήθεια κατάλληλου βαριδίου ισορροπείται στον αέρα μπορεί να οδηγήσει, τόσο στο **βιωματικό συσχετισμό** ανάμεσα στην **άνωση στα υγρά** και **την άνωση στα αέρια**, όσο και στην ανακάλυψη θεμάτων **μέτρησης** της άνωσης, **ακρίβειας** της μέτρησης, όπως και στην εξερεύνηση τεχνικών **αξιοποίησης της άνωσης** για την **ανύψωση στον αέρα**. Η δραστηριότητα μπορεί να ολοκληρωθεί με την καταγραφή από τους μαθητές των μετρήσεων και παρατηρήσεών τους, έχοντας ως πρότυπο το κείμενο του Γαλιλαίου για την εξισορρόπηση αντικειμένων μέσα στα υγρά.

8.4.4. Η ελαφρότητα του Αριστοτέλη και η άνωση στον αέρα

► Δράσεις:

Μέσα από την ερώτηση:

-Τι θα απαντούσαμε στον Αριστοτέλη, σχετικά με το ότι η ελαφρότητά του δεν έχει πια θέση στο σχολικό εγχειρίδιο;

που απευθύνουμε στο ακροατήριο προς το τέλος της παρούσας πειραματικής διάλεξης, δίνουμε τη δυνατότητα να κλείσει ένας κύκλος σκέψεων και αποριών που μπορεί να προκλήθηκαν από θέματα που συζητήσαμε κατά την εισαγωγή της ίδιας διάλεξης, οπότε αναφερθήκαμε στην ελαφρότητα, ως αίτιο της προς τα άνω κίνησης κατά τον Αριστοτέλη. Ως εργαλεία για την απάντηση στην ερώτηση, προτείνεται να αξιοποιηθούν, κατάλληλα, τα ιστορικά επιστημονικά κείμενα του *Παραρτήματος VII*, για να δειχθεί πώς οι επιστήμονες του 17^{ου} αιώνα έχουν αντικαταστήσει την ελαφρότητα, ως αίτιο της προς τα άνω κίνησης, με την έννοια της άνωσης στον αέρα, για την οποία αποδεικνύουν ότι σχετίζεται με το βάρος του αέρα.

8.5. Ταξινόμηση δραστηριοτήτων

Η ανάπτυξη της *ενότητας 8*, που προηγήθηκε, συνιστά έναν τρόπο μετατροπής της πειραματικής διάλεξης σε δραστηριότητες ανακαλυπτικής μάθησης που μπορούν να αναπτυχθούν στο πλαίσιο των μαθημάτων φυσικών επιστημών και τεχνολογίας, στο πλαίσιο διαθεματικών δράσεων ενταγμένων στο ήδη υπάρχον πρόγραμμα σπουδών, είτε στο πλαίσιο ειδικά σχεδιασμένων προγραμμάτων που θα έχουν ως στόχο να αναδείξουν θέματα φύσης και μεθοδολογίας της επιστήμης.

Αποτελώντας, επίσης, πρόταση σύνδεσης της πειραματικής διδασκαλίας με την ιστορία της, οι δραστηριότητες στοχεύουν στην εξερεύνηση θεμάτων μεθοδολογίας της επιστήμης και εξέλιξης της επιστημονικής γνώσης. Ακολουθώντας την πρόταση του Peter Galison (Galison 1988[10]), προσπαθήσαμε να βρούμε μεθόδους, ώστε να εξερευνηθεί, όχι μόνο η εξέλιξη των εννοιών, αλλά και η εξέλιξη πειραματικών διαδικασιών και επιστημονικών οργάνων. Προσπαθήσαμε, επίσης, να

αναδείξουμε, μέσα από τις ιστορικές αυτές διαδρομές, θέματα συνέχειας και μικρών ή μεγαλύτερων μετατοπίσεων στο σώμα της επιστημονικής γνώσης.

Ανάμεσα στις δραστηριότητες που προτείναμε, εντάσσονται δράσεις που επικεντρώνονται στην ανάδειξη ιστορικών επιστημονικών απόψεων, στην ανάδειξη θεμάτων φύσης και μεθοδολογίας του πειράματος ή θεμάτων της φύσης των ιστορικών επιστημονικών οργάνων.

Οι δραστηριότητες ταξινομούνται επίσης ως θεωρητικές, οι οποίες συμβολίζονται με *(Θ),* ως πειραματικές, οι οποίες συμβολίζονται με *(Π),* ως δραστηριότητες που στοχεύουν να οδηγήσουν από θεωρητικά κείμενα σε πειραματικές δράσεις ή και το αντίθετο, οι οποίες συμβολίζονται με *(ΠΘ),* ως δραστηριότητες που κινητοποιούν τους μαθητές στην παραγωγή σεναρίων και παιχνιδιών ρόλων ή παρουσιάσεων, οι οποίες συμβολίζονται με *(Δ).* Όπως φαίνεται από την ταξινόμηση των δραστηριοτήτων, που γίνεται στην επόμενη παράγραφο (βλ. *ενότητα 8.5.1*), ο χαρακτηρισμός μιας δραστηριότητας περιγράφει το κύριο βάρος της και όχι το σύνολό της. Έτσι, δραστηριότητες που περιγράφουν τη δημιουργική ανακατασκευή από τους μαθητές ιστορικών κειμένων ή πειραμάτων – και συμβολίζονται με *(Δ)* – περιλαμβάνουν, ταυτόχρονα, και θεωρητικό ή πειραματικό μέρος, ενώ πολλές δραστηριότητες που περιγράφονται ως πειραματικές εμπεριέχουν θεωρητικές αναζητήσεις.

8.5.1. «Ανακαλύπτοντας» στοιχεία της ιστορίας των επιστημονικών ιδεών και μεθόδων

Ως δραστηριότητες με κέντρο την **ανάδειξη και διδακτική αξιοποίηση ιστορικών επιστημονικών απόψεων** προτείνονται:

- η **εξερεύνηση ιστορικών επιστημονικών κειμένων** και η αξιοποίηση **σεναρίων** και **παιχνιδιών ρόλων**, με σκοπό την **ανάδειξη ιστορικών επιστημονικών απόψεων.** Ως τέτοιες δραστηριότητες προτείνονται:
  - ✓ η ανάδειξη ιστορικών επιστημονικών απόψεων πάνω σε συγκεκριμένα επιστημονικά ερωτήματα, μέσα από συγκεκριμένα ιστορικά επιστημονικά επεισόδια *(Θ1).*
  - ✓ η σύγκριση απόψεων που προέρχονται από διαφορετικά ιστορικά επιστημονικά κείμενα, αλλά αναφέρονται στα ίδια επιστημονικά ερωτήματα. Για ορισμένα θέματα προτείνεται η σύγκριση των απόψεων να διεξαχθεί, παράλληλα, σε μακροκλίμακα, δηλαδή να εκταθεί σε μεγάλο εύρος ιστορικού χρόνου, και σε μικροκλίμακα, δηλαδή να περιοριστεί στο εύρος μιας συγκεκριμένης εποχής *(Θ2).*
  - ✓ η σύγκριση απόψεων σε ιστορικά επιστημονικά κείμενα με αντίστοιχες απόψεις των σημερινών εγχειριδίων, με στόχο την ανάδειξη διαφορετικών κοσμοθεωρήσεων πίσω απ' αυτές *(Θ3).*
  - ✓ η ανάδειξη μιας φανταστικής «σκυταλοδρομίας» ανάμεσα σε επιστήμονες διαφορετικών εποχών, όπως προκύπτει από τις αναφορές νεώτερων επιστημόνων σε παλαιότερους, με στόχο την επαναχρησιμοποίηση ιδεών ή την επαναδιαπραγμάτευση θεμάτων *(Θ4).*

- ✓ η αξιοποίηση παιχνιδιών ρόλων και σεναρίων για την ανάδειξη ιστορικών επιστημονικών αντιπαραθέσεων πάνω σε θεωρητικά επιστημονικά θέματα *(Δ1)*.
- ✓ η ανάδειξη παρόμοιων μεθοδολογικών προσεγγίσεων σε κείμενα διαφορετικών εποχών, όπως, για παράδειγμα, η ανάδειξη της ομοιότητας ανάμεσα στις μεθοδολογικές προσεγγίσεις του Αριστοτέλη και του Γαλιλαίου σε θέματα λογικής αιτιολόγησης, μέσα από κείμενα στα οποία, τόσο ο πρώτος, όσο και ο δεύτερος, χρησιμοποιούν τη μέθοδο της εις άτοπον απαγωγής *(Θ5)*.

► η **αξιοποίηση ιστορικών επιστημονικών κειμένων**, με σκοπό την ανάδειξη και επεξεργασία των **ιδεών των μαθητών** *(Θ2)* και επιμέρους στόχους:

- ✓ την ταύτιση από τους ίδιους τους μαθητές των ιδεών τους με ιστορικές επιστημονικές ιδέες *(Δ2)*.
- ✓ την αξιοποίηση του παραλληλισμού, ανάμεσα στις ιδέες των μαθητών και τις ιστορικές επιστημονικές ιδέες, για τη δημιουργία παιχνιδιών ρόλων και σεναρίων, μέσα από τα οποία οι ιδέες των μαθητών μπορούν να υποστούν επεξεργασία, με τη βοήθεια «σκηνοθετημένων» συζητήσεων και αντιπαραθέσεων *(Δ3)*.

8.5.2. «Ανακαλύπτοντας» το πείραμα

Με στόχο την **ανακάλυψη του πειράματος** προτείνουμε, ως δραστηριότητες:

► την **εξερεύνηση ιστορικών κειμένων**, με σκοπό **την ανακάλυψη** θεμάτων **φύσης του πειράματος,** όπως είναι:

- ✓ ο εντοπισμός **διαφορετικών ειδών πειραμάτων**, όπως πειράματα επιβεβαίωσης θεωριών, πειράματα εξερευνητικού χαρακτήρα, πειράματα που απευθύνονται σε στενό κύκλο επιστημόνων ή απευθύνονται στο κοινό *(Θ6)*.
- ✓ ο εντοπισμός περιπτώσεων όπου μια **πειραματική μέθοδος επανέρχεται** στην ιστορία της επιστήμης, για να μελετηθεί σε ένα νέο πλαίσιο, ή ο εντοπισμός περιπτώσεων όπου μια πειραματική μέθοδος **επιβιώνει ως τεχνική**, ανεξάρτητα από το θεωρητικό της πλαίσιο *(Θ7)* (βλ. για παράδειγμα *ενότητα 8.4*).
- ✓ ο εντοπισμός περιπτώσεων, όπου ένα πείραμα αποφασίζεται ότι έχει δώσει απάντηση στα βασικά ερωτήματα για τα οποία σχεδιάστηκε και ο κύκλος ερευνών γύρω από αυτό **παύει** *(Θ8)*.
- ✓ ο εντοπισμός περιπτώσεων, όπου τα ιστορικά πειράματα ή φάσεις αυτών παύουν **χωρίς να έχουν καταλήξει σε συμπέρασμα**, λόγω της ασυμφωνίας των μαρτύρων ως προς τα ίδια τα εμπειρικά δεδομένα ή την ερμηνεία τους *(Θ9)* (βλ. για παράδειγμα, *ενότητα 8.3.3*).

- ✓ ο εντοπισμός περιπτώσεων όπου ένα πείραμα **εξελίσσεται**, προκειμένου να διερευνηθούν αντιφατικά δεδομένα ή να αναιρεθούν παράγοντες που εμποδίζουν την εξαγωγή συμπεράσματος *(Θ10)*.

► την **εξερεύνηση ιστορικών επιστημονικών κειμένων**, με σκοπό τη **διερεύνηση θεμάτων μεθοδολογίας του πειράματος** και επιμέρους στόχους:

- ✓ την ανάδειξη μεθοδολογικών διαφοροποιήσεων σε κείμενα διαφορετικών εποχών που αναφέρονται στα ίδια πειράματα ή φαινόμενα *(Θ11)*.
- ✓ τον εντοπισμό περιπτώσεων στις οποίες η θεωρία διαφοροποιήθηκε, προκειμένου να ερμηνεύσει λεπτομερέστερες παρατηρήσεις ή νέα πειραματικά δεδομένα *(Θ12)* (βλ. για παράδειγμα τα πειράματα του Γαλιλαίου πάνω στην ελεύθερη πτώση, *ενότητα 8.1.2*).
- ✓ τον εντοπισμό περιπτώσεων όπου το πείραμα διαφοροποιήθηκε, προκειμένου να υποστηρίξει νέες θεωρητικές υποθέσεις *(Θ13)* (βλ. για παράδειγμα τα πειράματα που περιγράφονται στην *ενότητα 8.2.1*).

► την οργάνωση δραστηριοτήτων που φωτίζουν τη **σύμπλεξη του θεωρητικού πλαισίου** με **τα πειραματικά δεδομένα**, μέσα από το συνδυασμό θεωρητικών και πειραματικών φάσεων, όπως είναι:

- ✓ η **αναπαράσταση εμπειρικών δεδομένων** ή **πειραματικών αποτελεσμάτων** τα οποία χρησιμοποιούνται, για να τεκμηριώσουν απόψεις και επιχειρήματα επιστημόνων σε ιστορικά επιστημονικά κείμενα *(ΘΠ1)*.
- ✓ η **παραγωγή τεκμηρίων** της **εμπειρικής μαρτυρίας**, μέσα από τη φωτογράφηση και βιντεοσκόπηση των εμπειρικών δεδομένων ή πειραματικών αποτελεσμάτων που έχουν αναπαρασταθεί *(Π1)*.
- ✓ η ένταξη της διαδικασίας αναπαραγωγής ιστορικών εμπειρικών δεδομένων και πειραματικών αποτελεσμάτων σε **σενάρια** και **παιχνίδια ρόλων**, με στόχο την κατανόηση της μεθοδολογίας και των επιχειρημάτων των επιστημόνων στα αντίστοιχα ιστορικά επιστημονικά επεισόδια *(Δ3)*.
- ✓ η αξιοποίηση κατάλληλων εκπαιδευτικών **σεναρίων** για την **παρουσίαση**, από τους **μαθητές**, **ιστορικών πειραμάτων** και **διαφορετικών εξηγήσεων που έχουν δοθεί για αυτά** από τους επιστήμονες της ίδιας ή διαφορετικών εποχών *(Δ4)*.
- ✓ η **αναπαράσταση** περιπτώσεων **ιστορικών πειραμάτων** που **διαφοροποιήθηκαν**, προκειμένου να υποστηρίξουν νέες **θεωρητικές υποθέσεις** (βλ. πειράματα *ενότητας 8.2.1*) *(ΠΘ2)*, και η **αξιοποίηση παιχνιδιών ρόλων** και **μαθητικών σεναρίων** για την αναπαράσταση του ιστορικού πλαισίου που θα μπορούσε να αναδείξει τις διαφοροποιήσεις αυτές *(Δ5)*.

► την οργάνωση δραστηριοτήτων που επικεντρώνονται στην αξιοποίηση **ιστορικών πειραμάτων** για την **ανάδειξη ιδεών** των μαθητών μέσα από επιμέρους δράσεις, όπως είναι:

- ✓ η διατύπωση **πειραματικών προβλέψεων** ή **εξηγήσεων** κατά την αναπαράσταση ιστορικών πειραμάτων (*Π2*) .
- ✓ η **συσχέτιση πειραματικών προβλέψεων** ή **εξηγήσεων** που δίνονται από τους **μαθητές** κατά την αναπαράσταση ιστορικών πειραμάτων με αντίστοιχες προβλέψεις ή εξηγήσεις που δόθηκαν από **επιστήμονες** διαφορετικών εποχών *(ΘΠ4)*.
- ✓ η εφαρμογή **παιχνιδιών ρόλων** και **σεναρίων** που να αξιοποιούν τον παραλληλισμό της σύνδεσης θεωρητικών και πειραματικών δεδομένων που κάνουν οι μαθητές και οι επιστήμονες διαφορετικών εποχών, με στόχο την επεξεργασία των ιδεών των μαθητών και την ταυτόχρονη διερεύνηση των ιστορικών πειραμάτων *(Δ6)*.

► τη δ**ιεξαγωγή πειραματικών ερευνών** με στόχο:

- ✓ την παραγωγή αποτελεσμάτων *(Π3)*.
- ✓ τον έλεγχο και την κρίση των αποτελεσμάτων *(Π4)*.
- ✓ την προσπάθεια διατύπωσης σχέσεων μεταξύ φυσικών μεγεθών που να υποδεικνύονται από τα πειραματικά αποτελέσματα *(Π5)*.
- ✓ την προσπάθεια διατύπωσης αιτιακών σχέσεων που να εξηγούν τα πειραματικά αποτελέσματα *(Π6)*.

8.5.3. «Ανακαλύπτοντας» τα ιστορικά επιστημονικά όργανα

Με στόχο την **ανακάλυψη της ιστορίας και της φύσης των επιστημονικών οργάνων**, προτείνουμε δραστηριότητες, όπως:

► την **ιχνηλασία της ιστορικής επιστημονικής κουλτούρας** μέσα από:

- ✓ την αναζήτηση πληροφοριών για την εξέλιξη συγκεκριμένων ιστορικών επιστημονικών οργάνων ή πειραμάτων σε ιστοσελίδες ιστορικών επιστημονικών μουσείων *(Θ14)*.
- ✓ την ανακατασκευή διαφορετικών εκδοχών ιστορικών επιστημονικών οργάνων και πειραμάτων *(Π7)*.

► την **ανάδειξη** του **αντικειμενοποιητικού ρόλου** των **επιστημονικών οργάνων** μέσα από δράσεις, όπως είναι:

- ✓ ο σχεδιασμός και η υλοποίηση **πειραματικών δράσεων** ως τρόπου **ελέγχου** εναλλακτικών **υποθέσεων** *(Π8)*.
- ✓ η εργασία σε ομάδες και επιλογή και παρουσίαση **πειραμάτων** από κάθε ομάδα ως **απάντηση** σε εναλλακτικές **υποθέσεις** που διατυπώνονται από το μαθητικό ακροατήριο *(Π9)*.

- ✓ η **επικύρωση** των πειραματικών δεδομένων μέσα από την **ομαδική μαρτυρία** κατά την επίδειξη ενός πειράματος σε ομάδα μαθητών *(Π10)*.
- ✓ η **παρουσίαση** από τους μαθητές πειραματικών ερευνών που να μιμούνται ιστορικές επιστημονικές αναζητήσεις και να ζητούν τη μαρτυρία ακροατηρίου που να παίζει το ρόλο της **επιστημονικής κοινότητας** *(Δ7)*.

► την ανάδειξη **συνδέσεων** ανάμεσα στα **επιστημονικά όργανα** και τη **λαϊκή επιστημονική κουλτούρα**. Αυτό μπορεί να γίνει μέσα από δράσεις, όπως:

- ✓ ο **εντοπισμός** ιστορικών επιστημονικών οργάνων που η **επινόησή** τους σχετίζεται με αντικείμενα ή προβλήματα της **καθημερινής ζωής** *(Θ15)*.
- ✓ η **ανακατασκευή** ή η επινόηση επιστημονικών οργάνων, με τη βοήθεια **απλών υλικών** *(Π11)*.
- ✓ η **οργάνωση** από τους μαθητές **πειραμάτων** ή μικρών **πειραματικών διαλέξεων** που να έχουν ως στόχο να διδάξουν και να εντυπωσιάσουν το **ευρύ κοινό** *(Δ8)*.

8.5.4. «Ανακαλύπτοντας» θέματα επιστήμης και κοινωνίας

Τέλος, κατά την ανάπτυξη της *ενότητας 8*, περιγράφηκαν μια σειρά από δραστηριότητες που επιδιώκουν την ανάδειξη της σύνδεσης επιστήμης και κοινωνίας, όπως είναι:

► η **αναζήτηση στοιχείων** της σχέσης επιστήμης και κοινωνίας, μέσα από **βιογραφίες επιστημόνων** *(Θ16)*.

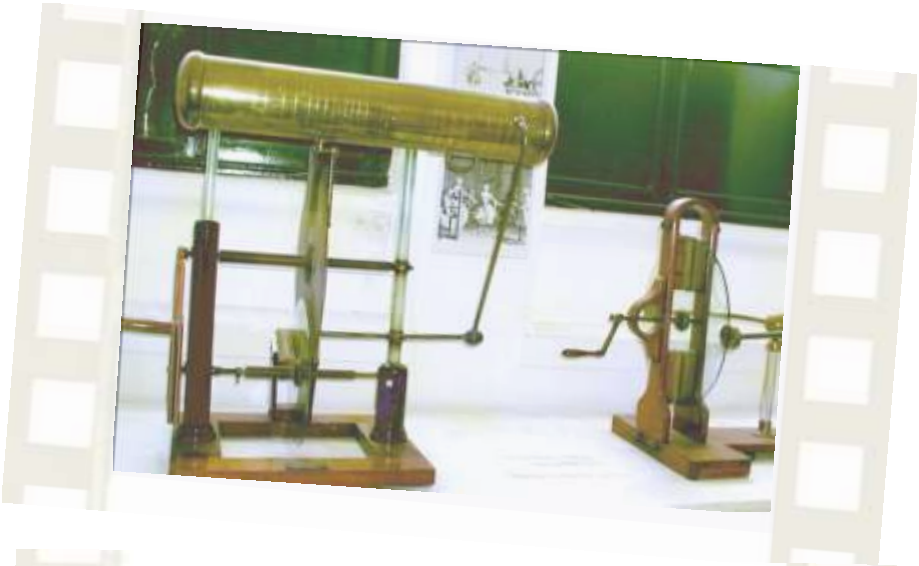
► ο εντοπισμός περιπτώσεων που ένα **επιστημονικό εγχείρημα ξεκινά** ή **σταματά** για λόγους που δεν έχουν σχέση με την επιστήμη, αλλά με την **κοινωνία** *(Θ17)*.

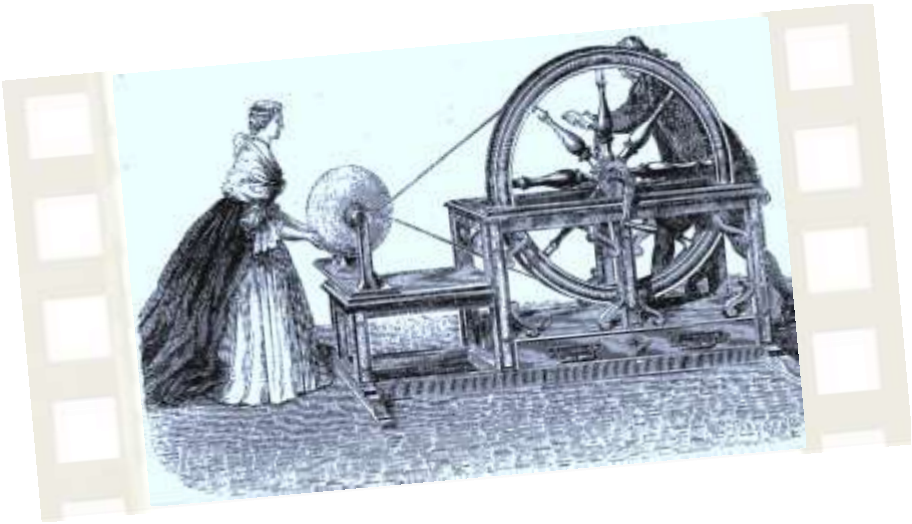
► η μελέτη και παρουσίαση των πολλαπλών συνδέσεων των **επιστημονικών οργάνων** με την **καθημερινή ζωή** *(Θ18)* (*Π11)*.

Οι δραστηριότητες αυτές, που σε ένα βαθμό επικαλύπτονται από τις κατηγορίες που προαναφέρθηκαν, μπορούν να κινητοποιήσουν τους μαθητές σε διαφορετικού τύπου δράσεις, όπως είναι η εξερεύνηση κειμένων ή ταινιών, η γραφή σεναρίων, η οργάνωση παιχνιδιών ρόλων, η παρουσίαση πειραμάτων, η ανακατασκευή οργάνων, η μελέτη και παρουσίαση του ιστορικού πλαισίου.

9. Η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΛΕΞΗ: ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΗΜΕΡΕΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ»

Εικόνα 9.1: «Οι πρώτες ημέρες του ηλεκτρισμού»





9.1. Το πλαίσιο και οι κεντρικοί άξονες της πειραματικής διάλεξης

Η πειραματική διάλεξη με τίτλο: *«Οι πρώτες ημέρες του ηλεκτρισμού»* άρχισε να σχεδιάζεται κατά το ακαδημαϊκό έτος 2004-2005. Η κατασκευή του εκπαιδευτικού υλικού ολοκληρώθηκε στην αρχή του ακαδημαϊκού έτους 2005-2006. Έκτοτε το «μάθημα-θέαμα» παρουσιάστηκε σε εννιακόσια περίπου άτομα – μαθητές, καθηγητές και κοινό – αποτέλεσε αντικείμενο επιμόρφωσης εκπαιδευτικών σε σεμινάρια οργανωμένα σε τοπικό, περιφερειακό, εθνικό και διεθνές επίπεδο[ccvii] και θέμα εισήγησης σε πανελλήνιες (Πάπαρου κ.ά. 2006[21]) και διεθνείς διοργανώσεις (Paparou & Karaliota 2009a[29], Paparou 2011[31]).

Στο κέντρο της πειραματικής διάλεξης είναι οι μέρες του 1750, οι οποίες ζωντανεύουν με τη βοήθεια των ηλεκτρικών μηχανών του Μουσείου Φυσικής. Μέσα από πειράματα του Benjamin Franklin, στην Φιλαδέλφεια των ΗΠΑ, του Jean Antoine Nollet, στη Γαλλία, του Pieter van Musschenbroek, στην Ολλανδία, σκιαγραφείται το γενικό κλίμα της εποχής, που συνίσταται σε ραγδαίες εξελίξεις στην πειραματική τεχνολογία του ηλεκτρισμού και στο ενδιαφέρον του κοινού γι' αυτόν. Πρωταγωνιστικό ρόλο στις εξελίξεις αυτές έχουν η *ηλεκτρική μηχανή* και οι *φιάλες Leyden*, που φεύγουν από τα όρια των επιστημονικών εργαστηρίων, για να αποτελέσουν τους πρωταγωνιστές δημοσίων θεαμάτων και μαθημάτων. Καμπανούλες που χτυπούν αυτόματα, φλόγες που ανάβουν, απομιμήσεις κεραυνών και αλεξικέραυνων, εντυπωσιακά δρώμενα, όπως το ηλεκτρικό φιλί και τα πειράματα ηλέκτρισης ανθρώπινων αλυσίδων, γίνονται θεάματα για το κοινό του 18ου αιώνα, όπως και για το δικό μας ακροατήριο.

Παράλληλα, μέσα από αναδρομή στην ιστορία του ηλεκτρισμού, και συγκεκριμένα μέσα από πειράματα ηλεκτρικών έλξεων του William Gilbert, μετάδοσης των ηλεκτρικών ιδιοτήτων με επαφή και επαγωγή του Stephen Gray, επίδειξης των διαφορετικών τύπων ηλέκτρισης του François de Cisternay du Fay, ιχνηλατούμε τη διαμόρφωση της έννοιας του ηλεκτρικού φορτίου. Στη μορφή των διαφορετικών ηλεκτροστατικών γεννητριών του Μουσείου προσπαθούμε να ανιχνεύσουμε αποτυπώματα του εξελισσόμενου εννοιολογικού πλαισίου πάνω στη φύση και τις ιδιότητες του ηλεκτρισμού.

9.2. Το εισαγωγικό παιχνίδι εξερεύνησης

Ως εισαγωγή στο πνεύμα της πειραματικής διάλεξης, οι επισκέπτες οδηγούνται στην αίθουσα του ηλεκτρισμού που υπάρχει στο Μουσείο Φυσικής. Εκεί, καλούνται να παρατηρήσουν, προσεκτικά, τις συσκευές της *εικόνας 9.2* και να εντοπίσουν στοιχεία, όπως τα υλικά με τα οποία αυτές είναι κατασκευασμένες, ομοιότητες και διαφορές μεταξύ τους. Τους ζητάμε, επίσης, να υποθέσουν τη

[ccvii] Η πειραματική διάλεξη αποτέλεσε αντικείμενο σεμιναρίων επιμόρφωσης οργανωμένων σε τοπικό επίπεδο από τη Διεύθυνση Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης Χίου (Οκτώβριος 2005) και σε εθνικό επίπεδο από τον ΟΕΠΕΚ στο πλαίσιο του προγράμματος *Σύγχρονες Διδακτικές Προσεγγίσεις για την ανάπτυξη Κριτικής Δημιουργικής Σκέψης* (Μάρτιος-Μάιος 2007).

χρονολογική σειρά εφεύρεσής τους. Τους διευκολύνουμε, υποδεικνύοντας τα σημεία που πρέπει να προσέξουν ιδιαίτερα, όπως τα μαξιλαράκια που χρησιμοποιούνται, για να τρίβεται το γυαλί στις μηχανές Ramsden και Carré, τα διαφορετικά στρώματα υλικών στη στήλη του Volta. Οι επισκέπτες εύκολα παρατηρούν ότι οι τρείς πρώτες μηχανές είναι παρόμοιες, ότι η πρώτη είναι πιο περίπλοκη από τις άλλες δύο. Παρατηρούν επίσης, ότι η τέταρτη μηχανή είναι κάπως διαφορετική, ενώ η τελευταία δεν φαίνεται να έχει καμία σχέση με τις υπόλοιπες. Οι περισσότεροι από τους μαθητές-επισκέπτες υποθέτουν ότι, λόγω της κατασκευαστικής της απλότητας, η στήλη του Volta είναι νεώτερης τεχνολογίας από τις υπόλοιπες μηχανές. Χωρίς να διευκρινίζουμε ποια είναι η χρονολογική σειρά των μηχανών, οδηγούμε το κοινό στο Αμφιθέατρο, με την υπόσχεση ότι στο τέλος της πειραματικής διάλεξης θα γνωρίζουν τις σωστές απαντήσεις.

Εικόνα 9.2: Εξερεύνηση των ηλεκτρικών μηχανών στο Μουσείο Φυσικής

Το εισαγωγικό παιχνίδι εξερεύνησης έχει μια δεύτερη φάση (βλ. *Παράρτημα VIII, βιβλίο μαθητή, Συζήτηση 1η*). Ζητάμε από τους επισκέπτες να γράψουν ό,τι τους έρχεται στο μυαλό σχετικά με την προέλευση ή τη χρησιμότητα των μηχανών που φαίνονται στην *εικόνα 9.3*. Στόχος της άσκησης είναι να κινήσουμε την περιέργεια του κοινού για τα διαφορετικά σχέδια των μηχανών και να κινητοποιήσουμε τη φαντασία και την παρατηρητικότητα των επισκεπτών.

Έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον ότι μέσα από τα ιστορικά σχέδια οι μαθητές είναι σε θέση να μαντέψουν στοιχεία της καταγωγής των μηχανών, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν, για να προκαλέσουν ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες συζητήσεις.

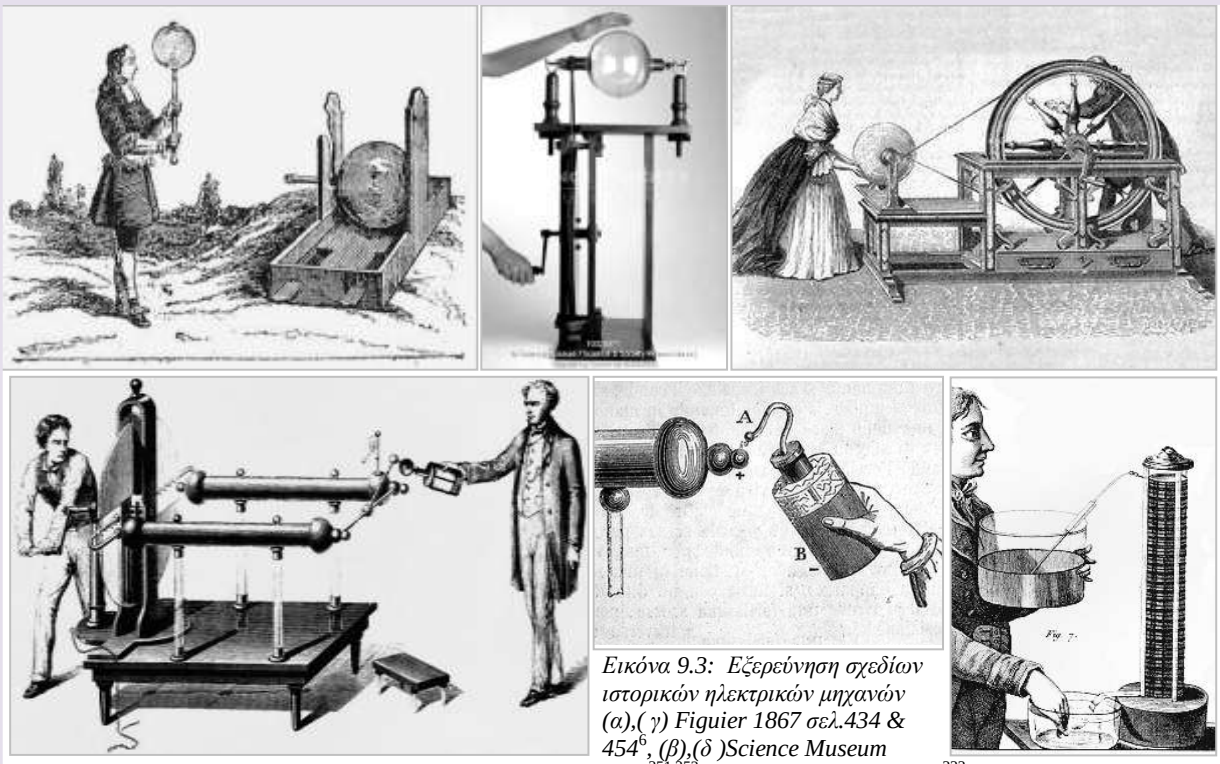
Η μηχανή του von Guericke συγκεντρώνει τις πιο ετερόκλητες απαντήσεις. Σε πολλούς θυμίζει μηχανή που *χρησιμοποιεί τον ήλιο*, κάτι σαν *φακό* ή *καθρέφτη*. Σε άλλους θυμίζει *σκιάστρο* ή *τύμπανο*. Σε μερικούς μηχανή για αγροτικές εργασίες, όπως *κόψιμο ξύλων*. Σε ένα μικρό, ωστόσο, αριθμό

μαθητών θυμίζει *υδρόγειο σφαίρα*, κάτι που σχετίζεται με την ιδέα του εφευρέτη της, να απεικονίσει με τη μηχανή αυτή την ιδιότητα της γης να έλκει τα αντικείμενα που βρίσκονται επάνω της, θεωρώντας την έλξη αυτή ηλεκτρική. Άλλοι μαθητές της δίνουν τον τίτλο: *«ο von Guericke και το μαγικό ραβδί του»*, κάτι που επίσης μπορεί να συνδεθεί με τη σχέση των πειραμάτων του von Guericke με τη φυσική μαγεία.

Σε πολλούς μαθητές η μηχανή του Nollet θυμίζει *ραπτομηχανή*, *αργαλειό* ή *αδράχτι*, πράγμα που έχει σχέση με τον τρόπο που η μηχανή κατασκευαζόταν.

Επίσης, οι απαντήσεις των μαθητών σχετικά με τη φιάλη Leyden αποτυπώνουν την εντύπωσή τους ότι το αντικείμενο αυτό μπορεί να προκαλέσει δυναμικά αποτελέσματα. Οι λέξεις *χειροβομβίδα*, *δυναμίτης* βρίσκονται ανάμεσα στις απαντήσεις των συμμετεχόντων.

Τέλος, ανάμεσα στις απαντήσεις που αφορούν στη συγκεκριμένη απεικόνιση της στήλης του Volta υπάρχει συχνά η λέξη *μέτρηση*, κάτι που δεν ισχύει για τις υπόλοιπες συσκευές.



Εικόνα 9.3: Εξερεύνηση σχεδίων ιστορικών ηλεκτρικών μηχανών (α),(γ) Figuier 1867 σελ.434 & 454[6]*, (β),(δ)Science Museum 2011*[351,352]*, (ε) Ganot 1894 σελ.759*[333]*,(στ) Segrè 1997 σελ.150*[353]

Μετά την ολοκλήρωση της πειραματικής διάλεξης, οι επισκέπτες είναι εύκολα σε θέση να ταυτοποιήσουν τις μηχανές της *εικόνας 9.3*, η οποία, τότε, λειτουργεί ως σύνοψη του περιεχομένου της παρουσίασης, απεικονίζοντας μια διαδρομή ενάμισι αιώνα πάνω στην τεχνολογία του ηλεκτρισμού. Επίσης, στο τέλος της πειραματικής διάλεξης, οι επισκέπτες έχουν τα στοιχεία, για να αποκωδικοποιήσουν τις αρχές λειτουργίας των μηχανών που αποτέλεσαν το αντικείμενο της εισαγωγικής εξερεύνησης στο χώρο του Μουσείου.

9.3. 1η υποενότητα: «Οιακίζοντας» την αστραπή

9.3.1. Με έναν χαρταετό κι ένα κλειδί…

Η παρουσίαση ξεκινάει με την εικόνα του Φραγκλίνου και του γιού του, στον πίνακα του Karl Storch. Ερμηνεύοντάς την, αναφέρουμε ότι ο Φραγκλίνος χρησιμοποιεί «έναν χαρταετό κι ένα κλειδί», για να «οιακίσει την αστραπή». Με τη λέξη «οιακίζω», που στους καπετάνιους θυμίζει το «διάκι» ή τιμόνι του πλοίου, σχολιάζουμε ως Βακωνική την παρέμβαση του Φραγκλίνου στη φύση, χρησιμοποιώντας για το σκοπό αυτό ένα λογοπαίχνιο που βασίζεται στην αντιστροφή του νοήματος του Ηρακλείτειου ρητού «κεραυνός οιακίζει» (Kirk et al. 1998, απόσπασμα 220 σελ.199[306]).

Μέσα από τη δημοσίευση στην εφημερίδα Pennsylvania Gazette (Franklin 1752[354]), παρακολουθούμε τον Φραγκλίνο να ενημερώνει το κοινό της εποχής του, με ποιόν τρόπο μπορεί να κατασκευαστεί ευκολότερα η πολυσυζητημένη συσκευή που έχει τη δυνατότητα να εφελκύει τον ηλεκτρισμό από τα σύννεφα (βλ. *διαφάνειες 3-9 εκπαιδευτικού λογισμικού, Παράρτημα IX, ενότητα 2*). Ταυτόχρονα, μέσα από τις εικόνες (βλ. *διαφάνειες 9-10*) τον φανταζόμαστε να εξηγεί στο γιό του:

> «ο χαρταετός θα πρέπει να ανυψωθεί, όταν φανεί το σύννεφο της καταιγίδας και αρχίσουν οι βροντές (φαινόμενο συχνό στη χώρα μας)»,

και να συνεχίζει προειδοποιώντας:

> «Το άτομο που θα κρατήσει το σπάγκο θα πρέπει να σταθεί μέσα από μια πόρτα ή ένα παράθυρο ή κάτω από κάποιο υπόστεγο, έτσι ώστε η μεταξωτή κορδέλα να μην υγρανθεί. Θα πρέπει, επίσης, να δοθεί μεγάλη προσοχή, ώστε το νήμα να μην αγγίξει το πλαίσιο της πόρτας ή του παραθύρου» (Franklin 1752[354]).

Στη συνέχεια, μεταφερόμαστε από την ιστορική επιστημονική σκηνή στο *Επιστημονικό Μουσείο της Βοστώνης*, για να παρακολουθήσουμε αναπαράσταση του πειράματος του χαρταετού (βλ.*διαφάνεια 15*). Καλούμε τους συμμετέχοντες να παρατηρήσουν τις αντιστοιχίες ανάμεσα στη διάταξη του Φραγκλίνου και σε αυτή του Μουσείου της Βοστώνης και να δουν ότι στην αναπαράσταση του πειράματος μια ηλεκτρική μηχανή παίζει το ρόλο του σύννεφου, ο υγρός σπάγκος έχει αντικατασταθεί με σύρμα, ενώ μια φιάλη έχει τοποθετηθεί στη θέση του κλειδιού. Παράλληλα, τους προκαλούμε να προσέξουν ότι η ουρά του χαρταετού δεν κατευθύνεται προς τα κάτω, αλλά προς το πλάι, σαν να έλκεται από την ηλεκτρική μηχανή (Boston Museum of Science 2006[355]).

Χρησιμοποιώντας τη μηχανή van der Graaf και τα μακριά φρεσκολουσμένα μαλλιά ενός θηλυκού μέλους του ακροατηρίου, προσπαθούμε να μιμηθούμε μερικά το πείραμα του βίντεο. Δείχνουμε την έλξη των μαλλιών από τον φορτισμένο αγωγό της μηχανής μας και την παραγωγή σπινθήρα ανάμεσα σ' αυτόν και στα μαλλιά της κοπέλας.

9.3.2. Ο θάνατος του καθηγητή Richmann

Συνεχίζοντας την αφήγηση, αναφέρουμε ότι οι προειδοποιήσεις αυτές δεν στάθηκαν ικανές να αποτρέψουν το θάνατο του καθηγητή Georg Richmann, στην Αγία Πετρούπολή, έναν μόλις χρόνο

μετά τη δημοσίευση των οδηγιών του Φραγκλίνου. Ο συνεργάτης του καθηγητή Richmann, M.Sokolaw, περιγράφει ότι:

> «το σώμα του καθηγητή βρέθηκε περιτριγυρισμένο από τα εργαλεία του πειράματος, μοιάζοντας με πυροβολητή πεθαμένο ανάμεσα στα συντρίμμια του όπλου του» (Penssylvania Gazette 1754[356]),

σημειώνοντας ότι ο εξοπλισμός του πειράματος αποτελούνταν:

> από «σύρμα» προσαρμοσμένο στην οροφή του σπιτιού του, που οδηγούνταν κάτω σε μια «σιδερένια βέργα», η οποία κρεμόταν πάνω από την «ηλεκτρική βελόνα» (electrical needle), και από ένα «μπολ για νερό εν μέρει γεμάτο με ρινίσματα σιδήρου» (Penssylvania Gazette 1754[356]) (βλ. *διαφάνειες 16-19*).

Διαβάζοντας την αναφορά του Sokolaw (βλ.*Παράρτημα VIII, ενότητα 1, βιβλίο μαθητή* σελ.9), ζητάμε από τους ακροατές να φερθούν ως μικροί Σέρλοκ Χόλμς και να συγκρατήσουν με προσοχή τις τεχνικές λεπτομέρειες που οδήγησαν στο μοιραίο συμβάν. Τους ενημερώνουμε ότι, προς το τέλος της παρουσίασης, θα είναι σε θέση να αποκρυπτογραφήσουν τα λόγια του αυτόπτη μάρτυρα και να αναγνωρίσουν τα επιστημονικά όργανα τα οποία η πειραματική διάταξη του καθηγητή Richmann περιελάμβανε (βλ. *ενότητα 9.7.4*).

9.3.3. Τι είναι τελικά η αστραπή;

Επανερχόμενοι στην ιστορική επιστημονική σκηνή, παρακολουθούμε τον Φραγκλίνο να λέει ότι το πείραμα του χαρταετού απέδειξε κάτι για το οποίο από καιρό υπήρχαν υποψίες, ότι δηλαδή, *η ουσία της αστραπής* (the matter of lightning) είναι ίδια με εκείνη του *ηλεκτρισμού* (the electric matter):

> «Τα πειράματα που έγιναν πάνω στον ηλεκτρισμό δημιούργησαν, αρχικά, την υπόνοια στους φυσικούς φιλόσοφους, ότι η ουσία της αστραπής ήταν η ίδια με εκείνη του ηλεκτρισμού. Τα πειράματα που ακολούθησαν, πάνω στην έλκυση της αστραπής από τα σύννεφα με τη βοήθεια αιχμηρών ράβδων, την αποθήκευσή της σε φιάλες και την υποβολή της σε κάθε είδους δοκιμασίες, επιβεβαίωσαν, στη συνέχεια, την υπόθεση αυτή. Οι ιδιότητες που ανακαλύπτουμε στον ηλεκτρισμό είναι, επίσης, ιδιότητες της αστραπής» (Franklin 1767[357]).

Και ως *«ηλεκτρισμό»* εννοεί το πειραματικό αποτέλεσμα που παράγουν οι ηλεκτρικές μηχανές (βλ.*διαφάνειες 20-23*).

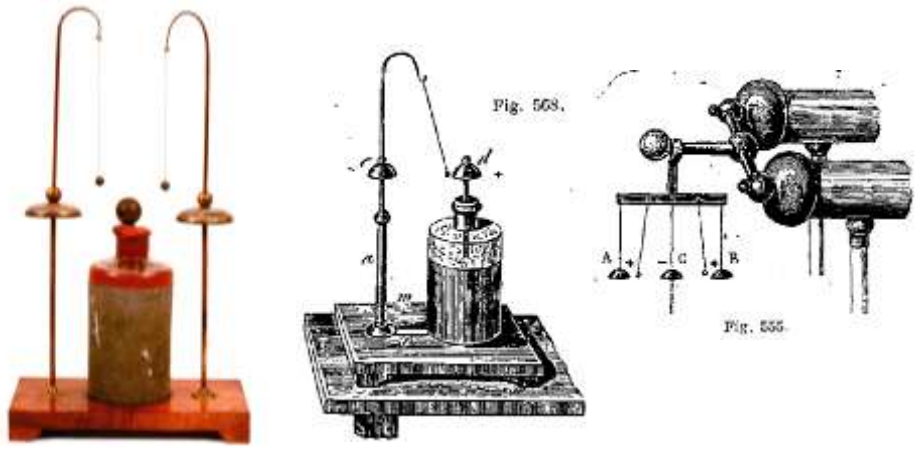
9.3.4. Οι καμπάνες ειδοποιούν, αν έρχεται καταιγίδα…

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω λόγια, προκειμένου ο Φραγκλίνος να αποδείξει την αλήθεια της υπόθεσης που κάνει, πάνω στη φύση της αστραπής, χρειάστηκε να την υποβάλει σε διαφορετικά τεστ. Για το σκοπό αυτό, είχε εγκαταστήσει ένα εργαστήριο στο υπόγειο του σπιτιού του, όπου με τη βοήθεια ενός συστήματος, παρόμοιου με αυτό του καθηγητή Richmann, διοχετευόταν το «*ηλεκτρικό ρευστό*» (electric / electrical fluid) προς εξέταση. Όμως, το γεγονός ότι ο Φραγκλίνος ήταν πολύπλευρη προσωπικότητα και ιδιαίτερα πολυάσχολος ίσως να αποτέλεσε το λόγο, για να επινοήσει μια συσκευή που να τον ειδοποιεί πότε ακριβώς έπρεπε να κατέβει στο εργαστήριό του για την πραγματοποίηση των πειραματικών αυτών ελέγχων:

> «Τον Σεπτέμβριο του 1752, ύψωσα μια σιδερένια ράβδο, για να οδηγήσω την αστραπή μέσα στο σπίτι

μου, με στόχο να πραγματοποιήσω κάποια πειράματα πάνω σ' αυτή. Χρησιμοποίησα δύο καμπάνες, για να διακρίνω αν η ράβδος ήταν ηλεκτρισμένη. Μια επινόηση που η χρησιμότητά της είναι προφανής για καθέναν που ασχολείται με τον ηλεκτρισμό…» (Franklin 1753[269]) (βλ. *διαφάνειες 26-29*)

Με τη βοήθεια εικονικού πειράματος εξηγούμε τον τρόπο με τον οποίο οι καμπανούλες του Φραγκλίνου λειτουργούσαν (βλ.*διαφάνειες 30-31*). Αμέσως μετά, χρησιμοποιούμε το όργανο που έχει το όνομα *ηλεκτρικές καμπάνες* (βλ. *διαφάνειες 32,33,36*) και αποδεικνύουμε ότι λειτουργεί, όταν φορτίζεται από την ηλεκτρική μηχανή, όπως οι καμπάνες του Φραγκλίνου, όταν φορτίζονταν από το σύννεφο (βλ. *διαφάνειες 34-35*). Με το πείραμα αυτό προσπαθούμε να φωτίσουμε τη διαπίστωση του Φραγκλίνου, ότι «*η ουσία της αστραπής*» είναι ίδια με εκείνη του ηλεκτρισμού (βλ. *ενότητα 9.3.3*).



Εικόνα 9.4: Οι ηλεκτρικές καμπάνες (α) Μουσείο Φυσικής Χίου, (β) (Ganot 1868 σελ.657,646[358])

9.3.5 Περί της αστραπής και της μεθόδου προστασίας κτιρίων από την επίδρασή της…

Ο Φραγκλίνος εξηγεί ότι η έρευνά του πάνω στον ηλεκτρισμό έχει καταλήξει στο εξής θεωρητικό συμπέρασμα:

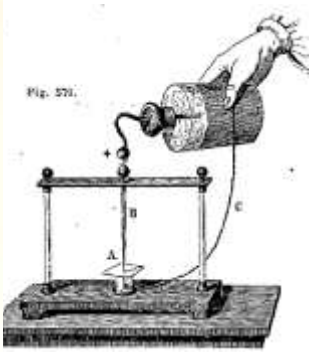
«Αυτή η ουσία της αστραπής, ή του ηλεκτρισμού, είναι ένα εξαιρετικά λεπτοφυές ρευστό (extream subtile fluid), που διαπερνά άλλα σώματα και διατηρείται μέσα τους, διαχεόμενο ομοιόμορφα. Αν κατά τη διάρκεια διαδικασίας που εκτελούμε εμείς ή η φύση συμβεί να υπάρξει μεγαλύτερη ποσότητα αυτού του ρευστού σε ένα σώμα σε σύγκριση με ένα άλλο, τότε το σώμα που έχει το περισσότερο θα διαβιβάσει μέρος σε αυτό που έχει λιγότερο, μέχρι οι ποσότητες να εξισωθούν, με την προϋπόθεση η απόσταση μεταξύ των σωμάτων να μην είναι πολύ μεγάλη, ή, εάν είναι πολύ μεγάλη, να υπάρξουν κατάλληλοι αγωγοί για τη μεταφορά από το ένα σώμα στο άλλο» (Franklin 1767[357]) (βλ.*διαφάνεια 24).*

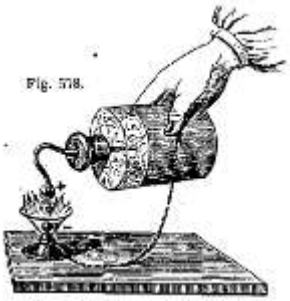
Το συμπέρασμα αυτό έχει, ταυτόχρονα, μια πολύ πρακτική όψη, γιατί συνδέεται με την επινόηση της *μεθόδου προστασίας των κτιρίων* από τους κεραυνούς (βλ.*διαφάνειες 24-25 & 38-40*):

«Αν η διαβίβαση γίνει διαμέσου του αέρα, χωρίς αγωγό, ένα λαμπερό φως εμφανίζεται ανάμεσα στα σώματα και ακούγεται ένας ήχος. Στα δικά μας, μικρής κλίμακας, πειράματα αποκαλούμε αυτή τη λάμψη και τον ήχο, αντίστοιχα, ηλεκτρικό σπινθήρα και κρότο, όμως, στις μεγάλου μεγέθους διαδικασίες της φύσης, η λάμψη είναι αυτό που ονομάζουμε αστραπή, ενώ ο ήχος (παράγεται ταυτόχρονα, παρόλο που έρχεται στ' αυτιά μας αργότερα απ' ότι το φως στα μάτια μας) καλείται, μαζί με την ηχώ του, βροντή. Αν η διαβίβαση του ρευστού γίνει με τη βοήθεια αγωγού, δε θα υπάρξει λάμψη, ούτε ήχος, κατά τη διέλευση του λεπτοφυούς ρευστού από την ύλη του αγωγού. Αν ο αγωγός είναι καλός και επαρκούς μεγέθους, το ρευστό θα τον διαπεράσει, χωρίς να του προξενήσει βλάβες. Διαφορετικά, ο

αγωγός θα φθαρεί ή θα καταστραφεί τελείως…» (Franklin 1767[357]) (βλ. *διαφάνειες 24-25*).

Επιστρέφοντας στον εργαστηριακό μας πάγκο, διαπιστώνουμε ότι φορτίζοντας με τη βοήθεια ηλεκτρικής μηχανής τη συσκευή που φαίνεται στην *εικόνα 9.5*, παράγεται σπινθήρας που μπορεί να αναφλέξει ένα βαμβάκι με οινόπνευμα, όταν η μεταλλική βέργα διακόπτεται, ενώ δεν παρατηρείται καμία παραγωγή σπινθήρα, όταν τα δύο μεταλλικά στελέχη της βέργας είναι ενωμένα. Εξηγούμε ότι, εκτός από την προσομοίωση της λειτουργίας του αλεξικέραυνου, η πειραματική αυτή διάταξη ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη σε μια εποχή που δεν είχαν εφευρεθεί τα σπίρτα, γιατί με τη βοήθειά της μπορούσαν να παραχθούν εύκολα φλόγες για οικιακή χρήση (βλ. *διαφάνειες 41-42 &45-49*).





Εικόνα 9.5: Μελετώντας τα μηχανικά και θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρισμού (α)Μουσείο Φυσικής της Χίου, (β) (Ganot 1868 σελ. 665, 666[358])

Προσομοιώσεις της επίδρασης του αλεξικέραυνου στα κτίρια, που γίνονται με μακέτες από σπιτάκια γεμάτα εύφλεκτο υλικό, που διαλύονται, όταν διοχετεύεται σε αυτά ηλεκτρικός σπινθήρας και δεν έχουν την κατάλληλη προστασία, ενώ δεν παθαίνουν τίποτα, όταν φέρουν την προστασία αλεξικέραυνου, αποτελούν, τον 18^{ο} και 19^{ο} αιώνα, δημοφιλή πειράματα πάνω στη νέα ανακάλυψη (*βλ.διαφάνειες 43-44*). Τέτοια εκθέματα υπάρχουν σήμερα στις προθήκες πολλών ιστορικών επιστημονικών μουσείων, ενώ, στο *Deutsches Museum*, διεξάγεται και σήμερα αντίστοιχο *πείραμα για το κοινό*.

Καλούμε τους συμμετέχοντες να φανταστούν το σπιτάκι γύρω από τη συσκευή απομίμησης του αλεξικέραυνου που χρησιμοποιούμε για την εκτέλεση του πειράματος. Τους παροτρύνουμε να κατασκευάσουν ανάλογο μοντέλο, αξιοποιώντας τις πληροφορίες και τις πηγές τις οποίες τους δίνουμε, και να μας βοηθήσουν, έτσι, να εμπλουτίσουμε τις συσκευές του Μουσείου και το πειραματικό μας «ρεπερτόριο».

9.3.6. Αλεξικέραυνα και μόδα…

Συνεχίζοντας την αφήγηση, αναφέρουμε ότι την εποχή του Φραγκλίνου, η έρευνα πάνω στα αλεξικέραυνα γίνεται πραγματικά της μόδας. Δοκιμές αλεξικέραυνων και πειράματα προσομοίωσης της επίδρασης της αστραπής σε αυτά διαδίδονται παντού. Ενώ οι επιστήμονες διαφωνούν για το πιο σχήμα αλεξικέραυνων μπορεί να είναι αποτελεσματικότερο (Hankins 1993 σελ.92[359]) (βλ. *διαφάνειες* 56-59), στο Παρίσι, οι «σχεδιαστές μόδας» προτείνουν αλεξικέραυνα-καπέλα και αλεξικέραυνα-ομπρέλες (Figuier 1867 σελ.568-575[6]) (βλ. *διαφάνειες 60-61*).

9.3.7. Με τα λόγια του Ρήγα Φεραίου…

Οι έρευνες πάνω στα αλεξικέραυνα δεν άφησαν αδιάφορους και τους εκπροσώπους του ελληνικού διαφωτισμού. Ο Ρήγας Φεραίος, το 1790, διαχέει στον ελληνικό κόσμο τις νεώτερες θεωρίες πάνω στον ηλεκτρισμό, αφιερώνοντας αντίστοιχο κεφάλαιο στο βιβλίο του *Φυσικῆς Ἀπάνθισμα* (Ρήγας Βελεστινλής 1790 σελ.92-96[106]):

> «Τὸν Παλαιὸν καιρὸν προτοῦ νὰ εὑρεθῇ ἀκόμη ἡ ἠλεκτρική ἐπιστήμη, δὲν εἶχον καμμίαν σωστήν ἰδέαν τῆς ὑπάρξεως τῆς ἀστραπῆς καὶ βροντῆς, ἀλλ᾽ ἐνόμιζον νὰ προέρχεται ἀπὸ τὸ ἄναμμα τῶν νιτρωδῶν καὶ θειωδῶν μορίων εἰς τὸν ἀέρα, τὰ ὁποῖα ὑψώνοντο εἰς αὐτόν ἀπό τὴν γῆν.
>
> Ὡς τόσον ἡμεῖς δὲν εὑρίσκομεν εἰς τὸν ἀέρα καθόλου θειώδη ἢ νιτρώδη μόρια. Καὶ ἄλλο, πῶς ἠμποροῦν ὑψωθοῦν παρόμοια χοντρὰ καὶ βαρέα σώματα εἰς τὸν ἀέρα, ἢ νὰ διαλυθοῦν ἀπ᾽αὐτὸν;
>
> Ὅθεν ἐγινεν γνωστόν τὴν σήμερον ὅτι, ἡ ἀστραπὴ ἔχει μίαν καὶ τὴν αὐτὴν ἀρχὴν, καὶ ἐντελή παρομοίωσιν μὲ τὸ ἠλεκτρικὸν πῦρ…» (Ρήγας Βελενστινλής 1790 σελ.92[106]),

όπως και πάνω στην κατασκευή των αλεξικεραύνων:

> «Οἱ νεώτεροι φυσικοὶ, διὰ ν᾽ ἀποφύγουν τὸν ὄλεθρον ὁπού ἠμπορεῖ νὰ προξενήσει ἡ ἀστραπὴ, ἐφευρῆκαν μίαν μηχανὴν, ἥτις εἶναι κατασκευασμένη οὕτως. Εἰς τὰ δύο ὑπέρτατα ἄκρα τῆς σκέπης τοῦ ὀσπητίου, ἐμπήγουν δύο σουβλερὰ σίδερα, ἀπὸ δύο ὀργυαῖς ὕψος τὸ καθ᾽ ἓν, χοντρὰ ἕκαστον ἴσια μὲ τὸ μεγάλο δάκτυλο τοῦ ἀνθρώπου καὶ πρὸς τὴ βάση χοντρότερα. Τὰς ὁποίας ἀμφοτέρας βάσεις ἑνώνουν ἔπειτα μὲ ἕτερον σίδερον τοῦ ἰδίου χόνδρους, ὅπερ εἶναι τόσο μακρὺ, ὁποῦ ἡ ἄκρη του φθάνει εἰς κανένα πηγάδι, ἢ ποτάμι, ἢ λάκκον σκαμμένον ἐπιταυτοῦ. Ὅθεν τὸ ἀστροπελέκι ἕλκεται καθώς τὸ σίδερον ἀπὸ τὸν μαγνήτη ἀπὸ τὰ σουβλερὰ σίδερα (μὲ τὸ νὰ εἶναι πρότερον ἠλεκτρισμένα) καὶ κυνηγῶντας ὅλο τὸ σίδερον, καταντεῖ εἰς τὸ πηγάδι, ἢ ποτάμι ἢ λάκκον, καὶ μένει τὸ σπῆτι ἄβλαβον» (Ρήγας Βελεστινλής 1790 σελ.96[106]) (βλ.*διαφάνειες 50-54*).

9.3.8. Εντοπίζοντας βασικές έννοιες…

Στο σημείο αυτό ζητάμε από τους συμμετέχοντες να συμπληρώσουν τις *ερωτήσεις 1* έως *4* του *βιβλίου του μαθητή* (βλ. *Παράρτημα VIII, Συζήτηση 2η*), μέσα από τις οποίες καλούνται να συνειδητοποιήσουν ότι η διάταξη που κατασκευάζει ο Φραγκλίνος για το πείραμα του χαρταετού υποδεικνύει ότι, στην εποχή του, ήταν γνωστό ότι *το υγρό νήμα μπορεί να άγει τον ηλεκτρισμό*. Καλούνται, επίσης, να διακρίνουν στο πρώτο από τα αποσπάσματα της *ενότητας 9.3.5*, που αναφέρεται στη φύση του ηλεκτρισμού (Franklin 1767[357]), ότι ο Φραγκλίνος αντιλαμβάνεται τον ηλεκτρισμό ως *ποσότητα* που μπορεί να μεταφέρεται από το ένα σώμα στο άλλο και διέπεται από νόμους διατήρησης.

9.4. 2η υποενότητα: Από το ήλεκτρο στα «ηλεκτρικά»

9.4.1. Αρχαίες απόψεις…

Στο σημείο αυτό γυρίζουμε το ρολόι της ιστορίας πολύ πίσω, για να συναντήσουμε, τον 6ο αιώνα π.Χ, τον Θαλή τον Μιλήσιο να αποδίδει ψυχή στο ήλεκτρο ή κεχριμπάρι – για το οποίο ήταν γνωστό ότι όταν τριβόταν, μπορούσε να έλκει ελαφρά αντικείμενα, όπως σκόνες και άχυρα – με το σκεπτικό ότι μόνο ό,τι έχει ψυχή μπορεί να κινεί κάτι άλλο:

«Απ' όσα λένε, φαίνεται ότι και ο Θαλής υπέθεσε ότι η ψυχή είναι κάτι το κινητικό, αν είπε πράγματι ότι η (μαγνήτις) λίθος έχει ψυχή επειδή μπορεί και κινεί το σίδηρο» (Αριστοτέλης, Περί ψυχής Α2, 405a19 στον Kirk et.al 1998 σελ.106[306]).

«Ο Αριστοτέλης και ο Ιππίας λένε ότι (ο Θαλής) απέδιδε ψυχή ακόμα και στα άψυχα αντικείμενα, παίρνοντας ως ενδείξεις τη μαγνήτιδα λίθο και το ήλεκτρο» (Διογένης Λαέρτιος Ι,24 στον Kirk et.al 1998 σελ.106[306]) (βλ.*διαφάνειες 62-68*).

9.4.2. Τα «ηλεκτρικά»

Συνεχίζοντας την αφήγηση, αναφέρουμε ότι, πολλούς αιώνες αργότερα, την εποχή του Σαίξπηρ, ένας άλλος Ουίλιαμ, ο William Gilbert (Gilbert *De Magnete* στον Roller & Roller 1957/1966 σελ. 548-549[268]), παρουσιάζει μπροστά στη βασίλισσα Ελισάβετ μια σειρά από πειράματα, με τα οποία αποδεικνύει ότι:

«Δεν είναι μόνο το κεχριμπάρι και ο εβονίτης που έλκουν μικρά σώματα, όταν τρίβονται. Το ίδιο συμβαίνει και με το διαμάντι, το ζαφείρι, το ρουμπίνι… το οπάλιο, τον αμέθυστο…, το βήρυλλο, … τα τεχνητά πετράδια από γυαλί ή από ορεία κρύσταλλο, …, διάφορα είδη ορυκτού φθορίτη και βελεμνίτη..»

Εξηγεί, ακόμη, ότι και άλλα υλικά, μεταξύ των οποίων η μαστίχα και το βουλοκέρι, μπορούν να έλκουν. Τα φαινόμενα της έλξης αυτής είναι εντονότερα, όταν:

«το καταχείμωνο, η ατμόσφαιρα είναι καθαρή και έχει παγωνιά….»

Ο Gilbert ονομάζει όλα αυτά τα υλικά *ηλεκτρικά* (electrics), γενικεύοντας την ιδιότητα που μέχρι τότε αποδιδόταν κυρίως στο *ήλεκτρο* (βλ. *διαφάνειες 69-74).*

Ενθαρρύνουμε το ακροατήριο να δοκιμάσει την ιδιότητα διαφόρων υλικών να έλκουν, όταν τρίβονται, τόσο στον εργαστηριακό μας πάγκο, όσο και επιστρέφοντας στο σπίτι ή τη σχολική τάξη μετά την επίσκεψη στο Μουσείο. Τους καλούμε να συμπεριλάβουν ανάμεσα σ' αυτά τη μαστίχα Χίου (βλ. *διαφάνειες 75-77*).

Επίσης, μέσα από την αντιδιαστολή του «παράξενου» αποσπάσματος του Θαλή με τον περισσότερο οικείο τρόπο σκέψης που αναδεικνύει το απόσπασμα του Gilbert, επιδιώκουμε να επισημάνουμε ότι τα συμπεράσματα που έβγαζαν οι άνθρωποι, αποκωδικοποιώντας τη φύση, ήταν, άλλοτε, πολύ διαφορετικά.

9.4.3. Το πρώτο ηλεκτροσκόπιο

Ο Gilbert επινοεί ένα όργανο για την ανίχνευση των ηλεκτρικών έλξεων, το οποίο ονομάζει versorium και αποτελεί το πρώτο στην ιστορία ηλεκτροσκόπιο:

«μπορείτε να κατασκευάσετε μια περιστρεφόμενη βελόνα (versorium), από οποιοδήποτε μέταλλο τριών ή τεσσάρων δακτύλων μακρύ, η οποία να στηρίζεται ελαφρά σε ένα σημείο στήριξης, με τον τρόπο που στηρίζεται η μαγνητική βελόνα [πυξίδα (compass)]. Φέρτε κοντά στη μια άκρη ένα κομμάτι κεχριμπάρι ή ένα λείο, επεξεργασμένο πολύτιμο λίθο, τα οποία έχουν προηγουμένως καλά τριφτεί. Αμέσως η βελόνα θα περιστραφεί. Πολλά αντικείμενα φαίνεται να έλκονται – όχι μόνο φυσικά αντικείμενα, αλλά επίσης τεχνητά, που έχουν προκύψει από τήξη ή ανάμιξη. Ούτε είναι αυτό τόσο πολύ μια μοναδική ιδιότητα που την κατέχουν ένα ή δύο υλικά (όπως είχε κατά γενικό κανόνα υποτεθεί), αλλά αποτελεί την έκδηλη φύση (the manifest nature) πάρα πολλών ουσιών, και απλών και σύνθετων, όπως το βουλοκέρι και ορισμένα

ακόμη μίγματα ελαιώδους υφής» (Gilbert *De Magnete* στο Roller & Roller 1957/1966 σελ. 549-550[268]) (βλ.*διαφάνειες 78-80*).

Με τη βοήθεια μιας ράβδου εβονίτη που κρέμεται, κατασκευάζουμε κι εμείς μια εκδοχή περιστρεφόμενης βελόνας, για να ανιχνεύσουμε, με τη συμμετοχή του ακροατηρίου, ηλεκτρικές έλξεις που προκαλούν διάφορα υλικά (*βλ διαφάνειες 75,81*).

9.4.4. Συνοψίζοντας

Αναφέρουμε ότι, ενώ ο Gilbert μελέτησε με τόση λεπτομέρεια τις ηλεκτρικές έλξεις, δεν κατάφερε να «ανακαλύψει» την ηλεκτρική άπωση, παρόλο που σίγουρα είχε παρατηρήσει τα αποτελέσματά της. Ωστόσο, θεωρώντας την αποτέλεσμα της εξασθένισης της ηλεκτρικής δύναμης, κατέληγε στο συμπέρασμα ότι ο ηλεκτρισμός είναι κάτι σαν κόλλα της ύλης (Roller & Roller 1957/1966 σελ.553[268]) (*βλ διαφάνειες 82-83*).

Συνοψίζουμε το περιεχόμενο της υποενότητας με τη βοήθεια των *ερωτήσεων 5-8* (βλ. *Παράρτημα VIII, βιβλίο μαθητή, Συζήτηση 2η*).

9.5. 3η υποενότητα: Οι πρώτες ηλεκτρικές μηχανές

Η παρέμβαση του Gilbert άνοιξε το δρόμο της κατασκευής μηχανών που μπορούσαν να δημιουργούν ηλέκτριση με τριβή. Ωστόσο, η εξέλιξη αυτή δεν ήταν άμεση.

9.5.1. Προσομοιάζοντας την έλξη της γης

Κατά τη δεκαετία του 1660, ο Otto von Guericke κατασκευάζει μια σφαίρα από θειάφι, η οποία μπορούσε να έλκει ελαφριά αντικείμενα, όταν τριβόταν με τα χέρια. Οι ιστορικοί της επιστήμης δεν θεωρούν τη σφαίρα αυτή ως την πρώτη ηλεκτρική μηχανή, γιατί ο δημιουργός της δεν απέβλεπε σε κάτι τέτοιο. Αντίθετα, ο von Guericke επεδίωκε την κατασκευή ενός μοντέλου που ήταν σε θέση να αιτιολογεί την έλξη των αντικειμένων προς τη γη. Ο von Guericke χρησιμοποιούσε την ηλεκτρική έλξη, για να εξηγήσει την έλξη της γης, ενώ ενέπλεκε και προεπιστημονικούς όρους στην εξήγηση των υπολοίπων φαινομένων που παρατηρούσε με τη βοήθεια της σφαίρας του. Έτσι, χρησιμοποιούσε, για παράδειγμα, την ιδέα της *αποστροφής*[ccviii], για να εξηγήσει το φαινόμενο της ηλεκτρικής άπωσης, που είχε, εν τω μεταξύ, παρατηρηθεί (Heilbron 1979 σελ.213-219[360]) (βλ. *διαφάνειες 87-91*).

[ccviii] Ο John Heibron υποστηρίζει ότι όσοι αποδίδουν στον von Guericke την ανακάλυψη της ηλεκτρικής άπωσης ή του ηλεκτρικού φωτός, βασιζόμενοι στον τρόπο που ο ίδιος περιγράφει τη σφαίρα του από θειάφι, τον αδικούν γιατί ο κόσμος του ήταν πολύ πιο πλούσιος σε δυνάμεις από τον δικό μας. Σύμφωνα με τον von Guericke, η σφαίρα από θειάφι συχνά απωθεί κάτι που προηγουμένως είλκυε, εξαιτίας σύγκρουσης της φύσης τους, ή απλά από ιδιοτροπία (on caprice). Τα σώματα που απωθούνται από την σφαίρα παραμένουν μη αποδεκτά, μέχρι να διορθώσουν τη στάση τους, ερχόμενα σε επαφή με ένα τρίτο σώμα (Heilbron 1979 σελ.213-219[360]).

9.5.2. Η πρώτη ηλεκτρική λάμπα

Την ίδια εποχή, η υπόθεση ότι οι ηλεκτρικές ιδιότητες οφείλονται σε κάποιου είδους εκπόρευση των σωμάτων, που μοιάζει με στατικό αέρα, οδηγεί τους ερευνητές του 17ου αιώνα να πειραματιστούν πάνω στη δυνατότητα διάδοσης του ηλεκτρισμού στο κενό (Roller & Roller 1957/1966 σελ.556[268]) (βλ.*διαφάνειες 92-95*).

Μια από τις πιο πρωτότυπες επινοήσεις της εποχής — που απαντά ταυτόχρονα σε περισσότερα από ένα ερωτήματα, ενώ ταυτόχρονα δημιουργεί άλλα, που πρόκειται να απαντηθούν πολύ αργότερα — είναι αυτή που επινοεί ο Hauksbee, το 1706, στη Βασιλική Ακαδημία του Λονδίνου. Κατασκεύασε μια σφαίρα από γυαλί, η οποία είχε τη δυνατότητα να αδειάζει από αέρα με τη βοήθεια της αντλίας, και την προσάρμοσε σε οριζόντιο άξονα, ο οποίος μπορούσε να περιστρέφεται με τη βοήθεια μανιβέλας προσαρμοσμένης σε τροχό. Ακουμπώντας καλά με την παλάμη την εκκενωμένη από αέρα σφαίρα, παρατήρησε ότι παραγόταν λάμψη στο εσωτερικό της. Έτσι, κατάφερε να κατασκευάσει την πρώτη στην ιστορία λάμπα! Για να δώσουμε έμφαση στην πρωτοτυπία της μηχανής, αναφέρουμε ότι σύμφωνα με τους αυτόπτες μάρτυρες, αν κάποιος γύριζε τον τροχό και ένας δεύτερος ακουμπούσε καλά με τις παλάμες τη γυάλινη σφαίρα, καθώς αυτή περιστρεφόταν, το φως που παραγόταν ήταν αρκετό, ώστε κάποιος τρίτος να καταφέρει να διαβάσει κεφαλαία γράμματα (Science Museum 2011[361], Roller & Roller 1957/1966 σελ.565-566[268]) (βλ. *διαφάνειες 96-99*).

Μεταφερόμενοι στον εργαστηριακό μας πάγκο, εξηγούμε πως η μελέτη των φωτεινών λάμψεων που προκαλούνταν ως αποτελέσματα ηλεκτρικής φόρτισης αποτέλεσε το θέμα μιας μεγάλης επιστημονικής περιπέτειας, που απασχόλησε ιδιαίτερα τους επιστήμονες του 19ου αιώνα. Στο πλαίσιο αυτής κατασκευάστηκαν πολλές συσκευές, πρόγονοι των οποίων είναι οι σπινθηροβόλοι σωλήνες (sparkling tubes), ή «*ηλεκτρικά φίδια*» (electric snakes), του 18ου αιώνα, που φεγγοβολούσαν, όταν φορτίζονταν από τις ηλεκτροστατικές γεννήτριες (βλ.*διαφάνειες 100-101*). Επιδεικνύοντας τη λειτουργία του σπινθηροβόλου σωλήνα, όταν αυτός προσαρμόζεται στη μηχανή του Carré (βλ. *διαφάνεια 102*) και ενός από τους σωλήνες Geissler του εργαστηρίου, που φεγγοβολά, όταν συνδέεται με το πηνίο Ruhmkorff (βλ. *διαφάνεια 103*), δίνουμε ψήγματα της αναζήτησης αυτής, που αποτελεί το κέντρο μιας άλλης σειράς πειραματικών διαλέξεων που φέρουν τον τίτλο: *«Ύλη και Φως»* (Πάπαρου 2003 σελ.150-172[34], Πάπαρου κ.ά. 2004α[18], Paparou 2010a[30]).

Κλείνοντας την ενότητα, αναφέρουμε ότι η περίπλοκη επινόηση του Hauksbee οδήγησε στην εφεύρεση της πρώτης τριβοηλεκτρικής μηχανής (trivoelectric generator), που μέσα σε λίγες δεκαετίες έμελε να γίνει πολύ δημοφιλής (βλ.*ενότητα 9.7.1*).

9.5.3. Συνοψίζοντας

Συνοψίζουμε το περιεχόμενο της υποενότητας με τη βοήθεια των *ερωτήσεων 9-10* (βλ.*Παράρτημα VIII, βιβλίο μαθητή, Συζήτηση 2η*).

9.6. 4η υποενότητα: Από την «κόλλα της ύλης» στο «ηλεκτρικό ρευστό»

9.6.1. Ο ηλεκτρισμός ρέει παντού…

Από την εποχή του Gilbert μέχρι την εποχή του 1750, ο ηλεκτρισμός έχει αλλάξει όψη. Η κόλλα της ύλης, του Gilbert, υποκαθίσταται από τη στατική εκπόρευση (effluvium), που αντιλαμβάνεται ο Hauksbee, για να αρχίσει κι αυτή με τη σειρά της να υποκαθίσταται από την εικόνα ενός λεπτοφυούς ρευστού (subtle fluid) που διαπερνά τα υλικά. Μέσα από τα χαρακτηριστικά σχέδια των *διαφανειών 104* έως *109* του εκπαιδευτικού λογισμικού, αναφερόμαστε στα πειράματα του Stephen Gray, ο οποίος, το 1729, ανακαλύπτει ότι η ιδιότητα της ηλεκτρικής έλξης (electric virtue) μπορεί να μεταφερθεί από το ένα υλικό στο άλλο, όταν αυτά έρχονται σε επαφή. Η διαπίστωση ότι οι ηλεκτρικές ιδιότητες δεν μεταφέρονται με την ίδια ευκολία από όλα τα υλικά δίνει τροφή σε μια σειρά από πειράματα που διαχωρίζουν τα υλικά σε *αγωγούς* και *μονωτές*. Όπως δείχνουν τα ιστορικά σχέδια, ανάμεσα στους αγωγούς που χρησιμοποιήθηκαν στα πρώτα αυτά πειράματα ήταν το νήμα από λινάρι και το ανθρώπινο σώμα, ενώ ως μονωτές χρησιμοποιούνταν νήμα από μετάξι και ξύλινα αντικείμενα (Roller & Roller 1957/1966 σελ.571-579[268]). Πειραματιζόμενος ο Gray πάνω στην *ηλέκτριση με επαφή*, ανακαλύπτει, επίσης, ότι οι ηλεκτρικές ιδιότητες μπορούν να μεταφέρονται από το ένα υλικό στο άλλο, χωρίς τα σώματα να έρθουν σε επαφή, αλλά ευρισκόμενα σε μικρή απόσταση μεταξύ τους (Gray 1929 στον Roller & Roller 1957/1966 σελ.580[268]). Το φαινόμενο αυτό ονομάστηκε *ηλέκτριση με επαγωγή*.

Στο σημείο αυτό επαναφέρουμε στη συζήτηση τα σχέδια των μηχανών του εισαγωγικού παιχνιδιού και ζητάμε από τους συμμετέχοντες να παρατηρήσουν ότι η λειτουργία των τριών πρώτων από τις μηχανές της *εικόνας 9.3* δεν αξιοποιεί την ιδιότητα του ηλεκτρισμού να άγεται και να επάγεται. Αντίθετα, ο σχεδιασμός της μηχανής του Ramsden, που εικονίζεται στο τέταρτο σχέδιο και στις *διαφάνειες 160-166*, αξιοποιεί τις ιδιότητες, τόσο της *αγωγής*, όσο και της *επαγωγής* του ηλεκτρικού φορτίου.

9.6.2. Τα δύο είδη ηλεκτρισμού…

Το 1934, ελάχιστα χρόνια μετά τη δημοσίευση των ερευνών του Gray, ο Charles François de Cisternay du Fay επαναλαμβάνει με λεπτομέρεια πειράματα πάνω στον ηλεκτρισμό που είχαν πραγματοποιήσει ο Gilbert, ο von Guericke, ο Hauksbee και ο Gray. Μεταξύ άλλων, παρατηρεί ότι ένας γυάλινος σωλήνας που έχει ηλεκτριστεί με τριβή μπορεί να έλξει ένα ελαφρύ αντικείμενο, όπως για παράδειγμα ένα φύλλο χρυσού. Παρατηρεί, ακόμα, ότι αν το φύλλο χρυσού ακουμπήσει το σωλήνα, τότε απωθείται από αυτόν και μπορεί να αιωρείται θεαματικά από πάνω του. Αν, στη συνέχεια, πλησιάσει σε αυτόν το σωλήνα ένα κομμάτι σκληρό ρετσίνι ηλεκτρισμένο με τριβή, τότε, αυτό μπορεί να ελκύσει το φύλλο χρυσού. Το πειραματικό αυτό δεδομένο τον οδηγεί στο να υποθέσει ότι υπάρχουν δύο είδη ηλέκτρισης, η υαλώδης (vitreous) και η ρητινώδης (resinous). Η υπόθεση αυτή, ότι υπάρχουν δύο είδη ή, αλλιώς, δύο ποιότητες ηλεκτρισμού (vitreous and resinous electricity),

μπορούσε να ερμηνεύει πολλά ηλεκτρικά φαινόμενα (Roller & Roller 1957/1966 σελ.589-590[268]). Παράλληλα, στάθηκε εφαλτήριο για την επινόηση νέων ηλεκτρικών οργάνων και μηχανών (βλ. *διαφάνειες 110-115*).

Στο σημείο αυτό οι συμμετέχοντες καλούνται να θυμηθούν τις μηχανές του εισαγωγικού παιχνιδιού εξερεύνησης και να φανταστούν ποιανής μηχανής ο σχεδιασμός φαίνεται να εμπνέεται από την υπόθεση του Dufay για τα δύο είδη ηλεκτρισμού. Στο θέμα αυτό επανερχόμαστε διεξοδικά προς το τέλος της πειραματικής διάλεξης (βλ. *ενότητα 9.8*).

9.6.3. Συνοψίζοντας

Συνοψίζουμε το περιεχόμενο της υποενότητας με τη βοήθεια των *ερωτήσεων 12-13* (βλ.*Παράρτημα VIII, βιβλίο μαθητή, Συζήτηση 2η*).

9.7. 5η υποενότητα: Επιστροφή στις μέρες του 1750…

9.7.1. Μια μηχανή για όλους…

Τη δεκαετία του 1740, ο Christian August Hausen, παρέδιδε, στην Ακαδημία της Λειψίας, πειραματικές διαλέξεις για το κοινό, βασισμένες πάνω στα πειράματα των Gray και Dufay. Καθώς δεν έβρισκε τα αποτελέσματα της τριβής της φορτισμένης γυάλινης ράβδου, που χρησιμοποιούσαν εκείνοι, ιδιαίτερα θεαματικά, σκέφτηκε να κατασκευάσει μια τριβοηλεκτρική μηχανή, εμπνεόμενος από την περιστρεφόμενη σφαίρα του Hauksbee (βλ. *ενότητα 9.5.2*). Σε ένα από τα διάσημα πειράματά του, ο Hausen τοποθετούσε σε μια οριζόντια κούνια, που κρεμόταν από το ταβάνι με νήματα από μετάξι, ένα παιδί, το οποίο άγγιζε με τα πόδια του τη σφαίρα της τριβοηλεκτρικής μηχανής. Το μονωμένο σώμα του παιδιού συγκρατούσε το ηλεκτρικό φορτίο, μέχρι το δάχτυλο του εισηγητή της διάλεξης να το πλησιάσει, οπότε, τότε, αποφορτιζόταν μέσα από την παραγωγή θεαματικών σπινθήρων (βλ.*διαφάνεια 117*).

Την ίδια εποχή, ο Georg Matthias Bose, στο Πανεπιστήμιο της Λειψίας, κατασκεύασε την πιο ισχυρή τριβοηλεκτρική μηχανή που υπήρχε μέχρι τότε, αξιοποιώντας για το σκοπό αυτό την τριαντάλιτρη σφαιρική φιάλη της αποστακτικής του στήλης. Η μηχανή του πρωταγωνιστούσε σε ένα πείραμα-θέαμα που έμελε να γίνει πολύ διάσημο. Σε αυτό μια πολύ ελκυστική γυναίκα εμφανιζόταν μπροστά στο κοινό, τοποθετημένη πάνω σε μονωμένη βάση, και ο εισηγητής προκαλούσε το ακροατήριο να τη φιλήσει. Η γυναίκα είχε προηγουμένως καλά ηλεκτριστεί με τη βοήθεια της ηλεκτρικής μηχανής, η οποία παρέμενε κρυμμένη στα παρασκήνια και αθέατη από το κοινό. Όποιος είχε την τόλμη να ανταποκριθεί στην πρόταση, δοκίμαζε την έκπληξη του ηλεκτρικού σπινθήρα που έβγαινε από τη μύτη και το στόμα της κοπέλας, όταν πλησίαζε το πρόσωπό του σ' αυτή (Roller & Roller 1957/1966 σελ.591-593[268]) (βλ.*διαφάνειες 128-130*).

Πριν ολοκληρώσουμε την περιγραφή του ιστορικού συμβάντος, καλούμε το κοινό να συμμετέχει σε μια σύγχρονη αναπαράσταση του πειράματος του ηλεκτρικού αγγίγματος ή φιλιού, με τη βοήθεια

της μηχανής van der Graaf του Μουσείου. Καλούμε ένα από τα μέλη του ακροατηρίου που φορά χοντρά πλαστικά παπούτσια να κρατήσει καλά τη μηχανή van der Graaf, και, όταν αισθανθούμε ότι ο/η εθελοντής μας έχει φορτιστεί αρκετά, καλούμε ένα δεύτερο μέλος του ακροατηρίου να τον/την αγγίξει, απολαμβάνοντας το αποτέλεσμα!...

Συνεχίζοντας, μεταφερόμαστε στο Παρίσι της δεκαετίας του 1740, για να παρακολουθήσουμε τον Jean Antoine Nollet να προτείνει να χρησιμοποιηθεί «τροχός μαχαιροποιού ή νηματουργού ή ακόμη και μια παλιά ρόδα κάρου», για την κίνηση της γυάλινης σφαίρας της ηλεκτρικής μηχανής (Nollet *Essai sur l'électricité des coprs* 1747 στον Figuier 1867 σελ.451[6]). Με έναν τέτοιο μηχανισμό, η ηλεκτρική μηχανή μπορούσε, πια, να κατασκευαστεί από πολλούς πολίτες, όχι μόνο της υψηλής κοινωνίας, αλλά και της μεσαίας τάξης (βλ.*διαφάνειες 118-120*). Και πράγματι, αναφέρουμε, στα χρόνια που ακολούθησαν, η ηλεκτρική μηχανή δέχτηκε βελτιώσεις, όχι μόνο από επώνυμους επιστήμονες και εισηγητές πειραματικών διαλέξεων, αλλά και από πολλούς πλανόδιους εισηγητές επιστημονικών θεαμάτων, που έβγαζαν το ψωμί τους από τον ηλεκτρισμό, κατασκευάζοντας πολλές φορές οι ίδιοι τον πειραματικό τους εξοπλισμό (Bensaude-Vincent & Blondel 2008[13], Hochadel 2008[250]).

Ενθαρρύνοντας το κοινό να σκεφτεί εύκολους τρόπους για την παραγωγή αντιγράφου της ιστορικής τριβοηλεκτρικής μηχανής, μεταφερόμαστε λίγες δεκαετίες αργότερα, για να παρακολουθήσουμε τον Ρήγα Φεραίο να περιγράφει μια εκδοχή της, στις σελίδες του βιβλίου του *Φυσικῆς Ἀπάνθισμα*:

> «Ἡ ἠλεκτρική μηχανὴ εἶναι κατασκευασμένη ἀπὸ μίαν γυαλένιαν σφαίραν κούφιαν, μίαν πιθαμὴν περίπου διάμετρον ἔχουσαν, & μισό δάχτυλο χόνδρος, τὴν ὁποίαν ἀγκαλιάζουν δύο πινακάκια ξύλινα εἰς τοὺς δύο πόλους της, ἔτζι κατασκευασμένα, ὁποῦ ἠμπορεί νὰ τὴν γυρίζῃ τινᾶς καθὼς τὸ Τζικρίκι γυρίζει το Ἀδράχτι μὲ τὸ Σιρτζάνι. Εἰς τὸν ἰσημερινὸν τῆς σφαίρας ταύτης ὑποκάτω (ἤγουν εἰς τὸ φούσκωμα τῆς κοιλίας της) εἶναι ἕνα πινάκι μετάλλινον ὁποῦ ἐμπεριέχει τρίχας οὐρᾶς ἀλόγου, θειάφι, ῥετζίνι, & ἄλλας ἠλεκτρώδεις ὕλας, σκεπασμένον & καρφωμένον γύρω τριγύρω ἀπὸ πετζὶ προβάτου. Μία Τζίτα κουντᾷ ὑποκάτω πρὸς τὴν σφαίραν τὸ πινάκι, εἰς τρόπον ὁποῦ γυρίζωντας ἐκείνη, αἰσθάνεται κάποιαν θλίψιν ἀπὸ τὸ πινάκι, & ἀποκτᾷ εἰς ὀλίγον διάστημα καιροῦ μίαν μεγάλην ἠλεκτρικὴν δύναμιν (ἐξ αἰτίας τῆς τρίψεως) τὴν ὁποίαν ἠμπορεί νὰ διακρίνῃ τινὰς ἀπὸ τὴν κίνησιν τῶν ταχέως ἐλκομένων ἐλαφρῶν σωμάτων εἰς δύο ἢ τριῶν ποδῶν διάστημα. Πρὸς τούτοις αἰσθάνεται κανεὶς πλησιάζωντας & τὸ χέρι ἢ τὸ πρόσωπόν του, τὴν ἐπαφὴν τῆς ἠλεκτρικῆς ὕλης, ἥτις ἐχκχύνεται ἐπάνω ἀπὸ τὸ γυαλὶ, & κάμνει τὸ ἀποτέλεσμα τοῦ ξεφτυσμένου πανιοῦ, ὅταν ἤθελεν ἐγγίξῃ ἐλαφρότατα ἐπάνω εἰς τὸ δέρμα τῶν μελῶν ἐκείνων. Αἱ ἐκπορεύσεις αὗται τῆς ὕλης, ἀκολουθοῦν νὰ διασκορπίζωνται ἐν' ὅσῳ εἶναι εἰς τρίψιν ἡ σφαίρα, & ὅταν παύσῃ ἡ τρίψις, αὐταὶ ἀκολουθοῦν μερικὸν καιρὸν ἀκόμη ἐλαττούμεναι βαθμηδόν, ἕως ὁποῦ τέλος πάντων ἐκλείπουν» (Ρήγας Βελεστινλής 1790 σελ.172-173[106]) (βλ.*διαφάνειες 121-123*).

Εξηγούμε ότι στη μηχανή που περιγράφει ο Ρήγας Φεραίος, το ανθρώπινο χέρι έχει υποκατασταθεί από μηχανικό τριβέα, που συνίσταται σε ένα μαξιλαράκι από δέρμα προβάτου στο οποίο έχουν ενσωματωθεί ουσίες που ηλεκτρίζονται εύκολα με τριβή (βλ.*διαφάνειες 121,124*). Σύμφωνα με τους Roller & Roller, η υποκατάσταση των ανθρώπινων χεριών από μηχανικό τριβέα προτάθηκε για πρώτη φορά το 1744 στην Λειψία, από τον καθηγητή Λατινικών και Ελληνικών Winkler, που πειραματιζόταν ερασιτεχνικά πάνω στον ηλεκτρισμό (Roller & Roller 1957/1966 σελ.593[268]).

Στο σημείο αυτό, ενθαρρύνουμε την ανάπτυξη διαθεματικών δράσεων, για τη μελέτη των κειμένων του Ρήγα Φεραίου από άποψη φυσικής, γλώσσας, τεχνολογίας, ιστορίας και ιστορίας της επιστήμης, εκμεταλλευόμενοι το γεγονός ότι καθηγητές θεωρητικών ειδικοτήτων αποτελούν συχνά, μαζί με τους καθηγητές θετικών και τεχνικών ειδικοτήτων, μέλη του ακροατηρίου μας.

9.7.2. Ο ηλεκτρισμός σ' ένα μπουκάλι…

Εξηγούμε ότι, μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1740, οι επιστήμονες έχουν καταφέρει να διαπιστώσουν την ηλεκτρική έλξη και άπωση, να παράγουν ηλέκτριση με αγωγή και επαγωγή, να άγουν τον ηλεκτρισμό σε μεγάλες αποστάσεις. Ωστόσο, δεν έχει βρεθεί, ακόμη, κάποιος τρόπος να αποθηκεύεται ο ηλεκτρισμός. Παρατηρώντας ότι ένα ηλεκτρισμένο σώμα έχανε την ηλέκτριση που είχε αποκτήσει, όταν αφηνόταν στον αέρα, η κοινή εξήγηση που δινόταν ήταν ότι το ηλεκτρικό ρευστό υφίστατο «εξάτμιση» ("evaporation" of the electrical fluid). Αυτό οδήγησε κάποιους στη σκέψη ότι η τάση αυτή μπορούσε να μειωθεί, αν το ηλεκτρικό ρευστό διαλυόταν στο νερό. Τη σκέψη αυτή έκανα, παράλληλα, ο Ewald Georg von Kleist, το 1745, στη Γερμανία, και ο Pieter van Musschenbroek, το 1746, στην Ολλανδία. Ο τελευταίος, που ήταν σημαντικός καθηγητής της πειραματικής επιστήμης στο Πανεπιστήμιο του Leiden, περιγράφει σε γράμμα του στην Γαλλική Ακαδημία των Επιστημών:

> «Θα ήθελα να σας πω για ένα νέο αλλά τρομερό πείραμα, που σας συμβουλεύω ποτέ να μην το επιχειρήσετε εσείς ο ίδιος, και που κι εγώ, που το δοκίμασα και επέζησα με τη βοήθεια του Θεού, δεν θα το ξανάκανα, ακόμα και για ολόκληρο το βασίλειο της Γαλλίας... Έκανα κάποιες έρευνες πάνω στη δύναμη του ηλεκτρισμού. Για το σκοπό αυτό είχα κρεμάσει, από δύο νήματα από μπλε μετάξι, μια σιδερένια ράβδο, η οποία δεχόταν, με επαφή, τον ηλεκτρισμό της γυάλινης σφαίρας που γυρνούσε γρήγορα γύρω από τον άξονά της, ενώ ηλεκτριζόταν, με τριβή, από τα χέρια κάποιου. Από το άλλο άκρο της ράβδου κρεμόταν ελεύθερα μπρούντζινο σύρμα, η άκρη του οποίου περνούσε μέσα σε μια γυάλινη φιάλη μισογεμάτη με νερό. Αυτή τη φιάλη την κρατούσα με το δεξί μου χέρι, ενώ με το αριστερό μου επιχειρούσα να τραβήξω σπινθήρες από τη σιδερένια ράβδο.
>
> Ξαφνικά το δεξί μου χέρι χτυπήθηκε τόσο δυνατά, ώστε όλο μου το σώμα άρχισε να τρέμει, σαν να είχα χτυπηθεί από κεραυνό… Ο ώμος και όλο μου το σώμα προσβλήθηκε με τρόπο που δεν μπορώ να περιγράψω: με μια λέξη νόμισα ότι με ξέκανε… Το πρόσωπο που επιχειρεί το πείραμα αυτό πρέπει να στέκεται στο πάτωμα, αλλά είναι σημαντικό ότι ο ίδιος άνθρωπος, που κρατάει τη φιάλη στο ένα χέρι, να προσπαθεί να τραβήξει σπινθήρα με το άλλο. Η επίδραση είναι μικρής έντασης, αν αυτές οι ενέργειες πραγματοποιηθούν από δύο διαφορετικά πρόσωπα. Αν η φιάλη τοποθετηθεί πάνω σε ένα μεταλλικό στήριγμα πάνω σε ένα ξύλινο τραπέζι, τότε εκείνος που κρατά αυτό το μέταλλο, ακόμη και με την άκρη των δακτύλων του, και τραβά τον σπινθήρα με το άλλο του χέρι, δέχεται ένα πολύ ισχυρό ηλεκτρικό σοκ» (Musschenbroek 1746 στον Roller & Roller 1957/1966 σελ.594[268]) (βλ. *διαφάνειες 132-137*).

Η συσκευή που οι Kleist και Musschenbroek επινόησαν πήρε το όνομα φιάλη Leyden, και αποτέλεσε τον πρώτο στην ιστορία πυκνωτή. Γρήγορα, το νερό αντικαταστάθηκε από ρινίσματα μετάλλων, ενώ η συσκευή βελτιώθηκε με την επικάλυψη του γυαλιού εσωτερικά και εξωτερικά με αγώγιμο υλικό (βλ.*διαφάνειες 138-141*). Για την αύξηση της ποσότητας του ηλεκτρισμού που μπορούσε να αποθηκευτεί, χρησιμοποιούνταν φιάλες ενωμένες μεταξύ τους. Με τη βοήθειά τους μελετούνταν η επίδραση του ηλεκτρισμού σε ζώα και ανθρώπους. Η εκκένωση συστοιχιών από φιάλες Leyden είχε

ως αποτέλεσμα τη θυσία πολλών μικρών ζώων στο βωμό της επιστήμης, και τη χρησιμοποίηση ανθρώπων ως πειραματόζωων σε νέα θεαματικά πειράματα (βλ.*διαφάνειες 145-150*).

Στον εργαστηριακό μας πάγκο, καλούμε τα μέλη του ακροατηρίου να επεξεργαστούν τις ιστορικές φιάλες Leyden του Μουσείου. Οι παλιότερες από αυτές φέρουν στο εσωτερικό τους φύλλα χρυσού και πώμα από φελλό και βουλοκέρι, κάποιες νεώτερες είναι από σίδερο και γυαλί, και άλλες, ακόμα νεώτερες, από πλαστικό και σιδερένια επένδυση εσωτερικά και εξωτερικά. Οι επισκέπτες καλούνται να δοκιμάσουν τη λειτουργία των πρώτων αυτών στην ιστορία πυκνωτών (βλ. *διαφάνειες 142-144*) και ενθαρρύνονται να κατασκευάσουν τις δικές τους φιάλες Leyden, αναζητώντας διάφορους τρόπους, γι' αυτό, στο διαδίκτυο. Ο πειραματισμός των επισκεπτών πάνω σε φιάλες Leyden που έχουν, προηγούμενα, κατασκευαστεί από μαθητές του σχολείου και επισκέπτες του Μουσείου στο πλαίσιο του προγράμματος, δίνουν πιο συγκεκριμένες ιδέες για το τελευταίο.

Ως δραστηριότητα στο πλαίσιο του μαθήματος της φυσικής, προτείνουμε, με αφορμή την εξήγηση της λειτουργίας της φιάλης Leyden, να αντιπαρατεθεί το εννοιολογικό πλαίσιο του 18^{ου} αιώνα, με εκείνο που προβάλλει το σημερινό σχολικό εγχειρίδιο. Μια τέτοια συζήτηση θα μπορούσε να φωτίσει τις αλλαγές που ιστορικά συνέβησαν στο σχεδιασμό των πυκνωτών.

Το περιεχόμενο της υποενότητας συνοψίζεται στις *ερωτήσεις 16 &18* (βλ. *Παράρτημα VIII, βιβλίο μαθητή, Συζήτηση 2^{η}*).

9.7.3. Πόσο γρήγορα ρέει ο ηλεκτρισμός;

Η φιάλη Leyden τέθηκε άμεσα σε δράση, χαρίζοντας στην ιστορία της επιστήμης ένα από τα πιο δημοφιλή πειράματα για το κοινό και στη φυσική ένα πρωτότυπο πειραματικό αποτέλεσμα. Εξηγούμε ότι το ζήτημα που απασχολούσε τους επιστήμονες του 18^{ου} αιώνα, και θα απασχολήσει κι εμάς είναι, *πόσο γρήγορα τρέχει ο ηλεκτρισμός.* Καλώντας το κοινό να δημιουργήσει μια ανθρώπινη αλυσίδα από δέκα τουλάχιστον συμμετέχοντες, εκκενώνουμε τη φιάλη Leyden αφού πρώτα την έχουμε φορτίσει καλά, καλώντας το πρώτο μέλος της ανθρώπινης αλυσίδας να την αγγίξει. Χρησιμοποιώντας περισσότερες φιάλες σε σειρά, επιχειρούμε, στη συνέχεια, να ηλεκτρίσουμε ανθρώπινη αλυσίδα αποτελούμενη από όλα τα μέλη του ακροατηρίου. Απευθύνουμε το ερώτημα: Τελικά, *πόσο γρήγορα είδατε να τρέχει ο ηλεκτρισμός;*

Επιστρέφοντας στην ιστορική επιστημονική σκηνή, εξηγούμε ότι η φιάλη Leyden τέθηκε μετά την εφεύρεσή της άμεσα σε δράση. Λέγεται ότι ο Jean-Antoine Nollet, κατάφερε να ηλεκτρίσει με τη βοήθειά της 180 στρατιώτες της βασιλικής φρουράς μπροστά στο βασιλιά της Γαλλίας και περισσότερους από 200 Καρθουσιανούς μοναχούς στο μοναστήρι τους στο Παρίσι. Το πείραμα έγινε τόσο διάσημο, ώστε διαδόθηκε μέχρι την Ιαπωνία. Παρόλα τα άτομα που προσθέτονταν στην αλυσίδα, οι επιστήμονες του 18^{ου} αιώνα, δεν κατάφεραν να παρατηρήσουν οποιαδήποτε καθυστέρηση στη διάδοση του ηλεκτρισμού. Όλα τα μέλη της αλυσίδας αναπηδούσαν και φώναζαν ταυτόχρονα, δίνοντας την εντύπωση ότι ο ηλεκτρισμός διαδίδεται ακαριαία. Όταν στην αλυσίδα προσθέτονταν ακόμα περισσότερα μέλη, τότε απλώς το ηλεκτρικό σοκ αδυνατούσε πολύ (Académie Royale des

Sciences 1746 - Physique Générale σελ.7-8[362], Heilbron 1979 σελ.318-320[360]) (βλ.*διαφάνειες 151-158*).

Το περιεχόμενο της υποενότητας συνοψίζεται στην ερώτηση 17 (βλ. *βιβλίο μαθητή, Συζήτηση 2η*).

9.7.4. Η λύση του μυστηρίου…

Στο σημείο αυτό ζητάμε από τους συμμετέχοντες να αξιοποιήσουν τις πληροφορίες που έχουν δεχθεί με στόχο να αποκρυπτογραφήσουν τον εξοπλισμό του μοιραίου πειράματος του καθηγητή Richmann. Συνήθως, οι μαθητές είναι σε θέση να συσχετίσουν την ηλεκτρική βελόνα με το πρώτο ηλεκτροσκόπιο και το μπολ με νερό γεμάτο με ρινίσματα σιδήρου με τη φιάλη Leyden. Θεωρούμε ότι θα είχε μεγάλο ενδιαφέρον η δράση να επεκταθεί, μετά την επιστροφή στην τάξη, αποκτώντας, παράλληλα, πειραματικό μέρος με το οποίο θα μπορούσε να διασαφηνιστεί περισσότερο η χρήση των περιγραφόμενων οργάνων.

9.7.5. Από τον ηλεκτρισμό ως ποιότητα στον ηλεκτρισμό ως ποσότητα

Εξηγούμε, με συντομία, στους μεγαλύτερους σε ηλικία μαθητές, ότι, ο Φραγκλίνος, παρατηρώντας τα φαινόμενα, της ηλεκτρικής έλξης και άπωσης και της αγωγής και επαγωγής, μπόρεσε να τα εξηγήσει βασιζόμενος στη θεώρηση του ηλεκτρισμού, όχι ως ποιότητα, όπως ο Dufay, αλλά ως ποσότητα. Κατά τη γνώμη του, ο *υαλώδης* ηλεκτρισμός του Dufay συνέπιπτε με την *περίσσεια* ηλεκτρικής ποσότητας (*plus*/ positive electricity) και ο *ρητινώδης* με την *έλλειψή* της (*minus* /negative electricity) (Roller & Roller 1957/1966 σελ.601-603[268]). Οι συμμετέχοντες καλούνται να συνειδητοποιήσουν, με βάση τις αναφορές που έχουν από τα σχολικά τους εγχειρίδια, ότι η άποψη του Φραγκλίνου, η οποία διαφαίνεται στο κείμενό του (Franklin 1767[357]), που νωρίτερα συζητήσαμε (βλ. *ενότητες 9.3.3 & 9.3.6*), τελικά, επικράτησε στη γλώσσα της φυσικής.

Εξηγούμε, επίσης, ότι η έννοια του ηλεκτρισμού ως ποσότητα γίνεται περισσότερο συγκεκριμένη μέσα από τα πειράματα μέτρησης του Charles Augustin Coulomb (Roller & Roller 1957/1966 σελ.614-622[268]), τα οποία διεξάγονται σε τελείως άλλο κλίμα, αντιπροσωπεύοντας μια διαφορετική πειραματική κουλτούρα, που θέλει τον ερευνητή μακριά από το κοινό, να αφιερώνεται στην παραγωγή συσκευών και πειραμάτων υψηλής ακρίβειας. Καθώς ο Coulomb υποψιάζεται ότι οι ηλεκτρικές έλξεις και απώσεις διέπονται από έναν μαθηματικό νόμο, τα πειράματά του διαφέρουν από πολλές από τις πειραματικές έρευνες που περιγράφτηκαν νωρίτερα, επειδή δεν έχουν εξερευνητικό, αλλά επιβεβαιωτικό χαρακτήρα (Heering 1992[216], Heering 2000[208], Heering 2003[219]) (βλ.*διαφάνειες 207-213*).

Χρησιμοποιούμε *τις ερωτήσεις 14 και 15* για τη συνοπτική καταγραφή των παραπάνω σχολίων, τα οποία, ωστόσο συχνά παραλείπονται, όταν οι επισκέπτες είναι μαθητές των χαμηλότερων σχολικών τάξεων.

9.8. 6η υποενότητα: Η εξέλιξη των ηλεκτροστατικών γεννητριών

Με τη βοήθεια της ιστορίας που προηγήθηκε, καλούμε τώρα το κοινό να αναγνωρίσει την καταγωγή των ηλεκτροστατικών γεννητριών του Μουσείου Φυσικής και τις επιστημονικές αρχές στις οποίες βασίζονται. Ξεκινώντας από τη μηχανή Ramsden τους ζητάμε να παρατηρήσουν ότι η γυάλινη σφαίρα έχει υποκατασταθεί από γυάλινο δίσκο και τα ανθρώπινα χέρια από δερμάτινα μαξιλαράκια. Τους ζητάμε, ακόμη, να αναγνωρίσουν, με βάση τους μπρούντζινους αγωγούς που φέρει η συσκευή, το γεγονός ότι αξιοποιεί την ιδιότητα του ηλεκτρισμού να άγεται. Επίσης τους καλούμε να δουν ότι οι μυτερές ακίδες στη μια πλευρά των μπρούντζινων αγωγών σε μικρή απόσταση από το γυαλί φανερώνει ότι στο σχεδιασμό της μηχανής αξιοποιείται η ιδιότητα του ηλεκτρισμού να επάγεται (βλ.*διαφάνειες 160-166*).

Συγκρίνοντας τη μηχανή του Ramsden με τη μηχανή του Carré, οι συμμετέχοντες καλούνται να παρατηρήσουν ότι η δεύτερη έχει τη δυνατότητα να παράγει σπινθήρα, κάτι που δεν επιτυγχάνεται με την πρώτη. Με τη βοήθεια κατάλληλων ερωτήσεων οδηγούμε το ακροατήριο να αναγνωρίσει ότι αυτό γίνεται εφικτό, γιατί ο σχεδιασμός της μηχανής βασίζεται στην αξιοποίηση της υπόθεσης του Dufay για τα δύο είδη ηλεκτρισμού. Η ηλέκτριση με τριβή των δύο δίσκων, του ενός από γυαλί και του δεύτερου από ρητίνη και η διοχέτευση με τη βοήθεια αγωγής και επαγωγής του ηλεκτρικού φορτίου καθενός από αυτούς σε κατάλληλα σχεδιασμένους αγωγούς δίνει τη δυνατότητα της παραγωγής ηλεκτρικού σπινθήρα δεκαπέντε εκατοστών, ικανού να κάνει τους σπινθηροβόλους σωλήνες να φωτοβολήσουν, όταν προσαρμοστούν στη μηχανή κατάλληλα (βλ.*διαφάνειες 167-174*).

Παρουσιάζοντας, στη συνέχεια, τη μηχανή Wimshurst, καλούμε τους συμμετέχοντες να παρατηρήσουν ότι η μηχανή παράγει, επίσης, σπινθήρα, χωρίς οι δύο δίσκοι της να είναι διαφορετικοί μεταξύ τους. Παράλληλα, τους ζητάμε να δουν αν μπορούν κι εδώ να διακρίνουν μαξιλαράκια – κάτι που θα σήμαινε ότι η μηχανή βασίζεται στην ηλέκτριση με τριβή. Δικαιολογούμε την αμηχανία του ακροατηρίου με την παρατήρηση ότι η λειτουργία της μηχανής είναι πράγματι περίπλοκη και βασίζεται στη θεώρηση του ηλεκτρισμού ως ποσότητα και όχι ως ποιότητα. Καλούμε τους συμμετέχοντες να αναζητήσουν περισσότερα στοιχεία για τη λειτουργία αυτής της μηχανής μετά την ολοκλήρωση της επίσκεψης στο Μουσείο (βλ.*διαφάνειες 175-177 &179-183*).

Τέλος, ζητάμε από τα μέλη του ακροατηρίου να δουν ότι η μηχανή van der Graaf βασίζεται στην ηλέκτριση με τριβή, ενώ τα θεαματικά της αποτελέσματα στα μαλλιά των συμμετεχόντων είναι αποτέλεσμα του μεγέθους του μεταλλικού αγωγού στον οποίο μεταφέρεται το ηλεκτρικό φορτίο (βλ.*διαφάνειες 184-189*).

Η παρούσα συζήτηση γίνεται πιο ενδιαφέρουσα, όταν οι συμμετέχοντες είναι άτομα τεχνικών ειδικοτήτων και έχουν αυξημένο ενδιαφέρον για τη λειτουργία των μηχανών. Ο σχεδιασμός της πειραματικής διάλεξης προβλέπει, όταν ο αριθμός των ατόμων είναι μικρός και ο χρόνος το επιτρέπει, οι συμμετέχοντες να επανεξετάζουν τις μηχανές του Μουσείου μετά το πέρας της παρουσίασης, για να τους δίνεται η ευκαιρία να παρατηρούν κατασκευαστικές λεπτομέρειες από κοντά και να

συνειδητοποιούν καλύτερα, πώς οι ιδέες πάνω στον ηλεκτρισμό έχουν ενσωματωθεί στο σχεδιασμό τους. Ωστόσο, στη διάρκεια της δικιάς μας εφαρμογής αυτό έγινε εφικτό σε λίγες μόνο περιπτώσεις, γιατί ως επί το πλείστον, το κοινό αποτελούνταν από σχολικές ομάδες που ανήκαν στο Δημοτικό ή τις πρώτες τάξεις του Γυμνασίου. Στις περιπτώσεις αυτές, η συζήτηση που προηγήθηκε παρουσιαζόταν πολύ συνοπτικά και μεγάλα τμήματά της παραλείπονταν.

Το περιεχόμενο της υποενότητας συνοψίζεται στην *ερώτηση 11* του *βιβλίου του μαθητή* (βλ. *Παράρτημα VIII, βιβλίο μαθητή, Συζήτηση 2*η).

9.9. 7η υποενότητα: Η παράδοση των «πειραμάτων για το κοινό»

Σύμφωνα με τα όσα παραπάνω εκτέθηκαν, γίνεται φανερό ότι σε αντίθεση με πειράματα υψηλής τεχνολογίας που αποτελούν τον 17ο αιώνα την αναζήτηση πάνω στο κενό, η πειραματική τεχνολογία του ηλεκτρισμού, τον 18ο αιώνα, αποτελεί σ' ένα βαθμό τμήμα της λαϊκής επιστημονικής κουλτούρας. Τα επιστημονικά θεάματα για το κοινό με κέντρο τον ηλεκτρισμό συνεχίζουν να αποτελούν μέρος της κοινωνικής ζωής και του 19ου αιώνα (Δαπόντες κ.ά. 1997β σελ.87[262], Whipple Museum 2010[363]) (βλ. *διαφάνειες 192-195*). Τη θεαματικότητα των πειραμάτων πάνω στον ηλεκτρισμό χρησιμοποιούν και σήμερα ορισμένα ιστορικά επιστημονικά μουσεία, όπου το κοινό διασκεδάζει με απομιμήσεις ιστορικών επιστημονικών διαλέξεων (βλ. *διαφάνειες 190-191*), ενώ σε μοντέρνα επιστημονικά κέντρα, ηλεκτροκίνητες ηλεκτροστατικές γεννήτριες αναδημιουργούν την έκπληξη που ιστορικά προκαλούσαν τα πειράματα πάνω στον ηλεκτρισμό, προκαλώντας θεαματικά αποτελέσματα πάνω στο ανθρώπινο σώμα (βλ. *διαφάνεια 206*).

Παρουσιάζοντας τα πειράματα του ηλεκτρικού ανέμου, σχολιάζουμε ότι και εμείς επιδιώξαμε, παράλληλα με τη μετάδοση πληροφορικών, να τέρψουμε το ακροατήριο, χρησιμοποιώντας για το σκοπό αυτό ιστορικές «συνταγές» (βλ. *διαφάνειες 196-205*). Ταυτόχρονα, ενθαρρύνουμε τους συμμετέχοντες – μαθητές και καθηγητές – να αξιοποιήσουν στοιχεία της παρούσας πειραματικής διάλεξης, για να οργανώσουν τα δικά τους *ηλεκτρικά θεάματα* είτε ανακατασκευάζοντας ιστορικές συσκευές είτε αξιοποιώντας τις συσκευές του σχολικού τους εργαστηρίου. Προτείνουμε, η δραστηριότητα αυτή να αποτελέσει θέμα ειδικά σχεδιασμένου προγράμματος που θα έχει ως στόχο να συνδέσει θέματα φυσικής με θέματα ιστορίας και τεχνικές επικοινωνίας της επιστήμης.

Εικόνα 9.6: Σημερινές ηλεκτρικές διασκεδάσεις: (α) Boston Museum of Science 2005, (β) Πειραματική διάλεξη (Thomas 2005[364])

9.10. 8η υποενότητα: Η πρώτη μπαταρία

Οι συμμετέχοντες καλούνται να συνειδητοποιήσουν ότι στα περισσότερα από τα ιστορικά πειράματα που εξετάστηκαν, το ανθρώπινο σώμα έχει εξέχουσα θέση. Εξηγούμε, ότι μέχρι το 1800 πιστεύεται ότι το σώμα των οργανισμών έχει κάποια ειδική σχέση με τον ηλεκτρισμό, παρόλο που σταδιακά οι θεωρήσεις αυτές ανατρέπονται. Προς το τέλος του 18ου αιώνα, ο Luigi Galvani, καθηγητής ανατομίας στο Πανεπιστήμιο της Μπολόνια, θεωρεί ότι έχει ανακαλύψει άλλη μια όψη του ζωικού ηλεκτρισμού, καθώς διαπιστώνει ότι τα πόδια ενός νεκρού βατράχου τινάζονται όταν τα αγγίζει με το νυστέρι του. Για την περιγραφή του συγκεκριμένου επιστημονικού συμβάντος χρησιμοποιούμε το βίντεο με τίτλο: *Τα μαμούθ μαζεύουν λεμόνια* (Macaulay 1997[365]) (βλ.*διαφάνεια 216*).

Εξηγούμε, ότι μελετώντας τα πειράματα του Galvani, ένας άλλος Ιταλός, ο Allessandro Volta, που έχει εντρυφήσει στα πειράματα του ηλεκτρισμού έχει αντίθετη άποψη, υποστηρίζοντας ότι τα φαινόμενα που παρατηρεί ο Galvani οφείλονται στην επαφή δύο διαφορετικών μετάλλων διαμέσου ενός διαλύματος που επιτρέπει την αγωγή του ηλεκτρισμού. Για να αποδείξει το συμπέρασμα του, κατασκευάζει μια στήλη που αποτελείται από ζευγάρια δίσκων από διαφορετικά μέταλλα που διαχωρίζονται μεταξύ τους από ύφασμα ποτισμένο με αγώγιμο υγρό. Στις 20 Μαρτίου 1800, εξηγεί σε επιστολή προς τον Joseph Banks, πρόεδρο της Βασιλικής Ακαδημίας του Λονδίνου ότι η επίδραση της νέας αυτής συσκευής στο ανθρώπινο σώμα είναι παρόμοια με την αίσθηση που δημιουργεί η φιάλη Leyden, αλλά πιο αδύναμη. Ταυτόχρονα, όμως, έχει το προνόμιο να μην εκφορτίζεται (Volta & Banks 1800[366]):

«…Η συσκευή, για την οποία σας μιλάω, είναι αναμφίβολο ότι θα σας καταπλήξει. Είναι ένα σύστημα αγωγών που έχουν τοποθετηθεί κατά έναν ειδικό τρόπο. Είκοσι, σαράντα, εξήντα κομμάτια χαλκού (ή καλύτερα αργύρου), καθένα από τα οποία προσαρμόζεται σε ένα κομμάτι κασσιτέρου (ή καλύτερα ψευδαργύρου) και ανάμεσά τους στρώματα χαρτιού ή δέρματος, εμποτισμένα με αγώγιμο υγρό… Η νέα συσκευή μου μιμείται το αποτέλεσμα της φιάλης Leyden**…» (**Volta & Banks 1800 σελ.290 στον Δαπόντες κ.ά. 1997β σελ.204[262]).

Περιγράφοντας τον τρόπο που η ηλεκτρική του στήλη έχει κατασκευαστεί, αναφέρει:

«Σε ένα τραπέζι ή άλλη οριζόντια βάση τοποθετώ έναν απ' τους μεταλλικούς δίσκους, για παράδειγμα το δίσκο από ασήμι, και πάνω του προσαρμόζω το δίσκο από ψευδάργυρο. Πάνω στον δεύτερο τοποθετώ έναν υφασμάτινο δίσκο ποτισμένο με υγρό και αμέσως μετά ένα άλλο δίσκο από άργυρο, κι ύστερα έναν ακόμα δίσκο από ψευδάργυρο, τον οποίο διαδέχεται ένα ακόμα υφασμάτινο στρώμα ποτισμένο με υγρό. Με αυτόν τον τρόπο συνεχίζω να προσθέτω, διαδοχικά, έναν δίσκο από ασήμι και μετά έναν από ψευδάργυρο, πάντα με την ίδια σειρά, δηλαδή τον ασημένιο από κάτω και το δίσκο από ψευδάργυρο από πάνω, ή *αντίθετα*, σύμφωνα πάντα με τον τρόπο με τον οποίο έχω αρχίσει, και παρεμβάλλω ανάμεσα σε καθένα από αυτά τα ζευγάρια έναν υφασμάτινο δίσκο ποτισμένο με υγρό. Συνεχίζω, έτσι, να σχηματίζω από πολλά τέτοια στρώματα μια στήλη τόσο ψηλή, όσο να μπορεί να στηρίζεται χωρίς να πέφτει.
Όμως, όταν η στήλη αποκτήσει είκοσι περίπου τέτοια στρώματα ή ζευγάρια μετάλλινων δίσκων, αποδεικνύεται ικανή, όχι μόνο να δώσει ενδείξεις ηλεκτρισμού στο ηλεκτρόμετρο του Cavallo…,αλλά και να προσκαλέσει πολλαπλά μικρά τινάγματα στα δάχτυλα όποιου αγγίξει τα δύο άκρα της…» (Volta & Banks 1800 σελ.291-2[366]) (βλ.*διαφάνειες 217-223*).

Επισημαίνοντας ότι ο Volta, εξακολουθεί να αξιοποιεί – αν και όχι αποκλειστικά – το ανθρώπινο σώμα για την καταγραφή των δυνατοτήτων της συσκευής του (βλ. *διαφάνεια 220-222*) καλούμε τους συμμετέχοντες να συγκρίνουν, χρησιμοποιώντας κι αυτοί τα χέρια τους, την επίδραση της στήλης του Volta με εκείνη της φιάλης Leyden. Παράλληλα, χρησιμοποιώντας ένα ευαίσθητο ηλεκτρόμετρο, μετράμε το αποτέλεσμα της στήλης του Volta (σε Volt) ενώ μεταβάλλουμε τον αριθμό των μεταλλικών της δίσκων. Παράλληλα, σχολιάζουμε την ονομασία της μονάδας μέτρησης του χρησιμοποιούμενου οργάνου (βλ.*διαφάνειες 225-228*).

Ταυτόχρονα, ενθαρρύνουμε τους συμμετέχοντες να εντάξουν την κατασκευή της πρώτης στην ιστορία μπαταρίας στα μελλοντικά τους σχέδια δράσης, εμπνεόμενοι από το αντίγραφο που εμείς κατασκευάσαμε για την παρουσίαση, το οποίο τους καλούμε να επεξεργαστούν.

Εξηγούμε, τέλος, ότι η μπαταρία του Volta άνοιξε μια νέα σελίδα στην ιστορία του ηλεκτρισμού, επισημοποιώντας την ύπαρξη του *ηλεκτρικού ρεύματος* διαμέσου της δυνατότητας παραγωγής του. Επίσης, σχολιάζουμε ότι η σημασία της εκτιμήθηκε άμεσα, καθώς ο Ναπολέων παράγγειλε μια συστοιχία από 600 στήλες για την Πολυτεχνική Ακαδημία του Παρισιού (βλ. *διαφάνεια 229*). Συνδυάζοντας το σκίτσο του κανονιού που εκπυρσοκροτεί διαμέσου της εκκένωσης της φιάλης Leyden (βλ. *διαφάνεια 205*) με την παραπάνω πληροφορία (Δαπόντες κ.ά. 1997β σελ. 104, 205[262]), αναφέρουμε αστειευόμενοι: «ποιος ξέρει; ίσως ο Ναπολέων να ονειρεύτηκε ότι με τη νέα συσκευή θα μπορούσε, τώρα, να κάνει τα κανόνια του ηλεκτρικά!».

Κλείνοντας την υποενότητα, ζητάμε από τους συμμετέχοντες να διαπιστώσουν ότι η λειτουργία της στήλης του Volta είναι ριζικά διαφορετική από τις υπόλοιπες ηλεκτρικές μηχανές που εξερευνήσαμε και ότι η αρχή λειτουργίας της βασίζεται στην *ηλεκτροχημεία*.

Το περιεχόμενο της ενότητας συνοψίζεται στις *ερωτήσεις 19-21* (βλ. *Παράρτημα VIII, βιβλίο μαθητή Συζήτηση 2η*).

9.11. Εφαρμόζοντας και αξιολογώντας τη διδακτική μας πρόταση

Η πειραματική διάλεξη εφαρμόστηκε στο διάστημα 2005-2008 σε κοινό 764 ατόμων από τους οποίους, το 69% ήταν μαθητές, το 16% κοινό όλων των ηλικιών προσκεκλημένο σε γενική εκδήλωση, το 6% καθηγητές προσκεκλημένοι σε σεμινάρια οργανωμένα σε εθνικό επίπεδο και το 10% καθηγητές προσκεκλημένοι σε σεμινάρια οργανωμένα σε τοπικό επίπεδο[ccix]. Όπως φαίνεται και στα στοιχεία του *Πίνακα 9.1*, που ακολουθεί, από το σύνολο των συμμετεχόντων, το 19% αντιστοιχούσε σε μαθητές των Ε' και Στ' τάξεων του Δημοτικού, το 23% σε μαθητές Γυμνασίου, το 20% σε μαθητές Λυκείου και το 4% σε μαθητές της Τεχνικής και Επαγγελματικής Εκπαίδευσης.

Όπως φαίνεται από τις απαντήσεις των μαθητών στα 484 ερωτηματολόγια στάσης[ccx], που συλλέχθηκαν, η συντριπτική πλειονότητά τους βρήκε το «μάθημα» *ενδιαφέρον* ή *πολύ ενδιαφέρον*, ενώ περισσότεροι από τους μισούς μαθητές βρήκαν το «μάθημα» *ενδιαφέρον* ή *πολύ ενδιαφέρον* και εκδήλωσαν, ταυτόχρονα, την πρόθεση να ξανάρθουν στο Μουσείο μέσα στην ίδια ή σε επόμενη σχολική χρονιά. Παράλληλα, η πλειονότητα των μαθητών, αν και όχι η συντριπτική, βρήκε το «μάθημα» *εύκολο* ή *πολύ εύκολο* ενώ ποσοστό 28% δήλωσε ότι συνάντησε δυσκολίες στην παρακολούθησή του.

Πίνακας 9.1: Ιδιότητα και εκπαιδευτική βαθμίδα του κοινού της πειραματικής διάλεξης, 2005-8

Ακαδημαϊκή περίοδος	Πρωτοβάθμια εκπαίδευση	Δευτεροβάθμια εκπαίδευση[xvii]				κοινό	Εκπαιδευτικοί προσκεκλημένοι σε σεμινάρια	Σύνολο
		Γυμνάσιο	Γυμνάσιο & Λύκειο	Λύκειο	ΤΕΕ-ΕΠΑΛ			
	Ε' & Στ' τάξεις	Α',Β', Γ' τάξεις	όλες οι τάξεις	Α, Β,'Γ' τάξεις	Α', Β' & Γ' βαθμίδες			
2005-8	145 19%	173 23%	25 3%	153 20%	30 4%	120 16%	118 16%	689 100%

[ccix] Τα πρώτα από τα σεμινάρια στα οποία αναφερόμαστε οργανώθηκαν στο πλαίσιο του προγράμματος του ΟΕΠΕΚ *Σύγχρονες Διδακτικές Προσεγγίσεις για την ανάπτυξη Κριτικής Δημιουργικής Σκέψης* (Μάρτιος-Μάιος 2007) και τα δεύτερα στο πλαίσιο της Διεύθυνσης Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης Χίου (Οκτώβριος 2005).

[ccx] Τα ερωτηματολόγια στάσης είναι παρόμοια με τα ερωτηματολόγια που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διάλεξη: *«Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;»* βλ. *Παράρτημα IV, ενότητα 1*).

Πίνακας 9.2: Απαντήσεις στα ερωτηματολόγια στάσης

ΟΙ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΒΑΘΜΟΛΟΓΟΥΝ ΤΟ «ΜΑΘΗΜΑ» ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ *ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝ* ΠΟΥ ΤΟΥΣ ΠΡΟΚΑΛΕΣΕ					
χωρίς απάντηση	κατανομή μαθητών που βρήκαν το «μάθημα»:				ΣΥΝΟΛΟ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΩΝ
	πολύ ενδιαφέρον	ενδιαφέρον	αδιάφορο	βαρετό	
2 *0%*	231 *48%*	192 *40%*	12 *2%*	47 *10%*	484 *100%*
ΟΙ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΒΑΘΜΟΛΟΓΟΥΝ ΤΟ «ΜΑΘΗΜΑ» ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗ *ΔΥΣΚΟΛΙΑ* ΠΟΥ ΤΟΥΣ ΠΡΟΚΑΛΕΣΕ					
χωρίς απάντηση	κατανομή μαθητών που βρήκαν το «μάθημα»:				ΣΥΝΟΛΟ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΩΝ
	πολύ εύκολο	εύκολο	δύσκολο	πολύ δύσκολο	
7 *1%*	63 *13%*	275 *57%*	113 *23%*	26 *5%*	484 *100%*
Η *ΠΡΟΘΕΣΗ* ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ ΠΟΥ ΒΡΗΚΑΝ ΤΟ «ΜΑΘΗΜΑ» ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝ Η ΠΟΛΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝ *ΝΑ ΞΑΝΑΡΘΟΥΝ* ΣΕ ΑΝΑΛΟΓΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΟ ΜΟΥΣΕΙΟ					
την ίδια σχολική χρονιά			σε επόμενη σχολική χρονιά		
322 *67%*			247 *51%*		

Αναφορικά με την άποψη των δασκάλων και καθηγητών που συνόδευαν τις μαθητικές ομάδες αυτές φαίνονται περισσότερο ομογενοποιημένες σχετικά με τις αντίστοιχες για την πειραματική διάλεξη με κέντρο την ατμοσφαιρική πίεση και ήταν γενικά πολύ θετικές. Από τα 23 άτομα που απάντησαν στα ερωτηματολόγια[ccxi], μόνο σε ενός τις απαντήσεις διατυπώθηκαν κριτικά σχόλια, τα οποία συνίσταντο στο να συμπλέκεται στενότερα η αφήγηση με τις ερωτήσεις.

Παράλληλα με την αξιολόγηση διαμέσου των ερωτηματολογίων, για την αξιολόγηση της παρούσας πειραματικής διάλεξης χρησιμοποιήθηκε και η ταινία που γυρίστηκε, όταν η διάλεξη παρουσιάστηκε στο κοινό (βλ.*Παράρτημα IX ενότητα 3*). Παρά τις ατέλειες που μπορούμε σήμερα να παρατηρήσουμε, θεωρούμε πολύ θετικό το ότι, παρόλο που η πειραματική διάλεξη είχε οργανωθεί στο πλαίσιο εκδήλωσης που προέβλεπε ωριαία ξενάγηση στο χώρο του Μουσείου πριν από αυτή, δεν υπήρξε διαρροή από τους συμμετέχοντες και το Αμφιθέατρο διατηρήθηκε ασφυχτικά γεμάτο για μια ολόκληρη ώρα. Επίσης, θεωρούμε ενδεικτικό της απήχησης που είχε η παρουσίαση στο κοινό το γεγονός ότι η πειραματική διάλεξη μεταδόθηκε επανειλημμένα από τοπικό κανάλι, που εκπέμπει, όχι μόνο στη Χίο, αλλά και στα κοντινά νησιά. Άλλο ένα θετικό στοιχείο που αναδεικνύεται μέσα από το βίντεο είναι το κλίμα που επικρατεί. Το κοινό, που σε μεγάλο ποσοστό αποτελείται από παλαιούς μαθητές του σχολείου, φαίνεται να διασκεδάζει, τόσο επειδή βρίσκεται ανάμεσα σε οικεία πρόσωπα που εκτελούν «παράξενα πειράματα», όσο και επειδή παρασύρεται από τις διασκεδαστικές ιστορίες. Ενδεικτικό του πολιτιστικού στίγματος της παρέμβασής μας είναι το γεγονός ότι δεχθήκαμε σχόλια από συναδέλφους διαφόρων ειδικοτήτων, κάποιοι από τους οποίους εξέφρασαν και τεχνικές απορίες, από μαθητές και από ενήλικες με επίπεδο γνώσεων Γυμνασίου ή ακόμα και χαμηλών τάξεων του Δημοτικού.

[ccxi] Τα ερωτηματολόγια στάσης που χρησιμοποιήθηκαν για τους καθηγητές ήταν παρόμοια με τα αντίστοιχα ερωτηματολόγια που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διάλεξη: «*Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;*» (βλ. *Παράρτημα IV*, ενότητα 1).

9.12. Προσαρμόζοντας την πειραματική διάλεξη σε κοινό ενηλίκων χαμηλού επιπέδου επιστημονικού αλφαβητισμού

9.12.1. Σύνοψη της διαδρομής εξερεύνησης: «Οι πρώτες ημέρες του ηλεκτρισμού»

Με κίνητρο την παρουσίαση του περιεχομένου της πειραματικής διάλεξης σε κοινό με μειωμένη δυνατότητα συγκέντρωσης, οδηγηθήκαμε στη μετατροπή του περιεχομένου της σε δράσεις μέσα στο χώρο του Μουσείου και στην εκ νέου συγγραφή του *βιβλίου του μαθητή*, έτσι ώστε αυτό να μην απωθεί άτομα με χαμηλό επίπεδο επιστημονικού αλφαβητισμού. Αφορμή για την εργασία αυτή στάθηκε το πρόγραμμα Εκπαιδευτικής Σύμπραξης Grundtvig «*Ανακαλύπτοντας την Επιστήμη ως Κουλτούρα διαμέσου των Ευρωπαϊκών Επιστημονικών Μουσείων*» 07-GRCO1-GR04-00025-1, στο οποίο προαναφερθήκαμε. Παρά το ότι η προσαρμογή της πειραματικής διάλεξης έγινε για το κοινό του *Σχολείου Δεύτερης Ευκαιρίας Χίου*, θεωρούμε ότι το παραγόμενο εκπαιδευτικό υλικό, για το οποίο θα μιλήσουμε στη συνέχεια, μπορεί να αποτελέσει περισσότερο κατάλληλο τρόπο για την ξενάγηση μικρών μαθητών στο Μουσείο σε σύγκριση με την πειραματική διάλεξη.

Όπως φαίνεται και από το σχετικό έντυπο (βλ. *Παράρτημα VIII, ενότητα 2*), η δράση ξεκίνησε με την παρατήρηση των ηλεκτρικών μηχανών του Μουσείου. Οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να περιεργαστούν τις διαφορετικές μηχανές ως προς τα υλικά, την απλότητα ή την πολυπλοκότητα, τις ομοιότητες και διαφορές τους. Κλήθηκαν, ακόμα, να φανταστούν τον τρόπο λειτουργίας τους.

Στη συνέχεια, βοηθούμενοι από εμάς επεξεργάστηκαν τα βασικά στοιχεία της λειτουργίας των ηλεκτροστατικών γεννητριών. Για το σκοπό αυτό τους έγινε επίδειξη και εξήγηση βασικών αρχών του ηλεκτρισμού, όπως τα φαινόμενα ηλέκτρισης με τριβή, η έλξη και η άπωση. Με τη βοήθεια ιστορικών σχεδίων εξηγήσαμε τα πειράματα του Gray πάνω στην αγωγή του ηλεκτρισμού και αφηγηθήκαμε την τυχαία ανακάλυψη της ηλέκτρισης με επαγωγή (βλ. σελ.8 *φυλλαδίου*). Εξηγήσαμε πώς τα πειράματα πάνω στην αγωγή του ηλεκτρισμού οδήγησαν στο να διαχωριστούν τα σώματα σε αγωγούς και μονωτές. Τέλος δείξαμε με τη βοήθεια πειραμάτων, πώς ο Dufay κατάφερε να εξηγήσει τα φαινόμενα έλξης και άπωσης, βασιζόμενος στη διάκριση του *υαλώδους* και του *ρητινώδους* ηλεκτρισμού (βλ.*σελ.9 φυλλαδίου*). Η ανάπτυξη των παραπάνω αρχών γίνεται σε σύνδεση με την ιστορία των ηλεκτροστατικών μηχανών. Χρησιμοποιώντας τα ιστορικά σχέδια που εικονίζονται στο φυλλάδιο παρακολούθησης εξηγήσαμε πώς οι έρευνες πάνω στην ηλέκτριση με τριβή οδήγησαν στην εφεύρεση των πρώτων τριβοηλεκτρικών μηχανών και πώς ο σχεδιασμός των μεταγενέστερων μηχανών ενσωματώνει την αξιοποίηση των αρχών της *ηλέκτρισης με αγωγή και επαγωγή*, όπως και την υπόθεση της ύπαρξης *δύο ειδών ηλεκτρικού φορτίου* (βλ.σελ.3-6 *φυλλαδίου*).

Στη συνέχεια ζητήσαμε από τους συμμετέχοντες να επιστρέψουν ξανά στην παρατήρηση των μηχανών. Τους ζητήσαμε επίσης να διακρίνουν ποιες από τις μηχανές του *φυλλαδίου* υπήρχαν και ποιες δεν υπήρχαν ανάμεσα στις προθήκες του Μουσείου. Τους ζητήσαμε να χρησιμοποιήσουν το φυλλάδιό τους και τη δική μας βοήθεια, για να αναγνωρίσουν τα στοιχεία των μηχανών του Μουσείου που είναι ενδεικτικά των επιστημονικών αρχών που ενσωματώνουν.

Στη συνέχεια εντοπίσαμε την προσοχή των επισκεπτών στις φιάλες Leyden. Εξηγήσαμε την ιδέα που ενέπνευσε την επινόησή τους και προσκαλέσαμε τους συμμετέχοντες, παρατηρώντας τα διαφορετικά σχέδια των φιαλών Leyden του Μουσείου, να διαπιστώσουν πώς εξελίχθηκε η φιάλη με το νερό που φαίνεται να χρησιμοποιεί ο Musschenbroek στο ιστορικό πείραμά του (βλ. σελίδα 10 *φυλλαδίου*). Με ένα πολύ θεαματικό πείραμα μαζικής ηλέκτρισης παρουσιάσαμε τη φιάλη σε δράση, αφηγούμενοι, ταυτόχρονα, το ιστορικό πείραμα του αβά Nollet (βλ. *σελίδα 11 φυλλαδίου*).

Παρουσιάσαμε, στη συνέχεια, τη στήλη του Volta, ως μια συσκευή που μιμείται το αποτέλεσμα της φιάλης Leyden, χωρίς, όμως, ταυτόχρονα, να αποφορτίζεται μετά από κάθε άγγιγμά μας. Με την παρουσίαση του εκπαιδευτικού βίντεο «*Τα μαμούθ μαζεύουν λεμόνια»* (Macaulay 1997[365]) και τον πειραματισμό πάνω στην «μπαταρία από λεμόνι» (βλ. σελ 12 *φυλλαδίου*), εξηγήσαμε τη λειτουργία της μηχανής και το γεγονός ότι σηματοδοτεί ένα νέο κεφάλαιο στην ιστορία του ηλεκτρισμού.

Τέλος, προσκαλέσαμε τους συμμετέχοντες να παρασκευάσουν τις δικές τους φιάλες Leyden.

9.12.2. Στοιχεία αξιολόγησης

Η ομάδα ενηλίκων που επισκέφθηκε το Μουσείο στο πλαίσιο της παρούσας *διαδρομής εξερεύνησης* ήταν διαφορετική από τους συμμετέχοντες στη *διαδρομή εξερεύνησης* της *ατμοσφαιρικής πίεσης*. Η επίσκεψη έγινε τον Απρίλιο του 2008 και περιελάμβανε 14 άτομα του Β' κύκλου σπουδών, 8 άνδρες και 6 γυναίκες. Όλοι είχαν ξανάρθει στο Μουσείο στο πλαίσιο προηγούμενης δράσης, ενώ 4 από αυτούς είχαν έρθει περισσότερες από 2 φορές.

Όλοι ανεξαιρέτως οι συμμετέχοντες δήλωσαν ότι έμαθαν πράγματα που δεν ήξεραν, 4 δήλωσαν ότι αισθάνθηκαν την ανάγκη περισσότερης καθοδήγησης, 4 ότι δυσκολεύτηκαν στη συμπλήρωση των φύλλων εργασίας. Όλοι δήλωσαν ότι εντυπωσιάστηκαν από το πείραμα μαζικής ηλέκτρισης και χάρηκαν με τη δραστηριότητα της κατασκευής της φιάλης Leyden, όπως και με το γεγονός ότι μπορούσαν να πάρουν τη φιάλη στο σπίτι τους ως αναμνηστικό. Παράλληλα, οι συμμετέχοντες δήλωσαν ότι ένοιωθαν άνετα με τους εμψυχωτές της δράσης και με τον ίδιο το χώρο, ότι άκουγαν καλά, αλλά ότι δεν έβλεπαν αρκετά καλά όλα τα πειράματα.

Εικόνα 9.7: Ανακαλύπτοντας τις «πρώτες ημέρες του ηλεκτρισμού». Μουσείο Φυσικής Χίου, Απρίλιος 2008

9.13. Συζήτηση και σχόλια

9.13.1. Το στίγμα της εκπαιδευτικής μας παρέμβασης

Η περιγραφή της πειραματικής διάλεξης που προηγήθηκε έγινε με συνοπτικότερο τρόπο σχετικά με τη διάλεξη με τίτλο: «*Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα*;» Περιοριστήκαμε μόνο στη ροή του περιεχομένου και των βασικών δραστηριοτήτων που σχεδιάστηκαν, ενώ δεν εντρυφήσαμε στην ιστορία και τη φύση των περιλαμβανόμενων στη διάλεξη ιστορικών πειραμάτων. Παρόλο που η διαπραγμάτευση της ενότητας μπορεί να θεωρηθεί επιφανειακή, συγκρινόμενη με εκείνη της προηγούμενης πειραματικής διάλεξης, θεωρήσαμε σκόπιμο να την συμπεριλάβουμε την περιγραφή της στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, γιατί εκφράζει ένα νέο στίγμα που μέσω αυτής απέκτησε το εκπαιδευτικό πρόγραμμα του Μουσείου. Και αυτό συνίσταται στη δυνατότητα που μας έδωσε, από τη μια μεριά, να προβάλλουμε πολύπλευρα τη σχέση επιστήμης – κοινωνίας – πολιτισμού και, από την άλλη, να χρησιμοποιήσουμε τη σχέση αυτή, για να διευρύνουμε το κοινό του Μουσείου.

Για να μιλήσουμε περισσότερο συγκεκριμένα, το περιεχόμενο της πειραματικής διάλεξης αναδεικνύει μια όψη της επιστήμης που είναι στενά συνδεδεμένη με την κοινωνία, είτε επειδή σε μεγάλο βαθμό διεξάγεται έξω από τα επιστημονικά εργαστήρια, είτε επειδή τα άτομα που την ασκούν είναι πολυσχιδείς προσωπικότητες, είτε επειδή έχει άμεση σχέση με την καθημερινή ζωή. Όλα αυτά τα στοιχεία, καθιστούν την επιστήμη πολύ ενδιαφέρουσα για το κοινό της εποχής του 18^{ου} αιώνα. Αναδεικνύοντας τα στοιχεία που, τότε, έκαναν την επιστήμη τόσο ενδιαφέρουσα, επιχειρήσαμε και πετύχαμε να συγκινήσουμε το κοινό της εποχής μας, μαθητές και ενήλικες, άτομα με υψηλό επίπεδο επιστημονικού αλφαβητισμού, αλλά και άλλα με πολύ χαμηλό επίπεδο επιστημονικών γνώσεων.

Παράλληλα, ο τρόπος με τον οποίο οι έχοντες ενδιαφέρον για την επιστήμη πολίτες του 18^{ου} αιώνα μπορούσαν να εμπλακούν στη ροή των επιστημονικών εξελίξεων, κατασκευάζοντας τα δικά τους επιστημονικά όργανα και πραγματοποιώντας τα δικά τους πειράματα, λειτούργησε ως κίνητρο, για να εμπλέξουμε μαθητές και ενήλικες στην κατασκευή συσκευών για τη μελέτη και επίδειξη των ηλεκτροστατικών φαινομένων. Εκμεταλλευτήκαμε το ιστορικό αυτό γεγονός, για να ωθήσουμε το κοινό στην κατασκευή παραλλαγών της φιάλης Leyden, ενώ, παράλληλα, διαπιστώσαμε ότι και καθηγητές φυσικών επιστημών, που παρακολούθησαν την πειραματική διάλεξη, συνέθεσαν, στη συνέχεια, τις δικές τους ηλεκτρικές πειραματικές επινοήσεις, όπως ηλεκτρικά εκκρεμή, πυκνωτές και ηλεκτρικές καμπάνες.

Το γεγονός ότι το τέλος της εποχής που εξετάσαμε συμπίπτει με την έναρξη του ενδιαφέροντος των ελλήνων διαφωτιστών να κοινωνήσουν τα θαύματα της επιστήμης στους έλληνες μέσα από τη συγγραφή εγχειριδίων και βιβλίων εκλαϊκευμένης επιστήμης, αποτελεί ακόμα ένα σημείο στο οποίο το ενδιαφέρον της σύνδεσης επιστήμης και κοινωνίας αναδείχθηκε. Βλέποντας τον ηλεκτρισμό του 18^{ου} αιώνα με τα λόγια του Ρήγα Φεραίου, καταστήσαμε την πειραματική διάλεξη ενδιαφέρουσα για

άτομα με ενδιαφέροντα πάνω σε θέματα γλώσσας και ιστορίας.

Καθώς η ολοκλήρωση κάθε εφαρμογής μας αποκαλύπτει πάντα ένα επόμενο βήμα, βλέπουμε σήμερα, πώς οι παραπάνω δράσεις μπορούν να επεκταθούν.

Έτσι, η περαιτέρω έμφαση στο γεγονός ότι οι ιστορικές τριβοηλεκτρικές μηχανές μπορούσαν να προκύψουν από τα όργανα που είχε στην αποθήκη της μια αγροτική κατοικία, και οι φιάλες Leyden από τα σκεύη οποιασδήποτε κουζίνας, μπορεί να ανοίξει το δρόμο για επινοήσεις συσκευών και πειραμάτων με κέντρο τον στατικό ηλεκτρισμό που μπορούν να γίνουν στο πλαίσιο ειδικά σχεδιασμένου προγράμματος ή στο πλαίσιο του μαθήματος της τεχνολογίας. Η πρωτοτυπία των κατασκευών και η θεαματικότητα των πειραμάτων μπορούν να λειτουργήσουν ως άξονες του προγράμματος.

Παράλληλα, σε σχέση με τα κείμενα που αναδεικνύουν τη διάδοση της επιστήμης στον ελληνικό χώρο, θεωρούμε ότι μια έρευνα, εντοπισμένη στα τοπικά αρχεία και στην αναζήτηση των κειμένων με τα οποία η επιστήμη έφτανε στους μαθητές της Σχολής της Χίου τον 19^{ου} αιώνα, θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως διαθεματική δράση με κέντρο την τοπική ιστορία και θα μπορούσε, εκτός από το εγκυκλοπαιδικό της ενδιαφέρον, να αξιοποιηθεί και ως υλικό προβολής της συλλογής του Μουσείου.

9.13.2. Εντάσσοντας τη διδακτική μας παρέμβαση στο πλαίσιο μιας ευρύτερης εκπαιδευτικής κουλτούρας

Όσο κι αν η διδακτική μας πρόταση υπήρξε πρωτοποριακή για τα δεδομένα του ελληνικού σχολείου, και εναρκτήριο συμβάν για τη διδακτική αξιοποίηση της ιστορικής συλλογής, σε διεθνές επίπεδο φιλοδοξεί να αποτελέσει ένα ακόμα λιθαράκι στην προσπάθεια ολιστικής προσέγγισης της επιστημονικής γνώσης και της διδακτικής αξιοποίησης των ιστορικών επιστημονικών οργάνων. Ισορροπώντας μεταξύ άτυπης και τυπικής εκπαίδευσης, θα δώσουμε στίγματα μιας ευρύτερης εκπαιδευτικής κουλτούρας που διαμορφώνεται, τόσο μέσα από οπτικές διδακτικών εγχειριδίων, όσο και μέσα από υλοποιημένες προτάσεις τυπικής και άτυπης διδασκαλίας που αναφέρονται στη διδασκαλία της ηλεκτροστατικής. Οι υλοποιημένες προτάσεις στις οποίες αναφερόμαστε, σημειώνονται ως πηγές έμπνευσης ή και κατευθύνσεις εξέλιξης της δικής μας διδακτικής πρότασης, η οποία μπορεί αξιοποιηθεί ως άξονας για την οργάνωση δράσεων στο πλαίσιο της τυπικής εκπαίδευσης, να αποτελέσει υλικό προβολής μιας έκθεσης ιστορικών οργάνων ή να χρησιμοποιηθεί ως βάση για την κατασκευή υλικού εξ αποστάσεως εκπαίδευσης.

9.13.3. Μέσα στη σχολική τάξη…

Ως ιδέα για τη μετατροπή του περιεχομένου της πειραματικής μας διάλεξης σε δραστηριότητα ανακαλυπτικής μάθησης, θα χρησιμοποιούσαμε τη διδακτική πρόταση του Peter Heering (Heering 2000[208]) (βλ.*ενότητα 4.4.2*). Έχοντας τα πλεονεκτήματα του προγράμματος μεγάλης διάρκειας και της δυνατότητας χρήσης των συσκευών, αποτελεί πρόκληση για τη μετατροπή του προγράμματός μας σε δράση, στο πλαίσιο της τυπικής επιστημονικής εκπαίδευσης, γιατί διατηρεί τον ιστορικό άξονα

ανάπτυξης του περιεχομένου, αλλά, ταυτόχρονα, κινητοποιεί τους μαθητές πάνω στην κατανόηση των επιστημονικών εννοιών και της φύσης των πειραμάτων.

9.13.4. Μέσα από μουσεία και εκθέσεις…

Ως ιδέα για την εξέλιξη των διδακτικών μας προτάσεων στο πλαίσιο της άτυπης επιστημονικής εκπαίδευσης θα χρησιμοποιούσαμε την έκθεση που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος του Πανεπιστημίου του Oldenburg που παρουσιάστηκε την άνοιξη του 1998 (Heering & Müller 2002[222]) και περιγράφτηκε στην *ενότητα 4.2.2*. Σε σύγκριση με τη δική μας πρόταση πρόβαλλε το ιστορικό πλαίσιο, όχι ως πληροφορία, αλλά ως βίωμα, κάτι που της δίνει ιδιαίτερη αξία ως πρόταση άτυπης επιστημονικής εκπαίδευσης. Φανταζόμαστε ως εξέλιξη της παρούσας διδακτικής πρότασης την κατάστρωση αντίστοιχων σεναρίων και δρώμενων με τη συμμετοχή των μαθητών στο πλαίσιο μελλοντικού εκπαιδευτικού προγράμματος.

9.13.5. Μέσα από το διαδίκτυο…

Ως ιδέα ανάπτυξης εκπαιδευτικού υλικού στο διαδίκτυο προς την οποία μπορεί να εξελιχθεί η συγκεκριμένη διδακτική πρόταση θεωρούμε την πρόταση της ομάδας του *Εθνικού Ιδρύματος Επιστημονικών Ερευνών* της Γαλλίας (*Centre National de la Recherche Scientifique* - CRNS) (Blondel 2009 http://www.ampere.cnrs.fr[229]) που συνδυάζει τη χρήση ιστορικών επιστημονικών οργάνων με την παρουσίαση πειραμάτων στο ιστορικό τους πλαίσιο (βλ.*ενότητα 4.2.4*). Σε σύγκριση με τη δική μας πρόταση έχει το πλεονέκτημα της αξιοποίησης εθνικών ιστορικών αρχείων, κάτι που θα μπορούσε να γίνει και στη δική μας περίπτωση με την αξιοποίηση του επιστημονικού αρχείου της βιβλιοθήκης Κοραή, στο πλαίσιο ειδικά σχεδιασμένου ερευνητικού προγράμματος.

9.13.6. Διδακτικά εγχειρίδια ως οδηγοί…

Για τη σύνθεση της διδακτικής μας πρότασης δανειστήκαμε πολλά στοιχεία και ιδέες από το επίσημο σχολικό εγχειρίδιο για τη διδασκαλία της Φυσικής στη Β΄ τάξη ΕΠΛ, που εφαρμόστηκε στο διάστημα 1985-1997 (Δαπόντες κ.ά.1997β[262]). Οι ιστορικές πληροφορίες και τα ντοκουμέντα που περιέχει μπορούν να εμπνεύσουν προτάσεις ολιστικής προσέγγισης της επιστημονικής γνώσης στο πλαίσιο της τυπικής εκπαίδευσης, ειδικά αν κάποιος διαβάσει το βιβλίο, ή οργανώσει δράσεις με άξονα τα στοιχεία αυτά.

Για τη σύνθεση της διδακτικής μας πρότασης βασιστήκαμε, επίσης, στη μελέτη περίπτωσης πάνω στο ηλεκτρικό φορτίο που υπάρχει στο πανεπιστημιακό εγχειρίδιο του James Bryant Conant (Roller & Roller 1957/1966[268]). Αυτό που κατέστησε τη συγκεκριμένη διδακτική πρόταση πολύτιμο εργαλείο για εμάς είναι το γεγονός ότι έχει ως κέντρο της τα ιστορικά επιστημονικά όργανα, όσο και το γεγονός ότι διδάσκει επιστήμη μέσα από την ιστορία. Κι αυτό γιατί και στη δική μας περίπτωση οι επιστημονικές συσκευές όφειλαν να γίνουν το κέντρο του ενδιαφέροντος, μέσα από την ανάδειξη της πολιτισμικής τους διάστασης, ενώ η καταγωγή του *Μουσείου Φυσικής της Χίου* από το εργαστήριο

φυσικών επιστημών του ιστορικού σχολείου επέβαλλε τη συμπερίληψη της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών ανάμεσα στους στόχους του σχεδιαζόμενου εκπαιδευτικού προγράμματος.

10. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΣΥΖΗΤΗΣΗ & ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

10.1. Γενικά

10.1.1. Το πλαίσιο του προβληματισμού

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας επιχειρήθηκε να ικανοποιηθούν διαφορετικού τύπου στόχοι που είχαν καταρχήν σχέση με το σχεδιασμό, την εφαρμογή και την αξιολόγηση συγκεκριμένης διδακτικής πρότασης που αποτέλεσε, ταυτόχρονα, τρόπο ανάδειξης συλλογής ιστορικών επιστημονικών οργάνων και μέθοδο διδασκαλίας των φυσικών επιστημών. Κατά δεύτερον, επιχειρήθηκε η διερεύνηση των τρόπων με τους οποίους η παρούσα διδακτική πρόταση είναι δυνατόν να εξελιχθεί σε πρόταση τυπικής ή άτυπης επιστημονικής εκπαίδευσης, μέσα από την οργάνωση δραστηριοτήτων ενεργητικής μάθησης. Τέλος, επιχειρήθηκε η διερεύνηση του θεωρητικού πλαισίου στο οποίο η παρούσα πρόταση εντάσσεται, με στόχο να διαπιστωθεί, αν και κατά πόσο είναι σύμφωνη με σύγχρονα ρεύματα στο χώρο τόσο της τυπικής, όσο και της άτυπης επιστημονικής εκπαίδευσης και ποιες ακριβώς σκοπιμότητες υπηρετεί.

Ανάμεσα στα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας είναι το γεγονός ότι η εφαρμογή των διδακτικών μας προτάσεων στο *Μουσείο Φυσικής της Χίου* συνέβαλλε στη μετατροπή του χαρακτήρα της συλλογής οργάνων, που είχε το 2003 το συγκεκριμένο ίδρυμα, σε εκείνον του επιστημονικού μουσείου, μέσα από την οργάνωση δυνατοτήτων παρέμβασης σε τοπικό, περιφερειακό, εθνικό και διεθνές επίπεδο, και αλληλεπίδρασης με διαφορετικές ομάδες κοινού – μαθητών πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, εκπαιδευτικών και απλών πολιτών.

Αυτό έγινε εφικτό μέσα από το πνεύμα των συγκεκριμένων μορφών διδακτικών παρεμβάσεων που φιλοδοξούν να χαρακτηριστούν ως συστατικά στοιχεία μιας νέας «εκπαιδευτικής κουλτούρας» που προτείνει τον εμπλουτισμό της διδασκαλίας της επιστήμης με περιεχόμενα της ιστορίας και της φύσης της, και τη μαγνήτιση του κοινού μέσα από εκπαιδευτικά σενάρια που συνυφαίνουν την επιστήμη με την τέχνη.

Όπως επίσης προκύπτει από την «ανάγνωση» της διδακτικής μας πρότασης μέσα από το πρίσμα σύγχρονων προβληματισμών που διέπουν την επιστημονική διδασκαλία, ένα στοιχείο που λειτούργησε ως παράγοντας επιτυχίας της, είναι το γεγονός ότι μπόρεσε να «μεταφράσει» σε εφαρμογή σύγχρονους εκπαιδευτικούς στόχους, όπως την ανάγκη η διδασκαλία της επιστήμης να απευθύνεται σε «όλους», μέσα από την προβολή της επιστήμης ως πολιτισμού. Επίσης, η επιτυχία της συνδέεται και με το γεγονός, ότι την εποχή που ξεκίνησε αποτελούσε «καινοτόμο» πρόταση αξιοποίησης των νέων τεχνολογιών στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών.

Το γεγονός ότι το εφαρμοσμένο κομμάτι της παρούσας διδακτικής πρότασης βρήκε θετική υποδοχή από τα μέλη της εκπαιδευτικής κοινότητας λειτουργεί για εμάς, ως ισχυρό επιχείρημα, τόσο υπέρ της ενσωμάτωσης άτυπων μορφών επιστημονικής εκπαίδευσης στο πρόγραμμα σπουδών των φυσικών επιστημών, όσο και υπέρ της σύνθεσης ολιστικών προτάσεων διδασκαλίας των φυσικών

επιστημών με τη συνδρομή της ιστορίας της επιστήμης.

Παράλληλα, οι δραστηριότητες που ενσωματώθηκαν στο εφαρμοσμένο τμήμα της διδακτικής μας πρότασης, ή σχεδιάστηκαν με στόχο τη μελλοντική μετατροπή της σε δράσεις ενεργητικής μάθησης, αποτέλεσαν για εμάς επιχειρήματα υπέρ της συνύφανσης του επιστημονικού περιεχομένου με στοιχεία της φιλοσοφίας της επιστήμης. Κι αυτό γιατί φάνηκε ότι ένας τέτοιου τύπου σχεδιασμός επιτρέπει την ανάδειξη στοιχείων της φύσης των ιστορικών επιστημονικών οργάνων, στοιχείων που φωτίζουν το πείραμα ως διαδικασία, και στοιχείων μεθοδολογίας της επιστήμης. Με βάση την εμπειρία που αποκτήθηκε από το εφαρμοσμένο τμήμα της διδακτικής μας πρότασης και τη συζήτηση που σήμερα διεξάγεται στο χώρο της διδακτικής των φυσικών επιστημών, είμαστε σε θέση να προβλέψουμε ότι η σταδιακή εισαγωγή τέτοιων περιεχομένων στην επιστημονική εκπαίδευση μπορεί να καλλιεργήσει την κριτική ικανότητα, δίνοντας στους μαθητές μεθόδους, ώστε να απαντούν εκείνοι στα ερωτήματά τους χρησιμοποιώντας τα εργαλεία της επιστήμης. Παράλληλα, μπορεί να προκαλέσει ενθουσιασμό για το επιστημονικό αντικείμενο, αποκαλύπτοντας εκείνες τις πλευρές των επιστημονικών οργάνων και του πειράματος που τα κατέστησαν κέντρο της περιέργειας και αντικείμενο της πρωτοβουλίας για ευρείες ομάδες πολιτών σε άλλες ιστορικές εποχές.

10.1.2. Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας

Συνοψίζοντας τα παραπάνω μπορούμε να διακρίνουμε τα αποτελέσματα της παρούσας διδακτορικής διατριβής σε τρεις κατηγορίες.

Η πρώτη συνίσταται στα αποτελέσματα δράσεων του προγράμματος μη τυπικής εκπαίδευσης που πραγματοποιήθηκε στο *Μουσείο Φυσικής της Χίου*, τα οποία αξιολογήθηκαν διαμέσου της στάσης του κοινού απέναντι σ' αυτές, του αριθμού των επισκεπτών που τις παρακολούθησαν, του εύρους των ομάδων πληθυσμού τις οποίες προσέλκυσαν, την εμβέλεια δράσης που προσέδωσαν στο Μουσείο (βλ.*ενότητες 6,7,9*).

Η δεύτερη κατηγορία αποτελεσμάτων συνίσταται στο σχεδιασμό εκπαιδευτικού υλικού μη τυπικής εκπαίδευσης, το οποίο εφαρμόστηκε και αξιολογήθηκε ως προς τη δυνατότητά του να εμπλέκει σε δράση το κοινό, να προσαρμόζεται σε διαφορετικά είδη κοινού και διαφορετικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα, να αποτελεί πρόταση ανάδειξης της συγκεκριμένης συλλογής ιστορικών επιστημονικών οργάνων και πρόταση ολιστικής προσέγγισης των φυσικών επιστημών και, ακόμα, να φέρει μια νέα εκπαιδευτική κουλτούρα (βλ. *ενότητες 7 και 9*).

Η τρίτη κατηγορία αποτελεσμάτων συνίσταται στο σχεδιασμό υποδείξεων με βάση τις οποίες οι εφαρμοσμένες προτάσεις μπορούν να εξελιχθούν σε μαθητοκεντρικές δράσεις που θα έχουν ως στόχο την ανάδειξη του σύγχρονου προβληματισμού πάνω στη φύση των επιστημονικών οργάνων και τη φύση του πειράματος, Οι υποδείξεις αυτές αξιολογήθηκαν ως προς τη δυνατότητά τους να αξιοποιούν τον σύγχρονο προβληματισμό στα πεδία της ιστορίας, της φιλοσοφίας και της διδακτικής των φυσικών επιστημών και ως προς τη δυνατότητα που τους παρέχει ο σχεδιασμός τους να μπορούν να εφαρμοστούν ανεξάρτητα από το εκπαιδευτικό περιβάλλον του συγκεκριμένου Μουσείου (βλ.*ενότητα*

8).

10.2. Καλλιεργώντας μια «νέα» εκπαιδευτική επιστημονική κουλτούρα

10.2.1. Προσεγγίζοντας την κουλτούρα των πειραματικών διαλέξεων

Όπως προαναφέρθηκε, μέσα από την παρούσα διδακτική πρόταση επιδιώξαμε να «μιλήσουμε τη γλώσσα» μιας «εκπαιδευτικής κουλτούρας» που προτείνει τη συνάρθρωση της επιστήμης με την τέχνη. Έτσι, προσπαθήσαμε να καταστήσουμε το *μάθημα* των φυσικών επιστημών, παράλληλα, και *θέαμα*, χρησιμοποιώντας διάφορους τρόπους, ένας από τους οποίους ήταν η μορφή των πειραματικών διαλέξεων.

Για τη σύνθεση της κάθε μιας από τις πειραματικές διαλέξεις χρειάστηκε να δημιουργήσουμε *αφηγηματικά σενάρια*[ccxii] ικανά να ενοποιήσουν διαφορετικά πειράματα και να τα προβάλλουν με τρόπο που να αίρει την αποσπασματικότητα και να δημιουργεί διαρκές ενδιαφέρον και περιέργεια στο κοινό. Μέσα από την εμπειρία αυτή, έχουμε καταλήξει στο συμπέρασμα ότι το στοιχείο που μπορεί να δημιουργήσει πραγματική συνεκτικότητα σε τέτοιου είδους εκπαιδευτικό υλικό πρέπει να έχει οργανική σχέση με την ιστορία ή τη φύση της επιστήμης.

Έτσι, είμαστε σε θέση να διαπιστώσουμε ότι το ερώτημα: *«Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;»*, αποτέλεσε επιτυχή επιλογή άξονα δόμησης του περιεχομένου της αντίστοιχης διδακτικής πρότασης, γιατί διαμέσου αυτού αγγίξαμε ένα πραγματικό – για τους επιστήμονες του 17^{ου} αιώνα – *επιστημονικό ερώτημα*, που ταυτίζεται με την πρόθεσή τους να υποβάλλουν σε εξέταση όλα τα μέχρι τότε γνωστά φαινόμενα, πραγματοποιώντας τα σε συνθήκες κενού.

Παράλληλα, καθώς εμπνευστήκαμε την ιδέα της πειραματικής διάλεξης: *«Οι πρώτες ημέρες του ηλεκτρισμού»* – από διαφήμιση ενός ηλεκτρικού θεάματος τον 19^{ο} αιώνα (Δαπόντες κ.ά. 1997β σελ.87[262]) – θεωρούμε ότι η δόμηση του περιεχομένου της γύρω από το *ιστορικό ερώτημα* που απορρέει από τον τίτλο της ήταν επιτυχής επιλογή, επειδή μπόρεσε να μεταφράσει σε σύγχρονη γλώσσα ένα στοιχείο «πάθους» που οι οργανωτές των πειραματικών διαλέξεων και δημοσίων θεαμάτων μοιράζονταν την εποχή του 18^{ου} και 19^{ου} αιώνα με το κοινό. Το στοιχείο αυτό μπόρεσε να φωτίσει και το «ύφος» των ηλεκτρικών μηχανών του μουσείου, που τον 19^{ο} αιώνα είχαν κατασκευαστεί, για να καταστήσουν ορατούς τους νόμους της φύσης, αλλά και, ταυτόχρονα, για να γοητεύσουν, να προκαλέσουν έκπληξη και να εντυπωσιάσουν.

Η εμπειρία του σχεδιασμού και της εφαρμογής των διδακτικών προτάσεων, που αναλύθηκαν, μας έχει σήμερα οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι η διδασκαλία της επιστήμης γίνεται βαθύτερη και ελκυστικότερη, όταν η διάχυση στοιχείων του επιστημονικού πνεύματος τίθεται ως άξονας και ενοποιητικό στοιχείο για την οργάνωση των σχεδίων μαθημάτων και προγραμμάτων σπουδών. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η διδασκαλία ως συσσώρευση αποσπασματικών πληροφοριών, πειραμάτων

[ccxii] Χρησιμοποιώντας για το *σενάριο* τον προσδιορισμό *αφηγηματικό* το αντιπαραθέτουμε με το *εκπαιδευτικό σενάριο* που αποτελεί σχεδιασμό όχι μόνο του περιεχομένου, αλλά στοιχείων όπως ο τρόπος εκτέλεσης των πειραμάτων και συμμετοχής του κοινού.

και ασκήσεων. Με αυτό το σκεπτικό, θεωρούμε ότι θα είχε μεγάλο ενδιαφέρον στο πλαίσιο των πειραματικών επιδείξεων και διδασκαλιών που εφαρμόζουν τα *Εργαστηριακά Κέντρα Φυσικών Επιστημών*, αντί για την παρουσίαση πειραμάτων αποκομμένων μεταξύ τους και από το ιστορικό και φιλοσοφικό τους πλαίσιο, να οργανώνονται διδακτικές ενότητες που να αναδεικνύουν το πνεύμα του πειραματικού σχεδιασμού μέσα από την ιστορία και τη φιλοσοφία της επιστήμης.

10.2.2. Δημιουργώντας «κοινό»

Όπως επισημάναμε στην *εισαγωγή* και στις *ενότητες 6.1.2* και *7.5.4*, η μορφή των πειραματικών διαλέξεων που οργανώσαμε συγκέντρωνε καινοτόμα στοιχεία τα οποία, από τη μια μεριά μπορούσαν να προσελκύσουν το κοινό, από την άλλη μπορούσαν να ξενίσουν τους παραδοσιακούς καθηγητές. Απευθυνόμενοι κυρίως στους μαθητές προσπαθήσαμε να καλλιεργήσουμε την ιδέα της ανάδειξης της πολιτισμικής διάστασης της επιστημονικής γνώσης μέσα από ένα ευρύτερο σύνολο διδακτικών παρεμβάσεων, οι οποίες είχαν μεγαλύτερη διάρκεια, περισσότερο μαθητοκεντρικό χαρακτήρα και λειτούργησαν στην κατεύθυνση δημιουργίας «κοινού» για τις πειραματικές μας διαλέξεις. Ανάμεσα σε αυτές ήταν προτάσεις σύνδεσης της επιστήμης με τη λογοτεχνία μέσα από εξερεύνηση λογοτεχνικών κειμένων (Πάπαρου & Καραλιώτα 2003[36], Paparou & Karaliota 2009b[37]), οργάνωσης θεατρικών παραστάσεων (Πάπαρου 2005[35]) και συγγραφής σεναρίων. Έτσι, ήταν τελείως διαφορετική η υποδοχή των πειραματικών διαλέξεων: *«Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;»* και *«Συνομιλώντας με τ' αστέρια»* στο ακροατήριο που είχε εργαστεί πάνω σε θεατρική παράσταση με κέντρο τον Γαλιλαίο. Με παρόμοιο τρόπο, οι μαθητοκεντρικές δράσεις που αναπτύχθηκαν στο κέντρο του *Ευρωπαϊκού Προγράμματος Comenius* αποτέλεσαν και αυτές ένα εργαλείο καλλιέργειας «κοινού» μέσα από την έμπρακτη προώθηση της διαθεματικής προσέγγισης της επιστημονικής γνώσης και την ανάδειξη της σύνδεσης της επιστήμης με την τεχνολογία και τον πολιτισμό.

10.2.3. Δίνοντας έμφαση στη μεθοδολογία της επιστήμης

Η παρούσα διδακτική πρόταση εισηγείται τη διερεύνηση θεμάτων της μεθοδολογίας της επιστήμης ως τρόπους, για να καλλιεργηθούν στους μαθητές μεταγνωστικές ικανότητες. Με αυτόν τον τρόπο επιδιώκεται οι μαθητές να αποκτήσουν εργαλεία για την ανακάλυψη της γνώσης και όχι επιφανειακές γνώσεις και πληροφορίες.

Προκειμένου να τονίσουμε το στοιχείο αυτό, επικαλεστήκαμε την σύγχρονη διδακτική πρόκληση που οι διάφορες εκδοχές της ανακαλυπτικής μάθησης και του εποικοδομητισμού προβάλλουν. Συγκεκριμένα επιδιώξαμε οι μαθητές να αισθανθούν μέλη της επιστημονικής κοινότητας, είτε ανακαλύπτοντας ότι έχουν το λογικό εξοπλισμό ώστε να γίνουν οι ίδιοι ερευνητές ενός επιστημονικού ζητήματος, είτε ανακαλύπτοντας ότι τα επιστημονικά ερωτήματα που μπορούν εκείνοι σήμερα να θέσουν έχουν στο παρελθόν απασχολήσει την επιστημονική κοινότητα, είτε, τέλος, ανακαλύπτοντας ότι όλες οι απαντήσεις που έχει δεχθεί ένα επιστημονικό ερώτημα, συμπεριλαμβανομένων και κάποιων που μπορεί να μοιάζουν πολύ με τις δικές τους ιδέες, έχουν συνεισφέρει στην εξέλιξη της

επιστήμης.

Ταυτόχρονα, προσπαθήσαμε να χρησιμοποιήσουμε δημιουργικά τα δύο προβλήματα που εντοπίζει η σύγχρονη εκπαιδευτική έρευνα, σχετικά με την εφαρμογή και αποτελεσματικότητα των προαναφερόμενων μεθόδων:

- Το πρώτο είναι το ότι η πειραματική εξερεύνηση, ενώ καλλιεργεί την ικανότητα παραγωγής πειραματικών δεδομένων, ταξινόμησης και αξιολόγησής τους, σπάνια μπορεί να οδηγήσει τους μαθητές στην «παραγωγή συμπερασμάτων», τέτοιων που να αντιπροσωπεύουν το αντίστοιχο επιστημονικό θεωρητικό πλαίσιο.
- Το δεύτερο είναι το ότι οι ιδέες των επιστημόνων δεν μοιάζουν με τις ιδέες των μαθητών, γιατί, ενώ οι πρώτες εδράζονται σε ψυχικές δομές, οι οποίες υποβάλλουν στους φορείς τους απαιτητικά σχέδια δράσης, οι δεύτερες μοιάζουν με εντυπώσεις και δεν μπορούν να κινητοποιήσουν τα υποκείμενα που τις φέρουν σε αντίστοιχη δράση. Οι πρώτες αποτελούν έκφραση νοητικών και λογικών δομών, των οποίων οι επιστήμονες έχουν σε μεγάλο βαθμό επίγνωση και, μπορούν, έτσι, να τις επεξεργαστούν, σε αντίθεση με τις ιδέες των μαθητών, οι οποίες εδράζονται σε θεωρητικά οικοδομήματα που είναι συνήθως θολά.

Με τα δεδομένα αυτά, εμείς προτείναμε να αξιοποιηθούν δραστηριότητες ενεργητικής μάθησης, όχι, για να μεταβούν οι μαθητές στο επιστημονικό επίπεδο σκέψης, αλλά, για να αρχίσουν να αντιλαμβάνονται κάποια από τα στοιχεία του και τη δομή του. Έτσι, προσπαθήσαμε να δείξουμε τρόπους, ώστε οι μαθητές να διακρίνουν δομικά στοιχεία της επιστήμης, τέτοια που οι περισσότεροι άνθρωποι έχουν τη δυνατότητα να κατανοήσουν και να αξιοποιήσουν και άλλα που οριοθετούν την απόσταση του κοινού νου από ιδιοφυείς συλλήψεις επιστημονικής δημιουργίας, οι οποίες αποκωδικοποιούν το φυσικό κόσμο ή παρεμβαίνουν σε αυτόν.

Επίσης, προτείναμε, ειδικά στο πλαίσιο της άτυπης επιστημονικής εκπαίδευσης, οι μαθητές να αντιληφθούν ότι το εργαλείο για την όποια επιστημονική γνώση μπορούν να αποκτήσουν είναι οι ίδιες τους οι απορίες και η εμπιστοσύνη στο γεγονός, ότι η επεξεργασία ερωτημάτων οδηγεί σε απαντήσεις, οι οποίες, παρόλο που απέχουν από τις αντίστοιχες επιστημονικές, αγγίζουν νήματα σκέψης απαραίτητα για την κατανόηση όψεων του επιστημονικού πνεύματος και εγχειρήματος.

Έτσι, στο πλαίσιο της παρούσας διδακτικής πρότασης υποδείξαμε τρόπους για το σχεδιασμό και την οργάνωση δραστηριοτήτων που αποτελούν προτάσεις διδασκαλίας θεμάτων μεθοδολογίας της επιστήμης και καταλήγουν σε ερωτήματα και όχι σε απαντήσεις. Παρόλο που στο πλαίσιο των διδακτικών μας παρεμβάσεων που είχαν τη μορφή των πειραματικών διαλέξεων, τέτοια ερωτήματα έμειναν για λίγο διάστημα ανοιχτά, οι συμμετέχοντες είχαν την ευκαιρία να κατανοήσουν ότι εντοπίζαμε το ενδιαφέρον στην *οδό για την απάντηση* περισσότερο από ότι στην *ίδια την απάντηση*. Μέσα από τις οδηγίες σχεδιασμού προγραμμάτων μελέτης και ανάδειξης της φύσης της επιστήμης, που προτείναμε ως δραστηριότητες εμβάθυνσης στο περιεχόμενο των πειραματικών διαλέξεων, δείξαμε τρόπους με τους οποίους η έμφαση σε τέτοια ανοιχτά ερωτήματα μπορεί να καλλιεργηθεί

περισσότερο.

Μέσα από τη συζήτηση που προηγήθηκε και τα παραδείγματα που παρατέθηκαν, θελήσαμε να διαφοροποιήσουμε μια ακόμη φορά τη διδασκαλία των αποτελεσμάτων της επιστήμης, που περιλαμβάνουν συνήθως τα διδακτικά εγχειρίδια από τη διδασκαλία της επιστημονικής μεθόδου. Ενώ η πρώτη αποτελεί ένα σύνολο συμπερασμάτων, η δεύτερη θα πρέπει να αποτελέσει ένα σύνολο απορριών και σχεδίων διερεύνησής τους. Η συμπληρωματική διδασκαλία και των δύο θεωρούμε ότι, από τη μια μεριά, μπορεί να προσφέρει μια πολύ περισσότερο ολοκληρωμένη εικόνα για το *τι είναι η επιστήμη*, ενώ, από την άλλη, μπορεί να κάνει πιο δημιουργικούς τους μαθητές απέναντί της.

Επιπλέον, μια προοπτική, κατά την οποία οι ίδιοι οι μαθητές καθοδηγούνται να χρησιμοποιούν ή να επινοούν μεθόδους, για να ελέγξουν τις ιδέες τους αποφεύγει το βασικό μειονέκτημα του εποικοδομητισμού, δηλαδή, το γεγονός ότι προσδίδει στο επιστημονικό αντικείμενο αβεβαιότητα και στη διδασκαλία της επιστήμης αμφιλεγόμενη αξία (βλ. *ενότητα 3.2.4*). Όταν οι ιδέες των μαθητών δεν συσχετίζονται απλά με τις μεταβαλλόμενες ιδέες των επιστημόνων, αλλά τους δίνονται τα εργαλεία, ώστε να τις θέσουν σε έλεγχο μέσα από την ανάπτυξη λογικής επιχειρηματολογίας ή πειραματικής πρακτικής, τότε ο αβέβαιος χαρακτήρας των υποθέσεών τους και των συμπερασμάτων της επιστήμης υποχωρεί δίνοντας τη θέση του στον σταθερότερο χαρακτήρα των μεθόδων ανοικοδόμησης της επιστημονικής σκέψης και πρακτικής. Μέσα από την αξιοποίηση μιας τέτοιας διδακτικής μεθοδολογίας, αναιρείται και η αντιφατικότητα ενός προγράμματος σπουδών ή σχεδίου μαθήματος που επιδιώκει, ταυτόχρονα, την προβολή του μεταβλητού χαρακτήρα της επιστημονικής γνώσης και την ανάδειξη διαχρονικών δομικών στοιχείων της. Έτσι, παρόλο που οι μαθητές οδηγούνται στο να διακρίνουν ότι οι υποθέσεις και τα συμπεράσματα της επιστήμης μεταβάλλονται, οδηγούνται ταυτόχρονα στο να αισθανθούν τον περισσότερο ρεαλιστικό χαρακτήρα που ορισμένα δομικά χαρακτηριστικά του επιστημονικού συλλογισμού (Psillos 1999 σελ.115-145[367], Ψύλλος 2008 σελ.57-58[368]) ή αποτελέσματα της πειραματικής πρακτικής (Hacking 1983/2002[67]) εμφανίζουν.

Έτσι, συμφωνώντας κι εμείς με την άποψη των Grandy & Duschl (Grandy & Duschl 2007[140]) (βλ. *ενότητα 3.3.2*), θεωρούμε ότι ένας από τους πιο ενδεδειγμένους τρόπους, για να βιωθεί κάτι τέτοιο είναι τα δομικά αυτά χαρακτηριστικά να γίνουν εργαλεία συνομιλίας μεταξύ μαθητών με διαφορετικές απόψεις, εργαλεία οικοδόμησης λογικών επιχειρημάτων, έκφρασης αντιπαραθέσεων ή, ακόμα, «συνομιλίας» των ίδιων των μαθητών με τις ιδέες τους μέσα από τη χρήση του πειράματος, της ανάλυσης και της κρίσης των πειραματικών αποτελεσμάτων.

10.3. Αξιοποιώντας την ιστορία της επιστήμης

10.3.1. Προβάλλοντας το σύνθετο χαρακτήρα της επιστημονικής εξέλιξης

Όπως διαφαίνεται μέσα από τη συζήτηση της ενότητας που προηγήθηκε, όσο και μέσα από την όλη περιγραφή της διδακτικής μας πρότασης, επιχειρήσαμε κι εμείς, ακολουθώντας την πρόταση του Peter Galison (Galison 1988[10]) να αναδείξουμε τον σύνθετο χαρακτήρα της επιστημονικής εξέλιξης που

συναρθρώνεται μέσα από στοιχεία συνέχειας και ασυνέχειας.

Για το σκοπό αυτό αντιπαραθέσαμε:

- τη μεταβολή των επιστημονικών ιδεών με τη σταθερότητα του πλαισίου της λογικής ανάλυσης και αιτιολόγησης, όπως στην περίπτωση της ανάγνωσης από τον Γαλιλαίο του Αριστοτέλη (βλ.ενότητες *7.4.1, 7.4.2, 8.1.2, 8.2.2, 8.5.1*), και
- τη μεταβολή του θεωρητικού πλαισίου με τη σταθερότητα της πειραματικής ιδέας, όπως στην περίπτωση της ανάγνωσης από τον Torricelli του πειράματος του Berti (βλ. *ενότητες 7.4.2, 8.2.3, 8.2.4, 8.5.2*).

Για το σκοπό αυτό επίσης φωτίσαμε:

- την αξιοποίηση του πειράματος ως μέσου διάρρηξης του θεωρητικού πλαισίου, όπως στην περίπτωση πειραμάτων του Boyle για τη διατήρηση της φλόγας στο κενό (*7.4.6, 8.3.4, 8.5.2*).
- τη συνέχεια των πειραματικών τεχνικών μέσα από τη διάχυσή τους στην καθημερινή ζωή, ως μέσου για την επανερμηνεία αρχαίων επιστημονικών κειμένων, όπως στην περίπτωση της ανάγνωσης του Αρχιμήδη από τον Γαλιλαίο (βλ. ενότητες *7.4.9, 8.4.1, 8.5.2*).
- τη διαφοροποίηση των πειραματικών τεχνικών ως ενδείξεων διαφοροποίησης του θεωρητικού πλαισίου, όπως στην περίπτωση της μελέτης τον 16^{ο} αιώνα των μεσαιωνικών πειραμάτων για το κενό (βλ. *ενότητες 8.2.1, 8.5.2*).

Για τον ίδιο επίσης σκοπό φωτίσαμε:

- στοιχεία της εξέλιξης των επιστημονικών οργάνων και πειραμάτων, μέσα από την ανάδειξη της σύνδεσής τους, όχι μόνο με στοιχεία του θεωρητικού επιστημονικού πλαισίου, αλλά και με στοιχεία των αλληλεπιδράσεων επιστήμης – τεχνολογίας και πολιτισμού (βλ.*ενότητες 7.4.3, 7.4.9, 8.5.4, 9.3, 9.5, 9.7*).

10.3.2. Η ιστορία της επιστήμης ως δεξαμενή για την εισαγωγή θεμάτων μεθοδολογίας της επιστήμης στη διδασκαλία

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας προτείναμε η ιστορία της επιστήμης να αποτελεί τη δεξαμενή για την ανάδειξη θεμάτων μεθοδολογίας της επιστήμης.

Έτσι, η διαδικασία διαμόρφωσης, διατύπωσης και επεξεργασίας αποριών, που κινητοποιήσαμε ως άξονες διερεύνησης του επιστημονικού περιεχομένου, είχε ως αναφορά επεισόδια από την ιστορία της επιστήμης. Με αυτόν τον τρόπο επιδιώξαμε να δώσουμε την ευκαιρία στους μαθητές να αισθανθούν ότι μπορούν με ενεργητικό τρόπο να προσεγγίσουν την επιστημονική γνώση, χρησιμοποιώντας κάποια από τα εργαλεία που ιστορικά χρησιμοποίησε η επιστημονική κοινότητα.

Παράλληλα, προσπαθήσαμε να δείξουμε ότι το φως που η ιστορία της επιστήμης ρίχνει σε θέματα μεθοδολογίας του πειράματος μπορεί να λειτουργήσει ως άξονας για την οικοδόμηση προτάσεων

πειραματικής έρευνας, τα οποία, παρόλο που σπανίζουν σήμερα στα ελληνικά σχολεία, εύκολα θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν στα προγράμματα σπουδών όλων των τάξεων, ως σχέδια διαθεματικών δράσεων.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας δείξαμε τρόπους με τους οποίους οι μαθητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν την ***πειραματική μέθοδο***, για να ελέγξουν μόνοι τους τις ***αρχικές τους πεποιθήσεις*** και να καταλήξουν, είτε σε σαφή απάντηση, είτε στη διαπίστωση της ύπαρξης κάποιου γρίφου. Προτείναμε να αξιοποιηθούν δημιουργικά, όχι μόνο οι άμεσες απαντήσεις που το πείραμα μπορεί να προσφέρει (βλ. για παράδειγμα το παράδειγμα της πτώσης στο σωλήνα του Νεύτωνα, *ενότητα 7.4.1* & *8.1.5*), αλλά και οι γρίφοι (όπως το παράδειγμα του ήχου στο κενό που περιγράψαμε στις *ενότητες 7.4.5, 8.3.3*) μέσα από τους οποίους μπορεί να αποκαλυφθεί στην πράξη το ότι ένα πείραμα μπορεί να αποτελεί μια διαδικασία που να περιλαμβάνει αποφάσεις, σχεδιασμό, τεχνική και βελτιώσεις μέχρι να μπορέσει να οδηγήσει σε οποιοδήποτε συμπέρασμα.

Σε άλλες περιπτώσεις προσπαθήσαμε να δείξουμε με δραστηριότητες, που ο σχεδιασμός τους εμπνέεται από ιστορικά πειράματα, τρόπους με τους οποίους οι μαθητές μπορούν να διαπιστώσουν τα ***όρια*** στα οποία ***η ανάλυση των πειραματικών δεδομένων*** μπορεί να οδηγήσει. Έτσι, στην περίπτωση του πειράματος της ελεύθερης πτώσης (βλ. *ενότητες 7.4.1 & 8.1.5*) προτείναμε οι μαθητές να αξιοποιήσουν τη διαδικασία της παραγωγής πειραματικών τεκμηρίων μέσα από τη χρήση βιντεοσκοπημένων πειραμάτων στη γη και στη σελήνη για τη μελέτη του φαινομένου και την επεξεργασία με αυτόν τον τρόπο των ιδεών τους. Οπωσδήποτε μια τέτοια διερεύνηση δεν μπορεί να καταλήξει στο *νόμο του Νεύτωνα*. Μπορεί, ωστόσο, να δώσει αρκετές απαντήσεις, για τους παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο της πτώσης και να δείξει την απόσταση που χωρίζει μια ιδιοφυή σύλληψη όπως του Νεύτωνα από τον δικό μας επαγωγικό τρόπο σκέψης, οδηγώντας, μέσα από τη διαδικασία αυτή, σε στοχασμό για τη φύση της επιστήμης.

Σε πολλές περιπτώσεις προσπαθήσαμε να επινοήσουμε εκπαιδευτικά σενάρια που να φωτίζουν το γεγονός ότι, μέσα στη σημερινή σχολική τάξη, όπως και στην ιστορική επιστημονική σκηνή, είναι δυνατόν απέναντι σε συγκεκριμένα παρατηρησιακά δεδομένα να διατυπωθούν εναλλακτικές εξηγήσεις (όπως είναι για παράδειγμα η εναλλακτική εξήγηση της αιτίας του πειράματος του Torricelli ή της «βεντούζας στον τοίχο» στο βάρος του αέρα ή στη «δύναμη του κενού» – βλ. *ενότητες 7.4.2, 7.4.3, 7.7.2, 8.2*). Ακόμα, αξιοποιώντας διδακτικά το γεγονός ότι, ιστορικά, οι εναλλακτικές εξηγήσεις ενός φαινομένου οριοθετούν ένα πρόβλημα, το οποίο η ανάπτυξη πειραματικής μεθοδολογίας συχνά διαλευκαίνει μέσα από λεπτές ή και ριζικές διαφοροποιήσεις στις πειραματικές συσκευές, προτείναμε να οργανωθούν σχέδια εργασίας που να επιδιώκουν την παραγωγή εναλλακτικών πειραματικών διατάξεων για την αποσαφήνιση τέτοιων πολυπαραγοντικών φαινομένων (βλ.*ενότητες 8.1.2, 8.2.1, 8.4.1, 8.4.3)*.

10.3.3. Η ιστορία της επιστήμης και οι ιδέες των μαθητών

Στο πλαίσιο της διδακτικής μας πρότασης οι ιδέες των μαθητών αξιοποιήθηκαν ως αφορμή για τον εμπλουτισμό της διδασκαλίας με ιστορικά επιστημονικά επεισόδια που έδωσαν την ευκαιρία οι ιδέες αυτές να αναλυθούν και να συζητηθούν. Παράλληλα, όμως, η ιστορία της επιστήμης μας έδωσε πολύ συχνά την ευκαιρία να αποκωδικοποιήσουμε και να κατανοήσουμε τις ιδέες αυτές.

Έτσι, για παράδειγμα, το γεγονός ότι ο Tyndall ξεκινά τη διάλεξή του αντιμετωπίζοντας την ιδέα του ακροατηρίου ότι *ο αέρας έχει μπλε χρώμα* μας βοήθησε να κατανοήσουμε πολλές από τις απαντήσεις των δικών μας μαθητών, που φαντάστηκαν ότι ο *ουρανός θα αποχρωματιστεί χωρίς αέρα* (βλ.ενότητες *7.3.13, 8.4.7*).

Ομοίως, η διαπίστωση ότι κατά τον αναβρασμό του νερού σε περιβάλλον μειωμένης πίεσης, οι επιστήμονες δεν μπορούν εύκολα να αποδώσουν τις φυσαλίδες αυτές στο βρασμό του νερού, αλλά φαντάζονται ότι το φαινόμενο μπορεί να οφείλεται στην ύπαρξη αέρα (βλ. *ενότητα 8.3.6*) μας βοήθησε να κατανοήσουμε πολλές από τις ιδέες των δικών μας μαθητών, οι οποίοι, όταν, στο μάθημα της Χημείας, πρωτομελετούν τα φαινόμενα βρασμού, δεν αποδίδουν πάντα τις φυσαλίδες σε υδρατμούς αλλά σε πλήθος άλλων πραγμάτων, όπως αέρα ή οξυγόνο.

Σε άλλες περιπτώσεις, όπως στα θέματα που αναφέρονται στο βάρος του αέρα (βλ. *ενότητες 7.3.6, 8.4.1*), στο κενό (βλ. *ενότητες 7.3.12, 7.4.2, 8.2*), στην πτώση των σωμάτων (βλ. *ενότητες 7.3.3, 7.3.4, 7.4.1, 8.1, 8.4.4*) , η μελέτη της ιστορίας της επιστήμης μας έδειξε πόσο περίπλοκα δομημένες μπορεί να είναι οι ιδέες πάνω στα φαινόμενα αυτά, πόσες αποχρώσεις μπορούν να πάρουν, πόσο πολυπαραγοντικά μπορεί να είναι τα πειραματικά δεδομένα που σχετίζονται με τη μελέτη των αντίστοιχων φαινομένων και πώς αυτά μπορεί να οδηγούν σε διαφορετικές και αντιφατικές απαντήσεις.

10.4. Αξιοποιώντας τη φιλοσοφία της επιστήμης

10.4.1. Προβάλλοντας τη φύση του πειράματος και των ιστορικών επιστημονικών οργάνων

Μία από τις κύριες επιδιώξεις της παρούσας εργασίας υπήρξε ο σχεδιασμός και η εφαρμογή δράσεων με στόχο την ανάδειξη της φύσης των επιστημονικών οργάνων.

Ανάμεσα σε αυτές προτείναμε:

- την ιχνηλασία της υλικής επιστημονικής κουλτούρας (βλ. για παράδειγμα *ενότητες 9.5, 9.8, 9.12.1, 8.2.5, 8.3.2, 8.4.1*).
- την οργάνωση δράσεων που αναδεικνύουν τον αντικειμενοποιητικό ρόλο των επιστημονικών οργάνων (βλ. κυρίως πειραματικές δράσεις *ενότητας 7.4*).
- την επινόηση διαδικασιών που να αναδεικνύουν το γεγονός ότι τα επιστημονικά όργανα ενσωματώνουν την έννοια του κοινού (βλ. κυρίως *ενότητες 9.7, 9.9, 7.4.3, 7.4.5)*.

- τη διερεύνηση της ιστορικής εξέλιξης πειραμάτων και συσκευών μέσα από τη μελέτη και ανακατασκευή διαφορετικών εκδοχών τους (βλ. για παράδειγμα *ενότητες 7.4.2, 8.4, 9.7.2, 9.5, 9.8)*.
- την επινόηση διαδικασιών που να αναδεικνύουν τις συνδέσεις ανάμεσα στα επιστημονικά όργανα και τη λαϊκή επιστημονική κουλτούρα (βλ. για παράδειγμα *ενότητες 9.3.6, 9.3.7, 9.7.1, 9.7.3, 9.7.4, 9.9, 7.4.3, 8.4.2, 8.4.7*).

Παράλληλα, μέσα από την παρούσα εργασία και με αφορμή το περιεχόμενο του εφαρμοσμένου προγράμματος επιδιώξαμε να δώσουμε κατευθύνσεις για το σχεδιασμό δραστηριοτήτων που αποσκοπούν στην ανάδειξη της φύσης του πειράματος. Για το σκοπό αυτό προτείναμε ως άξονες αυτών:

- την εμπειρική εξερεύνηση των πειραμάτων ως διαδικασιών (βλ.κυρίως *ενότητες 8.1.3, 8.3.3, 8.4.1*).
- την ανάδειξη και εμπειρική εξερεύνηση της σύμπλεξης μεταξύ θεωρίας και πειράματος (βλ. για παράδειγμα *ενότητες 8.1.2, 8.2.1*).
- τον εντοπισμό και εξερεύνηση διαφορετικών ειδών πειραμάτων, όπως πειράματα που οδηγούν τη θεωρία ή την ακολουθούν.
- τον εντοπισμό, επιτυχών, αποτυχημένων ή εξελισσόμενων πειραμάτων.
- τον εντοπισμό περιπτώσεων στις οποίες θέματα τεχνολογίας ή κοινωνίας επηρεάζουν την εξέλιξη των πειραμάτων.

10.4.2. Ανακαλύπτοντας τα ιστορικά πειράματα μέσα από τη διαδικασία αναπαράστασής τους

Παρά την κριτική που διατυπώνεται στην ανακαλυπτική μάθηση ως διαδικασία που μπορεί να αποκαλύψει το μονοπάτι που ιστορικά ακολούθησαν οι επιστήμονες, αν εκτεθεί μπροστά σε παρόμοια πειραματικά δεδομένα (βλ. *ενότητα 3.1.2*), η εμπειρία του σχεδιασμού και εφαρμογής της συγκεκριμένης διδακτικής πρότασης αποτέλεσε έμπρακτη απόδειξη παρόμοιων δυνατοτήτων.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτέλεσε για εμάς το πείραμα του βρασμού του νερού, το οποίο εισάγαμε στο εκπαιδευτικό υλικό, χωρίς να έχουμε, αρχικά, υπόψη μας τα αντίστοιχα ιστορικά πειράματα. Έτσι, αρχικά, αναπτύξαμε στο πλαίσιο της πειραματικής διάλεξης: *«Πώς θα ήταν γη χωρίς αέρα;»* την υποενότητα: *«Η εξαφάνιση της θάλασσας»* με βάση ερωτήματα και απαντήσεις από την καθημερινή ζωή. Όταν, αργότερα, ανακαλύψαμε τα ιστορικά πειράματα, διαπιστώσαμε, με έκπληξη, πόσο κάποιες από τις δικές μας πειραματικές κατευθύνσεις συνέκλιναν με τις αντίστοιχες ιστορικές. Όπως και στη δική μας παρουσίαση, στα ιστορικά πειράματα που πραγματοποιούνται από τα μέλη της Accademia del Cimento ή από τον Boyle, το γεγονός ότι η θερμοκρασία της αντλίας δεν αυξάνεται παρά το βρασμό του νερού γίνεται αντικείμενο εκτεταμένων συζητήσεων (βλ. *ενότητες 7.4.8* & *8.3.6*).

Ακόμα, προετοιμάζοντας την πειραματική διάλεξη βρισκόμασταν συχνά στη «δυσάρεστη» θέση να θερμαίνουμε το νερό πριν να το εισάγουμε στην αντλία κενού, όταν διαπιστώναμε ότι αυτό δεν μπορούσε εύκολα να βράσει. Οπωσδήποτε, αυτό στερούσε μέρος της θεαματικότητας του πειράματος,

το οποίο μάλιστα εισάγονταν με την ερώτηση «μπορώ να βράσω το νερό χωρίς να το θερμάνω;» και μας οδήγησε στο να βελτιώσουμε την ικανότητα της αντλίας κενού, ώστε να το αποφύγουμε. Έτσι, ανακαλύψαμε με ιδιαίτερη ευχαρίστηση ότι στα αντίστοιχα ιστορικά πειράματα γίνεται, επίσης, συζήτηση για το γεγονός ότι τα *θερμά υγρά* φέρονται ευκολότερα σε κατάσταση αναβρασμού, όταν τίθενται σε συνθήκες μειωμένης πίεσης, σε σύγκριση με το *ψυχρό νερό*, που χρειάζεται υψηλότερης ποιότητας κενό, για να βράσει (βλ. *ενότητες 7.4.8* & *8.3.6*).

10.5. Αξιοποιώντας τα ιστορικά επιστημονικά όργανα

Παρόλο που η μορφή που δώσαμε στις πειραματικές διαλέξεις τις καθιστούν εκπαιδευτικό υλικό που θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε διαφορετικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα, θα θέλαμε να επισημάνουμε ότι θα ήταν αδύνατον αυτές να έχουν γεννηθεί οπουδήποτε. Εκ των υστέρων, είμαστε σε θέση να κατανοούμε ότι, η παρουσία των ιστορικών οργάνων λειτούργησε, εμπνέοντας, το ύφος τους και προσδίδοντας τους κάτι από «το θαυμασμό προς την επιστήμη» και τη «φιλικότητα προς το κοινό», που συγκέντρωνε η διδασκαλία της επιστήμης τον 19^{ο} αιώνα.

Το γεγονός αυτό αποτελεί, για εμάς, έμπρακτη επιβεβαίωση του επιχειρήματος ότι τα ιστορικά επιστημονικά όργανα αποτελούν πλούσια πηγή ερεθισμάτων για την επιστημονική διδασκαλία, γιατί, όπως εξηγεί ο Paolo Brenni (Brenni 2008[48]), από τη μια μεριά είναι διαφανή σε σχέση με τα νεώτερα «μαύρα κουτιά» και από την άλλη λειτουργούν σαν «μηχανές του χρόνου» μεταφέροντας περιεχόμενα από την ιστορία της επιστήμης και τη διδασκαλία της *(βλ. ενότητα 4.1)*.

Έτσι, μέσα από την εργασία αυτή, επιθυμούμε να τεθούμε έμπρακτα υπέρ της διάσωσης και ανάδειξης της ιστορικής αυτής κληρονομιάς.

Παράλληλα, θεωρούμε ότι μέσα από τη διδακτική μας παρέμβαση έχουμε απαντήσει στην επισήμανση του Paolo Brenni (Brenni 2008[48]), ότι η απλή επαναχρησιμοποίηση των ιστορικών επιστημονικών οργάνων στην εκπαιδευτική πράξη, μπορεί μεν να εντυπωσιάζει, αλλά, ταυτόχρονα, παραμένει επιφανειακή και θέτει σε κίνδυνο τις συσκευές ή ακόμα και το κοινό, όταν αναπαρίστανται πειράματα που θεωρούνται απαγορευμένα για τις σημερινές συνθήκες ασφαλείας. Η απάντησή μας βρίσκεται καταρχήν στο γεγονός ότι ο συνδυασμός της αξιοποίησης των ιστορικών οργάνων με παράλληλη μελέτη των ιστορικών επιστημονικών κειμένων καθιστά τα όργανα εύγλωττους μάρτυρες, όχι μόνο των επιστημονικών αρχών που ενσωματώνουν, αλλά και θεμάτων της ιστορίας, της μεθοδολογίας και της φύσης της επιστήμης. Παράλληλα, ο συνδυασμός της βιντεοσκόπησης των ιστορικών οργάνων με τη χρήση σύγχρονα κατασκευασμένου εξοπλισμού για την παρουσίαση των ίδιων φαινομένων μπροστά στο κοινό αποτελούν λύσεις για το πώς τα όργανα μπορούν να αξιοποιηθούν με ασφάλεια για τα ίδια και τους σημερινούς πειραματιστές.

10.6. Προοπτικές ένταξης των προτάσεων που περιγράφηκαν στην εκπαιδευτική διαδικασία

10.6.1. Σημερινές δυνατότητες

Όπως περιγράφηκε στην *ενότητα 3* και ειδικότερα στην *υποενότητα 3.5*, η διδακτική πρόταση που συνθέσαμε συνάδει με τη γενική ιδέα, που υπάρχει σε διεθνές επίπεδο, εμπλουτισμού της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών με στοιχεία που να αναδεικνύουν τη φύση της επιστήμης, όπως και με δραστηριότητες άτυπης επιστημονικής εκπαίδευσης.

Στην Ελλάδα, στην παρούσα φάση, η συγκεκριμένη διδακτική πρόταση μπορεί να βρει εφαρμογή με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Ο πρώτος είναι η τμηματική εισαγωγή των πειραματικών διαλέξεων στα μαθήματα των φυσικών επιστημών, στις τάξεις όπου έχει εγκατασταθεί εξοπλισμός για πολυμεσικές εφαρμογές. Ο δεύτερος είναι η αξιοποίησή τους από τα *Εργαστηριακά Κέντρα Φυσικών Επιστημών* για την επιμόρφωση των καθηγητών. Ο τρίτος συνίσταται στην κατασκευή μαθημάτων βασισμένων στην ανακαλυπτική μάθηση με βάση τις προδιαγραφές που δίνονται στην *ενότητα 8* στο πλαίσιο των εργασιών πειραματικής έρευνας που εισάγονται από το 2011 στο νέο λύκειο. Ο τέταρτος είναι η συνέχιση της ίδιας εφαρμογής στο *Μουσείο Φυσικής της Χίου* ή σε μουσεία με παρόμοιες συλλογές επιστημονικών οργάνων.

Η περιορισμένη εφαρμογή που μέχρι σήμερα είχε η διδακτική πρόταση έδειξε, ότι μπορεί να υπηρετήσει με επιτυχία το αίτημα, τα προγράμματα επιστημονικής εκπαίδευσης να μπορούν να απευθύνονται σε όλους τους μαθητές. Κι αυτό γιατί, καταρχήν, ένα μέρος της πρότασης απευθύνεται στο μέσο επίπεδο επιστημονικού αλφαβητισμού και στο ευρύ κοινό. Παράλληλα, η διδακτική πρόταση συνοδεύεται από υποδείξεις και παραδείγματα για την προσαρμογή της σε διάφορα επίπεδα επιστημονικού αλφαβητισμού. Το τελευταίο αποτελεί ένα επιπλέον εργαλείο για την ευέλικτη αξιοποίησή της μέσα από την κατάλληλη προσαρμογή της σε διαφορετικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα. Έτσι, από τη μια μεριά συνιστά πρόταση εκλαΐκευσης των επιστημονικών θεμάτων, ενώ, ταυτόχρονα, μπορεί να μετατραπεί σε εξειδικευμένη μελέτη θεμάτων της φύσης και της μεθοδολογίας της επιστήμης.

10.6.2. Μελλοντικές προοπτικές

Η παρούσα πρόταση έχει πολλά περιθώρια εξέλιξης, ως άξονας σύνθεσης προγραμμάτων δια βίου μάθησης μέσα στο ίδιο ή σε άλλο ιστορικό επιστημονικό μουσείο. Και ο λόγος, γι αυτό, είναι ότι υπάρχει, σήμερα, δυνατότητα πολύ πιο πλούσιας και εύκολης χρήσης των νέων τεχνολογιών σε σύγκριση με την εποχή που η συγκεκριμένη διδακτική πρόταση άρχισε να συντίθεται. Τότε, είχαμε στη διάθεσή μας διαδίκτυο με πολύ χαμηλές ταχύτητες και υπολογιστή που χρειαζόταν 20 με 40 λεπτά για κάθε τρίλεπτο βίντεο, το οποίο έπρεπε να μετατραπεί σε ψηφιακό από αναλογικό με τη βοήθεια άλλης, επίπονης, τεχνικά, και χρονοβόρας διαδικασίας.

Παράλληλα, η εμπειρία που η παρούσα εργασία διαχέει ως προς την οργάνωση εκπαιδευτικών δράσεων σε τοπικό, εθνικό και διεθνές επίπεδο καθιστά ρεαλιστική την αξιοποίησή της ως άξονα για την ανάπτυξη εκπαιδευτικών προγραμμάτων με κέντρο ιστορικά επιστημονικά όργανα σε διάφορα εκπαιδευτικά περιβάλλοντα και πλαίσια. Χωρίς το ιστορικό επιστημονικό μουσείο να παύει να αποτελεί το ιδανικό περιβάλλον για κάτι τέτοιο, θεωρούμε πρόκληση τη δυνατότητα ανάπτυξης ευρωπαϊκών συνεργασιών με θέμα την εξερεύνηση ιστορικών επιστημονικών μουσείων και πειραμάτων, στο πλαίσιο των διαθεματικών προσεγγίσεων του νέου λυκείου, είτε στο πλαίσιο του μαθήματος της τεχνολογίας το οποίο μπορεί να αναπτυχθεί σε κατευθύνσεις ιστορίας των επιστημών.

Όπως εύκολα μπορεί να παρατηρήσει κανείς, πολλές από τις δράσεις που προτείναμε ως μαθητοκεντρικά προσανατολισμένα σχέδια εργασίας και πειραματικής έρευνας, απαιτούν ένα περιβάλλον διδασκαλίας των φυσικών επιστημών και της τεχνολογίας, που σπανίζει στον ελληνικό εκπαιδευτικό χώρο. Οι έλληνες εκπαιδευτικοί σπάνια έχουν την πολυτέλεια να τους καλύπτουν οι υποδομές και οι εκπαιδευτικοί θεσμοί, ώστε να μπορούν μετατρέπουν την εκπαιδευτική διαδικασία σε δημιουργική πράξη. Ο αντίκτυπος στους μαθητές είναι ο υψηλός βαθμός απειθαρχίας, η έλλειψη πραγματικού ενδιαφέροντος και η μανία καταστροφής αντί δημιουργίας, μέσα στο σχολικό περιβάλλον. Από την ελληνική εκπαιδευτική διαδικασία λείπει η δυνατότητα των μαθητών να απορροφούνται από το αντικείμενο που εξετάζουν. Η κουλτούρα που επιτρέπει στους μαθητές της Γερμανίας να κρατούν σημειώσεις περιπλανώμενοι ανάμεσα στα εκθέματα του Deutsches Museum χρειάζεται, ίσως, πολλά χρόνια προσοχής και επιμονής στην επιστημονική εκπαίδευση, για να δημιουργηθεί και στη χώρα μας. Στο θέμα αυτό, ωστόσο, θεωρούμε, ότι η παρούσα εργασία μπορεί να συμβάλει.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

α/α	**Ξενόγλωσσος όρος**	**Ελληνικός Όρος**
1	historical scientific instruments	ιστορικά επιστημονικά όργανα
2	contextual science teaching (Stinner & Williams 1998[259])	ολιστική διδασκαλία των φυσικών επιστημών
3	science communication	επικοινωνία της επιστήμης
4	masterpieces of science (Sichau 2007[3], Weber 2002[4])	αριστουργήματα της επιστήμης
5	teaching collection (Lourenco 2005[102])	ιστορικά όργανα για εκπαιδευτική χρήση
6	informal science education	άτυπη επιστημονική εκπαίδευση
7	non formal science education	μη τυπική επιστημονική εκπαίδευση
8	formal science education	τυπική επιστημονική εκπαίδευση
9	inquiry / discovery learning	ανακαλυπτική μάθηση, μάθηση ως ανακάλυψη
10	constructivism	εποικοδομητισμός
11	experimental philosophy (Shapin 1984[12], Taub 2009[57])	πειραματική φιλοσοφία
12	museum studies	μουσειακές σπουδές
13	scientific instruments (Van Helden 1983[55], Warner 1990[56], Taub 2009[57])	επιστημονικά όργανα
14	philosophical instruments (Warner 1990[56], Taub 2009[57])	φιλοσοφικά όργανα
15	mathematical instruments (Warner 1990[56], Taub 2009[57])	μαθηματικά όργανα
16	engineering instruments (Warner 1990[56], Taub 2009[57])	όργανα των μηχανικών
17	optical instruments (Warner 1990[56], Taub 2009[57]	οπτικά όργανα
18	natural magic)	φυσική μαγεία
19	matters of fact (Shapin 1984[12])	αντικειμενικά γεγονότα
20	Baconian sciences (Kuhn 1977a[76], Arabatzis 2005[17])	Βακωνικές επιστήμες
21	instruments à l'usage des sciences (Taub 2009[57])	όργανα για επιστημονική χρήση
22	wissenschaftliche instrumente (Taub 2009[57])	όργανα για επιστημονική χρήση
23	scientific instrument makers (Taub 2009[57])	κατασκευαστές επιστημονικών οργάνων
24	instruments relating to natural philosophy (Van Helden & Hankins 1994[58])	όργανα σχετικά με τη φυσική φιλοσοφία
25	instruments relating to the mathematics philosophy (Van Helden & Hankins 1994[58])	όργανα σχετικά με τα μαθηματικά
26	physical science (Ritchie & Sons 1860[78])	φυσική επιστήμη
27	magic lantern (Ritchie & Sons 1860[78], Charles-Chevalier 1860 σελ.30[80])	μαγικός φανός
28	fantasmagories (Charles-Chevalier 1860 σελ.30[80])	φαντασμαγορίες
29	armillary spheres (Jones 1822[79])	μοντέλα του γεωκεντρικού συστήματος
30	scientific cultures (Bensaude-Vincent & Blondel 2008[13]	διάφορα είδη επιστημονικής κουλτούρας
31	itinerant lecturers (Milburn 1983[89], Teichmann et al.2004[252], 2006[253]) /itinerant demonstrators (Bertucci 2008[92])	πλανόδιοι διοργανωτές πειραματικών διαλέξεων
32	public lecturers (Bensaude-Vincent & Blondel 2008[13])	διοργανωτές δημοσίων διαλέξεων και πειραμάτων

33	public demonstrators (Bensaude-Vincent & Blondel 2008[13])	διοργανωτές πειραμάτων για το κοινό
34	laughing gas	ιλαρυντικό αέριο
35	empiricist philosophy (Galison 1988[10], Psillos 2007[143])	εμπειριστική φιλοσοφική προσέγγιση
36	heuristic methods of teaching (Armstrong 1903[136])	ευρετικές μέθοδοι διδασκαλίας
37	genetic method (Matthews 1994[99])	γενετική μέθοδος
38	Arbeitschule (Πιαζέ1988/1999[135])	σχολείο εργασίας ή ενεργητικό σχολείο
39	interactive exhibits (Weber 2002[4])	διαδραστικά εκθέματα
40	lecture demonstration (Taylor 1988[16])	πειραματική διάλεξη
41	causerie expérimentale (Turner 2002[137])	πειραματική διάλεξη
42	anatomical theater (Lourenco 2005[102])	(αμφι)θέατρο ανατομίας
43	historiography / historiographical (Galison 1988[10])	ιστοριογραφία / ιστοριογραφικός
44	positivism, positivist (Galison 1988[10])	θετικισμός, θετικιστικός
45	antipositivist, antipositivism (Galison 1988[10])	αντιθετικισμός, αντιθετικιστικός
46	modern, postmodern (Galison 1988[10])	μοντέρνος, μεταμοντέρνος
47	postpositivist (Phillips 2004[177])	μεταθετικιστικός
48	'objective' facts (Elkana 2000[142])	«αντικειμενικά» δεδομένα
49	'proved' laws of nature (Elkana 2000[142])	«αποδεδειγμένοι» νόμοι της φύσης
50	inductivist –realistic philosophy of science (Elkana 2000[142])	επαγωγική –ρεαλιστική φιλοσοφική προσέγγιση
51	logical positivism (Elkana 2000[142], Psillos 2007[143])	λογικός θετικισμός
52	mathematical positivism (Elkana 2000[142], Psillos 2007[143])	μαθηματικός θετικισμός
53	instrumentalist (instrumentalism) (Elkana 2000[142], Psillos 2007[143])	εργαλειακός (εργαλειοκρατία)
54	curriculum	αναλυτικό πρόγραμμα / πρόγραμμα σπουδών
55	psychological constructivism (Mathews 1994[94])	ψυχολογικός εποικοδομητισμός
56	genetic epistemology (Mathews 1994[94])	γενετική επιστημολογία
57	pre-existing ideas	προϋπάρχουσες αντιλήψεις
58	cognitive psychology (Mathews 1994[94])	γνωστική ψυχολογία
59	pragmatist (Glasersfeld 1989[156] χαρακτηρισμός του εποικοδομητισμού)	πραγματιστικός
60	idealist ontology (Mathews 1994[94] χαρακτηρισμός του εποικοδομητισμού)	ιδεαλιστική οντολογική προσέγγιση
61	historicist approach	ιστορικιστική προσέγγιση
62	conceptual change (Kitcher 1988[161], Glasersfeld 2001[158], White & Gunstone [170])	εννοιολογική αλλαγή
63	ontogeny (Kitcher 1988[161])	οντογένεια
64	philogeny (Kitcher 1988[161])	φιλογένεια
65 66 67 68	stages of constructivist teaching: orientation elicitation restructuring of ideas application of ideas (Driver & Oldam 1986[168])	στάδια της μεθόδου διδασκαλίας του εποικοδομητισμού: προσανατολισμός ανάδειξη ιδεών αναδόμηση ιδεών εφαρμογή ιδεών
69	epistemic ruptures (Galison 1988[10])	επιστημικά χάσματα
70	periodization models (Galison 1988[10])	μοντέλα περιοδολόγησης
71	universal basic propositions (Galison 1988[10])	καθολικές βασικές προτάσεις

72	experimentation (Galison 1988[10])	πειραματισμός
73	exploratory experimentation (Steinle 2002[175])	εξερευνητικός πειραματισμός
74	"theory-driven" experimentation (Steinle 2002[175])	θεωρητικά καθοδηγούμενος πειραματισμός
75	naturalistic (Matthews 2004a[176])	νατουραλιστικός
76	materialist (Matthews 2004a[176])	υλιστικός
77	phenomenalist (Matthews 2004a[176], Matthews 2004b[178])	φαινομεναλιστικός
78	epistemic tasks (Grandy & Duschl 2007[140])	επιστημικά ζητούμενα-στόχοι
79	context of discovery (Grandy & Duschl 2007[140])	πλαίσιο ανακάλυψης
80	context of justification (Grandy & Duschl 2007[140])	πλαίσιο θεμελίωσης
81	context of theory development (Grandy & Duschl 2007[140])	πλαίσιο ανάπτυξης μιας θεωρίας
82	context of conceptual modification (Grandy & Duschl 2007[140])	πλαίσιο τροποποίησης των επιστημονικών εννοιών
83	radical incommensurability between paradigms (Elfin et al. 1999[181])	ριζική ασυμβατότητα μεταξύ παραδειγμάτων
84	from diehard realism to radical constructivism (Rudolph 2000[184] – απόψεις για τη φύση της επιστήμης)	ακραίο ρεαλισμό μέχρι τον ριζοσπαστικό εποικοδομητισμό
85	hypothetico-deductive experiment driven science (Grandy & Duschl 2007[140])	υποθετικο-παραγωγική επιστημονική μέθοδος υποκαθοριζόμενη από το πείραμα
86	conceptual-change theory driven science (Grandy & Duschl 2007[140])	επιστημονική μέθοδος υποκαθοριζόμενη από τη διαδοχή εννοιολογικών σχημάτων
87	model-based driven science (Grandy & Duschl 2007[140])	επιστημονική μέθοδος που βασίζεται στην συνεπικράτηση εναλλακτικών μοντέλων
88	curriculum	αναλυτικό πρόγραμμα
89	nature of science	φύση της επιστήμης
90	historicist turn	ιστορικιστική στροφή
91	rationalism versus historicism (Elfin et al. 1999[181])	διαμάχη ανάμεσα στον ορθολογισμό και τον ιστορικικισμό
92	method of replication (Riess 1995[209], Heering 2003[219], Heering & Sichau 2005[231]	μέθοδος ανακατασκευής [ιστορικών επιστημονικών οργάνων και αναπαράστασης ιστορικών πειραμάτων]
93	replicating historical scientific instruments (Höttecke 2000[218], Heering 1992[216])	ανακατασκευή ιστορικών επιστημονικών οργάνων
94	redoing / replicating historical experiments (Riess 1995[209])	αναπαράσταση ιστορικών πειραμάτων
95	multimedia	πολυμέσα/ πολυμεσικές εφαρμογές
96	Cartesian diver (Raichvarg 2006[247])	Καρτεσιανός δύτης
97	Volta's pistol (Raichvarg 2006[246])	το πιστόλι του Volta
98	dioramas (Weber 2002[4])	διοράματα
99	hands-on experiments (Weber 2002[4])	εκθέματα που επιτρέπουν την εκτέλεση πειραμάτων
100	critical exploration (Cavicchi 2008a[215])	κριτική εξερεύνηση
101	historic-investigative method (Kipnis 1996[234])	ιστορικο-διερευνητική μέθοδος
102	cabinet de physique (Lourenco 2005[102], Andersson 2008[198])	αίθουσα φυσικής
103	camera obscura	σκοτεινός θάλαμος
104	cognitive conflict	γνωστική σύγκρουση
105	pre-organizer	προοργανωτής
106	fieldwork	μέθοδος έρευνας πεδίου
107	project method	μέθοδος σχεδίου εργασίας

108	inductive-deductive method (Losee 1972/2001[145])	επαγωγικο-απαγωγιστική μέθοδος
109	braccio/ braccia (Galilei 1638/1954[299], Galilei 1638/1989[337])	φλωρεντινός πήχης / πήχεις
110	crassitude / density of water (Galilei 1638/1989[337])	πυκνότητα (με τη φυσική έννοια και όχι με την έννοια του φυσικού μεγέθους)
111	heaviness (Galilei 1638/1989[337])	βαρύτητα (με τη φυσική έννοια του πόσο βαρύ είναι κάτι) και όχι με τη μεταγενέστερη Νευτωνική έννοια
112	specific gravity (Galilei 1638/1954[299], Galilei 1638/1989[337])	ειδικό βάρος
113	ratio (Galilei 1638/1954[299], Galilei 1638/1989[337])	αναλογία με την έννοια της σχέσης μεγέθους μεταξύ ομοίων φυσικών μεγεθών
114	inverse ratio (Galilei 1638/1954[299], Galilei 1638/1989[337])	αντίστροφη αναλογία αναφέρεται στη σύγκριση μεταξύ ομοίων φυσικών μεγεθών
115	differently resisting media (Galilei 1638/1954[299]) / mediums of differing resistances (Galilei 1638/1989[337])	μέσα διαφορετικής αντίστασης (στο διαχωρισμό)
116	more resistant media/ mediums (Galilei 1638/1954[299]/ Galilei 1638/1989[337])	μέσα που αντιστέκονται περισσότερο στο διαχωρισμό
117	more yielding mediums /media (Galilei 1638/1954[299], Galilei 1638/1989[337])	μέσα που επιτρέπουν τη διείσδυση ευκολότερα
118	absolute weight (Galilei 1638/1954[299], Galilei 1638/1989[337])	απόλυτο βάρος (αντιδιαστέλλεται με το πραγματικό βάρος το οποίο είναι μειωμένο σε σχέση με το απόλυτο κατά το βάρος ίσου όγκου του περιβάλλοντος το σώμα μέσου)
119	constantly and uniformly accelerated motion/ continually accelerated movement and always equally accelerated (Galilei 1638/1954[299]/ Galilei 1638/1989[337])	ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση
120	momentum/momenta (Galilei 1638/1954[299], Galilei 1638/1989[337])	ορμή
121	velocity/ degree of speed (Galilei 1638/1954[299]/ Galilei 1638/1989[337])	ταχύτητα
122	a medium more subtle than the air (Conant 1957/1966 [282] αναφερόμενος στη σχετική έρευνα του Boyle)	μέσον πιο λεπτοφυές από τον αέρα (αιθέρας)
123	nature abhors vacuum (Grant 1981[308])	η φύση αποστρέφεται το κενό
124	intracosmic space (Grant 1981[308])	ενδοκοσμικό κενό
125	imaginery space (Grant 1981[308])	υποθετικό κενό
126	extracosmic infinite space (Grant 1981[308])	εξωκοσμικό άπειρο κενό
127	the bellows (Grant 1981[308]-Schmitt 1967[311])	το πείραμα της κύστης ή του φυσερού
128	the clepsydra (Grant 1981[308]-Schmitt 1967[311])	το πείραμα της κλεψύδρας
129	repugnance (Galilei 1638/1954[299], Galilei 1638/1989[337], Torricelli 1644[309])	αποστροφή [της φύσης προς το κενό] (ο Γαλιλαίος χρησιμοποιεί τον όρο στις εξηγήσεις του, ο Torricelli τον αναφέρει, για να τον ανατρέψει)
130	macroscopic void (Galilei 1638/1989[337] - σχόλιο του Drake για τη θεώρηση του κενού από τον Γαλιλαίο)	μακροσκοπικό κενό
131	"subtle matter" or "ether" (Middleton 1964[316] αναφερόμενος στην εξήγηση του πειράματος του Berti από τον Ιησουίτη Zucchi)	«λεπτοφυέστερο από τον αέρα μέσο» ή «αιθέρας»

132	"spirits of fire" (Middleton 1964[316] αναφερόμενος στην εξήγηση του πειράματος του Berti από τον Maignan)	«πύρινης φύσης ουσία»
133	intresistial void (Galilei 1638/1989[337] - σχόλιο του Drake για τη θεώρηση του κενού από τον Γαλιλαίο)	μικροσκοπικά κενά μέσα στα υλικά ως αιτίες για τη συνεκτικότητά τους
134	force of vacuum (Galilei 1638/1954[299]) / power of void (Galilei 1638/1989[337])	δύναμη του κενού
135	resistance of vacuum (Galilei 1638/1954[299], Galilei 1638/1989[337])	αντίσταση της φύσης στο κενό
136	celestial space (Newton 1729/1962[303])	διάστημα (εκεί τα σώματα κινούνται ελεύθερα χωρίς την αντίσταση του αέρα)
137	absolute space/ relative space (Newton 1729/1962[303])	απόλυτος χώρος / σχετικός χώρος
138	absolute space – similar and immovable (Newton 1729/1962[303])	απόλυτος χώρος: παραμένει ίδιος και αμετακίνητος
139	literary technology (Shapin 1984[12])	φιλολογική τεχνολογία
140	elastic particles of the air (Boyle 1725 ed. II[302])	ελαστικά σωματίδια του αέρα
141	little springs (Boyle 1725 ed. II[302])	μικροσκοπικά ελατήρια (παρομοιάζει με αυτά τα σωματίδια του αέρα, τα οποία μπορούν να συμπιέζονται και να εκτονώνονται)
142	spring of air (Boyle 1725 ed.II[302])	ελαστικότητα του αέρα
143	elasticity of air (Faraday 1861/1993[321])	ελαστικότητα του αέρα
144	box (Boyle 1669 στον Conant 1957/1966[282])	πυξάρι (είδος θάμνου)
145	axle tree (Boyle 1669 στον Conant 1957/1966[282])	άξονας
146	little ferrule (Boyle 1669 στον Conant 1957/1966[282])	μικρός μεταλλικός κρίκος
147	fixed trencher (Boyle 1669 στον Conant 1957/1966[282])	σταθερός δίσκος
148	groove (Boyle 1669 στον Conant 1957/1966[282])	αυλάκι
149	gutter (Boyle 1669 στον Conant 1957/1966[282])	ρείθρο
150	pillar (Boyle 1669 στον Conant 1957/1966[282])	στύλος
151	socket (Boyle 1669 στον Conant 1957/1966[282])	κοίλος υποδοχέας
152	wooden peg (Boyle 1669 στον Conant 1957/1966[282])	ξύλινο καρφί
153	steel spring (Boyle 1669 στον Conant 1957/1966[282])	ατσάλινο έλασμα
154	gad (Boyle 1669 στον Conant 1957/1966[282])	ράβδος
155	hammer (Boyle 1669 στον Conant 1957/1966[282])	σφυρί
156	stiff wires(Boyle 1669 στον Conant 1957/1966[282])	δύσκαμπτα σύρματα
157	small pegs (Boyle 1669 στον Conant 1957/1966[282])	μικροί ξύλινοι πείροι
158	ebullition (Boyle 1725 ed.II[302]/ Academie del Cimento 1684/1964[340])	αναβρασμός
159	simple water (Academie del Cimento 1684/1964[340])	απλό νερό
160	natural water (Academie del Cimento 1684/1964[340])	φυσικό νερό
161	cauldron (Academie del Cimento 1684/1964[340])	καζάνι
162	natural temperament (Academie del Cimento 1684/1964[340])	θερμοκρασία περιβάλλοντος
163	oeuf électrique (De Moncel 1867[348])	ηλεκτρικό αυγό
164	vacuum tubes	αερόκενοι σωλήνες

165	cathode rays	καθοδικές ακτίνες
166	atmospheric electricity (Faraday 1838/1849[325])	ατμοσφαιρικός ηλεκτρισμός
167	positive brushes (Faraday 1838/1849[325])	ηλεκτρικές εκκενώσεις που έχουν το σχήμα της βούρτσας κοντά στο θετικό ηλεκτρόδιο
168	ramifications (Faraday 1838/1849[325])	διακλαδώσεις (στο σχήμα της ηλεκτρικής εκκένωσης)
169	glow phenomena (Faraday 1838/1849[325])	φαινόμενα αίγλης
170	baroscope (Ganot 1894[333])	βαροσκόπιο
171	grain (Boyle 1772 ed. V[350])	κόκκος (μονάδα μάζας = 0,065 γραμμάρια)
172	mercurial baroscope (Boyle 1772 ed. V[350])	υδραργυρικό βαροσκόπιο
173	when the atmosphere was high (Boyle 1772 ed. V[350])	όταν η ατμόσφαιρα ήταν ελαφριά
174	when the air was heavier (Boyle 1772 ed. V[350])	όταν ο αέρας ήταν βαρύτερος
175	statical baroscope (Boyle 1772 ed. V[350])	στατικό βαροσκόπιο
176	dichroitic action (Tyndall 1906[335])	διχρωματική δράση
177	light scattered by these very small particles (Tyndall 1906[335])	φως που διασκορπίζεται ανακλώμενο πάνω στα σωματίδια που συνιστούν τον αέρα
178	the matter of lightning (Franklin 1767[357])	η ουσία της αστραπής
179	the electric matter (Franklin 1767[357])	η ουσία του ηλεκτρισμού
180	electric/ electrical fluid (Franklin 1767[357])	ηλεκτρικό ρευστό
181	electrical needle (Pennsylvania Gazette 1754[356])	ηλεκτρική βελόνα
182	electrics (Gilbert 1600 στους Roller & Roller 1957/1966[268])	ηλεκτρικά
183	versorium (Gilbert 1600 στους Roller & Roller 1957/1966[268])	περιστρεφόμενη βελόνα
184	effluvium (Hauksbee/ Gray στους Roller & Roller 1957/1966[268])	εκπόρευση
185	subtle fluid / subtile fluid (Franklin 1767[357])	λεπτοφυές ρευστό
186	sparkling tubes or “electric snakes”	σπινθηροβόλοι σωλήνες ή ηλεκτρικά φίδια
187	trivoelectric generator	τριβοηλεκτρική μηχανή
188	electric virtue (Gray στους Roller & Roller 1957/1966[268])	ηλεκτρικές ιδιότητες
189	vitreous and resinous electricity (Dufay στους Roller & Roller 1957/1966[268])	υαλώδης και ρητινώδης ηλεκτρισμός
168	plus/positive electricity (Franklin 1747 στους Roller & Roller 1957/1966[268])	περίσσεια ηλεκτρικής ποσότητας/ θετικός ηλεκτρισμός
190	minus/negative electricity (Franklin 1747 στους Roller & Roller 1957/1966[268])	έλλειψη ηλεκτρικής ποσότητας/ αρνητικός ηλεκτρισμός

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

AAAS	American Association for the Advancement of Science
ΑΠΘ	Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
ASE	Association for Science Education
ASEISTE	Association de Sauvegarde et d'Etude des Instruments Scientifiques et Techniques de l' Enseignement
BSHS	the British Society for the History of Science
BJHS	British Journal for the History of Science
CERN	European Organization for Nuclear Research
CNAM	Conservatoire National Des Arts et des Métiers
COMIC	Commissiò d' Instruments Cientifics
CRNS	Centre National de la Recherche Scientifique
EBIO	Ελληνική Βιομηχανία Επιστημονικών Οργάνων
ECSITE	the European Network of Science Centers and Museums
ΕΔΙΦΕ	Ένωση για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών
ΕΕΦ	Ένωση Ελλήνων Φυσικών
ΕΕΧ	Ένωση Ελλήνων Χημικών
ΕΚΦΕ	Εργαστηριακό Κέντρο Φυσικών Επιστημών
ΕΚΠΑ	Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
ΕΛΙΑ	Ελληνικό Λογοτεχνικό και Ιστορικό Αρχείο
ΕΜΠ	Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
ΕΠΑΛ	Επαγγελματικό Λύκειο
GHDSO	Groupe d' Histoire et de Diffusion des Sciences d' Orsay
ICHC	International Conference on History of Chemistry
ICHST	International Congress of History of Science and Technology
IMSS	Institute and Museum of the History of Science – Florence
HDI	Human Development Index
HIPST	History and Philosophy of Science in Science Teaching
HSHPDS	Hellenic Society of History, Philosophy and Didactics of Sciences

ΗΠΑ	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
IHPST	International History Philosophy and Science Teaching Group
ΙΚΥ	Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών
IMSS	Institute and Museum of the History of Science (σημερινό Museo Galileo)
ΚΕΕ	Κέντρο Εκπαιδευτικής Έρευνας
ΚΝΕ	Κέντρο Νεοελληνικών Ερευνών
MAST	Museu de Astronomia e Ciências Afins
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MIET	Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής Τραπέζης
NASE	National Science Education Standards
NHRF	National Hellenic Research Foundation
NRC	National Research Council
NSF	National Science Foundation
ΟΕΔΒ	Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων
ΟΕΠΕΚ	Οργανισμός Επιμόρφωσης Εκπαιδευτικών
ΟΗΕ	Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών
ΠΔΤΕ	Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης
ΠΕΚ	Περιφερειακό Επιμορφωτικό Κέντρο
PISA	Programme for International Student Assessment
PSSC	Physical Sciences Study Committee
ROSE	the Relevance of Science Education
RURALERN	Lifelong Learning for Rural Europe
SCAVO	Service de Creation Audiovisuelle de la Faculté des Sciences d' Orsay
ΣΔΕ	Σχολείο Δεύτερης Ευκαιρίας
SIC	Scientific Instrument Commission
SIS	Scientific Instrument Society
SIU2	International Workshop on Historic Scientific Instrument Collections in the University
SMEC	School-Museum Cooperation for Improving the Teaching and Learning of Sciences
ΤΕΕ	Τεχνικό Επαγγελματικό Εκπαιδευτήριο
ΤΕΕΑΠΗ	Τμήμα Επιστημών της Εκπαίδευσης και της Αγωγής στην Προσχολική Ηλικία
UK	United Kindom

UMAC	International Committee for University Museums and Collections
USA	United States of America

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: Συλλογές ιστορικών επιστημονικών οργάνων για εκπαιδευτική χρήση

Π*ίνακας ΠΙ.1. Βιβλιογραφική καταγραφή συλλογών σε διεθνές, εθνικό ή περιφερειακό επίπεδο*

α/α	Χώρα	Οργανισμός/ Πρόγραμμα	Είδος Συλλογής	Σχετική Ιστοσελίδα
Πανεπιστημιακές Συλλογές				
1	Όλες	UMAC	Πανεπιστημιακές Συλλογές	http://publicus.culture.hu-berlin.de/umac/database
Βάσεις δεδομένων που περιλαμβάνουν Σχολικές Συλλογές				
2	Γαλλία	ASEISTE	Ιστορικά επιστημονικά όργανα για εκπαιδευτική χρήση (κυρίως σχολικές συλλογές)	http://www.aseiste.org
3	Πορτογαλία	Project POCI/ CED/ 60998/ 2004	Ιστορικά επιστημονικά όργανα για εκπαιδευτική χρήση (σχολικές συλλογές)	http://baudafisica.web.ua.pt
4	Ιταλία-Τοσκάνη	Museo Galileo	Ιστορικά επιστημονικά όργανα σε μουσεία, πανεπιστήμια & σχολεία	http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/index/IndexOfPlacesByType.html#museumsandcollections
5	Ισπανία	COMIC	Ιστορικά επιστημονικά όργανα για εκπαιδευτική χρήση (διαφόρων ειδών εκπαιδευτικά ιδρύματα)	http://webonet.no-ip.com/comic
6	Ελλάδα	Ε.Ι.Ε.	Ιστορικά επιστημονικά όργανα (διαφόρων ειδών εκπαιδευτικά & επιστημονικά ιδρύματα)	http://www.hasi.gr

Πίνακας ΠΙ.2. Βιβλιογραφική καταγραφή ευρωπαϊκών σχολείων με ιστορικές συλλογές επιστημονικών οργάνων

α/α	Σχολείο: Ονομασία, έτος ίδρυσης, τοποθεσία & σχετική ιστοσελίδα
	Ι Τ Α Λ Ι Α α) Τοσκάνη
1	Scuola Media "Luca Pacioli" 1866, Sansepolcro, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/ScuolaMediaLucaPacioli.html
2	Liceo Classico "Francesco Petrarca" 1856, Arrezzo, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/LiceoClassicoFrancescoPetrarca.html
3	Liceo Scientifico Statale "Francesco Redi" 1923, Arrezzo, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/LiceoScientificoStataleFrancescoRedi.html
4	Scuola Media "Giorgio Vasari" 1861, Arrezzo, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/ScuolaMediaGiorgioVasari.html
5	Istituto Tecnico Commerciale Statale "Michelangelo Buonarroti", 1872, Arrezzo, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/IstitutoTecnicoCommercialeStataleMichelangeloBuonarroti.html
6	Istituto Tecnico Agrario Statale "Angelo Vegni" 1886, Cortona, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/IstitutoTecnicoAgrarioStataleAngeloVegni.html
7	Scuola Media Statale "Berrettini - Pancrazi" 1962, Cortona, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/ScuolaMediaStataleBerrettiniPancrazi.html
8	Scuola Media "Raffaello Magiotti", 1980, Montevarchi, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/ScuolaMediaRaffaelloMagiotti.html
9	Istituto Statale della SS. Annunziata - Villa Medicea di Poggio Imperiale, 1923, Firenze, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/IstitutoStataleSSAnnunziataVillaMediceaPoggioImperiale.html
10	Liceo Ginnasio Statale "Machiavelli - Capponi", 1860, Firenze, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/gallery/LiceoGinnasioStataleMachiavelliCapponi.html
11	Liceo Classico "Galileo", 1878, Firenze, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/LiceoClassicoGalileo.html
12	Liceo Classico "Michelangiolo", 1898, Firenze, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/LiceoClassicoMichelangiolo.html
13	Polo Tecnico Statale di Firenze, 1853, Firenze, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/PoloTecnicoStataleFirenze.html
14	Scuole Pie Fiorentine, 1630, Firenze, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/ScuolePieFiorentine.html
15	Ex Collegio "Alla Querce", 1868, Firenze, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/ExCollegioQuerce.html
16	Liceo Ginnasio "Dante", 1868, Firenze, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/LiceoGinnasioDante.html
17	Istituto Tecnico Industriale - Istituto Professionale per l'Industria e l'Artigianato "Leonardo da Vinci", 1900, Firenze, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/IstitutoTecnicoIndustrialeIstitutoProfessionaleIndustriaArtigianatoLeonardoVinci.html
18	Istituto Tecnico Agrario Statale, 1882, Firenze, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/IstitutoTecnicoAgrarioStatale.html
19	Liceo Scientifico Statale "Leonardo da Vinci", 1923, Firenze, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/LiceoScientificoStataleLeonardoVinci.html
20	Istituto "Calasanzio", 1861, Firenze, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/IstitutoCalasanzio.html
21	Istituto Tecnico Industriale Statale "Tito Sarrocchi", 1924, Sienna, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/IstitutoTecnicoIndustrialeStataleTitoSarrocchi.html
22	Istituto Tecnico Industriale Statale "Tullio Buzzi", 1886, Prato, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/IstitutoTecnicoIndustrialeStataleTullioBuzzi.html http://www.itistulliobuzzi.it/museo/Museo-ing/index.html
23	Liceo Ginnasio "Francesco Cicognini" , 1973, Prato, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/LiceoGinnasioFrancescoCicognini.html
24	Liceo Linguistico e delle Scienze Sociali "Isidoro Falchi", 1942, San Miniato, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/LiceoLinguisticoScienzeSocialiIsidoroFalchi.html
25	Liceo Classico Statale "N. Forteguerri", 1473, Pistoia, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/LiceoClassicoStataleForteguerri.html
26	Istituto Tecnico Commerciale Statale "Filippo Pacini", 1917, Pistoia, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/IstitutoTecnicoCommercialeStataleFilippoPacini.html
27	Istituto Professionale per l'Industria e l'Artigianato "A. Pacinotti", 1880, Pistoia, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/IstitutoProfessionaleIndustriaArtigianatoPacinotti.html
28	Liceo Scientifico Statale "Antonio Vallisneri", 1941, Lucca, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/LiceoScientificoStataleAntonioVallisneri.html
29	Istituto Tecnico Commerciale Statale "Francesco Carrara", 1896, Lucca, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/IstitutoTecnicoCommercialeStataleFrancescoCarrara.html
30	Istituto Tecnico Statale per Geometri "Lorenzo Nottolini", 1897, Lucca, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/IstitutoTecnicoStataleGeometriLorenzoNottolini.html

Πίνακας ΠΙ.2. (συνέχεια) Βιβλιογραφική καταγραφή ευρωπαϊκών σχολείων με ιστορικές συλλογές επιστημονικών οργάνων

α/α	Σχολείο: Ονομασία, έτος ίδρυσης, τοποθεσία & σχετική ιστοσελίδα
31	Liceo Classico "Niccolò Machiavelli", 1785, Lucca, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/LiceoClassicoNiccoloMachiavelli.html

32	Liceo Socio-psico-pedagogico e Liceo delle Scienze Sociali "Luisa Amalia Paladini", 1923, Lucca http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/LiceoSociopsicopedagogicoLiceoScienzeSocialiLuisaAmaliaPaladini.html
33	Liceo Ginnasio "Galileo Galilei", 1852, Pisa, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/LiceoGinnasioGalileoGalilei.html
34	Istituto Tecnico Industriale Statale "Leonardo da Vinci", 1871, Pisa, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/IstitutoTecnicoIndustrialeStataleLeonardoVinci.html
35	Istituto Arcivescovile Santa Caterina, 1784, Pisa, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/IstitutoArcivescovileSantaCaterina.html
36	Istituto Tecnico per Geometri "E. Santoni", 1918, Pisa, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/IstitutoTecnicoGeometriSantoni.html
37	Liceo Scientifico Statale "Ulisse Dini", 1930, Pisa http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/LiceoScientificoStataleUlisseDini.html
38	Istituto Tecnico Nautico "Alfredo Cappellini", 1766, Livorno, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/IstitutoTecnicoNauticoAlfredoCappellini.html
39	Istituto Tecnico Commerciale "Amerigo Vespuccii", 1869, Livorno http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/IstitutoTecnicoCommercialeAmerigoVespuccii.html
40	Istituto "Calasanzio" ,1861, Empoli, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/IstitutoCalasanzio.html
41	Istituto Statale di Istruzione Superiore "Carlo Lorenzini", 1961, Pescia, http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/IstitutoStataleIstruzioneSuperioreCarloLorenzini.html
42	Liceo Linguistico e delle Scienze Sociali "Isidoro Falchi", 1942, Montopoli in Val d'Arno http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/place/LiceoLinguisticoScienzeSocialiIsidoroFalchi.html
	ΙΤΑΛΙΑ β) Υπόλοιπες περιοχές
43	Liceo Foscanini, 1806, Venezia, http ://museo.liceofoscarini.it/index_uk.html
44	Liceo Ginnasio 'G. B. Vico', 1881, Napoli, http://www.museoliceovico.it/?id=2
45	Liceo Classico 'Vittorio Emanuelle II', 1861, Napoli, http://www.liceovittorioemanuele.it/gabinetto.htm
46	Ginnasio Liceo 'Giovanni Prati', Trento
	ΙΣΠΑΝΙΑ
47	Colegio San Estanislao de Kostka, Málaga, http://portal.fundacionloyola.org/sek/N115/descargas
	ΒΡΑΖΙΛΙΑ
48	Museu de Ciência e Técnica da Escola de Minas, Ouro Preto, http://www.museu.em.ufop.br/museu/index.php
	ΕΛΛΑΔΑ
49	Σχολή της Χίου, 1792, Χίος, http://1gym-chiou.chi.sch.gr/fysiki.htm
50	1^{ο} Γυμνάσιο Σερρών, Σέρρες http://1gym-serron.ser.sch.gr
51	Πειραματικό Λύκειο Μυτιλήνης, 1840, Μυτιλήνη, http://www3.aegean.gr/lykpeir/

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ: Προσέλευση στην πειραματική διάλεξη: «Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;»

Πίνακας ΠΙ- 1: Προσέλευση μαθητών και ενηλίκων εκπαιδευομένων

σχολεία/ εκπαιδευτικοί φορείς	ημερομηνία προσέλευσης	αριθμός μαθητών/ ενηλίκων εκπαιδευομένων	σχολική τάξη / ομάδα ενηλίκων	επιμέρους σύνολα επισκεπτών		
2004-2005						
1ο Γυμνάσιο	5/11/2004	28	Β' & Γ' τάξη			
1ο Γυμνάσιο	15/11/2004	21	Β' τάξη			
1ο Γυμνάσιο	19/11/2004	19	Β' τάξη			
1ο Γυμνάσιο	25/11/2004	28	Α' τάξη			
1ο Γυμνάσιο	16/12/2004	29	Α' τάξη			
1ο Γυμνάσιο	27/1/2005	19	Γ' τάξη			
1ο Γυμνάσιο	10/2/2005	21	Γ' τάξη			
1ο Γυμνάσιο	11/2/2005	19	Γ' τάξη	184		
2ο Γυμνάσιο	13/1/2005	37	Γ' τάξη			
2ο Γυμνάσιο	18/4/2005	25	Β' τάξη			
2ο Γυμνάσιο	21/4/2005	47	Β' τάξη	109		
3ο Γυμνάσιο	21/1/2005	39	Γ' τάξη			
3ο Γυμνάσιο	11/2/2005	36	Γ' τάξη	75		
4ο Γυμνάσιο	17/12/2004	36	Γ' τάξη			
4ο Γυμνάσιο	20/1/2005	21	Γ' τάξη	57		
Γυμνάσιο Καρδαμύλων	28/1/2005	20	Γ' τάξη	20		
1ο Γυμνάσιο Μυτιλήνης	15/4/2005	14	Γ' τάξη			
3ο Γυμνάσιο Μυτιλήνης	11/4/2005	32	Β' τάξη			
Γυμνάσιο Καλλονής	21/3/2005	48	Γ' τάξη	94		
1ο ΤΕΕ Χίου	24/2/2005	24	Β' τάξη	24		
Λύκειο Καλλιμασιάς	15/4/2005	16	Α' ή Β' τάξη	16		
Λύκειο Μύρινας Λέσβου	31/3/2005	26	Α' ή Β' τάξη	26	605	
ΕΚΦΕ ΧΙΟΥ, καθηγητές φυσικών επιστημών	19/10/2004	25	Α' ομάδα			
ΕΚΦΕ ΧΙΟΥ, καθηγητές φυσικών επιστημών	4/11/2004	25	Β' ομάδα	50	50	655
2005-2006						
1ο Γυμνάσιο	27/1/2006	40	Γ' τάξη	40		
Γυμνάσιο Καρδαμύλων	19/1/2006	20	Γ' τάξη	20		
1ο ΤΕΕ Χίου	21/2/2006	39	Α',Γ' τάξεις	39		
Λύκειο Παμφίλων Λέσβου	19/1/2006	30	Α',Β' τάξεις	30	129	129
2006-2007						
7ο Δημοτικό	24/11/2006	44	Στ' τάξη			
7ο Δημοτικό	1/12/2006	35	Ε' τάξη	79		
1ο Γυμνάσιο	1/11/2006	18	Β' τάξη			
1ο Γυμνάσιο	9/11/2006	24	Γ' τάξη	42		
Γυμνάσιο Βροντάδου	7/12/2006	33	Β' τάξη	33		
Γυμνάσιο Καλλιμασιάς	14/12/2006	33	Β' τάξη			
Γυμνάσιο Καρδαμύλων	25/1/2007	32	Β'&Γ' τάξη	65		
Γυμνάσιο Ιππείου Λέσβου	30/4/2007	19	Γ' τάξη			
Γυμνάσιο Γέρας	27/4/2007	40	Γ' τάξη	59		
1ο Λύκειο Χίου	12/3/2007	16	Α' τάξη	16	294	
ΟΕΠΕΚ, Σεμινάριο «Κριτική Σκέψη»	2/3/2007	25	Δάσκαλοι	25	25	319
2007-2008						
1ο Γυμνάσιο	12/10/2007	37	Β' τάξη			
1ο Γυμνάσιο	26/10/2007	19	Β' τάξη			
1ο Γυμνάσιο	26/10/2007	21	Β' τάξη			
1ο Γυμνάσιο	4/12/2007	20	Β' τάξη			
1ο Γυμνάσιο	26/3/2008	40	Α' τάξη	137		
4ο Λύκειο Μυτιλήνης	10/4/2008	70	Α τάξη	70	207	
ΠΕΚ Μυτιλήνης, καθηγητές διαφόρων ειδικοτήτων	16/3/2008	25	καθηγητές			
ΠΕΚ Μυτιλήνης καθηγητές διαφόρων ειδικοτήτων	26/3/2008	25	καθηγητές	50	50	257
2004-2008						
Σύνολο μαθητών					1235	
Σύνολο ενηλίκων					125	1360

Πίνακας ΠΠ-2: Συγκέντρωση ερωτηματολογίων

σχολεία	ημερομηνία προσέλευσης	σχολική τάξη	αριθμός μαθητών	αριθμός ερωτηματολογίων	
				1ο είδος	2ο είδος
2004-2005					
1ο Γυμνάσιο	5/11/2004	Β' & Γ'	28	28	6
1ο Γυμνάσιο	15/11/2004	Β' τάξη	21	21	20
1ο Γυμνάσιο	19/11/2004	Β' τάξη	19	19	16
1ο Γυμνάσιο	25/11/2004	Α' τάξη	28	28	28
1ο Γυμνάσιο	16/12/2004	Α' τάξη	29	29	29
1ο Γυμνάσιο	27/1/2005	Γ' τάξη	19	19	19
1ο Γυμνάσιο	10/2/2005	Γ' τάξη	21	21	20
1ο Γυμνάσιο	11/2/2005	Γ' τάξη	19	19	17
2ο Γυμνάσιο	13/1/2005	Γ' τάξη	37	36	37
2ο Γυμνάσιο	18/4/2005	Β' τάξη	25	24	25
2ο Γυμνάσιο	21/4/2005	Β' τάξη	47	38	47
3ο Γυμνάσιο	21/1/2005	Γ' τάξη	39	39	39
3ο Γυμνάσιο	11/2/2005	Γ' τάξη	36	36	36
4ο Γυμνάσιο	17/12/2004	Γ' τάξη	36	36	35
4ο Γυμνάσιο	20/1/2005	Γ' τάξη	21	21	20
Γυμνάσιο Καρδαμύλων	28/1/2005	Γ' τάξη	20	20	21
1ο Γυμνάσιο Μυτιλήνης	15/4/2005	Γ' τάξη	14	13	14
3ο Γυμνάσιο Μυτιλήνης	11/4/2005	Β' τάξη	32	32	32
Γυμνάσιο Καλλονής	21/3/2005	Γ' τάξη	48	44	48
1ο ΤΕΕ Χίου	24/2/2005	Β' τάξη	24	24	22
Λύκειο Καλλιμασιάς	15/4/2005	Α' ή Β'	16	16	14
Λύκειο Μύρινας Λέσβου	31/3/2005	Α' ή Β'	26	26	21
ΣΥΝΟΛΟ			605	589	566
2005-2006					
1ο Γυμνάσιο	27/1/2006	Γ' τάξη	40	40	26
Γυμνάσιο Καρδαμύλων	19/1/2006	Γ' τάξη	20	19	20
1ο ΤΕΕ Χίου	21/2/2006	Α',Γ' τάξεις	39	38	39
Λύκειο Παμφίλων Λέσβου	19/1/2006	Α',Β' τάξεις	30	30	30
ΣΥΝΟΛΟ			129	127	115
2006-2007					
7ο Δημοτικό	24/11/2006	Στ' τάξη	44	44	44
7ο Δημοτικό	1/12/2006	Ε' τάξη	35	35	35
1ο Γυμνάσιο	1/11/2006	Β' τάξη	18	18	18
1ο Γυμνάσιο	9/11/2006	Γ' τάξη	24	24	22
Γυμνάσιο Βροντάδου	7/12/2006	Β' τάξη	33	33	33
Γυμνάσιο Καλλιμασιάς	14/12/2006	Β' τάξη	33		
Γυμνάσιο Καρδαμύλων	25/1/2007	Β'&Γ' τάξη	32	32	7
Γυμνάσιο Ιππείου Λέσβου	30/4/2007	Γ' τάξη	19	19	19
Γυμνάσιο Γέρας	27/4/2007	Γ' τάξη	40	30	
1ο Λύκειο Χίου	12/3/2007	Α' τάξη	16	15	16
ΣΥΝΟΛΟ			294	250	194
2007-2008					
1ο Γυμνάσιο	12/10/2007	Β' τάξη	37	37	37
1ο Γυμνάσιο	26/10/2007	Β' τάξη	19		
1ο Γυμνάσιο	26/10/2007	Β' τάξη	21		
1ο Γυμνάσιο	4/12/2007	Β' τάξη	20	20	
1ο Γυμνάσιο	26/3/2008	Α' τάξη	40		
4ο Λύκειο Μυτιλήνης	10/4/2008	Α τάξη	70		
ΣΥΝΟΛΟ		καθηγητές	207	57	37
2004-2008					
Σύνολο μαθητών			1235		
Σύνολο ερωτηματολογίων στάσης				1023	
Σύνολο ερωτηματολογίων ιδεών					912

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ: Επεξεργασία ιδεών των μαθητών

Πίνακας ΠΙΙ-1: Η χρήση της λέξης «βάρος»

Πίνακας ΠΙΙ-1α. Η χρήση της λέξης «βάρος» σε εικόνες σχετικές με την πτώση του αλεξίπτωτου		
ΑΠΑΝΤΗΣΗ	Α/Α ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ	ΣΧΟΛΙΚΗ ΤΑΞΗ
εικόνα 1		
Αν δεν υπήρχε αέρας, η μόνη δύναμη που θα ασκούταν θα ήταν το βάρος.	E492	Β Λυκείου
Αν δεν υπήρχε αέρας, η πτώση θα ήταν με δύναμη ή βάρος.	E558	Β'Γυμν.
Αν δεν υπήρχε αέρας, το αλεξίπτωτο θα έπεφτε ανάλογα με το βάρος.	E444	Β'Γυμν.
αντιφατικές εικόνες		
Θα πετούσε. / Θα πέσει κάτω με μεγάλο βάρος.	E868	Γ'Γυμν.

Πίνακας ΠΙΙ-1β. Η χρήση της λέξης «βάρος» σε εικόνες σχετικές με το τι θα πάθαινε το σώμα μας		
ΑΠΑΝΤΗΣΗ	Α/Α ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ	ΣΧΟΛΙΚΗ ΤΑΞΗ
εικόνα 1		
Αν σταδιακά ελαττωνόταν ο αέρας, θα ελαττωνόταν το βάρος μας.	L20	Β'Γυμν.
Αν σταδιακά ελαττωνόταν ο αέρας, το σώμα μας δεν θα είχε βάρος.	L104	Γ'Γυμν.
Αν σταδιακά ελαττωνόταν ο αέρας, δεν θα είχαμε βάρος.	L110	Γ'Γυμν.
Αν σταδιακά ελαττωνόταν ο αέρας, το σώμα μας δεν θα είχε βάρος.	L130	Γ'Γυμν.
Δε θα μπορούσαμε να αναπνεύσουμε. Θα μειωνόταν το βάρος.	L167	Γ'Γυμν.
Αν σταδιακά ελαττωνόταν ο αέρας, τότε θα χάναμε το βάρος. Θα μειωνόταν το βάρος.	K176	Γ'Γυμν.
Αν σταδιακά ελαττωνόταν ο αέρας, θα νοιώθαμε πως δεν έχουμε βάρος.	K204	Γ'Γυμν.
Αν σταδιακά ελαττωνόταν ο αέρας, δε θα είχαμε πολύ οξυγόνο. Θα είχαμε λιγότερο βάρος.	L226	Γ'Γυμν.
Αν σταδιακά ελαττωνόταν ο αέρας, θα μειωνόταν η βαρύτητα, οπότε θα είχαμε μειωμένο βάρος.	L546	Β'Γυμν.
εικόνα 2		
Αν σταδιακά ελαττωνόταν ο αέρας, τότε θα είχαμε περισσότερο βάρος.	L378	Γ'Γυμν.

Πίνακας ΠΙΙ-1γ. Η χρήση της λέξης «βάρος» σε εικόνες σχετικές με το πέταγμα των πουλιών		
ΑΠΑΝΤΗΣΗ	Α/Α ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ	ΣΧΟΛΙΚΗ ΤΑΞΗ
Αν δεν υπήρχε αέρας, τα πουλιά δεν θα πετούσαν, γιατί δε θα μπορούσαν να ωθήσουν τα μόρια του αέρα και να νικήσουν το βάρος τους.	F141	Γ'Γυμν.

Πίνακας ΠΙΙ-2: Η χρήση της λέξης «βαρύτητα»

Πίνακας ΠΙΙ-2α. Η χρήση της λέξης «βαρύτητα» σε εικόνες σχετικές με την πτώση του αλεξίπτωτου		
ΑΠΑΝΤΗΣΗ	Α/Α ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ	ΣΧΟΛΙΚΗ ΤΑΞΗ
εικόνα 1		
Θα έπεφτε πολύ γρήγορα. Θα το τραβούσε η βαρύτητα	E51	Α' Γυμν.
Απότομη. Δε θα υπήρχε βαρύτητα	E343	Β' ΤΕΕ
Δε θα υπήρχε βαρύτητα έτσι θα έπεφτε κατακόρυφα	E397	Γ' Γυμν.
Θα πάει κατευθείαν κάτω και με πολύ βαρύτητα	E874	Γ' Γυμν.
εικόνα 2		
Δεν θα μπορούσε να πέσει. Δεν θα υπήρχε βαρύτητα.	E32	Β' Γυμν.
Δε θα υπήρχε βαρύτητα. Το αλεξίπτωτο δεν θα έπεφτε εύκολα. Αν δεν υπήρχε αέρας δεν θα είχε καμιά πίεση	E544	Β' Γυμν.
Δεν θα υπήρχε βαρύτητα &δε θα έπεφτε το αλεξίπτωτο	E791	Β' Γυμν.

Πίνακας ΠΙΙ-2β. Η χρήση της λέξης «βαρύτητα» σε εικόνες σχετικές με το σώμα μας		
ΑΠΑΝΤΗΣΗ	Α/Α ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ	ΣΧΟΛΙΚΗ ΤΑΞΗ
εικόνα 1		
Θα μειωνόταν η βαρύτητα κι έτσι θα είχαμε μειωμένο βάρος.	L546	Β' Γυμν.
Δεν θα υπήρχε βαρύτητα.	L96	Γ' Γυμν.
Δεν θα είχαμε βαρύτητα.	L120	Γ' Γυμν.
Θα πετούσαμε και δε θα υπήρχε βαρύτητα.	L364	Γ' Γυμν.
Δε θα υπήρχε βαρύτητα. Δε θα μπορούσε να ζήσει κανένα ον.	L445	Β' Γυμν.
Θα αιωρούμασταν με τη βαρύτητα όπως στο διάστημα.	L536	Β' Γυμν.
Δε θα υπήρχε βαρύτητα άρα θα αιωρούμασταν.	L705	Γ' Γυμν.
Αντιβαρύτητα.	L737	Ε' Δημοτ.
Δε θα είχαμε βαρύτητα.	L852	Β' Γυμν.
εικόνα 2		
Θα είχαμε μεγαλύτερη βαρύτητα.	L152	Γ' Γυμν.
ασαφείς εικόνες		
Θα συνέβαινε το φαινόμενο της βαρύτητας.	L472	Γ' Γυμν.
Δε θα υπήρχε οξυγόνο. Θα άλλαζε βαρύτητα.	L480	Γ' Γυμν.
Θα πιεζόταν όλο περισσότερο. Δε θα υπήρχε βαρύτητα.	L111	Γ' Γυμν.

Πίνακας ΠΙΙ-2γ. Η χρήση της λέξης «βαρύτητα» σε εικόνες σχετικές με το πέταγμα των πουλιών		
ΑΠΑΝΤΗΣΗ	Α/Α ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ	ΣΧΟΛΙΚΗ ΤΑΞΗ
εικόνα 1		
Δε θα χρειαζόταν να κουνάνε τα φτερά τους, γιατί δεν θα υπήρχε βαρύτητα.	F564	Β' Γυμν.
εικόνα 2		
Δε θα μπορούσαν να πετάξουν. Θα υπήρχε μεγάλη βαρύτητα.	F513	Β Γυμν.
Τα πουλιά δε θα πέταγαν λόγω βαρύτητας.	F700	Β' Γυμν.
ασαφής εικόνα		
Το πέταγμα δεν θα γινόταν γιατί δεν υπάρχει βαρύτητα.	F891	Β' Γυμν.

Πίνακας ΠΙΙΙ-2δ. Η χρήση της λέξης «βαρύτητα» σε σχέση με τον ήχο και την πίεση του αέρα		
ΑΠΑΝΤΗΣΗ	Α/Α ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ	ΣΧΟΛΙΚΗ ΤΑΞΗ
Αν δεν υπήρχε αέρας θα υπήρχαν ήχοι. Στο διάστημα που δεν υπάρχει βαρύτητα οι ήχοι ακούγονται καθαρά.	G32	Β’ Γυμν.
Ο αέρας δεν μας πιέζει. Μας πιέζει η βαρύτητα.	N185	Γ’ Γυμν.

Πίνακας ΠΙΙ-3: Η χρήση της λέξης «αντίσταση»

Πίνακας ΠΙΙ-3α. Η χρήση της λέξης «αντίσταση» σε εικόνες σχετικές με την πτώση του αλεξίπτωτου		
ΑΠΑΝΤΗΣΗ	Α/Α ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ	ΣΧΟΛΙΚΗ ΤΑΞΗ
εικόνα 1		
Δε θα πετούσε . Θα έπεφτε γρήγορα χωρίς αντίσταση.	Ε2	Β’ Γυμν
Θα ήταν απότομη. Χωρίς να παρουσιάζει αντίσταση.	Ε15	Β’ Γυμν.
Δεν θα υπήρχε αντίσταση. Θα προσγειωνόταν απότομα.	Ε136	Γ’ Γυμν.
Ελεύθερη πτώση, δε θα υπήρχε η αντίσταση του αέρα.	Ε141	Γ’ Γυμν.
Θα γινόταν πιο γρήγορα, χωρίς αντίσταση του αέρα.	Ε154	Γ’ Γυμν.
Θα ήταν κάθετη . Δεν θα υπήρχε αντίσταση. Δεν θα ήταν ομαλή.	Ε171	Γ’ Γυμν.
Θα ήταν κάθετη εφόσον δε θα υπήρχε αντίσταση.	Ε172	Γ’ Γυμν.
Θα ήταν ελεύθερη πτώση αφού δεν θα υπήρχε αντίσταση.	Ε173	Γ’ Γυμν.
Πολύ γρήγορη γιατί δεν θα υπήρχε αντίσταση του αέρα.	Ε177	Γ’ Γυμν.
Γρήγορη χωρίς αντίσταση. Θα τραυματιζόταν ο αλεξιπτωτιστής.	Ε180	Γ’ Γυμν.
Κάθετη επικίνδυνη χωρίς αντίσταση του αέρα.	Ε181	Γ’ Γυμν.
Θα διαλυόταν. Δεν θα υπήρχε αντίσταση. Ο αλεξιπτωτιστής θα είχε πρόβλημα.	Ε186	Γ’ Γυμν.
Δεν θα υπήρχε αντίσταση. Το αλεξίπτωτο θα έπεφτε στο κενό.	Ε206	Γ ’Γυμν.
Δεν θα μειωνόταν η ταχύτητα. Δε θα υπήρχε αντίσταση/τριβή.	Ε217	Γ’ Γυμν.
Θα έπεφτε ευκολότερα/απότομα χωρίς την αντίσταση του αέρα.	Ε237	Γ ’Γυμν.
Θα έπεφτε πιο γρήγορα χωρίς αντίσταση του αέρα.	Ε238	Γ’ Γυμν.
Κάθετη χωρίς αντίσταση από τον αέρα.	Ε268	Γ’ Γυμν.
Θα έπεφτε χωρίς αντίσταση.	Ε285	Γ ’Γυμν.
Δε θα υπήρχε αντίσταση, θα έπεφτε αρκετά γρήγορα.	Ε338	Γ’ Γυμν.
Χωρίς αντίσταση αέρα γρήγορα/ ελεύθερη πτώση.	Ε424	Α’ Λυκείου
Θα έφτανε στη γη χωρίς καμιά αντίσταση.	Ε434	Α’ Λυκείου
Θα έπεφτε πολύ πιο γρήγορα χωρίς αντίσταση αέρα.	Ε441	Β’ Γυμν.
Θα έπεφτε με μεγάλη ταχύτητα, χωρίς αντίσταση.	Ε471	Γ’ Γυμν.
Δε θα υπήρχε αντίσταση. Το αλεξίπτωτο θα έπεφτε με μεγάλη ταχύτητα.	Ε563	Β’ Γυμν.
Θα έπεφτε κατευθείαν γιατί δεν θα υπήρχε αντίσταση αέρα.	Ε571	Β’ Γυμν.
Χωρίς αντίσταση, δηλαδή αμέσως.	Ε581	Α’ Λυκείου
Δε θα είχε αντίσταση το αλεξίπτωτο.	Ε659	Γ’ Γυμν.
Θα έπεφτε κάθετα χωρίς αντίσταση το αλεξίπτωτο.	Ε665	Γ’ Γυμν.
Θα ήταν πιο εύκολο γιατί δεν θα είχαν αντίσταση.	Ε688	Β’ Γυμν.
Θα έπεφτε χωρίς αντίσταση κατευθείαν κάτω.	Ε690	Β’ Γυμν.
Αμέσως. Δεν θα υπήρχε αντίσταση, θα ήταν κατακόρυφη, ο αλεξιπτωτιστής θα πέθαινε.	Ε809	Β’ Γυμν.
Θα έπεφτε αμέσως, γιατί δεν θα είχε αντίσταση αέρα.	Ε880	Β’ Γυμν.
εικόνα 2		
Δεν θα έπεφτε, γιατί δεν θα υπήρχε αντίσταση	Ε10	Β’ Γυμν.
ασαφής εικόνα		
Δε θα έπεφτε/Η ίδια με τώρα/Δε θα είχε αντίσταση	Ε480	Γ’ Γυμν.

Πίνακας ΠΙΙ-4: Η χρήση της λέξης «πίεση»

Πίνακας ΠΙΙ-3β. Η χρήση της λέξης «αντίσταση» σε εικόνες σχετικές με το πέταγμα των πουλιών		
ΑΠΑΝΤΗΣΗ	Α/Α ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ	ΣΧΟΛΙΚΗ ΤΑΞΗ
εικόνα 1		
Θα πέταγαν ευκολότερα, χωρίς να βρίσκουν αντίσταση .	F34	Β' Γυμν.
Πιο εύκολο. Δεν θα εύρισκαν αντίσταση.	F401	Γ' Γυμν.
Πιο γρήγορα, αφού δεν θα υπήρχε αντίσταση αέρα.	F423	Α' Λυκείου
Θα γινόταν πολύ γρήγορα γιατί δεν θα υπήρχε αντίσταση.	F497	Β' Γυμν.
Θα ήταν πιο εύκολο γιατί δε θα είχαν αντίσταση.	E688	Β' Γυμν.
Θα είναι πιο γρήγορο γιατί δεν θα είχε την αντίσταση του αέρα.	F520	Β 'Γυμν.
Θα μπορούσαν να πετάξουν χωρίς αντίσταση	F549	Β' Γυμν.
εικόνα 2		
Δεν θα μπορούσαν να πετάξουν. Δεν θα υπήρχε αντίσταση.	F239	Γ' Γυμν.
Δε θα υπήρχε αντίσταση στα φτερά. Δεν θα πετούσαν.	F244	Γ' Γυμν.
Δε θα υπήρχε το πέταγμα, γιατί εκμεταλλεύεται την αντίσταση.	F369	Γ' Γυμν.
Δε θα πετούσαν, δεν θα υπήρχε αντίσταση αέρα.	F597	Γ' Γυμν.
Δε θα μπορούσαν να πετάξουν. Τα φτερά δεν συναντούν αντίσταση στο κενό.	F610	Γ' Γυμν.
Πετάνε χάρη στην αντίσταση που ασκείται στα φτερά τους.	E631	Γ' Γυμν.
εικόνα 3		
Δε θα πετούσαν, χωρίς την αντίσταση του αέρα να τα ανυψώσει.	F571	Β' Γυμν.
εικόνα 4		
Δεν θα μπορούσαν να πετάξουν. Θα υπήρχε αντίσταση.	F28	Β' Γυμν.
ασαφείς εικόνες		
Αφού δεν υπάρχει αέρας ούτε αντίσταση…	F181	Γ' Γυμν.
Δεν θα υπήρχε η αντίσταση του αέρα…	F595	Α' Λυκείου

Πίνακας ΠΙΙ-3γ. Η χρήση της λέξης «αντίσταση» σε εικόνες σχετικές με το βάρος και την πίεση του αέρα		
ΑΠΑΝΤΗΣΗ	Α/Α ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ	ΣΧΟΛΙΚΗ ΤΑΞΗ
Ο αέρας δεν έχει βάρος. Το μόνο που έχει είναι η αντίσταση.	M595	Α' Λυκείου
Ο αέρας δεν έχει βάρος, μόνο αντίσταση	M597	Γ' Γυμν.
Ο αέρας μας πιέζει όταν βγάζουμε το χέρι έξω από το παράθυρο αυτοκινήτου που τρέχει – αντίσταση.	N196	Γ' Γυμν.

Πίνακας ΠΙΙ-3δ. Η χρήση της λέξης «αντίσταση» σε εικόνες σχετικές με την αστραπή		
ΑΠΑΝΤΗΣΗ	Α/Α ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ	ΣΧΟΛΙΚΗ ΤΑΞΗ
Δε θα υπήρχε αντίσταση. Η αστραπή θα γινόταν επικίνδυνη	K536	Β' Γυμν.
Δε θα υπήρχε αντίσταση. Η αστραπή θα έπεφτε σε γη, σπίτια και ανθρώπους	K539	Β' Γυμν.

Πίνακας ΠΙΙΙ-4. Η χρήση της λέξης «πίεση» σε εικόνες σχετικές με το τι θα πάθαινε το σώμα μας		
ΑΠΑΝΤΗΣΗ	Α/Α ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ	ΣΧΟΛΙΚΗ ΤΑΞΗ
εικόνα 1		
Θα μεγάλωνε λόγω πίεσης.	L268	Γ' Γυμν.
Θα έσκαγε λόγω της πίεσης του σώματος.	L264	Γ' Γυμν.
Θα έσκαγε λόγω διαφορετικής πίεσης.	L288	Γ' Γυμν.
Θα σκάζαμε. Θα δεχόμαστε μόνο την εσωτερική πίεση.	L312	Γ 'Γυμν.
Θα έσκαγε απ' την πίεση.	L319	Γ' Γυμν.
Θα παθαίναμε έκρηξη από την πίεση στο σώμα μας.	L146	Γ' Γυμν.
Θα πιεζόμασταν αρκετά τελικά θα εκρηγνυόμαστε.	L633	Γ 'Γυμν.
Θα υπήρχε υπερβολική πίεση στο αίμα	L477	Γ' Γυμν.
εικόνα 2		
Δε θα υπήρχε τόση πίεση. Θα πηγαινοερχόμασταν.	L479	Γ' Γυμν.
Θα νοιώθαμε ελαφρύτεροι δε θα νιώθαμε μεγάλη πίεση.	L564	Β' Γυμν.
Θα πεθαίναμε γιατί το σώμα θα έφευγε, εφόσον δεν θα υπήρχε πίεση.	L610	Γ' Γυμν.
Θα μειωνόταν η πίεση.	L882	Β' Γυμν.
Δε θα είχαμε οξυγόνο. Δε θα υπήρχε πίεση.	L237	Γ' Γυμν.
Δε θα είχαμε οξυγόνο. Δε θα υπήρχε πίεση.	L183	Γ 'Γυμν.
Δε θα μας πίεζε στο τέλος καθόλου ο αέρας.	L772	Β' Γυμν.
εικόνα 3		
Πίεση.	L693	Β'& Γ' Γυμν.
Θα πιεζόταν πολύ περισσότερο.	L320	Γ 'Γυμν.
Θα πιεζόταν από στρώματα αέρος.	L482	Β' Λυκείου
Θα συμπιεζόταν.	L484	Β' Λυκείου
Θα συμπιεζόμασταν.	L618	Γ' Γυμν.
Θα πιεζόταν.	L769	Β' Γυμν.
Θα διαλυόταν κάτω από τη πίεση του εξωτερικού αέρα.	L621	Γ' Γυμν.
άλλες εικόνες		
Θα πιεζόταν όλο περισσότερο. Δε θα υπήρχε βαρύτητα.	L111	Γ' Γυμν.
Θα πεθαίναμε από έλλειψη οξυγόνου ή αλλαγή πίεσης.	L456	Β' Γυμν.
Θα πεθαίναμε από την πίεση.	L440	Β' Γυμν.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV: Έντυπο υλικό που χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο της εφαρμογής της πειραματικής διάλεξης: «Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;»

Ενότητα 1: Ερωτηματολόγια Στάσης Μαθητών & Καθηγητών
Σύνταξη ερωτηματολογίων: Φλώρα Πάπαρου

Ερωτηματολόγιο 1α: Πληθυσμός –στόχος: Μαθητές

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΜΑΘΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ «ΜΑΘΗΜΑ»:
« ΠΩΣ ΘΑ ΗΤΑΝ Η ΓΗ ΧΩΡΙΣ ΑΕΡΑ;»

Σχολική τάξη:
Ημερομηνία:

1. Το σημερινό μάθημα μου φάνηκε:
   α) ενδιαφέρον
   β) πολύ ενδιαφέρον
   γ) αδιάφορο
   δ) βαρετό

2. Το σημερινό μάθημα μου φάνηκε:
   α) εύκολο
   β) δύσκολο
   γ) πολύ εύκολο
   δ) πολύ δύσκολο

3. Θα ήθελα να παρακολουθήσω κι άλλο μάθημα στο μουσείο:
   α) ναι
   β) όχι
   γ) δεν ξέρω

4. Θα ήθελα να παρακολουθήσω παρόμοιο μάθημα σε μεγαλύτερη σχολική τάξη:
   α) ναι
   β) όχι
   γ) δεν ξέρω

5. Υπάρχει κάτι που σου άρεσε/ σε εντυπωσίασε περισσότερο;……..

6. Υπάρχει κάτι που σε κούρασε ή σου φάνηκε βαρετό;……

7. Θα ήθελες κάτι να προτείνεις;…… ……

Ερωτηματολόγιο 1β: Πληθυσμός –στόχος: Συνοδοί Καθηγητές

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΚΑΘΗΓΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ»:
«ΠΩΣ ΘΑ ΗΤΑΝ Η ΤΗ ΧΩΡΙΣ ΑΕΡΑ;»

Ονοματεπώνυμο καθηγητή:
Σχολική τάξη που συνοδεύει:
Σχολείο:
Ημερομηνία

Παρατηρήσεις:
1. Ως προς το **ενδιαφέρον** του μαθήματος:
Βρήκα το σημερινό μάθημα:
α) ενδιαφέρον
β) πολύ ενδιαφέρον
γ) αδιάφορο
δ) άλλος χαρακτηρισμός

2. Ως προς τη δυνατότητα του μαθήματος να κινητοποιήσει το **ενδιαφέρον των μαθητών:**
Βρήκα ότι το σημερινό μάθημα:
α) μπορεί να κινητοποιήσει το ενδιαφέρον των μαθητών για τις φυσικές επιστήμες και την τεχνολογία
β) δεν μπορεί να κινητοποιήσει το ενδιαφέρον των μαθητών για τις φυσικές επιστήμες και την τεχνολογία
γ) άλλος χαρακτηρισμός

3. Ως προς τα χρησιμοποιούμενα **διδακτικά εργαλεία**:
Βρήκα τα χρησιμοποιούμενα διδακτικά εργαλεία:
α) επαρκή
β) μη επαρκή
γ) θα ήθελα να προτείνω να……..

4. Ως προς τη σύνδεση με το **πρόγραμμα σπουδών:**
Βρήκα ότι το σημερινό μάθημα:
α) έχει σχέση με την ύλη που διδάσκεται στη συγκεκριμένη σχολική τάξη
β) δεν έχει σχέση με την ύλη που διδάσκεται στη συγκεκριμένη σχολική τάξη
γ) άλλος χαρακτηρισμός

5. Ως προς την **εκπαιδευτική χρησιμότητα**:
Βρήκα ότι το σημερινό μάθημα:
α) μπορεί να εμπλουτίσει τις γνώσεις των μαθητών για τις φυσικές επιστήμες; ……..**ναι όχι**
β) μπορεί να συνδέσει κεφάλαια Φυσικής/Χημείας /Τεχνολογίας; ……**ναι όχι**
γ) μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο συζήτησης στα μαθήματα Φυσικής/Χημείας/Τεχνολογίας;…….. **ναι όχι**
δ) άλλα σχόλια

6. Θα θέλατε να παρακολουθήσετε άλλο μάθημα στο μουσείο; Αν ναι, γράψτε, αν έχετε προτίμηση σε συγκεκριμένη διδακτική ενότητα.

7. Άλλες παρατηρήσεις……

Ενότητα 2: Βιβλίο μαθητή: Τελική έκδοση

Σύνταξη εντύπου: Φλώρα Πάπαρου

Μουσείο Ιστορίας & Φυσικής Χίου

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

«ΠΩΣ ΘΑ ΗΤΑΝ Η ΓΗ ΧΩΡΙΣ ΑΕΡΑ;»

ΒΙΒΛΙΟ ΜΑΘΗΤΗ

Ονοματεπώνυμο μαθητή: ……
Ημερομηνία:…… Σχολείο:……
Τάξη/ Τμήμα:……

Συζήτηση 1η

Κάποιος σκηνοθέτης θέλει να γυρίσει μια ταινία. Σας ζητάει τη γνώμη σας για τα παρακάτω θέματα, τα οποία άλλα μεν γνωρίζετε, άλλα όμως όχι. Πρέπει να δώσετε μια απάντηση σε κάθε ερώτηση, χρησιμοποιώντας τη γνώση και τη φαντασία σας.

- Αν δεν υπήρχε αέρας, πώς θα ήταν η πτώση ενός αλεξίπτωτου;
- Αν δεν υπήρχε αέρας, πώς θα ήταν το πέταγμα των πουλιών;
- Αν δεν υπήρχε αέρας, θα υπήρχαν ήχοι;
- Μπορεί να υπάρξει φλόγα χωρίς αέρα;
- Αν δεν υπήρχε αέρας στη γη, τι χρώμα θα είχε ο ουρανός στο ηλιοβασίλεμα;

-βιβλίο μαθητή σελ.2-

- Τι θα συνέβαινε στη θάλασσα, αν στη γη δεν υπήρχε αέρας;
- Αν σταδιακά αραιώνε ο αέρας, τι θα πάθαινε η αστραπή;
- Αν σταδιακά αραιώνε η ατμόσφαιρα της γης, τι θα συνέβαινε στο σώμα μας;
- Ο αέρας έχει βάρος;
- Ο αέρας μας πιέζει; Πολύ, λίγο ή καθόλου;
- Υπάρχει απολύτως κενός χώρος;

- βιβλίο μαθητή σελ 3-

Συζήτηση 2η

Παρακολουθώντας το μάθημα συμπληρώστε προσεκτικά τα κενά:

1. Ο Αριστοτέλης ισχυρίζεται ότι από τα σώματα άλλα κινούνται προς τα……, ενώ άλλα κινούνται προς τα…….. Αιτίες για τις κινήσεις αυτές είναι κατά τον Αριστοτέλη η ……και το …….. Σύμφωνα με τον Αριστοτέλη τα βαρύτερα σώματα πέφτουν προς τα κάτω …… από τα ελαφρύτερα.
2. Ο Γαλιλαίος κατέληγε στο ότι υπεύθυνος για τη διαφορά ταχύτητας με την οποία πέφτουν στη γη μια τεράστια μυλόπετρα και ένας κόκκος άμμου είναι ο……Ο Γαλιλαίος δεν μπορούσε να αποδείξει πειραματικά την αλήθεια των σκέψεών του, γιατί στην εποχή του δεν υπήρχε ……
3. Το φτερό μέσα στο σωλήνα του Νεύτωνα πέφτει σαν να ήταν από …… Στο φεγγάρι το φτερό πέφτει στο έδαφος σαν ……
4. Τελικά το αλεξίπτωτο, αν δεν υπήρχε αέρας, θα έπεφτε σαν ……..
5. Ο Νεύτωνας ανακάλυψε ότι για την πτώση των σωμάτων στη γη όπως και για τη συγκράτηση της σελήνης γύρω από τη γη ευθύνεται η ίδια αιτία, που την ονόμασε……
6. Η πρώτη αντλία κενού φτιάχτηκε τη δεκαετία 1650 από τον Γερμανό φυσικό και μηχανικό Όττο Γκέριγκε. Με αυτήν ο …… πραγματοποίησε ένα διάσημο πείραμα, το πείραμα του ……..το έτος ……

- βιβλίο μαθητή σελ 4-

7. Όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος των ημισφαιρίων του Μαγδεμβούργου, τόσο ……είναι η …… που χρειάζεται για να τα ανοίξει. Η δύναμη αυτή μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση: Δύναμη = …….. x ……..
8. Ένα μπαλόνι με άπειρη ελαστικότητα, κλειστό, με λίγο αέρα στο εσωτερικό του, αν μεταφερόταν στη Σελήνη θα ……., γιατί ……..
9. Τα πνευμόνια της κυρίας στη φωτογραφία, θα ……, αν αυτή μεταφερόταν χωρίς στολή στη σελήνη.
10. Ο ήχος, για να διαδοθεί χρειάζεται…… Ένας από τους πρωταγωνιστές των ερευνών πάνω στο ρόλο του αέρα για τη διάδοση του ήχου ήταν ο επιστήμονας του 17ου αιώνα ……. …….. Ο …… απέδειξε πειραματικά ότι, όταν σταδιακά αφαιρείται ο αέρας, η …… του ήχου ……..
11. Χωρίς αέρα ……..……φλόγα. Ο αέρας περιέχει …….. που είναι ……..για τις καύσεις. Ωστόσο, πριν τον 17ο αιώνα πίστευαν ότι υπεύθυνο για την ευφλεκτότητα ήταν το «στοιχείο» …… Την άποψη αυτή ελέγχει ο …….., αποδεικνύοντας ότι το θείο δεν μπορεί να καεί χωρίς αέρα.
12. Αν δεν υπήρχε καθόλου αέρας ……..……κεραυνοί. Αν όμως, αραίωνε σταδιακά ο αέρας, οι κεραυνοί θα φαίνονταν ……..Παράξενες αστραπές έχουν δει οι …….. στα ανώτερα στρώματα της…… Η μελέτη των «παράξενων αστραπών» σε σωλήνες με μειωμένη πίεση οδήγησε τους επιστήμονες να εντοπίσουν πειραματικά τα ……

- βιβλίο μαθητή σελ 5-

13. Μπορώ να βράσω το νερό χωρίς να το θερμάνω; Πώς;……
……
14. Το νερό στο Έβερεστ, όπου η πίεση είναι το 1/3 περίπου της ατμοσφαιρικής βράζει στους……..
15. Στη Σελήνη, όπου η πίεση είναι $3x10^{-15}$atm, το νερό βρίσκεται σε κατάσταση…….....,ανάλογα με……
16. Οι κομήτες είναι κομμάτια……Όταν περνούν κοντά από τον ήλιο μετατρέπονται σε…….. Η φωτεινή ουρά τους είναι……
17. Αν η κυρία της φωτογραφίας βρεθεί στη Σελήνη χωρίς στολή, τότε τα υγρά στο σώμα της θα ……και αυτή θα……..
18. Αν ζυγιστούμε μέσα στο νερό φαινόμαστε …….. Η ένδειξη της ζυγαριάς στην περίπτωση αυτή θα είναι:

    Ένδειξη ζυγαριάς = Βάρος μείον …….

    Αν ζυγιστούμε μέσα σε ένα θάλαμο που δεν θα υπάρχει καθόλου αέρας, τότε η ζυγαριά θα μας δείξει ……
19. Τα πουλιά …….……, αν δεν υπήρχε ο……..,
    όπως τα ψάρια δεν θα ……, αν δεν υπήρχε το……....
20. Σύμφωνα με τον Τορικέλι, ζούμε στον πάτο ενός……..……από…..….
    Έτσι, η ατμοσφαιρική πίεση οφείλεται στο……..……του……
21. Ένα αερόστατο …… να πετάξει στη Σελήνη, επειδή εκεί…… ……..

22. Ο Τορικέλι με το διάσημο πείραμά του απέδειξε ότι η ατμοσφαιρική πίεση μπορεί να υπολογιστεί από τις σχέσεις:

    Ατμοσφαιρική πίεση =μέσο ειδικό βάρος αέρα x ύψος ατμόσφαιρας=

    = ειδικό βάρος υδραργύρου x …… cm =

    = ειδικό βάρος νερού x ……..… m
23. Το χρώμα του ουρανού στο διάστημα είναι……..και το χρώμα του ήλιου……Στη γη το μπλε χρώμα του ουρανού και το κίτρινο του ήλιου οφείλονται στην αλληλεπίδραση του …… με ……Στο ηλιοβασίλεμα το φαινόμενο της …… είναι πιο έντονο γιατί το στρώμα της……..απ' όπου πρέπει να περάσει το φως του ήλιου είναι πιο……

Συζήτηση 3η

Θυμηθείτε ξανά το μάθημα στην τάξη συζητώντας για τα παρακάτω θέματα:

Θέμα 1ο: Μελετώντας τις επιστημονικές γραφές…

1. Μελετείστε το απόσπασμα από το βιβλίο του Γαλιλαίου «Δύο νέες επιστήμες», που σας δίδεται και εντοπίστε ποιος από τους τρεις συνομιλητές υποστηρίζει τις απόψεις του Γαλιλαίου και ποιος εκείνες του Αριστοτέλη.

2. Καταγράψτε τα επιχειρήματα με τα οποία μέσα στο κείμενό του ο Γαλιλαίος καταρρίπτει τις απόψεις του Αριστοτέλη.

3. Παίξτε σκηνές από το άγραφο έργο: «Ο Γαλιλαίος, ο Αριστοτέλης, ο Νεύτωνας, οι αστροναύτες και η πτώση των σωμάτων», χρησιμοποιώντας λόγια από τα αποσπάσματα που σας δίδονται.

Θέμα 2ο: Υπολογίζοντας…

1. Ελάτε στη θέση του Τορικέλι και υπολογίστε το μέτρο της ατμοσφαιρικής πίεσης με βάση τον τύπο:

Patm= Ρυδροστατική= ειδικό βάρος υδραργύρου x ύψος στήλης υδραργύρου =

$d_{Hg} . g . h_{Hg} =$

- βιβλίο μαθητή σελ 8-

2. Ελάτε στη θέση του βον Γκέριγκε και υπολογίστε πόση δύναμη πρέπει να βάλουν τα άλογα, για να χωρίσουν τα ημισφαίρια, αν ανάμεσα στα ημισφαίρια δεν υπάρχει καθόλου αέρας και αν αυτά έχουν ακτίνα μισό μέτρο.

Χρησιμοποιείστε τους τύπους:

Διατομή ημισφαιρίων: $A= \pi R^2$=……..….

Δύναμη που πρέπει να βάλουν τα άλογα = F = Patm . A.

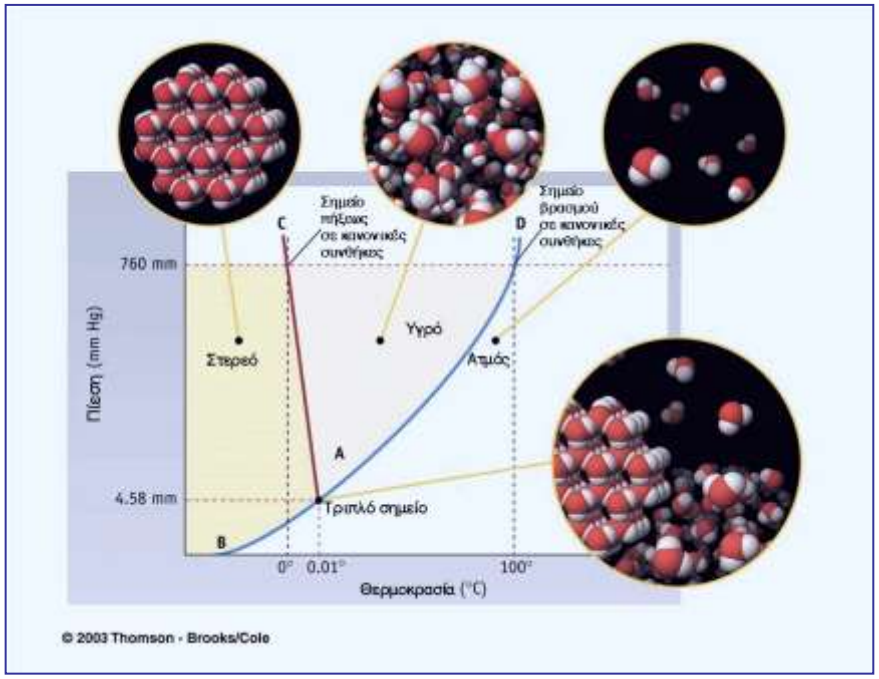
3. Υπολογίστε πόση δύναμη πρέπει να βάλετε εσείς, για να χωρίσετε τα ημισφαίρια του Μαγδεμβούργου, με δεδομένο ότι αυτά έχουν διάμετρο περίπου 15 cm.

- βιβλίο μαθητή σελ 9-

Θέμα 3ο: Εκτιμώντας

Με τη βοήθεια του διαγράμματος φάσεων του νερού που σας δίδεται εκτιμείστε τι πίεση δημιουργεί η αντλία, όταν αρχίζει ο βρασμός του νερού με δεδομένο ότι η θερμοκρασία του νερού που εισάγεται στον κώδωνα είναι περίπου 20ºC.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΦΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ



- βιβλίο μαθητή σελ 10-

Θέμα 4ο: Αναζητώντας πληροφορίες στο διαδίκτυο

1. Βρείτε τα λόγια των αστροναυτών του πληρώματος Απόλλων 15 και το βίντεο του πειράματος της ελεύθερης πτώσης στη Σελήνη στην ηλεκτρονική διεύθυνση:
http://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/alsj/a15/a15.clsout3.html

2. Βρείτε τα πειράματα του Τορικέλι και πληροφορίες για τη διάσημη Ακαδημία Πειραμάτων της Φλωρεντίας στην ηλεκτρονική διεύθυνση:
http://www.imss.fi.it/vuoto/index.html
Βρείτε στην ίδια διεύθυνση πληροφορίες για τις αναζητήσεις των επιστημόνων του 17ου αιώνα πάνω στην ύπαρξη και τη φύση του κενού.

- βιβλίο μαθητή σελ 11-

Αποσπάσματα από πρωτότυπα επιστημονικά κείμενα

Πώς και γιατί πέφτουν τα πράγματα στη γη;

Η άποψη του Αριστοτέλη, 384-322 π.Χ….

«Ελαφρύ λοιπόν με την απόλυτη έννοια ονομάζουμε αυτό που κινείται προς τα πάνω και προς το έσχατο σημείο, ενώ βαρύ με την απόλυτη έννοια εκείνο που κινείται προς τα κάτω και προς το κέντρο. Μιλώντας για ελαφρύ και ελαφρύτερο σε σχέση με άλλο, εννοούμε πως, από δύο σώματα που διαθέτουν βάρος και ίσο όγκο, το ένα από τα δύο κινείται *φυσιολογικά* προς τα κάτω ταχύτερα…»

«Στην πραγματικότητα, η φωτιά είναι πάντα ελαφριά και κινείται προς τα πάνω, ενώ η γη και όλα τα γεώδη προς τα κάτω και προς το κέντρο…»

Από το βιβλίο του Αριστοτέλη: «Περί ουρανού»

Η άποψη του Γαλιλαίου, 1565-1642…

«Σαλβιάτι: Αμφιβάλλω πολύ για το αν ο Αριστοτέλης έλεγξε ποτέ πειραματικά το κατά πόσον αληθεύει ότι δύο πέτρες, που η μια ζυγίζει δέκα φορές περισσότερο από την άλλη, αν αφεθούν να πέσουν την ίδια χρονική στιγμή από ένα ύψος, ας πούμε 100 πήχεων, θα διαφέρουν τόσο πολύ στην ταχύτητα που θ' αποκτήσουν, ώστε όταν η βαρύτερη θα έχει φτάσει στο έδαφος, η άλλη δεν θα έχει διανύσει πάνω από 10 πήχεις.

Σιμπλίκιο: Η φρασεολογία του φαίνεται να υποδεικνύει ότι είχε επιχειρήσει το πείραμα, αφού λέει: *Βλέπουμε το βαρύτερο.* Η λέξη *βλέπουμε* δείχνει ότι είχε εκτελέσει το πείραμα.

Σαγκρέντο: Εγώ όμως Σιμπλίκιο, που το έχω επιχειρήσει, μπορώ να σε διαβεβαιώσω ότι μια μπάλα κανονιού που ζυγίζει εκατό ή διακόσιες λίβρες, ή και ακόμη περισσότερο, δεν θα φτάσει στο έδαφος ούτε κατά μια πιθαμή μπροστά από μια σφαίρα μουσκέτου που ζυγίζει μισή μόνο λίβρα, υπό τον όρο ότι και οι δύο έχουν αφεθεί από ένα ύψος 200 πήχεων.

Σαλβιάτι: Αλλά, ακόμη και χωρίς άλλα πειράματα, είναι δυνατόν να αποδειχθεί σαφώς, μέσω ενός σύντομου και πειστικού επιχειρήματος, ότι ένα βαρύτερο σώμα δεν κινείται πιο γρήγορα από ένα ελαφρύτερο αν και τα δύο αποτελούνται από το ίδιο υλικό, και εν ολίγοις είναι όπως εκείνα που αναφέρει ο Αριστοτέλης. Πες μου όμως Σιμπλίκιο, αν παραδέχεσαι ότι κάθε σώμα που πέφτει αποκτά μια συγκεκριμένη ταχύτητα που καθορίζεται από τη φύση, μια ταχύτητα η οποία δεν μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί παρά μόνο με την επίδραση κάποιας δύναμης ή αντίστασης.

Σιμπλίκιο: Δεν μπορεί να υπάρξει αμφιβολία ότι όταν ένα συγκεκριμένο σώμα κινείται μέσα σ' ένα μοναδικό μέσο, αυτό έχει μια ορισμένη ταχύτητα η οποία καθορίζεται από τη φύση και η οποία δεν μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί παρά μόνο με προσθήκη ορμής, στην πρώτη περίπτωση ή με κάποια αντίσταση που την αναχαιτίζει, στη δεύτερη.

Σαλβιάτι: Επομένως, αν πάρουμε δύο σώματα των οποίων οι φυσικές ταχύτητες είναι διαφορετικές, είναι σαφές ότι ενώνοντάς τα, το πιο γρήγορο θα επιβραδυνθεί μερικώς από το πιο αργό, και το πιο αργό θα επιταχυνθεί κάπως από το ταχύτερο. Δεν συμφωνείς μαζί μου;

Σιμπλίκιο: Αναμφισβήτητα έχεις δίκιο.

Σαλβιάτι: Αλλά αν αυτό αληθεύει και αν μια μεγάλη πέτρα κινείται με μια ταχύτητα, ας πούμε οκτώ, ενώ μια μικρότερη κινείται με μια ταχύτητα τέσσερα, τότε, όταν είναι ενωμένες, το σύστημα θα κινείται με μια ταχύτητα μικρότερη του οκτώ. Όταν όμως οι δύο πέτρες είναι ενωμένες φτιάχνουν μια πέτρα μεγαλύτερη από εκείνη που προηγουμένως κινούνταν με ταχύτητα οκτώ. Από αυτό συνάγεται ότι το βαρύτερο σώμα κινείται με μικρότερη ταχύτητα από το ελαφρύτερο, ένα αποτέλεσμα που είναι αντίθετο με την υπόθεσή σου. Βλέπεις λοιπόν πώς, από την παραδοχή σου ότι ένα βαρύτερο σώμα κινείται πιο γρήγορα από ένα ελαφρύτερο, συνάγω το συμπέρασμα ότι το βαρύτερο σώμα κινείται πιο αργά.

Σιμπλίκιο: Είμαι πελαγωμένος…Πραγματικά, δεν το καταλαβαίνω καθόλου.

… … …… … … … … … … … … … … …… … … … … … … … … …

Σιμπλίκιο: Η επιχειρηματολογία σου είναι πραγματικά θαυμάσια. Όμως, δεν μου είναι εύκολο να πιστέψω ότι ένα σκάγι κυνηγετικού όπλου πέφτει τόσο γρήγορα όσο μια μπάλα κανονιού.

Σαλβιάτι : Γιατί να μην πούμε ότι ένας κόκκος άμμου πέφτει τόσο γρήγορα όσο μια μυλόπετρα; Αλλά, Σιμπλίκιο, ελπίζω ότι δεν θα ακολουθήσεις το παράδειγμα πολλών, οι οποίοι εκτρέπουν τη συζήτηση από το βασικό της στόχο και προσκολλώνται σε κάποια δική μου πρόταση που απέχει τόσο λίγο από την αλήθεια όσο το πάχος μιας τρίχας, και οι οποίοι, κάτω από αυτήν την τρίχα κρύβουν το σφάλμα κάποιου άλλου, το οποίο είναι τόσο μεγάλο όσο το παλαμάρι ενός πλοίου. Ο Αριστοτέλης λέει ότι «μια σιδερένια μπάλα εκατό λιβρών που πέφτει από ένα ύψος εκατό πήχεων φτάνει στο έδαφος προτού μια μπάλα της μίας λίβρας διανύσει πέφτοντας ένα και μόνο πήχυ». Εγώ λέω ότι φτάνουν την ίδια στιγμή. Εσύ, εκτελώντας το πείραμα, διαπιστώνεις ότι η μεγαλύτερη ξεπερνά τη μικρότερη μόλις κατά δύο δάκτυλα…Τώρα, δεν μπορώ να πιστέψω ότι θα κρύψεις πίσω από αυτά τα δύο δάκτυλα τις 99 λίβρες του Αριστοτέλη, ούτε ότι θα επισημάνεις το δικό μου μικρό σφάλμα παραβλέποντας και αφήνοντας ασχολίαστο το τόσο μεγάλο δικό του».

Από το βιβλίο του Γαλιλαίου: «Δύο Νέες Επιστήμες»

Η άποψη του Νεύτωνα, 1642-1727…

«Την ίδια χρονιά άρχισα να σκέφτομαι ότι η βαρύτητα εκτείνεται ως την τροχιά της Σελήνης, και… συνήγαγα ότι οι δυνάμεις που συγκρατούν τους Πλανήτες στις τροχιές τους πρέπει να είναι αντιστρόφως ανάλογες των τετραγώνων των αποστάσεών τους από τα κέντρα γύρω από τα οποία περιφέρονται: βάσει αυτού συνέκρινα τη δύναμη που απαιτείται για να συγκρατεί τη Σελήνη στην τροχιά της με τη δύναμη της βαρύτητας που ασκείται στην επιφάνεια της Γης, και διαπίστωσα ότι σχεδόν αντιστοιχούν. Όλα αυτά συνέβησαν στα δύο χρόνια της πανούκλας, το 1665 και το 1666, γιατί εκείνον τον καιρό ήμουν στην καλύτερη και πιο δημιουργική ηλικία, και ενδιαφερόμουν για τα μαθηματικά και τη Φιλοσοφία περισσότερο απ' ό,τι σε οποιαδήποτε άλλη εποχή έκτοτε».

Σημείωση του Νεύτωνα

Η άποψη του πληρώματος Απόλλων 15, 1971…

Ο εκδότης της εφημερίδας: Apollo 15-Lunar Surface Journal, David Woods, καταθέτει το παρακάτω επιστημονικό ρεπορτάζ: «Κατά τη διάρκεια των τελευταίων λεπτών της αποστολής, πραγματοποιήθηκε ένα μικρό επιστημονικό πείραμα. Ένα βαρύ αντικείμενο (ένα αλουμινένιο γεωλογικό σφυρί 1.32 kg) και ένα ελαφρύ αντικείμενο (ένα φτερό γερακιού 0,03 kg) αφέθηκαν ταυτόχρονα από περίπου το ίδιο ύψος (περίπου 1,6 m) να πέσουν στην επιφάνεια του φεγγαριού. Παρατηρήσαμε ότι τα δύο αντικείμενα, που ελευθερώθηκαν ταυτόχρονα, απέκτησαν την ίδια επιτάχυνση και χτύπησαν ταυτόχρονα το έδαφος της Σελήνης…»

http://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/alsj/a15/a15.clsout3.html

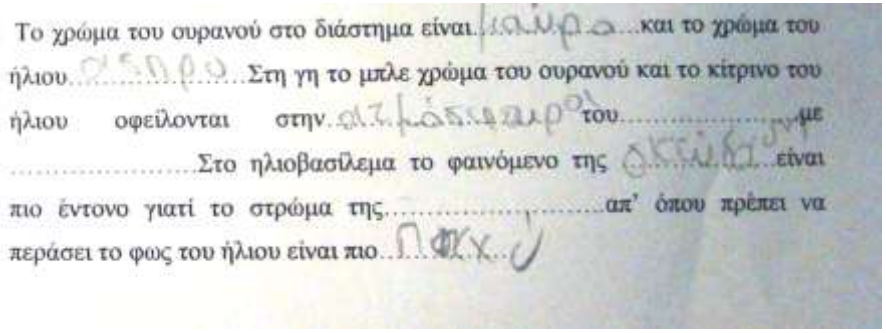
Ενότητα 3: Αρχική μορφή ερωτηματολογίου παρακολούθησης:
Σύνταξη ερωτηματολογίου: Φλώρα Πάπαρου

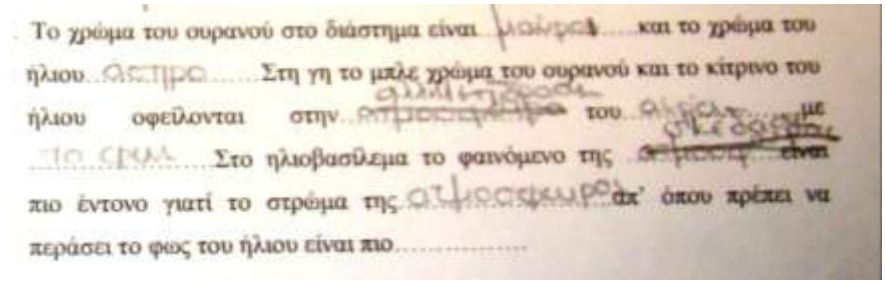
Ερωτηματολόγιο παρακολούθησης:Πληθυσμός –στόχος: Μαθητές

1. Ο Αριστοτέλης ισχυρίζεται ότι από τα σώματα, άλλα μεν κινούνται……, άλλα δε κινούνται……. Αιτίες για τις κινήσεις αυτές είναι, κατά τον Αριστοτέλη η ……και το…….. Σύμφωνα με τον Αριστοτέλη τα βαρύτερα σώματα πέφτουν προς τα κάτω …….από τα ελαφρύτερα.
2. Ο Γαλιλαίος αποδεικνύει ότι ο Αριστοτέλης έχει ……με τα λόγια: «…… ……..... .....».
3. Ο Γαλιλαίος κατέληγε στο ότι υπεύθυνος για τη διαφορά ταχύτητας με την οποία πέφτουν στη γη μια τεράστια μυλόπετρα και ένας κόκκος άμμου είναι ο…… Ο Γαλιλαίος δεν μπορούσε να αποδείξει πειραματικά την αλήθεια των σκέψεών του, γιατί στην εποχή του δεν υπήρχε …….
4. Το φτερό μέσα στο σωλήνα του Νεύτωνα πέφτει σαν να ήταν από …….Στο φεγγάρι το φτερό πέφτει στο έδαφος σαν……
5. Τελικά το αλεξίπτωτο, αν δεν υπήρχε αέρας, θα έπεφτε σαν ……...
6. Ο Νεύτωνας ανακάλυψε ότι για την πτώση των σωμάτων στη γη, όπως και για τη συγκράτηση της σελήνης γύρω από τη γη, ευθύνεται η ίδια αιτία, που την ονόμασε…….
7. Η πρώτη αντλία κενού φτιάχτηκε γύρω στο 1660 από τον Γερμανό φυσικό και μηχανικό……. Με αυτήν ο……. πραγματοποίησε ένα διάσημο πείραμα, το πείραμα του ……..το…….
8. Αν η σφαίρα έχει διάμετρο 1m και διατομή πD^2=…….., πόση δύναμη θα έπρεπε να βάλουν τα άλογα, για να χωρίσουν τα ημισφαίρια, αν ανάμεσά τους καταφέρναμε να μην υπάρχει καθόλου αέρας;
9. Σύμφωνα με τον Τορικέλι, ζούμε στον πάτο…….. Έτσι, η ατμοσφαιρική πίεση οφείλεται…… και μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο Patm= Ρυδρ= d_{Hg}. g . h_{Hg} = 101.293....
10. Ο ήχος, για να διαδοθεί χρειάζεται…….
11. Χωρίς αέρα …….φλόγα. Ο αέρας περιέχει…….., που είναι ……..για τις καύσεις.
12. Αν δεν υπήρχε καθόλου αέρας …….κεραυνοί. Αν όμως, αραίωνε σταδιακά ο αέρας, οι κεραυνοί θα φαίνονταν……
13. Αν ζυγιστούμε μέσα στο νερό φαινόμαστε ……..;. Τελικά η ζυγαριά μετράει……. ……
14. Τα πουλιά …….…….αν δεν υπήρχε ο…….., όπως τα ψάρια δεν θα ……, αν δεν υπήρχε το……....
15. Ένα αερόστατο θα μπορούσε να πετάξει στη Σελήνη;

16. Το νερό στο Έβερεστ, όπου η πίεση είναι το 1/3 περίπου της ατμοσφαιρικής βράζει στους……..
17. Στη Σελήνη, όπου η πίεση είναι $3x10^{-15}$atm, το νερό βρίσκεται σε κατάσταση…….....
18. Οι κομήτες είναι κομμάτια……Όταν περνούν κοντά από τον ήλιο μετατρέπονται σε……... Η φωτεινή ουρά τους είναι……
19. Ένα μπαλόνι με άπειρη ελαστικότητα, κλειστό, με λίγο αέρα στο εσωτερικό του, αν μεταφερόταν στη Σελήνη θα……..γιατί ……
20. Το χρώμα του ουρανού στο διάστημα είναι……..και το χρώμα του ήλιου……Στη γη το μπλε χρώμα του ουρανού και το κίτρινο του ήλιου οφείλονται στην…… του…….με …….Στο ηλιοβασίλεμα το φαινόμενο της …….είναι πιο έντονο γιατί το στρώμα της……..απ' όπου πρέπει να περάσει το φως του ήλιου είναι πιο…….

Ενότητα 4: Έλεγχος Ερωτηματολογίων Παρακολούθησης-Διαπίστωση Δυσκολιών & Προβλημάτων


Το χρώμα του ουρανού στο διάστημα είναι.....και το χρώμα του ήλιου.....Στη γη το μπλε χρώμα του ουρανού και το κίτρινο του ήλιου οφείλονται στην.....του.....με .....Στο ηλιοβασίλεμα το φαινόμενο της .....είναι πιο έντονο γιατί το στρώμα της.....απ' όπου πρέπει να περάσει το φως του ήλιου είναι πιο.....


Το χρώμα του ουρανού στο διάστημα είναι.....και το χρώμα του ήλιου.....Στη γη το μπλε χρώμα του ουρανού και το κίτρινο του ήλιου οφείλονται στην.....του.....με .....Στο ηλιοβασίλεμα το φαινόμενο της .....είναι πιο έντονο γιατί το στρώμα της.....απ' όπου πρέπει να περάσει το φως του ήλιου είναι πιο.....

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V: «Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;»: Αξιολόγηση της εφαρμογής της πειραματικής διάλεξης – Πίνακες αποτελεσμάτων

Πίνακας ΠV-1: Καταγραφή στάσης μαθητών. Καταγραφή εκφρασμένου βαθμού ενδιαφέροντος και δυσκολίας

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ «ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ»	***ΣΧΟΛΙΚΕΣ ΒΑΘΜΙΔΕΣ & ΤΑΞΕΙΣ***																			
	ΔΗΜΟΤΙΚΟ		***ΓΥΜΝΑΣΙΟ***								***ΤΕΕ & ΓΕΝΙΚΟ ΛΥΚΕΙΟ***								***ΣΥΝΟΛΟ***	
	Ε' & ΣΤ' ΔΗΜΟΤΙΚΟΥ		Α' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ		Β' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ		Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ		Β 'ή Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ		ΤΕΕ		Α' ΛΥΚΕΙΟΥ		Β' ΛΥΚΕΙΟΥ		Α' ή Β' ΛΥΚΕΙΟΥ			
ΟΙ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΒΑΘΜΟΛΟΓΟΥΝ ΤΟ «ΜΑΘΗΜΑ» ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ***ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝ*** ΠΟΥ ΤΟΥΣ ΠΡΟΚΑΛΕΣΕ																				
πολύ ενδιαφέρον	77%	61	51%	29	48%	125	34%	156	16%	3	32%	20	32%	18	42%	10	14%	1	41%	423
ενδιαφέρον	19%	15	47%	27	47%	121	52%	239	42%	8	56%	35	57%	32	50%	12	57%	4	48%	493
αδιάφορο	0%	0	2%	1	1%	2	3%	13	42%	8	0%	-	2%	1	4%	1	0%	0	3%	26
βαρετό	1%	1	0%	-	4%	11	11%	51	0%	-	11%	7	9%	5	4%	1	29%	2	8%	78
χωρίς απάντηση	3%	2	0%	-	0%	-	0%	1	0%	-	0%	-	0%	-	0%		0%		0%	3
ΣΥΝΟΛΟ	100%	79	100%	57	100%	259	100%	460	100%	19	100%	62	100%	56	100%	24	100%	7	100%	1023
ΟΙ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΖΟΥΝ ΤΟ Β***ΑΘΜΟ ΔΥΣΚΟΛΙΑΣ*** ΤΟΥ «ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ»																				
πολύ εύκολο	18%	14	9%	5	10%	26	7%	30	0%		6%	4	4%	2	13%	3	14%	1	8%	85
εύκολο	48%	38	65%	37	56%	144	74%	339	74%	14	71%	44	71%	40	67%	16	29%	2	66%	674
δύσκολο	30%	24	23%	13	32%	82	15%	70	11%	2	15%	9	21%	12	21%	5	43%	3	22%	220
πολύ δύσκολο	1%	1	4%	2	3%	7	4%	17	11%	2	6%	4	4%	2	0%	-	14%	1	4%	36
χωρίς απάντηση	3%	2	0%	-	0%	-	1%	4	5%	1	2%	1	0%	-	0%	-	0%	-	1%	8
ΣΥΝΟΛΟ	100%	79	100%	57	100%	259	100%	460	100%	19	100%	62	100%	56	100%	24	100%	7	100%	1023
Η ***ΠΡΟΘΕΣΗ*** ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ ΠΟΥ ΒΡΗΚΑΝ ΤΟ «ΜΑΘΗΜΑ» ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝ Η ΠΟΛΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝ ***ΝΑ ΞΑΝΑΡΘΟΥΝ*** *ΣΕ* ΑΝΑΛΟΓΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΟ ΜΟΥΣΕΙΟ																				
κατά τη διάρκεια της ίδιας σχολικής χρονιάς	72%	57	84%	48	81%	209	70%	320	37%	7	73%	45	57%	32	88%	21	14%	1	72%	740
κατά τη διάρκεια επόμενης σχολικής χρονιάς	52%	41	74%	42	70%	181	64%	293	37%	7	63%	39	59%	33	63%	15	29%	2	64%	653
ΣΥΝΟΛΟ		79		57		259		460		19		62		56		24		7		1023

Πηγή: Ερωτηματολόγια στάσης απευθυνόμενα στους μαθητές

Πίνακας ΠV-2: Εκτίμηση βαθμού παρακολούθησης: Μέσος όρος και μέση απόκλιση του βαθμού συμπλήρωσης καθεμίας από τις διαφορετικές ερωτήσεις.

ΔΕΙΚΤΕΣ	ΠΛΗΘΟΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΕΡ1	ΕΡ2	ΕΡ3	ΕΡ4	ΕΡ5	ΕΡ6	ΕΡ7	ΕΡ8	ΕΡ9	ΕΡ10	ΕΡ11	ΕΡ12
ΔΗΜΟΤΙΚΟ														
ΜΟ	79	από 24/11/2006	93,73	96,84	96,71	96,20	98,10	92,47	91,58	78,86	87,15	79,43	86,20	80,38
μέση απόκλιση		μέχρι 1/12/2006	18,20	12,25	12,24	19,24	12,51	18,62	20,18	30,91	33,41	32,88	25,90	28,15
Α' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ														
ΜΟ	64	από 25/11/2004	100,00	96,72	93,75	100,00	100,00	90,16	91,67	94,61	100,00	96,48	95,00	89,06
μέση απόκλιση		μέχρι 11/4/2005	0,00	11,83	21,19	0,00	0,00	21,98	20,41	14,35	0,00	17,65	15,94	25,12
Β' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ														
ΜΟ	205	από 19/11/2004	96,63	96,73	97,71	96,78	97,95	94,49	90,85	89,22	91,60	81,59	76,51	86,32
μέση απόκλιση		μέχρι 12/10/2007	15,81	16,35	14,08	16,76	13,92	16,94	20,14	24,26	25,82	33,82	40,13	24,28
Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ														
ΜΟ	368	από 17/12/2004	96,30	94,24	96,17	96,56	95,92	89,88	88,67	86,18	72,98	81,18	79,39	79,58
μέση απόκλιση		μέχρι 30/4/2007	15,04	19,39	17,68	18,06	19,80	26,13	27,35	26,81	43,54	37,85	34,80	30,16
ΛΥΚΕΙΟ & ΕΠΑΛ-ΤΕΕ														
ΜΟ	143	από 24/2/2005	88,53	90,17	89,51	94,06	93,01	75,84	73,88	74,72	75,62	76,98	74,52	66,89
μέση απόκλιση		μέχρι 12/3/2007	25,37	25,72	28,37	23,35	25,59	39,33	35,52	37,34	42,87	39,20	38,03	38,15
ΣΥΝΟΛΟ														
ΜΟ	859	από 19/11/2004	95,13	94,58	95,30	96,41	96,17	88,90	86,49	84,95	82,83	81,67	79,80	79,86
μέση απόκλιση		μέχρι 12/10/2007	17,41	19,05	19,19	18,23	19,08	26,85	27,06	28,51	36,84	35,64	35,28	30,55

Πίνακας ΠV-2: Εκτίμηση βαθμού παρακολούθησης: Μέσος όρος και μέση απόκλιση του βαθμού συμπλήρωσης καθεμίας από τις διαφορετικές ερωτήσεις

ΔΕΙΚΤΕΣ	ΠΛΗΘΟΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΕΡ13	ΕΡ14	ΕΡ15	ΕΡ16	ΕΡ17	ΕΡ18	ΕΡ19	ΕΡ20	ΕΡ21	ΕΡ22	ΕΡ23	Σύνολο ερωτήσεων
ΔΗΜΟΤΙΚΟ														
ΜΟ	79	από 24/11/2006	86,01	89,81	72,85	92,66	87,22	87,05	84,32	82,39	85,23		89,56	88,22
μέση απόκλιση		μέχρι 1/12/2006	34,26	26,27	32,24	23,67	27,78	26,02	29,35	29,32	26,72		19,43	25,93
Α' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ														
ΜΟ	64	από 25/11/2004	100,00	91,80	91,09	90,78	100,00	89,53	92,19	82,19	71,88	93,33	95,71	91,90
μέση απόκλιση		μέχρι 11/4/2005	0,00	25,98	25,89	26,20	0,00	28,42	25,15	29,03	45,32	16,33	18,03	23,79
Β' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ														
ΜΟ	205	από 19/11/2004	90,16	93,32	88,73	93,01	90,64	89,63	89,12	89,02	90,29	85,46	86,54	90,52
μέση απόκλιση		μέχρι 12/10/2007	27,95	24,43	23,67	24,03	25,03	29,00	27,32	27,44	28,41	31,19	28,40	25,60
Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ														
ΜΟ	368	από 17/12/2004	84,03	92,23	80,64	89,85	71,41	79,08	82,96	74,84	71,86	72,64	81,94	85,42
μέση απόκλιση		μέχρι 30/4/2007	36,22	25,70	33,51	28,50	41,40	33,31	34,92	39,70	44,02	36,85	30,50	31,28
ΛΥΚΕΙΟ & ΕΠΑΛ-ΤΕΕ														
ΜΟ	143	24/2/2005	68,43	76,99	72,17	73,64	59,34	71,27	65,12	62,12	66,35	63,01	66,12	75,13
μέση απόκλιση		12/3/2007	45,63	41,89	42,34	40,33	44,12	42,82	44,58	46,37	45,95	45,58	41,04	39,76
ΣΥΝΟΛΟ ΤΑΞΕΩΝ														
ΜΟ	859	από 19/11/2004	83,10	89,70	81,22	88,01	78,31	81,70	82,53	78,93	76,31	74,60	81,65	85,60
μέση απόκλιση		μέχρι 12/10/2007	36,45	29,33	33,09	30,23	37,03	33,92	34,84	36,53	41,19	38,01	31,81	31,22

Πίνακας ΠV-3: Εκτίμηση βαθμού παρακολούθησης: Κλίμακα του βαθμού συμπλήρωσης των διαφορετικών ερωτήσεων του ερωτηματολογίου παρακολούθησης

α.	**ΒΑΘΜΟΣ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ**																							
	ΕΡ1	ΕΡ2	ΕΡ3	ΕΡ4	ΕΡ5	ΕΡ6	ΕΡ7	ΕΡ8	ΕΡ9	ΕΡ10	ΕΡ11	ΕΡ12	ΕΤΡ13	ΕΡ14	ΕΡ15	ΕΡ16	ΕΡ17	ΕΡ18	ΕΡ19	ΕΡ20	ΕΡ21	ΕΡ22	ΕΡ23	σύνολο
	Ε΄ & ΣΤ' ΔΗΜΟΤΙΚΟΥ																							
κενά	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	35	35	35	79	0	219
0-20%	2	0	0	3	1	1	3	7	10	9	4	5	11	6	8	4	4	2	2	2	2	0	2	88
25-45%	1	0	0	0	0	2	1	4	0	3	4	5	0	0	5	1	5	2	3	2	0	0	2	40
50-70%	4	5	5	0	1	10	2	10	0	7	7	12	0	5	7	2	6	7	4	7	10	0	8	119
75-100%	72	74	74	76	77	66	73	58	69	60	64	57	68	68	59	72	64	33	35	33	32	0	67	1351
σύνολο	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	1817
σύνολο-κενά	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	44	44	44	44	0	79	1598
0-20%	3%	0%	0%	4%	1%	1%	4%	9%	13%	11%	5%	6%	14%	8%	10%	5%	5%	5%	5%	5%	5%		3%	6%
25-45%	1%	0%	0%	0%	0%	3%	1%	5%	0%	4%	5%	6%	0%	0%	6%	1%	6%	5%	7%	5%	0%		3%	3%
50-70%	5%	6%	6%	0%	1%	13%	3%	13%	0%	9%	9%	15%	0%	6%	9%	3%	8%	16%	9%	16%	23%		10%	7%
75-100%	91%	94%	94%	96%	97%	84%	92%	73%	87%	76%	81%	72%	86%	86%	75%	91%	81%	75%	80%	75%	73%		85%	85%
σύνολο	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		100%	100%

β.	**ΒΑΘΜΟΣ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ**																							
	ΕΡ1	ΕΡ2	ΕΡ3	ΕΡ4	ΕΡ5	ΕΡ6	ΕΡ7	ΕΡ8	ΕΡ9	ΕΡ10	ΕΡ11	ΕΡ12	ΕΡ13	ΕΡ14	ΕΡ15	ΕΡ16	ΕΡ17	ΕΡ18	ΕΡ19	ΕΡ20	ΕΡ21	ΕΡ22	ΕΡ23	σύνολο
	Α' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ																							
κενά	0	0	0	0	58	0	58	0	58	0	0	0	58	0	0	0	58	0	0	0	0	58	29	377
0-20%	0	0	2	0	0	1	0	0	0	2	1	3	0	5	4	4	0	5	4	5	18	0	1	55
25-45%	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	5
50-70%	0	4	3	0	0	6	1	7	0	0	5	7	0	0	4	3	0	3	1	16	0	1	1	62
75-100%	64	60	58	64	6	55	5	57	6	62	58	53	6	59	56	56	6	56	59	43	46	5	33	973
σύνολο	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	1472
σύνολο-κενά	64	64	64	64	6	64	6	64	6	64	64	64	6	64	64	64	6	64	64	64	64	6	35	1095
0-20%	0%	0%	3%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	3%	2%	5%	0%	8%	6%	6%	0%	8%	6%	8%	28%	0%	3%	5%
25-45%	0%	0%	2%	0%	0%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
50-70%	0%	6%	5%	0%	0%	9%	17%	11%	0%	0%	8%	11%	0%	0%	6%	5%	0%	5%	2%	25%	0%	17%	3%	6%
75-100%	100%	94%	91%	100%	100%	86%	83%	89%	100%	97%	91%	83%	100%	92%	88%	88%	100%	88%	92%	67%	72%	83%	94%	89%
σύνολο	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Πίνακας ΠV-3 (Εκτίμηση βαθμού παρακολούθησης: Κλίμακα του βαθμού συμπλήρωσης των διαφορετικών ερωτήσεων του ερωτηματολογίου παρακολούθησης

γ.	ΒΑΘΜΟΣ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ																							
	ΕΡ1	ΕΡ2	ΕΡ3	ΕΡ4	ΕΡ5	ΕΡ6	ΕΡ7	ΕΡ8	ΕΡ9	ΕΡ10	ΕΡ11	ΕΡ12	ΕΡ13	ΕΡ14	ΕΡ15	ΕΡ16	ΕΡ17	ΕΡ18	ΕΡ19	ΕΡ20	ΕΡ21	ΕΡ22	ΕΡ23	σύνολο
	Β' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ																							
κενά	0	0	0	0	0	0	17	0	17	0	0	0	17	0	0	39	17	17	0	17	17	0	0	158
0-20%	5	5	4	6	4	4	5	11	13	27	42	11	17	13	8	9	11	16	15	12	16	19	15	288
25-45%	0	0	0	0	0	1	0	1	0	5	2	4	0	0	5	2	0	2	0	2	0	2	4	30
50-70%	1	3	2	1	0	16	19	16	4	12	9	21	4	0	17	4	8	6	11	12	4	19	19	208
75-100%	199	197	199	198	201	184	164	177	171	161	152	169	167	192	175	151	169	164	179	162	168	165	167	4031
σύνολο	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	4715
σύνολο - κενά	205	205	205	205	205	205	188	205	188	205	205	205	188	205	205	166	188	188	205	188	188	205	205	4557
0-20%	2%	2%	2%	3%	2%	2%	3%	5%	7%	13%	20%	5%	9%	6%	4%	5%	6%	9%	7%	6%	9%	9%	7%	6%
25-45%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	1%	2%	0%	0%	2%	1%	0%	1%	0%	1%	0%	1%	2%	1%
50-70%	0%	1%	1%	0%	0%	8%	10%	8%	2%	6%	4%	10%	2%	0%	8%	2%	4%	3%	5%	6%	2%	9%	9%	5%
75-100%	97%	96%	97%	97%	98%	90%	87%	86%	91%	79%	74%	82%	89%	94%	85%	91%	90%	87%	87%	86%	89%	80%	81%	88%
σύνολο	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

δ.	ΒΑΘΜΟΣ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ																							
	ΕΡ1	ΕΡ2	ΕΡ3	ΕΡ4	ΕΡ5	ΕΡ6	ΕΡ7	ΕΡ8	ΕΡ9	ΕΡ10	ΕΡ11	ΕΡ12	ΕΡ13	ΕΡ14	ΕΡ15	ΕΡ16	ΕΡ17	ΕΡ18	ΕΡ19	ΕΡ20	ΕΡ21	ΕΡ22	ΕΡ23	σύνολο
	Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ																							
κενά	0	0	0	37	0	0	244	0	244	26	26	26	244	0	0	0	244	20	35	244	35	20	26	1471
0-20%	7	11	10	11	15	23	9	23	32	59	44	27	19	26	41	30	29	40	45	23	88	58	34	704
25-45%	3	0	0	0	0	5	0	3	0	4	15	16	0	1	4	5	0	2	4	2	0	3	10	77
50-70%	5	21	8	1	0	17	6	38	1	6	40	58	1	3	56	10	12	73	11	12	11	82	33	505
75-100%	353	336	350	319	353	323	109	304	91	273	243	241	104	338	267	323	83	233	273	87	234	205	265	5707
σύνολο	368	368	368	368	368	368	368	368	368	368	368	368	368	368	368	368	368	368	368	368	368	368	368	8464
σύνολο-κενά	368	368	368	331	368	368	124	368	124	342	342	342	124	368	368	368	124	348	333	124	333	348	342	6993
0-20%	2%	3%	3%	3%	4%	6%	7%	6%	26%	17%	13%	8%	15%	7%	11%	8%	23%	11%	14%	19%	26%	17%	10%	10%
25-45%	1%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	1%	0%	1%	4%	5%	0%	0%	1%	1%	0%	1%	1%	2%	0%	1%	3%	1%
50-70%	1%	6%	2%	0%	0%	5%	5%	10%	1%	2%	12%	17%	1%	1%	15%	3%	10%	21%	3%	10%	3%	24%	10%	7%
75-100%	96%	91%	95%	96%	96%	88%	88%	83%	73%	80%	71%	70%	84%	92%	73%	88%	67%	67%	82%	70%	70%	59%	77%	82%
σύνολο	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Πίνακας ΠV-3 : Εκτίμηση βαθμού παρακολούθησης: Κλίμακα του βαθμού συμπλήρωσης των διαφορετικών ερωτήσεων του ερωτηματολογίου παρακολούθησης

ε.	**ΒΑΘΜΟΣ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ**																							
	ΕΡ1	ΕΡ2	ΕΡ3	ΕΡ4	ΕΡ5	ΕΡ6	ΕΡ7	ΕΡ8	ΕΡ9	ΕΡ10	ΕΡ11	ΕΡ12	ΕΡ13	ΕΡ14	ΕΡ15	ΕΡ16	ΕΡ17	ΕΡ18	ΕΡ19	ΕΡ20	ΕΡ21	ΕΡ22	ΕΡ23	σύνολο
	Τ.Ε.Ε & Α', Β' ΓΕΝΙΚΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ																							
κενά	0	0	0	0	0	0	22	0	22	17	17	0	22	0	0	0	22	17	17	39	17	0	0	212
0-20%	8	8	11	8	10	27	16	24	29	23	22	28	36	33	33	28	39	30	35	34	39	46	34	601
25-45%	5	1	0	0	0	4	5	0	0	4	6	13	3	0	4	7	2	5	7	3	0	0	7	76
50-70%	8	10	8	1	0	12	20	20	1	6	10	21	0	0	10	14	15	7	3	6	7	14	17	210
75-100%	122	124	124	134	133	100	80	99	91	93	88	81	82	110	96	94	65	84	81	61	80	83	85	2190
σύνολο	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	3289
σύνολο - κενά	143	143	143	143	143	143	121	143	121	126	126	143	121	143	143	143	121	126	126	104	126	143	143	3077
0-20%	6%	6%	8%	6%	7%	19%	13%	17%	24%	18%	17%	20%	30%	23%	23%	20%	32%	24%	28%	33%	31%	32%	24%	20%
25-45%	3%	1%	0%	0%	0%	3%	4%	0%	0%	3%	5%	9%	2%	0%	3%	5%	2%	4%	6%	3%	0%	0%	5%	2%
50-70%	6%	7%	6%	1%	0%	8%	17%	14%	1%	5%	8%	15%	0%	0%	7%	10%	12%	6%	2%	6%	6%	10%	12%	7%
75-100%	85%	87%	87%	94%	93%	70%	66%	69%	75%	74%	70%	57%	68%	77%	67%	66%	54%	67%	64%	59%	63%	58%	59%	71%
σύνολο	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
στ.	**ΒΑΘΜΟΣ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ**																							
	ΕΡ1	ΕΡ2	ΕΡ3	ΕΡ4	ΕΡ5	ΕΡ6	ΕΡ7	ΕΡ8	ΕΡ9	ΕΡ10	ΕΡ11	ΕΡ12	ΕΡ13	ΕΡ14	ΕΡ15	ΕΡ16	ΕΡ17	ΕΡ18	ΕΡ19	ΕΡ20	ΕΡ21	ΕΡ22	ΕΡ23	σύνολο
	ΣΥΝΟΛΟ ΜΑΘΗΤΩΝ																							
κενά	0	0	0	37	58	0	341	0	341	43	43	26	341	0	0	39	341	89	87	335	104	157	55	2437
0-20%	22	24	27	28	30	56	33	65	84	120	113	74	83	83	94	75	83	93	101	76	163	123	86	1736
25-45%	9	1	1	0	0	14	6	8	0	16	27	39	3	1	18	16	7	11	14	9	0	5	23	228
50-70%	18	43	26	3	1	61	48	91	6	31	71	119	5	8	94	33	41	96	30	53	32	116	78	1104
75-100%	810	791	805	791	770	728	431	695	428	649	605	601	427	767	653	696	387	570	627	386	560	458	617	14252
σύνολο	859	859	859	859	859	859	859	859	859	859	859	859	859	859	859	859	859	859	859	859	859	859	859	19757
σύνολο - κενά	859	859	859	822	801	859	518	859	518	816	816	833	518	859	859	820	518	770	772	524	755	702	804	17320
0-20%	3%	3%	3%	3%	4%	7%	6%	8%	16%	15%	14%	9%	16%	10%	11%	9%	16%	12%	13%	15%	22%	18%	11%	10%
25-45%	1%	0%	0%	0%	0%	2%	1%	1%	0%	2%	3%	5%	1%	0%	2%	2%	1%	1%	2%	2%	0%	1%	3%	1%
50-70%	2%	5%	3%	0%	0%	7%	9%	11%	1%	4%	9%	14%	1%	1%	11%	4%	8%	12%	4%	10%	4%	17%	10%	6%
75-100%	94%	92%	94%	96%	96%	85%	83%	81%	83%	80%	74%	72%	82%	89%	76%	85%	75%	74%	81%	74%	74%	65%	77%	82%
σύνολο	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Πίνακας ΠV-4: Καταγραφή στάσης συνοδών καθηγητών απέναντι στην πειραματική διάλεξη

Απαντήσεις συνοδών δασκάλων & καθηγητών στα ερωτηματολόγια στάσης Ακαδημαϊκές περίοδοι *2004-5, 2005-6, 2007-8*			
ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΣΤΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ	**αριθμός ατόμων**	**ποσοστό**	
Χαρακτηρισμός «μαθήματος» ως προς το ενδιαφέρον			
πάρα πολύ ενδιαφέρον	1	2%	
πολύ ενδιαφέρον	36	78%	
ενδιαφέρον	6	13%	
χωρίς απάντηση	3	7%	
σύνολο	46	100%	
Απαντήσεις στο αν το «μάθημα» μπορεί να κινητοποιήσει το ενδιαφέρον των μαθητών για τις φυσικές επιστήμες			
μπορεί	41	89%	
μπορεί σε αρκετά μεγάλο βαθμό	1	2%	
μπορεί, αλλά ο ρυθμός είναι γρήγορος	1	2%	
χωρίς απάντηση	3	7%	
σύνολο	46	100%	
Απαντήσεις στο αν τα διδακτικά εργαλεία είναι επαρκή			
ναι	31	67%	
ναι, για τις ενότητες που έγιναν	1	2%	
ναι σε σχέση με τη γενική ανεπάρκεια	1	2%	
προτείνω να γίνεται μεγαλύτερη ανάλυση φαινομένων	1	2%	[ccxiii]
προτείνω λιγότερη συνεχή ομιλία, μόνο επεξηγήσεις φαινομένων	1	2%	
χωρίς απάντηση	11	24%	
σύνολο	46	100%	
Απαντήσεις στο αν το περιεχόμενο της πειραματικής διάλεξης έχει σχέση με την ύλη της συγκεκριμένης τάξης			
ναι	21	46%	[ccxiv]
όχι	3	7%	[ccxv]
ναι, μόνο με ύλη Γ' Γυμνασίου	1	2%	[ccxvi]
ναι, μερική	3	7%	[ccxvii]
δεν έχω άποψη	5	11%	[ccxviii]
χωρίς απάντηση	13	28%	
σύνολο	46	100%	
Απαντήσεις στο αν το «μάθημα» μπορεί να εμπλουτίσει τις γνώσεις των μαθητών για τις φυσικές επιστήμες			
ναι	40	87%	
χωρίς απάντηση	6	13%	
σύνολο	46	100%	

[ccxiii] Η συγκεκριμένη απάντηση δόθηκε από φιλόλογο.
[ccxiv] Οι απαντήσεις προέρχονται από δασκάλους και καθηγητές των τάξεων Ε' & Στ' Δημοτικού, Β' & Γ' Γυμνασίου, Α' & Β' Λυκείου.
[ccxv] Οι απαντήσεις προέρχονται από καθηγητές της Β' Γυμνασίου, Α' & Β' Λυκείου, Γ' ΤΕΕ Οικονομίας Διοίκησης.
[ccxvi] Ο καθηγητής συνόδευε μαθητές των Β' & Γ' τάξεων του Γυμνασίου.
[ccxvii] Οι συγκεκριμένες απαντήσεις έχουν δοθεί από καθηγητές της Α' Γυμνασίου (1 απάντηση) και της Β' Γυμνασίου (2 απαντήσεις).
[ccxviii] Οι συγκεκριμένοι καθηγητές αναφέρουν αιτιολογώντας τις απαντήσεις τους ότι ανήκουν σε άλλη ειδικότητα (4 απαντήσεις) ή ότι διδάσκουν σε άλλη σχολική τάξη (1 απάντηση).

Πίνακας ΠV-4: Καταγραφή στάσης συνοδών καθηγητών απέναντι στην πειραματική διάλεξη

Απαντήσεις συνοδών δασκάλων & καθηγητών στα ερωτηματολόγια στάσης Ακαδημαϊκές περίοδοι 2004-5, 2005-6, 2007-8			
ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΣΤΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ	**αριθμός ατόμων**	**ποσοστό**	
Απαντήσεις στο αν το «μάθημα» μπορεί να συνδέσει κεφάλαια φυσικής, χημείας & τεχνολογίας			
ναι	31	67%	
εν μέρει	1	2%	[ccix]
όχι	1	2%	[ccx]
χωρίς απάντηση	13	28%	
σύνολο	46	100%	
Απαντήσεις στο αν το «μάθημα» μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο συζήτησης στα μαθήματα Φυσικής-Χημείας-& Τεχνολογίας;			
ναι	34	74%	
χωρίς απάντηση	12	26%	
σύνολο	46	100%	
Απαντήσεις στην ερώτηση αν θα ήθελαν να παρακολουθήσουν άλλο μάθημα στο μουσείο			
ναι	18	39%	
χωρίς απάντηση	28	61%	
σύνολο	46	100%	
Από τους εκπαιδευτικούς που έδωσαν θετική απάντηση στην προηγούμενη ερώτηση ζητήθηκε να προσδιορίσουν συγκεκριμένες ενότητες			
ηλεκτρισμός/μαγνητισμός/ηλεκτρομαγνητισμός	5	11%	
οπτική-αντικατοπτρισμός	1	2%	
θερμότητα/θερμική κίνηση/λανθάνουσα θερμότητα/βρασμός	1	2%	
νόμοι βαρύτητας	1	2%	
ιστορία	1	2%	
χωρίς απάντηση	37	80%	
σύνολο	46	100%	
Άλλες παρατηρήσεις			
συγχαρητήρια κλπ	9	20%	
λιγότερος χρόνος για παιδιά δημοτικού	1	2%	
να προηγείται η διδασκαλία ύλης/πειραμάτων στο σχολείο	1	2%	[ccxi]
να γίνεται διάλειμμα, να επιλέγεται άλλος χώρος όχι η τάξη	1	2%	
μαθήματα στα μέτρα των προτάσεων του σχολικού βιβλίου	1	2%	
να υπάρχει μεγαλύτερη κινητικότητα, να επιλεγεί άλλος χώρος όχι τάξη)	2	4%	
χωρίς απάντηση	31	67%	
σύνολο	46	100%	

[ccxix] Η συγκεκριμένη απάντηση δόθηκε από καθηγητή μαθηματικών που συνόδευσε μαθητές των τάξεων Α' και Β' Λυκείου.
[ccxx] Η απάντηση δόθηκε από καθηγητή Βιολογίας που συνόδευσε μαθητές της Γ' Γυμνασίου.
[ccxxi] Η απάντηση δόθηκε από καθηγήτρια Χημείας που παρακολούθησε την παρουσίαση, ανεξάρτητα, χωρίς να συνοδεύει κάποια τάξη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI: Η εφαρμογή της διαδρομής εξερεύνησης: Μελετώντας την ατμοσφαιρική πίεση» - Υποστηρικτικό υλικό

Ενότητα 1: Φυλλάδιο Παρακολούθησης

Σύνταξη φυλλαδίου: Φλώρα Πάπαρου

Μουσείο Ιστορίας & Φυσικής Χίου

«ΜΕΛΕΤΩΝΤΑΣ ΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ»

Ονοματεπώνυμο επισκέπτη: ……

Το παρόν φυλλάδιο κατασκευάστηκε στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Διαβίου Μάθησης / Εκπαιδευτικές Συμπράξεις Gruntdvig *με τίτλο: «Ανακαλύπτοντας την επιστήμη ως Κουλτούρα Διαμέσου των Ευρωπαϊκών Επιστημονικών Μουσείων» και αριθμό* 07-GRCO1-GR04-00025-1.

ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΟΥ ΜΑΓΔΕΜΒΟΥΡΓΟΥ

Μαγδεμβούργο ……

Ο Γκέριγκε επιδεικνύει την 1η αντλία ……

Με το πείραμα της εικόνας εκτιμήθηκε για πρώτη φορά στην ιστορία πόσο μεγάλη είναι η ……..

Εικόνες από το βιβλίο των Cinzia, G.& Novelli,L., Η Ιστορία της Χημείας σε Κόμικς, Τόμος Α, Κάτοπτρο, Αθήνα 1992

Η έννοια της Α…… Π……..

Σκεφτείτε γιατί οι σφαίρες δεν ανοίγουν. Τι τις κρατάει κλειστές; Τι τις πιέζει;

Απάντηση:

…….

Ποιο φαινόμενο της καθημερινής ζωής σας θυμίζει το ότι οι σφαίρες δεν ανοίγουν;

Απάντηση:

Τη β _ _ _ _ _ _Α στον Τ_ _ _ Ο

*- φυλλάδιο παρακολούθησης σελ.*3-

Σχέδιο του Gaspar Schott, 17ος αιώνας

Μετρείστε σε άλογα, πόση δύναμη χρειάστηκε για να ανοίξουν τα ημισφαίρια του Μαγδεμβούργου το 1610.

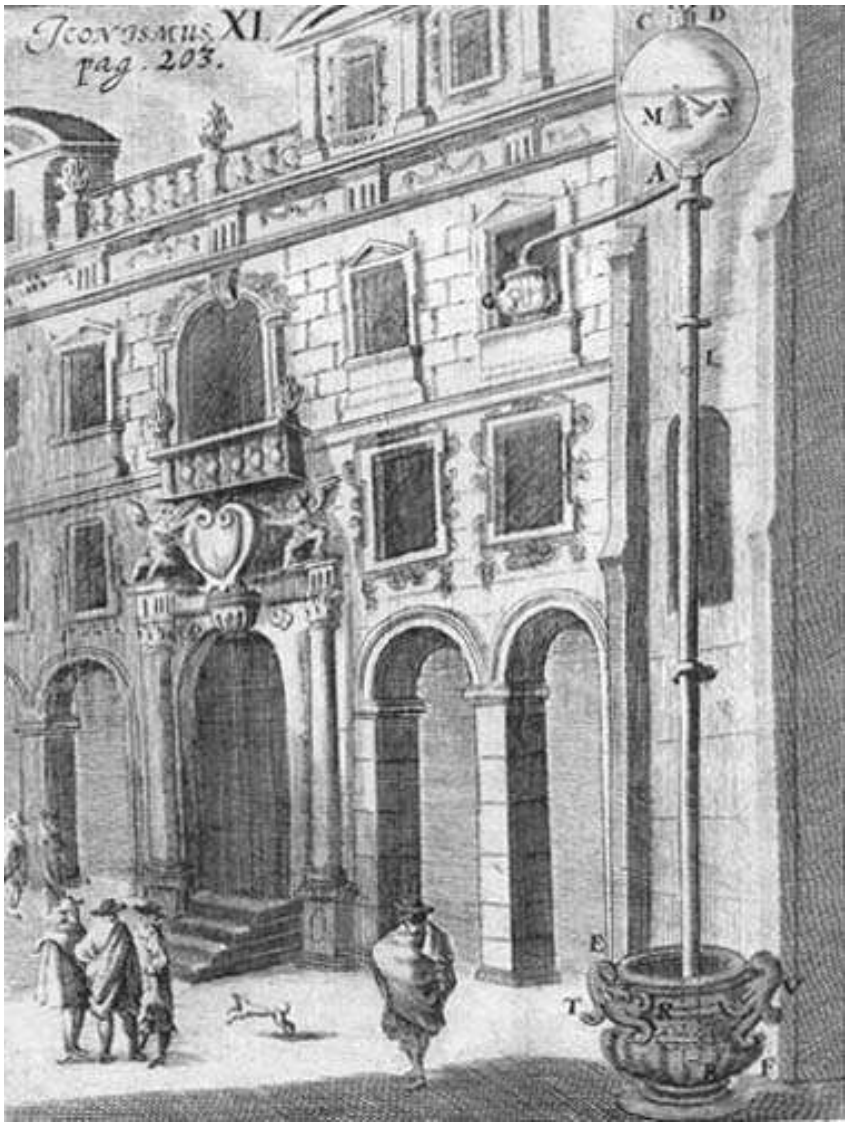
Απάντηση:……..

Μετρείστε, χρησιμοποιώντας ένα δυναμόμετρο, τη δύναμη που χρειάζεται να βάλετε για να ανοίξουν οι σφαίρες.

Απάντηση……

- φυλλάδιο παρακολούθησης σελ 4-

ΤΟ ΚΕΝΟ ΥΠΑΡΧΕΙ;



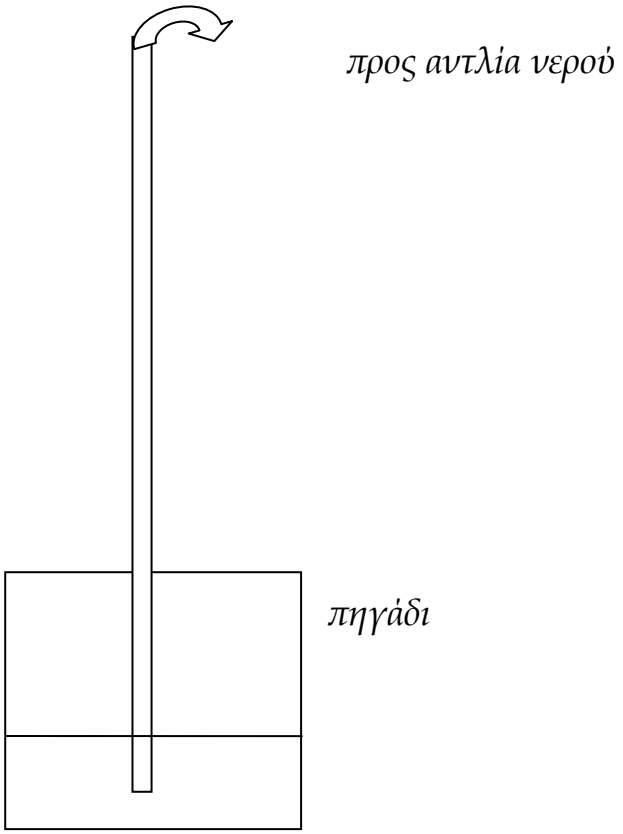
Σχέδιο του Gaspar Schott, 17^{ος} αιώνας

Το 1630, ο G. B. Balliani, αριστοκράτης από τη Γένοβα, ρώτησε τον Γαλιλαίο, γιατί το νερό δεν μπορούσε να ανέλθει σε ύψος 21m, περίπου, με τη βοήθεια σιφωνίου που είχε κατασκευάσει. Ο Γαλιλαίος απάντησε ότι η δύναμη του κενού ήταν επαρκής, για να ανεβάσει μια στήλη νερού, με τη βοήθεια αντλίας, στο μέγιστο ύψος των 11 μέτρων.

Πάνω από αυτό το ύψος «η δύναμη του κενού ήταν ανεπαρκής και η στήλη του νερού διαλυόταν»…

- *φυλλάδιο παρακολούθησης σελ* 5-

Πόσο ψηλά μπορείτε να ανεβάσετε το νερό με μια πολύ καλή αντλία, χρησιμοποιώντας ένα λάστιχο συνδεδεμένο με το πηγάδι σας;



Μήπως ξέρετε γιατί λέμε ότι η ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας είναι 760 mm Hg;

- *φυλλάδιο παρακολούθησης σελ* 6-

ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΟΥ ΤΟΡΙΚΕΛΛΙ

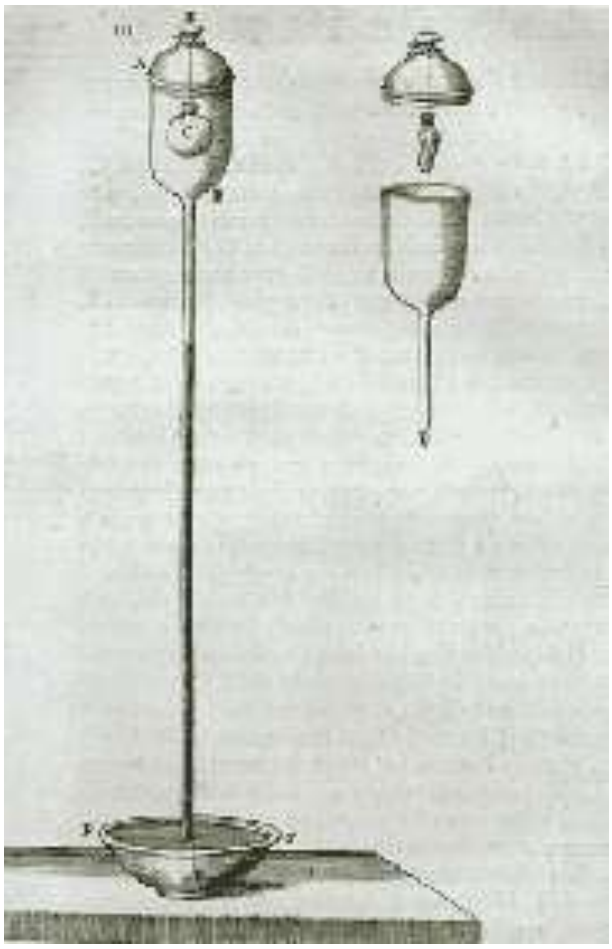
Σχέδιο του Gaspar Schott, 17ος αιώνας

Το 1644, ο Torricelli έκανε ένα πείραμα που αποτέλεσε ορόσημο για την ιστορία της επιστήμης. Αναποδογύρισε έναν σωλήνα γεμάτο με υδράργυρο, κλειστό από τη μια άκρη, μέσα σε ένα δοχείο με υδράργυρο. Ανακάλυψε ότι η στήλη του υδραργύρου σταματούσε σταθερά σε ύψος 76cm, αφήνοντας τον χώρο πάνω από τα 76cm κενό.

Σε γράμμα του προς τον Michelangelo Ricci, στις 11 Ιουνίου του 1644, ο Torricelli δηλώνει ότι το πείραμά του αποδεικνύει δύο βασικές αρχές: ότι η φύση δεν αποστρέφεται το κενό και ότι ο αέρας έχει βάρος.

- *φυλλάδιο παρακολούθησης σελ* 7-

ΜΑΓΙΚΟ ΦΟΥΣΚΩΜΑ ΜΠΑΛΟΝΙΟΥ

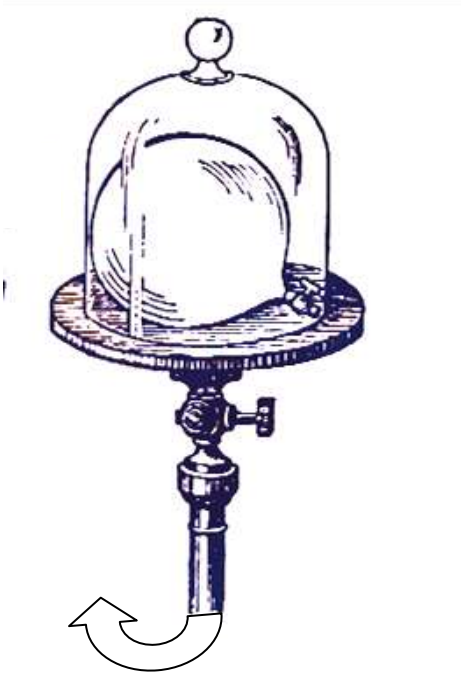


«Μαγικό φούσκωμα μπαλονιού», ονομάστηκε το πείραμα, με το οποίο αποδεικνυόταν, ιδιαίτερα θεαματικά, η παρουσία «κενού» στο δοχείο του σχήματος και οι «μαγικές» του ιδιότητες. Βρισκόμαστε την*Accademia del Cimento, στη Φλωρεντία του 1666*.

Σχέδιο του Gaspar Schott, 17ος αιώνας

Γιατί φουσκώνει το μπαλόνι;

Τι το πιέζει;



προς αντλία αέρα

- φυλλάδιο παρακολούθησης σελ 8-

ΜΟΥΣΕΙΟ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΧΙΟΥ - ΣΧΟΛΕΙΟ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΕΥΚΑΙΡΙΑΣ ΧΙΟΥ

Εκπαιδευτικό πρόγραμμα Φυσικών επιστημών:
Μελετώντας την ατμοσφαιρική πίεση
Δραστηριότητα που πραγματοποιήθηκε στις 5 Δεκεμβρίου 2007
με το Α2 του ΣΔΕ

Ερωτηματολόγιο αξιολόγησης [Δείγμα: 8]
Βάζουμε ένα Χ στο κουτί που διαλέγουμε.

1. **Γνωρίζατε ότι υπάρχει το Μουσείο Φυσικής και Ιστορίας στη Χίο;**

   ΝΑΙ **4** ΟΧΙ **4**

2. **Είχατε επισκεφτεί το Μουσείο Φυσικής και Ιστορίας;**

   Ποτέ **8** Μια φορά **0** Περισσότερες από μια φορά **0**

3. **Πώς ήταν η υποδοχή από τους ανθρώπους του Μουσείου;**

   Αδιάφορη **0** Τυπική **0** Φιλική **8** Δεν απαντώ **0**

4.

Ερωτήσεις	*Πολύ*	*Μέτρια*	*Λίγο*	*Καθόλου*
Κινηθήκατε με ευκολία στο χώρο με τα διάφορα όργανα;	**5**	**3**	**0**	**0**
Ακούγατε με ευκολία ό,τι λεγόταν;	**6**	**2**	**0**	**0**
Βλέπατε με άνεση;	**8**	**0**	**0**	**0**
Πειραματιστήκατε («παίξατε») εσείς, προσωπικά, με όργανα;	**8**	**0**	**0**	**0**
Τα φύλλα εργασίας τα συμπληρώσατε εύκολα;	**1**	**7**	**0**	**0**
Σας καθοδηγούσαν οι υπεύθυνοι για το τι θα κάνετε;	**8**	**0**	**0**	**0**
Η ώρα που κράτησε η δραστηριότητα ήταν αρκετή για το θέμα;	**4**	**3**	**1**	**0**
Μάθατε πράγματα που δε γνωρίζατε πριν;	**8**	**0**	**0**	**0**

5. **Σημειώστε κάτι που σας έκανε εντύπωση στο Μουσείο: από τα όργανα, από τα πειράματα ή από τα όσα μάθατε.**

   Αναφέρθηκαν:Το «φούσκωμα του μπαλονιού» (5), το βράσιμο του νερού χωρίς να ζεσταθεί και το «ερωτόμετρο».

6. **Θα θέλατε να ξαναγίνει δραστηριότητα στο χώρο του Μουσείου;**

   ΝΑΙ **7** ΟΧΙ **0** ΔΕΝ ΑΠΑΝΤΩ **1**

Το παρόν ερωτηματολόγιο κατασκευάστηκε στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Διαβίου Μάθησης / Εκπαιδευτικές Συμπράξεις Gruntdvig με τίτλο: «Ανακαλύπτοντας την επιστήμη ως Κουλτούρα Διαμέσου των Ευρωπαϊκών Επιστημονικών Μουσείων» και αριθμό 07-GRCO1-GR04-00025-1.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VII : Ιστορικά επιστημονικά κείμενα

Ενότητα 1.Πώς και γιατί πέφτουν τα πράγματα στη γη;

1.1. Οι βασικές αρχές της κίνησης σύμφωνα με τον Αριστοτέλη (384-322 π.Χ)

Απόσπασμα 1: *Η κίνηση ως προς τον τόπο:*

Όλα τα φυσικά σώματα και μεγέθη λέμε πως είναι από μόνα τους ικανά για κίνηση ως προς τον *τόπο*, εφόσον υποστηρίζουμε πως η φύση είναι η αρχή της κίνησής τους… (Αριστοτέλης, *Περί Ουρανού Α*, 269a[297]).

Απόσπασμα 2: *Ελαφρύ και βαρύ:*

Λέμε πως κάτι είναι βαρύ ή ελαφρύ αφ΄ενός κατ' απόλυτη έννοια και αφ΄ετέρου σε σχέση με κάτι άλλο, διότι από αυτά που έχουν βάρος λέμε πως το ένα είναι ελαφρύτερο και το άλλο βαρύτερο, όπως, για παράδειγμα, ο χαλκός σε σχέση με το ξύλο. Σε σχέση, τώρα, με την απόλυτη έννοιά τους, δεν έχει γίνει καθόλου λόγος από τους προηγούμενους, αλλά ασχολήθηκαν μόνο με τη σχετική. Δεν λένε τι είναι το βαρύ και τι το ελαφρύ αλλά τι είναι το βαρύτερο και τι το ελαφρύτερο μεταξύ αυτών που διαθέτουν βάρος. Αυτό που λέμε θα καταστεί σαφέστερο από τα εξής. Υπάρχουν πράγματα που από τη φύση τους κινούνται πάντα [απομακρυνόμενα] από το κέντρο και άλλα που κινούνται πάντα προς το κέντρο. Από τούτα, εκείνο που κινείται [απομακρυνόμενο] από το κέντρο λέω πως κινείται προς τα πάνω, ενώ προς τα κάτω αυτό που κινείται προς το κέντρο… Ελαφρύ λοιπόν με την απόλυτη έννοια ονομάζουμε αυτό που κινείται προς τα πάνω και προς το έσχατο σημείο, ενώ βαρύ με την απόλυτη έννοια εκείνο που κινείται προς τα κάτω και προς το κέντρο. Μιλώντας για ελαφρύ και ελαφρύτερο σε σχέση με άλλο, εννοούμε πως, από δύο σώματα που διαθέτουν βάρος και ίσο όγκο, το ένα από τα δύο κινείται *φυσιολογικά* προς τα κάτω ταχύτερα (Αριστοτέλης, *Περί Ουρανού Δ*, 308a[297]).

Απόσπασμα 3: *Κίνηση προς τα πάνω και προς τα κάτω:*

Στην πραγματικότητα, η φωτιά είναι πάντα ελαφριά και κινείται προς τα πάνω, ενώ η γη και όλα τα γεώδη προς τα κάτω και προς το κέντρο (Αριστοτέλης, *Περί Ουρανού Δ*, 308b[297]).

Απόσπασμα 4: *Το όμοιο κινείται προς το όμοιο:*

Αν, λοιπόν, αυτό που προκαλεί την κίνηση προς τα πάνω και προς τα κάτω είναι εκείνο που προκαλεί βάρος ή ελαφρότητα, αν εκείνο που κινείται είναι το δυνάμει βαρύ ή ελαφρύ και αν η κίνηση του κάθε σώματος προς τον τόπο που του ανήκει είναι κίνηση προς το είδος του (έτσι μάλλον θα πρέπει να εκλάβουμε αυτό που έλεγαν οι αρχαίοι ότι το όμοιο θα κινηθεί προς το όμοιο…) (Αριστοτέλης, *Περί Ουρανού Δ*, 310a[297]).

Απόσπασμα 5: *Απόλυτα βαρύ, απόλυτα ελαφρύ και η θέση τους στο χώρο:*

Πρώτα-πρώτα, λοιπόν, ας ορίσουμε, όπως είναι φανερό σε όλους, ότι βαρύ κατ' απόλυτη έννοια είναι αυτό που βρίσκεται κάτω απ' όλα, ενώ ελαφρύ αυτό που βρίσκεται πάνω απ' όλα (Αριστοτέλης, *Περί Ουρανού Δ*, 311a[297]).

Απόσπασμα 6: *Σχετικό βάρος, σχετική ελαφρότητα και κίνηση των σωμάτων προς τα πάνω ή κάτω:*

Επειδή από τα άλλα σώματα ορισμένα έχουν βάρος, ενώ άλλα ελαφρότητα, είναι φανερό πως αιτία σε κάθε περίπτωση είναι η διαφορά στη σύνθεσή τους… Εξαιτίας της διαφοράς των πρώτων τυχαίνει να μη δείχνουν τα ίδια σώματα παντού βαριά ή ελαφριά, εννοώ, για παράδειγμα, ξύλο βάρους ενός ταλάντου είναι βαρύτερο στον αέρα από μολύβι βάρους μιας μνας, ενώ στο νερό είναι ελαφρύτερο. Αιτία είναι πως όλα έχουν βάρος, εκτός από τη φωτιά, και ελαφρότητα, εκτός από τη γη. Η γη, λοιπόν, και όλα όσα περιέχουν ως επί το πλείστον γη, αναγκαστικά έχουν παντού βάρος, ενώ το νερό έχει παντού, με εξαίρεση μέσα στη γη και ο αέρας, εκτός μέσα σε νερό και γη. Στον χώρο τους όλα έχουν βάρος, εκτός απ' τη φωτιά, ακόμα κι ο αέρας. Ένδειξη γι' αυτό είναι το γεγονός πως ο φουσκωμένος ζυγός ζυγίζει περισσότερο από τον κενό. Επομένως, αν κάτι περιέχει περισσότερο αέρα απ' ότι γη και νερό, μέσα στο νερό ενδέχεται να είναι ελαφρύτερο από κάτι άλλο, ενώ στον αέρα βαρύτερο, διότι δεν ανεβαίνει πάνω από τον αέρα, ενώ ανεβαίνει στην επιφάνεια του νερού (Αριστοτέλης, *Περί Ουρανού Δ*, 311a,b[297]).

1.2. Το άτοπο της πτώσης των σωμάτων στο κενό σύμφωνα με τον Αριστοτέλη και η απάντηση του Γαλιλαίου

Απόσπασμα 1: *Ο Γαλιλαίος (1564 –1642) συνοψίζει την άποψη του Αριστοτέλη που πρόκειται να επανεξετάσει: Δεν είναι δυνατόν να υπάρξει κίνηση στο κενό. Τα σώματα πέφτουν στο ίδιο μέσον με ταχύτητες που διαφέρουν μεταξύ τους ανάλογα με τη διαφορά του βάρους τους, ενώ το ίδιο σώμα πέφτει σε διαφορετικά μέσα με διαφορετικές ταχύτητες που έχουν μεταξύ τους σχέση αντίστροφης αναλογίας ως προς τις πυκνότητες των διαφορετικών αυτών μέσων:*

Σιμπλίκιο: Απ' όσο θυμάμαι, ο Αριστοτέλης καταφέρεται εναντίον της αρχαίας άποψης ότι το κενό είναι αναγκαία προϋπόθεση για την κίνηση, και εναντίον της υπόθεσης ότι η τελευταία δεν μπορεί να υπάρξει χωρίς αυτό. Αντίθετα προς την άποψη αυτή, ο Αριστοτέλης δείχνει ότι είναι ακριβώς το φαινόμενο της κίνησης που καθιστά αδύνατη την ιδέα του κενού. Η μέθοδός του είναι να χωρίζει το επιχείρημα σε δύο μέρη. Υποθέτει καταρχήν ότι σώματα διαφορετικού βάρους (differing in heaviness / of different weights) κινούνται στο ίδιο μέσο και, στη συνέχεια, ότι ένα και το αυτό σώμα κινείται σε διαφορετικά μέσα. Στην πρώτη περίπτωση, υποθέτει ότι σώματα με διαφορετικά βάρη κινούνται σε ένα και το αυτό μέσον με διαφορετικές ταχύτητες, οι οποίες έχουν μεταξύ

τους την ίδια αναλογία με αυτή που έχουν τα βάρη των σωμάτων που πέφτουν. Έτσι, για παράδειγμα, ένα σώμα που είναι δέκα φορές βαρύτερο από ένα άλλο θα πέσει δέκα φορές ταχύτερα από το προηγούμενο. Στη δεύτερη περίπτωση, υποθέτει ότι οι ταχύτητες με τις οποίες ένα και το αυτό σώμα πέφτει σε διαφορετικά μέσα είναι αντιστρόφως ανάλογες (in inverse ratio) προς την πυκνότητα (crassitude / densities) των μέσων αυτών. Για παράδειγμα, αν η πυκνότητα του νερού είναι δέκα φορές μεγαλύτερη αυτής του αέρα, η ταχύτητα πτώσης στον αέρα θα πρέπει να είναι δέκα φορές μεγαλύτερη από αυτήν της πτώσης στο νερό. Από αυτή τη δεύτερη υπόθεση αποδεικνύει ότι, εφόσον η αραιότητα του κενού (tenuity of the void/ tenuity of a vacuum) διαφέρει άπειρα από αυτήν οποιουδήποτε σώματος γεμάτου με ύλη και οσοδήποτε αραιής, κάθε σώμα που κινείται μέσα σε ένα μέσο, διανύοντας ορισμένο διάστημα σε ορισμένο χρόνο, θα κινούνταν μέσα στο κενό ακαριαία. Αλλά η ακαριαία κίνηση είναι αδύνατη και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο το κενό δεν μπορεί να δημιουργηθεί από την κίνηση.

Σαλβιάτι: Το επιχείρημα είναι, όπως βλέπεις, ad hominem, που σημαίνει ότι κατευθύνεται εναντίον αυτών που θεώρησαν το κενό ως προϋπόθεση της κίνησης. Τώρα, αν δεχτώ ότι το επιχείρημα είναι αδιαμφισβήτητο και παραδεχτώ ότι δεν μπορεί να υπάρξει κίνηση στο κενό, αυτό δεν εμποδίζει το να υποθέσω ότι το κενό υπάρχει απόλυτα, και όχι αναφορικά με την κίνηση. Αλλά, για να σου εξηγήσω τι οι αρχαίοι θα μπορούσαν πιθανά να έχουν απαντήσει, και, με στόχο να κατανοήσουμε κατά πόσον η απόδειξη του Αριστοτέλη είναι αδιαμφισβήτητη, θα ήταν καλύτερα, κατά τη γνώμη μου, να αρνηθούμε και τις δύο παραπάνω υποθέσεις… (Galilei 1638/1954[299], Galilei 1638/1989[337] 1st day [105]-[106]).

Απόσπασμα 2: *Ο Αριστοτέλης ισχυρίζεται ότι οι ταχύτητες με τις οποίες κινούνται τα σώματα στο ίδιο μέσον έχουν μεταξύ τους σχέση ανάλογη προς τη σχέση βαρών των σωμάτων ή προς τη σχέση των κινούντων τα σώματα δυνάμεων, και ότι οι ταχύτητες με τις οποίες ένα και το αυτό μέσο κινείται σε μέσα διαφορετικής αντίστασης έχει σχέση αντίστροφης αναλογίας προς τη σχέση πυκνοτήτων των διαφορετικών μέσων. Με βάση τα παραπάνω καταλήγει ότι σε ένα απείρως αραιό μέσο, δηλαδή κενό, ένα σώμα θα κινείτο με άπειρη ταχύτητα, πράγμα που το θεωρεί αδύνατον:*

Τέλος, αυτό το οποίο λέγεται [εκτίθεται εδώ], καθίσταται φανερό και από τα ακόλουθα. Βλέπομε, πράγματι, το ίδιο βάρος και [συνεπώς το ίδιο] σώμα να μετατοπίζεται ταχύτερα για δύο λόγους, είτε [δηλαδή] επειδή συμβαίνει να διαφέρει [από την άποψη της πυκνότητας] εκείνο μέσω του οποίου [μετατοπίζεται], όπως, επί παραδείγματι, αν [μετατοπίζεται] μέσω νερού ή γης ή μέσω νερού ή αέρα, είτε επειδή συμβαίνει να διαφέρει το μετατοπιζόμενο, αν τα άλλα [δεδομένα της κίνησης] θα είναι τα ίδια και τα αυτά, λόγω της υπεροχής του βάρους ή της ελαφράδας [του]. Εκείνο τώρα λοιπόν μέσω του οποίου μετατοπίζεται [ένα σώμα, αποτελεί] αίτιο [διαφοράς], επειδή εμποδίζει [το σώμα στην κίνησή του], προπάντων όταν [το ίδιο αυτό] μετατοπίζεται προς την αντίθετη κατεύθυνση, έπειτα [το εμποδίζει, κατά δεύτερον λόγο] και όταν [ακόμη] μένει ακίνητο· και [εμποδίζει] περισσότερο το μη ευκολοδιαίρετο, και του είδους αυτού είναι το παχύτερο.

Έστω, λοιπόν, ότι το Α θα μετατοπισθεί [σύμφωνα με τα παραπάνω] μέσω του Β μέσα σε χρόνο Γ, και μέσω του Δ, που είναι λεπτότερο, μέσα σε χρόνο Ε, [δηλαδή], αν το μήκος των Β και Δ είναι ίσο, [τα Γ και Ε] θα είναι ανάλογα με [την πυκνότητα] του σώματος που εμποδίζει. Έστω, πράγματι, ότι το [μέσο] Β είναι νερό και το Δ αέρας, [στην περίπτωση αυτή] όσο ο αέρας είναι στην πραγματικότητα λεπτότερος [αραιότερος] και περισσότερο ασώματος [άυλος], τόσο ταχύτερα θα μετατοπισθεί το Α μέσω του Δ απ' ό,τι μέσω του Β. Ας θεωρηθεί, λοιπόν, ότι η μια ταχύτητα τελεί προς την άλλη στην ίδια αναλογία ως προς την οποία διακρίθηκε ακριβώς ο αέρας [από άποψη πυκνότητας] από το νερό. Αν άρα [το Β, ο αέρας] είναι δύο φορές αραιότερος [από το Δ, το νερό], η διέλευση μέσω του Β [θα πραγματοποιείται από το μετατοπιζόμενο σώμα] σε διπλάσιο χρόνο απ' ό,τι μέσω του Δ, και [εν τοιαύτη περιπτώσει] ο Γ χρόνος θα είναι διπλάσιος του Ε. Και πάντοτε στην πράξη όσο περισσότερο ασώματο [άυλο], όσο λιγότερη αντίσταση προβάλλει, και περισσότερο ευκολοδιαίτερο είναι εκείνο, μέσω του οποίου μετατοπίζεται [ένα σώμα], τόσο ταχύτερα θα κινείται [το τελευταίο αυτό].

Το κενό όμως δεν γνωρίζει κανενός είδους αναλογία ως προς την οποία να υπερέχει έναντι αυτού το σώμα [που το διατρέχει], όπως ακριβώς [δεν γνωρίζει] ούτε και το μηδέν σε σχέση με τον αριθμό. Πράγματι, αν τα τέσσερα υπερέχουν [πάρα πάνω] από τα τρία κατά μια μονάδα και κατά περισσότερες από τα δύο και κατά περισσότερες ακόμη από το ένα απ' ό,τι από τα δύο, έναντι ωστόσο του μηδενός δεν γνωρίζει πλέον κανενός είδους αναλογία ως προς την οποία να υπερέχει, διότι θα πρέπει αναγκαία αυτό που υπερέχει να διαιρείται [στο τμήμα που αποτελεί] την υπεροχή και στο [μέρος έναντι] του οποίου υπερέχει, έτσι ώστε θα είναι [στο πνεύμα αυτό] τα τέσσερα [τόσο περισσότερα από το μηδέν] όσο [περισσότερο] υπερέχουν [έναντι αυτού, δηλαδή τέσσερα] συν μηδέν. Γι' αυτό ούτε και η γραμμή υπερέχει έναντι της στιγμής, αν δεν σύγκειται από στιγμές.

Κατά τον ίδιον, εξ άλλου, τρόπο και το κενό προς το πλήρες κανενός είδους αναλογία είναι δυνατόν να έχει, κατά συνέπεια ούτε η κίνηση [μέσω του ενός με την κίνηση μέσω του άλλου], πλην όμως αν μέσω του πιο λεπτού [αραιού περιβάλλοντος] σε άλφα χρόνο μετατοπίζεται [ένα πράγμα] με βήτα ταχύτητα [διανύοντας ένα δεδομένο διάστημα], τότε το πράγμα αυτό κινούμενο στον ίδιο χρόνο] μέσω του κενού ξεπερνά κάθε αναλογία [σε ταχύτητα και διάστημα που διανύεται].

Έστω, πράγματι, το Ζ κενό και ίσο [στο μέγεθος] με τα Β και Δ. Το Α, λοιπόν, αν θα πρόκειται να διατρέξει [το Ζ] και [συνεπώς] να κινηθεί [προκειμένου να το πληρώσει] σε ορισμένο χρόνο, τον οποίο συμβολίζομε με Η, σε μικρότερο όμως [από εκείνον όπου διατρέχει το πλήρες], τον οποίο συμβολίζομε με Ε, το κενό θα τελεί προς το πλήρες στην τελευταία αυτή [Η:Ε] αναλογία. Ωστόσο, σε τόσο χρόνο όσος [ο χρόνος] Η, το Α θα διατρέξει απόσταση Θ μόνο του Δ. Και θα διατρέξει επίσης, ασφαλώς, [στον ίδιο αυτόν χρόνο Η ένα σώμα], αν θα υπάρχει κάτι, έστω Ζ, το οποίο διαφέρει σε λεπτότητα από τον αέρα, στην αναλογία αυτή την οποία έχει ο χρόνος Ε με τον [χρόνο] Η. Διότι, αν το σώμα Ζ θα είναι τόσο πιο λεπτό από το [σώμα] Δ όσο υπερέχει το Ε έναντι του Η, [τότε] το Α θα διατρέξει με μιαν αντιστρόφως ανάλογη ταχύτητα την απόσταση του Η, αν κινείται [μέσω αυτού] σε τόσο χρόνο όσος ο [χρόνος] Η. Αν, λοιπόν, δεν θα υπάρχει κανένα σώμα μέσα στο Ζ, [τότε το Α θα το διατρέξει] ακόμη πιο γρήγορα. Ωστόσο, είπαμε [ότι το Α θα διατρέξει το κενό Ζ] σε χρόνο Η. Κατά συνέπεια [το Α] θα διατρέξει σε ίσο χρόνο τόσο αυτό που είναι πλήρες όσο και [αυτό που είναι] κενό. Αυτό όμως είναι αδύνατον.

Γίνεται, λοιπόν, φανερό ότι, αν υπάρχει [κάποιος δεδομένος] χρόνος μέσα στον οποίο θα

κινηθεί [κάτι] σε ένα οποιοδήποτε μέρος του κενού, θα επακολουθήσει ως αποτέλεσμα τούτο το αδύνατον, θα θεωρηθεί δηλαδή ως δεδομένο ότι ένα σώμα διατρέχει σε ίσο χρόνο τόσο αυτό που είναι πλήρες όσο και [αυτό που είναι] κενό, διότι θα υπάρχει [εκεί] ένα σώμα ανάλογο με ένα άλλο σώμα, με την έννοια [που υπάρχει ένας] χρόνος [ανάλογος] με [έναν άλλο] χρόνο.

Και [θα πρέπει] να πούμε, δίκην συγκεφαλαιώσεως, ότι είναι προφανές το αίτιο του [εν λόγω αδυνάτου] αποτελέσματος που επακολουθεί, [ότι δηλαδή έγκειται αυτό στο γεγονός] ότι υπάρχει αναλογία ανάμεσα σε [μιαν οποιαδήποτε] κίνηση και σε κάθε [άλλη] κίνηση (διότι είναι [συντελούνται όλες αυτές] μέσα σε [ορισμένο] χρόνο, και κάθε χρόνος είναι [τελεί σε ορισμένη αναλογία] με [έναν άλλο] χρόνο, όντας και οι δύο περατοί), αναλογία δεν υπάρχει όμως ανάμεσα στο κενό και το πλήρες (Αριστοτέλης, *Φυσικά* Δ, 215a-216a[301]).

Απόσπασμα 3: *Ο Αριστοτέλης, θεωρώντας ότι ο λόγος των ταχυτήτων είναι ίσος με το λόγο των βαρών κατά την πτώση μέσα στο ίδιο μέσον, γιατί το βαρύτερο διαιρεί το μέσο ταχύτερα, καταλήγει στο συμπέρασμα ότι στο κενό διαφορετικά βάρη θα έπεφταν με την ίδια ταχύτητα, πράγμα που θεωρεί άτοπο:*

Στο μέτρο λοιπόν που [τα πράγματα] διαφέρουν [λόγω των σωμάτων], μέσω των οποίων μετατοπίζονται, επακολουθούν αυτά [που προαναφέρθηκαν], ενώ ανάλογα με την υπεροχή [του ενός έναντι του άλλου των σωμάτων] που μετατοπίζονται, τα ακόλουθα.

Παρατηρούμε, πράγματι, ότι [τα σώματα] που έχουν μεγαλύτερη δυναμικότητα, ή από άποψη βάρους [και συνεπώς πιέσεως που ασκούν] ή ελαφράδας [και συνεπώς αντιστάσεως που υφίστανται], αν τα άλλα [δεδομένα της κίνησης] θα τελούν κατά τον ίδιο και τον αυτόν τρόπο προκειμένου για τα σχήματα, διατρέχουν ταχύτερα [το ίσου εμβαδού σχήμα] [τον ίσης εκτάσεως χώρο], και [αυτό] στην αναλογία την οποία έχουν μεταξύ τους τα [συγκρινόμενα] μεγέθη.

Άρα [θα έπρεπε, αν έτσι έχουν τα πράγματα, να συμβαίνει αυτό] και [όταν η μετατόπιση γίνεται] μέσω του κενού, πλην όμως αυτό είναι αδύνατον, διότι για ποια αιτία θα κινηθεί [ένα από τα μεγέθη αυτά] ταχύτερα; καθότι προκειμένου για πλήρη [πράγματα, αυτό συμβαίνει] από ανάγκη, δεδομένου ότι το μεγαλύτερης δυναμικότητας [σώμα] διαιρεί [το πλήρες στο οποίο κινείται] ταχύτερα· πράγματι, το σώμα που μετατοπίζεται ή που το αφήσαμε ελεύθερο διαιρεί [εκείνο μέσω του οποίου κινείται] ή με το σχήμα του ή με τη δυναμικότητα [βαρύτητας ή ελαφρότητας] που διαθέτει. Θα έχουν άρα [αν αληθεύει αυτό] όλα τα πράγματα την ίδια ταχύτητα. Πλην όμως [αυτό είναι] αδύνατον (Αριστοτέλης, *Φυσικά* Δ, 216a[301]).

Απόσπασμα 4: *Ο Γαλιλαίος, χρησιμοποιώντας αναφορά σε πειραματικά δεδομένα σε συνδυασμό με μεθόδους λογικής συναγωγής, όπως η μέθοδος της εις άτοπο απαγωγής, αποδεικνύει ότι η πρόταση του Αριστοτέλη, ότι τα σώματα πέφτουν στο ίδιο μέσον με ταχύτητες που διαφέρουν μεταξύ τους με την ίδια σχέση αναλογίας προς τη σχέση των βαρών τους, είναι λανθασμένη:*

Σαλβιάτι: Αμφιβάλλω πολύ για το αν ο Αριστοτέλης έλεγξε ποτέ πειραματικά το κατά πόσον αληθεύει ότι δύο πέτρες, που η μια ζυγίζει δέκα φορές περισσότερο από την άλλη, αν αφεθούν να πέσουν την ίδια χρονική στιγμή από ένα ύψος, ας πούμε 100 πήχεων, θα διαφέρουν τόσο πολύ στην ταχύτητα που θ' αποκτήσουν, ώστε όταν η βαρύτερη θα έχει φτάσει στο έδαφος, η άλλη δεν θα έχει διανύσει πάνω από 10 πήχεις.

Σιμπλίκιο: Η φρασεολογία του φαίνεται να υποδεικνύει ότι είχε επιχειρήσει το πείραμα, αφού λέει: *Βλέπουμε το βαρύτερο*· η λέξη *βλέπουμε* δείχνει ότι είχε εκτελέσει το πείραμα.

Σαγκρέντο: Εγώ όμως Σιμπλίκιο, που το έχω επιχειρήσει, μπορώ να σε διαβεβαιώσω ότι μια μπάλα κανονιού που ζυγίζει εκατό ή διακόσιες λίβρες, ή και ακόμη περισσότερο, δεν θα φτάσει στο έδαφος ούτε κατά μια πιθαμή μπροστά από μια σφαίρα μουσκέτου που ζυγίζει μισή μόνο λίβρα, υπό τον όρο ότι και οι δύο έχουν αφεθεί από ένα ύψος 200 πήχεων.

Σαλβιάτι: Αλλά, ακόμη και χωρίς άλλα πειράματα, είναι δυνατόν να αποδειχθεί σαφώς, μέσω ενός σύντομου και πειστικού επιχειρήματος, ότι ένα βαρύτερο σώμα δεν κινείται πιο γρήγορα από ένα ελαφρύτερο αν και τα δύο αποτελούνται από το ίδιο υλικό, και εν ολίγοις είναι όπως εκείνα που αναφέρει ο Αριστοτέλης. Πες μου όμως Σιμπλίκιο, αν παραδέχεσαι ότι κάθε σώμα που πέφτει αποκτά μια συγκεκριμένη ταχύτητα που καθορίζεται από τη φύση, μια ταχύτητα η οποία δεν μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί παρά μόνο με την επίδραση κάποιας δύναμης [*violenza*] ή αντίστασης.

Σιμπλίκιο: Δεν μπορεί να υπάρξει αμφιβολία ότι όταν ένα συγκεκριμένο σώμα κινείται μέσα σ' ένα μοναδικό μέσο, αυτό έχει μια ορισμένη ταχύτητα η οποία καθορίζεται από τη φύση και η οποία δεν μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί παρά μόνο με προσθήκη ορμής [*impeto*], στην πρώτη περίπτωση, ή με κάποια αντίσταση που την αναχαιτίζει, στη δεύτερη.

Σαλβιάτι: Επομένως, αν πάρουμε δύο σώματα των οποίων οι φυσικές ταχύτητες είναι διαφορετικές, είναι σαφές ότι ενώνοντάς τα, το πιο γρήγορο θα επιβραδυνθεί μερικώς από το πιο αργό, και το πιο αργό θα επιταχυνθεί κάπως από το ταχύτερο. Δεν συμφωνείς μαζί μου;

Σιμπλίκιο: Αναμφισβήτητα έχεις δίκιο.

Σαλβιάτι: Αλλά αν αυτό αληθεύει και αν μια μεγάλη πέτρα κινείται με μια ταχύτητα, ας πούμε οκτώ, ενώ μια μικρότερη κινείται με μια ταχύτητα τέσσερα, τότε, όταν είναι ενωμένες, το σύστημα θα κινείται με μια ταχύτητα μικρότερη του οκτώ. Όταν όμως οι δύο πέτρες είναι ενωμένες φτιάχνουν μια πέτρα μεγαλύτερη από εκείνη που προηγουμένως κινούνταν με ταχύτητα οκτώ. Από αυτό συνάγεται ότι το βαρύτερο σώμα κινείται με μικρότερη ταχύτητα από το ελαφρύτερο, ένα αποτέλεσμα που είναι αντίθετο με την υπόθεσή σου. Βλέπεις λοιπόν πώς, από την παραδοχή σου ότι ένα βαρύτερο σώμα κινείται πιο γρήγορα από ένα ελαφρύτερο, συνάγω το συμπέρασμα ότι το βαρύτερο σώμα κινείται πιο αργά.

Σιμπλίκιο: Είμαι πελαγωμένος…Πραγματικά, δεν το καταλαβαίνω καθόλου.

… … …… … … … … … … … … … …… … … … … … … … … … … … … …

Σιμπλίκιο: Η επιχειρηματολογία σου είναι πραγματικά θαυμάσια. Όμως, δεν μου είναι εύκολο να πιστέψω ότι ένα σκάγι κυνηγετικού όπλου πέφτει τόσο γρήγορα όσο μια μπάλα κανονιού.

Σαλβιάτι : Γιατί να μην πούμε ότι ένας κόκκος άμμου πέφτει τόσο γρήγορα όσο μια μυλόπετρα; Αλλά, Σιμπλίκιο, ελπίζω ότι δεν θα ακολουθήσεις το παράδειγμα πολλών, οι

οποίοι εκτρέπουν τη συζήτηση από το βασικό της στόχο και προσκολλώνται σε κάποια δική μου πρόταση που απέχει τόσο λίγο από την αλήθεια όσο το πάχος μιας τρίχας, και οι οποίοι, κάτω από αυτήν την τρίχα κρύβουν το σφάλμα κάποιου άλλου, το οποίο είναι τόσο μεγάλο όσο το παλαμάρι ενός πλοίου. Ο Αριστοτέλης λέει ότι «μια σιδερένια μπάλα εκατό λιβρών που πέφτει από ένα ύψος εκατό πήχεων φτάνει στο έδαφος προτού μια μπάλα της μίας λίβρας διανύσει πέφτοντας ένα και μόνο πήχυ». Εγώ λέω ότι φτάνουν την ίδια στιγμή. Εσύ, εκτελώντας το πείραμα, διαπιστώνεις ότι η μεγαλύτερη ξεπερνά τη μικρότερη μόλις κατά δύο δάκτυλα…Τώρα, δεν μπορώ να πιστέψω ότι θα κρύψεις πίσω από αυτά τα δύο δάκτυλα τις 99 λίβρες του Αριστοτέλη, ούτε ότι θα επισημάνεις το δικό μου μικρό σφάλμα παραβλέποντας και αφήνοντας ασχολίαστο το τόσο μεγάλο δικό του (Γαλιλαίος, στον Holton & Brush 2002 σελ.107-109[300], Galilei 1638/1954, *1st day* [106]-[110][299]).

Απόσπασμα 5: *Ο Γαλιλαίος, χρησιμοποιώντας αναφορά σε πειραματικά δεδομένα σε συνδυασμό με μεθόδους λογικής συναγωγής, όπως η μέθοδος της εις άτοπο απαγωγής, αποδεικνύει ότι η πρόταση του Αριστοτέλη, ότι ένα και το αυτό σώμα πέφτει σε διαφορετικά μέσα με ταχύτητες που διαφέρουν μεταξύ τους με σχέση αντίστροφης αναλογίας προς τη σχέση των πυκνοτήτων τους, είναι λανθασμένη:*

Σαλβιάτι: Όμως η πρώτη αρχή είναι τόσο λανθασμένη όσο και η δεύτερη. Και μου κάνει εντύπωση ότι εσύ δεν βλέπεις το σφάλμα και ότι δεν αντιλαμβάνεσαι ότι, εάν ήταν σωστό ότι σε μέσα που έχουν διαφορετική αραιότητα και παρέχουν διαφορετική δυνατότητα διείσδυσης – όπως για παράδειγμα είναι το νερό και ο αέρας – ένα και το ίδιο σώμα θα κινούνταν πιο γρήγορα στον αέρα απ' ότι στο νερό, ανάλογα με το βαθμό στον οποίο η αραιότητα του αέρα είναι μεγαλύτερη από αυτή του νερού, τότε θα προέκυπτε ότι οποιοδήποτε σώμα το οποίο πέφτει μέσα στον αέρα, οφείλει να πέφτει και μέσα στο νερό. Αλλά αυτό το συμπέρασμα είναι λανθασμένο, στο μέτρο κατά το οποίο πολλά σώματα τα οποία πέφτουν στον αέρα, δεν πέφτουν στο νερό, αλλά αντίθετα ανεβαίνουν.

Σιμπλίκιο: Δεν καταλαβαίνω την αναγκαιότητα του επιχειρήματός σου. Και επιπλέον, θα είχα να πω ότι ο Αριστοτέλης μιλάει μόνο για τα σώματα εκείνα τα οποία πέφτουν και στα δύο μέσα, όχι εκείνα που πέφτουν στον αέρα, αλλά ανεβαίνουν μέσα στο νερό.

Σαλβιάτι: Τα επιχειρήματα τα οποία αναπτύσσεις, για να υποστηρίξεις τον Φιλόσοφο, είναι τέτοια που ο ίδιος θα τα είχε σίγουρα αποφύγει, προκειμένου να μη χειροτερέψει το πρώτο του σφάλμα. [111] Όμως, πες μου τώρα, αν ο λόγος της πυκνότητας του νερού, ή του οποιουδήποτε μέσου που επιβραδύνει την κίνηση, είναι ως προς την πυκνότητα του αέρα, ο οποίος είναι λιγότερο επιβραδυντικός, καθορισμένος. Και, εάν ισχύει κάτι τέτοιο, δώσε στο λόγο αυτό μια τιμή της προτίμησής σου.

Σιμπλίκιο: Ο λόγος αυτός υπάρχει. Ας του δώσουμε την τιμή δέκα. Τότε, ένα σώμα που πέφτει και στα δύο αυτά μέσα, θα έχει ταχύτητα πτώσης μέσα στο νερό δέκα φορές μικρότερη από την αντίστοιχη στον αέρα.

Σαλβιάτι: Θα πάρω τώρα ένα από αυτά τα σώματα που πέφτουν στον αέρα, αλλά δεν πέφτουν στο νερό, ας πούμε μια ξύλινη μπάλα, και θα σου ζητήσω να ορίσεις όποια ταχύτητα επιθυμείς για την πτώση της μέσα στον αέρα.

Σιμπλίκιο: Ας υποθέσουμε ότι κινείται με μέτρο ταχύτητας είκοσι.

Σαλβιάτι: Πολύ ωραία. Τώρα είναι ξεκάθαρο ότι αυτή η ταχύτητα θα μικρύνει μέσα στο νερό, τόσο, όσο η αναλογία της πυκνότητας μεταξύ του αέρα και του νερού υποδεικνύει. Οπότε, η ταχύτητα πτώσης μέσα στο νερό θα λάβει την τιμή δύο. Εάν τώρα ακολουθήσουμε με ακρίβεια την υπόθεση του Αριστοτέλη, θα συμπεράνουμε ότι η ξύλινη μπάλα πέφτει στον αέρα – ο οποίος εμφανίζει δέκα φορές μικρότερη αντίσταση από το νερό – με ταχύτητα είκοσι, και στο νερό με ταχύτητα δύο, αντί να συμπεράνουμε, ότι η ξύλινη μπάλα θα έρθει στην επιφάνεια από τον πάτο, όπως στην πραγματικότητα συμβαίνει. Εκτός εάν ανταπαντήσεις, πράγμα που δεν πιστεύω να το κάνεις, ότι η άνοδος του ξύλου μέσα στο νερό είναι το ίδιο πράγμα με την πτώση του με ταχύτητα δύο. Αλλά από τη στιγμή που η ξύλινη σφαίρα δεν βυθίζεται, νομίσω ότι θα συμφωνήσεις μαζί μου πάνω στο ότι μπορούμε να βρούμε μια μπάλα από άλλο υλικό, όχι από ξύλο, η οποία να πέφτει στο νερό με ταχύτητα δύο.

Σιμπλίκιο: Οπωσδήποτε μπορούμε. Αλλά θα πρέπει να αποτελείται από υλικό σημαντικά βαρύτερο από το ξύλο.

Σαλβιάτι: Ακριβώς αυτό. Όμως, αν η δεύτερη μπάλα πέφτει στο νερό με ταχύτητα δύο, ποια θα πρέπει να είναι η ταχύτητά της στον αέρα; Αν ακολουθήσεις τον κανόνα του Αριστοτέλη, θα πρέπει να απαντήσεις ότι θα κινηθεί με ταχύτητα είκοσι. Αλλά είκοσι είναι η ταχύτητα την οποία εσύ ήδη απέδωσες στην ξύλινη σφαίρα. Έτσι, τόσο αυτή, όσο και η άλλη βαρύτερη σφαίρα θα κινηθούν μέσα στον αέρα με την ίδια ταχύτητα. Τώρα, με ποιόν τρόπο ο Φιλόσοφος θα εναρμονίσει αυτό το αποτέλεσμα με τα υπόλοιπα, και συγκεκριμένα με τον κανόνα που λέει ότι σώματα με διαφορετικό βάρος (weight/ heaviness[ccxxii]) κινούνται διαμέσου του ίδιου μέσου με διαφορετικές ταχύτητες, ανάλογες προς τα βάρη τους; Χωρίς όμως να προχωρήσουμε σε μεγαλύτερο βάθος, πες μου, πώς αυτές οι ιδιότητες, που είναι τόσο φανερές στην κοινή λογική, διέφυγαν της προσοχής σου; [112] Δεν παρατήρησες ότι δύο σώματα τα οποία πέφτουν στο νερό, το πρώτο εκατοντάδες φορές ταχύτερα από το δεύτερο, θα πέσουν στον αέρα με τόσο ελάχιστη διαφορά, ώστε οι ταχύτητές τους δεν θα διαφέρουν περισσότερο από το ένα εκατοστό τους; Έτσι, για παράδειγμα, ένα αυγό από μάρμαρο θα πέσει μέσα στο νερό εκατό φορές ταχύτερα από ένα αυγό χήνας, ενώ στον αέρα, εάν πέσουν από ένα ύψος είκοσι πήχεων, όταν το πρώτο φθάσει στο έδαφος, θα απέχει από το δεύτερο απόσταση μικρότερη από τέσσερα δάχτυλα. Με λίγα λόγια, ένα βαρύ σώμα το οποίο χρειάζεται τρεις ώρες, για να πέσει κατά δέκα πήχεις μέσα στο νερό, θα διασχίσει δέκα πήχεις μέσα στον αέρα μέσα σε χρόνο ενός ή δύο σφυγμών. Και, εάν το βαρύ σώμα είναι μια σφαίρα από μολύβι, θα διασχίσει ευκολότερα τους δέκα πήχεις του νερού, και θα χρειαστεί γι' αυτό λιγότερο από το διπλάσιο του χρόνου που χρειάζεται, για να διασχίσει δέκα πήχεις αέρα. Και είμαι σίγουρος, Σιμπλίκιο, ότι εδώ δεν θα βρεις έδαφος για διαφορά ή αντίρρηση (Galilei 1638/1954[299], Galilei 1638/1989[337], *1st day* [110]-[112]).

[ccxxii] Ο Drake χρησιμοποιεί τη λέξη heaviness και όχι weight για να αποδώσει τον όρο gravita που χρησιμοποιεί ο Γαλιλαίος, θεωρώντας ότι ο Γαλιλαίος χρησιμοποιεί τη λέξη αυτή θέλοντας να περιγράψει πόσο βαρύ είναι ένα σώμα. Επισημαίνει επίσης ότι ο Γαλιλαίος διαφοροποιεί την έννοια του πόσο βαρύ είναι ένα σώμα (heaviness) από το φυσικό μέγεθος του βάρους (weight) (Galilei 1638/1989[337]).

Απόσπασμα 6: *Ο Γαλιλαίος ισχυρίζεται ότι η διαφορά στην ταχύτητα πτώσης σωμάτων με διαφορετικά ειδικά βάρη που πέφτουν σε μέσα διαφορετικής αντίστασης είναι μεγαλύτερη σε εκείνα τα μέσα που προβάλλουν τη μεγαλύτερη αντίσταση στην κίνηση:*

Σαγκρέντο: Βλέποντας ότι ο Σιμπλίκιο είναι σιωπηλός, θα αδράξω την ευκαιρία για να πω κι εγώ κάτι. Παρόλο που δείξατε ξεκάθαρα ότι σώματα με διαφορετικά βάρη δεν κινούνται σε ένα και το αυτό μέσο με ταχύτητες ανάλογες προς τα βάρη τους, αλλά μάλλον με την ίδια ταχύτητα, υποθέσατε ότι αυτό συμβαίνει όταν τα σώματα είναι από το ίδιο υλικό (ή έστω όταν έχουν το ίδιο ειδικό βάρος), και όχι (όπως κατάλαβα τουλάχιστον) όταν έχουν διαφορετικές πυκνότητες [113]. Γιατί δεν μπορώ να πιστέψω ότι θα θέλατε να καταλήξουμε ότι μια μπάλα από φελλό κινείται με την ίδια ταχύτητα με μια σφαίρα από μολύβι. Και επιπλέον, εφόσον δείξατε ξεκάθαρα ότι δεν είναι αλήθεια ότι ένα και το αυτό σώμα, κινούμενο σε μέσα διαφορετικής αντίστασης, αναπτύσσει ταχύτητες που διαφέρουν μεταξύ τους ανάλογα προς τη διαφορά των αντιστάσεων αυτών, είμαι περίεργος να μάθω ποιές είναι πραγματικά οι αναλογίες που διέπουν τα φαινόμενα αυτά.

Σαλβιάτι: Αυτές είναι ενδιαφέρουσες ερωτήσεις και έχω σκεφτεί πολύ πάνω σ' αυτές. Θα σας δώσω τη μέθοδο προσέγγισης και τα αποτελέσματα στα οποία έχω καταλήξει. Διαπιστώνοντας καταρχήν το λάθος της πρότασης ότι ένα και το αυτό σώμα που πέφτει σε μέσα διαφορετικής αντίστασης (differently resisting media /mediums of differing resistances) αναπτύσσει ταχύτητες που είναι ανάλογες προς την ευκολία με την οποία τα μέσα αυτά διασχίζονται, και έχοντας επίσης αποδείξει λανθασμένη την πρόταση ότι στο ίδιο μέσον σώματα διαφορετικού βάρους) πέφτουν με ταχύτητες ανάλογες προς το βάρος τους (κι ότι αυτό ισχύει και για σώματα με πολύ διαφορετικά ειδικά βάρη), άρχισα να συνδυάζω αυτά τα δύο δεδομένα, και να αναρωτιέμαι τι θα συνέβαινε εάν σώματα με διαφορετικά βάρη τοποθετούνταν σε μέσα διαφορετικής αντίστασης. Βρήκα, τότε, ότι οι διαφορές στην ταχύτητα πτώσης είναι μεγαλύτερες στα μέσα που προβάλλουν μεγαλύτερη αντίσταση στην κίνηση, σε σχέση με διαφορές που παρατηρούνται στα πιο ευκολοδιαπερατά μέσα. Αυτή η διαφοροποίηση είναι τέτοιου μεγέθους, ώστε ένα σώμα που πέφτει στον αέρα ελάχιστα πιο γρήγορα σε σχέση με ένα δεύτερο, μπορεί να πέφτει στο νερό δέκα φορές πιο γρήγορα από αυτό. Επιπλέον, σώματα τα οποία πέφτουν γρήγορα στον αέρα, όταν τοποθετούνται στο νερό, όχι μόνο δεν βυθίζονται, αλλά παραμένουν ακίνητα, ή, ακόμη, και ανεβαίνουν στην επιφάνειά του. Γι' αυτό, είναι πιθανό να βρούμε διάφορα είδη ξύλου, όπως και σχοινιά και ρίζες, τα οποία παραμένουν ακίνητα, ή αλλιώς σε ισορροπία, μέσα στο νερό, ενώ, αντίθετα, πέφτουν γρήγορα στον αέρα (Galilei 1638/1954[299], Galilei 1638/1989[337] *1st day* [112]-[113]).

Απόσπασμα 7: *Ο Γαλιλαίος επεκτείνει τη σκέψη ότι η διαφορά στην ταχύτητα πτώσης σωμάτων με διαφορετικά ειδικά βάρη είναι μεγαλύτερη στα μέσα που προβάλλουν τη μεγαλύτερη αντίσταση στην κίνηση, και υποθέτει ότι σε ένα μέσον μηδενικής αντίστασης η ταχύτητα όλων των σωμάτων, ανεξαρτήτως βάρους ή ειδικού βάρους, θα ήταν ή ίδια:*

Σαλβιάτι:… Επιστρέφοντας από αυτή την παρέκβαση, ας ξαναδούμε το πρόβλημά μας. Είδαμε ήδη ότι η διαφορά ταχύτητας ανάμεσα σε σώματα διαφορετικού βάρους είναι μεγαλύτερη στα μέσα που προβάλλουν μεγαλύτερη αντίσταση στην κίνηση: έτσι, μέσα στον υδράργυρο, ο χρυσός, όχι μόνο δεν βυθίζεται γρηγορότερα από τον μόλυβδο, αλλά είναι το μόνο υλικό που καταφέρνει να βυθιστεί. Όλα τα άλλα μέταλλα και οι πέτρες ανέρχονται στην επιφάνεια και επιπλέουν. Από την άλλη μεριά, στον αέρα, η διαφορά ταχύτητας ανάμεσα σε σφαίρες από χρυσό, μολύβι, χαλκό, πορφυρίτη και άλλα βαριά υλικά είναι τόσο απειροελάχιστη, ώστε, αν μια μπάλα από χρυσάφι και μια από χαλκό πέσουν από ύψος εκατό πήχεων, δεν υπάρχει περίπτωση η πρώτη να προπορευτεί της δεύτερης περισσότερο από τέσσερα δάχτυλα. Έχοντας κάνει αυτή την παρατήρηση, καταλήγω στο συμπέρασμα ότι σε ένα μέσον ολότελα απαλλαγμένο από αντίσταση, όλα τα σώματα θα έπεφταν με την ίδια ταχύτητα.

Σιμπλίκιο: Αυτή είναι μια αξιοσημείωτη υπόθεση, Σαλβιάτι. Αλλά δεν θα πίστευα ποτέ ότι στο κενό – αν η κίνηση σε ένα τέτοιο μέσο είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί – μια τούφα από βαμβάκι και ένα κομμάτι από μολύβι θα έπεφταν με την ίδια ταχύτητα.

Σαλβιάτι: Λίγο πιο αργά, Σιμπλίκιο. Η δυσκολία σου δεν είναι τόσο σκοτεινή και εγώ δεν είμαι τόσο απερίσκεπτος, ώστε να σε αφήσω να πιστέψεις ότι δεν έχω ήδη εξετάσει το θέμα και δεν έχω βρει την κατάλληλη λύση. Έτσι, για τη δικαίωσή μου και [117] για τη δική σου διαφώτιση, άκουσε τι έχω να πω. Το πρόβλημα είναι να βρούμε τι συμβαίνει σε σώματα με διαφορετικό βάρος, όταν κινούνται σε μέσον που στερείται αντίστασης. Η όποια διαφορά στην ταχύτητα παρουσιάζεται μέσα σ' αυτό θα προκύπτει μόνο από τη διαφορά των βαρών. Με δεδομένο ότι δεν υπάρχει μέσον ικανό να προσφέρει στις αισθήσεις μας την απόδειξη που αναζητούμε, αφού δεν υπάρχει διαθέσιμο κάποιο μέσον απόλυτα απαλλαγμένο από αέρα ή άλλα σώματα – οσοδήποτε λεπτοφυή και διαπερατά, θα παρατηρήσουμε τι συμβαίνει στα αραιότερα και μικρότερης αντίστασης μέσα, και αυτό θα το συγκρίνουμε με αυτό που συμβαίνει στα πυκνότερα και μεγαλύτερης αντίστασης μέσα. Έτσι, αν διαπιστώσουμε ότι η διαφορά στην ταχύτητα ανάμεσα στα σώματα διαφορετικού βάρους είναι τόσο μικρότερη, όσο πιο εύκολα διαπερατό είναι το μέσον, και, εάν τελικά σε ένα μέσον εξαιρετικά λεπτοφυές – ακόμα κι αν αυτό δεν είναι το απόλυτο κενό – βρούμε ότι, παρόλη τη διαφορά στο βάρος, η διαφορά στην ταχύτητα είναι πολύ μικρή, και παραμένει σχεδόν απαρατήρητη, τότε δικαιολογούμαστε να πιστέψουμε ότι είναι εξαιρετικά πιθανό στο κενό όλα τα σώματα να πέφτουν με την ίδια ταχύτητα. Ας σκεφθούμε, έχοντας αυτά υπόψη, τι συμβαίνει στον αέρα. Για να έχουμε κάτι συγκεκριμένο στο μυαλό μας, ας φανταστούμε μια φουσκωμένη κύστη, ως παράδειγμα ελαφριού σώματος με ορισμένο σχήμα. Όταν η κύστη περιβάλλεται από αέρα, ο αέρας που υπάρχει μέσα της δεν θα ζυγίζει καθόλου ή θα ζυγίζει ελάχιστα, γιατί δεν θα μπορεί να είναι παρά μόνο λίγο πιεσμένος. Έτσι, το βάρος της φουσκωμένης κύστης θα είναι μικρό, θα αντιπροσωπεύει το βάρος της ίδιας της κύστης, και δεν θα ανέρχεται ούτε στο ένα χιλιοστό του βάρους κομματιού μολύβδου που θα είχε το ίδιο μέγεθος με το μέγεθος της φουσκωμένης κύστης. Τώρα, Σιμπλίκιο, εάν αφήσουμε αυτά τα δύο σώματα να πέσουν από ένα ύψος τεσσάρων ή έξι πήχεων, κατά ποια απόσταση φαντάζεσαι το μολύβι να προπορεύεται της φουσκωμένης κύστης; Να είσαι σίγουρος ότι δεν θα κινηθεί τρεις φορές, ούτε καν δύο φορές, γρηγορότερα από αυτή, παρόλο που, ειδικά εσύ, θα μπορούσες να είχες υποθέσει ότι θα κινούνταν χίλιες φορές γρηγορότερα από εκείνη.

Σιμπλίκιο: Τα πράγματα θα μπορούσαν να είναι όπως τα περιγράφεις, κατά τη διάρκεια των πρώτων τεσσάρων ή έξι πήχεων. Όμως, αν η κίνηση συνεχιζόταν για πολύ περισσότερο, πιστεύω ότι το μολύβι θα είχε αφήσει πίσω του την κύστη, όχι μόνο κατά τα έξι δωδέκατα της συνολικής απόστασης, αλλά ακόμα και κατά οκτώ ή δέκα δωδέκατα αυτής.

Σαλβιάτι: Θα συμφωνούσα μαζί σου, και δεν θα αμφέβαλλα πάνω στο ότι, σε πολύ μεγάλες αποστάσεις, το μολύβι θα μπορούσε να είχε καλύψει χίλια μίλια, ενώ [118] η κύστη μόνο ένα. Αλλά αγαπητέ μου Σιμπλίκιο, αυτό το φαινόμενο το οποίο προσκομίζεις ως επιχείρημα κατά της πρότασής μου είναι αυτό που την επιβεβαιώνει. Άφησέ με να εξηγήσω, άλλη μια φορά, ότι η διαφορά στις ταχύτητες με τις οποίες πέφτουν σώματα με διαφορετικά βάρη δεν προκαλείται από τη διαφορά βάρους τους, αλλά εξαρτάται από εξωτερικές συνθήκες και, συγκεκριμένα, από την αντίσταση του μέσου. Έτσι, εάν αυτό αφαιρούνταν, τότε όλα τα σώματα θα έπεφταν με την ίδια ταχύτητα. Και αυτό το συμπέρασμα το εξάγω, κυρίως, από το γεγονός που μόλις παραδέχθηκες και είναι πολύ σωστό, ότι δηλαδή, όταν σώματα με πολύ διαφορετικά βάρη πέφτουν, οι ταχύτητές τους διαφοροποιούνται ολοένα και περισσότερο, όσο μεγαλύτερες αποστάσεις διανύουν. Αυτό δεν θα μπορούσε να είναι συνέπεια του γεγονότος ότι έχουν διαφορετικά βάρη. Διότι, εφόσον τα βάρη τους παραμένουν σταθερά, ο λόγος ανάμεσα στις αποστάσεις που τα σώματα διανύουν όφειλε να παραμένει και αυτός σταθερός. Αντίθετα, στην πραγματικότητα, ο λόγος αυτός μεγαλώνει, όσο η κίνηση συνεχίζεται. Έτσι, σε πτώση κατά έναν πήχη, ένα πολύ βαρύ σώμα δεν προπορεύεται από ένα πολύ ελαφρύ περισσότερο από το ένα δέκατο της απόστασης αυτής. Αν, ωστόσο, έπεφταν από ύψος δώδεκα πήχεων, το βαρύ σώμα θα προσπερνούσε το ελαφρύ κατά ένα τρίτο της συνολικής απόστασης, ενώ, αν έπεφταν από ύψος εκατό πήχεων, κατά ενενήντα εκατοστά αυτής, κ.ο.κ. (Galilei 1638/1954[299], Galilei 1638/1989[337], *1st day* [116]-[118]).

Απόσπασμα 8: *Ο Γαλιλαίος διατυπώνει το νόμο της ελεύθερης πτώσης, κατά τον οποίο η ταχύτητα πτώσης αυξάνεται με σταθερό ρυθμό σε ένα μέσον χωρίς αντίσταση, και το νόμο της πτώσης μέσα σε ένα μέσον, κατά τον οποίο η αντίσταση αυξάνεται, όσο μεγαλώνει η ταχύτητα, και επιδρά στη σταδιακή μείωση του ρυθμού αύξησης της ταχύτητας πτώσης, μέχρι και το μηδενισμό του. Από εκεί και πέρα, το σώμα πέφτει με σταθερή ταχύτητα. Θεωρώντας την αντίσταση του μέσου συνάρτηση της ταχύτητας πτώσης, διατυπώνει, ενισχυμένη, την υπόθεσή του, ότι τα σώματα θα έπεφταν ταυτόχρονα στο κενό:*

Σιμπλίκιο: Πολύ καλά: όμως ακολουθώντας τη δική σου σειρά επιχειρημάτων, εάν οι διαφοροποιήσεις του βάρους σε σώματα με διαφορετικά ειδικά βάρη[ccxxiii] δεν μπορούν να προκαλέσουν διαφορά στο λόγο των ταχυτήτων τους, στη βάση ότι τα ειδικά βάρη τους[ccxxiv] δεν μεταβάλλονται, πώς είναι δυνατόν, τότε, το μέσον – το οποίο επίσης υποθέτουμε ότι παραμένει σταθερό – να επιφέρει οποιαδήποτε αλλαγή στο λόγο αυτών των ταχυτήτων;

Σαλβιάτι: Αυτή η αντίρρηση που αντιπαραθέτεις στο επιχείρημά μου είναι έξυπνη και θα πρέπει να την αντιμετωπίσω. Θα ξεκινήσω, λέγοντας ότι ένα βαρύ σώμα έχει μια έμφυτη τάση να κινείται με μια σταθερά και ομοιόμορφα επιταχυνόμενη κίνηση προς το κοινό κέντρο των βαρέων σωμάτων, δηλαδή, προς το κέντρο της Γής μας. Έτσι, κατά τη διάρκεια ίσων διαστημάτων χρόνου δέχεται ίσες αυξήσεις της ορμής (momentum/momenta) και της ταχύτητας (velocity/degrees of speed). Αυτό, πρέπει να καταλάβετε, συμβαίνει, όταν όλα τα εξωτερικά και τυχαία εμπόδια έχουν απαλειφθεί. Αλλά, από αυτά, υπάρχει ένα το οποίο ποτέ δεν θα μπορούσαμε να αφαιρέσουμε, και αυτό είναι το μέσον στο οποίο το σώμα, που πέφτει, πρέπει να διεισδύσει, ωθώντας το. Αυτό το σε ηρεμία και εύκολα διαπερατό ρευστό αντιστέκεται στην κίνηση [119] που γίνεται διαμέσου της ύλης του. Η αντίσταση αυτή είναι ανάλογη της ταχύτητας με την οποία το μέσον πρέπει να παραμερίσει, για να ανοίξει δρόμο στο σώμα που πέφτει. Η κίνηση του τελευταίου είναι, όπως ήδη είπα, συνεχώς επιταχυνόμενη από τη φύση της. Έτσι, το σώμα συναντά ολοένα και μεγαλύτερη αντίσταση κατά την πτώση του μέσα στο μέσον, ο ρυθμός με τον οποίο κερδίζει ταχύτητα επιβραδύνεται, μέχρι που, τελικά, η ταχύτητά του αγγίζει αυξανόμενη ένα τέτοιο σημείο, όπου η αντίσταση του μέσου γίνεται τόσο μεγάλη, ώστε η μία ισορροπεί την άλλη. Οποιαδήποτε άλλη επιτάχυνση, τότε, εμποδίζεται και, από κει και πέρα, η κίνηση του σώματος περιορίζεται σε μια ομοιόμορφη κίνηση με σταθερή ταχύτητα. Υπάρχει, έτσι, μια αύξηση στην αντίσταση του μέσου, η οποία δεν είναι συνέπεια κάποιας αλλαγής στις βασικές του ιδιότητες, αλλά εξαρτάται από την αλλαγή στην ταχύτητα με την οποία αυτό πρέπει να υποχωρήσει και να ανοίξει δρόμο στο σώμα που πέφτει σταθερά επιταχυνόμενο.

Τώρα, βλέποντας πόσο μεγάλη είναι η αντίσταση που ο αέρας προβάλει απέναντι στη μικρή ορμή της κύστης και πόσο μικρή, αντίστοιχα, απέναντι στο βαρύ κομμάτι από μολύβι, είμαι πεπεισμένος ότι, εάν το μέσον μπορούσε τελείως να αφαιρεθεί, η ταχύτητα πτώσης της κύστης θα άλλαζε τόσο πολύ και του μολύβδου τόσο λίγο, ώστε, τελικά, θα εξισώνονταν (Galilei 1638/1954[299], Galilei 1638/1989[337] *1st day* [118]-[119]).

Απόσπασμα 9: *Ο Γαλιλαίος χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο, για να υπολογίσει την ταχύτητα πτώσης σε διάφορα μέσα, χρησιμοποιώντας ως παραμέτρους το βάρος, την άνωση, και το νόμο της ταχύτητας στην ελεύθερη πτώση. Θεωρεί ότι, με τον τρόπο αυτό, πετυχαίνει μια περιγραφή των φαινομένων πτώσης πολύ ακριβέστερη από εκείνη του Αριστοτέλη:*

Σαλβιάτι: Υποστηρίζοντας αυτήν την αρχή, ότι τα σώματα που πέφτουν αναπτύσσουν ίσες ταχύτητες, όταν πέφτουν σε μέσον το οποίο δεν ασκεί αντίσταση στην ταχύτητα της πτώσης, είτε επειδή είναι κενό, είτε για άλλον λόγο, γινόμαστε ικανοί να καθορίσουμε τους λόγους των ταχυτήτων των σωμάτων, τόσο των όμοιων, όσο και των ανόμοιων, τα οποία κινούνται, είτε διαμέσου ενός και του αυτού μέσου, είτε διαμέσου μέσων διαφορετικής υφής και αντίστασης. Αυτό το αποτέλεσμα μπορεί να εξαχθεί, αν παρατηρήσουμε πόσο πολύ το βάρος του μέσου μειώνει το βάρος του σώματος που κινείται μέσα του. Το τελευταίο είναι το μέσον που χρησιμοποιείται από το σώμα που πέφτει, προκειμένου να ανοίξει δρόμο για τον εαυτό του και να σπρώξει στην άκρη τα μέρη του μέσου, πράγμα που δεν συμβαίνει στο κενό, όπου, επομένως, δεν αναμένεται να υπάρξει διαφορά ταχύτητας οφειλόμενη σε διαφοροποίηση του βάρους. Και, εφόσον είναι γνωστό ότι η επίδραση του μέσου είναι να μειώνει το βάρος του σώματος κατά

[ccxxiii] Ο Drake (Galilei 1638/1989[337]) χρησιμοποιεί τη λέξη heaviness , οι Crew & Salvio (Galilei 1638/1954[299]) τον όρο specific gravities.
[ccxxiv] Βλ. προηγούμενη σημείωση.

ποσό ίσο με το βάρος του μέσου που εκτοπίζεται, θα μπορούσαμε να πετύχουμε το στόχο μας, με το να μειώσουμε κατά αυτό το ποσοστό τις ταχύτητες των σωμάτων που πέφτουν, οι οποίες σε ένα μέσον χωρίς αντίσταση υποθέσαμε ότι θα ήταν ίσες.

Έτσι, για παράδειγμα, ας φανταστούμε ένα κομμάτι μολύβι να είναι δέκα χιλιάδες φορές βαρύτερο από τον αέρα και ένα κομμάτι εβονίτη χίλιες [120]. Εδώ, έχουμε δύο ουσίες των οποίων οι ταχύτητες πτώσης σε ένα μέσον που στερείται αντίστασης είναι ίσες: αλλά, αν το μέσον αυτό αντικατασταθεί από τον αέρα, θα αφαιρεθεί από την ταχύτητα του μολύβδου ένα στα δέκα χιλιάδες μέρη και από αυτήν του εβονίτη ένα στα χίλια μέρη, δηλαδή, δέκα στα δέκα χιλιάδες μέρη. Αν επομένως φανταστούμε ότι το μολύβι και ο εβονίτης πέφτουν από οποιοδήποτε ύψος στον αέρα, και σκεφτούμε πώς τα ίδια σώματα θα κάλυπταν την ίδια απόσταση χωρίς την επιβράδυνση του αέρα, θα βρούμε ότι το μολύβι θα χάσει πέφτοντας στον αέρα ένα στα δέκα χιλιάδες μέρη της ταχύτητάς του και ο εβονίτης ένα στα χίλια μέρη αυτής. Με άλλα λόγια, αν το ύψος από το οποίο τα σώματα αρχίζουν να πέφτουν διαιρεθεί σε δέκα χιλιάδες μέρη, το μολύβι θα φθάσει στο έδαφος αφήνοντας τον εβονίτη πίσω κατά δέκα ή τουλάχιστον εννέα από αυτά τα μέρη. Δεν είναι τότε ξεκάθαρο ότι η μπάλα από μολύβι, αν αφεθεί να πέσει από έναν πύργο ύψους διακοσίων πήχεων, θα ξεπεράσει τον εβονίτη κατά απόσταση μικρότερη των τεσσάρων ιντσών;

Τώρα, ο εβονίτης ζυγίζει χίλιες φορές περισσότερο από τον αέρα, αλλά η φουσκωμένη κύστη μόνο τέσσερεις φορές περισσότερο. Έτσι, ο αέρας μειώνει την έμφυτη και φυσική ταχύτητα του εβονίτη κατά ένα στα χίλια μέρη, ενώ η ταχύτητα της κύστης – η οποία, αν δεν υπήρχε η αντίσταση, θα ήταν η ίδια με του εβονίτη – δέχεται μείωση κατά την πτώση στον αέρα κατά ένα στα τέσσερα μέρη. Έτσι, όταν η μπάλα του εβονίτη πέφτοντας από τον πύργο αγγίξει τη γη, η φουσκωμένη κύστη θα έχει διανύσει μόνο τρία τέταρτα αυτής της απόστασης. Το μολύβι είναι δώδεκα φορές βαρύτερο από το νερό, αλλά ο εβονίτης μόνο δύο φορές βαρύτερος. Οι ταχύτητες πτώσης αυτών των δύο σωμάτων, οι οποίες, όταν τα σώματα δεν δέχονται οποιαδήποτε αντίσταση, είναι ίσες, θα μειωθούν στο νερό. Αυτή του μολύβδου θα μειωθεί κατά ένα στα δώδεκα μέρη και αυτή του εβονίτη κατά το ήμισυ. Έτσι, όταν το μολύβι πέσει κατά έντεκα πήχεις νερού, ο εβονίτης θα έχει πέσει μόνο κατά έξι. Χρησιμοποιώντας αυτή την αρχή, μπορούμε, πιστεύω, να πετύχουμε μέσω των υπολογισμών μας μια καλύτερη συμφωνία με τα πειραματικά δεδομένα, από αυτήν που επιτυγχάνεται μέσω των υπολογισμών του Αριστοτέλη (Galilei 1638/1954[299], Galilei 1638/1989[337], *1st day* [119]-[120]).

1.3. Πειραματικά δεδομένα

Απόσπασμα 1: *Ο Boyle (1627-1691) πραγματοποιεί το πείραμα της πτώσης ενός φτερού σε σωλήνα εκκενωμένο από αέρα, με στόχο να διαπιστώσει αν υπάρχει ουσία περισσότερο λεπτοφυής από τον αέρα που να αντιστέκεται στην κίνησή του. Τα αποτελέσματα αποτελούν πειραματικά τεκμήρια της ελεύθερης πτώσης:*

Πείραμα 40*: Πάνω στην πτώση, μέσα σε αερόκενο δοχείο, ελαφριού σώματος, τέτοιου ώστε η κίνησή του να επηρεάζεται εμφανώς από τη μικρή αντίσταση του αέρα.*

Για να διαπιστώσουμε αν σε μέρος που δεν έχει αέρα, όπως για παράδειγμα στα δοχεία από όπου τον έχουμε αφαιρέσει, υπάρχει ακόμα κάτι που θα μπορούσε να αντισταθεί στην κίνηση άλλων σωμάτων μέσα σε αυτό… πραγματοποιήσαμε τις ακόλουθες δοκιμές.

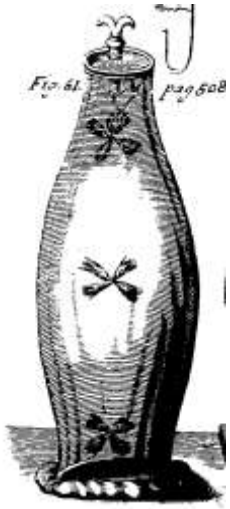
Πήραμε έναν κώδωνα αντλίας λιγότερο ψηλό από αυτόν που θα έπρεπε κανονικά να έχουμε, αλλά τον ψηλότερο που θα μπορούσαμε να προμηθευτούμε, ώστε να μπορέσουμε να δημιουργήσουμε έναν όσο το δυνατόν καταλληλότερο, αλλά όχι τον τέλειο χώρο, ώστε να μελετήσουμε ένα σώμα να πέφτει μέσα σ' αυτόν. Για το σκοπό αυτό, δέσαμε ένα μικρό ζεύγος λαβίδων καπνού στο εσωτερικό του ορειχάλκινου βιδωτού καλύμματος του κώδωνα, τέτοιο ώστε, στρίβοντας το καπάκι, να μπορούμε με τη βοήθεια ενός νήματος δεμένου στη μια μεριά του να ανοίξουμε τις λαβίδες, των οποίων τα ελατήρια, διαφορετικά, θα τις κρατούσαν κλειστές.

Το αμέσως επόμενο πράγμα που είχαμε να κάνουμε ήταν να βρούμε ένα σώμα το οποίο δεν πέφτει κάτω διαμέσου του αέρα όπως η πέτρα, ή άλλο νεκρό βάρος, αλλά με τον τρόπο που κατέρχεται να φαίνεται ότι η κίνησή του είναι ευαίσθητη στην αντίσταση από τον αέρα. Επειδή, θα έπρεπε να έχουμε ένα σώμα που να μπορεί να περιστρέφεται οριζόντια κατά την πτώση του, θεωρήσαμε ενδεδειγμένο το να ενώσουμε σταυρωτά τέσσερα μεγάλα και ελαφριά φτερά (καθένα περίπου μία ίντσα μακρύ), βάζοντας στις άκρες τους λίγη κολλητική ταινία στην οποία προσαρμόσαμε μικρή χάρτινη ετικέτα, περίπου ένα όγδοο της ίντσας πάχους και λίγο μεγαλύτερου ύψους. Από αυτό, οι λαβίδες μπορούν να πιάνουν το ελαφρό μας όργανο, χωρίς να αγγίζουν την κολλητική ταινία, η οποία θα είχε τον κίνδυνο να κολλήσει πάνω σ' αυτές. Με τη βοήθεια αυτού του μικρού κομματιού από χαρτί, το μικρό όργανο, του οποίου αποτελούσε μέρος, συγκρατήθηκε από τις λαβίδες και τοποθετήθηκε, όσο ήταν δυνατόν οριζόντια. Όταν η γυάλινη φιάλη συνδέθηκε με την αντλία κενού, η αντλία μπήκε σε λειτουργία. Για τον έλεγχο του αποτελέσματος της οποίας χρησιμοποιήθηκε ειδικός δείκτης συνδεδεμένος με αυτήν.

Έτσι το δοχείο εκκενώθηκε προσεκτικά από τον αέρα. Τελικά, τα μάτια μας προσηλώθηκαν στα ενωμένα φτερά, οι λαβίδες άνοιξαν με τη βοήθεια του βιδωτού κλειδιού και το μικρό όργανο αφέθηκε να πέσει. Το τελευταίο, παρόλο που στον αέρα θα είχε πραγματοποιήσει κάποιες στροφές, μέχρι να πέσει από το ίδιο ύψος από το οποίο τώρα έπεφτε, τώρα έπεφτε σαν ένα νεκρό βάρος, χωρίς κανένας από εμάς να μπορέσει να το παρατηρήσει να πραγματοποιεί μια στροφή, ούτε καν τμήμα αυτής. Παρόλο που το αποτέλεσμα του πειράματος ήταν τόσο σαφές, για μεγαλύτερη σιγουριά, σήκωσα τον κώδωνα της αντλίας και τον επανατοποθέτησα στη θέση του, κρεμώντας πάλι τα φτερά από τις λαβίδες. Όταν τα φτερά αφέθηκαν να πέσουν μέσα στον κώδωνα, ο οποίος τώρα δεν είχε εκκενωθεί, πραγματοποίησαν κάποιες στροφές κατά την πτώση τους, και αυτό συνέβη, όταν ξαναφέθηκαν να πέσουν για δεύτερη φορά με τον ίδιο τρόπο.

Όμως, όταν μετά απ' αυτό τα φτερά τοποθετήθηκαν όπως προηγουμένως και επαναλάβαμε το πείραμα, αφού προσεκτικά αφαιρέσαμε τον αέρα με τη βοήθεια της αντλίας, ούτε εγώ, ούτε κανένας από τους παρευρισκόμενους μπόρεσε να παρατηρήσει οτιδήποτε κατά την πτώση των φτερών. Και πάλι, για μεγαλύτερη σιγουριά, τα αφήσαμε να πέσουν δύο ακόμη φορές στον μη εκκενωμένο κώδωνα και τα είδαμε να περιστρέφονται

κατά την πτώση τους, όπως προηγουμένως. Αντίθετα, όταν για τρίτη φορά τα αφήσαμε να πέσουν μέσα στον καλά εκκενωμένο κώδωνα, έπεσαν με τον ίδιο τρόπο, όπως και προηγουμένως, όπως όταν ο αέρας, ο οποίος θα τα είχε αναγκάσει να περιστραφούν προκαλώντας αντίσταση στην πτώση τους, είχε αφαιρεθεί από την πορεία τους (Boyle 1669 στον Conant 1957/1966 σελ. 46-48[282], Boyle, *Pneumatics,* 1725 ed. II σελ. 508[302]).



Εικόνα ΠVII.1.Σχέδιο του πειράματος επιμελημένο από τον Boyle για τη λεπτομερή απεικόνιση της πτώσης φτερού σε αερόκενο σωλήνα (Conant 1957/1966, σελ.47[282], Boyle, Pneumatics, 1725 ed. II Plate XIII Fig.61[302])

Απόσπασμα 2: *Ελεύθερη πτώση στο φεγγάρι, 1971: Κατά τη διάρκεια των τελευταίων λεπτών της αποστολής του Απόλλων 15, πραγματοποιήθηκε ένα μικρό επιστημονικό πείραμα. Ένα βαρύ αντικείμενο (ένα αλουμινένιο γεωλογικό σφυρί 1,32 kg) και ένα ελαφρύ αντικείμενο (ένα φτερό γερακιού 0,03 kg) αφέθηκαν ταυτόχρονα από περίπου το ίδιο ύψος (περίπου 1,6 m) να πέσουν στην επιφάνεια του φεγγαριού:*

Scott: Λοιπόν, στο αριστερό μου χέρι, κρατάω ένα φτερό και στο δεξί μου ένα σφυρί. Και εικάζω πως ο λόγος για τον οποίο βρισκόμαστε εδώ σήμερα είναι κάποιος κύριος με το όνομα Γαλιλαίος, ο οποίος, πολλά χρόνια πριν, έκανε μια σημαντική ανακάλυψη πάνω στους νόμους της πτώσης των αντικειμένων. Και θεωρήσαμε ότι δεν υπάρχει καλύτερος τόπος, για να επιβεβαιωθεί η θεωρία του, από το φεγγάρι.
Scott: Έτσι, σκεφτήκαμε να πραγματοποιήσουμε εδώ το πείραμα για σας. Το φτερό τυχαίνει να είναι φτερό γερακιού από το δικό μας γεράκι. Και θα τα αφήσω και τα δύο να πέσουν, και ευελπιστώ ότι θα χτυπήσουν το έδαφος την ίδια χρονική στιγμή.
Scott: Τι θα λέγατε γι' αυτό!
Allen: Τι θα λέγατε γι' αυτό! (Χειροκροτεί από το Χιούστον.)
Scott: Κι έτσι, αποδεικνύεται ότι ο Γαλιλαίος είχε δίκιο.
Allen: Υπέροχα.

(Apollo 15 1996/2008[305])

Απόσπασμα 3: *Η γκινέα και το φτερό… Πειραματική διάλεξη του George Adams, κατασκευαστή επιστημονικών οργάνων:*

Το πείραμα με τη γκινέα και το φτερό είναι ένα από τα πιο διάσημα ανάμεσα στα πειράματα που πραγματοποιούνται με την αντλία κενού.

Αυτή η συσκευή … έχει επινοηθεί με τέτοιον τρόπο, ώστε η γκινέα και το φτερό να είναι δυνατόν να αφεθούν να πέσουν ταυτόχρονα από το επάνω μέρος του σωλήνα. Το πείραμα μπορεί να επαναλαμβάνεται τρεις φορές, χωρίς να αποσυναρμολογείται η συσκευή ή να χρειάζεται να αφαιρεθεί εκ νέου ο αέρας, γιατί η συσκευή είναι σχεδιασμένη με τέτοιον τρόπο, ώστε να αφήνει τρία ζευγάρια από γκινέες και φτερά να πέσουν ξεχωριστά σε τρείς διαφορετικούς χρόνους.

Για να κάνουμε το αποτέλεσμα πιο ευαίσθητο, θα αφήσουμε μια γκινέα και ένα φτερό να πέσουν, όταν ο σωλήνας είναι γεμάτος με αέρα και, βλέπετε, η γκινέα φθάνει στο κάτω μέρος του σωλήνα σε μια στιγμή, αλλά το φτερό κατέρχεται αργά, και όχι κατευθείαν. Τώρα θα εκκενώσω το δοχείο: είναι έτοιμο. Κοιτάξτε σταθερά στο κάτω μέρος του σωλήνα και θα δείτε την γκινέα και το φτερό να φθάνουν την ίδια στιγμή στον πάτο του δοχείου. Αυτό αποδεικνύει ότι ένα ελαφρύ σώμα πέφτει, τόσο γρήγορα, όσο και ένα βαρύ σε ένα μέσον χωρίς αντίσταση (Adams 1794, σελ.138-9[304]).

1.4. Η παρέμβαση του Νεύτωνα (1642 -1727)

Απόσπασμα 1: *Το μήλο, το φεγγάρι και η βαρύτητα… Από το «πώς» στο «γιατί» πέφτουν τα πράγματα στη γη. Η σύλληψη της έννοιας της βαρύτητας από τον Νεύτωνα:*

Και την ίδια χρονιά άρχισα να σκέφτομαι ότι η βαρύτητα εκτείνεται ως την τροχιά της Σελήνης, και… από τον Κανόνα του Κέπλερ [τρίτο νόμο] … συνήγαγα ότι οι δυνάμεις που συγκρατούν τους Πλανήτες στις τροχιές τους πρέπει [να είναι] αντιστρόφως ανάλογες των τετραγώνων των αποστάσεών τους από τα κέντρα γύρω από τα οποία περιφέρονται: βάσει αυτού συνέκρινα τη δύναμη που απαιτείται για να συγκρατεί τη Σελήνη στην τροχιά της με τη δύναμη της βαρύτητας που ασκείται στην επιφάνεια της Γης, και διαπίστωσα ότι σχεδόν αντιστοιχούν. Όλα αυτά συνέβησαν στα δύο χρόνια της πανούκλας, το 1665 και το 1666, γιατί εκείνον τον καιρό ήμουν στην καλύτερη και πιο δημιουργική ηλικία, και ενδιαφερόμουν για τα Μαθηματικά και τη Φιλοσοφία περισσότερο απ' ό,τι σε οποιαδήποτε άλλη εποχή έκτοτε (Newton στον Holton & Brush 2002 σελ.144[300]).

Αποσπάσματα 2 & 3: *Η γκινέα, το φτερό και η κίνηση των ουρανίων σωμάτων… Το πείραμα του Boyle ως προσομοίωση της κίνησης στο διάστημα…:*

…Στο διάστημα κοντά στη γη, η αντίσταση προκαλείται μόνο από τον αέρα, τις αναθυμιάσεις και τους ατμούς. Όταν αυτά αφαιρούνται προσεκτικά με τη βοήθεια της αντλίας κενού από τον κώδωνα, τα βαριά σώματα πέφτουν μέσα σ' αυτόν με τέλεια ελευθερία, και χωρίς την παραμικρή αντίσταση: ο ίδιος ο χρυσός και το ελαφρότατο φτερό, αν αφεθούν να πέσουν ταυτόχρονα, θα κατέλθουν με την ίδια ταχύτητα. Και παρόλο που πέφτουν από ύψος τεσσάρων, έξι ή οκτώ ποδιών, φθάνουν στον πάτο του δοχείου την ίδια στιγμή, όπως αποδεικνύεται από τα πειράματα. Και επομένως, στις ουράνιες περιοχές που είναι απόλυτα κενές από αέρα και αναθυμιάσεις, οι πλανήτες και οι κομήτες, μη συναντώντας την παραμικρή αντίσταση, συνεχίζουν την κίνησή τους για μια αχανή έκταση του χρόνου… (Newton 1729/1962, Proposition X, Theorem X, σελ.419[303]).

…Τα σώματα που κινούνται μέσα στην ατμόσφαιρα δεν δέχονται άλλη αντίσταση από εκείνη

του αέρα. Αν αφαιρέσουμε τον αέρα, όπως συμβαίνει στο κενό του κ. Boyle, η αντίσταση παύει. Γιατί σε αυτό το κενό ένα κομμάτι από λεπτό πούπουλο και ένα κομμάτι συμπαγούς χρυσού κατέρχονται με την ίδια ταχύτητα. Και, αντίστοιχα, μπορούμε λογικά να φανταστούμε τι συμβαίνει στον ουράνιο χώρο, πέρα από τη γήινη ατμόσφαιρα. Στο διάστημα, όπου δεν υπάρχει αέρας να αντισταθεί στις κινήσεις τους, όλα τα σώματα κινούνται με τη μέγιστη ελευθερία. Οι πλανήτες και οι κομήτες ακολουθούν σταθερά τις τροχιές τους – τροχιές δεδομένου είδους και θέσης, σύμφωνα με τους νόμους που εξηγήθηκαν παραπάνω. Όμως, παρόλο που αυτά τα σώματα μπορεί, πραγματικά, να παραμένουν στις τροχιές τους, χάρη στους βασικούς νόμους της βαρύτητας, δεν είναι δυνατόν να έχουν αρχικά αποκτήσει τη βασική θέση αυτών των τροχιών από αυτούς τους νόμους…(Newton 1729/1962, General Scholium, σελ.543[303]).

Ενότητα 2. Το κενό

2.1. Αρχαίες απόψεις

Απόσπασμα 1: *Ο Λεύκιππος και ο Δημόκριτος (5ος-4ος αι. π.Χ), το κενό και το πλήρες:*

Ο Λεύκιππος και σύντροφός του Δημόκριτος υποστηρίζουν ότι τα στοιχεία είναι το πλήρες και το κενό, αποκαλώντας τα αντίστοιχα όν και μη όν. Το όν είναι γεμάτο και στερεό, το μη όν άδειο και αραιό. Επειδή, όπως λένε, το κενό υπάρχει όσο και το σώμα, γι' αυτό και το μη όν υπάρχει όσο και το όν. Αυτά τα δύο μαζί είναι οι υλικές αιτίες των πραγμάτων που υπάρχουν… (Αριστοτέλης, *Μεταφυσικά* Α, 985b, στον Kirk et al. 1998, απόσπασμα 555, σελ.414[306]).

Απόσπασμα 2: *Ο Αριστοτέλης συνοψίζει τις απόψεις οπαδών του κενού. Οι τελευταίοι υποστηρίζουν ότι χωρίς το κενό δεν θα μπορούσε να υπάρχει τοπική κίνηση, ούτε να προστεθεί κάτι σε ένα χώρο, γιατί αυτό θα συνέπιπτε με κάτι άλλο. Υποστηρίζουν, επίσης, ότι το κενό υπάρχει, καθορίζοντας τη φύση των σωμάτων, δηλαδή προκαλώντας ασυνέχεια μέσα σε ένα σώμα ή διάκριση των ορίων του. Υποστηρίζουν, τέλος, ότι το κενό καθορίζει και τη φύση των αριθμών* (Αριστοτέλης, *Φυσικά* Δ, 213b, 2 -29[301]).

Απόσπασμα 3: *Ο Αριστοτέλης ισχυρίζεται ότι το κενό δεν υπάρχει ως δοχείο υποδοχής των σωμάτων, γιατί τότε δεν θα ήταν κενό* (Αριστοτέλης, *Φυσικά* Δ, 213b, 30 -214a, 16[301]).

Απόσπασμα 4: *Ο Αριστοτέλης ανασκευάζει τα επιχειρήματα ότι χωρίς το κενό δεν μπορεί να υπάρχει κίνηση ή πρόσθεση σωμάτων σε ένα χώρο, υποστηρίζοντας ότι το κενό δεν απαραίτητο είναι γι' αυτό, γιατί μπορεί δύο σώματα να αλλάξουν θέση ή να υπάρξει, ταυτόχρονα με την πρόσθεση ή πύκνωση της ύλης, αραίωση αυτής σε άλλο σημείο του χώρου* (Αριστοτέλης, *Φυσικά* Δ, 214a,17 -214b, 11[301]).

Απόσπασμα 5: *Ο Αριστοτέλης ισχυρίζεται ότι το κενό δεν μπορεί να είναι αιτία της κίνησης, γιατί δεν μπορεί να κινηθεί προς τα άνω ή κάτω, μη έχοντας ελαφρότητα ή βάρος* (Αριστοτέλης, *Φυσικά* Δ, 214b,12-18[301]).

Απόσπασμα 6: *Πού θα πάει ένα σώμα που εισέρχεται στο κενό, εφόσον το κενό εξ ορισμού στερείται σώματος;* (Αριστοτέλης, *Φυσικά* Δ, 214b, 18-28[301]).

2.2. 16ος αιώνας: Αντιφατικές ερμηνείες ως προς την ύπαρξη του κενού σε δημοφιλή μεσαιωνικά πειράματα

2.2.1. Το πείραμα του φυσερού ή της κύστης

Απόσπασμα 1: *Το πείραμα του φυσερού: Σχόλιο πάνω στα Φυσικά του Αριστοτέλη, γραμμένο από Ιησουίτες του Πανεπιστημίου της Coimbra, σε έκδοση του 1602:*

Αλλά η εμπειρία, όπως και η λογική, πείθουν τους φιλοσόφους ότι το κενό δεν πρέπει να αποδίδεται στη φύση των πραγμάτων. Και αναφέρουμε την εμπειρία, γιατί, για παράδειγμα, οι πλευρές του φυσερού, εάν βρίσκονται σε επαφή, δεν μπορούν να διαχωριστούν από καμία δύναμη, εκτός κι εάν το στόμιο από το οποίο εισέρχεται ο αέρας, για να γεμίσει το εσωτερικό του φυσερού, είναι ανοιχτό (παρατίθεται στον Schmitt 1967[311]).

Απόσπασμα 2*: Το πείραμα του φυσερού*: *Σχόλιο πάνω στα Φυσικά του Αριστοτέλη από τον Fransiscus Toletus (1532–1596), σε έκδοση του 1580, στη Λυών:*

Αν εισάγουμε το στόμιο ενός φυσερού τελείως άδειου από αέρα, σε φιάλη καλά κλειστή απ' όλες τις πλευρές, έτσι ώστε ο αέρας να μην μπορεί να εισέλθει στο στόμιο, και τραβήξουμε στη συνέχεια τις πλευρές του φυσερού, ώστε να απομακρύνουμε τη μια από την άλλη, τότε οπωσδήποτε, θα δημιουργηθεί κενό μέσα στη μεμβράνη του φυσερού, εφόσον δεν υπάρχει τρόπος να εισαχθεί αέρας μέσα σ' αυτό. Κι αυτό γιατί, αν ο αέρας του δοχείου μπορούσε να εισέλθει στο φυσερό, το δοχείο θα έμενε αναγκαστικά χωρίς αέρα, γιατί δεν θα υπήρχε τρόπος να μπει σε αυτό αέρας από κάπου… Θα πρέπει να πούμε ότι σε αυτή την περίπτωση οι πλευρές του φυσερού δεν μπορούν να απομακρυνθούν η μια από την άλλη, και στην περίπτωση που ασκηθεί σ' αυτές μεγάλη δύναμη, θα σχιστούν, γιατί, εάν δεν σχιστούν, δεν είναι δυνατόν να αποχωριστούν μεταξύ τους (Toletus 1580 στον Schmitt 1967[311]).

Απόσπασμα 3*: Το πείραμα της κύστης: Περιγραφή παρομοίου με το φυσερό πειράματος από τον Fransesco Patrizi (1529 –1597), σε έκδοση του 1593, στη Βενετία:*

Πιέζουμε μια κύστη με νερό, ώστε το νερό να εξέλθει από αυτήν και η κύστη να παραμείνει συμπιεσμένη. Δένουμε όσο πιο γερά γίνεται το στόμιο από το οποίο εξήλθε το νερό. Προσπαθούμε, στη συνέχεια, να απομακρύνουμε τα τοιχώματά της, ασκώντας δύναμη με τα χέρια μας. Η μεμβράνη, τότε, ακολουθεί τα χέρια μας και δημιουργείται χώρος ανάμεσα στα τοιχώματα της κύστης και, εφόσον ούτε αέρας, ούτε νερό, ούτε οποιοδήποτε άλλο σώμα μπορούσε να εισέλθει από το ερμητικά κλεισμένο στόμιο, ποιος μπορεί να αμφισβητήσει ότι ο χώρος που δημιουργείται, ο οποίος δεν περιέχει κανένα απολύτως σώμα, είναι κενός; (Patrizi 1593 στον Schmitt 1967[311]).

2.2.2. Η κλεψύδρα

Απόσπασμα 4: *Το Αριστοτελικό επιχείρημα από τον Domingo de Soto (1494 - 1560), σε έκδοση του 1582, Salamanca:*

Στην πρώτη θέση βρίσκεται το πείραμα της γεμάτης νερό κλεψύδρας, η οποία δεν αφήνει το νερό να εξέλθει από το κάτω μέρος της, αν το επάνω στόμιο είναι κλειστό, ώστε να μη δημιουργηθεί κενό. Ωστόσο, όταν είναι μισογεμάτη, επιτρέπει σε κάποια ποσότητα νερού να φύγει από το κάτω μέρος της, γιατί ο αέρας (εφόσον μπορεί εύκολα να προκύψει αραίωση αυτού) αραιώνεται στο επάνω μέρος της (De Soto 1582 στον Schmitt 1967[311]).

Απόσπασμα 5: *Το Αριστοτελικό επιχείρημα από τον Φίλιππο Μελάχθωνα (1497-1560), έκδοση του 1846, Halle:*

Υπάρχει μια σαφής ένδειξη για το ότι το κενό δεν δημιουργείται, ούτε και θα ήταν δυνατό να δημιουργηθεί. Το κενό θα παρήγαγε ασυνεχή σώματα … Η κλεψύδρα δεν στάζει καθόλου αν το επάνω άνοιγμα είναι κλειστό, καθώς ο αέρας δεν μπορεί να εισέλθει από το επάνω μέρος. Κατά συνέπεια, το νερό κρέμεται, γιατί εάν έπεφτε θα δημιουργείτο κενό. Ωστόσο, ο νόμος της κίνησης των σωμάτων δεν αλλάζει χωρίς λόγο. Και ο λόγος εδώ είναι προφανής: ότι η φύση αποστρέφεται την ασυνέχεια των σωμάτων (Μελάχθων 1846 στον Schmitt 1967[311]).

Απόσπασμα 6: *Ο Bernardino Telesio (1509–1588) εισηγείται μια ενδιαφέρουσα διαφοροποίηση στο πείραμα, το οποίο, κατά τη γνώμη του, οδηγεί σε διαφορετικό από το Αριστοτελικό συμπέρασμα:*

Επιπλέον, χώρος, που με απόλυτη έννοια δεν περιλαμβάνει κανένα σώμα, και έτσι είναι άδειος και κενός, μπορεί να δημιουργηθεί ή αλλιώς να διαπιστωθεί ότι παράγεται στην ίδια την κλεψύδρα. Οι Περιπαθητικοί υποστήριξαν ότι το κενό δεν μπορεί να υπάρξει, βασιζόμενοι στο εξής σχετικό επιχείρημα: εάν το άνω άνοιγμα της κλεψύδρας είναι κλειστό, ώστε ο αέρας να μην μπορεί να εισέλθει, σε περίπτωση που το νερό έρρεε έξω από τα ανοίγματα, ο πάνω χώρος του νερού θα έμενε κενός. Όμως το νερό στέκεται στα ανοίγματα και συγκρατείται, αντί να ρέει. Επιπλέον, το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται σε όλα τα δοχεία που έχουν κατασκευαστεί με τον ίδιο τρόπο και είναι κλειστά από παντού, ώστε ο αέρας να μην μπορεί να εισέλθει μέσα σ' αυτά. Ωστόσο, εμείς βλέπουμε αντίθετα ότι, αν διευρύνουμε ένα από τα ανοίγματα της κλεψύδρας και το αφήσουμε ανοιχτό στο κάτω μέρος της, θα δούμε ότι το υγρό που βρίσκεται μέσα στην κλεψύδρα θα αρχίσει να ρέει από το διευρυμένο άνοιγμα, που βρίσκεται στο κατώτερο αυτό σημείο. Επιπλέον, το μέλι και άλλα ρευστά που είναι λίγο βαρύτερα του νερού, όπως και στερεά σε μορφή λεπτόκοκκης, αλλά βαριάς, σκόνης, μπορούν και ρέουν από τα ανοίγματα της κλεψύδρας (Telesio στον Schmitt 1967[311]).

2.2.3. Η κρήνη του Ήρωνα

Απόσπασμα 7: *Με τη βοήθεια του κενού δημιουργούνται μηχανικά παράδοξα. Ο Andrian Turnèbe (1512 -1565) θεωρεί το κενό ως αίτιο της λειτουργίας της κρήνης του Ήρωνα:*

Υπάρχει μια άλλη συγκεκριμένη μορφή κενού που μπορεί να απλωθεί στο χώρο, την οποία η φύση αποστρέφεται, ενώ εξαιτίας της δημιουργεί παράδοξα και προωθεί βαριά αντικείμενα προς τα πάνω, αντίθετα προς τους φυσικούς νόμους. Έτσι, εάν τρυπήσουμε μια γυάλινη μπάλα, εισάγουμε ένα μικρό σιφώνιο διαμέσου της τρύπας και το προσαρμόσουμε κολλώντας καλά τις ρωγμές γύρω από την τρύπα, μπορούμε με το στόμα μας να οδηγήσουμε έξω τον αέρα που βρίσκεται μέσα στο δοχείο και να αφήσουμε το περιεχόμενό του κενό. Η απόδειξη γι' αυτό θα είναι η ακόλουθη: εάν πριν αφεθεί ο αέρας να εισέλθει ξανά από έξω,

φράξουμε το σιφώνιο με το δάχτυλό μας και το αναποδογυρίσουμε μέσα σε νερό, το νερό, μόλις μετακινήσουμε το δάχτυλό μας, θα εισέλθει και θα οδηγηθεί στο εσωτερικό του γυάλινου δοχείου (Turnèbe 1658 στον Schmitt 1967[311]).

2.3. Ο Γαλιλαίος για το κενό…

Απόσπασμα 1: *Ο Γαλιλαίος θέτει το πρόβλημα της συνεκτικότητας των στερεών σωμάτων, και θεωρεί την αποστροφή προς τον κενό χώρο ως μερικό αίτιο της συνεκτικότητας αυτής:*

Σαλβιάτι:…. Όμως, εγώ δεν θα πρέπει να παρεκκλίνω πάνω στο συγκεκριμένο θέμα, εφόσον τώρα εσείς περιμένετε να ακούσετε τι σκέφτομαι πάνω στην αντοχή στη θραύση άλλων υλικών που, σε αντίθεση προς τα σχοινιά και τα περισσότερα ξύλα, δεν έχουν νηματοειδή δομή. Η συνεκτικότητα αυτών των υλικών οφείλεται, κατά την εκτίμησή μου, σε αιτίες οι οποίες μπορούν να ομαδοποιηθούν κάτω από δύο τίτλους. Η πρώτη ομάδα συνίσταται στην πολυσυζητημένη αποστροφή που η φύση δείχνει προς το κενό. Όμως, στις περιπτώσεις που η αποστροφή της φύσης προς το κενό δεν κρίνεται επαρκές αίτιο της συνεκτικότητας των σωμάτων, είναι απαραίτητο να αποδώσουμε την τελευταία σε μια δεύτερη αιτία, που να έχει τη μορφή κολλώδους ή συνεκτικής ουσίας η οποία να συνδέει γερά μεταξύ τους τα διαφορετικά τμήματα ενός σώματος.

Πρώτα, θα μιλήσω για το κενό και θα δείξω με ένα πείραμα την ποιότητα και το μέγεθος αυτής της δύναμής του. Αν πάρουμε δύο πλάκες από μάρμαρο, μέταλλο ή γυαλί που έχουν καλά τριφτεί, ώστε να γίνουν λείες, και τις τοποθετήσουμε τη μια απέναντι στην άλλη, η μια θα γλιστρήσει δίπλα στην άλλη με μεγάλη ευκολία, δείχνοντας, κατά συνέπεια, ότι δεν υπάρχει καμία κολλώδης ουσία ανάμεσά τους. Αλλά, αν δοκιμάσουμε να τις διαχωρίσουμε και να τις κρατήσουμε σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους, θα δούμε ότι οι πλάκες επιδεικνύουν τέτοια αντίσταση στο διαχωρισμό, ώστε εκείνη που βρίσκεται επάνω συγκρατεί εκείνη που βρίσκεται από κάτω της και την κρατάει ανυψωμένη επ' αόριστον, ακόμα κι αν αυτή η τελευταία είναι μεγάλη και βαριά.

Το πείραμα αυτό δείχνει την αποστροφή της φύσης προς τον κενό χώρο, ακόμη και για το ελάχιστο χρονικό διάστημα που χρειάζεται ο εξωτερικός αέρας να ορμήσει και να γεμίσει την περιοχή ανάμεσα στις δύο πλάκες. Παρατηρείται επίσης ότι, αν οι δύο πλάκες δεν έχουν γυαλιστεί με επιμέλεια, η επαφή τους είναι ατελής, και, αν κάποιος προσπαθήσει να τις διαχωρίσει αργά, η μόνη αντίσταση που θα συναντήσει θα είναι εκείνη του βάρους. Αν, ωστόσο, τραβήξει την επάνω πλάκα απότομα, τότε, η από κάτω θα ανασηκωθεί, αλλά σύντομα θα ξαναπέσει, έχοντας παρασυρθεί από την επάνω πλάκα μόνο για το πολύ σύντομο χρονικό διάστημα που χρειάστηκε, για να εξαπλωθεί η μικρή ποσότητα αέρα που παραμένει ανάμεσα στις πλάκες – συνέπεια της μη τέλειας εφαρμογής τους , και για να εισρεύσει ανάμεσά τους ο περιβάλλων αέρας. Η αντίσταση που παρουσιάζεται ανάμεσα στις δύο πλάκες είναι, χωρίς αμφιβολία, όμοια παρούσα ανάμεσα στα τμήματα των στερεών σωμάτων και οπωσδήποτε αποτελεί μερικό αίτιο της συνεκτικότητάς τους (Galilei 1638/1954[299], Galilei 1638/1989[337], *1st day* [59]).

Απόσπασμα 2 (συνέχεια από το προηγούμενο): *Ο Γαλιλαίος, μέσα από τα λόγια του Σαγκρέντο, απαντά στους Αριστοτελικούς σχετικά με τη δυνατότητα κίνησης στο κενό:*

Σαγκρέντο: Άφησέ με μια στιγμή να σε διακόψω και επίτρεψέ μου να αναφερθώ σε μια ιδέα που μόλις μου πέρασε από το μυαλό. Όταν βλέπω με τι τρόπο η κάτω πλάκα ακολουθεί την επάνω και με πόση ταχύτητα ανασηκώνεται, νοιώθω σίγουρος ότι, αντίθετα με την άποψη πολλών φιλοσόφων, μεταξύ των οποίων και του ίδιου του Αριστοτέλη, η κίνηση στο κενό δεν είναι ακαριαία. Αν κάτι τέτοιο συνέβαινε, οι δύο πλάκες θα διαχωρίζονταν χωρίς καμία αντίσταση, γιατί η ίδια χρονική στιγμή θα ήταν αρκετή και για το διαχωρισμό τους και για να μπορέσει το περιβάλλον μέσον να ορμήσει και να πληρώσει το κενό ανάμεσά τους. Το γεγονός ότι η κάτω πλάκα ακολουθεί την επάνω μας επιτρέπει να συμπεράνουμε, όχι μόνο το ότι η κίνηση στο κενό δεν είναι ακαριαία, αλλά, επίσης, ότι ανάμεσα στις δύο πλάκες υπάρχει πράγματι κενό, έστω και για πολύ μικρό χρονικό διάστημα, τόσο, όσο χρειάζεται το περιβάλλον μέσον, για να ορμήσει και να το γεμίσει. Γιατί, εάν δεν υπήρχε κενό εκεί, δεν θα υπήρχε ανάγκη για καμία κίνηση από την πλευρά του περιβάλλοντος μέσου. Θα μπορούσε κάποιος να παραδεχθεί ότι το κενό συχνά παράγεται από τη βίαιη (ή αντίθετη προς τη φύση) κίνηση – παρόλο που, κατά τη γνώμη μου, δεν υπάρχει τίποτα που να είναι αντίθετο προς τη φύση, εκτός από το αδύνατο, το οποίο δεν συμβαίνει ποτέ (Galilei 1638/1954[299], Galilei 1638/1989[337], *1st day* [60]).

Απόσπασμα 3 (συνέχεια από το προηγούμενο): *Μέσα από τα λόγια του Σαγκρέντο, ο Γαλιλαίος χρησιμοποιεί το δόγμα της αποστροφής της φύσης προς το κενό, για να εξηγήσει το φαινόμενο της συνάφειας λείων πλακών. Επίσης, θέτει το ερώτημα, αν η αποστροφή της φύσης προς το κενό, μπορεί να αποτελέσει επαρκές αίτιο της συνεκτικότητας των στερεών:*

Σαγκρέντο: Αλλά εδώ εγείρεται μια νέα δυσκολία. Ενώ το πείραμα με πείθει για την ορθότητα του συμπεράσματος, το μυαλό μου δεν είναι ολότελα ικανοποιημένο από το αίτιο στο οποίο το αποτέλεσμα αυτό αποδίδεται. Γιατί ο διαχωρισμός των πλακών προηγείται του σχηματισμού του κενού το οποίο παράγεται ως αποτέλεσμα αυτού του διαχωρισμού. Επειδή, όμως, έχω την εντύπωση, ότι, σύμφωνα με τη φυσική τάξη, το αίτιο πρέπει να προηγείται του αποτελέσματος, ακόμα κι αν φαίνεται να ακολουθεί χρονικά και, επειδή κάθε θετικό αποτέλεσμα πρέπει να έχει ένα θετικό αίτιο, δεν βλέπω πώς η συνάφεια των δύο πλακών και η αντίστασή τους στο διαχωρισμό – που στην πραγματικότητα συμβαίνουν – μπορεί να έχουν ως αιτία το κενό, αφού το κενό πρόκειται να ακολουθήσει. Σύμφωνα με το αλάθητο ρητό του Φιλοσόφου, το μη υπάρχον δεν μπορεί να παράγει αποτελέσματα.

Σιμπλίκιο: Βλέποντας ότι δέχεσαι αυτό το αξίωμα του Αριστοτέλη, δύσκολα, πιστεύω, θα απορρίψεις ένα άλλο εξαιρετικό και αξιόπιστο απόφθεγμα του ίδιου, και συγκεκριμένα, ότι η Φύση αναλαμβάνει να πραγματοποιήσει μόνο αυτό που συμβαίνει χωρίς αντίσταση. Και στο ρητό του αυτό νομίζω ότι θα βρεις λύση στο πρόβλημά σου. Εφόσον η φύση αποστρέφεται το κενό, προλαμβάνει αυτό από το οποίο το κενό θα προέκυπτε ως αναγκαία συνέπεια. Έτσι, συμβαίνει η φύση να εμποδίζει το διαχωρισμό των δύο πλακών

(Galilei 1638/1954[299], Galilei 1638/1989[337], *1st day* [60]).

Απόσπασμα 4 (συνέχεια από το προηγούμενο): *Ο Γαλιλαίος διαχωρίζει το είδος του κενού που κρατά ενωμένα δύο λεία στερεά από άλλου τύπου αίτια στα οποία οφείλεται η συνεκτικότητα της ύλης. Παράλληλα, μέσα από τα λόγια και τη σιωπή των πρωταγωνιστών του, αφήνει μια υπόνοια ότι πρόκειται να αναιρέσει το διαχωρισμό:*

Σαγκρέντο: Τώρα, δεχόμενος ότι αυτό που ο Σιμπλίκιο λέει είναι μια κατάλληλη λύση του προβλήματός μου, νομίζω, αν μου επιτρέπεται να επαναλάβω το προηγούμενο επιχείρημά μου, ότι αυτή η αντίσταση απέναντι στο κενό πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη, ώστε να κρατήσει ενωμένα τα μέρη, είτε μιας πέτρας, είτε ενός μετάλλου, είτε οποιουδήποτε άλλου στερεού που βρίσκονται ενωμένα μεταξύ τους δυνατά και αντιστέκονται στο διαχωρισμό. Αν για κάθε αποτέλεσμα υπάρχει μόνο μια αιτία, ή έστω περισσότερες που μπορούν να αναχθούν σε μια, τότε, γιατί δεν είναι αυτό το κενό, που στ' αλήθεια υπάρχει, μια επαρκής αιτία για όλα τα είδη της αντίστασης στο διαχωρισμό;

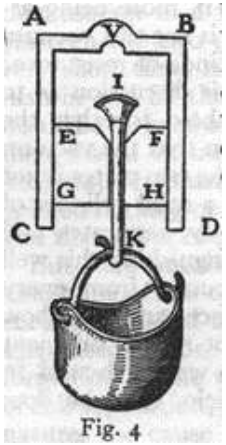
Σαλβιάτι: Δεν θα ήθελα τώρα να μπω σε αυτή τη συζήτηση, αν από μόνο του το κενό είναι αρκετό, για να συγκρατήσει μαζί τα χωριστά μέρη ενός στερεού σώματος. Αλλά σας διαβεβαιώνω ότι το κενό το οποίο λειτουργεί ως επαρκές αίτιο στην περίπτωση των δύο πλακών, δεν είναι από μόνο του αρκετό να ενώσει τα τμήματα ενός στερεού κυλίνδρου από μάρμαρο ή μέταλλο που, όταν τραβηχτούν βίαια, διαχωρίζονται και διαιρούνται. Και, τώρα, αν βρω μια μέθοδο να διακρίνω αυτή την περίφημη αντίσταση του κενού από οτιδήποτε άλλο που μπορεί να αυξάνει τη συνεκτικότητα και, αν δείξω ότι αυτή η αντίσταση που ο Σαγκρέντο προηγουμένως ανέφερε δεν είναι από μόνη της ικανή για ένα τέτοιο αποτέλεσμα, δεν θα αναγκασθούμε να θεωρήσουμε κάποιο άλλο αίτιο; Βοήθησέ τον, Σιμπλίκιο, γιατί δεν γνωρίζει πώς ακριβώς να απαντήσει.

Σιμπλίκιο: Οπωσδήποτε, ο δισταγμός του Σαγκρέντο πρέπει να οφείλεται σε άλλη αιτία, γιατί δεν μπορεί να υπάρξει αμφιβολία σχετικά με το συμπέρασμα, το οποίο είναι τόσο ξεκάθαρο και λογικό ταυτόχρονα.

Σαγκρέντο: Υπέθεσες σωστά, Σιμπλίκιο. Αναρωτιόμουνα πως, αν χρυσός αξίας ενός εκατομμυρίου, που έρχεται κάθε χρόνο από την Ισπανία δεν είναι αρκετός, για να πληρωθεί ο στρατός, τότε πιθανόν να μη χρειάζεται τίποτα άλλο για την πληρωμή των στρατιωτών, εκτός από κάποια μικρής αξίας νομίσματα. Αλλά, συνέχισε, Σαλβιάτι. Θεώρησε ότι δέχομαι το συμπέρασμά σου, και δείξε μας τη μέθοδο σου να διαχωρίζεις το αποτέλεσμα που οφείλεται στην αντίσταση στη δημιουργία κενού χώρου από άλλες αιτίες. Και, μετρώντας το, δείξε μας πώς αυτό δεν είναι επαρκές, για να προκαλέσει το αποτέλεσμα για το οποίο συζητάμε (Galilei 1638/1954, *1st day* [61][299]).

Απόσπασμα 5 (συνέχεια από το προηγούμενο)**:** *Η επινόηση συσκευής για τη μέτρηση της «δύναμης του κενού»:*

Σαλβιάτι: Ο καλός άγγελος ας σας συμπαρασταθεί. Θα σας δείξω, τώρα, πώς να ξεχωρίζετε τη δύναμη του κενού από άλλες και, στη συνέχεια, πώς να τη μετράτε. Για το σκοπό αυτό, ας φέρουμε στο μυαλό μας μια συνεχή ουσία, της οποίας τα μέρη δεν προβάλουν καμία αντίσταση στο διαχωρισμό, εκτός από αυτήν που προέρχεται από το κενό, όπως είναι η περίπτωση του νερού, γεγονός που εκτενώς έχει αποδειχθεί από τον Ακαδημαϊκό μας και τις πραγματείες του. Όποτε μια στήλη νερού υποβάλλεται σε εφελκυσμό και επιδεικνύει αντίσταση στο διαχωρισμό των μερών της, αυτό δεν μπορεί να αποδοθεί σε κανένα άλλο αίτιο, παρά σε αυτό της αντίστασης του κενού. Με σκοπό να δοκιμάσω ένα τέτοιο πείραμα, έχω επινοήσει μια συσκευή, την οποία μπορώ να εξηγήσω καλύτερα με τη βοήθεια ενός σκίτσου, παρά με σκέτες λέξεις. Ας υποθέσουμε ότι το CABD παριστάνει τη διατομή ενός κυλίνδρου από μέταλλο ή καλύτερα από γυαλί, εσωτερικά κοίλου και τορνευμένου με ακρίβεια. Μέσα σε αυτόν τοποθετείται εφαρμοστά κύλινδρος από ξύλο, που παριστάνεται από τη διατομή EGFH, ικανός για κίνηση προς τα άνω και κάτω. Διαμέσου του μέσου αυτού του κυλίνδρου έχει ανοιχτεί μια τρύπα για την υποδοχή ενός σιδερένιου σύρματος που φέρει ένα άγκιστρο στο άκρο K, ενώ το άνω άκρο του σύρματος, I, φέρει κωνική κεφαλή. Ο ξύλινος κύλινδρος έχει διαμορφωθεί με τέτοιον τρόπο, ώστε να προσαρμόζεται με ακρίβεια σε αυτόν η κωνική κεφαλή I του σύρματος IK, όταν σπρώχνεται προς τα κάτω από το άκρο K.



Εικόνα ΠVII.2.Σχέδιο ενσωματωμένο στο παρόν κείμενο του Γαλιλαίου

Τώρα, ας εισάγουμε τον ξύλινο κύλινδρο EH στον κοίλο κύλινδρο AD, έτσι ώστε να μην αγγίζει το άνω άκρο του τελευταίου, αλλά να αφήνει κενό χώρο πλάτους δύο ή τριών δαχτύλων. Αυτός ο χώρος προβλέπεται να γεμίσει με νερό, κρατώντας το δοχείο με το στόμιο CD αναποδογυρισμένο, σπρώχνοντας προς τα κάτω το πώμα EH, και, ταυτόχρονα, κρατώντας την κωνική κεφαλή του σύρματος, I, μακριά από την κοίλη υποδοχή του ξύλινου κυλίνδρου. Ο αέρας αφήνεται, έτσι, να δραπετεύσει κατά μήκος του σιδερένιου σύρματος (το οποίο δεν έχει τέλεια προσαρμογή), καθώς πιέζουμε προς τα κάτω το ξύλινο πώμα. Όταν διαφύγει ο αέρας και το σιδερένιο σύρμα οδηγηθεί στη θέση του, δηλαδή, προσαρμοστεί τελείως στην κωνική υποδοχή, σφραγίζοντας τέλεια το ξύλινο έμβολο, αναποδογυρίζουμε το δοχείο, φέρνοντας το στόμιό του προς τα κάτω, και κρεμάμε στο άγκιστρο K ένα δοχείο, το οποίο μπορεί να γεμιστεί με άμμο ή άλλο βαρύ υλικό, επαρκούς ποσότητας, ώστε τελικά να καταφέρει να διαχωρίσει την πάνω επιφάνεια του πώματος, EF, από την κάτω επιφάνεια του νερού, στην οποία συγκρατείται μόνο και μόνο εξαιτίας της αντίστασης της φύσης προς το κενό. Στη συνέχεια, αν ζυγίσουμε το πώμα και το σύρμα, μαζί με το προσαρμοσμένο δοχείο και το περιεχόμενό του, θα έχουμε, τότε, μετρήσει τη δύναμη του κενού.

Αν, τώρα, προσαρμόσουμε σε έναν κύλινδρο από μάρμαρο ή γυαλί ένα βάρος, το οποίο μαζί με το βάρος του ίδιου του μάρμαρου ή του γυαλιού είναι ακριβώς ίσο με το σύνολο των βαρών που περιγράφτηκαν παραπάνω, και συμβεί σπάσιμο, θα πρέπει, τότε, να εξηγήσουμε το συμβάν, λέγοντας ότι το κενό, και μόνο αυτό, κρατάει ενωμένα τα μέρη του μαρμάρου ή του γυαλιού. Αν όμως αυτό το βάρος, που προαναφέραμε, δεν επαρκεί,

και το σπάσιμο συμβεί, μόνο αφού προσθέσουμε, ας πούμε, τέσσερεις φορές αυτό το βάρος, θα υποχρεωθούμε, τότε, να παραδεχθούμε ότι το κενό αντιπροσωπεύει μόνο το ένα πέμπτο της συνολικής αντίστασης (Galilei 1638/1954, *1st day* [61-63][299]).

Απόσπασμα 6: *Το όριο άντλησης των αναρροφητικών αντλιών ως μέτρο της αντίστασης της φύσης στη δημιουργία κενού χώρου:*

Σαγκρέντο: Χάρη σε αυτή τη συζήτηση, έμαθα την αιτία ορισμένων φαινομένων, για τα οποία για πολύ καιρό αναρωτιόμουνα και είχα απελπιστεί ότι δεν θα τα καταλάβω. Είδα, κάποτε, μια στέρνα την οποία είχαν εφοδιάσει με αντλία και είχα την εσφαλμένη εντύπωση ότι το νερό θα μπορούσε, με τη βοήθεια της αντλίας, να εξαχθεί με μικρότερη προσπάθεια, ή σε μεγαλύτερη ποσότητα, απ' ότι με τον παραδοσιακό κουβά. Το στέλεχος της αντλίας έφερε έμβολο και βαλβίδα στο επάνω μέρος του, έτσι ώστε το νερό να αντλείται από πάνω με έλξη, και όχι με ώθηση από κάτω, πράγμα που συμβαίνει, όταν το έμβολο τοποθετείται χαμηλά. Η αντλία λειτουργούσε τέλεια, όσο το νερό στη στέρνα βρισκόταν πάνω από ένα επίπεδο. Όμως, όταν το νερό βρέθηκε κάτω από το επίπεδο αυτό, η αντλία δεν λειτουργούσε πια. Όταν πρωτοπαρατήρησα το φαινόμενο αυτό, σκέφτηκα ότι η μηχανή είχε χαλάσει. Αλλά ο μάστορας που φώναξα, για να την επισκευάσει, μου είπε ότι το πρόβλημα δεν ήταν στην αντλία, αλλά στο νερό που είχε κατέβει τόσο χαμηλά, ώστε δεν μπορούσε από εκεί να ανυψωθεί στο επιθυμητό ύψος. Πρόσθεσε, ακόμα, ότι δεν είναι δυνατόν, ούτε χρησιμοποιώντας τη συγκεκριμένη αντλία, ούτε χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε άλλη μηχανή που βασίζεται στην ίδια αρχή της έλξης, το νερό να ανυψωθεί, έστω και κατά μια τρίχα, παραπάνω από τους 18 πήχεις. Είπε, τέλος, ότι, ανεξάρτητα από το αν η αντλία είναι μικρή ή μεγάλη, το ύψος αυτό αποτελεί το ανώτατο όριο στο οποίο το νερό μπορεί να ανυψωθεί. Πριν από αυτό το γεγονός, ήμουν τόσο ανυποψίαστος, ώστε, παρόλο που γνώριζα ότι το σχοινί, ή μια βέργα από ξύλο ή σίδερο, μπορεί, αν αποκτήσουν πολύ μεγάλο μήκος και κρεμαστούν από το επάνω μέρος τους, να σπάσουν εξ αιτίας του ίδιου τους του βάρους, δεν έτυχε ποτέ να σκεφτώ ότι το ίδιο πράγμα θα μπορούσε να συμβεί, απλώς πολύ ευκολότερα, σε μια στήλη νερού. Και πραγματικά στην περίπτωση αυτή, δεν είναι αυτό που έλκεται από την αντλία μια στήλη νερού, που συγκρατείται από το επάνω μέρος της και εφελκύεται με ολοένα και μεγαλύτερη δύναμη, μέχρι που τελικά η δύναμη αυτή αγγίζει ένα οριακό σημείο, πέρα από το οποίο η στήλη κόβεται σαν σχοινί κάτω από την επίδραση του υπερβολικού της βάρους;

Σαλβιάτι: Αυτός είναι ακριβώς ο τρόπος με τον οποίο η αντλία λειτουργεί. Αυτό το σταθερό όριο των 18 πήχεων είναι πραγματικότητα για οποιαδήποτε ποσότητα νερού, είτε η αντλία είναι μεγάλη, είτε μικρή, είτε ακόμη τόσο λεπτή όσο ένα καλαμάκι (Galilei 1638/1954, *1st day* [63-64][299]).

Απόσπασμα 7 (συνέχεια από το προηγούμενο απόσπασμα)**:** *Η συνεισφορά της αντίστασης στη δημιουργία κενού χώρου στη συνεκτικότητα διαφόρων στερεών σωμάτων:*

Σαλβιάτι: Μπορούμε επομένως να πούμε ότι ζυγίζοντας το νερό που περιλαμβάνεται σε ένα σωλήνα μήκους 18 πήχεων, όποια κι αν είναι η διάμετρός του, θα βρούμε την τιμή της αντίστασης του κενού για έναν κύλινδρο από οποιοδήποτε υλικό που έχει την ίδια διάμετρο με τη στήλη του νερού. Και έχοντας φτάσει μέχρι εδώ, ας δούμε πόσο εύκολο είναι να βρούμε σε πιο μήκος κύλινδροι από μέταλλο, πέτρα, ξύλο ή γυαλί κ.λ.π., οποιασδήποτε διαμέτρου, μπορούν να επιμηκυνθούν χωρίς να κοπούν από το ίδιο τους το βάρος...(Galilei 1638/1954, *1st day* [64][299]).

Απόσπασμα 8*: Τα μικροσκοπικά κενά μέσα στα σώματα αιτία για τη συνεκτικότητα των στερεών σωμάτων:*

Σαγκρέντο: Παραμένει τώρα να μας πείτε από τι άλλο εξαρτάται η αντίσταση στο σπάσιμο, εκτός από το κενό, και ποιά είναι η κολλώδης, ή συνεκτική, ουσία η οποία συνενώνει γερά τα μέρη του στερεού. Γιατί δεν μπορώ να φανταστώ μια κόλλα η οποία δεν θα καίγονταν σε έναν πολύ θερμό φούρνο μέσα σε δύο ή τρεις μήνες ή, πόσο μάλλον, μέσα σε δέκα ή εκατό. Γιατί, αν ο χρυσός, ο άργυρος και το γυαλί διατηρηθούν για καιρό σε υγρή κατάσταση και απομακρυνθούν από το φούρνο, τα μέρη τους, κρυώνοντας, ενώνονται άμεσα και αποκτούν τη συνοχή που είχαν και προηγουμένως μεταξύ τους. Επιπλέον, η δυσκολία που αισθάνομαι στο να εξηγήσω τη συνεκτικότητα του γυαλιού, είναι η ίδια με τη δυσκολία μου να εξηγήσω τη συνεκτικότητα μιας τέτοιας κόλλας. Με άλλα λόγια, τι είναι αυτό που συγκρατεί αυτά τα τμήματα των στερεών σωμάτων μαζί, τόσο καλά ενωμένα;

…….

Σαλβιάτι: Μόλις λίγο πριν, εξέφρασα την ελπίδα ο καλός άγγελος να σας συμπαρασταθεί. Τώρα αναγνωρίζω στον εαυτό μου την ίδια ανάγκη. Το πείραμα δεν αφήνει αμφιβολία ότι ο λόγος για τον οποίο οι δύο πλάκες δεν μπορούν να διαχωριστούν, παρά μόνο με την άσκηση έντονης προσπάθειας, είναι το ότι συγκρατούνται μαζί, εξαιτίας της αντίστασης της φύσης στη δημιουργία κενού. Το ίδιο θα μπορούσε να υποστηριχθεί για δύο κομμάτια μιας μαρμάρινης ή μπρούντζινης κολώνας. Εάν, όμως, συμβαίνει κάτι τέτοιο, δεν βλέπω, γιατί η ίδια αυτή αιτία δεν θα μπορούσε να αποδοθεί και στη συνεκτικότητα μικρότερων τμημάτων, ακόμη και των ελάχιστων τμημάτων αυτών των υλικών. Τώρα, εφόσον κάθε αποτέλεσμα πρέπει να έχει ένα σωστό και επαρκές αίτιο, και εφόσον δεν μπορώ να βρω κάποιο άλλο αίτιο για τη συνεκτικότητα αυτή, δεν δικαιολογούμαι να ερευνήσω, εάν το ίδιο κενό μπορεί να αποτελεί επαρκές αίτιο;

Σιμπλίκιο: Όμως, αφού βλέπετε ότι έχετε ήδη αποδείξει ότι η αντίσταση που το κενό επιδεικνύει στο διαχωρισμό δυο μεγάλων τμημάτων ενός στερεού είναι αληθινά πολύ μικρή, σε σύγκριση με τη συνεκτική δύναμη που συγκρατεί μαζί τα περισσότερο μικρά τμήματά του, τότε, γιατί διστάζετε να θεωρήσετε την τελευταία ως κάτι πολύ διαφορετικό από την προηγούμενη;

Σαλβιάτι: Ο Σαγκρέντο απάντησε ήδη την ερώτηση, όταν επισήμανε ότι, στην περίπτωση που χρυσός αξίας ενός εκατομμυρίου δεν φθάνει, για να πληρωθεί όλος ο στρατός, κάθε ανεξάρτητος στρατιώτης θα μπορούσε να πληρωθεί με κέρματα που θα μαζεύονταν από ένα γενικό φόρο, από τον οποίο θα συγκεντρώνονταν πένες ή ανάλογο είδος νομισμάτων. Έτσι, ποιος μπορεί να εγγυηθεί ότι δεν μπορεί να υπάρχει κάποιο εξαιρετικά μικρό κενό που να επηρεάζει τα ελάχιστα μέρη ενός υλικού, κι έτσι αυτό που συνενώνει τα γειτονικά

τμήματα του υλικού να είναι στο σύνολό του από το ίδιο νόμισμα; Αφήστε με να σας διηγηθώ κάτι, που κάποτε μου πέρασε από το μυαλό, το οποίο δεν καταθέτω ως τη σωστή λύση στο πρόβλημα, αλλά ως μια σκέψη, ανώριμη ακόμη, που χρειάζεται προσεκτικότερη διερεύνηση. Κρατήστε ό,τι θέλετε από αυτή, και κρίνετε τα υπόλοιπα κομμάτια της, όπως σας βολεύει καλύτερα. Κάποτε, πρόσεξα με ποιόν τρόπο η φωτιά ανοίγει το δρόμο της ανάμεσα στα πιο μικροσκοπικά σωματίδια αυτού ή εκείνου του μετάλλου και, ακόμη κι αν αυτά είναι στερεά συνδεδεμένα μεταξύ τους, τα σχίζει και τα διαχωρίζει. Είδα επίσης ότι, όταν η φωτιά παύει, τα σωματίδια αυτά επανενώνονται, τόσο συνεκτικά όπως στην αρχή, ακόμη κι αν έχουν μείνει διαχωρισμένα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Και αυτό συμβαίνει χωρίς καμιά απώλεια ποσότητας στην περίπτωση του χρυσού και με λίγη απώλεια στην περίπτωση άλλων μετάλλων. Σκέφτηκα, τότε, ότι η εξήγηση μπορεί να βρίσκεται στο γεγονός ότι τα εξαιρετικά λεπτοφυή σωματίδια της φωτιάς, που διαπερνούν τους πόρους του μετάλλου (που είναι τόσο μικροί ώστε να μην είναι διαπερατοί από τα λεπτότερα σωματίδια του αέρα και πολλών άλλων ρευστών), γεμίζουν τα μικρά ενδιάμεσα κενά, και αφήνουν τα σωματίδια του μετάλλου ελεύθερα από την έλξη την οποία τα κενά τους ασκούσαν και τα εμπόδιζαν να διαχωριστούν. Έτσι, τα σωματίδια του μετάλλου γίνονται ικανά να κινηθούν ελεύθερα, η μάζα του μετάλλου καθίσταται υγρή, και παραμένει τέτοια, όσο τα σωματίδια της φωτιάς παραμένουν στο εσωτερικό της. Όμως, όταν τα τελευταία απομακρυνθούν και αφήσουν στη θέση τους το κενό που προϋπήρχε εκεί, τότε η αρχική έλξη επιστρέφει και τα μέρη συνδέονται ξανά μεταξύ τους.

Σε απάντηση προς το ερώτημα που έθεσε ο Σιμπλίκιο, θα μπορούσαμε να πούμε ότι, παρόλο που κάθε ξεχωριστό κενό είναι υπερβολικά μικρό και κατανικιέται εύκολα, επειδή ο αριθμός τους είναι εξαιρετικά μεγάλος, η αντίσταση που εμφανίζουν, αν συνδυαστούν, πολλαπλασιάζεται σχεδόν απεριόριστα. Η φύση και η ποσότητα της δύναμης η οποία μπορεί να προκύψει, αν προστεθεί ένας τεράστιος αριθμός μικρών δυνάμεων, φαίνεται ξεκάθαρα από το γεγονός ότι ένα βάρος εκατομμυρίων λιβρών, κρεμασμένο από μεγάλα σχοινιά, νικιέται και ανυψώνεται, όταν ο νότιος άνεμος κουβαλάει αναρίθμητα άτομα νερού υπό μορφή λεπτής ομίχλης, τα οποία, κινούμενα μέσω του αέρα, διαπερνούν τις ίνες των τεντωμένων σχοινιών, παρόλη την τεράστια δύναμη του αναρτημένου βάρους. Όταν αυτά τα σωματίδια εισέρχονται στους στενούς πόρους, διογκώνουν τα σχοινιά και κατ' αυτόν τον τρόπο τα κονταίνουν και τα εξαναγκάζουν να ανυψώνουν το βαρύ φορτίο.

Σαγκρέντο: Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι η όποια αντίσταση, όσο μεγάλη κι αν είναι, δεν είναι απεριόριστη και μπορεί να υπερνικηθεί από ένα πλήθος μικροσκοπικών δυνάμεων. Έτσι, ένας τεράστιος αριθμός μυρμηγκιών θα μπορούσε να άρει στην ξηρά ένα πλοίο φορτωμένο με σιτηρά, εφόσον η καθημερινή εμπειρία μας δείχνει ότι ένα μυρμήγκι μπορεί εύκολα να κουβαλήσει έναν σπόρο, και ο αριθμός των σπόρων στο πλοίο δεν είναι απεριόριστος, αλλά πεπερασμένος. Αν παίρναμε έναν άλλο αριθμό, τέσσερεις ή πέντε φορές μεγαλύτερο, και βάζαμε σε δουλειά αντίστοιχο αριθμό μυρμηγκιών, αυτά θα κουβαλούσαν το σπόρο στην ξηρά και το πλοίο επίσης. Είναι αλήθεια ότι το εγχείρημα θα απαιτούσε έναν κολοσσιαίο αριθμό μυρμηγκιών, όπως, κατά τη γνώμη μου, κολοσσιαίος θα πρέπει να είναι ο αριθμός των κενών που θα ήταν ικανά να συγκρατήσουν συνδεδεμένα τα ελάχιστα σωματίδια του μετάλλου.

Σαλβιάτι: Όμως, αν τελικά το εγχείρημα απαιτεί άπειρο αριθμό κενών, θεωρείς εσύ ότι κάτι τέτοιο είναι αδύνατο;… (Galilei 1638/1954, *1st day* [65-67][299]).

2.4. Ιστορικά πειράματα για την ανίχνευση του κενού

Απόσπασμα 1: *Το πείραμα του Gaspar Berti, Ρώμη, κάπου ανάμεσα στα 1639-1644:*

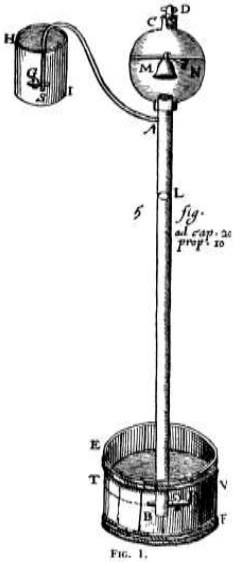
Θα αναφερθώ, τώρα, σε ένα σημαντικό πείραμα που πραγματοποιήθηκε στη Ρώμη, πολλά χρόνια νωρίτερα, όταν κατοικούσα εκεί, από έναν εξαιρετικά έξυπνο και πολυμαθή άνθρωπο, τον Gaspar Berti, ο οποίος ήταν πολύ καλός μου φίλος… Αυτός ο ευγενής Gaspar… έστησε έναν σχετικά μακρύ μολύβδινο σωλήνα AB (βλ. *εικόνα ΠVII.3*) έξω από τις πόρτες του σπιτιού του, στον τοίχο του πύργου που έχει σκάλα, και ασφάλισε το σωλήνα με τη βοήθεια σχοινιών δεμένων σε σιδερένιους σφικτήρες. Θα πρέπει να πω ότι δεν θυμάμαι το ακριβές μήκος του σωλήνα, αλλά γνωρίζω ότι ήταν περισσότερο (για την ακρίβεια πολύ λίγο περισσότερο) από 40 παλάμες[ccxxv]. Το άνω άκρο A του σωλήνα ήταν απέναντι από ένα από τα παράθυρα του πύργου, ενώ το κάτω άκρο B δεν απείχε πολύ από το έδαφος, ήταν εφοδιασμένο με μια μπρούντζινη βρύση ή στρόφιγγα R και ήταν βυθισμένο μέσα στο βαρέλι EF, που είχε γεμιστεί με νερό για την πραγματοποίηση του πειράματος. Στο άνω άκρο A του σωλήνα, είχε προσαρμοστεί, συνδεθεί και κολληθεί προσεκτικά ένα δοχείο από γυαλί, αρκετά μεγάλο, αλλά πολύ γερό, το οποίο είχε τη μορφή φιάλης και έφερε δύο λαιμούς και στόμια, το ευρύτερο στο κάτω μέρος. Σ' αυτό εισερχόταν το άκρο του σωλήνα, όπως μέσα σε ένα κουτί, στο σημείο A**.** Το λεπτότερο άκρο στο επάνω μέρος, ήταν φτιαγμένο από μολύβι ή κασσίτερο, όπως συνηθιζόταν, και ήταν καλά κατασκευασμένο, ώστε να μπορεί να προσαρμοστεί πολύ σφιχτά στο στέλεχος μπρούντζινης βίδας με σπείρωμα (κοχλία) D, γιατί αυτό είναι το πιο στερεό είδος πώματος και το πιο κατάλληλο για χειρισμό με το χέρι.

Όταν η συσκευή ετοιμάστηκε, η στρόφιγγα R έκλεισε και το βαρέλι EF γεμίστηκε με νερό, μέχρι τη μέση του περίπου, ενώ όλος ο σωλήνας, όπως και το γυάλινο δοχείο, γεμίστηκαν κι αυτά με νερό από το άνω άκρο του σωλήνα, διαμέσου του ανοίγματος C. Στη συνέχεια, το άνοιγμα C κλείστηκε με τη βίδα D, με στόχο η όλη συσκευή να σφραγιστεί.

(Αλλά η φιάλη έσπασε, όταν το στρίψιμο της βίδας, προκάλεσε συμπίεση του νερού, οπότε κατασκευάστηκε και προσαρμόστηκε εκεί μια καινούργια φιάλη).

[ccxxv] Περίπου 30 m.

(Τελικά,)… όταν η βρύση R ανοίχτηκε, το νερό έρρευσε (αντίθετα προς τις προσδοκίες πολλών) έξω από το σωλήνα στο βαρέλι EF, και κατέβηκε φανερά, αλλά όχι όλο, ενώ γρήγορα το ύψος του σταθεροποιήθηκε. Αυτό ήταν σαφές, γιατί τοποθετήθηκε ένα σημάδι στο βαρέλι στην επιφάνεια του νερού και την επόμενη μέρα φάνηκε ότι το νερό παρέμενε ακριβώς εκεί που ήταν το σημάδι, παρόλο που η στρόφιγγα R είχε παραμείνει ανοιχτή όλο το χρονικό διάστημα. Τελικά, όταν η στρόφιγγα αυτή κλείστηκε προσεκτικά ξανά, η βίδα D αφαιρέθηκε από την κορυφή. Και τότε, ιδού! Ο αέρας όρμησε με ένα δυνατό θόρυβο και γέμισε το χώρο που προηγουμένως είχε εγκαταλείψει το νερό. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας ένα βυθόμετρο, προσδιορίσαμε πόσο νερό υπήρχε στο σωλήνα, ή, καλύτερα, σε ποιο ύψος στεκόταν το νερό. Και το ύψος αυτό βρέθηκε να είναι περίπου 18 πήχεις πάνω από το επίπεδο του νερού στο βαρέλι, στο σημείο L (Maignan 1653 στον Middleton 1963[314]).



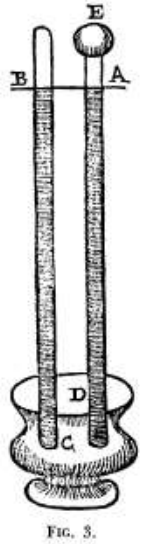
Εικόνα ΠVII.3.Σχέδιο ενσωματωμένο στο παρόν κείμενο του Maignan, (Middleton 1963[314])

Απόσπασμα 2: *Το πείραμα του Torricelli, 1644. Επιστολή του Torricelli προς τον Michelangelo Ricci, στη Ρώμη:*

Αξιότιμε και Αξιοσέβαστε Κύριε,

…Έχω ήδη αφήσει υπαινιγμούς για κάποιο είδος φιλοσοφικών πειραμάτων που έχουν γίνει πάνω στο κενό, και αποσκοπούν, όχι απλά στο να παραχθεί κενό, αλλά στην κατασκευή ενός οργάνου που να μπορεί να δείχνει τις αλλαγές του αέρα, που άλλοτε είναι βαρύς και χονδροειδής, και άλλοτε ελαφρύς και λεπτός. Πολλοί έχουν πει ότι [το κενό] δεν υπάρχει. Άλλοι ότι υπάρχει, αλλά με την αποστροφή της φύσης και με δυσκολία. Στ΄ αλήθεια, δεν έχω δει κανέναν να πει ότι το κενό μπορεί να υπάρξει χωρίς δυσκολία από τη φύση. Και το αιτιολογώ ως εξής: εάν βρούμε έναν πολύ προφανή λόγο από τον οποίο να προκύπτει αυτή η αντίσταση που αισθανόμαστε, όταν προσπαθούμε να παράγουμε κενό, θα φανεί καθαρά μάταιο το να προσπαθήσουμε να αποδώσουμε αυτή την αντίσταση στο ίδιο το κενό, όταν αυτή ξεκάθαρα φαίνεται να προκύπτει από ένα άλλο αίτιο. Έτσι, κάνοντας ορισμένους απλούς υπολογισμούς, βρήκα ότι το αίτιο που εγώ υιοθέτησα (δηλαδή το βάρος του αέρα) είναι σε θέση να προκαλεί μεγαλύτερη αντίσταση, από αυτή που προκύπτει, όταν εμείς προσπαθούμε να δημιουργήσουμε κενό. Το λέω αυτό, γιατί κάποιος φιλόσοφος, βλέποντας ότι δεν μπορεί να αποφύγει να ομολογήσει ότι το βάρος του αέρα είναι η αιτία της αντίστασης που γίνεται αισθητή όταν προσπαθούμε να παράγουμε το κενό, δεν παραδέχεται ως αιτία το βάρος του αέρα, αλλά επιμένει στην άποψη ότι η φύση, επίσης, βοηθάει με την αποστροφή της προς το κενό. Ζούμε στον πάτο ενός ωκεανού από αέρα, ο οποίος είναι γνωστό από αδιαμφισβήτητα πειράματα ότι έχει βάρος, και τόσο βάρος, ώστε το βαρύτερο μέρος του, κοντά στην επιφάνεια της γης, ζυγίζει περίπου ένα τετρακοσιοστό σε σχέση με το νερό. Ακόμα, οι συγγραφείς έχουν παρατηρήσει, κοιτάζοντας το ηλιοβασίλεμα, ότι ο υγρός αέρας είναι ορατός από πάνω μας για περίπου πενήντα ή πενήντα πέντε μίλια. Αλλά, εγώ, δεν πιστεύω ότι ο αέρας είναι πράγματι τόσο βαρύς, με το σκεπτικό ότι, τότε, θα όφειλε να παράγει πολύ μεγαλύτερη αντίσταση από αυτή που τώρα εμφανίζει, ακόμα και αν υποθέταμε ότι οι συγγραφείς έχουν παραλείψει να λάβουν υπόψη τους ότι αυτό το βάρος που υπολογίζει για τον αέρα ο Γαλιλαίος αναφέρεται στον κατώτατο αέρα, που συναντά ο άνθρωπος και τα ζώα, και όχι στον αέρα που βρίσκεται στις κορυφές των ψηλών βουνών, όπου αρχίζει να γίνεται πολύ καθαρός και να ζυγίζει πολύ λιγότερο από το ένα τετρακοσιοστό του βάρους του νερού.

Φτιάξαμε πολλά γυάλινα δοχεία, όπως αυτά που φαίνονται στο A και B (*εικόνα ΠVII.4*), φαρδιά και με λαιμούς μάκρους δύο πήχεων. Όταν τα γεμίσαμε με υδράργυρο, κλείσαμε τα στόμιά τους με το δάχτυλο και τα αναποδογυρίσαμε στη συνέχεια στη λεκάνη C, η οποία είχε ποσότητα υδραργύρου μέσα της, φάνηκαν να αδειάζουν και τίποτα δεν πήρε τη θέση του υδραργύρου στα τμήματα των δοχείων που είχαν αδειάσει. Παρόλ' αυτά, η στήλη AD παρέμενε γεμάτη, στο ύψος ενός πήχεως και ενός τετάρτου και ενός ακόμη δακτύλου. Για να δούμε αν τα δοχεία ήταν απόλυτα άδεια, γεμίσαμε τη λεκάνη μέχρι το σημείο D με νερό. Και, ανεβάζοντας σιγά-σιγά το ένα από τα δοχεία με τον υδράργυρο, παρατηρήσαμε ότι, όταν το στόμιό του πλησίασε το νερό, ο υδράργυρος στη στήλη κατέβηκε και το νερό ανέβηκε επάνω με τρομερή βία και γέμισε το δοχείο τελείως μέχρι το E.



Εικόνα ΠVII.4. Σχέδιο ενσωματωμένο στο παρόν κείμενο του Torricelli (Torricelli 1644 στον Middleton 1964[317])

Αφού το δοχείο AE ήταν άδειο, και ο υδράργυρος, παρόλο που ήταν πολύ βαρύς, συγκρατιόταν στη στήλη AC, αναζητήσαμε την αιτία που επέτρεπε στον υδράργυρο να στέκεται εκεί ψηλά, ενάντια στη φυσική του τάση να πέφτει. Μέχρι τώρα, έχει θεωρηθεί ότι η αιτία αυτή βρίσκεται μέσα στο δοχείο AE και είναι μια δύναμη προερχόμενη, είτε από το κενό, είτε από αυτό το εξαιρετικά α ύ βεβαιώνω ότι η αιτία βρίσκεται έξω από το σωλήνα και ότι η δύναμη προέρχεται απ' έξω. Αν η επιφάνεια του υγρού στη λεκάνη πιέζεται από ένα ύψος πενήντα μιλίων αέρα, τότε, γιατί να είναι θαύμα το γεγονός ότι ο υδράργυρος εισέρχεται στο δοχείο CE και, χωρίς αυτό να είναι θέμα έλξης ή αποστροφής, ανυψώνεται μέχρι στο σημείο στο οποίο να βρίσκεται σε ισορροπία με τον εξωτερικό αέρα που το πιέζει! Το νερό, από την άλλη μεριά, σε παρόμοιο, αλλά πολύ μεγαλύτερο δοχείο, θα ανυψωθεί σε περίπου 18 πήχεις, που σημαίνει, τόσο ψηλότερα από τον υδράργυρο, όσο ο υδράργυρος είναι βαρύτερος από το νερό, έτσι ώστε να έρθει σε ισορροπία με το ίδιο αίτιο, το οποίο πιέζει, τόσο το ένα, όσο και το άλλο.

Αυτή η εξήγηση επιβεβαιώθηκε, κάνοντας το πείραμα, ταυτόχρονα, χρησιμοποιώντας το

δοχείο Α και το σωλήνα Β, στα οποία ο υδράργυρος πάντα σταματούσε στο ίδιο ύψος ΑΒ. Το γεγονός αυτό αποτελεί μια σχεδόν βέβαιη ένδειξη ότι η δύναμη που κάνει τη στήλη να ανέρχεται δεν βρίσκεται στο εσωτερικό, γιατί τότε στο δοχείο ΑΕ θα ήταν μεγαλύτερη, εφόσον εκεί θα υπήρχε περισσότερη αραιωμένη ουσία και, άρα, με μεγαλύτερη δυνατότητα έλξης.

Χρησιμοποιώντας αυτή τη βασική αρχή, προσπάθησα στη συνέχεια να συγκεντρώσω όλα τα είδη των αποτελεσμάτων που αποδίδονται στην αποστροφή της φύσης προς το κενό και, μέχρι αυτή την ώρα, δεν συνάντησα κανένα που να μην ερμηνεύεται καλά με τη δική μου εξήγηση. Γνωρίζω ότι θα υπάρξουν πολλές αντιρρήσεις, αλλά, παράλληλα, πιστεύω ότι η σκέψη που θα αναπτυχθεί πάνω στο θέμα θα μπορέσει να τις κατευνάσει.

Δεν κατάφερα να πετύχω στην αρχική μου πρόθεση, να βρω, με το όργανο ΕC, πότε ο αέρας είναι βαρύς και χονδροειδής (coarser and heavier) και πότε πιο λεπτοφυής και ελαφρύς (more subtle and light), γιατί το επίπεδο ΑΒ μεταβάλλεται εξαιτίας μιας άλλης αιτίας (την οποία ποτέ δεν είχα σκεφτεί), και αυτή είναι ότι η στήλη είναι πολύ ευαίσθητη στη ζέστη και το κρύο, ακριβώς σαν το δοχείο ΑΕ να ήταν γεμάτο αέρα.

Και ταπεινά υποβάλλω τα σέβη μου,

Ο αφοσιωμένος και βαθιά υποχρεωμένος υπηρέτης σας,

V. Torricelli,

Φλωρεντία, 11 Ιουνίου 1644

(Torricelli 1644 στον *Middleton* 1964[317]).

2.5. Η αντλία κενού

Απόσπασμα 1: «*Η καταγωγή της αντλίας κενού», Robert Boyle, δεκαετία του 1660:*

Ο αέρας είναι τόσο απαραίτητος για τη ζωή, ώστε τα περισσότερα όντα τα οποία αναπνέουν, δεν μπορούν να υπάρξουν για πολλά λεπτά χωρίς αυτόν… Έτσι, η ενασχόληση με οποιοδήποτε νέο πείραμα πάνω στον αέρα, με τον οποίο έχουμε τόσο σταθερή και αναγκαία σχέση, θα μπορούσε να αποδειχθεί πραγματικά επωφελής για τη ζωή μας.

Κάτω από αυτή την οπτική και πριν να ενημερωθώ ότι ο *Otto Guericke*, ο πολυμήχανος δήμαρχος του Μαγδεμβούργου, επινόησε στη Γερμανία έναν τρόπο, για να εκκενώνει γυάλινα δοχεία από τον αέρα, είχα εκτελέσει πειράματα πάνω στις ίδιες αρχές. Αλλά, καθώς εκείνος ήταν ο πρώτος που παρήγαγε σημαντικά αποτελέσματα πάνω στο θέμα, δεν έχω παρά να αναγνωρίσω τη στήριξη και την ενθάρρυνση που δέχθηκα από την ανακοίνωση των πειραμάτων του.

Ωστόσο, καθώς λίγες ανακαλύψεις συμβαίνει να είναι εξ αρχής ολοκληρωμένες, έτσι και η μηχανή που ο δήμαρχος του Μαγδεμβούργου χρησιμοποίησε είχε ορισμένα μειονεκτήματα ως επινόηση. Γιατί, εκτός από τα συγκεκριμένα φαινόμενα που παρατηρήθηκαν από τον συγγραφέα και περιγράφτηκαν από τον *Schottus*, η μηχανή αυτή δεν παρουσιάζει πολλές παραπάνω δυνατότητες. Έτσι, εγώ ζήτησα από τον κ.*Hook*, να επινοήσει μια αντλία κενού πιο εύχρηστη και πιο κατάλληλη, η οποία δεν θα χρειαζόταν, όπως η γερμανική εφεύρεση, να βρίσκεται κάτω από το νερό. Εκείνος, έπειτα από μερικές αποτυχημένες απόπειρες, κατάφερε να κατασκευάσει μια αντλία αποτελούμενη από δύο βασικά μέρη, ένα γυάλινο δοχείο και μια αντλία για την αφαίρεση του αέρα… (Boyle, *Pneumatics*, 1725 ed. II σελ.407[302]).

2.6. Ο απόλυτος κενός χώρος κατά τον Νεύτωνα και ο χώρος του Einstein

Απόσπασμα 1: *Απόλυτος χρόνος και χώρος κατά τον Νεύτωνα*

Δεν ορίζω τον χρόνο, τον χώρο, τον τόπο και την κίνηση, επειδή είναι πράγματα γνωστά σε όλους. Πρέπει απλώς να παρατηρήσω ότι οι κοινοί άνθρωποι συλλαμβάνουν αυτές τις ποσότητες μόνο υπό την έννοια της σχέσης που έχουν αυτές με τα αισθητά αντικείμενα. Και για το λόγο αυτό προκύπτουν ορισμένες προκαταλήψεις, για την άρση των οποίων θα ήταν χρήσιμο να διακρίνουμε αυτές τις ποσότητες σε απόλυτες και σχετικές, αληθείς και φαινόμενες, μαθηματικές και κοινές…

Ο απόλυτος χώρος (absolute space) από την ίδια του τη φύση, χωρίς συσχέτιση με οτιδήποτε εξωτερικό, παραμένει πάντοτε ίδιος και αμετακίνητος (similar & immovable). Ο σχετικός χώρος (relative space) είναι κάποια κινητή διάσταση ή μέτρο των απόλυτων χώρων· οι αισθήσεις μας τον καθορίζουν από τη θέση του σε σχέση με τα σώματα· επίσης, θεωρείται συνήθως ως αμετακίνητος χώρος· τέτοια είναι η διάσταση ενός υπόγειου, αέριου ή ουράνιου χώρου, ο οποίος προσδιορίζεται από τη θέση του σε σχέση με τη Γη. Ο απόλυτος και ο σχετικός χώρος είναι ίδιοι σε σχήμα και μέγεθος· αριθμητικά όμως δεν παραμένουν πάντοτε ίδιοι. Έτσι, παραδείγματος χάριν, αν η Γη κινείται, τότε ένας χώρος του αέρα μας, ο οποίος παραμένει πάντα ο ίδιος, σε σχέση με τη Γη, θα αποτελέσει σε κάποια χρονική στιγμή ένα μέρος του απόλυτου χώρου μέσα από τον οποίο περνά ο αέρας· σε κάποια άλλη χρονική στιγμή θα είναι ένα άλλο μέρος του ίδιου απόλυτου χώρου και έτσι θα αλλάζει συνεχώς, όπως είναι απόλυτα κατανοητό (*Newton 1729/1962*, *Definitions, Scholium σελ. 6*[303] όπως παρατίθεται στον Jammer 1993/2001 σελ. 138[319]).

Απόσπασμα 2: *Κενός χώρος κατά τον Νεύτωνα:*

Στο διάστημα (celestial spaces), όπου δεν υπάρχει αέρας να αντισταθεί στις κινήσεις τους, όλα τα σώματα κινούνται με τη μέγιστη ελευθερία. Οι πλανήτες και οι κομήτες ακολουθούν σταθερά τις τροχιές τους – τροχιές δεδομένου είδους και θέσης, σύμφωνα με τους νόμους που εξηγήθηκαν παραπάνω…(Newton 1729/1962, General Scholium, σελ.543[303]).

Απόσπασμα 3: *Δεν υπάρχει «κενός» χώρος, Einstein 1953:*

Η νίκη επί της έννοιας του απόλυτου χώρου ή του αδρανειακού συστήματος έγινε δυνατή μόνο χάρις στο ότι η έννοια του υλικού αντικειμένου αντικαταστάθηκε βαθμιαία από αυτήν του πεδίου στη θέση της θεμελιώδους έννοιας της φυσικής. Υπό την επίδραση των ιδεών του Faraday και του Maxwell, αναπτύχθηκε η αντίληψη ότι όλη η φυσική πραγματικότητα θα μπορούσε ίσως να αναπαρασταθεί από ένα πεδίο, του οποίου οι συνιστώσες εξαρτώνται από τέσσερεις χωρο-χρονικές παραμέτρους. Αν οι νόμοι αυτού του πεδίου είναι γενικά

συναλλοίωτοι, δηλαδή δεν εξαρτώνται από κάποια συγκεκριμένη επιλογή συστήματος συντεταγμένων, τότε η εισαγωγή ενός ανεξάρτητου (απόλυτου) χώρου δεν είναι πλέον αναγκαία. Εκείνο που συνιστά, επομένως, τον χωρικό χαρακτήρα της πραγματικότητας είναι απλώς ο τετραδιάστατος χαρακτήρας του πεδίου. Δεν υπάρχει, λοιπόν, «κενός» χώρος, που σημαίνει ότι δεν υπάρχει χώρος χωρίς πεδίο (Einstein 1953 πρόλογος στον Jammer 1993/2001[319]).

Ενότητα 3. Εξερευνώντας τις ιδιότητες του κενού

3.1.Μαγικό φούσκωμα μπαλονιού

Εικόνα ΠVII.5. Σχέδιο ενσωματωμένο στο παρόν κείμενο (Academie del Cimento 1684/1964 σελ.14[340])

Απόσπασμα 1: *Accademia del Cimento, δεκαετία 1660*

…Όμως παρατηρήσαμε περισσότερο ξεκάθαρα αυτή την έκταση του *Αέρα στο κενό*, σε ένα δοχείο κατασκευασμένο με έναν άλλο τρόπο, όπως δείχνει το σχήμα ADB, όπου μια κύστη από αρνί, που έχει πιεστεί και σχεδόν τελείως αδειάσει από αέρα, έχει κλειστεί στο εσωτερικό του δοχείου, ως εξής: Γεμίζουμε το δοχείο με υδράργυρο, από το στόμιο D, και το κλείνουμε από το επάνω μέρος με τη βοήθεια μιας κύστης, ενώ, ταυτόχρονα, κρατάμε το κάτω μέρος του κλειστό με το δάχτυλο μας. Στη συνέχεια, αναποδογυρίζουμε το δοχείο [EADB] μέσα στον υδράργυρο στο δοχείο FG, ανοίγουμε το στόμιο E, και αφήνουμε τον υδράργυρο να υποχωρήσει. Στη συνέχεια η κύστη C, που έχει κρεμαστεί από νήμα στο άδειο δοχείο ADB, φουσκώνει από μόνη της, και συνεχίζει να φουσκώνει, μέχρι να ανοίξουμε το στόμιο D και ο αέρας να εισέλθει από την κορυφή. Η τελευταία αυτή κίνηση έχει την ίδια στιγμή ως αποτέλεσμα την κάθοδο του υδραργύρου στη *Στήλη του Υδραργύρου* μέσα στο δοχείο, μέχρι το επίπεδο της επιφάνειας της λεκάνης FG, ενώ, ταυτόχρονα, θα πιέσει ξανά την κύστη (Academie del Cimento 1684/1964 σελ.18[340]).

Απόσπασμα 2: *Robert Boyle, Μαγικό φούσκωμα, 1660:*

Πήραμε μια κύστη καλά στεγνωμένη και ευλύγιστη, αφήσαμε μέσα σε αυτήν τον μισό αέρα, από αυτόν που θα μπορούσε να περιέχει, και σφίξαμε γερά το λαιμό της. Στη συνέχεια, τη μεταφέραμε μέσα στον κώδωνα της αντλίας και θέσαμε την αντλία σε λειτουργία. Όταν ανεβοκατεβάσαμε το έμβολο της αντλίας δύο ή τρείς φορές, αφαιρώντας έτσι αέρα από τον κώδωνα, ο φυλακισμένος αέρας άρχισε να φουσκώνει μέσα στην κύστη και συνέχιζε να φουσκώνει, όσο ο κώδωνας της αντλίας άδειαζε κι άλλο, μέχρι που, τελικά, η κύστη φαινόταν τελείως φουσκωμένη. Ύστερα, αφήνοντας σταδιακά τον αέρα να επιστρέψει στον κώδωνα, η φουσκωμένη κύστη σταδιακά συρρικνώθηκε, έγινε πλαδαρή και στο τέλος φάνηκε γεμάτη πτυχές, όπως ήταν και στην αρχή… (Boyle, *Pneumatics*, 1725 ed. II σελ. 412-413[302]).

Απόσπασμα 3: *Robert Boyle, Η ελαστικότητα του αέρα, 1660*

Προκειμένου να καταστήσουμε τα πειράματά μας όσο το δυνατόν περισσότερο κατανοητά, θα πρέπει να υποθέσουμε ότι ο αέρας είναι πλούσιος σε ελαστικά σωματίδια (elastic particles), τα οποία συμπιέζονται υπό την επίδραση του ίδιου τους του βάρους, όπως θα

συμπιέζονταν μικροσκοπικά ελατήρια (little springs). Αυτό θυμίζει το παράδειγμα του μαλλιού, που αντιστέκεται στο χέρι που το συμπιέζει και περιορίζει τις διαστάσεις του. Όμως, καταφέρνει και τις επανακτά μόλις η χούφτα του χεριού ανοίξει, ενώ διατηρεί την τάση αυτή, όσο η χούφτα παραμένει κλειστή. Μπορούμε με αυτόν τον τρόπο να ισχυριστούμε ότι ο αέρας αποτελείται από ελαστικά σωματίδια, και ότι αυτό το γεγονός και μόνο ευθύνεται για τη διασταλτική του ικανότητα, η οποία διαπιστώνεται μέσα στους κώδωνες των αντλιών κενού, όπου, πριν αφαιρεθεί ο αέρας, ο αέρας που βρίσκεται εκεί είναι συμπιεσμένος και η ικανότητα διαστολής του περιορίζεται με βίαιο τρόπο από κάποια εξωτερική δύναμη. Με την αφαίρεση αυτής της εξωτερικής δύναμης, ο αέρας εκτείνεται προκειμένου να ανακτήσει τις φυσικές του διαστάσεις. Ωστόσο, στα δικά μας πειράματα, ο αέρας δεν φαίνεται να έχει συμπιεστεί, πριν την αυθόρμητη έκτασή του. Όμως υπάρχει πληθώρα πειραμάτων που αποδεικνύουν ότι η ατμόσφαιρά μας είναι ένα βαρύ σώμα, και τα άνω στρώματα αυτής πιέζουν τα κάτω… Έτσι, η στήλη της ατμόσφαιρας – ύψους πολλών μιλίων – πιέζει τα ελαστικά σωματίδια του αέρα, εδώ κάτω, και εύκολα περιορίζει την ικανότητα εκτίναξής τους και τα διατηρεί συμπιεσμένα. Αυτό συμβαίνει, ακριβώς όπως θα συνέβαινε σε τούφες από μαλλί προβάτου, εάν αυτές συσσωρεύονταν η μια πάνω στην άλλη σε σωρούς τεραστίου ύψους, οπότε το μαλλί των κατώτερων στρωμάτων θα φαινόταν να πιέζεται ιδιαίτερα. Έτσι, μπορούμε με βάση αυτά να συνάγουμε ότι, αφαιρώντας την πίεση του υπερκείμενου αέρα από οποιοδήποτε τμήμα της κατώτερης ατμόσφαιρας, τα σωματίδια του αέρα εκτινάσσονται και καταλαμβάνουν περισσότερο χώρο, απ' ό,τι προηγουμένως… (Boyle, *Pneumatics*, 1725 ed. II σελ.410-411[302]).

Απόσπασμα 4: *Michael Faraday, Η ελαστικότητα του αέρα, 1860:*

Θα συζητήσουμε μια υπέροχη ιδιότητα του αέρα, την ελαστικότητά του (elasticity). Και θα σας δώσω μια πολύ καλή απεικόνιση αυτής. Θα χρησιμοποιήσω ένα αντικείμενο μέσα στο οποίο μπορώ να περιορίσω τον αέρα, όπως είναι αυτή η ελαστική μεμβράνη, η οποία, επίσης, είναι ικανή να μαζεύεται και να απλώνεται, έτσι ώστε να μας δίνει ένα μέτρο της ελαστικότητας του αέρα. Θα κλείσω μέσα σε αυτή τη μεμβράνη μια ορισμένη ποσότητα αέρα… Και τώρα, αν αφαιρέσω τον ατμοσφαιρικό αέρα από τον χώρο που περιβάλλει τη μεμβράνη, θα συμβεί ακριβώς αυτό που θα συνέβαινε στην περίπτωση κατά την οποία θα αυξανόταν η πίεση εσωτερικά της μεμβράνης . Εάν μειώσω, λοιπόν, την εξωτερική πίεση, θα δείτε τη μεμβράνη να διαστέλλεται ολοένα και περισσότερο, μέχρι να καταλάβει όλο το χώρο του γυάλινου δοχείου. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να απεικονίσουμε αυτή τη σημαντική ιδιότητα του αέρα, την ελαστικότητά του, δηλαδή, τη δυνατότητά του να συμπιέζεται και να εκτείνεται, και μάλιστα σε τέτοιο μεγάλο βαθμό. Η ιδιότητα αυτή έχει πολύ μεγάλη σημασία για την οικονομία της φύσης (Faraday 1861/1993 σελ.114-115[321]).

3.2. Βουβές καμπάνες

Απόσπασμα 1: *Robert Boyle, Πάνω στη διάδοση του ήχου σε δοχείο κενό από αέρα, 1669:*

Πείραμα 41

Προκειμένου να κάνουμε ορισμένες επιπλέον παρατηρήσεις σχετικά με τα πειράματα που έχουν ήδη δημοσιευτεί πάνω στην παραγωγή και τη διάδοση του ήχου σε δοχείο από το οποίο έχει αφαιρεθεί ο αέρας, επινοήσαμε μια συσκευή, την οποία, επειδή την χρησιμοποιούμε σε διάφορα πειράματα, θα ήταν καλό να προσφέρουμε εδώ στην ευγένειά σας μια σύντομη περιγραφή.

Φροντίσαμε να κατασκευαστεί στον τόρνο ένας κύλινδρος από πυξάρι (box) ή ανάλογο συμπαγές και στερεό ξύλο, και με μήκος κατάλληλο του δοχείου στο οποίο προβλέπαμε να χρησιμοποιήσουμε. Στο εξωτερικό του κατώτερου άκρου αυτού του κυλίνδρου (ο οποίος μπορεί να έχει διάμετρο περίπου μιάμιση ίντσα) προσαρμόστηκε ένας μικρότερος κύλινδρος ή άξονας (axle-tree), πάχους μικρότερου του ενός τετάρτου του πάχους του πρώτου, και μήκους μικρότερου της μιας ίντσας. Αυτός σχηματίστηκε στον τόρνο με μεγάλη ακρίβεια, ώστε να μπορεί να περιστρέφεται μπρος και πίσω. Ή, όπως οι τεχνίτες περιγράφουν, να μπορεί να περιστρέφεται πολύ ομαλά μέσα σε έναν μικρό μεταλλικό κρίκο (little ferrule), ή δακτύλιο από μπρούντζο, που είναι κατασκευασμένος στον ίδιο τόρνο και είναι προσαρμοσμένος στο μέσον του σταθερού δίσκου (fixed trencher) (όπως αποκαλούμε το κομμάτι από στερεό ξύλο που είναι σχηματισμένο όπως η μυλόπετρα), το οποίο έχει πλάτος τέσσερεις ή πέντε ίντσες (ανάλογα με το φάρδος του κώδωνα) και πάχος μια ή δύο ίντσες. Και σε ένα φαρδύ και στρογγυλό αυλάκι (groove) ή ρείθρο (gutter), φτιαγμένο επίτηδες στο κάτω μέρος αυτής της βάσης, φρόντισα να μπει τόσο πολύ μολύβι και να κολληθεί, ώστε να συγκρατεί τη βάση χωρίς αυτή να μπορεί εύκολα να μετακινηθεί από τη θέση της. Και στο πάνω μέρος αυτής της βάσης θεωρήσαμε καλό να γίνουν τρύπες σε θέσεις κατάλληλες, για να τοποθετηθούν σώματα σε διάφορες αποστάσεις, όπως θα υπέβαλλε η περίσταση. Η άνω πλευρά του κυλίνδρου συνδεόταν με έναν άλλο άξονα (axle-tree), φαρδύτερο από τον προηγούμενο, ο οποίος μπορούσε, σε κοιλότητα που είχε κατασκευαστεί επάνω του, να υποδέχεται το κάτω μέρος της βίδας-κλειδιού στην οποία έγινε πολλές φορές αναφορά προηγουμένως. Είχε προβλεφθεί, ώστε η βίδα-κλειδί να στερεώνεται πάνω στον άξονα με τη βοήθεια ενός λεπτού πασσάλου από μπρούντζο, που [συνέδεε τα δύο αυτά μέρη, καθώς] είχε σφηνωθεί σε δύο οπές, η μια από τις οποίες βρισκόταν επάνω στη βίδα-κλειδί και η άλλη στον κοίλο υποδοχέα (socket) (αν μπορώ να τον ονομάζω έτσι) του άξονα, τον οποίο μόλις προανέφερα. Πέρα από όλα τα προηγούμενα, στον ίδιο τον κατακόρυφο στύλο (pillar), που για λόγους ευκρίνειας θα ονομάζουμε στο εξής κατακόρυφο κύλινδρο, είχαν κατασκευαστεί οριζόντιες διατρήσεις σε διαφορετικά ύψη. Η γενική χρήση αυτής της κατασκευής (της οποίας τα άλλα μέρη δεν χρειάζεται να μνημονευτούν, πριν γίνει αναφορά στο συγκεκριμένο πείραμα στο οποίο αξιοποιούνται) είναι ότι, επειδή το άκρο της βίδας- κλειδιού είναι τοποθετημένο στον κοίλο υποδοχέα, και το κατώτατο άκρο του κατακόρυφου κυλίνδρου στη βάση, το γύρισμα της βίδας-κλειδιού έχει ως αποτέλεσμα ένα σώμα στερεωμένο σε μια από τις τρύπες του κυλίνδρου να μπορεί να προσεγγίσει, ή να απομακρυνθεί, να έλθει σε επαφή,

ή να χτυπήσει ένα άλλο σώμα στερεωμένο σε κατάλληλη θέση πάνω πλευρά της οριζόντιας βάσης (βλ. *εικόνα ΠVII.6)*.

Ας έρθουμε τώρα στην πειραματική μας δοκιμή σχετικά με τον ήχο. Χρησιμοποιήσαμε ένα καμπανάκι χεριού (από το οποίο αφαιρέσαμε το χερούλι και το γλωσσίδι) και το στερεώσαμε σε ένα γερό σύρμα, του οποίου η μια άκρη είχε στερεωθεί στην οριζόντια βάση, ενώ η άλλη άκρη του, την οποία είχαμε επίτηδες λυγίσει προς τα κάτω, χρησιμοποιήθηκε για να κρεμάσουμε το καμπανάκι. Σε μια άλλη οπή στην περιφέρεια της οριζόντιας βάσης σφηνώσαμε (χρησιμοποιώντας ένα ξύλινο καρφί (wooden peg)) ένα ατσάλινο έλασμα (steel-spring). Στο άνω άκρο του ελάσματος αυτού προσαρμόσαμε μια ράβδο (gad) από σίδερο ή ατσάλι, με μήκος μικρότερο της μιας ίντσας, αλλά αρκετά παχιά. Το μήκος του ελάσματος ήταν τέτοιο, ώστε να μπορεί να κάνει την πάνω πλευρά του σφυριού (hammer) (αν μπορώ να αποκαλώ έτσι το κομμάτι σιδήρου στο οποίο αναφέρθηκα) να βρίσκεται στο ίδιο ύψος με την καμπάνα, ενώ η απόσταση του ελατηρίου από την καμπάνα ήταν τέτοια, ώστε, αν το έλασμα εξαναγκαζόταν να τεντωθεί προς τα πίσω, θα έπρεπε κατά την επαναφορά του να κάνει το σφυρί να χτυπήσει έντονα το εξωτερικό τοίχωμα της καμπάνας.

Έχοντας εξοπλίσει με τα παραπάνω την οριζόντια βάση, την τοποθετήσαμε σε κώδωνα (capped receiver) (και ως τέτοιο, όπως γνωρίζετε, αποκαλούμε αυτόν ο οποίος φέρει προσαρμοσμένο στο επάνω μέρος του μπρούντζινο κάλυμμα, στο οποίο κάναμε συχνά αναφορά προηγουμένως), και αντλήσαμε επιμελώς τον αέρα έξω. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια της βίδας-κλειδιού, είχαμε τη δυνατότητα να στρίβουμε τον κάθετο κύλινδρο, πράγμα που σημαίνει ότι, όσες φορές ζεύγος από δύσκαμπτα σύρματα (stiff wires) ή μικρούς ξύλινους πείρους (small pegs), που είχαν προσαρμοστεί, οριζόντια, στις οπές του κάθετου κυλίνδρου και σε μικρή απόσταση από τη βάση του, περνούσαν (κάτω από τη μικρή καμπάνα, και) κοντά από έλασμα που προαναφέρθηκε, τόσες φορές πίεζαν το έλασμα προς τα πίσω και το εξανάγκαζαν να τεντωθεί απομακρυνόμενο από την καμπάνα. Αυτό σημαίνει ότι, μόλις το εκάστοτε σύρμα [ή ξύλινος πείρος] απομακρυνόταν, το έλασμα έπαυε να πιέζεται και επέστρεφε στη θέση ισορροπίας του με τέτοια βία (violence), ώστε έκανε το σφυρί χτυπά ζωηρά πάνω στην καμπάνα: και με αυτόν τον τρόπο μπορέσαμε, και να συνεχίζουμε το πείραμα κατά την κρίση μας, και να κάνουμε τις κρούσεις να είναι περισσότερο όμοιες σε δύναμη (more equally strong), πράγμα που θα ήταν δύσκολο να το καταφέρουμε με άλλο τρόπο.

Το αποτέλεσμα της πειραματικής μας δοκιμής ήταν, ότι, όταν το δοχείο ήταν καλά εκκενωμένο, ορισμένες φορές φαινόταν αμφίβολο, ειδικά σε ορισμένους από τους μάρτυρες, εάν παραγόταν ήχος ή όχι. Αλλά σε εμένα, προσωπικά, μου φαινόταν ότι για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, ύστερα από πολλή προσοχή, άκουγα κάποιον ήχο, ο οποίος μόλις που ακουγόταν. Και όμως, πράγμα που είναι παράξενο, μου φάνηκε ότι είχε κάποια οξύτητα, αλλά φαινόταν (κάτι που δεν είναι παράξενο) να προέρχεται από πολύ μακριά. Το εάν το συχνό στρίψιμο του κυλινδρικού κλειδιού επέτρεπε στον κώδωνα να διατηρείται, τόσο στεγανός, όσο θα ήταν χωρίς την κίνηση αυτή, και το εάν διαμέσου της βίδας-κλειδιού λίγος αέρας κατάφερνε να παρεισφρήσει στον κώδωνα, είναι κάτι που δεν μπορώ να προσδιορίσω με βεβαιότητα. Αλλά, για να διαπιστώσω τι επίδραση μπορούσε να έχει η παρουσία ή απουσία αέρα στην ηχηρότητα ή σιγανότητα του ήχου άφησα τον αέρα να εισέλθει στον κώδωνα, όχι με τη μια, αλλά σταδιακά, με σημαντικά ενδιάμεσα διαλείμματα. Με αυτό το τέχνασμα, ήταν εύκολο να παρατηρηθεί ότι, καθώς στρίβαμε τον κατακόρυφο κύλινδρο και ταυτόχρονα αφήναμε λίγο αέρα να εισέλθει στον κώδωνα, το χτύπημα του σφυριού πάνω στην καμπανούλα (που, προηγουμένως, άλλοτε ακουγόταν και άλλοτε όχι, και τις περισσότερες φορές μόλις που ακουγόταν) άρχισε να ακούγεται με ευκολία. Και, όταν αφέθηκε λίγο περισσότερος αέρας να εισέλθει στον κώδωνα, ο ήχος δυνάμωσε και έγινε περισσότερο ακουστός, και εξακολούθησε να δυναμώνει, έτσι, μέχρι ο κώδωνας να γεμίσει ξανά με αέρα τελείως. Και, τότε, ωστόσο (για να μην παραλείψουμε αυτό το φαινόμενο), ο ήχος παρατηρήθηκε να είναι πολύ πιο αδύναμος σε σύγκριση με τον ήχο που θα ακούγαμε, αν δεν παρεμβαλλόταν ανάμεσα στο καμπανάκι και το αυτί μας ο γυάλινος κώδωνας… (Boyle 1669 στον Conant 1957/1966 σελ. 34-36[282]).

Εικόνα ΠVII.6.Σχέδιο ενσωματωμένο στο παρόν κείμενο του Boyle (Conant 1957/1966 σελ.35[282])

Απόσπασμα 2: *Accademia del Cimento. Ένα πείραμα πάνω στους ήχους στο κενό, 1667:*

Έχοντας κρεμάσει από ένα νήμα μια μικρή καμπανούλα, αντί για μια εύφλεκτη μπάλα του προηγούμενου *πειράματος*, και έχοντας παράγει *κενό*, αρχίσαμε να κινούμε τη σφαιρική φιάλη και η καμπανούλα έδωσε τον ίδιο τόνο με εκείνον που έδινε, όταν η φιάλη ήταν γεμάτη από ατμοσφαιρικό αέρα. Ή, εάν, έστω, υπήρχε κάποια διαφορά, αυτή ήταν τόσο μικρή, ώστε δεν γινόταν αντιληπτή. Πράγματι, σε αυτό το *πείραμα* το όργανο παραγωγής του ήχου πρέπει (παρόλο που αυτό είναι πρακτικά αδύνατο) να μην έχει καμία επαφή με το δοχείο, διαφορετικά δεν μπορούμε να πούμε με βεβαιότητα, εάν ο ήχος διαδίδεται στο *κενό* διαμέσου του αραιωμένου *αέρα* και των *ατμών* του *υδραργύρου*, ή διαδίδεται στον εξωτερικό *αέρα* που περιβάλλει τη φιάλη μέσα από δόνηση που προέρχεται από την κρούση του μετάλλου και μεταδίδεται στο γυαλί διαμέσου του νήματος.

Παρόλ' αυτά, σκεφτήκαμε να πραγματοποιήσουμε το ίδιο πείραμα χρησιμοποιώντας ένα πνευστό όργανο, γιατί αυτό δέχεται δόνηση, όχι από κρούση, όπως η καμπάνα, αλλά από την ώθηση του αέρα που ορμά μέσα σ' αυτό. Και επειδή θα ήταν πολύ δύσκολο να τοποθετήσουμε ένα τέτοιο όργανο σε *κενό* που να έχει παραχθεί από *υδράργυρο*, καταφέραμε να το εισάγουμε σε ένα δοχείο εκκενωμένο από τον αέρα με άντληση, όπως τελευταία κατάφερε να παρασκευάσει ο Boyle… (Academie del Cimento 1684/1964 σελ.50-51[340]).

Εικόνα ΠVII.7.Σχέδιο στο οποίο το παρόν κείμενο αναφέρεται (*Academie del Cimento 1684/1964 σελ.45*[340])

3.3. Κερί δίχως φλόγα

Απόσπασμα 1: *Robert Boyle, 1660. Η φλόγα λίπους και κεριού στο κενό:*

Τοποθετήσαμε στον κώδωνα της αντλίας μας ένα κερί από λίπος μετρίου μεγέθους και, αφού το κρεμάσαμε, ώστε η φλόγα να φαίνεται στο κέντρο του δοχείου, σφραγίσαμε το δοχείο καλά. Σε χρονικό διάστημα λίγο μεγαλύτερο του μισού λεπτού από τη στιγμή που βάλαμε σε λειτουργία την αντλία, η φλόγα έσβησε.

Μια επόμενη φορά, η φλόγα διήρκεσε δύο λεπτά. Ωστόσο, από τη στιγμή που άρχισε η άντληση του αέρα, οι διαστάσεις της φλόγας μίκρυναν. Μετά από δύο ή τρία ανεβοκατεβάσματα του εμβόλου, το χρώμα της έγινε μπλε και σταδιακά απομακρύνθηκε από το λίπος, μέχρι που φαινόταν να κατέχει μόνο την κορυφή του φυτιλιού, και μετά εξαφανίστηκε.

Ανάψαμε ξανά το ίδιο κερί και το τοποθετήσαμε στον κώδωνα, για να δούμε πώς καίγεται χωρίς να αφαιρεθεί ο αέρας. Είδαμε ότι η φλόγα κράτησε περισσότερο, σε σύγκριση με τις προηγούμενες περιπτώσεις. Και πριν το κερί σβήσει, η φλόγα υποχώρησε από το λίπος προς την κορυφή του φυτιλιού, αλλά σε μικρότερο βαθμό συγκριτικά με το προηγούμενο πείραμα.

Παρατηρήσαμε ότι, όταν ο αέρας δεν αφαιρείτο, ένα σημαντικό τμήμα του φυτιλιού παρέμενε αναμμένο μετά το σβήσιμο της φλόγας. Αυτό έβγαζε καπνό, ο οποίος ανέβαινε με ταχύτητα προς τα πάνω, σχηματίζοντας έναν λεπτό και συνεχή κύλινδρο, μέχρι που έφτανε στην κορυφή, απ΄ όπου άρχιζε να στρέφεται από τις πλευρές προς το κάτω μέρος του δοχείου. Αντίθετα, όταν η φλόγα έσβηνε με αφαίρεση του αέρα, δεν παρατηρούσαμε αυτή να συνοδεύεται καθόλου από καπνό. Μια άλλη φορά, το πάνω μέρος του φυτιλιού είχε μείνει αναμμένο μετά το σβήσιμο της φλόγας. Ένας λεπτός αχνός φάνηκε, τότε, να ανεβαίνει προς τα πάνω, αλλά για πολύ λίγο, και μετά από κάποιες αβέβαιες κινήσεις του, για το μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής, αυτός σύντομα έστριψε προς τα κάτω.

Ενώσαμε σε ένα κερί έξι μικρά άσπρα κεριά μαζί και αφού ανάψαμε όλα τα φυτίλια, τα τοποθετήσαμε μέσα στον κώδωνα και κάναμε ό,τι έπρεπε να κάνουμε, για να κλείσουμε τον κώδωνα με κόλλα. Αλλά, στο μεσοδιάστημα, αφήσαμε ανοιχτή τη βαλβίδα στον κύλινδρο της αντλίας, την οπή στη στρόφιγγα και την οπή στο κάλυμμα του κώδωνα, ώστε κάποια ποσότητα αέρα να μπορέσει να εισέλθει, για να αναζωπυρώσει τη φλόγα και ο καπνός να μπορέσει να δημιουργήσει ρεύμα. Ωστόσο, ο αέρας αυτός δεν ήταν αρκετός για τόσο μεγάλη φλόγα, μέχρι το κάλυμμα να κολλήσει τελείως. Έτσι, πριν να σταθούμε έτοιμοι να χρησιμοποιήσουμε την αντλία, η φλόγα είχε ήδη σβήσει. Έτσι, πήραμε ένα από τα κεράκια και αφού το ανάψαμε το κλείσαμε στον κώδωνα, για να δούμε για πόσο διάστημα η μικρή φλόγα – που συνοδευόταν από ανάλογη ποσότητα καπνού – μπορούσε να διατηρηθεί με συγκεκριμένη ποσότητα αέρα. Αλλά είδαμε, μέσα από δύο δοκιμές, ότι η φλόγα έσβησε μέσα σε ένα λεπτό, από τη στιγμή που ξεκινήσαμε να αφαιρούμε τον αέρα. Φαίνεται, ωστόσο, ότι η ταλάντωση του σύρματος από το οποίο είχαμε κρεμάσει το κερί συντόμευσε το σβήσιμο της φλόγας, η οποία φαινόταν να πηγαίνει προς τη μια ή την άλλη πλευρά του φυτιλιού ανάλογα με την κίνηση του εμβόλου. Επίσης, μόλις σταματήσαμε να αντλούμε τον αέρα μετά από πολύ λίγες κινήσεις του εμβόλου, η φλόγα δεν διατηρήθηκε παρά για πολύ λίγο. Και, τελικά, κλείνοντας ξανά στον κώδωνα το ίδιο αναμμένο κεράκι, προκειμένου να ανακαλύψουμε για πόσο μπορούσε να μείνει αναμμένο χωρίς να βάλουμε σε λειτουργία την αντλία, βρήκαμε ότι αυτό καιγόταν με ζωηρή φλόγα για λίγο και μετά η φλόγα άρχισε να μικραίνει σταδιακά και να κατευθύνεται σιγά-σιγά όχι προς το άνω άκρο του φυτιλιού, όπως προηγουμένως, αλλά προς το κάτω μέρος αυτού. Έτσι, το πάνω μέρος του φυτιλιού φάνηκε, για κάποιο χρονικό διάστημα, πάνω από την κορυφή της φλόγας. Αυτό διήρκεσε για πέντε περίπου λεπτά και, στη συνέχεια, εμφανίστηκε ένα ρεύμα καπνού που ξεκινούσε από το φυτίλι και ανέβαινε σε ευθεία γραμμή προς τα πάνω (Boyle, *Pneumatics*, 1725 ed. II σελ.417-418[302]).

Απόσπασμα 2: *Robert Boyle, 1672. Για τη δυσκολία να παραχθεί φλόγα χωρίς αέρα:*

Η προσπάθεια να αναφλεγεί το θειάφι στο Κενό υπήρξε ανεπιτυχής. Πήραμε ένα μικρό, πήλινο, καλά στιλβωμένο από την κατασκευή του δοχείο κυλινδρικού σχήματος, και μέσα σε αυτό τοποθετήσαμε έναν μικρό σιδερένιο κύλινδρο πάχους περίπου μίας ίντσας και διαμέτρου μεγαλύτερης από μισή ίντσα, που προηγουμένως είχαμε ερυθροπυρώσει σε φλόγα. Το σύστημα τοποθετήθηκε σε γυάλινο κώδωνα από τον οποίο αφαιρέσαμε τον αέρα, με ταχύτητα τέτοια, ώστε να μη σπάσει το γυαλί. Όταν το δοχείο έμοιαζε κενό, αφήσαμε να πέσει με τη βοήθεια μιας στρόφιγγας κατάλληλη ποσότητα ανθέων θείου τυλιγμένου σε ένα κομμάτι χαρτί, και να ακουμπήσει πάνω στο σιδερένιο κύλινδρο. Η βίαιη θέρμανση κατάφερε, όπως περιμέναμε, να καταστρέψει το χαρτί, οπότε το περιεχόμενο θείο βρέθηκε σε επαφή με τον σιδερένιο κύλινδρο, του οποίου η επάνω πλευρά ήταν λίγο κοίλη, έτσι ώστε να μπορέσει να συγκρατήσει το λειωμένο θειάφι. Όμως, όλη η θερμότητα του σιδήρου, παρόλο που δημιούργησε καπνούς προερχόμενους από το χαρτί και το θειάφι, δεν κατάφερε να αναφλέξει κανένα από τα δύο. Δεν παρατηρήσαμε δυνατότητα ύπαρξης φλόγας (Boyle, New Experiments Touching the Relation betwixt Flame and Air.. ,1772 ed. III σελ.567[323]).

Απόσπασμα 3: *Robert Boyle, 1672. Η συμβολή του αέρα στην ύπαρξη και διατήρηση της φλόγας:*

Πιθανόν να βρείτε σχετικά παράξενο το γεγονός ότι έστησα με τέτοιον τρόπο τα κείμενα που ακολουθούν, ώστε να μη βιάζομαι να ισχυριστώ και να υποστηρίξω ότι ο αέρας είναι αποκλειστικά και όμοια αναγκαίος πάντοτε για την παραγωγή και διατήρηση όλων των ειδών της φλόγας, όπως διάφοροι μορφωμένοι άνθρωποι συμπέραναν από τα προηγούμενα πειράματά μου. Αλλά, για να αντιμετωπίσω τον αέρα χωρίς μεροληψία, δεν διστάζω να σας βεβαιώσω ότι θα περιγράψω οποιαδήποτε ευρήματα ανακαλύψω σε σχέση με τον αέρα, χωρίς να φερθώ απέναντί τους συγκαταβατικά. Γιατί θεωρώ ότι, τόσο ο απλός, όσο και ο καλλιεργημένος μάρτυρας, οφείλει στην έκθεση των πραγματικών γεγονότων να ενδιαφέρεται για την αλήθεια περισσότερο, παρά για τη διαμόρφωση συμπερασμάτων. Και έτσι, όπου ο αέρας κατέχει μια ξεκάθαρη ή, τουλάχιστον, πολύ πιθανή σχέση με κάποιο φαινόμενο, δεν είμαι απλά διατεθειμένος, αλλά και χαρούμενος, να την αποτυπώσω σωστά. Έτσι, δεν έχω πρόθεση να του αποδώσω μεγαλύτερη δικαιοδοσία από αυτήν που του αποδίδει η ίδια η φύση, αφού και αμερόληπτα βγαίνει το συμπέρασμα ότι η συμβολή του αέρα είναι πολύ ευρεία και σημαντική και πιθανόν άπτεται ζητημάτων των οποίων οι

άνθρωποι φαίνεται να μη γνωρίζουν ακόμη πολλά ή να έχουν ακόμη και πλήρη άγνοια (Boyle, …*New Experiments Touching the Relation betwixt Flame and Air*…, 1772 ed. III σελ.566[323]).

3.4. Παράξενες αστραπές

Απόσπασμα 1: *Η σημασία της διερεύνησης των ηλεκτρικών εκκενώσεων, Michael Faraday, 1838:*

Το όλο θέμα των ηλεκτρικών εκκενώσεων από τα αέρια και διαμέσου των αερίων είναι μεγίστου ενδιαφέροντος, και, ακόμη και μόνο επειδή σχετίζεται με τον ατμοσφαιρικό ηλεκτρισμό (atmospheric electricity), αυτό απαιτεί εντατική και συστηματική πειραματική έρευνα (Faraday 1838/1849 12° τεύχος παράγραφος 1464[325]).

Απόσπασμα 2*: Μεταβάλλοντας το σχήμα και το χρώμα της αστραπής*, *Michael Faraday, 1838:*

Αέρας: Εντυπωσιακές ηλεκτρικές εκκενώσεις σε σχήμα βούρτσας (brush) παράγονται εύκολα κοντά στο θετικό ηλεκτρόδιο που έρχεται σε επαφή με αέρα σε ατμοσφαιρική πίεση, και έχουν το πολύ γνωστό μωβ χρώμα. Όταν ο αέρας αραιώνει, οι διακλαδώσεις (ramifications) αυτές γίνονται πολύ μακριές και γεμίζουν τη σφαίρα, το φως τους σταδιακά γίνεται πιο έντονο και αποκτά υπέροχο μωβ χρώμα με έναν ροζ τόνο σε αυτό (Faraday 1838/1849, 12° τεύχος, παράγραφος 1456[325]).

Απόσπασμα 3: *Μελετώντας ηλεκτρικές εκκενώσεις σε χαμηλή πίεση*, *Michael Faraday, 1838:*

Η *αραίωση του αέρα* ευνοεί εκπληκτικά το φαινόμενο αίγλης (glow phenomena). Μια σφαίρα από μπρούντζο διαμέτρου 2,5 ιντσών, που αποτελεί το θετικό ηλεκτρόδιο σε ένα δοχείο από το οποίο μπορούμε να αφαιρέσουμε τον αέρα με τη βοήθεια της αντλίας κενού, καλύφθηκε από αυτή τη λάμψη, σε έκταση που είχε διάμετρο μεγαλύτερη από δύο ίντσες, όταν η πίεση μειώθηκε στις 4,4 ίντσες υδραργύρου. Με λίγη ρύθμιση η σφαίρα μπορούσε να καλυφθεί τελείως από αυτή τη λάμψη. Χρησιμοποιώντας μια σφαίρα από μπρούντζο διαμέτρου 1,25 ιντσών και καθιστώντας την επαγωγικά θετική με τη βοήθεια ενός αρνητικού ηλεκτροδίου, προκλήθηκε, σε χαμηλή ατμοσφαιρική πίεση, φαινόμενο που ήταν εξαιρετικά όμορφο. Η αίγλη έβγαινε από τη θετική σφαίρα και σταδιακά η λάμψη της εντεινόταν, μέχρι που τελικά έγινε πολύ φωτεινή. Και έμοιαζε με χαμηλής έντασης φλόγα, ύψους μισής ίντσας ή ακόμη μεγαλύτερου. Αγγίζοντας τις πλευρές της φιάλης, αυτή η απαλή φλόγα επηρεαζόταν… Αυτές οι λάμψεις σε αραιωμένο αέρα αποκτούν συχνά εξαιρετική ομορφιά… (Faraday 1838/1849, 13° τεύχος, παράγραφος 1529[325]).

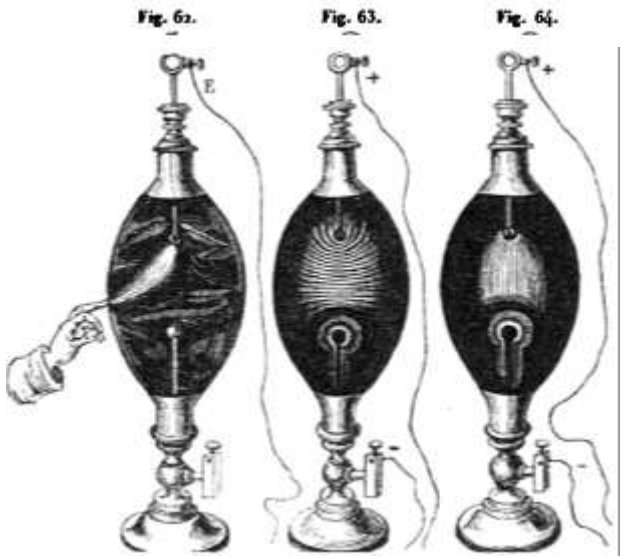
Απόσπασμα 4: *Το ηλεκτρικό αυγό, μελέτη ηλεκτρικών εκκενώσεων στο κενό, Παρίσι 1855:*

Σύνθεση του φωτός που παράγεται από το επαγωγικό πηνίο στο κενό

Αφού παρασκευάσουμε κενό τέτοιο που μπορούμε να το παρατηρήσουμε με την εξαιρετική μηχανή που λέγεται *ηλεκτρικό αυγό* (electric egg), συνδέουμε τις δύο ράβδους αυτής της συσκευής με τους ρευματοφόρους αγωγούς της συσκευής Ruhmkorff και βλέπουμε να παράγονται στο κενό δύο ηλεκτρικές λάμψεις διαφορετικές σε χρώμα, σχήμα και θέση που δίνουν την εντύπωση που περιγράψαμε (βλ. *εικόνα ΠVII.8*).

Η μια από τις λάμψεις αυτές είναι μπλε και περικλείει κανονικά την αρνητική ράβδο. Η άλλη, που έχει χρώμα κοκκινωπό, έχει πολύ μεγαλύτερη έκταση. Ξεκινά από τη θετικά φορτισμένη ράβδο, εκτείνεται μέχρι την αρνητικά φορτισμένη χωρίς να την αγγίζει, και έχει ως πλευρικά όρια μια επιφάνεια περιστροφής γύρω από τον άξονα του δοχείου. Αν συγκρίνουμε αυτή την όψη με εκείνη της ηλεκτρικής εκκένωσης στον αέρα, παρατηρώντας στο μικροσκόπιο το σχήμα της…, θα δούμε ότι, εκτός από τις φωτεινές γραμμές της απευθείας εκκένωσης που δεν υπάρχουν στο κενό εξαιτίας της καλής του ηλεκτρικής αγωγιμότητας, το φως της ηλεκτρικής εκκένωσης στο κενό δεν είναι παρά η ενίσχυση της λάμψης ή της ποσότητας του φωτός που παράγεται στον αέρα σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης. Σε κάθε περίπτωση, καθώς το φαινόμενο αναπτύσσεται καλύτερα στο κενό, επιτρέπει να μελετηθούν αρκετές ιδιαιτερότητες που λανθάνουν την προσοχή, όταν με τη βοήθεια του επαγωγικού πηνίου παράγονται ηλεκτρικές εκκενώσεις σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης.

Μια από αυτές τις ιδιαιτερότητες, η οποία είναι και αυτή που είναι περισσότερο αξιοσημείωτη, είναι το γεγονός ότι κάτω από ορισμένες φυσικές συνθήκες το φως στο θετικό ηλεκτρόδιο εμφανίζει τη μορφή στρωμάτων διαφορετικά χρωματισμένων. Αυτό το φαινόμενο, που για πρώτη φορά αναγνωρίστηκε από τον κ.Grove, αποτέλεσε για δώδεκα χρόνια ένα θέμα συνεχούς έρευνας από τους πιο διακεκριμένους φυσικούς μας, και κατέληξε στην παραγωγή μιας σειράς από δεδομένων τα οποία συνέβαλαν, τόσο στην εξέλιξη της επιστήμης, όσο και στην παραγωγή φαινομένων πραγματικά μαγευτικών (de Moncel 1867 σελ.165-167[348]).



Εικόνα ΠVII.8. Σχέδιο ενσωματωμένο στο παρόν κείμενο
(Moncel 1867 σελ.166[348])

Αποσπάσματα 5, 6, 7, 8: Ταξιδεύοντας στο κέντρο της γης*, Ιούλιος Βέρν 1864*

Η συσκευή του Ruhnmkorff συνίσταται σε μια στήλη του Bunsen, η οποία λειτουργεί με τη βοήθεια διχρωμικού καλίου το οποίο είναι εντελώς άοσμο. Ένα επαγωγικό πηνίο μεταφέρει τον ηλεκτρισμό που παρέχεται από τη στήλη σε επαφή με μια λυχνία ειδικής κατασκευής. Μέσα σε αυτή τη λυχνία βρίσκεται οφιοειδής γυάλινος σωλήνας από τον οποίο έχει αφαιρεθεί ο αέρας και υπάρχει μόνο μια πολύ μικρή ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα ή αζώτου. Όταν το όργανο τίθεται σε λειτουργία, το αέριο γίνεται φωτεινό, παράγοντας μια λάμψη λευκή και συνεχή. Η στήλη και το πηνίο τοποθετούνται σε ειδικό δερμάτινο σάκο, τον οποίο ο ταξιδιώτης μεταφέρει στην πλάτη. Η λυχνία, τοποθετούμενη εξωτερικά, φωτίζει πολύ καλά μέσα στο βαθύ σκοτάδι. Επιτρέπει να περιπλανηθείς μέσα στα πιο εύφλεκτα αέρια χωρίς να φοβάσαι τις εκρήξεις, και δεν σβήνει ακόμα κι αν πέσει στο νερό. Ο κύριος Ruhmkorff είναι ένας πολυμαθής και επιδέξιος φυσικός. Η μεγάλη του εφεύρεση είναι το επαγωγικό πηνίο, που επιτρέπει την παραγωγή ηλεκτρισμού υψηλής τάσης. Το 1864, κέρδισε το πενταετές βραβείο, των 50.000 φράγκων, που το Γαλλικό κράτος σκόπευε να αποδώσει στην περισσότερο ευφυή χρήση του ηλεκτρισμού (Verne 1877 σελ.58[346]).

…Τώρα, Άξελ, φώναξε ενθουσιασμένος ο καθηγητής, θα τρυπώσουμε στην πραγματικότητα στα έγκατα της Γης. Αυτή ακριβώς τη στιγμή αρχίζει λοιπόν το ταξίδι μας. Και, λέγοντας αυτά, ο θείος μου πήρε στο ένα του χέρι τη συσκευή του Ρύμκορφ, που κρεμόταν γύρω από το λαιμό του· με το άλλο έφερε σε επαφή τον οφιοειδή σωλήνα της λάμπας, κι ένα φως αρκετά έντονο διέλυσε το σκότος της στοάς (Βερν 2009 σελ.176[347]).

…Ευτυχώς που φωτίζαμε το δρόμο μας με τις ιδιοφυείς συσκευές του Ρύμκορφ. Αν, για κακή μας τύχη, είχαμε επιχειρήσει από επιπολαιότητα να εξερευνήσουμε αυτή τη στοά με το δαδί στο χέρι, μια τρομερή έκρηξη θα είχε βάλει τέλος στο ταξίδι μας, εξαφανίζοντας από προσώπου γης τους ταξιδιώτες (Βερν 2009 σελ.197[347]).

…Το φως των συσκευών, που καθρεφτιζόταν στις μικρές πρισματικές επιφάνειες των βράχων, παιχνίδιζε δημιουργώντας εκατοντάδες λάμψεις που διασταυρώνονταν προς όλες τις κατευθύνσεις, και φανταζόμουν ότι ταξίδευα μέσα σ' ένα κοίλο διαμάντι, στο οποίο οι ηλεκτρικές αχτίδες αναλύονταν σε χιλιάδες ιριδισμούς (Βερν 2009 σελ.207-8[347]).

3.5. Η εξαφάνιση της θάλασσας…

Απόσπασμα 1: *Είναι το νερό ελαστικό*; *Robert Boyle, 1660:*

Το ότι ο αέρας έχει σημαντική ελαστική δύναμη (elastic power) το αποδείξαμε χωρίς αμφιβολία: αλλά, το αν το νερό συμμετέχει σε οποιονδήποτε βαθμό σε αυτό φαίνεται ότι μέχρι σήμερα δεν έχει επαρκώς εξεταστεί.

Σε μια σφαιρική φιάλη με μακρύ λαιμό προσθέσαμε νερό, μέχρι να φτάσει λίγο παραπάνω από το σφαιρικό τμήμα αυτής. Και, κολλώντας ένα κομμάτι χαρτί στο εξωτερικό της ως σημάδι της επιφάνειας του νερού, την τοποθετήσαμε μέσα στον κώδωνα της αντλίας. Θέσαμε στη συνέχεια την αντλία σε λειτουργία με το γνωστό τρόπο, και αφαιρέσαμε μια μεγάλη ποσότητα αέρα, χωρίς να διακρίνουμε οποιαδήποτε έκταση της μάζας του νερού (expansion of the water). Όμως, καθώς συνεχίσαμε να αφαιρούμε τον αέρα, το νερό άρχισε φανερά να ανέρχεται μέσα στο λαιμό της φιάλης, και αρκετές φυσαλίδες προερχόμενες από τα χαμηλότερα μέρη του δοχείου διέσχιζαν το σώμα του υγρού, για να φθάσουν στο χείλος του δοχείου και εκεί να σπάσουν. Από τη στιγμή που το νερό άρχισε να φαίνεται ότι διογκώνεται (swell), κάθε φορά που αφαιρούταν αέρας από τον κώδωνα με τη βοήθεια της αντλίας, το νερό ανέβαινε ξαφνικά στο λαιμό της φιάλης, κατά ύψος ενός τρίτου της ίντσας, και κέρδιζε, έτσι, βαθμιαία σημαντικό ύψος πάνω από το σημάδι. Τελικά, όταν ο εξωτερικός αέρας αφέθηκε να εισέλθει ξανά στον κώδωνα, το νερό ξαφνικά υποχώρησε, εγκαταλείποντας όλον τον επιπλέον χώρο στον οποίο είχε επεκταθεί μέσα στη φιάλη (Boyle, *Pneumatics*, 1725 ed. II σελ.425-426[302]).

Απόσπασμα 2: *Ο αναβρασμός θερμών υγρών στο κενό*, *Robert Boyle, 1660:*

Υποβάλλαμε το νερό σε βρασμό για μεγάλο χρονικό διάστημα, ώστε να απαλλαγεί πλήρως από τον διαλυμένο μέσα σ' αυτό αέρα. Στη συνέχεια, γεμίσαμε σχεδόν μια γυάλινη φιάλη τεσσάρων ουγκιών αφού με αυτό και τη μεταφέραμε μέσα στον κώδωνα της αντλίας κενού, ενώ το νερό ήταν ακόμη ζεστό. Και, αφού προσαρμόσαμε καλά τον κώδωνα στη βάση της αντλίας, ο αέρας διοχετεύθηκε έξω. Κατά τη διάρκεια των δύο πρώτων κινήσεων του εμβόλου, σπάνια παρατηρήσαμε κάποια αλλαγή στην κατάσταση του υγρού. Δεν παρατηρήθηκε επίσης καμία αξιόλογη μεταβολή, ούτε κατά τη διάρκεια της τρίτης κίνησης του εμβόλου. Όμως, από την τέταρτη κίνηση αυτού και μετά, παρατηρήθηκε βρασμός του νερού μέσα στη φιάλη, σαν αυτή να είχε τοποθετηθεί πάνω από δυνατή φωτιά. Οι φυσαλίδες που παράχθηκαν ήταν πολύ μεγαλύτερες, από αυτές που συνήθως παρατηρούνται κατά τον αναβρασμό μεγάλων ποσοτήτων νερού. Και ο αναβρασμός αυτός ήταν τόσο έντονος, ώστε μεγάλη ποσότητα υγρού, βράζοντας, ξεπέρναγε το χείλος του δοχείου και κυλούσε στη βάση του κώδωνα, όπου πολλές φορές εξακολουθούσε και εκεί να βράζει. Εκτελώντας το πείραμα, παρατηρήσαμε ότι, πολλές φορές, μετά την πέμπτη κίνηση του εμβόλου, ήμασταν υποχρεωμένοι να κάνουμε πολλές κινήσεις, πριν το υγρό να αρχίσει να βράζει ξανά. Ωστόσο, άλλες φορές, μόλις ο αέρας υποχρεωνόταν να εγκαταλείψει τον κώδωνα, για να περάσει στο εσωτερικό της αντλίας, ο βρασμός άρχιζε εκ νέου, παρόλο που η αντλία είχε λειτουργήσει εντατικά μόνο για μικρό χρονικό διάστημα. Τα παραπάνω αυτά φαίνεται να αποτελούν ενδείξεις ότι ο βρασμός του νερού ήταν συνέπεια της λειτουργίας της αντλίας, εφόσον, καθώς μειώναμε την πίεση του υπερκείμενου αέρα, είτε τα σωματίδια του πυρός, είτε οι ατμοί που τίθεντο σε κίνηση από τη θερμότητα που υπήρχε στο νερό, οδηγούνταν στο να επεκταθούν μέσα στον εκκενωμένο κώδωνα. Και, τότε, κατά την ταραχώδη διαστολή τους, ανασήκωναν την επιφάνεια του νερού, και, μετατρέποντάς την σε φυσαλίδες, την έκαναν να μοιάζει ότι βράζει. Κι αυτό φαινόταν έτσι, γιατί ο αναβρασμός ήταν περιορισμένος στο ανώτερο σώμα του νερού. Το κατώτερο παρέμενε ήσυχο, εκτός από την περίπτωση που το βάθος του υγρού ήταν περιορισμένο. Παράλληλα, μερικές φορές, όπως είπαμε, ο αναβρασμός άρχιζε ξανά, αφού είχε σταματήσει για λίγο. Έτσι, φαινόταν ότι κάποιο αίτιο που δρούσε ταυτόχρονα και παράλληλα προκαλούσε μικρές παραλλαγές στη θερμική διαδικασία. Πάντως ήταν σαφές ότι, ενώ το νερό της φιάλης δεν μπορούσε πια να βράσει, όταν εξερχόταν από την αντλία, το ίδιο νερό μέσα στην ίδια φιάλη άρχιζε να βράζει ξανά με

σφοδρότητα και για μεγάλο χρονικό διάστημα, όταν μεταφερόταν μέσα στον κώδωνα. Ταυτόχρονα, εάν ποσότητα από το ίδιο νερό αφηνόταν να κρυώσει, δεν μπορούσε, στη συνέχεια, να παρουσιάσει τον ελάχιστο αναβρασμό με τη βοήθεια της αντλίας. Παρατηρήσαμε, ακόμα, ότι ο θερμός ζωμός από πάπια ή χήνα δεν παρουσίαζε αναβρασμό μέσα στον κώδωνα, ότι το νέφτι μπορούσε αναβράζει σε τέτοιο βαθμό, ώστε το αρχικό του ύψος στη φιάλη να αυξάνεται κατά τέσσερις ή πέντε φορές, ενώ συνέχιζε να βράζει μέχρι να γίνει σχεδόν χλιαρό. Το κρασί, επίσης, όταν μεταφερόταν θερμό μέσα στον κώδωνα, άρχιζε από την πρώτη κίνηση του εμβόλου να βράζει τόσο έντονα, ώστε, σε μικρό χρονικό διάστημα μετά την έναρξη της λειτουργίας της αντλίας, τέσσερα από τα πέντε μέρη του έβγαιναν με το βρασμό έξω από τη φιάλη, παρόλο που αυτή είχε μακρύ λαιμό. Και ακόμη και για το ίδιο το νερό, παρατηρούνταν ότι πολλές φορές η μισή ποσότητά του, που είχε εξέλθει με το βρασμό από τη φιάλη και είχε πέσει στη βάση του κώδωνα, μπορούσε να βράζει, εκεί, μέχρι να γίνει σε χλιαρό. Αξίζει ακόμη να σημειωθεί ότι, μια φορά, όταν ο κώδωνας της αντλίας είχε ήδη εκκενωθεί από αέρα, το υγρό μπόρεσε, με μια μόνη επιπλέον κίνηση του εμβόλου, να βράσει με εντυπωσιακά μεγάλες φυσαλίδες για μεγάλο χρονικό διάστημα, περίπου για ένα τέταρτο του λεπτού. Έτσι, φαίνεται ότι η μεταβολή της πίεσης του αέρα μπορεί σε μεγάλο βαθμό να μεταβάλει πολλές λειτουργίες αυτής της σφοδρής και ταραχώδους κίνησης των μικροσκοπικών σωματιδίων, από τα οποία φαίνεται να συνίσταται η φύση της θερμότητας. Έτσι, όπως φάνηκε από τα προηγούμενα, είναι πιθανό η θερμότητα να λειτουργεί με διαφορετικό τρόπο σε ένα θερμό σώμα που βρίσκεται εκτεθειμένο στον ατμοσφαιρικό αέρα, σε σύγκριση με τον τρόπο με τον οποίο τα σωματίδια της θερμότητας λειτουργούν στο ίδιο το σώμα, όταν αυτό μεταφέρεται σε συνθήκες έλλειψης αέρα (Boyle, *Pneumatics*, 1725 ed. II σελ.473-474[302]).

Απόσπασμα 3: *Ένα πείραμα με το νερό στο κενό*, *Accademia del Cimento, 1667*

Αυτή η περίφημη *παρατήρηση* του κ. *Boyle* για το βρασμό του θερμού *νερού στο κενό* δε μας κατέστησε μόνο τρομερά περίεργους να παρατηρήσουμε ένα τόσο σπάνιο και εκπληκτικό φαινόμενο, αλλά, ταυτόχρονα, μας έδωσε υποδείξεις, και μας γέμισε επιθυμία να επιχειρήσουμε κι εμείς το ίδιο *πείραμα*, και να χρησιμοποιήσουμε, τόσο *απλό νερό* (simple water), όσο και νερό όσο γίνεται πιο κρύο, αλλά όχι τόσο κρύο ώστε να έχει γίνει πάγος.

Έτσι βάλαμε στο δοχείο του σχήματος μια ποσότητα *φυσικού νερού* (natural water), χωρίς να μεταβάλλουμε τη θερμοκρασία του (temperament). Αφού αυτό τέθηκε μέσα σε *κενό*, παρουσιάστηκε αφθονία μικρών φυσαλίδων, οι οποίες, παρόλο που ήταν πολλές, κινούνταν αργά, και το νερό δεν έχανε καθόλου από τη διαφάνειά του. Κινούνταν *προς τα πάνω*, μέχρι που το πλήθος τους σταδιακά μειώθηκε, και το νερό παρέμεινε *ατάραχο* και *σε ηρεμία*, όπως ήταν στην αρχή.

Εικόνα ΠVII.9.Σχέδιο στο οποίο το παρόν κείμενο αναφέρεται (Academie del Cimento 1684/1964 σελ.48[340])

Το *θερμό νερό*, όταν τοποθετήθηκε μέσα στο κενό, άρχισε να βράζει βίαια, και να κατευθύνεται προς το χείλος του δοχείου, παράγοντας ήχο, όχι πολύ διαφορετικό από αυτόν που κάνει ένα *καζάνι* (cauldron) που το περιεχόμενό του βράζει πολύ έντονα. Ωστόσο, όταν ανοίξαμε τον κώδωνα της αντλίας και βγάλαμε έξω το περιεχόμενο δοχείο, δεν μπορέσαμε να παρατηρήσουμε να έχει παραχθεί *θερμότητα* (heat) από αυτόν τον αναβρασμό (ebullition).

Το *κρύο νερό* εμφάνισε τέσσερεις ή πέντε μικρές φυσαλίδες και στη συνέχεια παρέμεινε σε ηρεμία, χωρίς άλλη παρατηρήσιμη αλλαγή ή μεταβολή.

Σημειώνουμε ότι, με την εισροή *αέρα*, το πλήθος των μικρών φυσαλίδων εξαφανιζόταν αμέσως, τόσο από *νερό* που βρισκόταν *σε θερμοκρασία περιβάλλοντος* (natural temperament), όσο και από το *θερμό νερό* που έβραζε (Academie del Cimento 1684/1964 σελ.57[340]).

3.6. Το χρώμα του ουρανού

Απόσπασμα 1: *Το μπλε του ουρανού, η εξήγηση John Tyndall, 1872-3:*

Είμαι απρόθυμος να εγκαταλείψω αυτά τα χρωματικά φαινόμενα χωρίς να αναφερθώ στην πηγή, από την οποία κατά τη γνώμη μου προέρχεται το γαλάζιο χρώμα του μεσημεριανού ουρανού σας και το βαθύ πορφυρό του ορίζοντα μετά τη δύση του ηλίου. Θα συνοψίσω και θα αναπτύξω εδώ ό,τι έχω και αλλού πει πάνω σ' αυτό το θέμα. Θα μπορούσα να εκθέσω αποδείξεις που βασίζονται σε πειστική περιγραφή φαινομένων, για να αποδείξω ότι το μπλε φως του στερεώματος είναι ανακλώμενο φως. Αυτό το φως φθάνει σε εμάς σχηματίζοντας γωνία με την κατεύθυνση των ηλιακών ακτίνων, και συχνά έχοντας κατεύθυνση αντίθετη προς την κατεύθυνση των ηλιακών ακτίνων. Επιπλέον, το ηλιακό φως δεν διασπείρεται στον ουρανό στις αναλογίες που παράγουν λευκό φως. Ο ουρανός είναι μπλε, πράγμα που δείχνει ότι υπερτερούν εκεί τα μικρότερα μήκη κύματος. Το μπλε χρώμα του αέρα έχει υποτεθεί ως η αιτία για το μπλε χρώμα του ουρανού, αλλά εδώ εγείρεται το ερώτημα: Πώς, αν ο αέρας είναι μπλε, μπορεί το φως της ανατολής και του ηλιοβασιλέματος, το οποίο ταξιδεύει τεράστιες αποστάσεις, να είναι κίτρινο, πορτοκαλί ή ακόμη και κόκκινο; [150] Το πέρασμα του λευκού ηλιακού φωτός διαμέσου ενός μπλε μέσου δεν θα μπορούσε κατά κανένα τρόπο να κοκκινίζει το φως. Επομένως, η υπόθεση της μπλε ατμόσφαιρας είναι αδύνατη. Στην πραγματικότητα, ο παράγοντας, όποιος κι αν είναι, που μας στέλνει το φώς του ουρανού ασκεί κατά τη διαδικασία αυτή μια διχρωματική δράση (dichroitic action). Το ανακλώμενο φως είναι μπλε, το διαδιδόμενο φως είναι πορτοκαλί ή κόκκινο. Μια σημαντική διάκριση εμφανίζεται, έτσι, ανάμεσα στην ανάκλαση από τον ουρανό και σε αυτή από ένα συνηθισμένο σύννεφο, το οποίο δεν ασκεί τέτοια διχρωματική δράση.

Το σύννεφο, στην πραγματικότητα, δεν καταλαβαίνει το μέγεθος των κυμάτων του αιθέρα, αλλά τα αντανακλά όλα με τον ίδιο τρόπο. Η αιτία γι' αυτό φαίνεται να είναι ότι τα σωματίδια του σύννεφου είναι τόσο μεγάλα σε σχέση με το μέγεθος των κυμάτων του αιθέρα, ώστε διασκορπίζονται όλα χωρίς διάκριση. Ένας φαρδύς βράχος αντανακλά ένα κύμα του Ατλαντικού, το ίδιο εύκολα, όπως αντανακλά και ένα κυματάκι που παράγει με τα φτερά του ένα θαλασσοπούλι. Και με την παρουσία μεγάλων ανακλαστικών επιφανειών οι υπάρχουσες διαφορές ανάμεσα στα κύματα του αιθέρα εξαφανίζονται. Όμως, ας

υποθέσουμε ότι τα σωματίδια που προκαλούν την ανάκλαση είναι πολύ μικρά, συγκρινόμενα με το μέγεθος των κυμάτων, αντί να είναι πολύ μεγάλα. Τότε, μόνο ένα μικρό μέρος του κύματος συντρίβεται από το εμπόδιο, αντί να αντιμετωπίζεται ολόκληρο το κύμα και να στέλνεται σε μεγάλο ποσοστό πίσω. Ας υποθέσουμε, στη συνέχεια, ότι τέτοια μικροσκοπικά ξένα σωματίδια διαχέονται στην ατμόσφαιρά μας. Κύματα όλων των μεγεθών πέφτουν πάνω τους, και σε κάθε σύγκρουση ένα μέρος του κύματος που προσκρούει επάνω τους αντανακλάται. Όλα τα κύματα του φάσματος, από το βαθύ κόκκινο μέχρι το σκούρο ιώδες, δρουν με αυτόν τον τρόπο, αλλά σε τι αναλογίες διασκορπίζονται; Το θέμα του μεγέθους είναι θέμα σχετικής σύγκρισης, οπότε, όσο μικρότερο είναι το κύμα, τόσο μεγαλύτερο είναι το σχετικό μέγεθος κάθε σωματιδίου πάνω στο οποίο το κύμα μπορεί να προσκρούσει, και τόσο μεγαλύτερη η ανάκλαση που μπορεί να προκληθεί.

Ένα μικρό βότσαλο, αν τοποθετηθεί στο δρόμο των δακτυλιοειδών κυμάτων που παράγονται από βαριές σταγόνες βροχής που πέφτουν σε μια ήρεμη λιμνούλα, θα προκαλέσει σε μεγάλο ποσοστό ανάκλαση κάθε τέτοιου κυματισμού που θα πέσει επάνω του, ενώ το ποσοστό ενός μεγαλύτερου κύματος που θα ανακλαστεί από το ίδιο βοτσαλάκι θα είναι απειροελάχιστο. Τώρα, για να διατηρηθεί το ηλιακό φως λευκό, η αναλογία των συστατικών του δεν πρέπει να διαφοροποιηθεί. Όμως, κατά το διασκορπισμό του φωτός από αυτά τα πολύ μικρά σωματίδια, βλέπουμε ότι οι αναλογίες μεταβάλλονται. Τα μικρότερα κύματα βρίσκονται σε μεγαλύτερη αναλογία, και, συνεπώς, στο διασκορπιζόμενο φως το μπλε είναι το χρώμα που υπερισχύει. Τα άλλα χρώματα του φάσματος υπάρχουν κι αυτά σε κάποιο βαθμό, μαζί με το μπλε. Έτσι, δεν απουσιάζουν τελείως, όμως παρουσιάζουν έλλειμμα. Στην πραγματικότητα υπάρχουν όλα, αλλά σε αναλογίες που βαίνουν φθίνουσες από το ιώδες προς το στο κόκκινο.

Έχουμε, με αυτόν τον τρόπο, δικαιολογήσει το δρόμο μας προς το συμπέρασμα ότι υπάρχουν σωματίδια μικρά σε σχέση με το μέγεθος των κυμάτων του αιθέρα διεσπαρμένα στην ατμόσφαιρά μας και ότι το φως που διασκορπίζεται (scattered) από αυτά τα σωματίδια είναι ακριβώς αυτό που παρατηρούμε στο μπλε του καθαρού μας ουρανού. Και, πράγματι, όταν αυτό το φως αναλύεται, όλα τα χρώματα του φάσματος βρίσκονται στις αναλογίες που υποδεικνύει το συμπέρασμά μας.

Με τις διαδοχικές του συγκρούσεις με τα σωματίδια αυτά, το λευκό φως όλο και περισσότερο αποστερείται από τα μικρότερα κύματά του. Έτσι, μειώνεται ολοένα και περισσότερο η αναλογία του μπλε μέσα σ' αυτό. Το αποτέλεσμα μπορεί να προβλεφθεί. Το διαδιδόμενο φως, διανύοντας μέτριες αποστάσεις θα φαίνεται κιτρινωπό. Αλλά, καθώς ο ήλιος βυθίζεται προς τον ορίζοντα, οι ατμοσφαιρικές αποστάσεις μεγαλώνουν και, συνεπώς, και ο αριθμός των διασκορπιζόμενων σωματιδίων. Εξασθενούν διαδοχικά το μωβ, το ιώδες, το λουλακί και διαταράσσεται ακόμα και το ποσοστό του πράσινου. Το διαδιδόμενο φως, κάτω από αυτές τις συνθήκες, περνάει από το κίτρινο προς το κόκκινο διαμέσου του πορτοκαλί. Αυτό ακριβώς βλέπουμε να συμβαίνει και στη φύση. Έτσι, όταν το ανακλώμενο φως μας δίνει, το μεσημέρι, το βαθύ μπλε των Αλπικών ουρανών, το διαδιδόμενο φως μας δίνει, στο ηλιοβασίλεμα, το βαθύ κόκκινο των Αλπικών χιονιών (Tyndall 1906 σελ.149-152[335]).

Απόσπασμα 2: *Το μπλε του ουρανού, ο εμπειρικός έλεγχος με τη βοήθεια πειράματος προσομοίωσης, John Tyndall, 1872-3:*

Αλλά μπορεί στην πραγματικότητα να αποδειχθεί ότι μικρά σωματίδια δρουν με αυτόν τον τρόπο; Χωρίς αμφιβολία. Οποιοσδήποτε από εσάς μπορεί να υποβάλλει το ερώτημα σε πειραματικό έλεγχο. Το νερό δεν διαλύει το ρετσίνι, αλλά το οινόπνευμα το διαλύει. Και, όταν οινόπνευμα που περιέχει διαλυμένο ρετσίνι πέσει στο νερό, το ρετσίνι αμέσως διαχωρίζεται σε στερεά σωματίδια, που δίνουν στο νερό υφή γαλακτώματος. Η πυκνότητα του ιζήματος εξαρτάται από την ποσότητα του διαλυμένου ρετσινιού. Ο καθηγητής Brücke μας έδωσε τις αναλογίες που παράγουν σωματίδια που ταιριάζουν απόλυτα στην περίπτωσή μας. Ένα γραμμάριο καθαρής μαστίχας διαλύεται σε ογδόντα επτά γραμμάρια καθαρού οινοπνεύματος και το διαφανές αυτό διάλυμα διοχετεύεται σε ένα δοχείο που περιλαμβάνει καθαρό νερό υπό ζωηρή ανάδευση. Σχηματίζεται ένα υπερβολικά λεπτό ίζημα, που κάνει αισθητή την παρουσία του με τη βοήθεια του φωτός. Τοποθετώντας μια μαύρη επιφάνεια πίσω από το δοχείο και επιτρέποντας στο φως να πέσει πάνω σε αυτό από πάνω ή από το πλάι, το μέσον φαίνεται να χρωματίζεται μπλε του ουρανού. Ένα ίχνος σαπουνιού στο νερό του δίνει μια μπλε απόχρωση. Το γάλα του Λονδίνου δίνει κατά προσέγγιση το ίδιο χρώμα, διαμέσου διαδικασίας που έχει τα ίδια αίτια, και ο Helmholtz ασεβώς αποκάλυψε το γεγονός ότι τα μπλε μάτια είναι, απλά, ένα θολό μέσον (Tyndall 1906 σελ.152[335]).

Ενότητα 4. Πόσο ζυγίζει;

4.1. Η άνωση στα υγρά

Απόσπασμα 1: Η έννοια της άνωσης, *Αρχιμήδης, 3ος αιώνας π.Χ.:*

Εάν ένα στερεό ελαφρύτερο από ένα υγρό βυθιστεί με τη βία σε αυτό, τότε, το στερεό θα κινηθεί προς τα πάνω, κάτω από την επίδραση δύναμης, ίσης προς τη διαφορά του βάρους του από το βάρος του υγρού που εκτοπίζει (Αρχιμήδης στον Heath 1897 σελ.257[330]).

Εάν ένα στερεό βαρύτερο από ένα υγρό τοποθετηθεί μέσα σε αυτό, κατέρχεται στον πυθμένα του υγρού. Εάν το στερεό αυτό ζυγιστεί μέσα στο υγρό, θα βρεθεί ελαφρύτερο από το πραγματικό του βάρος, κατά το βάρος του υγρού που εκτοπίζει (Αρχιμήδης στον Heath 1897 σελ.258[330]).

Απόσπασμα 2: *Ο Γαλιλαίος διαβάζει Αρχιμήδη. Μελετά τα φαινόμενα πλεύσης. Συζητά την ευαισθησία φαινομένων βύθισης ή πλεύσης στο νερό, ως αποτέλεσμα απειροελάχιστων μεταβολών στην πυκνότητα των αντικειμένων που πλέουν και του νερού:*

Σαγκρέντο: Προσπάθησα, συχνά, με μεγάλη υπομονή να προσθέσω κόκκους άμμου σε μια σφαίρα από κερί, μέχρι να την κάνω να αποκτήσει το ίδιο ειδικό βάρος με το νερό, ώστε να ισορροπεί μέσα σε αυτό. Ωστόσο, δεν γνωρίζω, αν υπάρχει κάποια στερεή ουσία που να έχει από τη φύση της πυκνότητα τόσο παραπλήσια με την αυτήν του νερού, ώστε, όταν τοποθετείται οπουδήποτε μέσα στο νερό, να παραμένει σε ηρεμία.

Σαλβιάτι: Σε αυτήν όπως και σε χιλιάδες άλλες διαδικασίες, οι άνθρωποι ξεπερνιούνται από τα ζώα. Σε αυτό το πρόβλημα που περιέγραψες μπορεί κανείς να μάθει πολλά από τα ψάρια, τα οποία είναι ιδιαίτερα επιδέξια στο να διατηρούν την ισορροπία τους, όχι μόνο σε ένα είδος νερού, αλλά σε νερά που διαφέρουν σημαντικά, είτε από τη φύση τους, είτε από [114] τυχαίους παράγοντες – όπως η παρουσία λάσπης ή η αλατότητα – που προκαλούν σημαντικές διαφοροποιήσεις. Έτσι, τα ψάρια μπορούν να κρατούν πραγματικά τέλεια την ισορροπία τους, και να παραμένουν ακίνητα σε οποιαδήποτε θέση. Αυτό το καταφέρνουν, πιστεύω, με τη βοήθεια ενός εργαλείου με το οποίο ειδικά τα προίκισε η φύση. Πρόκειται για μια κύστη που έχουν στο σώμα τους, η οποία επικοινωνεί με το στόμα τους διαμέσου ενός λεπτού σωλήνα και τους επιτρέπει να αυξάνουν με τη θέλησή τους την ποσότητα του αέρα που περιέχει η κύστη: ανεβαίνοντας στην επιφάνεια του υγρού, προσλαμβάνουν επιπλέον αέρα, και, έτσι, με τη θέλησή τους καθιστούν το σώμα τους ελαφρύτερο ή βαρύτερο από το νερό, και διατηρούν την ισορροπία τους.

Σαγκρέντο: Με τη βοήθεια μιας άλλης συσκευής, στάθηκα ικανός να εξαπατήσω κάποιους φίλους, στους οποίους είπα ότι μπορούσα να κατασκευάσω μια σφαίρα από κερί που να βρίσκεται σε ισορροπία μέσα στο νερό. Στον πάτο του δοχείου έβαλα ποσότητα αλατισμένου νερού και πάνω σ' αυτό πρόσθεσα πόσιμο νερό. Στη συνέχεια, τους έδειξα ότι η σφαίρα σταμάτησε στο μέσον του δοχείου, και ότι, όταν πιεζόταν στον πάτο του δοχείου ή αναγκαζόταν να ανέβει στην επιφάνειά του, δεν παρέμενε σε καμία από τις δύο θέσεις, αλλά επέστρεφε στη μέση.

Σαλβιάτι: Αυτό το πείραμα δεν είναι χωρίς αξία. Γιατί, όταν οι γιατροί ελέγχουν τις διάφορες ποιότητες των νερών, και συγκεκριμένα τις ειδικές τους βαρύτητες, χρησιμοποιούν μια παρόμοιου τύπου σφαίρα, έτσι σταθμισμένη, ώστε σε ένα ορισμένο νερό να μην ανεβαίνει στην επιφάνεια, ούτε και να βυθίζεται. Στη συνέχεια, ελέγχοντας άλλο νερό, που να διαφέρει ως προς το ειδικό βάρος του από το προηγούμενο, έστω και λίγο, η σφαίρα θα βυθιστεί, αν το νερό είναι ελαφρύτερο, και θα ανέβει στην επιφάνεια, αν είναι βαρύτερο. Και το πείραμα αυτό είναι τόσο ακριβές, ώστε η πρόσθεση δύο κόκκων αλατιού σε έξι λίβρες νερού είναι αρκετή, για να κάνει τη σφαίρα να ανέβει στην επιφάνεια από τον πάτο που ήταν βυθισμένη. Για να απεικονίσουμε την ακρίβεια αυτού του πειράματος…, θα ήθελα να προσθέσω ότι αυτή η διαφορά στο ειδικό βάρος μπορεί να παραχθεί, όχι μόνο με τη διάλυση κάποιας βαρύτερης ουσίας, αλλά επίσης με τη θέρμανση ή την ψύξη. Και το νερό είναι τόσο ευαίσθητο σε αυτή τη διαδικασία, ώστε προσθέτοντας τέσσερεις σταγόνες άλλου νερού, που είναι λίγο θερμότερο ή ψυχρότερο από έξι λίβρες του πρώτου, μπορεί η σφαίρα να αναγκασθεί να βυθιστεί ή να ανέβει στην επιφάνεια. Θα βυθιστεί, αν προσθέσουμε θερμό νερό, και θα ανέβει στην επιφάνεια, αν προσθέσουμε, αντίθετα, κρύο νερό (Galilei 1638/1954, *1st day* [113-114][299]).

Απόσπασμα 3: «Εύρηκα», *Βιτρούβιος,1ος αιώνας π.Χ.:*

[9] Παρόλο που ο Αρχιμήδης έκανε πολλές και διάφορες εκπληκτικές ανακαλύψεις, αυτή που θα αναφέρω στη συνέχεια φαίνεται να είναι το αποτέλεσμα απεριόριστης ευστροφίας. Ο Ιέρων, αφού έγινε βασιλιάς στις Συρακούσες, αποφάσισε να τοποθετήσει σε ένα συγκεκριμένο τέμπλο ένα χρυσό στέμμα, αφιερωμένο στους αθάνατους θεούς, ως ένδειξη ευγνωμοσύνης για την επιτυχία του. Συμφώνησε με τον χρυσοχόο για την τιμή και του ζύγισε συγκεκριμένη ποσότητα χρυσού. Στον συμφωνημένο χρόνο, ο χρυσοχόος παρέδωσε στον βασιλιά ένα στέμμα εξαιρετικής τέχνης, του οποίου το βάρος φαινόταν να αντιστοιχεί απόλυτα στο βάρος του χρυσού που είχε συμφωνηθεί να περιέχει.

[10] Ωστόσο, αργότερα προέκυψε μια κατηγορία, ότι κατά την κατασκευή του στέμματος μέρος από την αρχική ποσότητα του χρυσού είχε αφαιρεθεί και είχε αντικατασταθεί από ίση σε βάρος ποσότητα αργύρου. Ο Ιέρωνας, βρίσκοντας εξοργιστικό το γεγονός ότι υπήρχε πιθανότητα να είχε εξαπατηθεί και να μην υπήρχε τρόπος να ανιχνεύσει την κλοπή, ζήτησε από τον Αρχιμήδη να εξετάσει το θέμα. Ο τελευταίος, πηγαίνοντας προς τα λουτρά, συνέχισε να σκέφτεται πώς να λύσει το πρόβλημα και, μπαίνοντας μέσα στη μπανιέρα, παρατήρησε ότι όσο το σώμα του βυθιζόταν, τόσο περισσότερο νερό έτρεχε έξω απ' τη μπανιέρα. Εντοπίζοντας τότε τη λύση στο πρόβλημα, πετάχτηκε έξω από τη μπανιέρα και έτρεξε προς το σπίτι του, φωνάζοντας πολλές φορές, ελληνικά, «εύρηκα, εύρηκα».

[11] Παίρνοντας το γεγονός αυτό ως αφετηρία για την ανακάλυψή του, λέγεται ότι έφτιαξε δύο αντικείμενα του ίδιου βάρους με το στέμμα, ένα από καθαρό χρυσάφι και ένα άλλο από ασήμι. Αφού τα κατασκεύασε, γέμισε ένα μεγάλο δοχείο με νερό, μέχρι το χείλος του, και έριξε μέσα το ασημένιο. Τότε, χύθηκε έξω τόσο νερό, όσος ήταν ο όγκος του ασημένιου αντικειμένου που βυθίστηκε στο δοχείο. Μετά, βγάζοντας έξω από το δοχείο το αντικείμενο, πρόσθεσε ξανά το νερό που είχε ξεχειλίσει, χρησιμοποιώντας ένα ζυγό, μέχρι που το νερό έφθασε στο ίδιο ύψος με αυτό που ήταν αρχικά. Έτσι, βρήκε το βάρος του

αργύρου που αντιστοιχούσε σε συγκεκριμένη ποσότητα νερού.

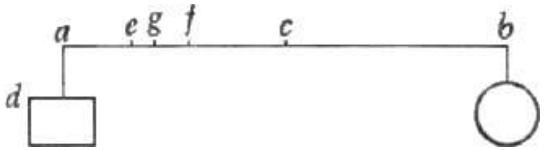
[12] Μετά από αυτό το πείραμα, βύθισε με τον ίδιο τρόπο το χρυσό αντικείμενο στο γεμάτο μέχρι το χείλος δοχείο, και αφαιρώντας το και μετρώντας το νερό, όπως προηγουμένως, βρήκε ότι δεν είχε ξεχειλίσει τόσο νερό όσο πριν, αλλά μια μικρότερη ποσότητα. Συγκεκριμένα, αυτό ήταν τόσο λιγότερο, όσο ο όγκος του χρυσού υπολειπόταν του όγκου ίσου βάρους αργύρου. Έτσι, γεμίζοντας ξανά το δοχείο, και βυθίζοντας τώρα το στέμμα στην ίδια ποσότητα νερού, βρήκε ότι χύθηκε έξω περισσότερο νερό από εκείνο που είχε ξεχειλίσει, όταν βυθίστηκε στο δοχείο ίδιου βάρους αντικείμενο από καθαρό χρυσό. Έτσι, με βάση το γεγονός ότι, στην περίπτωση του στέμματος, ξεχείλισε περισσότερο νερό, παρά στην περίπτωση του αντικειμένου από καθαρό χρυσό, μπόρεσε να ανιχνεύσει τη μίξη χρυσού με ασήμι και, με αυτόν τον τρόπο, να κάνει σαφή τη νοθεία του κατασκευαστή (Vitruvius, *The Ten Books on Architecture*, *Book IX*, *Introduction* [9]-[12][329]).

Απόσπασμα 4: *Ο Γαλιλαίος διαβάζει τον Βιτρούβιο και προτείνει τη δική του εκδοχή για το πείραμα του Αρχιμήδη:*

Παρά το ότι είναι καλά γνωστό στον καθένα που ενδιαφέρεται να μελετά τους αρχαίους ότι ο Αρχιμήδης ανακάλυψε τη νοθεία που έκανε ο χρυσοχόος στο στέμμα του Ιέρωνα, εμένα μου φαίνεται ότι η μέθοδος την οποία αυτός ο εξαίρετος άνθρωπος ακολούθησε σε αυτή την ανακάλυψη έχει μέχρι σήμερα παραμείνει άγνωστη. Κάποιοι συγγραφείς έγραψαν ότι βύθισε το στέμμα στο νερό, αφού προηγουμένως είχε βυθίσει χωριστά ίσες [σε βάρος] ποσότητες πολύ καθαρού χρυσού και αργύρου, και από τη διαφορά στη σύνθεσή τους διαφορετική ποσότητα νερού ανέβηκε ή ξεχείλισε. Έτσι, ο Αρχιμήδης μπόρεσε να ταυτοποιήσει το μείγμα αργύρου και χρυσού από το οποίο είχε κατασκευαστεί το στέμμα. Όμως η μέθοδος αυτή φαίνεται κάπως χοντροκομμένη και απέχει από κάθε επιστημονική ακρίβεια. Και μοιάζει ακόμα περισσότερο άτεχνη σε κάποιους που έχουν διαβάσει και κατανοήσει τη λεπτότητα των ανακαλύψεων και τη λεπτομέρεια των γραπτών αυτού του θείου ανθρώπου. Από αυτό μπορεί να διαπιστώσει κανείς ξεκάθαρα πόσο κατώτερη είναι η νοημοσύνη όλων μας σε σχέση με εκείνη του Αρχιμήδη και πόσο λίγες ελπίδες υπάρχουν να συμβούν κάποτε αντάξιας ποιότητας ανακαλύψεις. Πιστεύω, βαθιά, στη φήμη που ήθελε τον Αρχιμήδη να ανιχνεύει τη νοθεία με τη βοήθεια του νερού. Κάποιοι συγγραφείς εκείνης της εποχής άφησαν γραπτές μαρτυρίες για το γεγονός αυτό, και πιστεύω, ότι θέλοντας να εμπλουτίσουν τις περιορισμένες πληροφορίες που είχαν, είπαν ότι ο Αρχιμήδης χρησιμοποίησε το νερό με τον τρόπο που σήμερα γνωρίζουμε. Όμως η γνώση μου ότι αυτή η μέθοδος είναι λανθασμένη και απέχει από την επιστημονική ακρίβεια, την οποία τα μαθηματικά ερωτήματα απαιτούν, με έκανε πολλές φορές να αναρωτηθώ πώς θα μπορούσε κάποιος να προσδιορίσει την ακριβή σύσταση του μείγματος δύο μετάλλων, με τη βοήθεια του νερού. Και τελικά, μελετώντας όλα αυτά που ο Αρχιμήδης εκθέτει στα βιβλία του «*Σχετικά με τα σώματα που επιπλέουν*» και «*Ισορροπίες*», μου ήρθε στο μυαλό η μέθοδος η οποία λύνει το πρόβλημά μας με μεγάλη ακρίβεια. Θεωρώ πιθανό η μέθοδος αυτή να είναι η ίδια με εκείνη που ο Αρχιμήδης χρησιμοποίησε, αφού, εκτός από το ότι είναι πολύ ακριβής, βασίζεται στα πειραματικά συμπεράσματα του ίδιου του Αρχιμήδη.

Η μέθοδος συνίσταται στη χρησιμοποίηση μιας ζυγαριάς της οποίας την κατασκευή και τη χρήση θα εξηγήσουμε στη συνέχεια, αφού πρώτα αναπτύξουμε τα θέματα που χρειάζονται για την κατανόηση της λειτουργίας της. Θα πρέπει να γνωρίζουμε ότι ένα στερεό σώμα που βυθίζεται στο νερό ζυγίζει στο νερό, τόσο λιγότερο σε σχέση με το βάρος του στον αέρα, όσο ζυγίζει στον αέρα ποσότητα νερού ίση σε όγκο με τον όγκο του σώματος. Αυτή η αρχή διατυπώθηκε από τον Αρχιμήδη, αλλά, επειδή η διατύπωση του Αρχιμήδη είναι κάπως περίπλοκη, θα την αφήσω στην άκρη και χάριν συντομίας θα περιγράψω το ίδιο θέμα με διαφορετικά λόγια. Ας υποθέσουμε ότι μια σφαίρα από χρυσάφι βυθίζεται στο νερό. Αν η ίδια σφαίρα ήταν φτιαγμένη από νερό, δεν θα είχε καθόλου βάρος μέσα στο νερό, γιατί το νερό μέσα στο νερό ούτε βυθίζεται, ούτε επιπλέει. Είναι έτσι ξεκάθαρο ότι μέσα στο νερό η χρυσή μας σφαίρα ζυγίζει τόσο, όση είναι η διαφορά ανάμεσα στο βάρος της σφαίρας του χρυσού και της αντίστοιχης του νερού. Το ίδιο ακριβώς μπορεί να ειπωθεί και για άλλα μέταλλα. Και επειδή τα διαφορετικά μέταλλα έχουν διαφορετικά [ειδικά] βάρη, το βάρος τους στο νερό θα μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τη σύστασή τους. Ας υποθέσουμε, για παράδειγμα, ότι ο χρυσός ζυγίζει είκοσι φορές περισσότερο από το νερό. Είναι προφανές, με βάση τα παραπάνω, ότι ο χρυσός είναι μέσα στο νερό ελαφρύτερος κατά το ένα εικοστό του βάρους του [στον αέρα]. Ας υποθέσουμε τώρα ότι το ασήμι είναι λιγότερο βαρύ από τον χρυσό και ζυγίζει δώδεκα φορές περισσότερο από το νερό. Έτσι, το βάρος του χρυσού στο νερό μειώνεται λιγότερο από αυτό του αργύρου, εφόσον το πρώτο μειώνεται κατά το ένα εικοστό του και το δεύτερο κατά το ένα δωδέκατο αυτού.

Ας κρεμάσουμε τώρα ένα [κομμάτι] μετάλλου στο [ένα σκέλος] μιας ζυγαριάς μεγάλης ακριβείας, και στο άλλο σκέλος της ένα αντίβαρο βάρους ίσου με το βάρος του κομματιού αυτού του μετάλλου στον αέρα. Εάν τώρα βυθίσουμε το μέταλλο στο νερό και αφήσουμε το αντίβαρο στον αέρα, θα πρέπει να μεταφέρουμε το αντίβαρο κοντύτερα στο σημείο ανάρτησης [της φάλαγγας του ζυγού], προκειμένου να ισορροπήσουμε το μέταλλο. Ας ονομάσουμε, τώρα, *ab* τη φάλαγγα της ζυγαριάς και *c* το σημείο ανάρτησής της. Ας κρεμάσουμε ένα κομμάτι μετάλλου από το σημείο *b* και ας το ισορροπήσουμε με το βάρος d. Αν βυθίσουμε το βάρος *b* μέσα στο νερό, το βάρος d στο σημείο *a* θα ζυγίζει περισσότερο [από ότι το *b* μέσα στο νερό] και, προκειμένου να ισορροπήσουμε τη ζυγαριά, θα πρέπει να το μεταφέρουμε πιο κοντά στο σημείο ανάρτησης *c*, ας πούμε, στο σημείο *e*. Όσες φορές η απόσταση *ac* είναι μεγαλύτερη από την απόσταση *ae*, τόσες φορές το μέταλλο θα ζυγίζει περισσότερο από το νερό.



Εικόνα ΠVII.10.Σχέδιο στο οποίο το παρόν κείμενο ...(Galilei, La Bilancetta, 1586/1929 σελ.217[332])

Ας υποθέσουμε στη συνέχεια ότι το βάρος *b* είναι χρυσός και ότι, όταν αυτό ζυγίζεται μέσα στο νερό, το αντίβαρο μεταφέρεται στο *e*. Αν στη συνέχεια εκτελέσουμε το ίδιο πείραμα με πολύ καθαρό ασήμι, και το ζυγίσουμε μέσα στο νερό, θα πρέπει να μεταφέρουμε το αντίβαρο στο *f*. Αυτό το σημείο είναι πιο κοντά στο *c* [συγκριτικά με το *e*], όπως αποδεικνύεται πειραματικά, γιατί ο άργυρος είναι ελαφρύτερος του χρυσού. Η διαφορά

ανάμεσα στην απόσταση *af* και την απόσταση *ae* είναι η ίδια με τη διαφορά ανάμεσα στο [ειδικό] βάρος του χρυσού και του ασημιού. Είναι ξεκάθαρο ότι ένα μείγμα χρυσού και αργύρου ζυγίζει λιγότερο από τον καθαρό χρυσό, επειδή περιέχει ασήμι, και περισσότερο από το καθαρό ασήμι, επειδή περιέχει χρυσό. Εάν επομένως ζυγίσουμε το μείγμα καταρχήν στον αέρα και στη συνέχεια θελήσουμε, χρησιμοποιώντας το ίδιο αντίβαρο, να το ισορροπήσουμε μέσα στο νερό, θα πρέπει να μετακινήσουμε το αντίβαρο κοντύτερα στο σημείο ανάρτησης *c* από το σημείο *e* που αντιστοιχεί στον χρυσό και σε μεγαλύτερη απόσταση από το σημείο *f* που αντιστοιχεί στο καθαρό ασήμι, και έτσι το νέο σημείο θα βρίσκεται ανάμεσα στα σημεία *e* και *f*.

Από το λόγο στον οποίο θα διαιρεθεί η απόσταση *ef* θα μπορέσουμε με ακρίβεια να προσδιορίσουμε την αναλογία των δύο μετάλλων στο μείγμα. Έτσι, ας υποθέσουμε για παράδειγμα ότι το μείγμα χρυσού και αργύρου τοποθετείται στο *b* και ισορροπείται στον αέρα από το *d*, και ότι αυτό το αντίβαρο μεταφέρεται στο *g*, όταν το μείγμα βυθίζεται στο νερό. Τότε, ο χρυσός και το ασήμι που συνθέτουν αυτό το μείγμα θα βρίσκονται σε αναλογία ίση προς το λόγο των αποστάσεων *fg* και *ge*. Θα πρέπει, ωστόσο, να σημειώσουμε ότι η απόσταση *gf*, η οποία έχει ως άκρο το σημείο που αναλογεί στον άργυρο, μπορεί να μας δείξει το σύνολο του χρυσού και η απόσταση *ge*, που έχει ως άκρο το σημείο που αντιστοιχεί στον χρυσό υποδεικνύει την ποσότητα του αργύρου. Έτσι, εάν η απόσταση *fg* είναι διπλάσια της *ge*, τότε το μείγμα θα αποτελείται από δύο μέρη χρυσού και ένα αργύρου. Και με αυτόν τον τρόπο, προχωρώντας στην ανάλυση και άλλων κραμάτων, μπορούμε να προσδιορίσουμε με ακρίβεια τις ποσότητες των απλών μετάλλων που τα συνθέτουν...(Galilei, *La bilancetta*, 1586/1929 σελ.215-216[332]).

Απόσπασμα 5: *Προσδιορίζοντας τη σύσταση των κραμάτων με τον υδροστατικό ζυγό, Jean Battista Della Porta, 1589:*

«Πώς η ελαφρότητα στο νερό και στον αέρα μπορεί να διαφέρει και ποια τεχνάσματα μπορεί να προκύψουν από αυτό»

Ο Βιτρούβιος λέει ότι ο Αρχιμήδης έγραψε σχετικά με το θέμα αυτό. Αναφέρει ότι ο Ιέρων, θέλοντας να κατασκευάσει ένα χρυσό στέμμα αφιερωμένο στους θεούς, έδωσε στον χρυσοχόο την κατάλληλη ποσότητα χρυσού, και ότι ο τελευταίος, αφού εκτέλεσε την παραγγελία με επιμέλεια, παρέδωσε το στέμμα, που ζύγιζε ακριβώς όσο η αρχική ποσότητα χρυσού. Αλλά, αργότερα, κυκλοφόρησε η φήμη ότι ο χρυσοχόος είχε κλέψει μέρος από το χρυσάφι και ότι αντικαθιστώντας το με ασήμι είχε καταφέρει να δώσει στο στέμμα το προβλεπόμενο βάρος. Ο Ιέρων, ενοχλημένος, ανέθεσε στον Αρχιμήδη να λύσει το πρόβλημα. Εκείνος, τότε, ετοιμαζόταν να κάνει το μπάνιο του και, τυχαία, καθώς μπήκε μέσα στη μπανιέρα, παρατήρησε ότι όσο περισσότερο βυθιζόταν, τόσο περισσότερο νερό έτρεχε έξω απ' αυτήν. Όταν κατάλαβε το λόγο για τον οποίο αυτό συνέβαινε, πετάχτηκε έξω ενθουσιασμένος και έτρεξε προς το σπίτι του φωνάζοντας *εύρηκα*, *εύρηκα*, που σημαίνει *το βρήκα*, *το βρήκα*. Λέγεται ότι, στη συνέχεια, κατασκεύασε δύο βώλους ίσου βάρους με το στέμμα, μια από χρυσό και μια από ασήμι. Μετά, γέμισε ένα δοχείο με νερό μέχρι το χείλος και τοποθέτησε μέσα το ασήμι. Το μέγεθος αυτού του αντικειμένου, όταν αυτό εισήλθε στο νερό, έκανε το νερό να ξεχειλίσει. Στη συνέχεια, βγάζοντας έξω τον ασημένιο βώλο, συμπλήρωσε το δοχείο ξανά με νερό, μετρώντας την ποσότητά του. Έτσι, βρήκε πόση ποσότητα νερού αντιστοιχούσε στο βώλο από ασήμι. Στη συνέχεια, τοποθέτησε τον χρυσό βώλο μέσα στο δοχείο και, αφού τον έβγαλε πάλι έξω και συμπλήρωσε το νερό, βρήκε ότι ξεχείλισε μικρότερη ποσότητα νερού, και ότι αυτή ήταν τόσο λιγότερη, όσο ο βώλος του χρυσού ήταν μικρότερος σε σχέση με τον ίσου βάρους βώλο από ασήμι. Στη συνέχεια, γέμισε το δοχείο με νερό και έβαλε μέσα το στέμμα και, επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία, διαπίστωσε ότι ξεχείλισε περισσότερο νερό εξαιτίας του στέμματος, από όσο είχε ξεχειλίσει εξαιτίας του χρυσού βώλου. Από αυτό έβγαλε το συμπέρασμα ότι το στέμμα περιελάμβανε προσμίξεις άλλων μετάλλων. Αυτή ήταν η επινόηση των Ελλήνων, η οποία είναι πολύ αξιόλογη. Αλλά η διαδικασία είναι δύσκολη. Γιατί στην περίπτωση που οι ποσότητες είναι μικρές, η νοθεία δεν μπορεί να ανιχνευτεί με τη βοήθεια του συγκεκριμένου δοχείου. Σήμερα, έχει εφευρεθεί ένας τρόπος να εξετάζονται όλα τα νομίσματα, όσο μικρά κι αν είναι, και επειδή δεν χρειάζονται γι' αυτό πολλά όργανα, μπορούμε να φωνάξουμε δυνατά: *σούπερ εύρηκα, σούπερ εύρηκα*, γιατί έχουμε προχωρήσει πέρα από το *εύρηκα* του Αρχιμήδη.

«Στο να μπορούμε να βρίσκουμε τη σύσταση οποιουδήποτε μείγματος αργύρου και χρυσού».

Παίρνουμε μια ζυγαριά ακριβείας και τοποθετούμε στο ένα σκέλος της οποιοδήποτε μέταλλο. Στο άλλο σκέλος τοποθετούμε ίδιο βάρος από το ίδιο μέταλλο, αλλά όσο γίνεται μεγαλύτερης καθαρότητας. Και αφού η ζυγαριά ισορροπήσει στον αέρα, την βυθίζουμε σε δοχείο γεμάτο με νερό σε βάθος μισού ποδιού. Στη συνέχεια, συμβαίνει το παράξενο, η ζυγαριά, που ισορροπεί στον αέρα, να χάνει την ισορροπία της μέσα στο νερό. Αυτό συμβαίνει, γιατί το μεταλλικό αντικείμενο που φέρει προσμίξεις κάνει το σκέλος της ζυγαριάς από το οποίο κρέμεται να ανέρχεται προς τα πάνω, και το καθαρό μέταλλο κάνει το άλλο σκέλος να βυθίζεται προς τον πάτο. Ο λόγος είναι ότι ο καθαρός χρυσός, ο οποίος έτσι συγκρίνεται με τα κράματά του, βρίσκεται βαρύτερος από αυτά, γιατί καταλαμβάνει λιγότερο χώρο. Έτσι, κάνει το ζυγό να γέρνει προς το μέρος του. Εάν, στη συνέχεια, θέλουμε να ξέρουμε πόσο ασήμι υπάρχει στο χρυσό αντικείμενο, τοποθετούμε τόσο καθαρό χρυσό στο άλλο σκέλος της ζυγαριάς, ώστε αυτή να ισορροπεί κάτω από το νερό. Αφού ισορροπήσει, τη βγάζουμε από το νερό. Αν μετρήσουμε τη διαφορά βάρους που τώρα δείχνει η ζυγαριά, αυτή θα ταυτίζεται με το βάρος των προσμίξεων στο χρυσό αντικείμενο. Εάν θέλουμε να μάθουμε πόσος χρυσός υπάρχει σε ένα επιχρυσωμένο σκεύος, τοποθετούμε το σκεύος στο ένα σκέλος και τόσο καθαρό ασήμι στο άλλο σκέλος, ώστε η ζυγαριά να ισορροπεί στον αέρα. Στη συνέχεια, βάζουμε τη ζυγαριά στο νερό και το σκεύος βυθίζεται. Τότε, τοποθετούμε στο άλλο σκέλος καθαρό χρυσό, τόσο , ώστε η ζυγαριά να ισορροπεί μέσα στο νερό. Όταν βγάλουμε τη ζυγαριά από το νερό και δούμε την ένδειξη που αναλογεί στο βάρος που προσθέσαμε, για να την ισορροπήσουμε κάτω από το νερό, η ένδειξη αυτή θα αντιστοιχεί με το βάρος του χρυσού στο επιχρυσωμένο σκεύος (Della Porta 1658 σελ.354-355[331]).

4.2. Η άνωση στον αέρα

Απόσπασμα 1: *Ο Γαλιλαίος συζητά πώς μπορεί να υπολογιστεί η άνωση στον αέρα. Γαλιλαίος, 1638:*

Σιμπλίκιο: Κανείς δεν αμφιβάλλει για την εξυπνάδα και την πρωτοτυπία των συσκευών σου. Αλλά ενώ φαίνεται να προσφέρουν πλήρη διανοητική ικανοποίηση, με μπερδεύουν σε μια άλλη κατεύθυνση. Γιατί, εφόσον είναι αναμφισβήτητα αλήθεια ότι τα στοιχεία στη φυσική τους θέση δεν έχουν ούτε βάρος, ούτε ελαφρότητα, δεν μπορώ να καταλάβω πώς είναι δυνατόν αυτή η ποσότητα του αέρα, η οποία φάνηκε να ζυγίζει, ας πούμε, τέσσερα δράμια άμμου, να μπορεί να έχει αυτό το βάρος στον αέρα, όπως η άμμος που χρησιμοποιείται ως αντίβαρό του. Μου φαίνεται, επομένως, ότι το πείραμα θα έπρεπε να εκτελεστεί, όχι στον αέρα, αλλά σε ένα μέσον στο οποίο ο αέρας θα μπορούσε να επιδεικνύει την ιδιότητα του βάρους του, αν αυτή πράγματι υπάρχει.

Σαλβιάτι: Η αντίρρηση του Σιμπλίκιο είναι πολύ εύστοχη και θα πρέπει, είτε να μείνει αναπάντητη, είτε να απαιτήσει μια εξίσου εύστοχη απάντηση. Είναι απολύτως προφανές ότι αυτός ο αέρας, ο οποίος όταν συμπιέστηκε ζύγιζε τόσο όσο η άμμος, χάνει αυτό το βάρος όταν αφήνεται να δραπετεύσει μέσα στον ίδιο τον αέρα, ενώ, αντίθετα, η άμμος κρατά το βάρος της. Έτσι, από αυτό το πείραμα προκύπτει η ανάγκη να επιλέξουμε ένα μέρος, όπου ο αέρας, όπως και η άμμος, μπορούν να έχουν βάρος. Γιατί, όπως έχει συχνά διαπιστωθεί, το μέσον μειώνει το βάρος κάθε ουσίας βυθισμένης σε αυτό, κατά μια ποσότητα ίση προς το βάρος του μέσου που εκτοπίζει. Έτσι, ο αέρας χάνει όλο του το βάρος. Εάν λοιπόν, Σιμπλίκιο, επρόκειτο το πείραμα να πραγματοποιηθεί με ακρίβεια, θα έπρεπε να πραγματοποιηθεί στο κενό, όπου κάθε βαρύ σώμα κινείται χωρίς καθόλου μείωση της ορμής του (moment/momentum). Έτσι, Σιμπλίκιο, εάν μπορούσες να ζυγίσεις μια ποσότητα αέρα στο κενό, θα μπορούσες ,τότε, να θεωρήσεις τον εαυτό σου ικανοποιημένο και βέβαιο για το αποτέλεσμα;

Σιμπλίκιο. Μα φυσικά. Αλλά αυτό είναι σαν να εύχεσαι ή να ζητάς το αδύνατο (Galilei 1638/1954, 1st day [125][299]).

Απόσπασμα 2: *Σώματα με διαφορετικά ειδικά βάρη, χάνουν την ισορροπία τους στο κενό, Boyle 1660:*

Πήραμε μια στεγνή κύστη, καλά δεμένη στο λαιμό και περίπου κατά το ήμισυ γεμάτη με αέρα, και, αφού τη δέσαμε από τη μια πλευρά μιας ζυγαριάς ακριβείας, τοποθετήσαμε ένα μεταλλικό αντίβαρο στην αντίθετη πλευρά. Και έτσι, αφού ισορροπήσαμε τα δύο βάρη, τοποθετήσαμε τη ζυγαριά μέσα στον κώδωνα της αντλίας κενού, και την κρεμάσαμε από το επάνω μέρος αυτού, και παρατηρήσαμε ότι, αφού η ζυγαριά ισορρόπησε, η κύστη φαινόταν να υπερτερεί σε βάρος. Τότε, βγάλαμε τη ζυγαριά από τον κώδωνα και τη φέραμε σε ισορροπία, δίνοντας μικρό πλεονέκτημα στο μεταλλικό αντίβαρο. Στη συνέχεια, τη μεταφέραμε ξανά μέσα στον κώδωνα χωρίς η αντλία να τεθεί αρχικά σε λειτουργία. Αμέσως μετά και πριν η αντλία να τεθεί σε λειτουργία, η κύστη φαινόταν, ξανά, να υπερτερεί λίγο σε βάρος. Τότε, αρχίσαμε να αφαιρούμε τον αέρα από τον κώδωνα και η κύστη φούσκωσε και, σύντομα, ανασήκωσε το βάρος που βρισκόταν στην αντίθετη πλευρά, οδηγώντας προς τα κάτω το μέρος της ζυγαριάς στην οποία ήταν δεμένη. Αυτό εντάθηκε, όταν η κύστη διογκώθηκε πλήρως. Όταν αυτό συνέβη, αφήσαμε τον εξωτερικό αέρα να εισέλθει με πολύ αργό ρυθμό στο εσωτερικό του κώδωνα. Τότε, παρατηρήσαμε ότι η κύστη σιγά-σιγά ξεφούσκωσε και το σκέλος της ζυγαριάς απ' όπου αυτή ήταν δεμένη, όχι μόνο επέστρεψε βαθμιαία στην ισορροπία, αλλά ξεπεράστηκε λίγο σε βάρος από το αντίβαρο. Ωστόσο, μετά από λίγο, η κύστη άρχισε να υπερτερεί ξανά σε βάρος και για ώρες η ζυγαριά έγερνε προς το μέρος της. Μετά από αυτό, αφήσαμε το δοχείο κλεισμένο όλη τη νύχτα και το επόμενο πρωί βρήκαμε την κύστη πεσμένη ακόμη χαμηλότερα, σαν το υλικό της να είχε απορροφήσει κάποια από την υγρασία που αφθονεί στον αέρα, όπως οι χορδές των μουσικών οργάνων που, όπως είναι γνωστό, διογκώνονται τόσο πολύ τις βροχερές ημέρες, που σπάνε. Αυτή η εικασία είναι η πιο πιθανή, γιατί, όταν ζεστάναμε λίγο την κύστη, τη βρήκαμε ελαφρύτερη από το αντίβαρο. Και επίσης, γιατί είδαμε ότι, όταν, χωρίς να μετακινήσουμε τη ζυγαριά ή τον κώδωνα της αντλίας, αφαιρέσαμε ξανά τον αέρα, και ενώ ο καιρός παρέμενε πολύ βροχερός, δεν υπήρξε μεγάλη μετατόπιση στη ζυγαριά.

Προκειμένου να πραγματοποιήσουμε το πείραμα με ένα σώμα λιγότερο ευαίσθητο στη θερμοκρασία του αέρα, σε σύγκριση με την κύστη, ισορροπήσαμε στη ζυγαριά δύο βάρη, το ένα από μολύβι και το άλλο από φελλό. Και εκκενώνοντας τον κώδωνα, παρατηρήσαμε ότι, τόσο κατά τη διαδικασία εξαγωγής του αέρα, όσο και μετά την επιστροφή του, ο φελλός υπερτερούσε σε βάρος, και μάλιστα, υπερτερούσε περισσότερο, αφού ο αέρας αφέθηκε να εισέλθει στον κώδωνα, παρά όταν αφαιρούταν. Μετά από αυτό, χρησιμοποιήσαμε ένα κομμάτι κάρβουνου στη θέση του φελλού, γιατί το κάρβουνο έχει μικρότερη τάση να απορροφά την υγρασία του αέρα. Ωστόσο, το αποτέλεσμα αποδείχθηκε περίπου το ίδιο. Έτσι, η πειραματική αυτή διαδικασία φαίνεται επιρρεπής σε ατυχήματα (Boyle, *Pneumatics*, 1725 ed.II σελ.445-446[302]).

Απόσπασμα 3: *Το πείραμα του βαροσκόπιου, Ganot, μέσα 19ου αιώνα:*

Περιγραφή: Αυτό το όργανο συνιστά ένα είδος μικρής ζυγαριάς, η φάλαγγα της οποίας φέρει αντί για δίσκους, στη μια πλευρά μια μικρή μάζα μολύβδου *b* και στην άλλη μια κοίλη σφαίρα χαλκού a, της οποίας ο όγκος είναι περίπου μια κυβική παλάμη. Μπορούμε να ρυθμίσουμε την απόσταση της μάζας *b* με τέτοιο τρόπο, ώστε τα δύο σώματα να βρίσκονται σε ισορροπία, είτε στον αέρα, είτε στο κενό.

Χρήση: Αυτό το όργανο εφευρέθηκε από τον Otto von Guericke, προκειμένου να μετρήσει, ή τουλάχιστον να εκτιμήσει, τις μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης[ccxxvi]. Σήμερα, χρησιμεύει μόνο για την επίδειξη της άνωσης στα αέρια και την επιβεβαίωση της αρχής του Αρχιμήδη, που στην περίπτωση αυτή λαμβάνει τη μορφή:

Όλα τα σώματα που βρίσκονται μέσα σε ένα αέριο φαίνεται να χάνουν ένα μέρος του βάρους τους ίσο με το βάρος του αερίου που εκτοπίζουν.

[ccxxvi] Από αυτή την ιδιότητα του οργάνου προέρχεται και το όνομά του (δηλαδή, από τις λέξεις «βάρος» [pésanteur, κατά τη μετάφραση του Ganot] και «σκοπείν» που σημαίνει εξετάζω [examiner, κατά τη μετάφραση του Ganot]) (σημείωση του συγγραφέα).

Ξεκινάμε, οριζοντιώνοντας τη φάλαγγα στον αέρα. Στη συνέχεια, τοποθετούμε το όργανο στον κώδωνα της αντλίας κενού και αφαιρούμε τον αέρα. Παρατηρούμε, τότε, ότι η φάλαγγα γέρνει προς την πλευρά της ογκώδους σφαίρας. Αυτό προφανώς αποδεικνύει ότι το πραγματικό βάρος της σφαίρας είναι μεγαλύτερο από αυτό της μικρής μολύβδινης σφαίρας, γιατί υπό τις νέες συνθήκες δεν δέχονται την επίδραση κάποιας αισθητής άνωσης και, έτσι, η ένδειξη του ζυγού αντιπροσωπεύει τη διαφορά βάρους τους. Επομένως, όταν το βαροσκόπιο ισορροπούσε στον αέρα, αυτό συνέβαινε, επειδή η διαφορά βάρους της ογκώδους σφαίρας εξισορροπείτο από τη διαφορά της άνωσης που δεχόταν από το αέριο, γεγονός που ακριβώς αποδεικνύει και την ύπαρξη της άνωσης.

Θα μπορούσαμε να πραγματοποιήσουμε το αντίστροφο πείραμα, δηλαδή, να ισορροπήσουμε τη σφαίρα με τη βοήθεια του αντίβαρου, αρχικά στο κενό και στη συνέχεια να αφήσουμε τον αέρα να εισέλθει στο εσωτερικό του κώδωνα. Θα βλέπαμε, τότε, τη φάλαγγα να γέρνει προς την πλευρά της μολύβδινης μάζας (Ganot 1894 σελ.204-205[333]).

ΠΥΙΙ.11.Σχέδιο στο οποίο το παρόν κείμενο αναφέρεται (Ganot 1894 σελ.205[333])

Απόσπασμα 4: *Σύντομη έκθεση πάνω στο στατικό βαροσκόπιο που γράφτηκε από τον κ. Boyle στις 24 Μαρτίου 1665 σε γράμμα προς τον κ.H.Oldenburg:*

Δεν πάει πολύς καιρός που σας γνωστοποίησα ότι η σπουδή και η έλλειψη χρόνου δεν μου επέτρεπε να σας παρουσιάσω την εργασία μου, σχετικά με το νέο είδος βαροσκόπιων. Καθώς, ωστόσο, τα γράμματά σας με πληροφόρησαν ότι σχεδιάζετε, τώρα, να διαδώσετε στους επιστημονικά περίεργους όση περισσότερη πληροφορία μπορείτε, σχετικά με το βαροσκόπιο, θα επιχειρήσω να σας εκθέσω εδώ ό,τι δεν έχω ήδη περιγράψει (στο προηγούμενο γράμμα μου) προς σας.

Παρόλο που με τη βοήθεια ενός κειμένου που μπορείτε να βρείτε στην 19η και 20η σελίδα των *Πειραμάτων και σκέψεών μου πάνω στο Θερμόμετρο*, μπορείτε να βρείτε ότι λίγα χρόνια νωρίτερα σκεφτόμουνα, ήδη, αυτό το νέο είδος του βαροσκόπιου. Ωστόσο, οι διαφορές βάρους του ατμοσφαιρικού αέρα δεν ήταν αυτές που περίμενα, και, καθώς ήμουν εντελώς απρόθυμος να στερήσω τον εαυτό μου από την ακρίβεια της εξαιρετικότερης ζυγαριάς που εγώ (ή ίσως κάποιος άλλος) θα μπορούσε ποτέ να έχει[ccxxvii], σας ομολογώ ότι επέτρεψα σε άλλες ασχολίες να βγάλουν από τη σκέψη μου αυτή την προσπάθεια για δυο ή τρία χρόνια. Μέχρι που κάποια στιγμή, επιστρέφοντας σε ένα μέρος όπου έτυχε να βρω δύο ή τρεις ζυγαριές που είχα αφήσει εκεί, η εικόνα τους μου έφερε ξανά στο μυαλό το βαροσκόπιο. Η επιθυμία μου να εκτελέσω το πείραμα τροποποίησε την τόσο μακρόχρονη αμέλειά μου και με έκανε να σκεφτώ ότι, παρόλο που δεν ήμουν σε θέση να πετύχω ακρίβεια, αν κατάφερνα να κατασκευάσω μια φούσκα από γυαλί λίγο μεγαλύτερη και ελαφρύτερη από τις συνηθισμένες, θα μπορούσα ακόμα και με αυτές τις ζυγαριές να δείξω σε κάποιο βαθμό αυτό που επιθυμούσα να καταφέρω με τις εξαιρετικές ζυγαριές στις οποίες προηγουμένως αναφέρθηκα.

Έτσι, ζήτησα να μου κατασκευάσουν φούσκες από φυσητό γυαλί, όσο το δυνατόν μεγαλύτερες, λεπτότερες και ελαφρότερες. Και διαλέγοντας μια από αυτές, που έμοιαζε η λιγότερο ακατάλληλη για το σκοπό μου, την ισορρόπησα σε μια δοκό η οποία έχανε την ισορροπία της με περίπου 1/30 του κόκκου (grain) [ccxxviii] και ήταν κρεμασμένη σε ένα πλαίσιο. Τοποθέτησα τη ζυγαριά αυτή κοντά σε ένα καλό βαροσκόπιο, από το οποίο μπορούσα να πληροφορούμαι κάθε στιγμή το βάρος της ατμόσφαιρας. Τότε, όταν άφησα τα όργανα πλάι-πλάι, παρόλο που η ζυγαριά ήταν αυτή που περιέγραψα, και όχι καλύτερη, είδα ότι, παρόλο που δεν ήταν σε θέση να μου δείξει όλες τις εναλλαγές βάρους της ατμόσφαιρας που έδειχνε το υδραργυρικό βαροσκόπιο (mercurial baroscope), εντούτοις ήταν σε θέση να κάνει αυτό που είχα προβλέψει, δηλαδή, να αποτυπώνει διακυμάνσεις που δεν ήταν μεγαλύτερες από αυτές που μετέβαλαν το ύψος του υδραργύρου κατά το μισό του ενός τετάρτου της ίντσας και ίσως ήταν και πολύ μικρότερες και από το μέγεθος αυτό. Δεν αμφέβαλλα, εξάλλου, ότι εάν είχα, είτε πιο ευαίσθητη ζυγαριά, είτε, γενικότερα, τα μέσα, για να εφοδιάσω το πείραμα με καταλληλότερο εξοπλισμό, θα μπορούσα να διακρίνω ακόμη μικρότερες διακυμάνσεις του βάρους του αέρα. Κι αυτό γιατί είχα την ικανοποίηση να δω τη φούσκα μερικές φορές σε ισορροπία με το αντίβαρο, άλλες φορές, όταν η ατμόσφαιρα ήταν ελαφριά (when the atmosphere was high), να υπερτερεί σε βάρος, τόσο έκδηλα, ώστε η ζυγαριά να χάνει αισθητά την ισορροπία της και ο δείκτης της να μετατοπίζεται συνεχώς προς την πλευρά απ' όπου κρεμόταν η φούσκα. Άλλες φορές (όταν ο αέρας ήταν βαρύτερος (when the air was heavier)), έβλεπα να υπερτερεί σε βάρος το αντίβαρο και κατά την ταλάντωση της ζυγαριάς να κάνει το δείκτη να μετατοπίζεται προς τη μεριά του. Και αυτό μπορούσε να συνεχίζεται για πολλές μέρες, τη μια μετά την άλλη, εάν ο αέρας διατηρούσε στο ίδιο διάστημα την ίδια τιμή της βαρύτητάς του, και στη συνέχεια (ως συνέπεια μεταβολών), η φούσκα κέρδιζε την ισορροπία της ή υπερτερούσε σε βάρος. Έτσι, πολλές φορές είχα την ευχαρίστηση, κοιτάζοντας πρώτα το στατικό βαροσκόπιο (όπως θα το αποκαλούμε στη συνέχεια), να μπορώ να προβλέψω τη στάθμη του υδραργυρικού βαρόμετρου. Αυτές οι παρατηρήσεις γίνονταν πολύ συστηματικά κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ήταν αραιότερες το καλοκαίρι (γιατί ήμουν συχνά απών κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου). Γίνονταν επίσης και κατά την άνοιξη, οπότε η συχνότητα των μεταβολών (η οποία πολλές φορές δεν ήταν παρά τυχαία) έκανε τη μελέτη περισσότερο ευχάριστη (Boyle*, The General History of the Air Designed and Begun, 1772* ed. V σελ.648-649[350]).

[ccxxvii] Οι ζυγαριές στις οποίες γίνεται αναφορά ήταν ικανές να κάνουν αντιληπτές στον ασκημένο παρατηρητή διαφορές του ενός χιλιοστού του κόκκου (grain).

[ccxxviii] Κόκκος (grain)= μονάδα μάζας = 0,065 γραμμάρια.

4.3. *Το πέταγμα των πουλιών*

Απόσπασμα 1: *Πειραματική διάλεξη του George Adams, κατασκευαστή επιστημονικών οργάνων, 1794: Τα πουλιά και η «πλεύση» στον αέρα…:*

Τα πουλιά χρησιμοποιούν την αντίσταση του αέρα, προκειμένου να διευκολύνουν τις κινήσεις τους, με τον ίδιο τρόπο που τα ψάρια χρησιμοποιούνε το νερό. Χτυπώντας με τα φτερά τους τον αέρα, προχωρούν μπροστά, ενώ η ουρά τους χρησιμεύει ως πηδάλιο, για να κατευθύνει την κίνησή τους. Το οστό του στήθους, αντί να είναι επίπεδο, βγαίνει από τη σπονδυλική στήλη και αναπτύσσεται σε σχήμα αιχμηρής καρίνας, κι' αυτό τους επιτρέπει να σχίζουν τον αέρα με μεγαλύτερη ευκολία. Για τον ίδιο σκοπό, τα κεφάλια των πουλιών είναι αναλογικά μικρότερα από εκείνα των τετράποδων και τα περισσότερα από αυτά καταλήγουν σε λεπτά αιχμηρά ράμφη.

Όμως, επειδή η αντίσταση του αέρα είναι μικρότερη από του νερού, ο αέρας θα πρέπει να χτυπιέται με μεγαλύτερη ταχύτητα ή με μεγαλύτερη επιφάνεια. Έτσι, μπορείτε να δείτε ότι πουλιά που πετούν για περισσότερο χρόνο και πιο μακριά, όπως τα χελιδόνια, έχουν γενικά μικρά σώματα, πολλά πούπουλα και μεγάλα φτερά. Αντίθετα, αυτά που διανύουν πετώντας μικρότερες αποστάσεις ή πετούν λιγότερο συχνά έχουν, γενικά, περισσότερο κρέας και λιγότερα φτερά. Τα τελευταία, αν τα παρατηρήσετε, θα δείτε ότι κατά την πτήση χτυπάνε τα φτερά τους συχνότερα από τα πρώτα. Τα σπουργίτια, οι σπίνοι, καρδερίνες, οι κοκκινόσπινοι κλπ, πετούν, όπως ξεκινούν, και δεν συγκρατούν τον εαυτό τους για πολύ στην ίδια κατεύθυνση. Τα φτερά τους δεν μπορούν να ανοίξουν και να σηκώσουν το σώμα τους. Το σώμα τους ανασηκώνεται από την ταχεία κίνηση των φτερών, την οποία πρέπει συχνά να διακόπτουν: κατά τη διάρκεια αυτής της διακοπής, το βάρος τους υπερισχύει και χάνουν μέρος του ύψους που είχαν κερδίσει, οπότε η πτήση τους δεν είναι παρά η διαδοχή από τινάγματα και ξεκινήματα. Υπάρχουν πουλιά που κρατούν το βάρος τους για κάποιον χρόνο στο ίδιο ύψος, χωρίς να φαίνεται ότι κινούν τα φτερά τους. Αυτό ονομάζεται ζύγιασμα. Υπάρχει μικρή αμφιβολία για το ότι κινούν τα φτερά τους κατά τη διάρκειά του. Αλλά οι δονήσεις είναι, τότε, τόσο γρήγορες και μικρές, που δεν μπορούν να γίνουν αντιληπτές από μεγάλη απόσταση. Μπορείτε να παρατηρήσετε ότι τα πουλιά που ζυγιάζονται είναι υποχρεωμένα από καιρού εις καιρόν να κερδίζουν, ξανά με κανονικό πέταγμα, το ύψος που ανεπαίσθητα έχουν χάσει, και, στη συνέχεια με πιο αργές και περισσότερο απλωτές κινήσεις, να ξεκουράζονται, σαν να έχουν κουραστεί οι μυς τους από αυτές τις σύντομες και συχνές κινήσεις (Adams 1794 σελ. 139-140[304]).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VIII: «Οι πρώτες ημέρες του ηλεκτρισμού» - Υποστηρικτικό υλικό

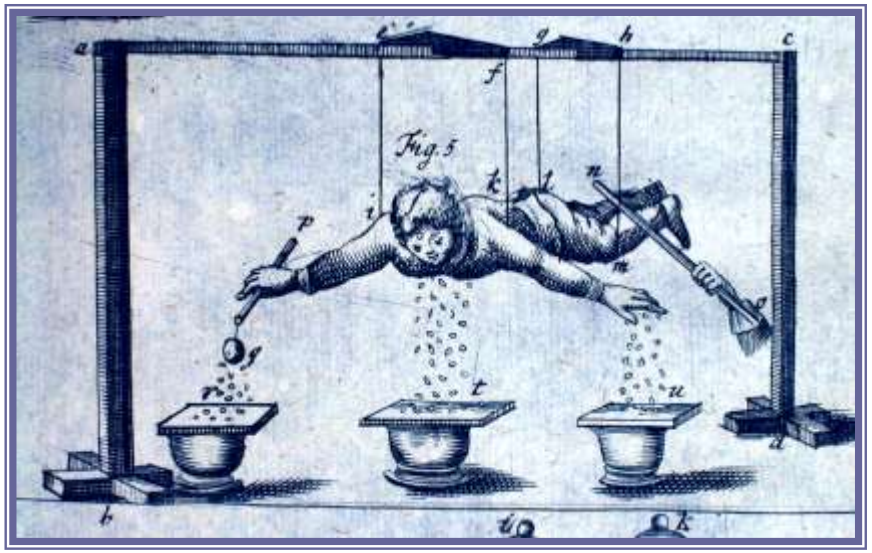
Ενότητα 1: Η πειραματικής διάλεξη : Βιβλίο μαθητή - Τελική έκδοση

Σύνταξη εντύπου: Φλώρα Πάπαρου

Μουσείο Ιστορίας & Φυσικής Χίου

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

«ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΗΜΕΡΕΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ»



ΒΙΒΛΙΟ ΜΑΘΗΤΗ

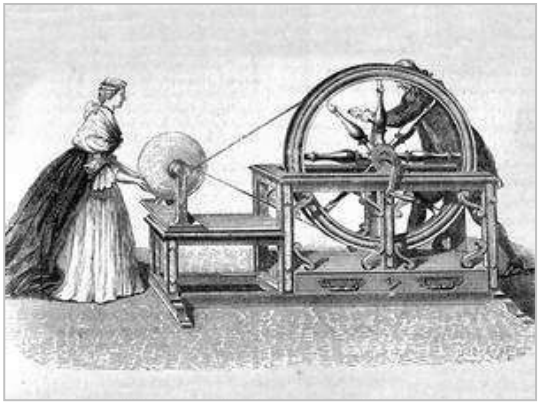
Ονοματεπώνυμο μαθητή: ……..
Ημερομηνία:…… Σχολείο:……..
Τάξη/ Τμήμα:……..

Συζήτηση 1η

Κάποιος σκηνοθέτης θέλει να γυρίσει μια ταινία πάνω στην ιστορία του ηλεκτρισμού. Σας ζητάει να βοηθήσετε στο να γραφτεί το σενάριο προσθέτοντας μια χαρακτηριστική φράση, που να εξηγεί ή να υπονοεί τη λειτουργία της κάθε μηχανής.

Η μηχανή του βον Γκέριγκε, 1660

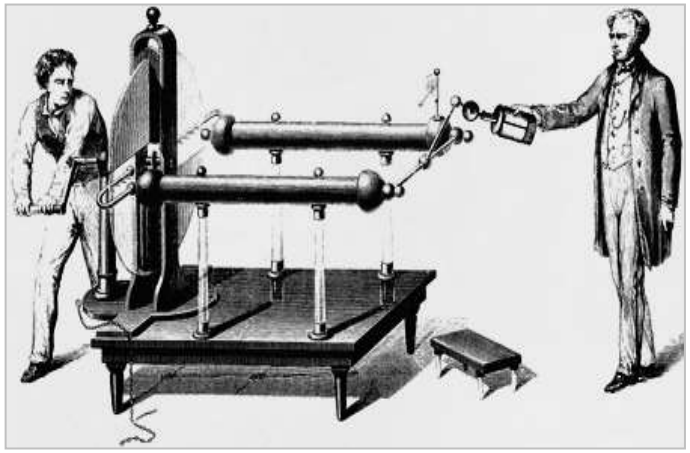
Μηχανή του Χόκσμπυ, 1706

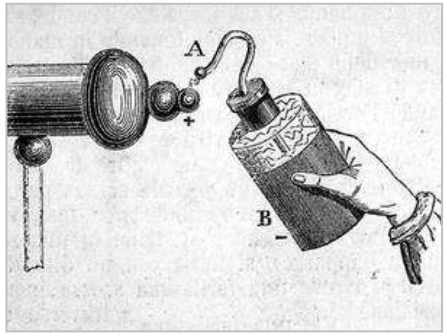


Μηχανή του Αββά Νολλέ, 1750

-*βιβλίο μαθητή σελ.*2-

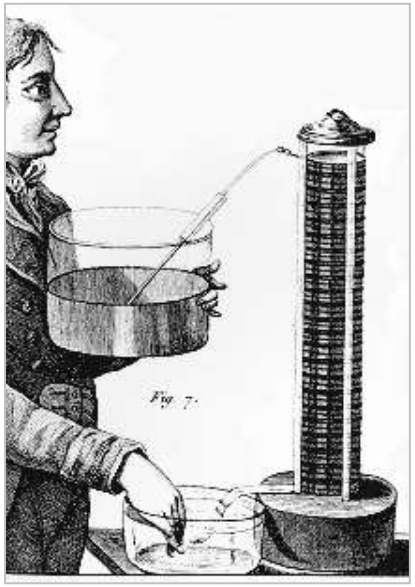
Η μηχανή του Ράμσντεν, 1766





Η φιάλη Λέϋντεν, 1746

Η στήλη του Βόλτα



-*βιβλίο μαθητή σελ.*3-

Συζήτηση 2η

Παρακολουθώντας το μάθημα συμπληρώστε προσεκτικά τα κενά:.

1. Ο Βενιαμίν Φραγκλίνος κατάφερε να καθοδηγήσει τον κεραυνό στο σπίτι με ……και……..Τα λόγια του Φραγκλίνου με τα οποία περιγράφει το πείραμά του δείχνουν ότι στις μέρες του 1750 ήταν γνωστό ότι το υγρό νήμα είναι……
2. Το κλειδί στο πείραμα του Φραγκλίνου χρησιμοποιείται για να……
3. Ο Βενιαμίν Φραγκλίνος διατυπώνει για πρώτη φορά την αρχή ..... ……..του ηλεκτρικού φορτίου με τα λόγια: «Αν κατά τη διάρκεια διαδικασίας που εκτελούμε εμείς ή η φύση, συμβεί να υπάρξει μεγαλύτερη ποσότητα αυτού του ρευστού σε ένα σώμα σε σύγκριση με ένα άλλο, τότε το σώμα που έχει το περισσότερο θα διαβιβάσει μέρος σε αυτό που έχει το λιγότερο…»
4. Με τα πειράματά του ο Φραγκλίνος διαπιστώνει ότι «η ουσία της αστραπής είναι ίδια με εκείνη του……»
5. Για τον Θαλή τον Μιλήσιο η ικανότητα του ήλεκτρου να έλκει και επομένως να κινεί άλλα σώματα σήμαινε ότι το ήλεκτρο, όπως και η μαγνητίτης λίθος είχαν……
6. Ο Γουίλιαμ Γκίλμπερτ προκαλεί μια μεγάλη …….. στην ιστορία της επιστήμης ανακαλύπτοντας ότι την ιδιότητα του ήλεκτρου την έχουν πολλά υλικά, τα οποία ονομάζει …… Ανάμεσά τους είναι το γυαλί, ο εβονίτης, αλλά και πολλά……, το στοιχείο……, η ……., το…….

7. Ο Γκίλμπερτ εφηύρε ένα όργανο για την ανίχνευση των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των υλικών. Το ονόμασε …… και αποτέλεσε το πρώτο στην ιστορία……..
8. Για τον Γκίλμπερτ η λέξη «ηλεκτρικός» σημαίνει την ιδιότητα ενός υλικού να …….. όταν …… Την εποχή του Γκίλμπερτ ο ηλεκτρισμός ήταν ένα είδος …….της ύλης.
9. Η παρέμβαση του Γκίλμπερτ οδήγησε σύντομα στην εφεύρεση της πρώτης ……..από τον βον Γκέριγκε, το 1660. Επρόκειτο για μια …… Η μηχανή του βον Γκέριγκε δείχνει ότι την εποχή εκείνη δεν ήταν γνωστό ότι ο ηλεκτρισμός μπορεί να……
10. Στις αρχές του 18ου αιώνα, ο Χόκσμπυ διερεύνησε, αν οι ηλεκτρικές έλξεις είναι δυνατόν να υπάρχουν στο …… Διαπίστωσε ότι οι ηλεκτρικές ιδιότητες …….. Ο Χόκσμπυ υπήρξε εφευρέτης μιας παράξενης ηλεκτρικής μηχανής που υπήρξε η πρώτη ……
11. Στη μηχανή του Ράμσντεν η γυάλινη σφαίρα αντικαθίσταται από …….. Η κατασκευή της μηχανής Ράμσντεν φανερώνει ότι στην εποχή της ήταν γνωστή η δυνατότητα …….. του ηλεκτρισμού.
12. Τη δυνατότητα του ηλεκτρισμού να διέρχεται μέσα από αγωγούς, αλλά και να …….. ανακάλυψε ο Στίφεν Γκρέυ, γύρω στο …… Ως αγωγό χρησιμοποίησε αρχικά ……

13. Η ηλεκτρική άπωση εξηγήθηκε το 1734 από τον Σάρλ Ντυφέι …… χρόνια μετά την ανακάλυψη της ηλεκτρικής έλξης από τον ……. Ο Ντυφέι θεωρεί ότι υπάρχουν …….. ηλεκτρισμού.
14. Ο Βενιαμίν Φραγκλίνος, το 1750 θεωρεί ότι υπάρχει ……είδος …….. που μπορεί να είναι σε …… ή σε …… Η σκέψη αυτή οδήγησε στη θεώρηση του ηλεκτρισμού ως …… δηλαδή στη θεώρηση της έννοιας «ποσότητα ηλεκτρικού……»
15. Η ποσότητα του ηλεκτρικού φορτίου μετρήθηκε πειραματικά από τον …… το 1785, με τη βοήθεια του …….. Η μέτρηση οδήγησε στη διατύπωση του νόμου …….. …. που εκφράζεται από τη σχέση …… . Ο νόμος του Κουλόμπ μοιάζει πολύ με το νόμο ……που διατυπώθηκε από τον …… έναν περίπου αιώνα νωρίτερα.
16. Η ιδέα ότι ο ηλεκτρισμός είναι ένα «ανεπαίσθητο ρευστό», ίσως να ήταν αυτή που οδήγησε στην υπόθεση ότι ο ηλεκτρισμός μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα …… Ο Μούσενμπροεκ και ο Κλάιστ εκτέλεσαν ανεξάρτητα αυτό το πείραμα καταφέρνοντας με τον τρόπο αυτό να ανακαλύψουν …….. Αργότερα αποκαλύφθηκε ότι τη θέση του νερού μπορούσαν να πάρουν……. ……..
17. Ο Αβάς Νολλέ κατάφερε, το 1750, χρησιμοποιώντας 200 καλόγερους ως πειραματόζωα, να αποδείξει ότι ο ηλεκτρισμός …….. ……..

18. Την εποχή του Αβά Νολλέ το ηλεκτρικό φορτίο αποθηκευόταν σε φιάλες …… ……μεταξύ τους.
19. Άλμα στην ιστορία του ηλεκτρισμού αποτελεί η εφεύρεση της στήλης του Βόλτα, το …… Πρόκειται για την πρώτη πηγή …… ……ρεύματος ή αλλιώς την πρώτη …….. Αποτελείται από …….. που είναι…….. και ανάμεσά τους υπάρχει……..
20. Ο Βόλτα μετρά τη διαφορά δυναμικού στα άκρα της στήλης του με ……
21. Η λειτουργία των ηλεκτροστατικών μηχανών βασίζεται στην ηλέκτριση με …… στην αγωγή και στην …….. του ηλεκτρικού φορτίου. Η αρχή λειτουργίας της στήλης του Βόλτα είναι …….…….. και βασίζεται στην ……..

Συζήτηση 3η: Διερευνώντας πρωτότυπα κείμενα….

Ι. Το πείραμα του χαρταετού από τον Βενιαμίν Φραγκλίνο, 1752

«Φτιάχνουμε έναν μικρό ξύλινο σταυρό, από δύο λεπτές βέργες κέδρου, με μήκος τέτοιο ώστε να μπορεί να προσαρμοστεί στις τέσσερις γωνίες ένα μεγάλο και λεπτό μεταξωτό μαντήλι. Τεντώνουμε τις γωνίες του μαντηλιού στις άκρες του ξύλινου σταυρού κι έτσι φτιάχνουμε το σώμα του αετού, στον οποίο, αν προσαρμόσουμε κατάλληλα την ουρά, τη θηλιά και το σπάγκο, θα υψωθεί στον αέρα, όπως ο χάρτινος… Στην κορυφή της κατακόρυφης βέργας του ξύλινου σταυρού θα πρέπει να τοποθετηθεί ένα πολύ μυτερό σύρμα, που να εξέχει τουλάχιστον ένα πόδι από τον αετό. Στο τέλος του σπάγκου, κοντά στο σημείο που τον κρατάμε, θα πρέπει να δεθεί μεταξωτή κορδέλα. Στο σημείο που ο σπάγκος και η μεταξωτή κορδέλα ενώνονται θα πρέπει να στερεωθεί ένα κλειδί. Ο χαρταετός θα πρέπει να ανυψωθεί, όταν φανεί το σύννεφο της καταιγίδας και αρχίσουν οι βροντές (φαινόμενο συχνό στη χώρα μας) . Το άτομο που θα κρατήσει το σπάγκο θα πρέπει να σταθεί μέσα από μια πόρτα ή ένα παράθυρο ή κάτω από κάποιο υπόστεγο, έτσι ώστε η μεταξωτή κορδέλα να μην υγρανθεί. Θα πρέπει, επίσης, να δοθεί μεγάλη προσοχή, ώστε το νήμα να μην αγγίξει το πλαίσιο της πόρτας ή του παραθύρου.»

Δημοσίευση του Βενιαμίν Φραγκλίνου στην εφημερίδα Pennsylvania Gazette στις 19 Οκτωβρίου του 1752

- **Διερευνώντας:** Σχεδιάστε το πείραμα του Φραγκλίνου και σκεφτείτε τι γνώσεις ηλεκτρισμού βρίσκονται κωδικοποιημένες στις λεπτομέρειες που περιγράφει. Αξιολογείστε τις λεπτομέρειες αυτές.

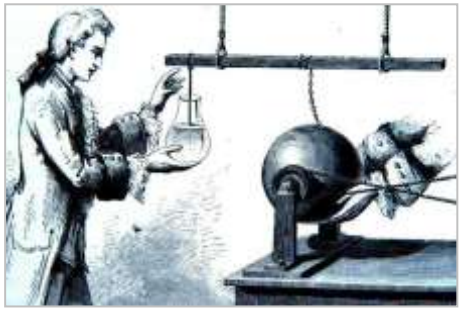
ΙΙ. Ο θάνατος του Γκεόργκ Ρίτσμαν

Αγία Πετρούπολη 1953

«Ο καθηγητής», εξηγούσε γράμμα από τη Μόσχα που ο Φραγκλίνος δημοσίευσε στην εφημερίδα Pennsylvania Gazette, «εκτιμώντας, βασιζόμενος στη βελόνα, ότι η καταιγίδα βρισκόταν σε μεγάλη απόσταση, βεβαίωσε τον κ.Σοκόλοφ ότι εκείνη τη στιγμή δεν υπήρχε κίνδυνος, αλλά ότι θα υπήρχε αργότερα, όταν η καταιγίδα θα πλησίαζε. Ο κ.Ρίτσμαν στάθηκε σε απόσταση ενός περίπου ποδιού από τη σιδερένια βέργα, προσεκτικά κοιτώντας τη βελόνα. Λίγο αργότερα, ο κ.Σοκόλοφ είδε ότι, ενώ η συσκευή του πειράματος παρέμεινε ανέγγιχτη, μια μπάλα από μπλε και ασπριδερή φωτιά διαμέτρου πέντε περίπου ιντσών εκτοξεύτηκε από τη βέργα στο μέτωπο του κ.Ρίτσμαν, ο οποίος έπεσε πίσω, χωρίς να προφέρει την παραμικρή κραυγή. Το συμβάν συνοδεύτηκε από έκρηξη, όμοια με εκείνη ενός μικρού κανονιού, η οποία πέταξε στο πάτωμα και τον κ.Σοκόλωφ, ο οποίος αισθάνθηκε να έχει χτυπηθεί στην πλάτη. Διαπιστώθηκε, στη συνέχεια, ότι η μεταλλική βέργα είχε σπάσει και ότι κομμάτια της τον είχαν χτυπήσει στην πλάτη, αφήνοντας σημάδια καμένου στα ρούχα του». Ο καθηγητής Ρίτσμαν σκοτώθηκε - «το σώμα του βρέθηκε περιτριγυρισμένο από τα εργαλεία του πειράματος, μοιάζοντας με πυροβολητή πεθαμένο ανάμεσα στα συντρίμμια του όπλου του».

- **Διερευνώντας:** Προσπαθήστε με βάση τα λόγια του κειμένου να καταλάβετε τι περιλαμβάνει η πειραματική διάταξη που έχει στήσει ο καθηγητής Ρίτσμαν.

III. Το πείραμα του Μούσενμπροεκ, 1746



«Θα ήθελα να σας πω για ένα νέο αλλά τρομερό πείραμα, που σας συμβουλεύω ποτέ να μην το επιχειρήσετε εσείς ο ίδιος, και που κι εγώ, που το δοκίμασα και επέζησα με τη βοήθεια του Θεού, δεν θα το ξανάκανα ακόμα και για ολόκληρο το βασίλειο της Γαλλίας... Έκανα κάποιες έρευνες πάνω στη δύναμη του ηλεκτρισμού. Για το σκοπό αυτό είχα κρεμάσει από δύο νήματα από μπλε μετάξι, μια σιδερένια ράβδο, η οποία δεχόταν με επαφή τον ηλεκτρισμό της γυάλινης σφαίρας που γυρνούσε γρήγορα γύρω από τον άξονά της, ενώ ηλεκτριζόταν με τριβή με τα χέρια. Από το άλλο άκρο της ράβδου κρεμόταν ελεύθερα μπρούντζινο σύρμα, η άκρη του οποίου περνούσε μέσα σε μια γυάλινη φιάλη μισογεμάτη με νερό. Αυτή τη φιάλη την κρατούσα με το δεξί μου χέρι, ενώ με το αριστερό μου επιχειρούσα να τραβήξω σπινθήρες από τη σιδερένια ράβδο.

Ξαφνικά το δεξί μου χέρι χτυπήθηκε τόσο δυνατά, ώστε όλο μου το σώμα άρχισε να τρέμει, σαν να είχα χτυπηθεί από κεραυνό…Ο ώμος και όλο μου το σώμα προσβλήθηκε με τρόπο που δεν μπορώ να περιγράψω: με μια λέξη νόμισα ότι με ξέκανε…Το πρόσωπο που επιχειρεί το πείραμα αυτό πρέπει να στέκεται στο πάτωμα, αλλά είναι σημαντικό ότι ο ίδιος άνθρωπος που κρατάει τη φιάλη στο ένα χέρι να προσπαθεί να τραβήξει σπινθήρα με το άλλο. Η επίδραση είναι μικρής έντασης, αν αυτές οι ενέργειες πραγματοποιηθούν από δύο διαφορετικά πρόσωπα. Αν η φιάλη τοποθετηθεί πάνω σε ένα μεταλλικό στήριγμα πάνω σε ένα ξύλινο τραπέζι, τότε εκείνος που κρατά αυτό το μέταλλο, ακόμη και με την άκρη των δακτύλων του και τραβά το σπινθήρα με το άλλο του χέρι δέχεται ένα πολύ ισχυρό ηλεκτρικό σοκ.

Γράμμα του Μούσενμπροεκ στη Γαλλική Ακαδημία των Επιστημών

- **Διερευνώντας:**
  Κάντε ένα πρόχειρο σχέδιο της συσκευής του Μούσενμπροεκ. Μπορείτε να εξηγήσετε γιατί «χτυπήθηκε» από το ηλεκτρικό ρεύμα;

IV. Βενιαμίν Φραγκλίνου: «Περί αστραπής & περί της μεθόδου (που χρησιμοποιείται σήμερα στην Αμερική) για την ασφάλιση κτιρίων απέναντι στη βλαβερή επίδρασή της

Σεπτέμβριος 1767

Αυτή η ουσία της αστραπής, ή του ηλεκτρισμού, είναι ένα εξαιρετικά λεπτοφυές ρευστό, που διαπερνά άλλα σώματα και διατηρείται μέσα τους, διαχεόμενο ομοιόμορφα. Αν κατά τη διάρκεια διαδικασίας, που εκτελούμε εμείς ή η φύση, συμβεί να υπάρξει μεγαλύτερη ποσότητα αυτού του ρευστού σε ένα σώμα σε σύγκριση με ένα άλλο, τότε το σώμα που έχει το περισσότερο θα διαβιβάσει μέρος σε αυτό που έχει λιγότερο μέχρι οι ποσότητες να εξισωθούν, με την προϋπόθεση η απόσταση μεταξύ των σωμάτων να μην είναι πολύ μεγάλη. Εάν η απόσταση μεταξύ των σωμάτων είναι πολύ μεγάλη, θα πρέπει να υπάρξουν κατάλληλοι αγωγοί για τη μεταφορά του από το ένα σώμα στο άλλο.

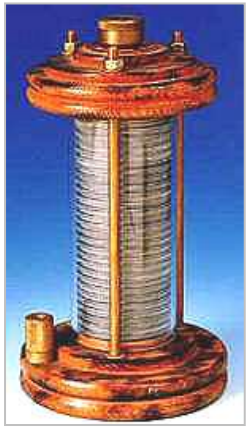
Αν η διαβίβαση γίνει διαμέσου του αέρα, χωρίς αγωγό, ένα λαμπερό φως εμφανίζεται ανάμεσα στα σώματα και ακούγεται ένας ήχος. Στα δικά μας, μικρής κλίμακας, πειράματα αποκαλούμε αυτή τη λάμψη και τον ήχο, αντίστοιχα, ηλεκτρικό σπινθήρα και κρότο, όμως, στις μεγάλου μεγέθους διαδικασίες της φύσης, η λάμψη είναι αυτό που ονομάζουμε αστραπή, ενώ ο ήχος (παράγεται ταυτόχρονα, παρόλο που έρχεται στ' αυτιά μας αργότερα απ' ό,τι το φως στα μάτια μας) καλείται μαζί με την ηχώ του βροντή. Αν η διαβίβαση του ρευστού γίνει με τη βοήθεια αγωγού, δε θα υπάρξει λάμψη, ούτε ήχος, κατά τη διέλευση του λεπτοφυούς ρευστού από την ύλη του αγωγού. Αν ο αγωγός είναι καλός και επαρκούς μεγέθους, το ρευστό θα τον διαπεράσει, χωρίς να του προξενήσει βλάβες. Διαφορετικά, ο αγωγός θα φθαρεί ή θα καταστραφεί τελείως…

- **Διερευνώντας:**
  α. Συγκεντρώστε τις απόψεις του Φραγκλίνου για τον ηλεκτρισμό.
  β. Υπογραμμίστε τις φράσεις που δείχνουν ότι ο Φραγκλίνος κατανοεί την έννοια της «ποσότητας ηλεκτρικού φορτίου».
  γ. Ποιες λέξεις δείχνουν ότι ο Φραγκλίνος καταλαβαίνει την αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου;

V. Ο Βόλτα παρουσιάζει τη στήλη του στον Ναπολέοντα

Σεπτέμβριος 1800

«…Η συσκευή, για την οποία σας μιλάω, είναι αναμφίβολο ότι θα σας καταπλήξει. Είναι ένα σύστημα αγωγών που έχουν τοποθετηθεί κατά έναν ειδικό τρόπο. Είκοσι, σαράντα, εξήντα κομμάτια χαλκού (ή καλύτερα αργύρου), καθένα από τα οποία προσαρμόζεται σε ένα κομμάτι κασσιτέρου (ή καλύτερα ψευδαργύρου) και ανάμεσά τους στρώματα χαρτιού ή δέρματος, εμποτισμένα με αγώγιμο υγρό. Η νέα συσκευή μου μιμείται το αποτέλεσμα της φιάλης Λέϋντεν...



Σε ένα οριζόντιο τραπέζι τοποθετώ ένα μεταλλικό δίσκο και πάνω σ' αυτόν προσαρμόζω ένα δίσκο από ψευδάργυρο. Πάνω του βάζω ένα στρώμα εμποτισμένο με υγρό και αμέσως μετά ένα δίσκο από άργυρο, κι ύστερα έναν ακόμα δίσκο ψευδαργύρου, τον οποίο διαδέχεται ένα ακόμα εμποτισμένο στρώμα. Συνεχίζοντας με τον ίδιο τρόπο σχηματίζεται μια στήλη τόσο ψηλή, όσο να μπορεί να κρατείται χωρίς να πέφτει. Με καμιά εικοσαριά ζεύγη μετάλλων η στήλη είναι ικανή να προκαλεί τίναγμα σε όποιον αγγίζει τα δύο άκρα της με τα χέρια του».

Από την επιστολή του Volta στο Philosophical Magazine

Από το βιβλίο των Ν.Δαπόντε, Α.Κασσέτα, Σ.Μουρίκη «Φυσική Β' Τάξη ΕΠΛ-ΓΕΛ-ΤΕΛ», ΟΕΔΒ, Αθήνα 1997

➢ **Διερευνώντας:**

α. Σχολιάστε τον τρόπο με τον οποίο ο Βόλτα εκτιμάει την ικανότητα της στήλης του να παράγει ρεύμα.

β. Σχολιάστε το σχήμα της στήλης του. Μπορείτε να φανταστείτε, γιατί τα στοιχεία της έχουν αυτό το σχήμα;

Συζήτηση 4η : Σκεφτείτε…

I. Μπορείτε να εξηγήσετε την εκπυρσοκρότηση του κανονιού με τη βοήθεια της φιάλης Λέϋντεν;

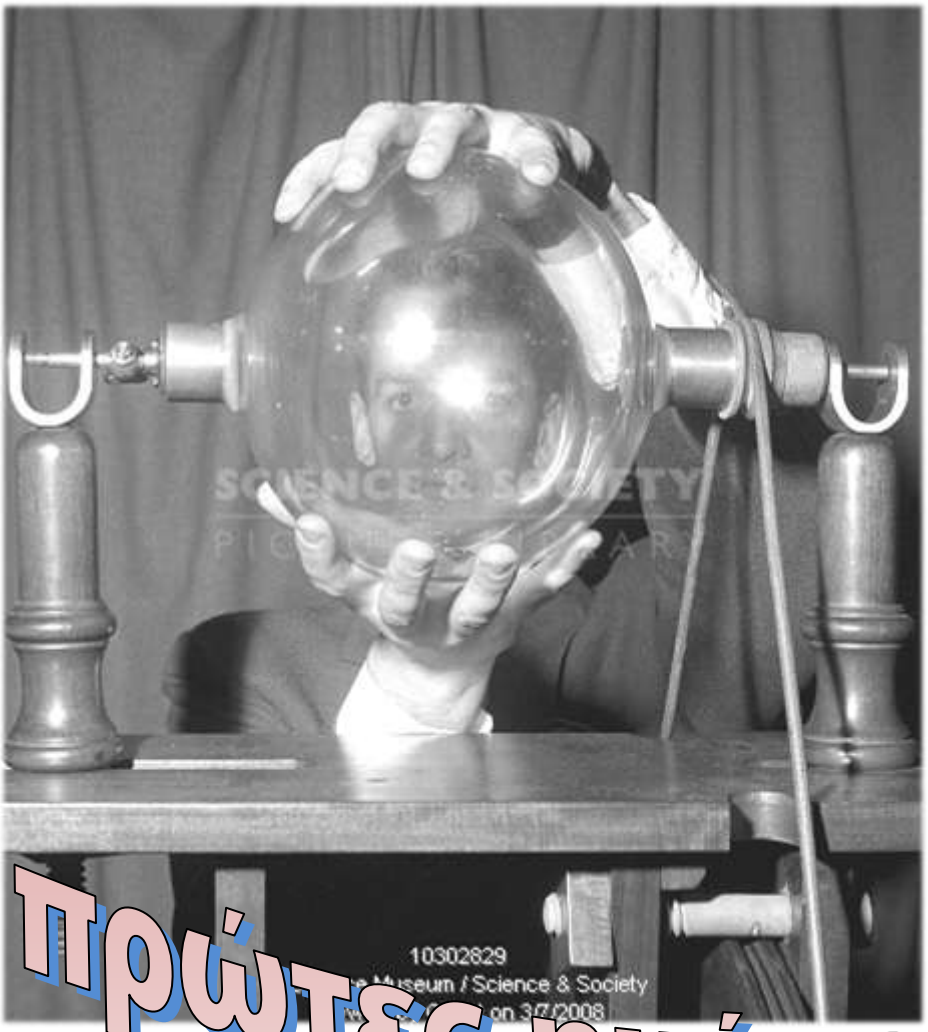
II. Μπορείτε να στεφτείτε πού βρίσκεται αποθηκευμένη η ενέργεια σε μια φιάλη Λέϋντεν: **α**. Στο μεταλλικό φύλλο εσωτερικά της φιάλης; **β.**στο μεταλλικό φύλλο εξωτερικά της φιάλης; **γ.** στο γυαλί μεταξύ εσωτερικού και εσωτερικού φύλλου; **δ.** Μέσα στην ίδια τη φιάλη;

Από το βιβλίο των Ν.Δαπόντε, Α.Κασσέτα, Σ.Μουρίκη «Φυσική Β' Τάξη ΕΠΛ-ΓΕΛ-ΤΕΛ», ΟΕΔΒ, Αθήνα 1997

Σύνταξη εντύπου: Φλώρα Πάπαρου

Μουσείο Φυσικής Χίου

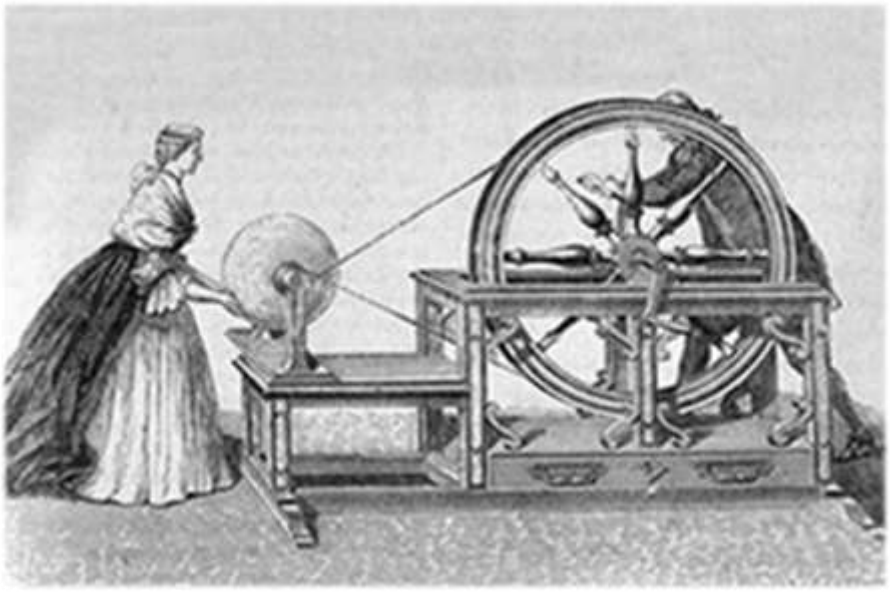
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



Οι πρώτες ημέρες του ηλεκτρισμού

Το παρόν έντυπο παράχθηκε στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Διαβίου Μάθησης / Εκπαιδευτικές Συμπράξεις Gruntdvig *με τίτλο: «Ανακαλύπτοντας την επιστήμη ως Κουλτούρα Διαμέσου των Ευρωπαϊκών Επιστημονικών Μουσείων» και αριθμό 07-GRCO1-GR04-00025-1.*

Η ηλεκτρική μηχανή



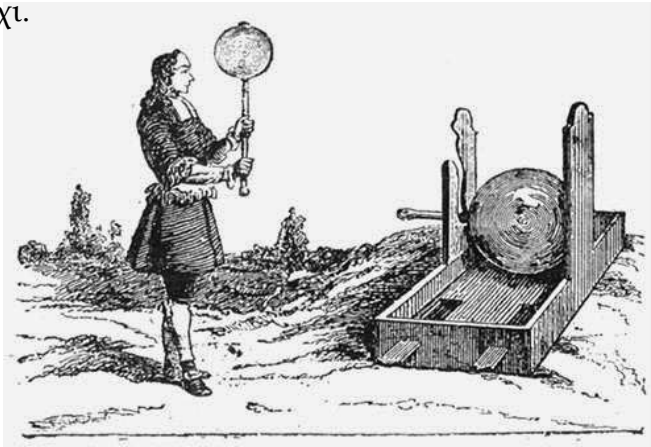
Εικόνα από διδακτικό εγχειρίδιο του 19ου αιώνα

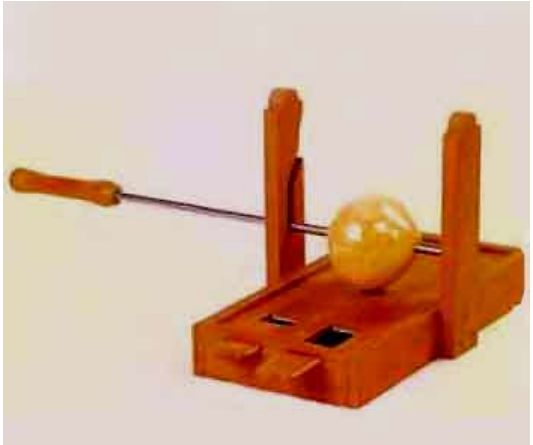
«Ἡ ἠλεκτρική μηχανὴ εἶναι κατασκευασμένη ἀπὸ μίαν γυαλένιαν σφαίραν κούφιαν, μίαν πιθαμὴν περίπου διάμετρον ἔχουσαν, & μισό δάχτυλο χόνδρος, τὴν ὁποίαν ἀγκαλιάζουν δύο πινακάκια ξύλινα εἰς τοὺς δύο πόλους της, ἔτζι κατασκευασμένα, ὁποῦ ἠμπορεί νὰ τὴν γυρίζῃ τινᾶς καθὼς τὸ Τζικρίκι γυρίζει το Ἀδράχτι μὲ τὸ Σιρτζάνι. Εἰς τὸν ἰσημερινὸν τῆς σφαίρας ταύτης ὑποκάτω (ἤγουν εἰς τὸ φούσκωμα τῆς κοιλίας της) εἶναι ἕνα πινάκι μετάλλινον ὁποῦ ἐμπεριέχει τρίχας οὐρᾶς ἀλόγου, θειάφι, ῥετζίνι, & ἄλλας ἠλεκτρώδεις ὕλας, σκεπασμένον & καρφωμένον γύρω τριγύρω ἀπὸ πετζὶ προβάτου. Μία Τζίτα κουντᾷ ὑποκάτω πρὸς τὴν σφαίραν τὸ πινάκι, εἰς τρόπον ὁποῦ γυρίζωντας ἐκείνη, αἰσθάνεται κάποιαν θλίψιν ἀπὸ τὸ πινάκι, & ἀποκτᾷ εἰς ὀλίγον διάστημα καιροῦ μίαν μεγάλην ἠλεκτρικὴν δύναμιν (ἐξ αἰτίας τῆς τρίψεως) τὴν ὁποίαν ἠμπορεί νὰ διακρίνῃ τινὰς ἀπὸ τὴν κίνησιν τῶν ταχέως ἐλκομένων ἐλαφρῶν σωμάτων εἰς δύο ἢ τριῶν ποδῶν διάστημα. Πρὸς τούτοις αἰσθάνεται κανεὶς πλησιάζωντας & τὸ χέρι ἢ τὸ πρόσωπόν του, τὴν ἐπαφὴν τῆς ἠλεκτρικῆς ὕλης, ἥτις ἐχκχύνεται ἐπάνω ἀπὸ τὸ γυαλὶ, & κάμνει τὸ ἀποτέλεσμα τοῦ ξεφτυσμένου πανιοῦ, ὅταν ἤθελεν ἐγγίξῃ ἐλαφρότατα ἐπάνω εἰς τὸ δέρμα τῶν μελῶν ἐκείνων. Αἱ ἐκπορεύσεις αὗται τῆς ὕλης, ἀκολουθοῦν νὰ διασκορπίζωνται ἐν᾽ ὅσῳ εἶναι εἰς τρίψιν ἡ σφαίρα, & ὅταν παύσῃ ἡ τρίψις, αὐταὶ ἀκολουθοῦν μερικὸν καιρὸν ἀκόμη ἐλαττούμεναι βαθμηδόν, ἕως ὁποῦ τέλος πάντων ἐκλείπουν» *Ρήγας Φερραίος, Απάνθισμα Φυσικής, Βιέννη, 1860*

-φυλλάδιο παρακολούθησης, σελ.2-

Ανακαλύψτε….

Ανακαλύψτε ποιες από τις παρακάτω μηχανές βρίσκονται στο Μουσείο και ποιες όχι.



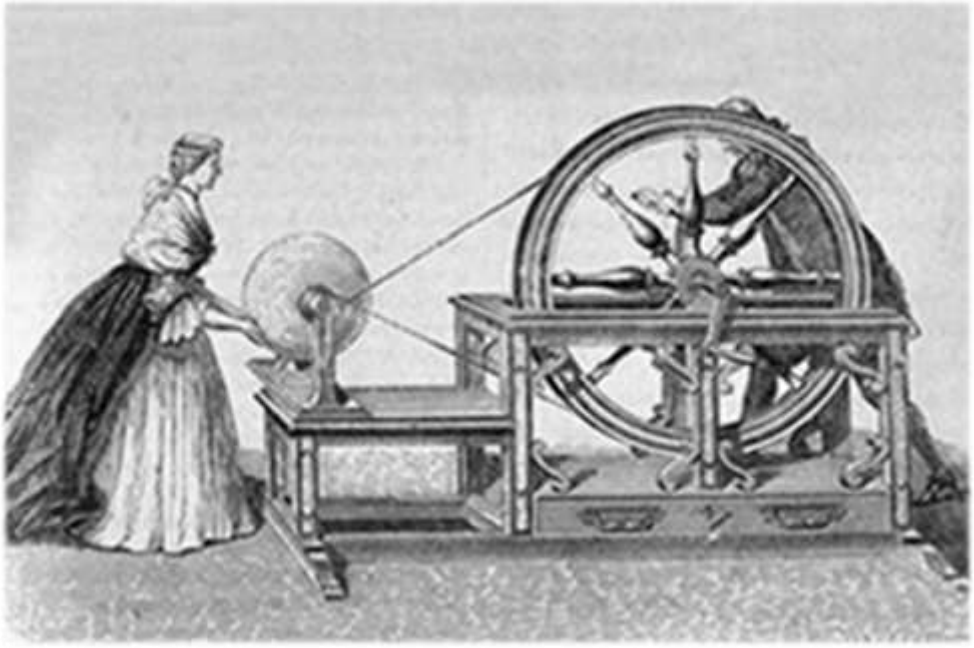


Η μηχανή του von Guericke, σφαίρα από θειάφι. Όταν τρίβεται, έλκει ελαφριά αντικείμενα, 1660.

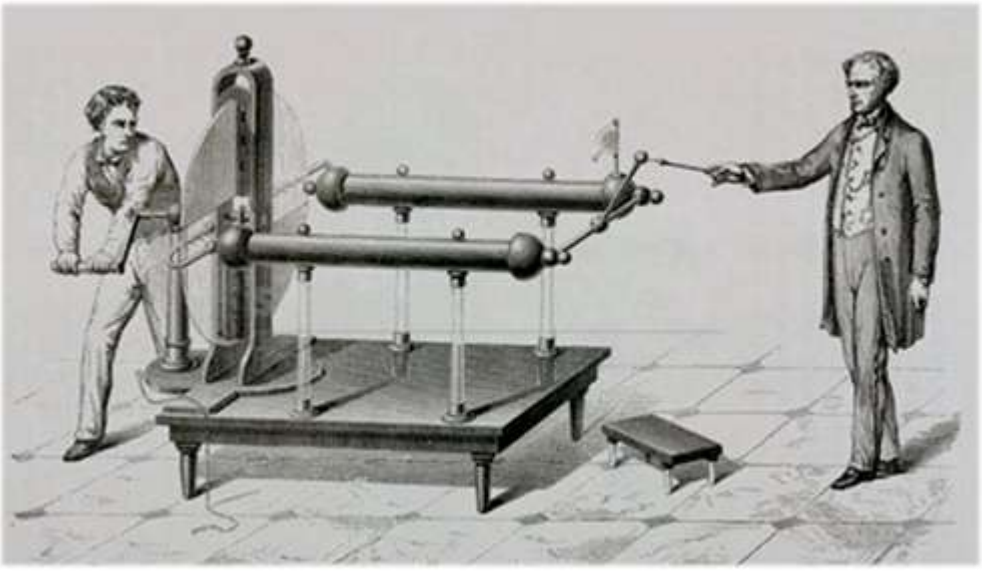
Η πρώτη λάμπα, 1706. Γυάλινη σφαίρα χωρίς αέρα…! Χρειάζεται τρεις! Ένας……., ο δεύτερος…….και ο τρίτος……

-φυλλάδιο παρακολούθησης, σελ.3-

Η μηχανή του Nollet, 1750. Όλοι μπορούσαν να την κατασκευάσουν, και υπήρχε σε πολλά σαλόνια διαθέσιμη για πειράματα για το κοινό… Χρειαζόταν μια ρόδα από κάρο ή αργαλειό και μια μπάλα από γυαλί…

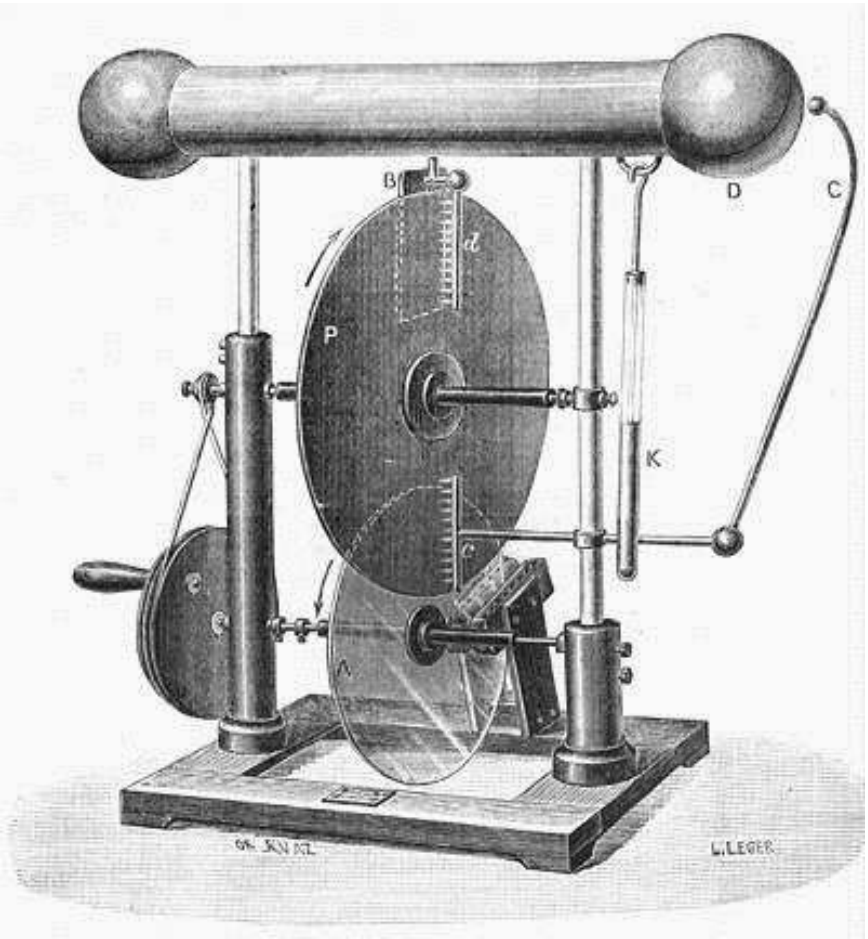


Η μηχανή Ramsden, 1766. Η γυάλινη σφαίρα έχει αντικατασταθεί από γυάλινο …….. . Τα χέρια έχουν αντικατασταθεί από ……..



-φυλλάδιο παρακολούθησης, σελ.4-

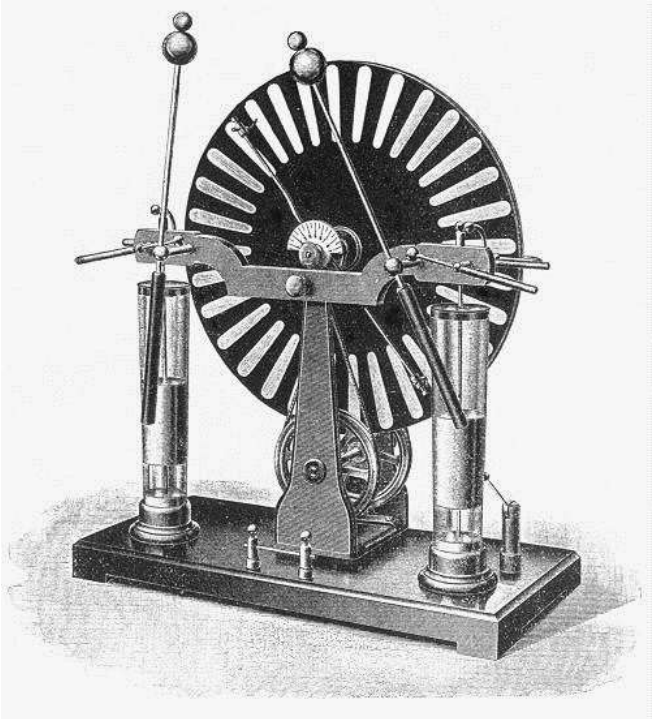
Η Μηχανή Carré, 1868. Η κατασκευή της προϋποθέτει ότι είναι γνωστό ότι υπάρχουν δύο «είδη ηλεκτρισμού», όπως έλεγαν τότε, ή δύο είδη ηλεκτρικού φορτίου, όπως λέμε σήμερα. Το ένα είδος διοχετεύεται από το…… στο…… και το άλλο είδος από το …… στο…… Αποτέλεσμα είναι η παραγωγή ηλεκτρικού σπινθήρα. Η μηχανή χρησιμοποιούταν για……..



-φυλλάδιο παρακολούθησης, σελ.5-

Η μηχανή Van der Graaf, 1929. Βασίζεται στη μεγάλη ……. του αγωγού που εξασφαλίζει μεγάλη…….

Μηχανή Wimshurst, 1883. Μικρή και εύχρηστη. Δεν λειτουργεί με …….. αλλά με μηχανισμό……. του ηλεκτρικού φορτίου. Παράγει ηλεκτρικό …….. Φέρει δύο ……. που μοιάζουν με φιάλες …….



-φυλλάδιο παρακολούθησης, σελ.6-

Μέρες του 1750

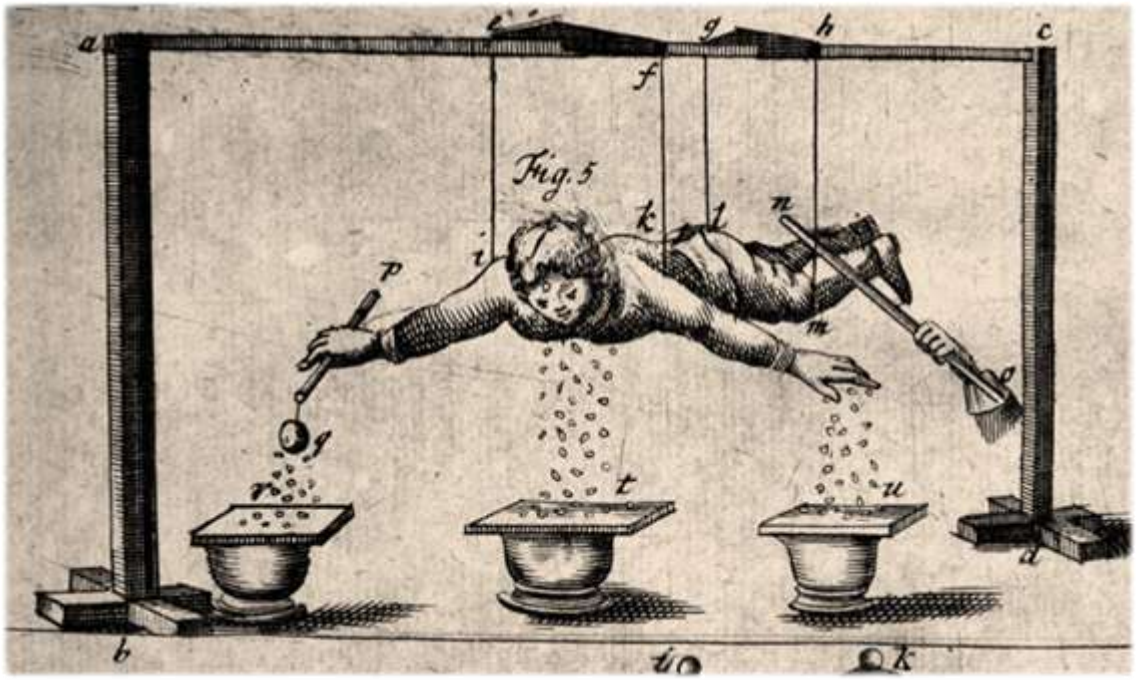
Το 1750, ο ηλεκτρισμός ήταν πολύ της μόδας. Η μηχανή του Nollet, που μπορούσε να κατασκευαστεί εύκολα, βρισκόταν σε όλα τα καλά σαλόνια. Με τη βοήθειά της πραγματοποιούνταν «ηλεκτρικές διασκεδάσεις» πολλές φορές με εισιτήριο…

Το ηλεκτρικό φιλί…

-φυλλάδιο παρακολούθησης, σελ.7-

Αγωγοί και μονωτές

Στις μέρες του 1750 είχε γίνει γνωστό ότι ο ηλεκτρισμός μπορεί να διαδίδεται διαμέσου διαφόρων υλικών που ονομάστηκαν …… (1929). Επίσης, διαπιστώθηκε πειραματικά ότι ένα σώμα μπορεί να ηλεκτρίζεται τόσο με αγωγή (όταν …….κάποιο άλλο), όσο και με …….. (χωρίς να ακουμπάει-από απόσταση).



Εικόνα από διδακτικό εγχειρίδιο του 18ου αιώνα

Ανακαλύψτε:

Ποια από τα υλικά που εικονίζονται στο ιστορικό πείραμα είναι αγωγοί και ποια μονωτές;

……

……

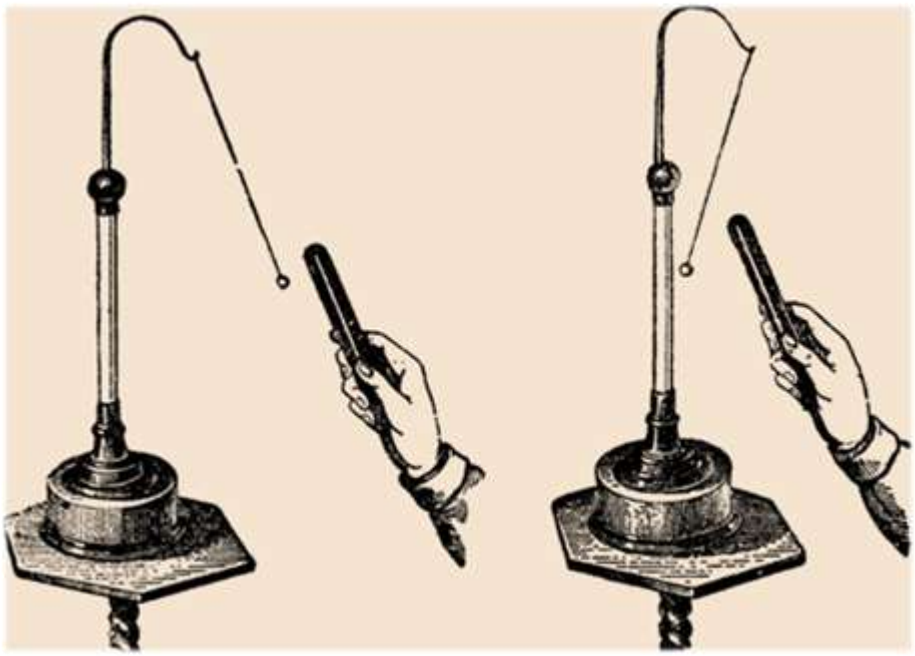
Πότε υπάρχει ηλέκτριση με αγωγή και πότε με επαγωγή;

……

-φυλλάδιο παρακολούθησης, σελ.8-

Έλξη και άπωση

Στις μέρες του 1750 είχε γίνει γνωστό ότι ο ηλεκτρισμός μπορεί να προκαλέσει έλξεις αλλά και απώσεις. Η ανακάλυψη των ηλεκτρικών έλξεων χρονολογείται το 1600, οπότε ο Gilbert σύγχρονος και συμπολίτης του Shakespeare διαπιστώνει εξετάζοντας διάφορα υλικά ότι ο ηλεκτρισμός είναι κάτι σαν κόλλα της ύλης. Η ηλεκτρική άπωση παρατηρήθηκε λίγες δεκαετίες αργότερα, αλλά υπήρχαν δυσκολίες στην εξήγησή της. Το 1734, η ηλεκτρική άπωση εξηγήθηκε με βάση την ιδέα ότι υπάρχουν δύο είδη ηλεκτρισμού.

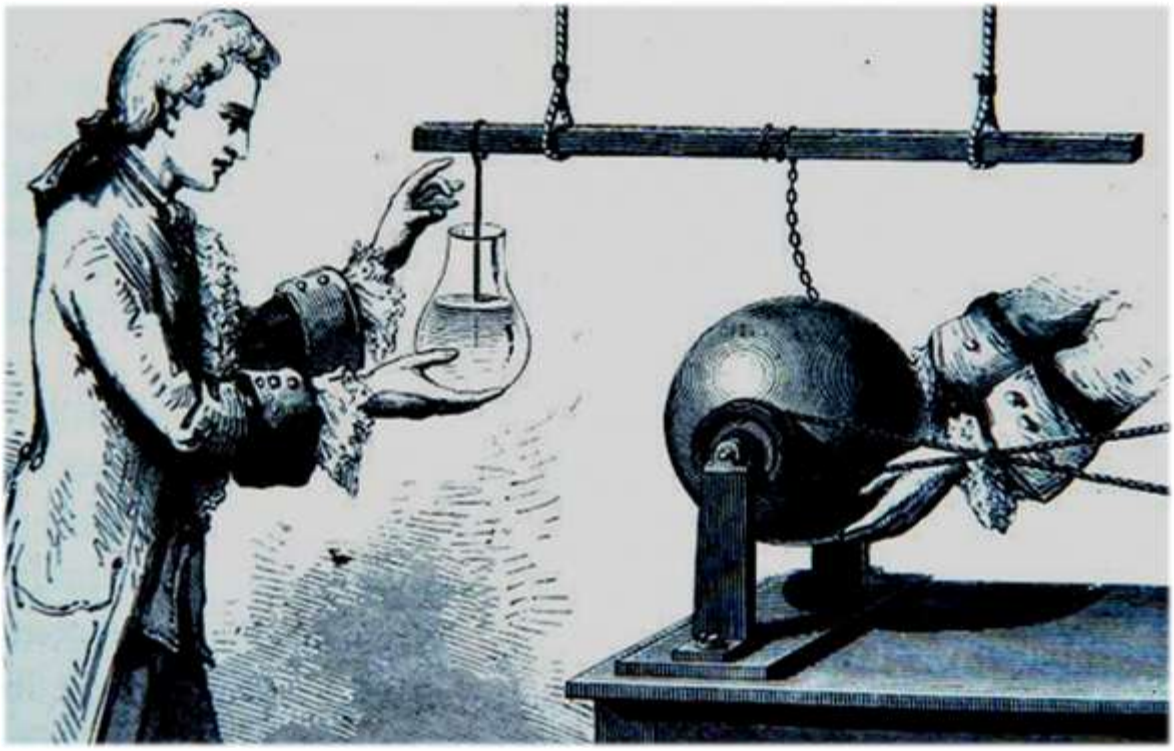


Σήμερα αποδίδουμε την ηλεκτρική έλξη και την ηλεκτρική άπωση στα δύο …… ηλεκτρικού ……το …… και το …….

-φυλλάδιο παρακολούθησης, σελ.9-

Πώς να τον φυλακίσω;

Στις μέρες του 1750 παρέμενε το ερώτημα «Πώς μπορώ να φυλακίσω τον ηλεκτρισμό». Σε κάποιους, επειδή ο ηλεκτρισμός θεωρούνταν κάτι σαν ανεπαίσθητο ρευστό, γεννήθηκε η ιδέα να τον φυλακίσουν σε ένα μπουκάλι με νερό….Το πείραμα είχε επιτυχία… και, παρά λίγο, θύματα. Αποτέλεσμά του ήταν η εφεύρεση της πρώτης αποθήκης ηλεκτρισμού, δηλαδή της φιάλης Leyden. Το νερό γρήγορα αντικαταστάθηκε από διάφορα μέταλλα. Ενώνοντας πολλές φιάλες μεταξύ τους μπορούσαν να συγκεντρώνουν τόσο ηλεκτρικό φορτίο, ώστε να προκαλούν θανατηφόρα ηλεκτροπληξία σε μικρά ζώα.



Το πείραμα του Pieter van Musschenbroek , Λέυντεν Ολλανδίας, 1745

-φυλλάδιο παρακολούθησης, σελ.10-

Φιάλες Leyden σε δράση

Ο Jean - Antoine Nollet, ηγούμενος μεγάλης μονής στο Παρίσι αποφάσισε να ελέγξει τη θεωρία ότι ο ηλεκτρισμός ταξιδεύει μακριά και γρήγορα. Λέγεται ότι, μια ωραία ημέρα, του 1746, πρότεινε στους μοναχούς του μια παράξενη «εκδρομή»… Θα έπρεπε να σταθούν σε απόσταση ο ένας απ' τον άλλον, κρατώντας σιδερένιο σύρμα μήκους 25 ποδών, δηλαδή 8 μέτρων, και να σχηματίσουν ευθεία γραμμή με συνολικό μήκος ένα μίλι, δηλαδή 1600 μέτρα.

Λέγεται επίσης, ότι, όταν οι σεβαστοί πατέρες ευθυγραμμίστηκαν ο αβάς Nollet συνέδεσε φορτισμένη φιάλη Leyden στην άκρη της γραμμής και διαπίστωσε με ικανοποίηση ότι όλοι οι μοναχοί άρχισαν συγχρόνως να φωνάζουν, να χοροπηδούν, να αντιδρούν ποικιλοτρόπως. Ο Nollet συνειδητοποίησε ότι πραγματοποίησε ένα επιτυχημένο πείραμα: ένα ηλεκτρικό σήμα μπορούσε να ταξιδέψει ένα μίλι και να το κάνει τόσο γρήγορα. Ωστόσο, είδε επίσης ότι το ίδιο πείραμα δεν θα μπορούσε να επαναληφθεί, καθώς οι μοναχοί δεν θα αποδεικνύονταν συνεργάσιμοι μια δεύτερη φορά. Παρ' όλα αυτά ο Nollet εκκένωσε άλλη μια φορά τη φιάλη Leyden, αυτή τη φορά ενόψει του βασιλιά Λουδοβίκου του 15ου, στις Βερσαλλίες, ηλεκτρίζοντας με τον ίδιο τρόπο μια σειρά από 180 βασιλικούς φρουρούς. Ο βασιλιάς εντυπωσιάστηκε ιδιαίτερα με το θέαμα των στρατιωτών που χοροπήδησαν όλοι ταυτόχρονα, μόλις το ηλεκτρικό κύκλωμα έκλεισε.

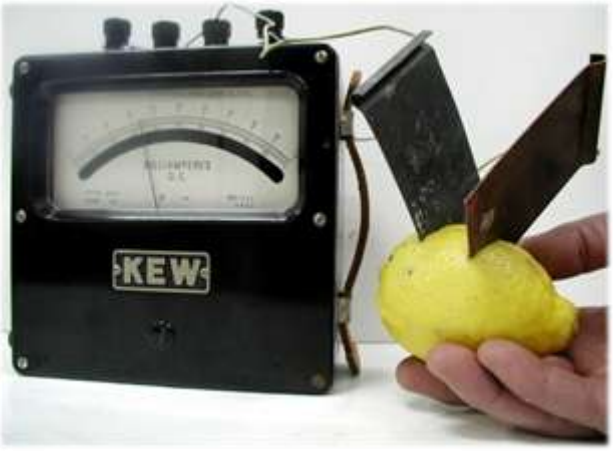
-φυλλάδιο παρακολούθησης, σελ.11-

Η πρώτη μπαταρία

«…Η συσκευή, για την οποία σας μιλάω, είναι αναμφίβολο ότι θα σας καταπλήξει. Είναι ένα σύστημα αγωγών που έχουν τοποθετηθεί κατά έναν ειδικό τρόπο. Είκοσι, σαράντα, εξήντα κομμάτια χαλκού (ή καλύτερα αργύρου), καθένα από τα οποία προσαρμόζεται σε ένα κομμάτι κασσιτέρου (ή καλύτερα ψευδαργύρου) και ανάμεσά τους στρώματα χαρτιού ή δέρματος, εμποτισμένα με αγώγιμο υγρό. Η νέα συσκευή μου μιμείται το αποτέλεσμα της φιάλης Leyden…

Σε ένα οριζόντιο τραπέζι τοποθετώ ένα μεταλλικό δίσκο και πάνω σ΄ αυτόν προσαρμόζω ένα δίσκο από ψευδάργυρο. Πάνω του βάζω ένα στρώμα εμποτισμένο με υγρό και αμέσως μετά ένα δίσκο από άργυρο, κι ύστερα έναν ακόμα δίσκο ψευδαργύρου, τον οποίο διαδέχεται ένα ακόμα εμποτισμένο στρώμα. Συνεχίζοντας με τον ίδιο τρόπο σχηματίζεται μια στήλη τόσο ψηλή, όσο να μπορεί να κρατείται χωρίς να πέφτει. Με καμιά εικοσαριά ζεύγη μετάλλων η στήλη είναι ικανή να προκαλεί τίναγμα σε όποιον αγγίζει τα δύο άκρα της με τα χέρια του».

Απόσπασμα από το σχολικό βιβλίο: Ν.Δαπόντες, Α.Κασσέτας, Σ.Μουρίκης «Φυσική Β΄ Τάξη ΕΠΛ-ΓΕΛ-ΤΕΛ», ΟΕΔΒ, Αθήνα 1997



Εικόνα από το CD «Οι μηχανές από το Α ως το Ω» του David Macaulay

Εξηγείστε:

Με βάση τα σχήματα, εξηγείστε πώς λειτουργούσε η πρώτη μπαταρία.

Η μαγική λέξη για την εξήγησή της είναι η λέξη ……

-φυλλάδιο παρακολούθησης, σελ.12-

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IX: Εκπαιδευτικό υλικό και υλικό αξιολόγησης σε ηλεκτρονική μορφή (βλ. επισυναπτόμενο DVD)

Ενότητα 1: Λογισμικό παρουσίασης της πειραματικής διάλεξης:

«Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;» - Τελική έκδοση-
Κατασκευή λογισμικού: Φλώρα Πάπαρου,
Εκτέλεση συμπεριλαμβανόμενων στο λογισμικό πειραμάτων: Παράσχος Καλλίτσης

Ενότητα 2: Λογισμικό παρουσίασης της πειραματικής διάλεξης:

«Οι πρώτες ημέρες του ηλεκτρισμού»- Τελική έκδοση
Κατασκευή λογισμικού: Φλώρα Πάπαρου,
Εκτέλεση συμπεριλαμβανόμενων στο λογισμικό πειραμάτων: Παράσχος Καλλίτσης

Ενότητα 3: Αποσπάσματα από την παρουσίαση της πειραματικής διάλεξης:

«Οι πρώτες ημέρες του ηλεκτρισμού» στο ευρύ κοινό»
Σύνθεση και παρουσίαση πειραματικής διάλεξης: Φλώρα Πάπαρου
Εκτέλεση συμπεριλαμβανομένων στη διάλεξη πειραμάτων: Παράσχος Καλλίτσης
Βιντεοσκόπηση : Αναστασία Πεντάκη

ΑΝΑΦΟΡΕΣ (ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ)

[1] Mach, E., *The Science of Mechanics*. The Open Court Publishing Co., Chicago, London (1919).
[2] Mach, E., *Popular Scientific Lectures*, The Open Court Publishing Co., 3rd Edition Revised and Enlarged, Chicago (1898).
[3] Sichau, C. Beyond the Textbook: Formative Traditions, Objects, and the Science Museum of the Future. In Heering, P. & Osewold (eds.), *Constructing Scientific Understanding through Contextual Teaching*, Frank & Timme, Germany (2007), pp.243-263.
[4] Weber, T., Museums and Schools: A review of the relationship. In Xanthoudaki, M.(ed.), *Teaching Science and Technology with Museums*, SMEC European Project (2002), pp.25-33.
[5] Ganot, A., *Cours de Physique Purement Expérimentale : A L'usage des Personnes Etrangères aux Connaissances Mathématiques.* Chez l'auteur-éditeur, Paris (1859), http://gallica2.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k205797p (είσοδος 22-5-2011).
[6] Figuier, L., *Les Merveilles de la Science ou Description Populaire des Inventions Modernes*. Tome I, Furne, Jouvet, Paris (1867), http://gallica2.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k24674j (είσοδος 22-5-2011).
[7] Gires, F., *Physique, Côté Cours, Cabinet de Physique dans L'enseignement Secondaire au XIXè Siècle*, Perigueux – Musée du Perigord (1997).
[8] Gires, F., *Physique Impériale, Cabinet de Physique du Lycée Imperial de Perigueux*, Aseiste (2004).
[9] Gires, F., *L'empire de la Physique- Cabinet du Lycée Guez de Balzac d'Angoulême*, Aseiste –Niort (2006).
[10] Galison, P., History, Philosophy and the Central Metaphor, *Science in Context* 2,1, 197-212 (1988).
[11] Hankins, T. & Silverman, R., *Instruments and the Imagination*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey (1995).
[12] Shapin,S., Pump and Circumstance: Robert Boyle's Literary Technology. *Social Studies of Science*, 14, 4, 481-520 (1984).
[13] Bensaude-Vincent, B. & Blondel, C., A Science Full of Shocks, Sparks and Smells. Introduction in Bensaude-Vincent, B. & Blondel, C.(eds.), *Science and Spectacle in the European Enlightenment*. Ashgate (2008), pp.1-10 .
[14] Jowett, W. & Connor, J., *Christian Researches in the Mediterranean, from MDCCCXV to MDCCCXX; in furtherance of the objects of the Church Missionary Society*. Printed by Watts, R. Published for the Society by Seeley, L.B. & Hatchard, J., London (1822).
[15] Karas,Y. & Vlahakis, G., *Sciences in the South Eastern Europe during the 19th century, Greece-Servia-Montenegro*. National Hellenic Research Foundation NHRF, Institute for Neohellenic Research, Athens (2004).
[16] Taylor, C., *The Art and Science of Lecture Demonstration*, Adam Hilger, Bristol and Philadelpia, IOP Publishing Ltd (1988).
[17] Arabatzis, T., Experiment. In Horowitz, M. (ed.), *New Dictionary of the History of Ideas*, Vol. 2, Charles Scribner's Sons , Detroit (2005), pp. 765-769.
[18] Πάπαρου, Φ, Καραλιώτα, Α., Καλλίτσης, Π., Παρουσίαση εκπαιδευτικού λογισμικού για τη διδασκαλία ενοτήτων της θεματικής περιοχής: «Υλη και Φως». Μια πρόταση αξιοποίησης της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Στο Φιλντίσης, Π. (επιμ.), *Πρακτικά του 10ου Συνεδρίου της* ΕΕΦ, Τόμος Α', Λουτράκι (2004α), σελ.135-139.
[19] Πάπαρου Φ., Καλλίτσης, Π., Μπουλουξή, Α., «Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;» Ανάπτυξη διδακτικής πρότασης για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών στο Μουσείο Φυσικής της Χίου. Στο Τσελφές Β., Καριώτογλου Π., Πατσαδάκης Μ. (επιμ.), *Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και τις Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση,* Τόμος Α', ΕΚΠΑ, Αθήνα (2004β), σελ.243-250.
[20] Πάπαρου, Φ., Καλλίτσης, Π., Καραλιώτα, Α., Μπουλουξή, Α., Η διδακτική αξιοποίηση του Μουσείου Φυσικής της Χίου μέσα από εφαρμοζόμενο πρόγραμμα φυσικών επιστημών. *Βιβλίο Περιλήψεων του Διεθνούς Διεπιστημονικού Συνεδρίου*: *Επιστήμη και Τέχνη: Αναζητώντας τα κοινά σημεία, συζητώντας τις διαφορές*, Τόμος Β', ΕΕΦ, Αθήνα 16-19 Ιουνίου (2005), σελ.40-42.
[21] Πάπαρου, Φ., Καλλίτσης, Π., Καραλιώτα, Α. Ψύλλος, Σ., «Οι πρώτες ημέρες του ηλεκτρισμού»:

Παρουσίαση διδακτικής πρότασης εφαρμοζόμενης στο Μουσείο Φυσικής της Χίου, *Πρακτικά 11ου Πανελληνίου Συνεδρίου: Οι Νέοι Ορίζοντες της Φυσικής Επιστήμης στον Αιώνα μας,* ΕΕΦ, Λάρισα 30-31 Μαρτίου, 1-2 Απριλίου (2006), *Τεύχος Περιλήψεων Εργασιών* σελ.91-92 & *CD-ROM*, ISBN 960-87635-4-1) (πλήρες κείμενο).

[22] Πάπαρου, Φ., «Συνομιλώντας με τ' αστέρια»: Διδακτική πρόταση στο πλαίσιο εφαρμοσμένου εκπαιδευτικού προγράμματος στο Μουσείο Φυσικής της Χίου. Στο Δ.Κολιόπουλος (επιμ.), *Πρακτικά του 4ου Πανελλήνιου Συνέδριου*: *Ιστορία, Φιλοσοφία και Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών,* Τμήμα ΤΕΕΑΠΗ Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 5-7 Οκτωβρίου (2007), σελ.311-325.

[23] Πάπαρου, Φ. & Καλλίτσης, Π., «Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;»: Παρουσίαση εφαρμοσμένης διδακτικής πρότασης για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών στο Μουσείο Φυσικής της Χίου». Στα *Πρακτικά του Συνεδρίου: Διδακτική & Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών: Άτυπες Μορφές Εκπαίδευσης και Νέες Τεχνολογίες,* ΕΔΙΦΕ, ΠΤΔΕ Πανεπιστημίου Αθηνών, Αθήνα, 28-29 Μαΐου (2005), σελ.61-63.

[24] Πάπαρου, Φ. & Καραλιώτα, Α., Διδακτική αξιοποίηση των ιδεών των μαθητών στο πλαίσιο διδακτικής πρότασης με τίτλο: «Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;». *Πρακτικά Πανελλήνιου Εκπαιδευτικού Συνεδρίου : Τα λάθη των μαθητών, δείκτες αποτελεσματικότητας ή κλειδιά για τη βελτίωση της ποιότητας της εκπαίδευσης;* ΚΕΕ, Θεσσαλονίκη, 13-14 Δεκεμβρίου 2007.

[25] Paparou, F., Kallitsis, P., Bournias, A. The Science Museum of Chios as a Challenge to Enrich the Scientific and Cultural Life of the Inhabitants of the Island of Chios and the Wider Area of Voreio Aigaio. *RuraLEARN International Conference, Lifelong Learning for Rural Europe,* Mesta, Chios, 24-27 June (2007), pp.369-373.

[26] Paparou, F., Lelingou, D., Sircar, S., Varga, B., Presentation of the European Project: Exploring Science as Culture through the European Science Museums. *2ο Διεθνές Διεπιστημονικό Συνέδριο Επιστήμη & Τέχνη,* ΕΕΦ, Αθήνα, 16-19 Ιανουαρίου (2008a), http://www.anakalypto.eu/flash/flora1/index.htm Slides 1-48 (είσοδος 7-4-2011).

[27] Paparou,F., Karaliota, A., Psillos, S., Kallitsis, P., 'How Would the Earth be without Air?': Teaching Proposal for the Exploration of a Science Museum Using the History of Science. *Book of Abstracts* of the *XXVII Symposium*, SIC, Museum of Science, University of Lisbon, Portugal, 16-21 September (2008b), p.75.

[28] Paparou, F., Telling Stories of Science: Creating "Lesson-Shows" and Interactive Games to Explore a Historical Scientific Instrument Collection. *Proceedings of the ECSITE International Conference*, Milan, Italy, 2-4 June (2009a), pp.54-5, http://www.ecsite-conference.net/en/index.php?n=200 (είσοδος 22-5-2011).

[29] Paparou, F.& Karaliota, A. , 'The First Days of Electricity' : Teaching Proposal for the Exploration of the History of Electricity Using an Historical Scientific Instrument Collection, In the *Book of Abstracts of the XXIII ICHST- Ideas and Instruments in Social Context*, Budapest , Hungary 28 July -2 August (2009), p.691, http://www.conferences.hu/ichs09/ICHST09_book_of_abstracts_author_index.pdf (είσοδος 7-4-2011).

[30] Paparou, F., 'Matter and Light- From Lightning to X-Rays: Removing the Air': Teaching Proposal for the Exploration of an Historical Scientific Instrument Collection. *Full Conference Handbook of the BSHS Annual Conference,* University of Aberdeen, UK, 22-25 July (2010a), pp.40-41, http://www.bshs.org.uk/sites/default/files/Programme%202010v4smh.pdf (είσοδος 22-5-2011).

[31] Paparou, F. 'Shall we Stroll to the Museum?': Educational Proposal for the Exploration of an Historic School Scientific Instrument Collection. *Proceedings of the 11th International IHPST History, Philosophy and Science Teaching Conference Science & Culture: Promise, Challenge and Demand*, Thessaloniki, Greece, 1-5 July (2011), pp.574-580.

[32] Paparou, F. & Karaliota, A., 'How Would the Earth Be without Air?': Teaching Proposal for the Exploration of Air and Atmospheric Pressure through Historical Instruments, Experiments and Stories. *Proceedings of the 11th International IHPST History, Philosophy and Science Teaching Conference Science & Culture: Promise, Challenge and Demand*, Thessaloniki, Greece,1-5 July (2011), pp.581-587.

[33] Πάπαρου, Φ. «Στο δωμάτιο του Νεύτωνα» : Διδακτική πρόταση για την εξερεύνηση θεμάτων οπτικής με τη βοήθεια ιστορικών πειραμάτων». Στο Κορφιάτης, Κ., Πορτίδης, Δ., Ραφτόπουλος, Α., Χαραλάμπους, Δ. (επιμ.), *Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Συνεδρίου Ιστορίας, Φιλοσοφίας και*

Διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών: Οι Μεγάλες Επιστημονικές Θεωρίες στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Κύπρου, Λευκωσία, 11-14 Ιουνίου (2009), σελ.96-107.

[34] Πάπαρου, Φ., *Υφαίνοντας το Αναλυτικό Πρόγραμμα των Φυσικών Επιστημών με τη Συνδρομή της Ιστορίας και της Φιλοσοφίας της Επιστήμης*. Διπλωματική Εργασία Διπλώματος Ειδίκευσης.Τμήμα Χημείας ΕΚΠΑ, Αθήνα (2003).

[35] Πάπαρου, Φ., Σκηνοθεσία του Θεατρικού Έργου του Ανδρέα Κασσέτα: «Η Ποίηση στο Εδώλιο μαζί και η Σελήνη» με Ηθοποιούς- Μαθητές του 1ου Γυμνασίου Χίου. *Παράσταση στο πλαίσιο του Διεθνούς Διεπιστημονικού Συνεδρίου: Επιστήμη και Τέχνη: Αναζητώντας τα κοινά σημεία, συζητώντας τις διαφορές*, ΕΕΦ, Αθήνα, 16-19 Ιουνίου (2005).

[36] Πάπαρου, Φ. & Καραλιώτα, Α., Ανάπτυξη διδακτικής πρότασης για τη διδασκαλία υπο-ενότητας στο κεφάλαιο των χημικών αντιδράσεων με τη συνδρομή της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης. Τίτλος διδακτικής πρότασης: *Μεταμορφώσεις του χαλκού*». Στα *Πρακτικά του 13ου Επιμορφωτικού Σεμιναρίου Χημείας*, Τμήμα Παιδείας & Χημικής Εκπαίδευσης, ΕΕΧ, Αθήνα (2003), σελ.36-44.

[37] Paparou F., Karaliota, A., "An Alchemy Lesson": Teaching Proposal for the Utilization of Literature in Science Teaching. *Book of Abstracts of the 7th International Conference on History of Chemistry* (ICHC): *Consumers and Experts- The Uses of Chemistry and Alchemy*, Sopron, Hungary, 2−5 August (2009), p.37.

[38] *Η Αλήθεια* 17/10/2005, Εκπαιδευτικό πρόγραμμα Φυσικών Επιστημών στο Μουσείο Φυσικής της Χίου, Πάμε μια βόλτα στο Μουσείο; (2005), http://www.alithia.gr/newspaper/2005/17102005/17102005,12593.html (είσοδος 7-4-2011).

[39] *ChiosNews*.com 27/3/2006, Εκδήλωση-ξενάγηση στο Μουσείο Φυσικής (2006), http://www.chiosnews.com/cn2732006714410.asp (Είσοδος 7-4-2011).

[40] *Η Αλήθεια* 28/3/2006, Αύριο στις 6.30 μ.μ. στο 1ο Γυμνάσιο, Πάμε μια βόλτα στο Μουσείο Φυσικής; (2006), http://www.alithia.gr/newspaper/2006/28032006/28032006,14921.html (είσοδος 7-4-2011).

[41] *Η Αλήθεια* 6/12/2006, Πάμε μια βόλτα στο Μουσείο; Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα; (2006), http://www.alithia.gr/newspaper/2006/06122006/06122006,17916.html (είσοδος 7-4-2011).

[42] *ChiosNews*.com 7/12/2006, Πάμε μια βόλτα στο Μουσείο; Εκπαιδευτικό Πρόγραμμα Φυσικών Επιστημών στο Μουσείο Φυσικής της Χίου (2006), http://www.chiosnews.com/cn71220061232230.asp (είσοδος 7-4-2011).

[43] *Η Αλήθεια* 26/01/2007, Πάμε μια βόλτα στο μουσείο; Εκπαιδευτικό Πρόγραμμα Φυσικών Επιστημών στο Μουσείο Φυσικής της Χίου (2007), http://www.alithia.gr/newspaper/2007/26012007/26012007,18651.html (είσοδος 7-4-2011).

[44] *ChiosNews*.com, 21/9/2007, Εκπαιδευτικό Πρόγραμμα: Πάμε μια βόλτα στο Μουσείο Φυσικής &Ιστορίας (2007) http://www.chiosnews.com/cn2192007755540.asp (είσοδος 7-4-2011).

[45] Μπουρνιάς, Α., Το Μουσείο Φυσικής. Στο Τρυποσκούφη, Α. & Μπουρνιάς, Α.(επιμ.), *Οδηγός Μουσείου Ιστορίας και Φυσικής Χίου,* Φίλοι της Αίθουσας Ιστορίας και Εκπαίδευσης 1ου Γυμνασίου Χίου, Εκδόσεις «Άλφα Πι» (2005), σελ.119-187.

[46] Paparou, F., What a History of Science Museum Can Offer to the Public? Examining the Field through Examples and Initiatives. *Book of Abstracts of the International Conference*: *History of Science in Practice*, NHRF, University of Athens & HSHPDS, Athens, Greece, 6th - 9th May (2010b), http://www.hpdst.gr/events/conferences/abstracts/323 (είσοδος 22-5-2011).

[47] Paparou, F., From the History of Ideas to the History of Places, Institutions, Instruments, and Scientific Cultures, *Book of Abstracts of the XXIX Symposium*, SIC, Florence, Italy, 4-9 October (2010c), pp.52. http://www.sic.iuhps.org/conf2010/Abstracts.pdf (είσοδος 22-5-2011).

[48] Brenni, P., The Possible Uses of University Instrument Collections. *Rittenhouse*, 22, 2, 211-224 (2008).

[49] Brenni, P., Dusty Relics or Speaking Witnesses of the Past? The Possible Uses of University Collections. *Book of Abstracts of the SICU2: International Workshop on Historic Scientific Instrument Collections in the University*, 21-24 June 2007, Oxford, Mississippi, USA (2007), p.43, http://iuhps.org/conf2007/SICU2_Abstracts_Final.pdf (είσοδος 22-5-2011).

[50] Bennett, J., Knowing and Doing in the Sixteenth Century: What Were Instruments for? (Presidential address delivered at the BSHS meeting 'Do collections matter to instrument studies?' at the

Museum of the History of Science, Oxford, June 2002). BJHS, 36, 129-150 (2003).
[51] Bennett, J., Can Science Museums Take History Seriously?, *Science as Culture*, 5, 1, 124-137 (1995).
[52] Bennett, J., Brain, R., Bycroft, K., Schaffer, S., Sibum, H.O., Staley, R., E*mpires of Physics: A Guide to an Exhibition*. Whipple Museum of the History of Science, Cambridge (1993).
[53] Brenni, P., Were Didactic Scientific Instruments really used? The Evolution of Teaching Physics between 1850 and 1930. Book of Abstracts of the *International Symposium: Learning by Doing: Experiments and Instruments in the History of Science Teaching*, SIC Conference, Regensburg, Germany, 3-5 April (2009), http://iuhps.org/conf2009/LbyD_Abstracts.pdf (είσοδος 22-5-2011).
[54] Turner, S., Instruments for Science: Scientific Instrument Trade Literature. *Introduction to the Digital Collection of the Instruments for Science, 1800-1914: Scientific Trade Catalogs in Smithsonian Collections* (2003), http://www.sil.si.edu/digitalcollections/trade-literature/scientific-instruments/intro-turner.htm (είσοδος 22-5-2011).
[55] Van Helden, A., The Birth of the Modern Scientific Instrument, 1550–1700. In J. G. Burke (ed.), *The Uses of Science in the Age of Newton*. University of California Press, Berkeley (1983), pp.49-84.
[56] Warner, J.D.,What is a Scientific Instrument, When Did it Become One, and Why? *BJHS*, Cambridge University Press, 23, 1, 83-93 (1990).
[57] Taub, L., On Scientific Instruments, *Studies in History and Philosophy of Science*, 40, 4, 337-343 (2009)
[58] Van Helden, A. & Hankins, T.L., Introduction: Instruments in the History of Science. *Osiris*, Second Series 9, 1-6 (1994).
[59] Shadwell, T., *The Virtuoso* (Regents Restoration Drama). David Stuart Rhodes, D.S., Marjorie Hope Nicolson, M.H. (eds.), University of Nebraska Press (1966).
[60] Schott, G. *Gasparis Schotti Technica Curiosa, Sive Mirabilia Artis* : libris XII Bd. Endter, Norimbergae (1664) (Max Planck Institute for the History of Science Library: "MPIWG Berlin", http://www.mpiwg-berlin.mpg.de/en/resources/library.html) (είσοδος 22-5-2011).
[61] Della Porta, J.B., *Natural Magick. In Twenty Books*. [Translated from the Latin.]. Young, T. & Speed, S., London (1658), http://homepages.tscnet.com/omard1/jportat2.html (είσοδος 22-5-2011).
[62] Van Helden, A., Telescopes and Authority from Galileo to Cassini. *Osiris*, Second Series, 9, 9-29 (1994).
[63] Hevelius, J. *Johannis Hevelii Selenographia… Edani Edita : Autoris Sumtibus* (1647).
[64] Bacon, F., *The New Organon or True Directions Concerning the Interpretation of Nature*. First published in 1620. Text based on the standard translation of Spedding, J., Ellis, R.L., and Heath D.D. In Taggard and Thompson (eds.), *The Works* (Vol. VIII), Published in Boston in 1863 (1620/1863), http://ebooks.adelaide.edu.au/b/bacon/francis/organon/chapter1.html (είσοδος 22-5-2011).
[65] Bacon, F. *The Advancement of Learning*, Serenity Publishers, Arc Manor Company, USA, UK (1623/2008).
[66] Rossi, P., Bacon's Idea of Science. In Peltone, M.(ed.), *The Cambridge Companion to Bacon*, Cambridge University Press (1996).
[67] Hacking, I. *Αναπαριστώντας και Παρεμβαίνοντας*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ (1983/2002)
[68] Pesic,P., Wrestling with Proteus: Francis Bacon and the "Torture" of Nature. Isis, 90, 1, 81-94 (1999).
[69] Bacon, F., *The New Organon*, Cambridge texts in the History of Philosophy. Jardine L. & Silverthorne, M. (eds.), Cambridge University Press (1620/2000).
[70] Bacon, F., *Novum Organum, Sive Indicia vera de Interpretatione Naturae*. Oxon II e Typographeo Clarendoniano (1620/1813).
[71] Smith, H.P. Laboratories. In Park, K. & and Daston, L. (eds.), *The Cambridge History Of Science*, Volume 3, Early Modern Science, Cambridge University Press, (2006), pp. 290-305.
[72] Boyle, R., An Examen of Mr. T.Hobbes. His Dialogus Physicus de Natura Aeris. In *The Works of the Honourable Robert Boyle. In six volumes. To which is prefixed the life of the author*, London (1772 ed.), Volume I, pp.186-242.
[73] Shapin, S. & Schaffer, S., *Leviathan and the Air-Pump*. Princeton University Press (1985).
[74] Priestley, J. *The History and Present State of Electricity, with Original Experiments*, by Joseph Priestley, LL.D. F.R.S. Third edition. In two Volumes, Volume 1, London (1775).

[75] Hackmann, W.D., Scientific Instruments: Models of Brass and Aids to Discovery. In Gooding, D., Pinch. T., & Schaffer, S. (eds), *The Uses of Experiment*, Cambridge University Press (1989), pp.31-65.

[76] Kuhn, T. *The Essential Tension*: *Selected Studies in Scientific Tradition and Change*. University of Chicago Press, Chicago (1977a).

[77] Smithsonian Institution Libraries, *Instrument for Science, 1800-1914: Scientific Trade Catalogs in Smithsonian Collections*, Digital Collection, Washington, D.C. (2003), http://www.sil.si.edu/digitalcollections/trade-literature/scientific-instruments/index.htm (είσοδος 22-5-2011).

[78] Ritchie E.S & Sons, Inc. *Illustrated Catalogue of Philosophical Instruments, and School Apparatus*, Boston, MA, United States (1860).

[79] Jones, W. & S. *A Catalogue of Optical, Mathematical and Philosophical Instruments, London, England* (1822).

[80] Charles-Chevalier. *Catalogue explicatif et illustré des instruments d'optique et de météorologie usuelles, Paris*, France (1860).

[81] Turner, S., Chicago Scientific Instrument Makers, 1871-1918, Part I: The School Science Market, *Rittenhouse*, 19, 2, 65-128 (2005).

[82] Zoller, P., Physics Experiments for Everyone: German Makers, Scientific Instrument Society, *Bulletin*, 102, 21-29 (2009).

[83] Physics Museum of the University of Coimbra, Official Website, http://museu.fis.uc.pt/indexi.htm (είσοδος:14-06-2010).

[84] Malaquias, I., Queirós,M., Valente, M.A., Gomes, M.E., Martins, D.R., Saraiva, C. Almeida,J., Oliveira,J., Thomaz,M. (2008).The Scientific Heritage of Physics and Chemistry: Didactic instruments in Portuguese Secondary Schools. *Book of Abstracts* of the *XXVII Symposium*, SIC, Museum of Science, University of Lisbon, Portugal,16-21 September (2008), p.95.

[85] Granato, M., Collections of Scientific Instruments in Brazil: Current Situation and Prospects. In *Book of Abstracts of the SICU2: International Workshop on Historic Scientific Instrument Collections in the University*, 21-24 June 2007, Oxford, Mississippi, USA (2007), p.14, http://iuhps.org/conf2007/SICU2_Abstracts_Final.pdf (είσοδος 22-5-2011).

[86] Granato, M., Collections of Scientific Instruments in Brazil: Current Situation and Prospects. *Rittenhouse*, 22, 2, 169-187 (2008).

[87] Turner,G.L'E., Preface. In Dragoni, G., McConnell, A. Turner, G.L'E.(eds.), *Proceedings of the Eleventh International SIC Symposium*, Bologna University, Italy, 9-14 September 1991. Grafis Edizioni, Bologna (1994), p.15.

[88] Chierego, N.& Angelini, A.(1994). Upgrading and Utilization of Historical Instruments: Experience in a Secondary Technical School. In Dragoni, G., McConnell, A. & Turner, G.L'E.(eds.), *Proceedings of the Eleventh International SIC Symposium*, Bologna University, Italy 9-14 September 1991. Grafis Edizioni, Bologna (1994), pp.247-248.

[89] Molisso, G. (ed). *Il Museo del Gabinetto di Fisica e Chimica 'Leopoldo Ciccone' del Liceo Ginnasio 'Vittorio Emanuele II' di Napoli*. Catalogo 1861-1900. Inventario 1861-1960. Napoli, Nella sede dell'Istituto (2008).

[90] Nollet, J-A. *Lettres sur l'Elect*ricité, Part 1, Lettre II, A Monsieur Benjamin Franklin, Paris (1753).

[91] Franklin, B., To John Lining, Philadelphia, March 18, 1755.In the *Papers of Benjamin Franklin*. Packard Humanities Institute Digital Edition,Volume 5 (1753-55), p.521. http://franklinpapers.org/franklin/framedVolumes.jsp (είσοδος 22-5-2011).

[92] Bertucci, P. Domestic Spectacles: Electrical Instruments between Business and Conversation. In Bensaude-Vincent, B. & Blondel, C. (eds.), *Science and Spectacle in the European Enlightenment*, Ashgate (2008), pp.75-87.

[93] Dvoichenko-Markov, D., A Rumanian Priest in Colonial America, *American Slavic and East European Review*, 14, 3, 383-389 (1955).

[94] Millburn, J.R., The London evening courses of Benjamin Martin and James Ferguson, Eighteenth-Century Lecturers on Experimental Philosophy. *Annals of Science* 40, 5, 437-455 (1983).

[95] Martin, B., *The Philosophical Grammar; Being a View of the Present State of Experimented Physiology, or Natural Philosophy*…London, *MDCCXXXV* (1735).

[96] Petrou, G., Translation Studies and the History of Science: The Greek Textbooks of the 18th Century. *Science & Education*, 15, 7-8, 823-840 (2006).

[97] Martin, B., *The General Magazine of Arts and Sciences, Philosophical, Philological, Mathematical, and Mechanical ...*, London, printed for W. Owen, at Homer's Head, in Fleet-street, *M DCC LV* (1755-1765).

[98] Ferguson, J., *Lectures on Select Subjects in Mechanics, Hydrostatics, Pneumatics, and Optics: with The Use of the Globes, The Art of Dialing, and The Calculation of the Mean Times of New and Full Moons and Eclipses*, London, *MDCCLX* (1760).

[99] Matthews, M.R., *Science Teaching. The role of History and Philosophy of Science*. Routledge, New York –London (1994).

[100] Mc Clellan, J., Scientific Institutions and the Organization of Science. In Porter, R.(ed.), *The Cambridge History of Science* (Vol.4), Cambridge University Press (2008), pp.87-106.

[101] Gravesande 's, W.J., *Mathematical Elements of Natural Philosophy Confirmed by Experiments*. Translated into English by the late Desaguliers LLD FRS. 6th edition, Volume II, London (1747).

[102] Lourenco, M., *Between two Worlds. The Distinct Nature and Contemporary Significance of University Museums and Collections in Europe*. Thèse Doctoral, Conservatoire National Des Arts Et Métiers, CNAM, Paris (2005).

[103] Brockliss, L., Science, the Universities and other Public Spaces, Teaching Science in Europe and the Americas, In Porter, R.(ed.), *The Cambridge History of Science* (Vol.4), Cambridge University Press (2008), pp.44-86.

[104] Σπανδάγος, Β., Σπανδάγου, Ρ. & Τραυλού, Δ., *Έλληνες Θετικοί Επιστήμονες από το 1453 έως το 1821*. Αίθρα, 2η έκδοση, Αθήνα (2008).

[105] Κονδύλης, Π., *Ο Νεοελληνικός Διαφωτισμός*. Οι Φιλοσοφικές Ιδέες. Γ'έκδοση. Ιστορική Βιβλιοθήκη Θεμέλιο (2008).

[106] Ρήγας Βελεστινλής, *Φυσικῆς Απάνθισμα*, Βιέννη (1790). Ανατύπωση από την ΕΕΦ, Αθήνα (1971), & http://195.134.75.14/hellinomnimon/0709241349300000/main.htm (είσοδος 13-6-2011).

[107] Fontenelle, B., *Entretiens sur la Pluralité des Mondes*. De l' Académie Françoise. Nouvelle éd. Augmentée. Londres (1741), http://www.e-rara.ch/doi/10.3931/e-rara-1301 (είσοδος 13-6-2011).

[108] Κοδρικάς, Π., *Ὁμιλίαι περί πληθύος κόσμων του κυρίου Φοντενὲλ*. Μεταφρασθεῖσαι ἀπό τῆς Γαλλικῆς Διαλέκτου εἰς τὴν καθ'ἡμάς ἁπλῆν Ρωμαϊκήν γλῶσσαν, καὶ ὑποσημειωθεῖσαι. Βιέννη (1794), http://www.lib.uoa.gr/hellinomnimon/0709241317270000/main.htm (είσοδος 22-5-2011).

[109] Fourcroy, A-F., *Philosophie Chimique, ou Vérités Fondamentales de la Chimie Moderne, Disposées dans un Nouvel Ordre*. Seconde édition. Chez du Pont, Paris (1792), http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k90276m (είσοδος 22-5-2011).

[110] Ηλιάδης, Θ., Χημική Φιλοσοφία ὑπό Α.Φ.Φουρκροὰ, Ἐκ Γραικισθεῖσα ὑπό Θεοδοσίου Μ.Ἠλιάδου, Ἐπιδιορθωθεῖσα καὶ τύποις ἐκδοθεῖσα ὑπὸ Ἀνθίμου Γαζῆ. Βιέννη (1802), http://195.134.90.78:8080/katoptron/loadDocumentPage.do?pageId=64870 (είσοδος 13-06-2011).

[111] *Ερμής ο Λόγιος,* Γαζής, Α., Φαρμακίδης, Θ., Κοκκινάκης, (επιμ.), Βιέννη (1811-1821), http://anno.onb.ac.at/cgi-content/anno?aid=lgh (είσοδος 22-5-2011).

[112] Φραγκίσκος, Ε.Μ. Εισαγωγή στην Επανέκδοση του Περιοδικού *Ερμής ο Λόγιος*, Τόμος Α', Ελληνικό Λογοτεχνικό και Ιστορικό Αρχείο (Ε.Λ.Ι.Α.) (1988), σελ.ια'-ιγ'.

[113] Κέντρο Νεοελληνικών Ερευνών (Κ.Ν.Ε.), *Τα ελληνικά προεπαναστατικά περιοδικά. Ευρετήρια. Ερμής ο Λόγιος 1811-1821*. Φραγκίσκος, Ε.(επιμ.), Αθήνα, 1976.

[114] Κούμας, Κ. *Σύνοψις Φυσικῆς. Εἰς χρῆσιν των πρωτοπείρων μαθητῶν τοῦ φιλολογικοῦ τῆς Σμύρνης Γυμνασίου* (1812), http://www.lib.uoa.gr/katoptron/loadDocumentPage.do?pageId=2931 (είσοδος 22-5-2011).

[115] Κυδωνιάτες, Οἱ Κυδωνιᾶτες πρὸς τὸν Κοραῆν, Κυδωνίαι 3 Αυγούστου 1814. Στο Βαλέτα, Γ. (επιμ.), *Κοραῆς: Ἅπαντα* τὰ *πρωτότυπα*, Τόμος Β1, Δωρικός, Αθήνα (1965), σελ.877.

[116] Καΐρης, Θ., Πρὸς Κοραῆν, Κυδωνίας, 6 Αυγούστου 1814. Στο Βαλέτα, Γ. (επιμ.), *Κοραῆς: Ἅπαντα* τὰ *πρωτότυπα*, Τόμος Β1, Δωρικός, Αθήνα (1965), σελ.878-879.

[117] Άμαντος, Κ., *Τα Γράμματα εις την Χίον κατά την Τουρκοκρατίαν 1566-1822*. Βιβλιοπωλείον Νότη Καραβία, Αθήνα (1976).

[118] Ευαγγελίδης, Τ., *Η Παιδεία επί Τουρκοκρατίας (Ελληνικά Σχολεία από της Αλώσεως μέχρι Καποδιστρίου)*, Τόμοι Α'& Β', Τύποις: Α.Π. Χαλκιοπούλου, Αθήνα (1936).

[119] Βαρδαλάχος, Κ., *Φυσική Πειραματική*, Βιέννη (1812), http://www.lib.uoa.gr/katoptron/loadDocumentPage.do?docId=1772 (είσοδος 22-5-2011).
[120] Marcellus, Le Vicomte, *Souvenirs de l'Orient*. Tome Premier, Debécourt, Librairie-éditeur, Paris (1839).
[121] Χαροκόπος, Α., *Η περιώνυμη Σχολή της Χίου*. Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη/ Αθήνα (2006).
[122] Khantine-Kanglois, F., Les Multiples Manuels : Une Source pour Retrouver la Description et l'Usage des Appareils Anciens. Gires, F. (ed.), *Cabinet de Physique du Lycée Guez de Balzac d'Angoulême*, ASEISTE (2006), pp.19-23.
[123] Sherratt, W.J., History of science in the science curriculum: an historical perspective. Part I: Early interest and roles advocated, *School Science Review*, Dec 1982, 225-236 (1982).
[124] Hulin, N., La physique expérimentale au lycée, In Gires, F., (ed.), *L'empire de la Physique- Cabinet du Lycée Guez de Balzac d'Angoulême*, Aseiste-Niort, (2006), pp. 15-18.
[125] Rosen, S., A History of the Physics Laboratory in the American Public High School (to 1910), *American Journal of Physics*, 22, 4, 194-204.
[126] Moyer, A.E., Edwin Hall and the Emergence of the Laboratory in Teaching Physics, *The Physics Teacher*, 14, 2, 96-103 (1976).
[127] Turner,S., The reluctant Instrument Maker: A.P. Gage and the Introduction of the Student Laboratory, *Rittenhouse*, 18, 2, 40-61 (2004).
[128] Hulin, N., Histoire des Sciences et Enseignement Scientifique. Quels Rapports? Un Bilan XXIe – XXe siècles. *Bulletin de l' Union des Physiciens* 90, 786, 1201-1243 (1996).
[129] Lerebours et Secretan Company, *Catalogue et Prix des Instruments D'Optique, de Physique, de Chimie, de Mathématiques, d'Astronomie et de Marine Imprint*, France, Paris (1853), http://www.sil.si.edu/digitalcollections/trade-literature/scientific-instruments/CF/SIsingle-record.cfm?AuthorizedCompany=Lerebours%20et%20Secretan (είσοδος 22-5-2011).
[130] Matthews, M., Ernst Mach and Thought Experiments in Science Education. *Research in Science Education* 18, 1, 251-257 (1988).
[131] Matthews, M., Ernst Mach and contemporary science education reforms, *International Journal of Science Education*, 13, 3, 317-325 (1990).
[132] Euler, M., Revitalizing Ernst Mach's Popular Scientific Lectures, *Science & Education*, DOI.10.1007/s11191-006-9020-3 (2006).
[133] Dewey, J. & Dewey, E., *Schools of Tomorrow*, E.P. Dutton & Company, New York (1915).
[134] Dewey, J., *Democracy and Education*, Macmillan Company, New York (1916).
[135] Πιαζέ, Ζ., *Ψυχολογία & Παιδαγωγική*, Εκδόσεις Λιβάνη (1988/1999).
[136] Armstrong, H.E., *The Teaching of Scientific Method and other Papers on Education*, Macmillan (1903).
[137] Turner, G.L'E., Éduquer par la voie de l' expérience: Le XVIIIe siècle et l' emergence de la science populaire, de l' enseignement des sciences et de leurs instruments scientifiques respectifs. Pyenson, L.et Gauvin, J-F. (eds.), *L' art d'enseigner la physique: Les appareils de demonstration de Jean-Antoine Nollet 1700-1770*. Septentrion (2002), pp.1-10.
[138] Frank, J., Introduction. In the Frank, J.(ed.) *Christmas at the Royal Institution. An Anthology of Lectures by M Faraday, J Tyndall, R S Ball, S P Thompson, E R Lankester, W H Bragg, W L Bragg, R L Gregory, and I Stewart*. The Royal Institution of Great Britain, UK (2007), pp.xi-xxv.
[139] NRC (National Research Council), *Inquiry and the National Science Education Standards. A Guide for Teaching and Learning*. National Academy Press, Washington D.C. (2000).
[140] Grandy, R., & Duschl, R.A., Reconsidering the Character and Role of Inquiry in School Science: Analysis of a Conference. *Science & Education*, 16, 2, 141-166 (2007).
[141] PISA (Programme for International Student Assessment), Assessing *Scientific, Reading and Mathematical Literacy. A Framework for PISA 2006*, OECD (2006).
[142] Elkana, Y., Science, Philosophy of Science and Science Teaching. *Educational Philosophy and Theory*, 2, 1, 15-35 (1970).
[143] Psillos, S., Philosophy of Science A-Z, Edinburgh University Press (2008).
[144] Κάλφας, Β., Επιστημονική πρόοδος και ορθολογικότητα. Προς μια ρεαλιστική ανασυγκρότηση της σύγχρονης επιστημολογίας, Εκδόσεις Νήσος, Αθήνα (1997).

[145] Losee, J., *A Historical Introduction to the Philosophy of Science*, Fourth Edition, Oxford University Press (1972/2001).
[146] Harris, D. & Taylor, M., Discovery Learning in School Science: the Myth and the Reality. *Journal of Curriculum Studies*, 15, 3, 277-289 (1983).
[147] Bruner, J., *The process of education. A Landmark in Educational Theory,* Harvard University Press, 24th edition, Cambridge/ Massachusets/ London/ England (1960/1996).
[148] Schwab J. & Brandwein P., *The Teaching of Science. Two Essays*. Harvard University Press, Cambridge, Mass., Rieser Science (1962).
[149] Joyce, B. & Weil, M., *Models of Teaching,* Allyn & Bacon, 5th edition, Boston/ London/ Toronto/ Sydney/ Tokyo/ Singapore (1996).
[150] Duit, R.& Treagust, D.F, *Learning in Science- From Behaviorism Towards Social Constructivism and Beyond*. In Fraser, B.J. & Tobin, K.G. (eds.), International Handbook of Science Education, Part 1, pp.3-25, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/ Boston/ London (1998).
[151] Welch, W.W., Klopfer, L.E., Aikenhead G.S., Robinson J.T., The Role of Inquiry in Science Education: Analysis and Recommendations, *Science Education* 65,1, 33-50 (1981).
[152] Cromer, *A. Uncommon Sense: The Heretical Nature of Science*, 2nd edition, Oxford University Press US (1993/1995).
[153] Wolpert, L., *The Unnatural Nature of Science*, 3rd edition, Harvard University Press (1992/1997).
[154] Bertrand, Y., *Σύγχρονες Εκπαιδευτικές Θεωρίες,* Ελληνικά Γράμματα, Αθήνα (1994).
[155] Duit, R.& Treagust, D.F., Students' Conceptions and Constructivist Teaching. In Fraser, J. & Walberg, H.J. (eds.), *Improving Science Education*. National Society for the Study of Education (1995), pp. 46-69.
[156] Glasersfeld, E.von, Cognition, Construction of Knowledge and Teaching. *Synthese*, 80, 1, 121-140 (1989).
[157] Einstein, A. & Infeld, L., *Η εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική,* Εκδόσεις Δωδώνη, Αθήνα (1978).
[158] Glasersfeld, E.von, The Radical Constructivist View of Science. *Foundations of Science*, 6 ,1-3, 31-43 (2001).
[159] Piaget J., *Genetic Epistemology*, Columbia University Press, New York (1970).
[160] Kuhn, T., Concepts of Cause in the Development of Physics. In Kuhn. T., *The Essential Tension*, The University of Chicago Press (1977b), pp.21-30. Το πρωτοδημοσιεύτηκε υπό τον τίτλο: Les notions de causalité dans le development de la physique, *Etudes d' epistémologie génétique*, 25, 7-18 (1971).
[161] Kitcher, P., The Child as Parent of The Scientist, *Mind and Language*, 3, 3, 217-228 (1988).
[162] Nersessian, N., Εννοιολογική δόμηση και διδασκαλία: Ένας ρόλος για την ιστορία στη διδακτική των φυσικών επιστημών. Στο Κουλαϊδής, Β. (επιμ.), *Αναπαραστάσεις του φυσικού κόσμου - Γνωστική, επιστημολογική και διδακτική προσέγγιση*. Gutemberg, 2η έκδοση, Αθήνα (2000), σελ.115-130.
[163] Σέρογλου, Φ., *Η συμβολή της Ιστορίας της Φυσικής στο Σχεδιασμό Διδακτικού Υλικού*. Διδακτορική Διατριβή, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης ΠΔΤΕ, ΑΠΘ (2000).
[164] Nielsen H. & Thomsen P.V., History and Philosophy of Science in Physics Education. *International Journal of Science Education*, 12, 3, 308-316 (1990).
[165] Thomsen, P., The Historical Philosophical Dimension in Physics Teaching: Danish Experiences, *Science & Education*, 7, 5, 493-503 (1998).
[166] Matthews, M., Introductory Comments on Philosophy and Constructivism in Science Education. In Matthews, M. (ed.), *Constructivism in Science Education*, Kluwer Academic Publishers (1998), pp.1-10.
[167] Nola, R., Constructivism in Science and Science Education. In Matthews, M. (ed.), *Constructivism in Science Education*, Kluwer Academic Publishers (1998), pp.31-59.
[168] Driver, R.& Oldham, V., A Constructivist Approach to Curriculum Development in Science. *Studies in Science Education*, 13, 1, 105-122 (1986).
[169] Novak, J.D. & Gowin D.B., *Learning how to Learn*, Cambridge University Press, 13th edition, USA (1984/1997).
[170] White R.T. & Gunstone R.F., Metalearning and Conceptual Change, *International Journal of Science Education*, 11, 5, 577-586 (1989).

[171] Arabatzis, T., Experiment. In Psillos, S. & Curd, M. (eds.), *The Routledge Companion to Philosophy of Science*, Routledge, London & New York (2008), pp.159-170.
[172] Ασημακόπουλος, Μ., Η επιστήμη του Ian Hacking. Επίμετρο στο Hacking, I., *Αναπαριστώντας και Παρεμβαίνοντας*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα (2002), σελ.359-392.
[173] Hacking, I., The Self-Vindication of the Laboratory Sciences. In Pickering A.(ed.), *Science as Practice and Culture*, Chicago: University of Chicago Press (1992), pp.29-64.
[174] Galison, P., *How Experiments End?* University of Chicago Press, Chicage & London (1987).
[175] Steinle, F., Experiments in History & Philosophy of Science. *Perspectives on Science* 10, 4, 408-431 (2002).
[176] Matthews, M., Editorial. *Science & Education*, 13, 1-2, 1-5 (2004a).
[177] Phillips, D.C., Two Decades After: "After The Wake: Postpositivistic Educational Thought". *Science & Education*, 13,1-2, 67-84 (2004).
[178] Matthews, M., Reapraising Positivism and Education: The Arguments of Philipp Frank and Hebert Feigl, *Science & Education*, 13, 1-2, 7-39 (2004b).
[179] McComas, W.F., Almazroa, H., Clough, M.P., The Nature of Science in Science Education: An Introduction, *Science & Education*, 7, 6, 511-532 (1998).
[180] McComas, W & Olson, J., The Nature of Science in International Science Education Standards Documents. In McComas, W. (ed.), *The Nature of Science in Science Education*, Kluwer Academic Publishers (1998), pp.41-52.
[181] Elfin, J.T., Glenman, S., & Reisch, G., Comments and Critisism. The Nature of Science: A Perspective from the Philosophy of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 1, 107-116 (1999).
[182] Jenkins, E.W., The "Nature Of Science" as a Curriculum Component, *Journal of Curriculum Studies*, 28, 2, 137-150 (1996).
[183] Donnelly, J., Contested Terrain or Unified Project? "The Nature of Science" in the National Curriculum for England and Wales, *International Journal of Science Education* 23, 2, 181-195 (2001).
[184] Rudolph, J.H., Reconsidering the "Nature of Science" as a Curriculum Component, *Journal of Curriculum Studies*, 32, 3, 403-419 (2000).
[185] Good, R. & Shymansky J., Nature-of-Science Literacy in *Benchmarks* and *Standards*: Post-Modern/Relativist of Modern/Realist? *Science & Education*, 10, 1-2, 173-185 (2001).
[186] NRC (National Research Council), *National Science Education Standards*. Academy Press, Washington, D.C. (1996).
[187] AAAS (American Association for the Advancement of Science), *Benchmarks for Science Literacy, Project 2061*, Oxford University Press, New York (1993).
[188] AAAS (American Association for the Advancement of Science), *Project 2061: Science for All Americans*. Oxford University Press, New York (1989).
[189] Riess, F., Problems with German Science Education, *Science & Education*, 9, 4, 327-331 (2000a).
[190] Holton, G., The Project Physics Course, Then and Now, *Science & Education*, 12, 8, 779-786 (2003).
[191] Nielsen, H. & Thomsen, P.V., Physics in Upper Secondary Schools in Denmark. *International Journal of Science Education* 7, 1, 95-106 (1985).
[192] Nielsen, H. & Thomsen, P.V., Physics in Upper Secondary Schools in Denmark. *International Journal of Science Education* 8,3,315-324 (1986).
[193] Nielsen, H & Thomsen, P.V., Physics in Upper Secondary Schools in Denmark. *International Journal of Science Education*, 10, 2, 189-202 (1988).
[194] Rutherford, F.J., Fostering the History of Science in American Science Education, *Science & Education*, 10, 6, 569-580 (2001).
[195] Jenkins, E.W., The History of Science in British Schools: Retrospect and Prospect, *International Journal of Science Education*, 12, 3, 274-281 (1990).
[196] Fauque, D., Introduire la dimension historique au collège en France, *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 1, 2, 5-39 (2007).
[197] Whiteley, P., The History of Physics- its Use in a Caribbean Physics Syllabus, *School Science Review*, Dec. 1993, 75, 271, 123-127 (1993).

[198] Andersson, S., Using Historical Collections when Teaching a Broadened Science Curriculum. *Rittenhouse*, 22, 2, 114-131 (2008).
[199] Κασσέτας, Α., Ορυχείο δύο. Στο Κουμαράς, Π., Σέρογλου, Φ., Σκορδούλης, Κ. (επιμ.): *Πρακτικά συμποσίου: Η συμβολή της Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών,* Θεσσαλονίκη 6-8 Απριλίου (2001), σελ.275-288.
[200] Riess, F., History of Physics in Science Teacher Training in Oldenburg, *Science & Education*, 9, 4, 399-402 (2000b).
[201] Golin, G., Some Experiences in Teaching the History of Science to Future High-School Teachers in Universities of the Former Soviet Union (1970-1990). In Finley, F., Allchin, D., Rhees, D. & Fifield, S., *Proceedings of the Third International History, Philosophy and Science Teaching Conference.* Minneapolis, Minnesota. October 29-November 1 (1995), Volume I, pp. 470-479.
[202] Osborn, J. & Dillon, J., *Science Education in Europe: Critical Reflections. A Report to the Nuffield Foundation*, King's College London (2008), http://www.nuffieldfoundation.org/fileLibrary/pdf/Sci_Ed_in_Europe_Report_Final.pdf (είσοδος 22-5-2011).
[203] Sjøberg, S. & Schreiner, C., How Do Learners in Different Cultures Relate to Science and Technology? Results and Perspectives from the Project ROSE. *Asia Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 6, 2, 1-16 (2005), http://folk.uio.no/sveinsj/APFLT-foreword-Sjoberg-schreiner.pdf (είσοδος 22-5-2011).
[204] Millar, R., Taking Scientific Literacy Seriously as a Curriculum Aim, Asia Pacific Forum on Science Learning and Teaching, 9,2, 1-18 (2008), http://www.ied.edu.hk/apfslt/ (είσοδος 22-5-2011).
[205] ECSITE, *Proceedings of the Ecsite Annual Conference 2009*, Milan, Italy, 4-6 June (2009).
[206] Public Understanding of Science: The Royal Society Reports. *Science, Technology, & Human Values*, 11, 3, 53-60 (1986).
[207] Burns, T. W., O'Connor, D. J. and. Stocklmayer, S. M., Science Communication: A Contemporary Definition, *Public Understanding of Science*, 12, 2, 183–202 (2003).
[208] Heering P., Getting Shocks: Teaching Secondary School Physics through History. *Science & Education*, 9, 4, 363–373 (2000).
[209] Riess, F., Teaching Science and the History of Science by Redoing Historical Experiments. In F. Finley et al (eds.), *Procceedings of the Third International History, Philosophy and Science Teaching Conference*, Vol.2, University of Minnesota, Minneapolis (1995), pp.958-966.
[210] Devons, S., & Hartmann, L., A History-of-Physics Laboratory. *Physics Today* 23, 2, 44–49 (1970).
[211] Hoddeson, L. H., "Pilot Experience of Teaching a History of Physics Laboratory. *American Journal of Physics*, 39, 8, 924-928 (1971).
[212] Lawrenz, F. & Kipnis, N., Hands-on History of Physics. *Journal of Science Teacher Education*, 1,3, 54-59 (1990).
[213] Kipnis, N., 18th –Century Instruments in the Classroom. In Dragoni, G., McConnell, A. & Turner, G.L'E.(eds.), *Proceedings of the Eleventh International SIC Symposium*, Bologna University, Italy, 9-14 September 1991, Grafis Edizioni, Bologna (1994), pp.163-167.
[214] Allchin, D., Anthony, E., Bristol, J., Dean, A., Hall, D. & Lieb, C., History of Science – With Labs. *Science & Education*, 8, 6, 619-632 (1999).
[215] Cavicchi, E.M., Historical Experiments in Students' Hands: Unfragmenting Science through Action and History, *Science & Education*, 17, 7, 717-749 (2008a).
[216] Heering, P., On Coulomb's Inverse Square Law. *American Association of Physics Teachers*, 60, 12, 988-996 (1992).
[217] Sibum, H.O., Reworking the Mechanical Value of Heat: Instruments of Precision and Gestures of Accuracy in Early Victorian England, *Studies in the History and the Philosophy of Science*, 26,1, 73-106 (1995).
[218] Höttecke, D., How and What Can We Learn from Replicating Historical Experiments. A Case-Study. *Science & Education*, 9, 4, 343-362 (2000).
[219] Heering, P., History - Science - Epistemology: On the Use of Historical Experiments In Physics Teacher Training. In McComas, W.F. (ed.), *Proceedings of the 6th IHPST Conference Denver, USA, 2001*(2003), [File 58 on CD ROM from IHPST.ORG.].
[220] Lauginie, P., Weighing the Earth, Weighing the Words- From Cavedish to Modern Undergraduate

Demonstrations. In Heering, P. & Osewold, D. (eds.), *Constructing Scientific Understanding through contextual Teaching*, Frank & Timme, Berlin, (2007), pp.119-137.

[221] Winkler, P.F., Historic Instruments as a Resource in Undergraduate Teaching. *Rittenhouse*, 22, 2, 152-168 (2008).

[222] Heering, P. & Müller, F., Cultures of Experimental Practice – An Approach in a Museum. *Science & Education*, 11, 2, 203-214 (2002).

[223] Beneken, H., Frercks, J., Heering, P., Makus, A.& Riess, F., Forces, Distances, and Laws: An Experimental Competition about Electricity among an Englishman, a Frenchman and a German. In Obrist, H.U., & Vanderlinden, B. (eds.), *Laboratorium*. Dumont Antwerpen Open Roomade (2001), pp.237-240.

[224] Frercks, J., Heering, P., Hennig J., Makus, A. & Müller, F., Places of Experimental Action: Performance, Measurement and Construction. In Obrist, H.U & Vanderlinden, B. (eds.), *Laboratorium*, Dumont, Antwerpen Open, Roomade (2001), pp.240-244.

[225] Talas, S., A New Didactical Project in Padua: "Physics Laboratories and Historical Scientific Instruments". *Book of Abstracts* of the *XXVII Symposium*. SIC, Museum of Science, University of Lisbon, Portugal, 16-21 September (2008), p.81.

[226] Parkin, C., On the Shoulders of Giants: Museums Draw Lessons from History of Science: Museum of the History of Science, University of Oxford. *Proceedings of the ECSITE International Conference*, Milan, Italy, 2-4 June (2009), p.69, http://www.ecsite-conference.net/en/index.php?n=200 (είσοδος 22-5-2011).

[227] Bevilacqua, F. & Bordoni, S., New Contents for New Media: Pavia Project Physics. *Science & Education*, 7, 5, 451-469 (1998).

[228] Galluzzi, P., New Technologies and the Objects of Science. In Lindquist, S. (ed.), *Museums of Modern Science*, Novel Symposium 112 (2000), pp.107-116.

[229] Blondel, C., The Website@.Ampère and the History of Electricity. *Book of Abstracts of the XXIII ICHST - Ideas and Instruments in Social Context*, Budapest, Hungary, 28 July -2 August (2009), p.85.

[230] Lauginie, P., Guyon S., Azémar, C., Baraton, L. & Sarfati, A., 'Les Magiciens de la Lumière' or 'Wizards of Light'- A Film Tracing the History of the Speed of Light. *Book of Abstracts of the XXIII ICHST - Ideas and Instruments in Social Context*, Budapest, Hungary, 28 July -2 August (2009), p.689.

[231] Heering, P. & Sichau, C., Instruments and Experiments between The Laboratory and the Museum. *Archives des Sciences*, 58, Part 2, 97-111 (2005).

[232] Heering, P., The Enlightened Microscope: Re-enactment and Analysis of Projections with Eighteenth-Century Solar Microscopes, *BJHS*, 41, 3, 345–367 (2008).

[233] Cavicchi E., A Witness account of Solar Microscope Projections: Collective Acts Integrating across Personal and Historical Memory. *BJHS*, 41, 3, 369-383 (2008).

[234] Kipnis,N., The 'Historical-Investigative' Approach to Teaching Sciences. *Science & Education*, 5, 3, 277-292 (1996).

[235] Cavicchi, E.M., Mirrors, Swinging Weights, Light Bulbs… : Simple Experiments and History help a Class become a Scientific Community. In Heering, P. & Osewold (eds.), *Constructing Scientific Understanding through Contextual Teaching*. Frank & Timme (2007), pp.47-63.

[236] Heering, P., Educating and Entertaining: Using Enlightenment Experiments for Teacher Training, In Heering, P. & Osewold (eds.), *Constructing Scientific Understanding through Contextual Teaching*, Frank & Timme (2007), pp. 65-81.

[237] Hackmann, W., 'Wonders in One Closet Shut': The Educational Potential of History Of Science Museums. In Durant, J.(ed)., *Museums and the Public Understanding of Science*. Science Museum in Association with the Committee on the Public Understanding of Science, London (1992), pp.65-69.

[238] Durant, J., Introduction. In Durant, J. (ed.), *Museums and the Public Understanding of Science*. Science Museum in Association with the Committee on the Public Understanding of Science, London (1992), pp.7-11.

[239] Whipple Museum of the History of Science, The Victorian Parlour. Cambridge (2007-9), http://www.hps.cam.ac.uk/whipple/exhibitions (είσοδος 20-4-2011).

[240] Farmelo, G., Drama on the Galleries. In Durant, J.(ed.), *Museums and the Public Understanding of Science*. Science Museum in association with the Committee on the Public Understanding of Science, London (1992), pp.45-48.

[241] Lauginie, P., Father and Son at the Pole or: What's the Earth doing? A Sketch on Foucault's Pendulum and its Interpretation. In Teichmann,J., Stinner, A., Riess, F. (eds.), *From the Itinerant Lecturers of the 18th Century to Popularizing Physics in the 21st Century – Exploring the Relationship between Learning and Entertainment. Proceedings of a conference held in Pognana sul Lario, Italy, 1-6 June 2003*. Oldenburg (2004), pp.36-43.

[242] Giacobassi, K., On the Shoulders of Giants: Museums Draw Lessons from History of Science, IMSS, *Proceedings, of the ECSITE International Conference*, Milan, Italy, 2-4 June (2009), p.69, http://www.ecsite-conference.net/en/index.php?n=200 (είσοδος 13-6-2011).

[243] Museo Galileo, Virtual Museum (2010), http://catalogue.museogalileo.it/ (είσοδος 22-4-2010).

[244] Guyon S., Azémar, C., Baraton, L., Sarfati & Lauginie, P., 'Les Magiciens de la Lumière'. DVD. Université Paris-Sud-11, SCAVO (2009).

[245] Lauginie, P., All about the Film 'Wizards of Light'. Evolution of Foucault's Spinning Mirror from a Qualitative to a Metrological Experiment (1850-1862). *Book of Abstracts of the XXIX Symposium*, SIC, Florence,Italy, 4-9 October (2010), pp.49.

[246] Hochadel, O., The Business of Experimental Physics: Instrument Makers and Itinerant Lecturers in the German Enlightement, *Science & Education*, DOI 10.1007/s11191-006-9017-y (2006).

[247] Raichvarg, D., Science on the Fairgrounds: From Black to White Magic. *Science & Education*, DOI 10.1007/s11191-006-9011-4 (2006).

[248] Riskin, J., Amusing Physics. In Bensaude-Vincent, B. & Blondel, C.(eds.), *Science and Spectacle in the European Enlightenment*. Ashgate (2008), pp.43-64.

[249] Golinski, J., Joseph Priestley and the Chemical Sublime in British Public Science. In Bensaude-Vincent, B. & Blondel, C.(eds.), *Science and Spectacle in the European Enlightenment*. Ashgate (2008), pp.117-128.

[250] Hochadel, O., The Sale of Schocks and Sparks: Itinerant Electricians in the German Enlightment. In Bensaude-Vincent, B. & Blondel, C.(eds.), *Science and Spectacle in the European Enlightenment*. Ashgate (2008), pp.89-102.

[251] Roberts, L., Chemistry on Stage: G.F. Rouelle and the Theatricality of Eighteenth-century Chemistry. In Bensaude-Vincent, B. & Blondel, C.(eds.), *Science and Spectacle in the European Enlightenment*. Ashgate (2008), pp.129-139.

[252] Teichmann,J., Stinner, A., Riess, F. (eds.), From the Itinerant Lecturers of the 18th Century to Popularizing Physics in the 21st Century – Exploring the Relationship between Learning and Entertainment. *Proceedings of a Conference Held in Pognana Sul Lario, Italy, 1-6 June 2003*. Oldenburg (2004).

[253] Teichmann, J., Stinner, A., Riess, F., Historical and Pedagogical Perspectives on Entertainment, Popularization and Learning in Science, *Science & Education*, DOI 10.1007/s11191-006-9014-1 (2006).

[254] Casaleiro, P. "Making effective stories of science". *Proceedings of the ECSITE International Conference*, Milan, Italy, 2-4 June (2009), p.55, http://www.ecsite-conference.net/en/index.php?n=200 (είσοδος 22-5-2011).

[255] Tiana, B. & Dugdale, E., The Royal Institution of Great Britain, London. *Proceedings of the ECSITE International Conference*, Milan, Italy, 2-4 June (2009), p.55, http://www.ecsite-conference.net/en/index.php?n=200 (είσοδος 22-5-2011).

[256] Conant, J.B. & Nash, L. (eds.), *Harvard Case Histories in Experimental Science* (Vols. 1&2). Harvard University Press (1957/1966).

[257] Ζολώτας, Γ. *Ιστορία της Χίου*, Τόμος Γ', Π. Δ. Σακελάριος, Αθήνα (2005).

[258] Μπουρνιάς, Α., Καλλίτσης, Π.,Τζήμας, Ν., Το Μουσείο Φυσικής της Χίου, *Φυσικός Κόσμος*, 7, 14-20 (2002).

[259] Stinner A. & Williams, H., History and Philosophy of Science in the Science Curriculum, in Tobin K.G., Fraser B.J. (eds.), *International Handbook of Science Education*. Boston, MA, Kluwer, (1998), pp. 1027–1045.

[260] Holton, G. & Brush, S.G., *Introduction to Concepts and Theories in Physical Science*. Second

edition, Princeton University Press, Princeton, New Jersey (1985).
[261] Δαπόντες, Ν., Κασσέτας, Α., Μουρίκης, Σ, Σκιαθίτης, Μ., *Φυσική Α' τάξη ΕΠΛ-ΓΕΛ-ΤΕΛ*, ΟΕΔΒ, , Έκδοση 1997, Αθήνα (1997α).
[262] Δαπόντες, Ν., Κασσέτας, Α., Μουρίκης, Σ., *Φυσική Β' τάξη ΕΠΛ-ΓΕΛ-ΤΕΛ*, ΟΕΔΒ, Έκδοση 13η, Αθήνα (1997β).
[263] IMSS, Official Website, Florence (1994-2010), http://www.imss.fi.it/ (είσοδος 24-9-2010).
[264] IMSS, *Horror Vacui?* Florence (1999), http://www.imss.fi.it/vuoto/ (είσοδος 22-5-2011).
[265] IMSS, *Multimedia Catalogue*, Florence (1995-2010), http://brunelleschi.imss.fi.it/museum/ (είσοδος 22-5-2011).
[266] Fauque, D., Introducing the History of Science at the French Middle School, *Science & Education*, 18, 9,1277–1283 (2009).
[267] Kirchhoff, G. & Bunsen, R., Chemical Analysis by Observation of Spectra. *Annalen der Physik und der Chemie (Poggendorff)*, 110,161-189 (1860) http://www.chemteam.info/Chem-History/Kirchhoff-Bunsen-1860.html (είσοδος 17-10-2010).
[268] Roller D. & Roller D.H.D., The Development pf the Concept of Electric Charge. In Conant, J.B., Nash L.K (eds.), *Harvard Case Histories in Experimental Science*, Vol 1, Harvard University Press, Cambridge-Massachusetts (1957/1966).
[269] Franklin, B., Letter to Peter Collinson, Philadelphia September 1753 [Copy: Massachusetts Historical Society]. In the *Papers of Benjamin Franklin*. Packard Humanities Institute Digital Edition, Volume 5 (1753-55), p.068, http://franklinpapers.org/franklin/framedVolumes.jsp (είσοδος 17-10-2010).
[270] Galilei,G., *The Sidereal Messenger* (1610/1880).
[271]Hevelius, J., Johannis *Hevelii Machinae Coelestis*. Gedani (1673), ETH-Bibliothek Zürich, http://dx.doi.org/10.3931/e-rara-557 (είσοδος 18-11-2010).
[272] Ganot, A., *Trattato elemetare di Fisica*, 5th edition, Milano (1859).
[273] Ganot, A., *Cours de physique purement expérimentale à l' usage des gens du monde*, Paris (1859).
[274] Γανῶτος, Ἀ., *Στοιχεῖα πειραματικῆς φυσικῆς & μετεωρολογίας κατ' ἐπιτομὴν μεταφρασθέντα ἐκ τῆς 5ης ἐκδόσεως ὑπὸ Γ.Α. Παυλίδου*, Ἀθῆναι (1857).
[275] Figuier, L., *L'année scientifique et industrielle ou exposé annuel des travaux scientifiques, des inventions et des principales applications de la science à l'industrie et aux arts, qui ont attiré l'attention publique en France et à l'étranger*. L' Hachette et 1-10&25 (1857-1866-1881).
[276] Brisson, M-J., *Dictionnaire raisonné de physique*. Tome 3, Hôtel de Thou, Paris (1781), http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k94849b (είσοδος 24-10-2010).
[277] Museu de Fisica da Universidade de Coimbra, *Passado ao Espelho. Máquinas e Imagens das vésperas e primórdios da Photographia*, Exposição no Museu de Física, 9 de Janeiro a 10 de Fevereiro de 2006 (2006).
[278] IMSS, *Court Scientists. The Art of Experimentation in the Galilean Accademia del Cimento (1657-1667*. Florence (2001-2002a), http://brunelleschi.imss.fi.it/cimento/risorse%5Cetesticimento.pdf (είσοδος 27-10-2010).
[279] IMSS, Pneumatics. In IMSS, *Multimedia Catalogue*, *Thematic Visits*, Florence (1995-2010), http://brunelleschi.imss.fi.it/museum/esim.asp?c=23294&xsl=2&f=15&a=#15 (είσοδος 27-10-2010).
[280] IMSS, *Court Scientists-Tour*, Florence (2001-2002b), http://brunelleschi.imss.fi.it/cimento/eframeintro1.html (είσοδος 27-10-2010).
[281] Accademia del Cimento, *Saggi di Naturali Esperienze, Firenze* (1667). IMSS, Digital Library (2001), http://brunelleschi.imss.fi.it/cimentosite/Template.asp?xmlfile=Immagini.xml&Idx=1 (είσοδος 27-10-2010).
[282] Conant, J.B., *Robert Boyle's Experiments in Pneumatics*, in Conant J.B., Nash L.K Harvard Case Histories in Experimental Science, Volume 1, Harvard University Press, Cambridge-Massachusetts, (1957/1966), pp.1-63.
[283] Klopfer, L., Cooley, W., The History of Science Cases for High Schools in the Development of Student Understanding of Science and Scientists- A Report on the HOSC Instruction Project. *Journal of Research in Science Teaching*, 1, 33-47 (1963).
[284] Solomon, J., *The Big Squeeze*. The Association for Science Education, Hatfield Herts., UK (1989).
[285] Galili, I.& Bar, V., Children's Operational Knowledge about Weight. *International Journal of*

Science Education 19, 3, 317–340 (1997).

[286] Hapkiewicz, A., Naïve Ideas in Earth Science. *MSTA Journal*, 44, 2, 26-30 (1999), http://homepage.mac.com/vtalsma/syllabi/2943/handouts/misconcept.html#weather (είσοδος 13-11-2010).

[287] Κασσέτας, Α., *Το μήλο και το Κουάρκ*, Εκδόσεις Σαββάλας, Αθήνα (2004).

[288] Nussbaum, J., Η Σωματιδιακή Φύση της Ύλης στην Αέρια Κατάσταση. Στο R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien (επιμ.), *Οι ιδέες των μαθητών στις φυσικές επιστήμες*. ΕΕΦ, Τροχαλία (1985/1993), σελ. 180-207.

[289] Eshach, H. & Schwartz, J.L., Sound Stuff? Naïve Materialism in Middle-School Students' Conceptions of Sound. *International Journal of Science Education*, 28, 7, 733–764 (2006).

[290] Hapkiewicz, A. , Finding a List of Science Misconceptions. *MSTA Newsletter*, 38, 11-14 (Winter 1992), http://homepage.mac.com/vtalsma/syllabi/2943/handouts/misconcept.html#matter (είσοδος 13-11-2010).

[291] Watts, D. M., Gravity - Don't Take it for Granted! *Physics Education*, 17,3,118-121 (1982).

[292] Ruggiero, S., Cartelli, A., Dupre, F., Vincentini –Missoni.M.,Weight, Gravity and Air Pressure: Mental Representations by Italian Middle School Pupils. *European Journal of Science Education* 7,12,181–194 (1985).

[293] Noce, G., Torosantucci, G., & Vincentini, M., The Floating of Objects on the Moon: Prediction from a Theory or Experimental Facts? *International Journal of Science Education*, 10, 1, 61-70 (1988).

[294] Phillips, W.C., Earth Science Misconceptions.*The Science Teacher* 58, 2, 21-23 (1991).

[295] Galili,I., Interpretation of Students' Understanding of the Concept of Weightlessness. *Research in Science Education*, 25,1, 51-74 (1995).

[296] Séré, M.G., The Gaseous State. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (eds.), *Children's Ideas in Science*, Milton Keynes, Open University Press, UK (1985), pp. 105-123.

[297] Αριστοτέλης, *Άπαντα, Τόμος 31, Περί Ουρανού*, Αρχαία Ελληνική Γραμματεία «Οι Έλληνες», Εκδότης Οδυσσέας Χατζόπουλος, Πρώτη Έκδοση, Αθήνα (1995).

[298] Flammarion, C., *L'atmosphère : Météorologie populaire*. Hachette, Paris 1888. Bibliothèque Nationale de France, ark:/12148/bpt6k408619m (είσοδος 25-11-2010).

[299] Galilei, G., *Dialogues Concerning Two New Sciences*. Translated by Henry Crew & Alfonso di Salvio, New York, Dover Publications (1638/1954).

[300] Holton, G.& Brush, S., *Εισαγωγή στις Έννοιες και τις Θεωρίες της Φυσικής Επιστήμης*, Δεύτερη Έκδοση, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ (2002).

[301] Αριστοτέλης, Άπαντα 42, *Φυσική Ακρόασις (Φυσικά) Βιβλία Γ', Δ'*. Αρχαία Ελληνική Γραμματεία «Οι Έλληνες», Κάκτος, 1η έκδοση, Αθήνα (1997).

[302] Boyle, R., Pneumatics. In *The Philosophical Works of the Honourable Robert Boyle*, printed for Innys, W. and J. at the West-End of St. Paul's; and Osborn, J. and Longman, T. in Pater-Noster-Row, London (1725 ed.), Volume II, pp.407-651.

[303] Newton, I., *Mathematical Principles of Natural Philosophy - System of the World*. Translated into English by Adrew Motte in 1729; the translations revised by Florian Cajori. University of California Press, Berkleley-Los Angeles-London (1729/1962).

[304] Adams, G., *Lectures on Natural and Experimental Philosophy: Considered in its Present State of Improvement*. Volume 1, Printed by R. Hindmarsh, Sold by the Author (1794).

[305] *Apollo 15*, The Hammer and the Feather, *Lunar Surface Journal* 1996/2008, http://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/alsj/a15/a15.clsout3.html (είσοδος 22-5-2011).

[306] Kirk, G.S., Raven, J.E., Schofield, M., *Οι Προσωκρατικοί Φιλόσοφοι*. Μετάφραση: Δημοσθένης Κούρτοβικ, 3η έκδοση, ΜΙΕΤ, Αθήνα (1998).

[307] Ross, W.D., *Αριστοτέλης*, 2η έκδοση, ΜΙΕΤ, Αθήνα (1993).

[308] Grant, E., *Much ado about nothing. Theories of Space and Vacuum from the Middle Ages to the Scientific Revolution*, Cambridge University Press (1981).

[309] Grant, E., *Οι Φυσικές Επιστήμες τον Μεσαίωνα.* Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο (1994).

[310] Shea, W.R., *Designing Experiments & Games of Chance: The Unconventional Science of Blaise Pascal*, Science History Publications (2003).

[311] Schmitt, C.B., Experimental Evidence for and against a Void: The Sixteenth-Century Arguments.

Isis, 58, 3, 352-366 (1967).
[312] Baliani, B.B., A Galileo in Firenze, Genova 27 Luglio 1630. Στο Galilei, G., *Le Opere.* Favaro, A. (ed.), Barbèra, Firenze (1890-1909), Volume XIV, Document [2040], pp. 124-125.
[313] Galilei, G., A Giovani Battista Baliani in Genova, 6 Agosto 1630. Στο Galilei, G., *Le Opere.* Favaro, A. (ed.), Barbèra, Firenze (1890-1909), Volume XIV, Document [2043], pp. 127-130.
[314] Middleton, K.W.E, The Place of Torricelli in the History of the Barometer. *Isis*, 54, 1, 11-28 (1963).
[315] Drake, S., *Galileo at Work. His Scientific Biography*, Dover Publications Inc., New York (1978/1995).
[316] Middleton, K.W.E., *The History of the Barometer*. The Johns Hopkins Press, Baltimore (1964).
[317] Torricelli, Letter to Michelangelo Ricci Concerning the Barometer (1644). Στον Middleton, K.W.E., *The History of the Barometer*. The Johns Hopkins Press, Baltimore (1964), pp.23-24.
[318] Guericke, O.von, *Experimenta Nova (ut vocantur) Magdeburgica de Vacuo Spatio*. Apud Joannem Janssonium (1672), http://imgbase-scd-ulp.u-strasbg.fr/displayimage.php?album=642&pos=0 (είσοδος 22-5-2011).
[319] Einstein, A., Πρόλογος (1953). Στο Jammer, M., *Έννοιες του Χώρου. Η Ιστορία των Θεωριών του Χώρου στη Φυσική*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 1η έκδοση, Ηράκλειο (1993/2001).
[320] Cinzia, G.& Novelli,L., *Η Ιστορία της Χημείας σε Κόμικς*, Τόμος Α, Κάτοπτρο, Αθήνα (1992).
[321] Faraday, M. *The Chemical History of a Candle*. Cherokee Publishing Company, Atlanta, Georgia (1861/1993).
[322] Westfall,R.S., *Η Συγκρότηση της Σύγχρονης Επιστήμης.* 5η έκδοση, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο (2006).
[323] Boyle, R., Tracts Containing New Experiments Touching the Relation betwixt Flame and Air and about Explosions. In *The Works of the Honourable Robert Boyle. In six volumes. To which is prefixed the life of the author,* London (1772 ed.), Volume III, pp.562-584.
[324] Boas, M. *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry.* Cambridge University Press (1958).
[325] Faraday, M., *Experimental Researches in Electricity*. Volume I, Second Edition. Taylor, R. and J., printers and publishers to the University of London, Red Lion Court, Flert Street, London (1838/1849).
[326] Γεωργιάδου, Τ., Καφετζόπουλος, Κ., Προβής, Ν., Σπυρέλλης, Ν., Χηνιάδης, Δ., *Χημεία Β' Γυμνασίου*. Έκδοση Β', ΟΕΔΒ, Αθήνα (1998).
[327] Αβραμιώτης, Σ., Αγγελόπουλος, Β., Καπελώνης, Γ., Σινιγάλιας, Π., Σπαντίδης, Δ., Τρικαλίτη, Α., Φίλος, Γ., *Χημεία Β' Γυμνασίου*. Έκδοση Δ', ΟΕΔΒ, Αθήνα (2010).
[328] Atkins, P., Jones L., *Chemistry-Molecules, Matter and Change*. 3rd edition, Freeman, W.H. and Company, New York (1989/1997).
[329] Vitruvius, *The Ten Books on Architecture, Book IX*. Translated by Morris Hicky Morgan, Harvard University Press (1914).
[330] Archimedes, On Floating Bodies. In Heath, T.L. (ed.), *Works of Archimedes*. London: Clay C.J. and Sons Cambridge University Press Warehouse, Glasgow: 263 Argyle Street, Leipzig: Brockhaus, F.A., New York: The Macmillan Company (1897).
[331] Della Porta, J.B., How the levity in the water and the air, is different, and what cunning may be wrought thereby. In *Natural Magick*, 18th Book, Chapter VIII. Transcribed from 1658 English Edition, NuVision Publications, LLC (2005).
[332] Galilei, G., La Bilancetta. Στο G.Barbera (ed.), *Le Opere di Galileo Galilei.* Volume I, Firenze (1929), pp.209-220.
[333] Ganot, A., *Traité Elémentaire de Physique.* 21ième édition, Librairie Hachette et Cie, Paris (1894).
[334] The Franklin Institute, The Wind Tunnel. *Recourses for Science Learning* (2011), http://www.fi.edu/learn/sci-tech/wind-tunnel/wind-tunnel.php?cts=flight (είσοδος 1-3-2011).
[335] Tyndall, J., The Blue of the Sky. In *Six Lectures on Light. Delivered in the United States in 1872-1873*. Longmans & Co., 6th Impression. 39 Paternoster Row, London, New York and Bombay (1906), Lecture IV, paragraph 11, pp.149-152, http://www.gutenberg.org/files/14000/14000-h/14000-h.htm (είσοδος 14-6-2011).
[336] Μάζης, Α., *Φυσική*. Τόμος ΙΙ, Έκδοσις Δευτέρα, Βιβλιοπωλείον της «Εστίας», Αθήνα (1960).
[337] Galilei, G., Two New Sciences. Icluding Centers of Gravity and Force of Percussion. Translated with a New Introduction and Notes by Stillman Drake.In Galilei, G., *Two New Sciences* & Drake,

S., *History of Free Fall, Aristotle to Galileo*. Wall & Emerson, Inc. Toronto (1989/2000).

[338] Maffioli, C.S., «La Ragione del Vacuo». Why And How Galileo Measured the Resistance of Vacuum, In the *Book of Abstracts. XXIII ICHST- Ideas and Instruments in Social Context*, Budapest, Hungary, 28 July -2 August (2009), p.688.

[339] Van Helden, A.C., The Age of the Air-Pump, *Tractrix* Yearbook for the History of Science, Medicine, Technology and Mathematics 3, 149-172 (1991).

[340] Academie del Cimento, *Essayes of Natural Experiments*. *Translated By Richard Waller. A Facsimile of the 1684 Edition*. The Sources of Science. Johnson Reprint Corporation, New York and London (1964).

[341] IMSS, The Bladder in the Void. In *Court Scientists- Tour/The Experiments/Pneumatics*. Florence (2001-2002b) http://brunelleschi.imss.fi.it/cimento/etop1.html?pos=esperienze (είσοδος 1-2-2011).

[342] Hiebert, E., Electric Discharge in Rarefied Gases. In Kox, A.J.& Siegel D.M. (eds.), *No Truth Except in Details*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands (1995), pp.95-134.

[343] Falconer, I., Corpuscles, Electrons and Cathode Rays: JJ. Thomson and the 'Discovery of the Electron'. *BJHS*, 20, 3, 241-276 (1987).

[344] Müller, F., Purifying Objects, Breeding Tools: Observational and Experimental Strategies in Nineteenth-Century Gas Discharge Research. In *Proceedings of the Conference: 'The Shape of Experiment'* Max Plank Institute for the History of Science, Berlin, Germany, 2-5 June 2005, Reprint 318 (2006), pp.105-128, www.gbv.de/dms/bs/toc/519686640.pdf (είσοδος 14-6-2011).

[345] Crookes, W., The Bakerian Lecture: On Repulsions Resulting from Radiation . Part V. *Transactions of the Royal Society*, 169, 243-318 (1879).

[346] Verne, J., *Voyage au centre de la terre*; *vignettes par Riou*. J. Hetzel, Paris (1877), ark:/12148/bpt6k5490658q (είσοδος 22-5-2011).

[347] Βερν, Ι. *Ταξίδι στο κέντρο της γης*. Μετάφραση της 1ης στα Γαλλικά έκδοσης του 1864 από τη Βίκη Δέμου. 10η έκδοση, Εκδόσεις Πατάκη, Αθήνα (2009).

[348] De Moncel, T.A.L., *Notice sur l'Appareil d'Induction Electrique De Ruhmkorff*. 5ième Edition, Paris, Gauthier-Villars, Imprimeur-Libraire (1867) .

[349] Boyle, R., New Experiments Physico-mechanical, touching the Spring of the Air and its effects; made, for the most part, in a new Pneumatical Engine…In *The Works of the Honourable Robert Boyle. In six volumes. To which is prefixed the life of the author,* London (1772 ed.), Volume I, pp.1-117.

[350] Boyle, R., The General History of the Air Designed and Begun. In *The Works of the Honourable Robert Boyle. In six volumes. To which is prefixed the life of the author.* London (1772 ed.), Volume V, pp.609-743.

[351] Science Museum, Hauksbee's Frictional Electricity Machine, 1706-1708, *Science & Society Picture Library*, Image Ref. 10325971 (2011), http://www.ssplprints.com/image/99902/hauksbees-frictional-electricity-machine-1706-1708 (είσοδος 22-5-2011).

[352] Science Museum, Jesse Ramsden's Glass Plate Electrostatic Machine, c 1760s, *Science & Society Picture Library*, Image Ref.10436508 (2011), http://www.ssplprints.com/image/113597/unattributed-jesse-ramsdens-glass-plate-electrostatic-machine-c-1760s (Είσοδος 22-5-2011).

[353] Segrè, E., *Ιστορία της Φυσικής. Τόμος Α'. Από την Πτώση των Σωμάτων έως τα Ραδιοκύματα*. Εκδόσεις Δίαυλος, Αθήνα (1997/2001).

[354] Franklin, B., The Kite Experiment, The Pennsylvania Gazette, October 19, 1752. In the *Papers of Benjamin Franklin*. Packard Humanities Institute Digital Edition, Volume 4 (1750-53), p.360. http://franklinpapers.org/franklin/framedVolumes.jsp (είσοδος 22-5-2011)

[355] Boston Museum of Science "Franklin's Kite". *Theater of Electricity* (2006), http://www.mos.org/sln/toe/kite.html (είσοδος 22-5-2011).

[356] Pennsylvania Gazette, The. Account of the Death of Georg Richmann (Extract of a Letter from Moscow The Academy have transmitted to Court the following Account of Professor Richmann's Death, dated August 23). The Pennsylvania Gazette, March 5, 1754. In the *Papers of Benjamin Franklin*. Packard Humanities Institute Digital Edition, Volume 5 (1753-55), p. 219. http://franklinpapers.org/franklin/framedVolumes.jsp (είσοδος 22-5-2011).

[357] Franklin, B., Of Lightning, and the Method (Now Used in America) of Securing Buildings and

Persons from Its Mischievous Effects, September 1767 [Printed in Experiments and Observations on Electricity, Made at Philadelphia in America, By Benjamin Franklin, L.L.D. and F.R.S. (Fourth edition, London, 1769), pp. 479-85]. In the *Papers of Benjamin Franklin*. Packard Humanities Institute Digital Edition, Volume 14 (1767), p.260, http://franklinpapers.org/franklin/framedVolumes.jsp (είσοδος 22-5-2011).

[358] Ganot, A., *Traité elémentaire de physique expérimentale et appliquée. Et de météorologie*. 13ième édition, Paris, Chez l' Auteur-Editeur (1868).

[359] Hankins, T.L., *Επιστήμη και Διαφωτισμός*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο (1998).

[360] Heilbron J.L., *Electricity in the 17th and 18th Centuries. A Study of Early-Modern Physics*. University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London (1979).

[361] Science Museum, Demonstration of Hauksbee's Electrostatic Machine, 1960s, *Science & Society Picture Library*, Image Ref. 10302829 (2011), http://www.ssplprints.com/image/90087/demonstration-of-hauksbees-electrostatic-machine-c-1960s (είσοδος 22-5-2011).

[362] Academie Royale des Sciences, Sur l' électricité. *Histoire de l' Académie royale des sciences avec les mémoires de mathématique et de physique tires des registres de cette Académie*, Année (1746), Physique Générale, pp.1-17, Paris (1751).

[363] Whipple Museum, Mr W.Richardson Popular Lectures. Item of the exhibition titled :*The Victorial Parlour* (2010) http://www.hps.cam.ac.uk/whipple/exhibitions/ (είσοδος 3-4-2011).

[364] Thomas B., Electricité Ancienne. *Quelques Expériences Electriques du 18e et 19e Siècle* http://electricity.pagesperso-orange.fr/elecric/french.html (είσοδος 3-4-2011).

[365] Macaulay, D., *Οι μηχανές από το Α ως το Ω*. CD-Rom. Ελληνική έκδοση, Ερευνητές (1997).

[366] Volta, A. & Banks, J.I. I.On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of different kinds. *Philosophical Magazine Series 1*,7 28, 289-311(1800).

[367] Psillos, S., *Scientific Realism: How Science Tracks Truth*. Routledge, London (1999).

[368] Ψύλλος, Σ., *Επιστήμη και Αλήθεια. Δοκίμια στη Φιλοσοφία της Επιστήμης*. Εκδόσεις Οκτώ. Αθήνα (2008).

ΑΝΑΦΟΡΕΣ (ΑΛΦΑΒΗΤΙΚΑ)

α) Α…Ω

Αβραμιώτης, Σ., Αγγελόπουλος, Β., Καπελώνης, Γ., Σινιγάλιας, Π., Σπαντίδης, Δ., Τρικαλίτη, Α., Φίλος, Γ., *Χημεία Β' Γυμνασίου.* Έκδοση Δ', ΟΕΔΒ, Αθήνα (2010).

Αλήθεια (Η) 17/10/2005, Εκπαιδευτικό πρόγραμμα Φυσικών Επιστημών στο Μουσείο Φυσικής της Χίου, Πάμε μια βόλτα στο Μουσείο; (2005), http://www.alithia.gr/newspaper/2005/17102005/17102005,12593.html (είσοδος 7-4-2011).

Αλήθεια (Η) 28/3/2006, Αύριο στις 6.30 μ.μ. στο 1ο Γυμνάσιο, Πάμε μια βόλτα στο Μουσείο Φυσικής; (2006), http://www.alithia.gr/newspaper/2006/28032006/28032006,14921.html (είσοδος 7-4-2011).

Αλήθεια (Η) 6/12/2006, Πάμε μια βόλτα στο Μουσείο; Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα; (2006), http://www.alithia.gr/newspaper/2006/06122006/06122006,17916.html (είσοδος 7-4-2011).

Αλήθεια (Η) 26/01/2007, Πάμε μια βόλτα στο μουσείο; Εκπαιδευτικό Πρόγραμμα Φυσικών Επιστημών στο Μουσείο Φυσικής της Χίου (2007), http://www.alithia.gr/newspaper/2007/26012007/26012007,18651.html (είσοδος 7-4-2011).

Άμαντος, Κ., *Τα Γράμματα εις την Χίον κατά την Τουρκοκρατίαν 1566-1822*. Βιβλιοπωλείον Νότη Καραβία, Αθήνα (1976).

Αριστοτέλης, *Άπαντα, Τόμος 31, Περί Ουρανού*, Αρχαία Ελληνική Γραμματεία «Οι Έλληνες», Εκδότης Οδυσσέας Χατζόπουλος, Πρώτη Έκδοση, Αθήνα (1995).

Αριστοτέλης, Άπαντα 42, *Φυσική Ακρόασις (Φυσικά) Βιβλία Γ', Δ'.* Αρχαία Ελληνική Γραμματεία «Οι Έλληνες», Κάκτος, 1η έκδοση, Αθήνα (1997).

Ασημακόπουλος, Μ., Η επιστήμη του Ian Hacking. Επίμετρο στο Hacking, I., *Αναπαριστώντας και Παρεμβαίνοντας*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα (2002), σελ.359-392.

Βαρδαλάχος, Κ., *Φυσική Πειραματική*, Βιέννη (1812), http://www.lib.uoa.gr/katoptron/loadDocumentPage.do?docId=1772 (είσοδος 22-5-2011).

Βερν, Ι. *Ταξίδι στο κέντρο της γης.* Μετάφραση της 1ης στα Γαλλικά έκδοσης του 1864 από τη Βίκη Δέμου. 10η έκδοση, Εκδόσεις Πατάκη, Αθήνα (2009).

Γανῶτος, Ἀ., *Στοιχεῖα πειραματικῆς φυσικῆς & μετεωρολογίας κατ' ἐπιτομὴν μεταφρασθέντα ἐκ τῆς 5ης ἐκδόσεως ὑπὸ Γ.Α. Παυλίδου,* Ἀθῆναι (1857).

Γεωργιάδου, Τ., Καφετζόπουλος, Κ., Προβής, Ν., Σπυρέλλης, Ν., Χηνιάδης, Δ., *Χημεία Β' Γυμνασίου*. Έκδοση Β', ΟΕΔΒ, Αθήνα (1998).

Δαπόντες, Ν., Κασσέτας, Α., Μουρίκης, Σ, Σκιαθίτης, Μ., *Φυσική Α' τάξη ΕΠΛ-ΓΕΛ-ΤΕΛ*, ΟΕΔΒ, , Έκδοση 1997, Αθήνα (1997α).

Δαπόντες, Ν., Κασσέτας, Α., Μουρίκης, Σ., *Φυσική Β' τάξη ΕΠΛ-ΓΕΛ-ΤΕΛ*, ΟΕΔΒ, Έκδοση 13η, Αθήνα (1997β).

Ερμής ο Λόγιος, Γαζής, Α., Φαρμακίδης, Θ., Κοκκινάκης, (επιμ.), Βιέννη (1811-1821), http://anno.onb.ac.at/cgi-content/anno?aid=lgh (είσοδος 22-5-2011).

Ευαγγελίδης, Τ., *Η Παιδεία επί Τουρκοκρατίας (Ελληνικά Σχολεία από της Αλώσεως μέχρι Καποδιστρίου)*, Τόμοι Α'& Β', Τύποις: Α.Π. Χαλκιοπούλου, Αθήνα (1936).

Ζολώτας, Γ. *Ιστορία της Χίου*, Τόμος Γ', Π. Δ. Σακελάριος, Αθήνα (2005).

Ηλιάδης, Θ., Χημική Φιλοσοφία ὑπό Α.Φ.Φουρκροὰ, Ἐκ Γραικισθεῖσα ὑπό Θεοδοσίου Μ.Ἠλιάδου, Ἐπιδιορθωθεῖσα καὶ τύποις ἐκδοθεῖσα ὑπὸ Ἀνθίμου Γαζῆ. Βιέννη (1802), http://195.134.90.78:8080/katoptron/loadDocumentPage.do?pageId=64870 (είσοδος 13-06-2011).

Καΐρης, Θ., Πρὸς Κοραῆν, Κυδωνίας, 6 Αυγούστου 1814. Στο Βαλέτα, Γ. (επιμ.), *Κοραῆς: Ἅπαντα* τὰ *πρωτότυπα*, Τόμος Β1, Δωρικός, Αθήνα (1965), σελ.878-879.

Κάλφας, Β., Επιστημονική πρόοδος και ορθολογικότητα. Προς μια ρεαλιστική ανασυγκρότηση της σύγχρονης επιστημολογίας, Εκδόσεις Νήσος, Αθήνα (1997).

Κασσέτας, Α., Ορυχείο δύο. Στο Κουμαράς, Π., Σέρογλου, Φ., Σκορδούλης, Κ. (επιμ.): *Πρακτικά συμποσίου: Η συμβολή της Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών,* Θεσσαλονίκη 6-8 Απριλίου (2001), σελ.275-288.

Κασσέτας, Α., *Το μήλο και το Κουάρκ*, Εκδόσεις Σαββάλας, Αθήνα (2004).

Κέντρο Νεοελληνικών Ερευνών (Κ.Ν.Ε.), *Τα ελληνικά προεπαναστατικά περιοδικά. Ευρετήρια. Ερμής ο Λόγιος 1811-1821*. Φραγκίσκος, Ε.(επιμ.), Αθήνα, 1976.

Κοδρικάς, Π., *Ὁμιλίαι περί πληθύος κόσμων του κυρίου Φοντενὲλ*. Μεταφρασθεῖσαι ἀπό τῆς Γαλλικῆς Διαλέκτου εἰς τὴν καθ'ἡμάς ἁπλῆν Ρωμαϊκήν γλῶσσαν, καὶ ὑποσημειωθεῖσαι. Βιέννη (1794), http://www.lib.uoa.gr/hellinomnimon/0709241317270000/main.htm (είσοδος 22-5-2011).

Κονδύλης, Π., *Ο Νεοελληνικός Διαφωτισμός*. Οι Φιλοσοφικές Ιδέες. Γ'έκδοση. Ιστορική Βιβλιοθήκη Θεμέλιο (2008).

Κούμας, Κ. *Σύνοψις Φυσικῆς. Εἰς χρῆσιν των πρωτοπείρων μαθητῶν τοῦ φιλολογικοῦ τῆς Σμύρνης Γυμνασίου* (1812), http://www.lib.uoa.gr/katoptron/loadDocumentPage.do?pageId=2931 (είσοδος 22-5-2011).

Κυδωνιάτες, Οἱ Κυδωνιᾶτες πρὸς τὸν Κοραῆν, Κυδωνίαι 3 Αυγούστου 1814. Στο Βαλέτα, Γ. (επιμ.), *Κοραῆς: Ἅπαντα* τὰ *πρωτότυπα*, Τόμος Β1, Δωρικός, Αθήνα (1965), σελ.877.

Μάζης, Α., *Φυσική*. Τόμος ΙΙ, Έκδοσις Δευτέρα, Βιβλιοπωλείον της «Εστίας», Αθήνα (1960).

Μπουρνιάς, Α., Το Μουσείο Φυσικής. Στο Τρυποσκούφη, Α. & Μπουρνιάς, Α.(επιμ.), *Οδηγός Μουσείου Ιστορίας και Φυσικής Χίου,* Φίλοι της Αίθουσας Ιστορίας και Εκπαίδευσης 1ου Γυμνασίου Χίου, Εκδόσεις «Άλφα Πι» (2005), σελ.119-187.

Μπουρνιάς, Α., Καλλίτσης, Π.,Τζήμας, Ν., Το Μουσείο Φυσικής της Χίου, *Φυσικός Κόσμος*, 7, 14-20 (2002).

Πάπαρου, Φ., *Υφαίνοντας το Αναλυτικό Πρόγραμμα των Φυσικών Επιστημών με τη Συνδρομή της Ιστορίας και της Φιλοσοφίας της Επιστήμης*. Διπλωματική Εργασία Διπλώματος Ειδίκευσης.Τμήμα Χημείας ΕΚΠΑ, Αθήνα (2003).

Πάπαρου, Φ. & Καραλιώτα, Α., Ανάπτυξη διδακτικής πρότασης για τη διδασκαλία υπο-ενότητας στο κεφάλαιο των χημικών αντιδράσεων με τη συνδρομή της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης. Τίτλος διδακτικής πρότασης: *Μεταμορφώσεις του χαλκού*». Στα *Πρακτικά του 13ου Επιμορφωτικού Σεμιναρίου Χημείας*, Τμήμα Παιδείας & Χημικής Εκπαίδευσης, ΕΕΧ, Αθήνα (2003), σελ.36-44.

Πάπαρου, Φ, Καραλιώτα, Α., Καλλίτσης, Π., Παρουσίαση εκπαιδευτικού λογισμικού για τη διδασκαλία ενοτήτων της θεματικής περιοχής: «Ύλη και Φως». Μια πρόταση αξιοποίησης της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Στο Φιλντίσης, Π. (επιμ.), *Πρακτικά του 10ου Συνεδρίου της* ΕΕΦ, Τόμος Α', Λουτράκι (2004α), σελ.135-139.

Πάπαρου Φ., Καλλίτσης, Π., Μπουλουξή, Α., «Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;» Ανάπτυξη διδακτικής πρότασης για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών στο Μουσείο Φυσικής της Χίου. Στο Τσελφές Β., Καριώτογλου Π., Πατσαδάκης Μ. (επιμ.), *Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και τις Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση,* Τόμος Α', ΕΚΠΑ, Αθήνα (2004β), σελ.243-250.

Πάπαρου, Φ., Καλλίτσης, Π., Καραλιώτα, Α., Μπουλουξή, Α., Η διδακτική αξιοποίηση του Μουσείου Φυσικής της Χίου μέσα από εφαρμοζόμενο πρόγραμμα φυσικών επιστημών. *Βιβλίο Περιλήψεων του Διεθνούς Διεπιστημονικού Συνεδρίου*: *Επιστήμη και Τέχνη: Αναζητώντας τα κοινά σημεία, συζητώντας τις διαφορές*, Τόμος Β', ΕΕΦ, Αθήνα 16-19 Ιουνίου (2005), σελ.40-42.

Πάπαρου, Φ., Σκηνοθεσία του Θεατρικού Έργου του Ανδρέα Κασσέτα: «Η Ποίηση στο Εδώλιο μαζί και η Σελήνη» με Ηθοποιούς- Μαθητές του 1ου Γυμνασίου Χίου. *Παράσταση στο πλαίσιο του Διεθνούς Διεπιστημονικού Συνεδρίου: Επιστήμη και Τέχνη: Αναζητώντας τα κοινά σημεία, συζητώντας τις διαφορές*, ΕΕΦ, Αθήνα, 16-19 Ιουνίου (2005).

Πάπαρου, Φ., Καλλίτσης, Π., Καραλιώτα, Α. Ψύλλος, Σ., «Οι πρώτες ημέρες του ηλεκτρισμού»: Παρουσίαση διδακτικής πρότασης εφαρμοζόμενης στο Μουσείο Φυσικής της Χίου, *Πρακτικά 11ου Πανελληνίου Συνεδρίου: Οι Νέοι Ορίζοντες της Φυσικής Επιστήμης στον Αιώνα μας,* ΕΕΦ, Λάρισα 30-31 Μαρτίου, 1-2 Απριλίου (2006), *Τεύχος Περιλήψεων Εργασιών* σελ.91-92 & *CD-ROM*, ISBN 960-87635-4-1) (πλήρες κείμενο).

Πάπαρου, Φ. & Καλλίτσης, Π., «Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;»: Παρουσίαση εφαρμοσμένης διδακτικής πρότασης για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών στο Μουσείο Φυσικής της Χίου». Στα *Πρακτικά του Συνεδρίου: Διδακτική & Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών: Άτυπες Μορφές Εκπαίδευσης και Νέες Τεχνολογίες,* ΕΔΙΦΕ, ΠΤΔΕ Πανεπιστημίου Αθηνών, Αθήνα, 28-29 Μαΐου (2005), σελ.61-63.

Πάπαρου, Φ. & Καραλιώτα, Α., Διδακτική αξιοποίηση των ιδεών των μαθητών στο πλαίσιο διδακτικής πρότασης με τίτλο: «Πώς θα ήταν η γη χωρίς αέρα;». *Πρακτικά Πανελλήνιου Εκπαιδευτικού Συνεδρίου : Τα λάθη των μαθητών, δείκτες αποτελεσματικότητας ή κλειδιά για τη βελτίωση της ποιότητας της εκπαίδευσης;* ΚΕΕ, Θεσσαλονίκη, 13-14 Δεκεμβρίου 2007.

Πάπαρου, Φ., «Συνομιλώντας με τ' αστέρια»: Διδακτική πρόταση στο πλαίσιο εφαρμοσμένου εκπαιδευτικού προγράμματος στο Μουσείο Φυσικής της Χίου. Στο Δ.Κολιόπουλος (επιμ.), *Πρακτικά του 4ου Πανελλήνιου Συνέδριου*: *Ιστορία, Φιλοσοφία και Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών,* Τμήμα ΤΕΕΑΠΗ Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 5-7 Οκτωβρίου (2007), σελ.311-325.

Πάπαρου, Φ. «Στο δωμάτιο του Νεύτωνα» : Διδακτική πρόταση για την εξερεύνηση θεμάτων οπτικής με τη βοήθεια ιστορικών πειραμάτων». Στο Κορφιάτης, Κ., Πορτίδης, Δ., Ραφτόπουλος, Α., Χαραλάμπους, Δ. (επιμ.), *Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Συνεδρίου Ιστορίας, Φιλοσοφίας και Διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών: Οι Μεγάλες Επιστημονικές Θεωρίες στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών*, Πανεπιστήμιο Κύπρου, Λευκωσία, 11-14 Ιουνίου (2009), σελ.96-107.

Πιαζέ, Ζ., *Ψυχολογία & Παιδαγωγική*, Εκδόσεις Λιβάνη (1988/1999).

Ρήγας Βελεστινλής, *Φυσικῆς Απάνθισμα*, Βιέννη (1790). Ανατύπωση από την ΕΕΦ, Αθήνα (1971), & http://195.134.75.14/hellinomnimon/0709241349300000/main.htm (είσοδος 13-6-2011).

Σέρογλου, Φ., *Η συμβολή της Ιστορίας της Φυσικής στο Σχεδιασμό Διδακτικού Υλικού.* Διδακτορική Διατριβή, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης ΠΔΤΕ, ΑΠΘ (2000).

Σπανδάγος, Β., Σπανδάγου, Ρ. & Τραυλού, Δ., *Έλληνες Θετικοί Επιστήμονες από το 1453 έως το 1821.* Αίθρα, 2η έκδοση, Αθήνα (2008).

Φραγκίσκος, Ε.Μ. Εισαγωγή στην Επανέκδοση του Περιοδικού *Ερμής ο Λόγιος*, Τόμος Α', Ελληνικό Λογοτεχνικό και Ιστορικό Αρχείο (Ε.Λ.Ι.Α.) (1988), σελ.ια'-ιγ'.

Χαροκόπος, Α., *Η περιώνυμη Σχολή της Χίου*. Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη/ Αθήνα (2006).

Ψύλλος, Σ., *Επιστήμη και Αλήθεια. Δοκίμια στη Φιλοσοφία της Επιστήμης.* Εκδόσεις Οκτώ. Αθήνα (2008).

β) A…Z

AAAS (American Association for the Advancement of Science), *Benchmarks for Science Literacy, Project 2061*, Oxford University Press, New York (1993).

AAAS (American Association for the Advancement of Science), *Project 2061: Science for All Americans*. Oxford University Press, New York (1989).

Academie del Cimento, *Essayes of Natural Experiments*. *Translated By Richard Waller. A Facsimile of the 1684 Edition*. The Sources of Science. Johnson Reprint Corporation, New York and London (1964).

Academie Royale des Sciences, Sur l' électricité. *Histoire de l' Académie royale des sciences avec les mémoires de mathématique et de physique tires des registres de cette Académie*, Année (1746), Physique Générale, pp.1-17, Paris (1751).

Accademia del Cimento, *Saggi di Naturali Esperienze, Firenze* (1667). IMSS, Digital Library (2001), http://brunelleschi.imss.fi.it/cimentosite/Template.asp?xmlfile=Immagini.xml&Idx=1 (είσοδος 27-10-2010).

Adams, G., *Lectures on Natural and Experimental Philosophy: Considered in its Present State of Improvement*. Volume 1, Printed by R. Hindmarsh, Sold by the Author (1794).

Allchin, D., Anthony, E., Bristol, J., Dean, A., Hall, D. & Lieb, C., History of Science – With Labs. *Science & Education*, 8, 6, 619-632 (1999).

Andersson, S., Using Historical Collections when Teaching a Broadened Science Curriculum. *Rittenhouse*, 22, 2, 114-131 (2008).

Apollo 15, The Hammer and the Feather, *Lunar Surface Journal* 1996/2008, http://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/alsj/a15/a15.clsout3.html (είσοδος 22-5-2011).

Arabatzis, T., Experiment. In Horowitz, M. (ed.), *New Dictionary of the History of Ideas*, Vol. 2, Charles Scribner's Sons , Detroit (2005), pp. 765-769.

Arabatzis, T., Experiment. In Psillos, S. & Curd, M. (eds.), *The Routledge Companion to Philosophy of Science*, Routledge, London & New York (2008), pp.159-170.

Archimedes, On Floating Bodies. In Heath, T.L. (ed.), *Works of Archimedes*. London: Clay C.J. and Sons Cambridge University Press Warehouse, Glasgow: 263 Argyle Street, Leipzig: Brockhaus, F.A., New York: The Macmillan Company (1897).

Armstrong, H.E., *The Teaching of Scientific Method and other Papers on Education*, Macmillan (1903).

Atkins, P., Jones L., *Chemistry-Molecules, Matter and Change*. 3rd edition, Freeman, W.H. and Company, New York (1989/1997).

Bacon, F., *Novum Organum, Sive Indicia vera de Interpretatione Naturae*. Oxon II e Typographeo Clarendoniano (1620/1813).

Bacon, F., *The New Organon or True Directions Concerning the Interpretation of Nature*. First published in 1620. Text based on the standard translation of Spedding, J., Ellis, R.L., and Heath D.D. In Taggard and Thompson (eds.), *The Works* (Vol. VIII), Published in Boston in 1863 (1620/1863), http://ebooks.adelaide.edu.au/b/bacon/francis/organon/chapter1.html (είσοδος 22-5-2011).

Bacon, F., *The New Organon*, Cambridge texts in the History of Philosophy. Jardine L. & Silverthorne, M. (eds.), Cambridge University Press (1620/2000).

Bacon, F. *The Advancement of Learning*, Serenity Publishers, Arc Manor Company, USA, UK (1623/2008).

Baliani, B.B., A Galileo in Firenze, Genova 27 Luglio 1630. Στο Galilei, G., *Le Opere*. Favaro, A. (ed.), Barbèra, Firenze (1890-1909), Volume XIV, Document [2040], pp. 124-125.

Beneken, H., Frercks, J., Heering, P., Makus, A.& Riess, F., Forces, Distances, and Laws: An Experimental Competition about Electricity among an Englishman, a Frenchman and a German. In Obrist, H.U., & Vanderlinden, B. (eds.), *Laboratorium*. Dumont Antwerpen Open Roomade (2001), pp.237-240.

Bennett, J., Can Science Museums Take History Seriously?, *Science as Culture*, 5, 1, 124-137 (1995).

Bennett, J., Knowing and Doing in the Sixteenth Century: What Were Instruments for? (Presidential address delivered at the BSHS meeting 'Do collections matter to instrument studies?' at the Museum of the History of Science, Oxford, June 2002). BJHS, 36, 129-150 (2003).

Bennett, J., Brain, R., Bycroft, K., Schaffer, S., Sibum, H.O., Staley, R., E*mpires of Physics: A Guide to an Exhibition*. Whipple Museum of the History of Science, Cambridge (1993).

Bensaude-Vincent, B. & Blondel, C., A Science Full of Shocks, Sparks and Smells. Introduction in Bensaude-Vincent, B. & Blondel, C.(eds.), *Science and Spectacle in the European Enlightenment*. Ashgate (2008), pp.1-10.

Bertrand, Y., *Σύγχρονες Εκπαιδευτικές Θεωρίες,* Ελληνικά Γράμματα, Αθήνα (1994).

Bertucci, P. Domestic Spectacles: Electrical Instruments between Business and Conversation. In Bensaude-Vincent, B. & Blondel, C. (eds.), *Science and Spectacle in the European Enlightenment*, Ashgate (2008), pp.75-87.

Bevilacqua, F. & Bordoni, S., New Contents for New Media: Pavia Project Physics. *Science & Education*, 7, 5, 451-469 (1998).

Blondel, C., The Website@.Ampère and the History of Electricity. *Book of Abstracts of the XXIII ICHST - Ideas and Instruments in Social Context*, Budapest, Hungary, 28 July -2 August (2009), p.85.

Boas, M. *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry.* Cambridge University Press (1958).

Boston Museum of Science "Franklin's Kite". *Theater of Electricity* (2006), http://www.mos.org/sln/toe/kite.html (είσοδος 22-5-2011).

Boyle, R., Pneumatics. In *The Philosophical Works of the Honourable Robert Boyle*, printed for Innys, W. and J. at the West-End of St. Paul's; and Osborn, J. and Longman, T. in Pater-Noster-Row, London (1725 ed.), Volume II, pp.407-651.

Boyle, R., New Experiments Physico-mechanical, touching the Spring of the Air and its effects; made, for the most part, in a new Pneumatical Engine…In *The Works of the Honourable Robert Boyle. In six volumes. To which is prefixed the life of the author,* London (1772 ed.), Volume I, pp.1-117.

Boyle, R., An Examen of Mr. T.Hobbes. His Dialogus Physicus de Natura Aeris. In *The Works of the Honourable Robert Boyle. In six volumes. To which is prefixed the life of the author,* London (1772 ed.), Volume I, pp.186-242.

Boyle, R., Tracts Containing New Experiments Touching the Relation betwixt Flame and Air and

about Explosions. In *The Works of the Honourable Robert Boyle. In six volumes. To which is prefixed the life of the author,* London (1772 ed.), Volume III, pp.562-584.

Boyle, R., The General History of the Air Designed and Begun. In *The Works of the Honourable Robert Boyle. In six volumes. To which is prefixed the life of the author.* London (1772 ed.), Volume V, pp.609-743.

Brisson, M-J., *Dictionnaire raisonné de physique*. Tome 3, Hôtel de Thou, Paris (1781), http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k94849b (είσοδος 24-10-2010).

Brockliss, L., Science, the Universities and other Public Spaces, Teaching Science in Europe and the Americas, In Porter, R.(ed.), *The Cambridge History of Science* (Vol.4), Cambridge University Press (2008), pp.44-86.

Brenni, P., Dusty Relics or Speaking Witnesses of the Past? The Possible Uses of University Collections. *Book of Abstracts of the SICU2: International Workshop on Historic Scientific Instrument Collections in the University*, 21-24 June 2007, Oxford, Mississippi, USA (2007), p.43, http://iuhps.org/conf2007/SICU2_Abstracts_Final.pdf (είσοδος 22-5-2011).

Brenni, P., The Possible Uses of University Instrument Collections. *Rittenhouse*, 22, 2, 211-224 (2008).

Brenni, P., Were Didactic Scientific Instruments really used? The Evolution of Teaching Physics between 1850 and 1930. Book of Abstracts of the *International Symposium: Learning by Doing: Experiments and Instruments in the History of Science Teaching,* SIC Conference, Regensburg, Germany, 3-5 April (2009), http://iuhps.org/conf2009/LbyD_Abstracts.pdf (είσοδος 22-5-2011).

Bruner, J., *The process of education. A Landmark in Educational Theory,* Harvard University Press, 24th edition, Cambridge/ Massachusets/ London/ England (1960/1996).

Burns, T. W., O'Connor, D. J. and. Stocklmayer, S. M., Science Communication: A Contemporary Definition, *Public Understanding of Science*, 12, 2, 183–202 (2003).

Casaleiro, P. "Making effective stories of science". *Proceedings of the ECSITE International Conference,* Milan, Italy, 2-4 June (2009), p.55, http://www.ecsite-conference.net/en/index.php?n=200 (είσοδος 22-5-2011).

Cavicchi, E.M., Mirrors, Swinging Weights, Light Bulbs… : Simple Experiments and History help a Class become a Scientific Community. In Heering, P. & Osewold (eds.), *Constructing Scientific Understanding through Contextual Teaching*. Frank & Timme (2007), pp.47-63.

Cavicchi E., A Witness account of Solar Microscope Projections: Collective Acts Integrating across Personal and Historical Memory. *BJHS*, 41, 3, 369-383 (2008).

Cavicchi, E.M., Historical Experiments in Students' Hands: Unfragmenting Science through Action and History, *Science & Education*, 17, 7, 717-749 (2008a).

Charles-Chevalier. *Catalogue explicatif et illustré des instruments d'optique et de météorologie usuelles, Paris,* France (1860).

Chierego, N.& Angelini, A.(1994). Upgrading and Utilization of Historical Instruments: Experience in a Secondary Technical School. In Dragoni, G., McConnell, A. & Turner, G.L'E.(eds.), *Proceedings of the Eleventh International SIC Symposium,* Bologna University, Italy 9-14 September 1991. Grafis Edizioni, Bologna (1994), pp.247-248.

ChiosNews.com 27/3/2006, Εκδήλωση-ξενάγηση στο Μουσείο Φυσικής (2006), http://www.chiosnews.com/cn2732006714410.asp (Είσοδος 7-4-2011).

ChiosNews.com 7/12/2006, Πάμε μια βόλτα στο Μουσείο; Εκπαιδευτικό Πρόγραμμα Φυσικών Επιστημών στο Μουσείο Φυσικής της Χίου (2006), http://www.chiosnews.com/cn71220061232230.asp (είσοδος 7-4-2011).

ChiosNews.com, 21/9/2007, Εκπαιδευτικό Πρόγραμμα: Πάμε μια βόλτα στο Μουσείο Φυσικής &Ιστορίας (2007) http://www.chiosnews.com/cn2192007755540.asp (είσοδος 7-4-2011).

Cinzia, G.& Novelli,L., *Η Ιστορία της Χημείας σε Κόμικς*, Τόμος Α, Κάτοπτρο, Αθήνα (1992).

Conant, J.B. & Nash, L. (eds.), *Harvard Case Histories in Experimental Science* (Vols. 1&2). Harvard University Press (1957/1966).

Conant, J.B., *Robert Boyle's Experiments in Pneumatics*, in Conant J.B., Nash L.K Harvard Case Histories in Experimental Science, Volume 1, Harvard University Press, Cambridge-Massachusetts, (1957/1966), pp.1-63.

Cromer, *A. Uncommon Sense: The Heretical Nature of Science*, 2nd edition, Oxford University Press

US (1993/1995).
Crookes, W., The Bakerian Lecture: On Repulsions Resulting from Radiation . Part V. *Transactions of the Royal Society*, 169, 243-318 (1879).
Della Porta, J.B., *Natural Magick. In Twenty Books*. [Translated from the Latin.]. Young, T. & Speed, S., London (1658), http://homepages.tscnet.com/omard1/jportat2.html (είσοδος 22-5-2011).
Della Porta, J.B., How the levity in the water and the air, is different, and what cunning may be wrought thereby. In *Natural Magick*, 18th Book, Chapter VIII. Transcribed from 1658 English Edition, NuVision Publications, LLC (2005).
De Moncel, T.A.L., *Notice sur l'Appareil d'Induction Electrique De Ruhmkorff*. 5ième Edition, Paris, Gauthier-Villars, Imprimeur-Libraire (1867) .
Devons, S., & Hartmann, L., A History-of-Physics Laboratory. *Physics Today* 23, 2, 44–49 (1970).
Dewey, J. & Dewey, E., *Schools of Tomorrow*, E.P. Dutton & Company, New York (1915).
Dewey, J., *Democracy and Education*, Macmillan Company, New York (1916).
Donnelly, J., Contested Terrain or Unified Project? "The Nature of Science" in the National Curriculum for England and Wales, *International Journal of Science Education* 23, 2, 181-195 (2001).
Drake, S., *Galileo at Work. His Scientific Biography*, Dover Publications Inc., New York (1978/1995).
Driver, R.& Oldham, V., A Constructivist Approach to Curriculum Development in Science. *Studies in Science Education*, 13, 1, 105-122 (1986).
Duit, R.& Treagust, D.F., Students' Conceptions and Constructivist Teaching. In Fraser, J. & Walberg, H.J. (eds.), *Improving Science Education*. National Society for the Study of Education (1995), pp. 46-69.
Duit, R.& Treagust, D.F, *Learning in Science- From Behaviorism Towards Social Constructivism and Beyond*. In Fraser, B.J. & Tobin, K.G. (eds.), International Handbook of Science Education, Part 1, pp.3-25, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/ Boston/ London (1998).
Durant, J., Introduction. In Durant, J. (ed.), *Museums and the Public Understanding of Science*. Science Museum in Association with the Committee on the Public Understanding of Science, London (1992), pp.7-11.
Dvoichenko-Markov, D., A Rumanian Priest in Colonial America, *American Slavic and East European Review*, 14, 3, 383-389 (1955).
ECSITE, *Proceedings of the Ecsite Annual Conference 2009*, Milan, Italy, 4-6 June (2009).
Einstein, A., Πρόλογος (1953). Στο Jammer, M., *Έννοιες του Χώρου. Η Ιστορία των Θεωριών του Χώρου στη Φυσική*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 1η έκδοση, Ηράκλειο (1993/2001).
Einstein, A. & Infeld, L., *Η εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική,* Εκδόσεις Δωδώνη, Αθήνα (1978).
Elfin, J.T., Glenman, S., & Reisch, G., Comments and Critisism. The Nature of Science: A Perspective from the Philosophy of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 1, 107-116 (1999).
Elkana, Y., Science, Philosophy of Science and Science Teaching. *Educational Philosophy and Theory*, 2, 1, 15-35 (1970).
Eshach, H. & Schwartz, J.L., Sound Stuff? Naïve Materialism in Middle-School Students' Conceptions of Sound. *International Journal of Science Education*, 28, 7, 733–764 (2006).
Euler, M., Revitalizing Ernst Mach's Popular Scientific Lectures, *Science & Education*, DOI.10.1007/s11191-006-9020-3 (2006).
Falconer, I., Corpuscles, Electrons and Cathode Rays: JJ. Thomson and the 'Discovery of the Electron'. *BJHS*, 20, 3, 241-276 (1987).
Faraday, M., *Experimental Researches in Electricity*. Volume I, Second Edition. Taylor, R. and J., printers and publishers to the University of London, Red Lion Court, Flert Street, London (1838/1849).
Faraday, M. *The Chemical History of a Candle*. Cherokee Publishing Company, Atlanta, Georgia (1861/1993).
Farmelo, G., Drama on the Galleries. In Durant, J.(ed.), *Museums and the Public Understanding of Science*. Science Museum in association with the Committee on the Public Understanding of Science, London (1992), pp.45-48.
Fauque, D., Introduire la Dimension Historique au Collège en France, *Review of Science, Mathematics*

and ICT Education, 1, 2, 5-39 (2007).

Fauque, D., Introducing the History of Science at the French Middle School, *Science & Education*, 18, 9,1277–1283 (2009).

Ferguson, J., *Lectures on Select Subjects in Mechanics, Hydrostatics, Pneumatics, and Optics: with The Use of the Globes, The Art of Dialing, and The Calculation of the Mean Times of New and Full Moons and Eclipses*, London, *MDCCLX* (1760).

Figuier, L., *L'année scientifique et industrielle ou exposé annuel des travaux scientifiques, des inventions et des principales applications de la science à l'industrie et aux arts, qui ont attiré l'attention publique en France et à l'étranger*. L' Hachette et 1-10&25 (1857-1866-1881).

Figuier, L., *Les Merveilles de la Science ou Description Populaire des Inventions Modernes*. Tome I, Furne, Jouvet, Paris (1867), http://gallica2.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k24674j (είσοδος 22-5-2011).

Flammarion, C., *L'atmosphère : Météorologie populaire*. Hachette, Paris 1888. Bibliothèque Nationale de France, ark:/12148/bpt6k408619m (είσοδος 25-11-2010).

Fontenelle, B., *Entretiens sur la Pluralité des Mondes*. De l' Académie Françoise. Nouvelle éd. Augmentée. Londres (1741), http://www.e-rara.ch/doi/10.3931/e-rara-1301 (είσοδος 13-6-2011).

Fourcroy, A-F., *Philosophie Chimique, ou Vérités Fondamentales de la Chimie Moderne*, *Disposées dans un Nouvel Ordre*. Seconde édition. Chez du Pont, Paris (1792), http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k90276m (είσοδος 22-5-2011).

Frank, J., Introduction. In the Frank, J.(ed.) *Christmas at the Royal Institution. An Anthology of Lectures by M Faraday, J Tyndall, R S Ball, S P Thompson, E R Lankester, W H Bragg, W L Bragg, R L Gregory, and I Stewart*. The Royal Institution of Great Britain, UK (2007), pp.xi-xxv.

Franklin, B., The Kite Experiment, The Pennsylvania Gazette, October 19, 1752. In the *Papers of Benjamin Franklin*. Packard Humanities Institute Digital Edition, Volume 4 (1750-53), p.360. http://franklinpapers.org/franklin/framedVolumes.jsp (είσοδος 22-5-2011)

Franklin, B., Letter to Peter Collinson, Philadelphia September 1753 [Copy: Massachusetts Historical Society]. In the *Papers of Benjamin Franklin*. Packard Humanities Institute Digital Edition, Volume 5 (1753-55), p.068, http://franklinpapers.org/franklin/framedVolumes.jsp (είσοδος 17-10-2010).

Franklin, B., To John Lining, Philadelphia, March 18, 1755.In the *Papers of Benjamin Franklin*. Packard Humanities Institute Digital Edition,Volume 5 (1753-55), p.521. http://franklinpapers.org/franklin/framedVolumes.jsp (είσοδος 22-5-2011).

Franklin, B., Of Lightning, and the Method (Now Used in America) of Securing Buildings and Persons from Its Mischievous Effects, September 1767 [Printed in Experiments and Observations on Electricity, Made at Philadelphia in America, By Benjamin Franklin, L.L.D. and F.R.S. (Fourth edition, London, 1769), pp. 479-85]. In the *Papers of Benjamin Franklin*. Packard Humanities Institute Digital Edition, Volume 14 (1767), p.260, http://franklinpapers.org/franklin/framedVolumes.jsp (είσοδος 22-5-2011).

Franklin Institute (the), The Wind Tunnel. *Recourses for Science Learning* (2011), http://www.fi.edu/learn/sci-tech/wind-tunnel/wind-tunnel.php?cts=flight (είσοδος 1-3-2011).

Frercks, J., Heering, P., Hennig J., Makus, A. & Müller, F., Places of Experimental Action: Performance, Measurement and Construction. In Obrist, H.U & Vanderlinden, B. (eds.), *Laboratorium*, Dumont, Antwerpen Open, Roomade (2001), pp.240-244.

Galilei,G., *The Sidereal Messenger* (1610/1880).

Galilei, G., La Bilancetta. Στο G.Barbera (ed.), *Le Opere di Galileo Galilei*. Volume I, Firenze (1929), pp.209-220.

Galilei, G., A Giovani Battista Baliani in Genova, 6 Agosto 1630. Στο Galilei, G., *Le Opere*. Favaro, A. (ed.), Barbèra, Firenze (1890-1909), Volume XIV, Document [2043], pp. 127-130.

Galilei, G., *Dialogues Concerning Two New Sciences*. Translated by Henry Crew & Alfonso di Salvio, New York, Dover Publications (1638/1954).

Galilei, G., Two New Sciences. Icluding Centers of Gravity and Force of Percussion. Translated with a New Introduction and Notes by Stillman Drake.In Galilei, G., *Two New Sciences* & Drake, S., *History of Free Fall, Aristotle to Galileo*. Wall & Emerson, Inc. Toronto (1989/2000).

Galili,I., Interpretation of Students' Understanding of the Concept of Weightlessness. *Research in Science Education*, 25,1, 51-74 (1995).

Galili, I.& Bar, V., Children's Operational Knowledge about Weight. *International Journal of Science*

Education 19, 3, 317–340 (1997).
Galison, P., *How Experiments End?* University of Chicago Press, Chicage & London (1987).
Galison, P., History, Philosophy and the Central Metaphor, *Science in Context* 2,1, 197-212 (1988).
Galluzzi, P., New Technologies and the Objects of Science. In Lindquist, S. (ed.), *Museums of Modern Science*, Novel Symposium 112 (2000), pp.107-116.
Ganot, A., *Cours de physique purement expérimentale à l' usage des gens du monde*, Paris (1859).
Ganot, A., *Cours de physique purement expérimentale : à l'usage des personnes étrangères aux connaissances mathématiques.* Chez l'auteur-éditeur, Paris (1859), http://gallica2.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k205797p (είσοδος 22-5-2011).
Ganot, A., *Trattato elemetare di Fisica*, 5th edition, Milano (1859).
Ganot, A., *Traité elémentaire de physique expérimentale et appliquée. Et de météorologie*. 13ième édition, Paris, Chez l' Auteur-Editeur (1868).
Ganot, A., *Traité elémentaire de physique.* 21ième édition, Librairie Hachette et Cie, Paris (1894).
Giacobassi, K., On the Shoulders of Giants: Museums Draw Lessons from History of Science, IMSS, *Proceedings, of the ECSITE International Conference*, Milan, Italy, 2-4 June (2009), p.69, http://www.ecsite-conference.net/en/index.php?n=200 (είσοδος 13-6-2011).
Gires, F., *Physique, Côté Cours, Cabinet de Physique dans L'enseignement Secondaire au XIXè Siècle*, Perigueux – Musée du Perigord (1997).
Gires, F., *Physique Impériale, Cabinet de Physique du Lycée Imperial de Perigueux*, Aseiste (2004).
Gires, F., *L'empire de la Physique- Cabinet du Lycée Guez de Balzac d'Angoulême*, Aseiste –Niort (2006).
Glasersfeld, E.von, Cognition, Construction of Knowledge and Teaching. *Synthese*, 80, 1, 121-140 (1989).
Glasersfeld, E.von, The Radical Constructivist View of Science. *Foundations of Science*, 6 ,1-3, 31-43 (2001).
Golin, G., Some Experiences in Teaching the History of Science to Future High-School Teachers in Universities of the Former Soviet Union (1970-1990). In Finley, F., Allchin, D., Rhees, D. & Fifield, S., *Proceedings of the Third International History, Philosophy and Science Teaching Conference.* Minneapolis, Minnesota. October 29-November 1 (1995), Volume I, pp. 470-479.
Golinski, J., Joseph Priestley and the Chemical Sublime in British Public Science. In Bensaude-Vincent, B. & Blondel, C.(eds.), *Science and Spectacle in the European Enlightenment*. Ashgate (2008), pp.117-128.
Good, R. & Shymansky J., Nature-of-Science Literacy in *Benchmarks* and *Standards*: Post-Modern/Relativist of Modern/Realist? *Science & Education*, 10, 1-2, 173-185 (2001).
Granato, M., Collections of Scientific Instruments in Brazil: Current Situation and Prospects. *Rittenhouse*, 22, 2, 169-187 (2008).
Granato, M., Collections of Scientific Instruments in Brazil: Current Situation and Prospects. In *Book of Abstracts of the SICU2: International Workshop on Historic Scientific Instrument Collections in the University*, 21-24 June 2007, Oxford, Mississippi, USA (2007), p.14, http://iuhps.org/conf2007/SICU2_Abstracts_Final.pdf (είσοδος 22-5-2011).
Grandy, R., & Duschl, R.A., Reconsidering the Character and Role of Inquiry in School Science: Analysis of a Conference. *Science & Education*, 16, 2, 141-166 (2007).
Grant, E., *Much ado about nothing. Theories of Space and Vacuum from the Middle Ages to the Scientific Revolution*, Cambridge University Press (1981).
Grant, E., *Οι Φυσικές Επιστήμες τον Μεσαίωνα.* Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο (1994).
Gravesande 's, W.J., *Mathematical Elements of Natural Philosophy Confirmed by Experiments*. Translated into English by the late Desaguliers LLD FRS. 6th edition, Volume II, London (1747).
Guericke, O.von, *Experimenta Nova (ut vocantur) Magdeburgica de Vacuo Spatio*. Apud Joannem Janssonium (1672), http://imgbase-scd-ulp.u-strasbg.fr/displayimage.php?album=642&pos=0 (είσοδος 22-5-2011).
Guyon S., Azémar, C., Baraton, L., Sarfati & Lauginie, P., 'Les Magiciens de la Lumière'. DVD. Université Paris-Sud-11, SCAVO (2009).
Hacking, I. *Αναπαριστώντας και Παρεμβαίνοντας*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ (1983/2002).

Hacking, I., The Self-Vindication of the Laboratory Sciences. In Pickering A.(ed.), *Science as Practice and Culture*, Chicago: University of Chicago Press (1992), pp.29-64.

Hackmann, W.D., Scientific Instruments: Models of Brass and Aids to Discovery. In Gooding, D., Pinch. T., & Schaffer, S. (eds), *The Uses of Experiment*, Cambridge University Press (1989), pp.31-65.

Hackmann, W.D., 'Wonders in One Closet Shut': The Educational Potential of History Of Science Museums. In Durant, J.(ed)., *Museums and the Public Understanding of Science*. Science Museum in Association with the Committee on the Public Understanding of Science, London (1992), pp.65-69.

Hankins, T.L., *Επιστήμη και Διαφωτισμός*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο (1998).

Hankins, T. & Silverman, R., *Instruments and the Imagination*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey (1995).

Hapkiewicz, A., Finding a List of Science Misconceptions. *MSTA Newsletter*, 38, 11-14 (Winter 1992), http://homepage.mac.com/vtalsma/syllabi/2943/handouts/misconcept.html#matter (είσοδος 13-11-2010).

Hapkiewicz, A., Naïve Ideas in Earth Science. *MSTA Journal*, 44, 2, 26-30 (1999), http://homepage.mac.com/vtalsma/syllabi/2943/handouts/misconcept.html#weather (είσοδος 13-11-2010).

Harris, D. & Taylor, M., Discovery Learning in School Science: the Myth and the Reality. *Journal of Curriculum Studies*, 15, 3, 277-289 (1983).

Heering, P., On Coulomb's Inverse Square Law. *American Association of Physics Teachers*, 60, 12, 988-996 (1992).

Heering P., Getting Shocks: Teaching Secondary School Physics through History. *Science & Education*, 9, 4, 363–373 (2000).

Heering, P., History - Science - Epistemology: On the Use of Historical Experiments In Physics Teacher Training. In McComas, W.F. (ed.), *Proceedings of the 6th IHPST Conference Denver, USA, 2001*(2003), [File 58 on CD ROM from IHPST.ORG.].

Heering, P., Educating and Entertaining: Using Enlightenment Experiments for Teacher Training, In Heering, P. & Osewold (eds.), *Constructing Scientific Understanding through Contextual Teaching*, Frank & Timme (2007), pp. 65-81.

Heering, P., The Enlightened Microscope: Re-enactment and Analysis of Projections with Eighteenth-Century Solar Microscopes, *BJHS*, 41, 3, 345–367 (2008).

Heering, P. & Müller, F., Cultures of Experimental Practice – An Approach in a Museum. *Science & Education*, 11, 2, 203-214 (2002).

Heering, P. & Sichau, C., Instruments and Experiments between The Laboratory and the Museum. *Archives des Sciences*, 58, Part 2, 97-111 (2005).

Heilbron J.L., *Electricity in the 17th and 18th Centuries. A Study of Early-Modern Physics*. University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London (1979).

Hevelius, J. *Johannis Hevelii Selenographia… Edani Edita : Autoris Sumtibus* (1647).

Hevelius, J., Johannis *Hevelii Machinae Coelestis*. Gedani (1673), ETH-Bibliothek Zürich, http://dx.doi.org/10.3931/e-rara-557 (είσοδος 18-11-2010).

Hiebert, E., Electric Discharge in Rarefied Gases. In Kox, A.J.& Siegel D.M. (eds.), *No Truth Except in Details*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands (1995), pp.95-134.

Hochadel, O., The Business of Experimental Physics: Instrument Makers and Itinerant Lecturers in the German Enlightement, *Science & Education*, DOI 10.1007/s11191-006-9017-y (2006).

Hochadel, O., The Sale of Schocks and Sparks: Itinerant Electricians in the German Enlightment. In Bensaude-Vincent, B. & Blondel, C.(eds.), *Science and Spectacle in the European Enlightenment*. Ashgate (2008), pp.89-102.

Hoddeson, L. H., "Pilot Experience of Teaching a History of Physics Laboratory. *American Journal of Physics*, 39, 8, 924-928 (1971).

Holton, G., The Project Physics Course, Then and Now, *Science & Education*, 12, 8, 779-786 (2003).

Holton, G. & Brush, S.G., *Introduction to Concepts and Theories in Physical Science*. Second edition, Princeton University Press, Princeton, New Jersey (1985).

Holton, G.& Brush, S., *Εισαγωγή στις Έννοιες και τις Θεωρίες της Φυσικής Επιστήμης*, Δεύτερη Έκδοση, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ (2002).

Höttecke, D., How and What Can We Learn from Replicating Historical Experiments. A Case-Study. *Science & Education*, 9, 4, 343-362 (2000).

Hulin, N., Histoire des Sciences et Enseignement Scientifique. Quels Rapports? Un Bilan XXIe – XXe siècles. *Bulletin de l' Union des Physiciens* 90, 786, 1201-1243 (1996).

Hulin, N., La physique expérimentale au lycée, In Gires, F., (ed.), *L'empire de la Physique- Cabinet du Lycée Guez de Balzac d'Angoulême*, Aseiste-Niort, (2006), pp. 15-18.

IMSS, Official Website, Florence (1994-2010), http://www.imss.fi.it/ (είσοδος 24-9-2010).

IMSS, *Horror Vacui?* Florence (1999), http://www.imss.fi.it/vuoto/ (είσοδος 22-5-2011).

IMSS, *Multimedia Catalogue*, Florence (1995-2010), http://brunelleschi.imss.fi.it/museum/ (είσοδος 22-5-2011).

IMSS, Pneumatics. In IMSS, *Multimedia Catalogue*, *Thematic Visits*, Florence (1995-2010), http://brunelleschi.imss.fi.it/museum/esim.asp?c=23294&xsl=2&f=15&a=#15 (είσοδος 27-10-2010).

IMSS, *Court Scientists*. *The Art of Experimentation in the Galilean Accademia del Cimento (1657-1667*. Florence (2001-2002a), http://brunelleschi.imss.fi.it/cimento/risorse%5Cetesticimento.pdf (είσοδος 27-10-2010).

IMSS, *Court Scientists-Tour*, Florence (2001-2002b), http://brunelleschi.imss.fi.it/cimento/eframeintro1.html (είσοδος 27-10-2010).

IMSS, The Bladder in the Void. In *Court Scientists- Tour/The Experiments/Pneumatics*. Florence (2001-2002b) http://brunelleschi.imss.fi.it/cimento/etop1.html?pos=esperienze (είσοδος 1-2-2011).

Jenkins, E.W., The history of science in British schools: Retrospect and Prospect, *International Journal of Science Education*, 12, 3, 274-281 (1990).

Jenkins, E.W., The "Nature Of Science" as a Curriculum Component, *Journal of Curriculum Studies*, 28, 2, 137-150 (1996).

Jones, W. & S. *A Catalogue of Optical, Mathematical and Philosophical Instruments, London, England* (1822).

Jowett, W. & Connor, J., *Christian Researches in the Mediterranean, from MDCCCXV to MDCCCXX; in furtherance of the objects of the Church Missionary Society*. Printed by Watts, R. Published for the Society by Seeley, L.B. & Hatchard, J., London (1822).

Joyce, B. & Weil, M., *Models of Teaching*, Allyn & Bacon, 5th edition, Boston/ London/ Toronto/ Sydney/ Tokyo/ Singapore (1996).

Karas,Y. & Vlahakis, G., *Sciences in the South Eastern Europe during the 19th century, Greece-Servia-Montenegro*. National Hellenic Research Foundation NHRF, Institute for Neohellenic Research, Athens (2004).

Khantine-Kanglois, F., Les Multiples Manuels : Une Source pour Retrouver la Description et l'Usage des Appareils Anciens. Gires, F. (ed.), *Cabinet de Physique du Lycée Guez de Balzac d'Angoulême*, ASEISTE (2006), pp.19-23.

Kipnis, N., 18th –Century Instruments in the Classroom. In Dragoni, G., McConnell, A. & Turner, G.L'E.(eds.), *Proceedings of the Eleventh International SIC Symposium*, Bologna University, Italy, 9-14 September 1991, Grafis Edizioni, Bologna (1994), pp.163-167.

Kipnis,N., The 'Historical-Investigative' Approach to Teaching Sciences. *Science & Education*, 5, 3, 277-292 (1996).

Kirchhoff, G. & Bunsen, R., Chemical Analysis by Observation of Spectra. *Annalen der Physik und der Chemie (Poggendorff)*, 110,161-189 (1860), http://www.chemteam.info/Chem-History/Kirchhoff-Bunsen-1860.html (είσοδος 17-10-2010).

Kirk, G.S., Raven, J.E., Schofield, M., *Οι Προσωκρατικοί Φιλόσοφοι*. Μετάφραση: Δημοσθένης Κούρτοβικ, 3η έκδοση, ΜΙΕΤ, Αθήνα (1998).

Kitcher, P., The Child as Parent of The Scientist, *Mind and Language*, 3, 3, 217-228 (1988).

Klopfer, L., Cooley, W., The History of Science Cases for High Schools in the Development of Student Understanding of Science and Scientists- A Report on the HOSC Instruction Project. *Journal of Research in Science Teaching*, 1, 33-47 (1963).

Kuhn, T., Concepts of Cause in the Development of Physics. In Kuhn. T., *The Essential Tension*, The University of Chicago Press (1977b), pp.21-30. Το πρωτοδημοσιεύτηκε υπό τον τίτλο: Les notions de causalité dans le development de la physique, *Etudes d' epistémologie génétique*, 25, 7-18 (1971).

Kuhn, T. *The Essential Tension*: *Selected Studies in Scientific Tradition and Change*. University of Chicago Press, Chicago (1977a).

Lauginie, P., Father and Son at the Pole or: What's the Earth doing? A Sketch on Foucault's Pendulum and its Interpretation. In Teichmann,J., Stinner, A., Riess, F. (eds.), *From the Itinerant Lecturers of the 18th Century to Popularizing Physics in the 21st Century – Exploring the Relationship between Learning and Entertainment. Proceedings of a conference held in Pognana sul Lario, Italy, 1-6 June 2003*. Oldenburg (2004), pp.36-43.

Lauginie, P., Weighing the Earth, Weighing the Words- From Cavedish to Modern Undergraduate Demonstrations. In Heering, P. & Osewold, D. (eds.), *Constructing Scientific Understanding through contextual Teaching*, Frank & Timme, Berlin, (2007), pp.119-137.

Lauginie, P., All about the Film 'Wizards of Light'. Evolution of Foucault's Spinning Mirror from a Qualitative to a Metrological Experiment (1850-1862). *Book of Abstracts of the XXIX Symposium*, SIC, Florence,Italy, 4-9 October (2010), pp.49.

Lauginie, P., Guyon S., Azémar, C., Baraton, L. & Sarfati, A., 'Les Magiciens de la Lumière' or 'Wizards of Light'- A Film Tracing the History of the Speed of Light. *Book of Abstracts of the XXIII ICHST - Ideas and Instruments in Social Context*, Budapest, Hungary, 28 July -2 August (2009), p.689.

Lawrenz, F. & Kipnis, N., Hands-on History of Physics. *Journal of Science Teacher Education*, 1,3, 54-59 (1990).

Lerebours et Secretan Company, *Catalogue et Prix des Instruments D'Optique, de Physique, de Chimie, de Mathématiques, d'Astronomie et de Marine Imprint*, France, Paris (1853), http://www.sil.si.edu/digitalcollections/trade-literature/scientific-instruments/CF/SIsingle-record.cfm?AuthorizedCompany=Lerebours%20et%20Secretan (είσοδος 22-5-2011).

Losee, J., *A Historical Introduction to the Philosophy of Science*, Fourth Edition, Oxford University Press (1972/2001).

Lourenco, M., *Between two Worlds*. *The Distinct Nature and Contemporary Significance of University Museums and Collections in Europe*. Thèse Doctoral, Conservatoire National Des Arts Et Métiers, CNAM, Paris (2005).

Macaulay, D., *Οι μηχανές από το Α ως το Ω*. CD-Rom. Ελληνική έκδοση, Ερευνητές (1997).

Mach, E., *Popular Scientific Lectures*, The Open Court Publishing Co., 3rd Edition Revised and Enlarged, Chicago (1898).

Mach, E., *The Science of Mechanics*. The Open Court Publishing Co., Chicago, London (1919).

Maffioli, C.S., «La Ragione del Vacuo». Why And How Galileo Measured the Resistance of Vacuum, In the *Book of Abstracts. XXIII ICHST- Ideas and Instruments in Social Context*, Budapest, Hungary, 28 July -2 August (2009), p.688.

Malaquias, I., Queirós,M., Valente, M.A., Gomes, M.E., Martins, D.R., Saraiva, C. Almeida,J., Oliveira,J., Thomaz,M. (2008).The Scientific Heritage of Physics and Chemistry: Didactic instruments in Portuguese Secondary Schools. *Book of Abstracts* of the *XXVII Symposium*, SIC, Museum of Science, University of Lisbon, Portugal,16-21 September (2008), p.95.

Marcellus, Le Vicomte, *Souvenirs de l'Orient*. Tome Premier, Debécourt, Librairie-éditeur, Paris (1839).

Martin, B., *The Philosophical Grammar; Being a View of the Present State of Experimented Physiology, or Natural Philosophy*…London, *MDCCXXXV* (1735).

Martin, B., *The General Magazine of Arts and Sciences, Philosophical, Philological, Mathematical, and Mechanical* ..., London, printed for W. Owen, at Homer's Head, in Fleet-street, *M DCC LV* (1755-1765).

Matthews, M., Ernst Mach and Thought Experiments in Science Education. *Research in Science Education* 18, 1, 251-257 (1988).

Matthews, M., Ernst Mach and contemporary science education reforms, *International Journal of Science Education*, 13, 3, 317-325 (1990).

Matthews, M.R., *Science Teaching. The role of History and Philosophy of Science*. Routledge, New York –London (1994).

Matthews, M., Introductory Comments on Philosophy and Constructivism in Science Education. In Matthews, M. (ed.), *Constructivism in Science Education*, Kluwer Academic Publishers (1998),

pp.1-10.
Matthews, M., Editorial. *Science & Education*, 13, 1-2, 1-5 (2004a).
Matthews, M., Reapraising Positivism and Education: The Arguments of Philipp Frank and Hebert Feigl, *Science & Education*, 13, 1-2, 7-39 (2004b).
Mc Clellan, J., Scientific Institutions and the Organization of Science. In Porter, R.(ed.), *The Cambridge History of Science* (Vol.4), Cambridge University Press (2008), pp.87-106.
McComas, W.F., Almazroa, H., Clough, M.P., The Nature of Science in Science Education: An Introduction, *Science & Education*, 7, 6, 511-532 (1998).
McComas, W & Olson, J., The Nature of Science in International Science Education Standards Documents. In McComas, W. (ed.), *The Nature of Science in Science Education*, Kluwer Academic Publishers (1998), pp.41-52.
Middleton, K.W.E, The Place of Torricelli in the History of the Barometer. *Isis*, 54, 1, 11-28 (1963).
Middleton, K.W.E., *The History of the Barometer*. The Johns Hopkins Press, Baltimore (1964).
Millar, R., Taking Scientific Literacy Seriously as a Curriculum Aim, Asia Pacific Forum on Science Learning and Teaching, 9,2, 1-18 (2008), http://www.ied.edu.hk/apfslt/ (είσοδος 22-5-2011).
Millburn, J.R., The London evening courses of Benjamin Martin and James Ferguson, Eighteenth-Century Lecturers on Experimental Philosophy. *Annals of Science* 40, 5, 437-455 (1983).
Molisso, G. (ed). *Il Museo del Gabinetto di Fisica e Chimica 'Leopoldo Ciccone' del Liceo Ginnasio 'Vittorio Emanuele II' di Napoli*. Catalogo 1861-1900. Inventario 1861-1960. Napoli, Nella sede dell'Istituto (2008).
Moyer, A.E., Edwin Hall and the Emergence of the Laboratory in Teaching Physics, *The Physics Teacher*, 14, 2, 96-103 (1976).
Müller, F., Purifying Objects, Breeding Tools: Observational and Experimental Strategies in Nineteenth-Century Gas Discharge Research. In *Proceedings of the Conference: 'The Shape of Experiment'* Max Plank Institute for the History of Science, Berlin, Germany, 2-5 June 2005, Reprint 318 (2006), pp.105-128, www.gbv.de/dms/bs/toc/519686640.pdf (είσοδος 14-6-2011).
Museo Galileo, Virtual Museum (2010), http://catalogue.museogalileo.it/ (είσοδος 22-4-2010).
Museu de Fisica da Universidade de Coimbra, *Passado ao Espelho. Máquinas e Imagens das vésperas e primórdios da Photographia*, Exposição no Museu de Física, 9 de Janeiro a 10 de Fevereiro de 2006 (2006).
Nersessian, N., Εννοιολογική δόμηση και διδασκαλία: Ένας ρόλος για την ιστορία στη διδακτική των φυσικών επιστημών. Στο Κουλαϊδής, Β. (επιμ.), *Αναπαραστάσεις του φυσικού κόσμου - Γνωστική, επιστημολογική και διδακτική προσέγγιση*. Gutemberg, 2η έκδοση, Αθήνα (2000), σελ.115-130.
Newton, I., *Mathematical Principles of Natural Philosophy - System of the World*. Translated into English by Adrew Motte in 1729; the translations revised by Florian Cajori. University of California Press, Berkleley-Los Angeles-London (1729/1962).
Nielsen, H. & Thomsen, P.V., Physics in Upper Secondary Schools in Denmark. *International Journal of Science Education* 7, 1, 95-106 (1985).
Nielsen, H. & Thomsen, P.V., Physics in Upper Secondary Schools in Denmark. *International Journal of Science Education* 8,3,315-324 (1986).
Nielsen, H & Thomsen, P.V., Physics in Upper Secondary Schools in Denmark. *International Journal of Science Education*, 10, 2, 189-202 (1988).
Nielsen H. & Thomsen P.V., History and Philosophy of Science in Physics Education. *International Journal of Science Education*, 12, 3, 308-316 (1990).
Noce, G., Torosantucci, G., & Vincentini, M., The Floating of Objects on the Moon: Prediction from a Theory or Experimental Facts? *International Journal of Science Education*, 10, 1, 61-70 (1988).
Nola, R., Constructivism in Science and Science Education. In Matthews, M. (ed.), *Constructivism in Science Education*, Kluwer Academic Publishers (1998), pp.31-59.
Nollet, J-A. *Lettres sur l'Elect*ricité, Part 1, Lettre II, A Monsieur Benjamin Franklin, Paris (1753).
Novak, J.D. & Gowin D.B., *Learning how to Learn*, Cambridge University Press, 13th edition, USA (1984/1997).
NRC (National Research Council), *National Science Education Standards*. Academy Press, Washington, D.C. (1996).

NRC (National Research Council), *Inquiry and the National Science Education Standards. A Guide for Teaching and Learning*. National Academy Press, Washington D.C. (2000).

Nussbaum, J., Η Σωματιδιακή Φύση της Ύλης στην Αέρια Κατάσταση. Στο R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien (επιμ.), *Οι ιδέες των μαθητών στις φυσικές επιστήμες*. ΕΕΦ, Τροχαλία (1985/1993), σελ. 180-207.

Osborn, J. & Dillon, J., *Science Education in Europe: Critical Reflections. A Report to the Nuffield Foundation*, King's College London (2008), http://www.nuffieldfoundation.org/fileLibrary/pdf/Sci_Ed_in_Europe_Report_Final.pdf (είσοδος 22-5-2011).

Paparou, F., Telling Stories of Science: Creating "Lesson-Shows" and Interactive Games to Explore a Historical Scientific Instrument Collection. *Proceedings of the ECSITE International Conference*, Milan, Italy, 2-4 June (2009a), pp.54-55, http://www.ecsite-conference.net/en/index.php?n=200 (είσοδος 22-5-2011).

Paparou, F., 'Matter and Light- From Lightning to X-Rays: Removing the Air': Teaching Proposal for the Exploration of an Historical Scientific Instrument Collection. *Full Conference Handbook of the BSHS Annual Conference*, University of Aberdeen, UK, 22-25 July (2010a), pp.40-41, http://www.bshs.org.uk/sites/default/files/Programme%202010v4smh.pdf (είσοδος 22-5-2011).

Paparou, F., What a History of Science Museum Can Offer to the Public? Examining the Field through Examples and Initiatives. *Book of Abstracts of the International Conference*: *History of Science in Practice*, NHRF, University of Athens & HSHPDS, Athens, Greece, 6th - 9th May (2010b), http://www.hpdst.gr/events/conferences/abstracts/323 (είσοδος 22-5-2011).

Paparou, F., From the History of Ideas to the History of Places, Institutions, Instruments, and Scientific Cultures, *Book of Abstracts of the XXIX Symposium*, SIC, Florence, Italy, 4-9 October (2010c), pp.52. http://www.sic.iuhps.org/conf2010/Abstracts.pdf (είσοδος 22-5-2011).

Paparou, F. 'Shall we Stroll to the Museum?': Educational Proposal for the Exploration of an Historic School Scientific Instrument Collection. *Proceedings of the 11th International IHPST History, Philosophy and Science Teaching Conference Science & Culture: Promise, Challenge and Demand*, Thessaloniki, Greece, 1-5 July (2011), pp.574-580.

Paparou, F., Kallitsis, P., Bournias, A. The Science Museum of Chios as a Challenge to Enrich the Scientific and Cultural Life of the Inhabitants of the Island of Chios and the Wider Area of Voreio Aigaio. *RuraLEARN International Conference, Lifelong Learning for Rural Europe*, Mesta, Chios, 24-27 June (2007), pp.369-373.

Paparou, F., Lelingou, D., Sircar, S., Varga, B., Presentation of the European Project: Exploring Science as Culture through the European Science Museums. *2ο Διεθνές Διεπιστημονικό Συνέδριο Επιστήμη & Τέχνη*, ΕΕΦ, Αθήνα, 16-19 Ιανουαρίου (2008a), http://www.anakalypto.eu/flash/flora1/index.htm Slides 1-48 (είσοδος 7-4-2011).

Paparou,F., Karaliota, A., Psillos, S., Kallitsis, P., 'How Would the Earth be without Air?': Teaching Proposal for the Exploration of a Science Museum Using the History of Science. *Book of Abstracts* of the *XXVII Symposium*, SIC, Museum of Science, University of Lisbon, Portugal, 16-21 September (2008b), p.75.

Paparou F., Karaliota, A., "An Alchemy Lesson": Teaching Proposal for the Utilization of Literature in Science Teaching. *Book of Abstracts of the 7th International Conference on History of Chemistry* (ICHC): *Consumers and Experts- The Uses of Chemistry and Alchemy*, Sopron, Hungary, 2−5 August (2009), p.37.

Paparou, F.& Karaliota, A. , 'The First Days of Electricity' : Teaching Proposal for the Exploration of the History of Electricity Using an Historical Scientific Instrument Collection, In the *Book of Abstracts of the XXIII ICHST- Ideas and Instruments in Social Context*, Budapest , Hungary 28 July -2 August (2009), p.691, http://www.conferences.hu/ichs09/ICHST09_book_of_abstracts_author_index.pdf (είσοδος 7-4-2011).

Paparou, F. & Karaliota, A., 'How Would the Earth Be without Air?': Teaching Proposal for the Exploration of Air and Atmospheric Pressure through Historical Instruments, Experiments and Stories. *Proceedings of the 11th International IHPST History, Philosophy and Science Teaching Conference Science & Culture: Promise, Challenge and Demand*, Thessaloniki, Greece,1-5 July (2011), pp.581-587.

Parkin, C., On the Shoulders of Giants: Museums Draw Lessons from History of Science: Museum of the History of Science, University of Oxford. *Proceedings of the ECSITE International Conference*, Milan, Italy, 2-4 June (2009), p.69, http://www.ecsite-conference.net/en/index.php?n=200 (είσοδος 22-5-2011).

Pennsylvania Gazette, The. Account of the Death of Georg Richmann (Extract of a Letter from Moscow The Academy have transmitted to Court the following Account of Professor Richmann's Death, dated August 23). The Pennsylvania Gazette, March 5, 1754. In the *Papers of Benjamin Franklin*. Packard Humanities Institute Digital Edition, Volume 5 (1753-55), p. 219. http://franklinpapers.org/franklin/framedVolumes.jsp (είσοδος 22-5-2011).

Pesic,P., Wrestling with Proteus: Francis Bacon and the "Torture" of Nature. Isis, 90, 1, 81-94 (1999).

Petrou, G., Translation Studies and the History of Science: The Greek Textbooks of the 18th Century. *Science & Education*, 15, 7-8, 823-840 (2006).

Phillips, W.C., Earth Science Misconceptions.*The Science Teacher* 58, 2, 21-23 (1991).

Phillips, D.C., Two Decades After: "After The Wake: Postpositivistic Educational Thought". *Science & Education*, 13,1-2, 67-84 (2004).

Physics Museum of the University of Coimbra, Official Website, http://museu.fis.uc.pt/indexi.htm (είσοδος:14-06-2010).

Piaget J., *Genetic Epistemology*, Columbia University Press, New York (1970).

PISA (Programme for International Student Assessment), Assessing *Scientific, Reading and Mathematical Literacy. A Framework for PISA 2006*, OECD (2006).

Priestley, J. *The History and Present State of Electricity, with Original Experiments*, by Joseph Priestley, LL.D. F.R.S. Third edition. In two Volumes, Volume 1, London (1775).

Psillos, S., *Scientific Realism: How Science Tracks Truth.* Routledge, London (1999).

Psillos, S., Philosophy of Science A-Z, Edinburgh University Press (2008).

Public Understanding of Science: The Royal Society Reports. *Science, Technology, & Human Values*, 11, 3, 53-60 (1986).

Raichvarg, D., Science on the Fairgrounds: From Black to White Magic. *Science & Education*, DOI 10.1007/s11191-006-9011-4 (2006).

Riess, F., Teaching Science and the History of Science by Redoing Historical Experiments. In F. Finley et al (eds.), *Procceedings of the Third International History, Philosophy and Science Teaching Conference*, Vol.2, University of Minnesota, Minneapolis (1995), pp.958-966.

Riess, F., Problems with German Science Education, *Science & Education*, 9, 4, 327-331 (2000a).

Riess, F., History of Physics in Science Teacher Training in Oldenburg, *Science & Education*, 9, 4, 399-402 (2000b).

Riskin, J., Amusing Physics. In Bensaude-Vincent, B. & Blondel, C.(eds.), *Science and Spectacle in the European Enlightenment*. Ashgate (2008), pp.43-64.

Ritchie E.S & Sons, Inc. *Illustrated Catalogue of Philosophical Instruments, and School Apparatus*, Boston, MA, United States (1860).

Roberts, L., Chemistry on Stage: G.F. Rouelle and the Theatricality of Eighteenth-century Chemistry. In Bensaude-Vincent, B. & Blondel, C.(eds.), *Science and Spectacle in the European Enlightenment*. Ashgate (2008), pp.129-139.

Roller D. & Roller D.H.D., The Development pf the Concept of Electric Charge. In Conant, J.B., Nash L.K (eds.), *Harvard Case Histories in Experimental Science*, Vol 1, Harvard University Press, Cambridge-Massachusetts (1957/1966).

Rosen, S., A History of the Physics Laboratory in the American Public High School (to 1910), *American Journal of Physics*, 22, 4, 194-204.

Ross, W.D., *Αριστοτέλης*, 2η έκδοση, ΜΙΕΤ, Αθήνα (1993).

Rossi, P., Bacon's Idea of Science. In Peltone, M.(ed.), *The Cambridge Companion to Bacon*, Cambridge University Press (1996).

Rudolph, J.H., Reconsidering the "Nature of Science" as a Curriculum Component, *Journal of Curriculum Studies*, 32, 3, 403-419 (2000).

Ruggiero, S., Cartelli, A., Dupre, F., Vincentini –Missoni.M.,Weight, Gravity and Air Pressure: Mental Representations by Italian Middle School Pupils. *European Journal of Science Education* 7,12,181–194 (1985).

Rutherford, F.J., Fostering the History of Science in American Science Education, *Science & Education*, 10, 6, 569-580 (2001).

Schmitt, C.B., Experimental Evidence for and against a Void: The Sixteenth-Century Arguments. *Isis*, 58, 3, 352-366 (1967).

Schott, G. *Gasparis Schotti Technica Curiosa, Sive Mirabilia Artis* : libris XII Bd. Endter, Norimbergae (1664) (Max Planck Institute for the History of Science Library: "MPIWG Berlin", http://www.mpiwg-berlin.mpg.de/en/resources/library.html) (είσοδος 22-5-2011).

Schwab J. & Brandwein P., *The Teaching of Science. Two Essays*. Harvard University Press, Cambridge, Mass., Rieser Science (1962).

Science Museum, Hauksbee's Frictional Electricity Machine, 1706-1708, *Science & Society Picture Library*, Image Ref. 10325971 (2011), http://www.ssplprints.com/image/99902/hauksbees-frictional-electricity-machine-1706-1708 (είσοδος 22-5-2011).

Science Museum, Jesse Ramsden's Glass Plate Electrostatic Machine, c 1760s, *Science & Society Picture Library*, Image Ref.10436508 (2011), http://www.ssplprints.com/image/113597/unattributed-jesse-ramsdens-glass-plate-electrostatic-machine-c-1760s (Είσοδος 22-5-2011).

Science Museum, Demonstration of Hauksbee's Electrostatic Machine, 1960s, *Science & Society Picture Library*, Image Ref. 10302829 (2011), http://www.ssplprints.com/image/90087/demonstration-of-hauksbees-electrostatic-machine-c-1960s (είσοδος 22-5-2011).

Segrè, E., *Ιστορία της Φυσικής. Τόμος Α'. Από την Πτώση των Σωμάτων έως τα Ραδιοκύματα*. Εκδόσεις Δίαυλος, Αθήνα (1997/2001).

Séré, M.G., The Gaseous State. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (eds.), *Children's Ideas in Science*, Milton Keynes, Open University Press, UK (1985), pp. 105-123.

Shadwell, T., *The Virtuoso* (Regents Restoration Drama). David Stuart Rhodes, D.S., Marjorie Hope Nicolson, M.H. (eds.), University of Nebraska Press (1966).

Shapin,S., Pump and Circumstance: Robert Boyle's Literary Technology. *Social Studies of Science*, 14, 4, 481-520 (1984).

Shapin, S. & Schaffer, S., *Leviathan and the Air-Pump*. Princeton University Press (1985).

Shea, W.R., *Designing Experiments & Games of Chance: The Unconventional Science of Blaise Pascal*, Science History Publications (2003).

Sherratt, W.J., History of science in the science curriculum: an historical perspective. Part I: Early interest and roles advocated, *School Science Review*, Dec 1982, 225-236 (1982).

Sibum, H.O., Reworking the Mechanical Value of Heat: Instruments of Precision and Gestures of Accuracy in Early Victorian England, *Studies in the History and the Philosophy of Science*, 26,1, 73-106 (1995).

Sichau, C. Beyond the Textbook: Formative Traditions, Objects, and the Science Museum of the Future. In Heering, P. & Osewold (eds.), *Constructing Scientific Understanding through Contextual Teaching*, Frank & Timme, Germany (2007), pp.243-263.

Smith, H.P. Laboratories. In Park, K. & and Daston, L. (eds.), *The Cambridge History Of Science*, Volume 3, Early Modern Science, Cambridge University Press, (2006), pp. 290-305.

Smithsonian Institution Libraries, *Instrument for Science, 1800-1914: Scientific Trade Catalogs in Smithsonian Collections*, Digital Collection, Washington, D.C. (2003), http://www.sil.si.edu/digitalcollections/trade-literature/scientific-instruments/index.htm (είσοδος 22-5-2011).

Sjøberg, S. & Schreiner, C., How Do Learners in Different Cultures Relate to Science and Technology? Results and Perspectives from the Project ROSE. *Asia Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 6, 2, 1-16 (2005), http://folk.uio.no/sveinsj/APFLT-foreword-Sjoberg-schreiner.pdf (είσοδος 22-5-2011).

Solomon, J., *The Big Squeeze*. The Association for Science Education, Hatfield Herts., UK (1989).

Steinle, F., Experiments in History & Philosophy of Science. *Perspectives on Science* 10, 4, 408-431 (2002).

Stinner A. & Williams, H., History and Philosophy of Science in the Science Curriculum, in Tobin K.G., Fraser B.J. (eds.), *International Handbook of Science Education*. Boston, MA, Kluwer, (1998), pp. 1027–1045.

Talas, S., A New Didactical Project in Padua: "Physics Laboratories and Historical Scientific

Instruments". *Book of Abstracts* of the *XXVII Symposium*. SIC, Museum of Science, University of Lisbon, Portugal, 16-21 September (2008), p.81.

Taub, L., On Scientific Instruments, *Studies in History and Philosophy of Science*, 40, 4, 337-343 (2009)

Taylor, C., *The Art and Science of Lecture Demonstration*, Adam Hilger, Bristol and Philadelpia, IOP Publishing Ltd (1988).

Teichmann,J., Stinner, A., Riess, F. (eds.), From the Itinerant Lecturers of the 18th Century to Popularizing Physics in the 21st Century – Exploring the Relationship between Learning and Entertainment. *Proceedings of a Conference Held in Pognana Sul Lario, Italy, 1-6 June 2003*. Oldenburg (2004).

Teichmann, J., Stinner, A., Riess, F., Historical and Pedagogical Perspectives on Entertainment, Popularization and Learning in Science, *Science & Education*, DOI 10.1007/s11191-006-9014-1 (2006).

Thomas B., Electricité Ancienne. *Quelques Expériences Electriques du 18e et 19e Siècle* http://electricity.pagesperso-orange.fr/elecric/french.html (είσοδος 3-4-2011).

Thomsen, P., The Historical Philosophical Dimension in Physics Teaching: Danish Experiences, *Science & Education*, 7, 5, 493-503 (1998).

Tiana, B. & Dugdale, E., The Royal Institution of Great Britain, London. *Proceedings of the ECSITE International Conference*, Milan, Italy, 2-4 June (2009), p.55, http://www.ecsite-conference.net/en/index.php?n=200 (είσοδος 22-5-2011).

Torricelli, Letter to Michelangelo Ricci Concerning the Barometer (1644). Στον Middleton, K.W.E., *The History of the Barometer*. The Johns Hopkins Press, Baltimore (1964), pp.23-24.

Turner,G.L'E., Preface. In Dragoni, G., McConnell, A. Turner, G.L'E.(eds.), *Proceedings of the Eleventh International SIC Symposium*, Bologna University, Italy, 9-14 September 1991. Grafis Edizioni, Bologna (1994), p.15.

Turner, G.L'E., Éduquer par la voie de l' expérience: Le XVIIIe siècle et l' emergence de la science populaire, de l' enseignement des sciences et de leurs instruments scientifiques respectifs. Pyenson, L.et Gauvin, J-F. (eds.), *L' art d'enseigner la physique: Les appareils de demonstration de Jean-Antoine Nollet 1700-1770*. Septentrion (2002), pp.1-10.

Turner, S., The reluctant Instrument Maker: A.P. Gage and the Introduction of the Student Laboratory, *Rittenhouse*, 18, 2, 40-61 (2004).

Turner, S., Chicago Scientific Instrument Makers, 1871-1918, Part I: The School Science Market, *Rittenhouse*, 19, 2, 65-128 (2005).

Turner, S., Instruments for Science: Scientific Instrument Trade Literature. *Introduction to the Digital Collection of the Instruments for Science, 1800-1914: Scientific Trade Catalogs in Smithsonian Collections* (2003), http://www.sil.si.edu/digitalcollections/trade-literature/scientific-instruments/intro-turner.htm (είσοδος 22-5-2011).

Tyndall, J., The Blue of the Sky. In *Six Lectures on Light. Delivered in the United States in 1872-1873*. Longmans & Co., 6th Impression. 39 Paternoster Row, London, New York and Bombay (1906), Lecture IV, paragraph 11, pp.149-152, http://www.gutenberg.org/files/14000/14000-h/14000-h.htm (είσοδος 14-6-2011).

Van Helden, A., The Birth of the Modern Scientific Instrument, 1550–1700. In J. G. Burke (ed.), *The Uses of Science in the Age of Newton*. University of California Press, Berkeley (1983), pp.49-84.

Van Helden, A. & Hankins, T.L., Introduction: Instruments in the History of Science. *Osiris*, Second Series 9, 1-6 (1994).

Van Helden, A., Telescopes and Authority from Galileo to Cassini. *Osiris*, Second Series, 9, 9-29 (1994).

Van Helden, A.C., The Age of the Air-Pump, *Tractrix* Yearbook for the History of Science, Medicine, Technology and Mathematics 3, 149-172 (1991).

Verne, J., *Voyage au centre de la terre*; *vignettes par Riou*. J. Hetzel, Paris (1877), ark:/12148/bpt6k5490658q (είσοδος 22-5-2011).

Vitruvius, *The Ten Books on Architecture*, *Book IX*. Translated by Morris Hicky Morgan, Harvard University Press (1914).

Volta, A. & Banks, J.I. I.On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of

different kinds. *Philosophical Magazine Series 1*,7 28, 289-311(1800).

Warner, J.D.,What is a Scientific Instrument, When Did it Become One, and Why? *BJHS*, Cambridge University Press, 23, 1, 83-93 (1990).

Watts, D. M., Gravity - Don't Take it for Granted! *Physics Education*, 17,3,118-121 (1982).

Weber, T., Museums and Schools: A review of the relationship. In Xanthoudaki, M.(ed.), *Teaching Science and Technology with Museums*, SMEC European Project (2002), pp.25-33.

Welch, W.W., Klopfer, L.E., Aikenhead G.S., Robinson J.T., The Role of Inquiry in Science Education: Analysis and Recommendations, *Science Education* 65,1, 33-50 (1981).

Westfall,R.S., *Η Συγκρότηση της Σύγχρονης Επιστήμης*. 5η έκδοση, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο (2006).

Whipple Museum of the History of Science, The Victorian Parlour. Cambridge (2007-9), http://www.hps.cam.ac.uk/whipple/exhibitions (είσοδος 20-4-2011).

Whipple Museum, Mr W.Richardson Popular Lectures. Item of the exhibition titled :*The Victorial Parlour* (2010) http://www.hps.cam.ac.uk/whipple/exhibitions/ (είσοδος 3-4-2011).

White R.T. & Gunstone R.F., Metalearning and Conceptual Change, *International Journal of Science Education*, 11, 5, 577-586 (1989).

Whiteley, P., The History of Physics- its Use in a Caribbean Physics Syllabus, *School Science Review*, Dec. 1993, 75, 271, 123-127 (1993).

Winkler, P.F., Historic Instruments as a Resource in Undergraduate Teaching. *Rittenhouse*, 22, 2, 152-168 (2008).

Wolpert, L., *The Unnatural Nature of Science*, 3rd edition, Harvard University Press (1992/1997).

Zoller, P., Physics Experiments for Everyone: German Makers, Scientific Instrument Society, *Bulletin*, 102, 21-29 (2009).