



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΜΕ ΝΕΕΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ»
ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ «ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ»**

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

**Τρόποι αλληλεπίδρασης με προσομοιώσεις σε
υπολογιστή : μαθησιακά αποτελέσματα και γνωστικό
φορτίο**

**ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΗΣ
ΧΗΜΙΚΟΣ**

ΑΘΗΝΑ

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2019

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

**Τρόποι αλληλεπίδρασης με προσομοιώσεις σε υπολογιστή : μαθησιακά
αποτελέσματα και γνωστικό φορτίο**

ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΗΣ

A.M.: 17111

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ :

ΜΙΧΑΗΛ ΣΙΓΑΛΑΣ, Καθηγητής ΑΠΘ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΜΕΘΕΝΙΤΗΣ, Καθηγητής ΕΚΠΑ

ΘΩΜΑΣ ΜΑΥΡΟΜΟΥΣΤΑΚΟΣ, Καθηγητής ΕΚΠΑ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΞΕΤΑΣΗΣ 22/11/2019

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

(Όπου στο κείμενο γίνεται αναφορά σε μαθητή / μαθητές εννοούνται και τα δύο φύλλα)

Στα πλαίσια της παρούσης έρευνας θα γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων δύο μορφών αλληλεπίδρασης με προσομοίωση σε υπολογιστή : της αλληλεπίδρασης με πειραματισμό (experimentation interactivity) και της αλληλεπίδρασης με παρατήρηση (observation interactivity). Στην πρώτη περίπτωση οι μαθητές αξιοποιώντας μία προσομοίωση θα πραγματοποιήσουν εικονικά πειράματα και στη δεύτερη θα παρακολουθήσουν βίντεο εικονικών πειραμάτων, εκτελεσμένων με την ίδια προσομοίωση, με όποια σειρά και όσες φορές θέλουν. Θα διερευνηθεί η αποτελεσματικότητα των δύο τρόπων αλληλεπίδρασης με την προσομοίωση συγκρίνοντας τον βαθμό κατανόησης της παρουσιαζόμενης έννοιας στη συγκεκριμένη προσομοίωση (παράγοντες που επηρεάζουν τη θέση Χημικής Ισορροπίας και τον τρόπο που την επηρεάζουν), τον συνολικό χρόνο που κάθε μαθητής θα εφαρμόσει την προσομοίωση και τον αριθμό των εικονικών πειραμάτων που θα εκτελέσει ή τον αριθμό των βίντεο που θα παρακολουθήσει. Επίσης, θα εκτιμηθεί το γνωστικό φορτίο που κάθε μία από τις δύο αλληλεπιδράσεις προκαλεί στους μαθητές αξιοποιώντας τον προτεινόμενο από τους Paas και van Merriënboer δείκτη αποδοτικότητας εκπαιδευτικών συνθηκών E. Στην έρευνα συμμετέχουν 61 μαθητές της Β' τάξης 2 Γενικών Λυκείων που έχουν επιλέξει την ομάδα θετικού προσανατολισμού.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ : Πολυμεσική μάθηση

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ : προσομοιώσεις, γνωστικό φορτίο, αποτελεσματικότητα, νοητική προσπάθεια, απόδοση

ABSTRACT

In this thesis we compare the learning impact of two types of interaction with a computer simulation : experimentation interactivity versus observation interactivity. In the first case students are using the simulation conduct virtual experiments and in the second case students are observing segmented video clips of the simulation at their own pace and sequence. It will be studied the treatment effect on both groups of students by comparing the understanding of the science concept involved in the simulation (that is the factors that influence the Chemical Equilibrium and the way they do that), the total time spent by each student to complete the task and the number of experiments conducted or observed. It will be assessed as well the cognitive load involved by applying the calculation of the instructional condition efficiency score E proposed by Paas and van Merriënboer. A total of 61 students of the 2nd grade of General Lyceum who follow science orientation were involved in this study.

SUBJECT AREA : Multimedia learning

KEYWORDS : simulations, cognitive load, effectiveness, mental load, efficiency

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για τη διεκπεραίωση της παρούσας ερευνητικής εργασίας, θα ήθελα καταρχήν να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Μιχαήλ Σιγάλα, για τη συνεργασία και την πολύτιμη συμβολή του στην ολοκλήρωση της.

Επιπλέον, θέλω να ευχαριστήσω την καθηγήτρια μου κ. Αικατερίνη Σάλτα για τις συμβουλές της και τις προτεινόμενες διορθώσεις στη δομή του pre- και post-test και της βαθμολόγησης των ερωτήσεων του.

Ακόμα, θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους συναδέλφους 1) κ. Παναγιώτη Στασινάκη για τη βοήθειά του και την ανιδιοτελή παραχώρηση της πλατφόρμας <https://e-school.biologia.gr/> για την ανάρτηση των βίντεο και τη δημιουργία κωδικών για όλους τους συμμετέχοντες μαθητές και τους εκπαιδευτικούς που έτρεξαν την έρευνα στα σχολεία τους και του χρόνου που διέθεσε για την επίλυση αποριών και προβλημάτων που παρουσιάζονταν 2) κ. Θεόδωρο Γκέγκιο που δέχτηκε να τρέξει την έρευνα στο σχολείο του, αφιερώνοντας χρόνο για να του εξηγήσω τις λεπτομέρειες της έρευνας, να εφαρμόσει την εκπαιδευτική παρέμβαση και να συγκεντρώσει το απαραίτητο υλικό και 3) κ. Ευδοξία Σιόλου για την παντός τύπου βοήθεια που έλαβα σε ότι αφορά τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων, που χωρίς αυτή ακόμα θα προσπαθούσα να βγάλω άκρη με τους διάφορους τύπους ελέγχων που έπρεπε να εφαρμόσω.

Επιπλέον, να ευχαριστήσω τη φίλη μου κ. Βάσια Αντωνοπούλου για την επιμέλεια των κειμένων της εργασίας και την τελική διαμόρφωσή της.

Τέλος, να ευχαριστήσω τους 61 συμμετέχοντες μαθητές που πρόθυμα δέχτηκαν να συμμετάσχουν στην έρευνα μου και χωρίς τη δική τους συμβολή αυτή η εργασία δεν θα μπορούσε να ολοκληρωθεί.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	23
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	23
1.1 Η χρήση των ΤΠΕ στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών	25
1.2 Οι προσομοιώσεις στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΓΝΩΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ	36
2.1 Θεωρία γνωστικού φορτίου	36
2.1.1 Ενδογενές γνωστικό φορτίο	37
2.1.2 Εξωγενές γνωστικό φορτίο	38
2.1.3 Συναφές γνωστικό φορτίο	39
2.2 Μέτρηση γνωστικού φορτίου	41
2.2.1 Κλίμακες διαβάθμισης.....	42
2.2.2 Ψυχοφυσιολογικές τεχνικές.....	43
2.2.3 Τεχνικές στηριζόμενες στη δραστηριότητα και την επίδοση	43
2.3 Πνευματική απόδοση και εκπαιδευτικές συνθήκες	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Διαδραστικές προσομοιώσει PhET	48
3.1 Ιστορικό	48
3.2 Σχεδίαση	49
3.3 Παρουσίαση προσομοίωσης PhET Αντιδράσεις και Ταχύτητα Αντίδρασης (1.07).....	50
3.4 Παρουσίαση προγράμματος OBS Studio	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	55
4.1 Μέθοδος	55
4.1.1 Συμμετέχοντες	55
4.1.2 Μέσα συλλογής δεδομένων	61
4.1.3 Εκπαιδευτική παρέμβαση	63

4.2 Αποτελέσματα	65
4.2.1 1 ^ο Ερευνητικό Ερώτημα	65
4.2.2 2 ^ο Ερευνητικό Ερώτημα	75
4.3 Συμπεράσματα – Συζήτηση.....	80
4.4 Περιορισμοί	84
4.5 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	85
ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ.....	87
4. ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ.....	89
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	91
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	95
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ.....	99
Φύλλα εργασίας	99
1.1 Ομάδας παρατήρησης	99
1.2 Ομάδας πειραματισμού	101
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV.....	103
Πίνακες φύλλων εργασίας	103
1.1 Ομάδας παρατήρησης	103
1.2 Ομάδας πειραματισμού	104
Βιβλιογραφία.....	106

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1 Γραφική απεικόνιση δεικτών	46
Σχήμα 2 : Μενού προσομοίωσης PhET Αντιδράσεις και Ταχύτητα Αντίδρασης (1.07)	50
Σχήμα 3 : Επιφάνεια εργασίας προσομοίωσης "Ταχύτητα Αντίδρασης"	50
Σχήμα 4 : Πρώτο πεδίο επιφάνειας εργασίας προσομοίωσης "Ταχύτητας Αντίδρασης"	51
Σχήμα 5 : Ενεργειακό διάγραμμα αντίδρασης και επιλογών μεταβολής ενεργειών	51
Σχήμα 6 : Πρώτο υποπεδίο τρίτου πεδίου επιφάνειας εργασίας προσομοίωσης "Ταχύτητα Αντίδρασης"	52
Σχήμα 7 : Δεύτερο υποπεδίο τρίτου πεδίου επιφάνειας εργασίας προσομοίωσης "Ταχύτητα Αντίδρασης"	52
Σχήμα 8 : Κουμπιά Αναπαραγωγής / Παύσης και Βήματος Αντίδρασης	52
Σχήμα 9 : Τρίτο υποπέδιο τρίτου πεδίου επιφάνειας εργασίας προσομοίωσης "Ταχύτητα Αντίδρασης"	53

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1 : Θηκόγραμμα για τις βαθμολογίες των μαθητών στο μάθημα της Χημείας στο α΄ τετράμηνο ανά ομάδα διδακτικής παρέμβασης	57
Γράφημα 2 : Θηκόγραμμα για τις βαθμολογίες των μαθητών στο pre-test ανά ομάδα διδακτικής παρέμβασης	59
Γράφημα 3 : Μέσες τιμές βαθμολογίας μαθητών στο pre-test.....	60
Γράφημα 4 : Θηκόγραμμα για το κέρδος των μαθητών ανά ομάδα διδακτικής παρέμβασης	66
Γράφημα 5 : (α) Θηκόγραμμα για τις επιδόσεις των μαθητών στο post-test ανά ομάδα διδακτικής παρέμβασης - (β) Θηκόγραμμα για το χρόνο παρακολούθησης βίντεο / εκτέλεσης εικονικών πειραμάτων	68
Γράφημα 6 : Μέσες τιμές επίδοσης μαθητών στο post-test.....	70
Γράφημα 7 : Μέση τιμή χρόνου ολοκλήρωσης της δραστηριότητας ανά ομάδα.....	71
Γράφημα 8 : (α) Θηκόγραμμα για το πλήθος των πειραμάτων που παρακολούθησαν / εκτέλεσαν οι μαθητές - (β) Θηκόγραμμα για την αποδοτικότητα μάθησης των μαθητών ανά ομάδα εκπαιδευτικής παρέμβασης	72
Γράφημα 9 : Μέσες τιμές πλήθους πειραμάτων που παρακολούθησαν / εκτέλεσαν οι μαθητές ανά ομάδα	74
Γράφημα 10 : Μέσες τιμές αποτελεσματικότητας εκπαιδευτικής παρέμβασης	75
Γράφημα 11 : (α) Μέσες τιμές νοητικής προσπάθειας κατά την απάντηση των ερωτημάτων του φύλλου εργασίας - (β) Μέσες τιμές απόδοσης.....	77
Γράφημα 12 : Γραφική απεικόνιση δείκτη αποδοτικότητας εκπαιδευτικών συνθηκών Ε ανά μορφή αλληλεπίδρασης.....	80

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 : Κατανομή μαθητών ανά ομάδα και σχολείο	56
Πίνακας 2 : Αποτελέσματα ελέγχου κανονικότητας βαθμολογιών μαθητών στο pre-test ανά ομάδα διδακτικής παρέμβασης	57
Πίνακας 3 : Αποτελέσματα ελέγχου κανονικότητας βαθμολογιών μαθητών στο pre-test ανά ομάδα διδακτικής παρέμβασης	58
Πίνακας 4 : Αποτελέσματα ελέγχου κανονικότητας βαθμολογιών μαθητών στο pre-test ανά ομάδα διδακτικής παρέμβασης	59
Πίνακας 5 : Έλεγχος διακυμάνσεων μέσω των τιμών επιδόσεων μαθητών στο pre-test για τις δύο ομάδες	59
Πίνακας 6 : Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις επιδόσεων μαθητών των δύο ομάδων στο pre-test και τα αποτελέσματα του ελέγχου μέσω των τιμών t-test...	60
Πίνακας 7 : Έλεγχος κανονικότητας διαφοράς επίδοσης ανάμεσα στο pre- και το post-test.....	66
Πίνακας 8 : Αποτελέσματα ελέγχου t-test για διαφορές επιδόσεων ανάμεσα στο pre- και το post-test.....	67
Πίνακας 9 : Αποτελέσματα ελέγχου κανονικότητας επίδοσης στο post-test και του χρόνου παρακολούθησης βίντεο / εκτέλεσης εικονικών πειραμάτων	69
Πίνακας 10 : Αποτελέσματα ελέγχου t-test για επίδοση στο post-test.....	69
Πίνακας 11 : Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις επίδοσης στο post-test - Αποτελέσματα ελέγχου μέσω των τιμών t-test.....	70
Πίνακας 12 : Αποτελέσματα ελέγχου διαφοροποίησης χρόνου ολοκλήρωσης της δραστηριότητας.....	71
Πίνακας 13 : Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις χρόνου ολοκλήρωσης της δραστηριότητας - Αποτελέσματα ελέγχου t-test.....	71
Πίνακας 14 : Αποτελέσματα ελέγχου κανονικότητας για πλήθος πειραμάτων και αποδοτικότητα μάθησης	73
Πίνακας 15 : Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις αριθμού πειραμάτων - Αποτελέσματα ελέγχου Mann - Whitney U.....	74

Πίνακας 16 : Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις αποτελεσματικότητας εκπαιδευτικής παρέμβασης - Αποτελέσματα ελέγχου Mann - Whitney U	75
Πίνακας 17 : Έλεγχος κανονικότητας νοητικής προσπάθειας και απόδοσης .	76
Πίνακας 18 : Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις νοητικής προσπάθειας και απόδοσης - Αποτελέσματα ελέγχου Mann - Whitney.....	78
Πίνακας 19 : Αποτελέσματα υπολογισμού δείκτη αποδοτικότητας εκπαιδευτικών συνθηκών E	79
Πίνακας 20 : Πίνακας ορολογίας με τις αντιστοιχίες των ελληνικών και ξενόγλωσσων όρων	87
Πίνακας 21 : Ακρωνύμια και ανάπτυξή τους	89

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι φυσικές επιστήμες αποτελούν αναπόσπαστο μέρος όλων των προγραμμάτων σπουδών στην πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια εκπαίδευση, καθώς επιτρέπουν στον άνθρωπο την απόκτηση νέας γνώσης για τη φύση και τον κόσμο που τον περιβάλλει. Με τη γνώση αυτή ο άνθρωπος μπορεί να περιγράψει και να ερμηνεύσει τα φυσικά φαινόμενα αλλά και να προβεί σε προβλέψεις για την εξέλιξή τους χρησιμοποιώντας έννοιες, νόμους και θεωρίες. Παρότι όμως οι φυσικές επιστήμες αλλάζουν ριζικά την καθημερινή ζωή και εξακολουθούν να προσφέρουν νέες εφαρμογές της επιστημονικής γνώσης οι οποίες επηρεάζουν τη ζωή μας και το περιβάλλον όπου ζούμε, παρατηρείται μείωση του ενδιαφέροντος των νέων για τον συγκεκριμένο τομέα γνώσης και στατιστική μείωση του ποσοστού εκείνων ανάμεσά τους που ακολουθούν σπουδές σχετικές με τις φυσικές επιστήμες και την τεχνολογία [1].

Το ζήτημα αυτό είναι σύνθετο και μεγάλο μέρος του προβλήματος αποδίδεται στον παραδοσιακό τρόπο με τον οποίο κατά κανόνα διδάσκονται οι φυσικές επιστήμες στα σχολεία της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, τρόπο που καταπνίγει την έμφυτη περιέργεια των παιδιών για τη φύση και τον κόσμο που τα περιβάλλει και έχει αρνητική επίδραση στην ανάπτυξη θετικής στάσης τους απέναντι στις φυσικές επιστήμες. Αυτή η παραδοσιακή διδασκαλία συνίσταται στη λεγόμενη «Παραγωγική μέθοδο» (Deductive approach), όπου ο εκπαιδευτικός με τη βοήθεια του πίνακα και της κιμωλίας ως εποπτικών μέσων παρουσιάζει τις έννοιες, τους νόμους και τη θεωρία, τη λογική που τα διέπει, τις επιπτώσεις που συνεπάγονται και δίνει παραδείγματα των εφαρμογών τους. Η διδακτική αυτή προσέγγιση αποτελεί μία «από πάνω προς τα κάτω» μετάδοση της έτοιμης επιστημονικής γνώσης, την οποία οι μαθητές καλούνται να απομνημονεύσουν, χωρίς να μετέχουν σε πειραματικές και άλλες μαθησιακές δραστηριότητες που θα τους επέτρεπαν να γίνουν πρωταγωνιστές της μάθησης. Στο πλαίσιο αυτής της διδασκαλίας οι μαθητές υποχρεούνται να απομνημονεύσουν μία εκτεταμένη διδακτέα ύλη που περιλαμβάνει αφηρημένες έννοιες τις οποίες κατά κανόνα δυσκολεύονται να χειριστούν και να κατανοήσουν. Δημιουργείται έτσι η εντύπωση ότι οι φυσικές επιστήμες

αποτελούν ιδιαιτέρως δύσκολα και χωρίς ενδιαφέρον μαθήματα, στα οποία οι μαθητές παρουσιάζουν στην πλειονότητά τους χαμηλές επιδόσεις [2].

Οι διαπιστώσεις αυτές οδήγησαν πολλές χώρες, ήδη από τη δεκαετία του '60 και επί σειρά ετών, σε συνεχείς προσπάθειες αναμόρφωσης και βελτίωσης των προγραμμάτων σπουδών τους με πολλαπλούς στόχους. Όπως, για παράδειγμα, την αύξηση του ενδιαφέροντος, τη βελτίωση της επίδοσης των μαθητών και την προσέγγιση μεγαλύτερου αριθμού μαθητών που θα επιλέξουν σπουδές σχετικές με τις φυσικές επιστήμες και την τεχνολογία. Η ανάπτυξη της Γνωστικής Ψυχολογίας και της Θεωρίας του Εποικοδομητισμού συνέβαλαν ώστε να γίνει ευρέως αποδεκτό ότι η γνώση δεν μεταδίδεται «έτοιμη» από τον εκπαιδευτικό προς τους μαθητές, αλλά ότι εκείνοι πρέπει να βρεθούν στο κατάλληλο μαθησιακό περιβάλλον που θα τους επιτρέψει, μέσα από την αλληλεπίδραση τους με αντικείμενα και υλικά στο πλαίσιο κατάλληλων μαθησιακών δραστηριοτήτων, να οικοδομήσουν με προσωπικό τρόπο τη νέα επιστημονική γνώση.

Αναδεικνύεται με αυτόν τον τρόπο η σημασία της εφαρμογής μίας άλλης μεθόδου διδασκαλίας, γνωστής ως «Επαγωγική μέθοδος» (Inductive approach), μίας «από κάτω προς τα πάνω» προσέγγισης που ως αφετηρία για τη μάθηση θέτει την παρατήρηση, τον πειραματισμό και γενικότερα την ενεργό συμμετοχή των μαθητών σε δραστηριότητες που τους επιτρέπουν, με τη βοήθεια του εκπαιδευτικού, να διεκδικούν το εμπειρικό πεδίο αναφοράς τους, να δημιουργήσουν νέες νοητικές αναπαραστάσεις και σταδιακά να οικοδομήσουν την προσωπική, νέα επιστημονική γνώση.

Υπό το πρίσμα αυτό, διαφοροποιείται ο ρόλος της εκπαίδευσης στις φυσικές επιστήμες, ο οποίος δεν περιορίζεται πλέον στο να μάθουν απλώς οι μαθητές γνώσεις και να μπορούν να ανακαλούν ειδικούς όρους, να απομνημονεύουν μεμονωμένα δεδομένα ή να επαναλαμβάνουν μία θεωρία που διδάχθηκαν. Στα αναμορφωμένα προγράμματα σπουδών επισημαίνεται η ανάγκη οι φυσικές επιστήμες να βοηθήσουν στη διαμόρφωση επιστημονικά εγγράμματων πολιτών, ενημερωμένων, ευαισθητοποιημένων, ενεργών και με κριτική σκέψη. Ο σκοπός της νέας προσέγγισης δεν είναι να γίνουν όλοι επιστήμονες, αλλά να μπορούν να διαβάζουν και να καταλαβαίνουν με επάρκεια σχετικά άρθρα στον Τύπο, να παρακολουθούν συζητήσεις, να αντιμετωπίζουν κριτικά τις

πληροφορίες που τους δίνονται, να διακρίνουν την επιστημονική γνώση από την παρα-επιστήμη, να συμμετέχουν σε συζητήσεις και να εκφράζουν τεκμηριωμένες απόψεις, αλλά και να τοποθετούνται υπεύθυνα και να παίρνουν αποφάσεις για ζητήματα που έχουν σχέση με τις φυσικές επιστήμες και την τεχνολογία.

Παράλληλα, μέσα από τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών είναι επιθυμητό οι μαθητές να αναπτύξουν ικανότητες που σχετίζονται με την εφαρμογή της επιστημονικής μεθόδου, η οποία είναι συνυφασμένη με την ανάπτυξη και την εξέλιξη της ίδιας της επιστήμης. Μεταξύ άλλων, θα πρέπει να μάθουν να συλλέγουν πληροφορίες, να τις αξιολογούν και να τις ερμηνεύουν, να διατυπώνουν συμπεράσματα και να τα παρουσιάζουν με διαφορετικούς τρόπους, προφορικά ή γραπτά, αναπτύσσοντας, εν τέλει, ικανότητες συλλογής, καταγραφής, ανάλυσης και ερμηνείας δεδομένων.

1.1 Η χρήση των ΤΠΕ στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών

Ο όρος ΤΠΕ (Τεχνολογία/-ες Πληροφόρησης και Επικοινωνίας) αποτελεί απόδοση στα ελληνικά του διεθνούς όρου ICT (Information and Communication Technologies) και αναφέρεται στο σύνολο των διαθέσιμων ψηφιακών τεχνολογιών (τεχνολογικά προϊόντα καθώς και τεχνολογικά εργαλεία σχεδίασης, παραγωγής, αξιολόγησης) που βασίζονται στη διαχείριση της ψηφιακής πληροφορίας (παραγωγή, αναπαραστάση, επεξεργασία, αποθήκευση) και στη μετάδοσή της μέσω δικτύων επικοινωνίας και, κυρίως, του διαδικτύου. Ειδικότερα, με τον όρο ΤΠΕ στην Εκπαίδευση εννοείται η ενσωμάτωση και η συστηματική χρήση των ψηφιακών τεχνολογιών στην εκπαιδευτική διαδικασία με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας των μαθησιακών εμπειριών και την επίτευξη υψηλότερου επιπέδου μαθησιακών αποτελεσμάτων.

Με την τεχνολογία είναι δυνατή η διαχείριση με πολλούς τρόπους των εξωτερικών αναπαραστάσεων γνώσης που είναι απαραίτητες στην εκπαίδευση-μάθηση. Το παραδοσιακό έντυπο (π.χ. το σχολικό εγχειρίδιο) επιτρέπει τη διαχείριση μόνο αναπαραστάσεων στατικής μορφής (εικόνες, κείμενο), ενώ το ψηφιακό μέσο επιτρέπει τη διαχείριση δυναμικών αναπαραστάσεων για την παρουσία πληροφοριών στην οθόνη (π.χ ήχος,

σχεδιοκίνηση, βίντεο), ενώ εισάγει, επιπρόσθετα, το χαρακτηριστικό της διάδρασης.

Οι σύγχρονες ψηφιακές αναπαραστάσεις μπορεί να είναι [3] :

- Δυναμικές : εξελίσσονται στο χρόνο (π.χ. αφήγηση, ηχητικές υποδείξεις, βίντεο, 2D- ή 3D-σχεδιοκινήσεις).
- Διαδραστικές : επιτρέπουν και ενθαρρύνουν εκτεταμένη διάδραση μεταξύ μαθητή και τεχνολογικού συστήματος (π.χ. διάδραση σε προσομοίωση).
- Οπτικοποιημένες : αναπαραστάσεις που προκύπτουν από την εφαρμογή τεχνικών οπτικοποίησης σε μεγάλο πλήθος δεδομένων (π.χ. σε εφαρμογές οπτικοποίησης σε αλγόριθμους/κώδικες).
- Συνεργατικές : παράγονται κατά τη συνεργατική κατασκευή αναπαραστάσεων από ομάδες μαθητών (π.χ. συνεργατική δημιουργία ενός εννοιολογικού χάρτη).
- Πολλαπλά συνδεδεμένες : αναπαραστάσεις που προσφέρουν πολλαπλές υπερσυνδέσεις για πολύδρομη διάσχιση (criss-crossing) (π.χ υπέρ-μέσα, υπέρ-κείμενα).

Η εισαγωγή των ΤΠΕ στην εκπαίδευση γενικά και ειδικότερα στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών μπορεί να βοηθήσει στη μετατόπιση της διδασκαλίας από την παραγωγική στην επαγωγική μέθοδο, από τη μάθηση ως εξωτερικά καθοδηγούμενη διαδικασία στη μάθηση ως αυτοπροσδιοριζόμενη διαδικασία. Υπό αυτές τις συνθήκες ο υπολογιστής γίνεται εργαλείο έκφρασης της διερεύνησης στα χέρια των μαθητών και των εκπαιδευτικών τους, από υπολογιστής-δάσκαλος γίνεται υπολογιστής-συνεργάτης στη μαθησιακή διαδικασία. Μέσα από τις δυνατότητες μοντελοποίησης, οπτικοποίησης και, κυρίως, προσομοίωσης φυσικών φαινομένων και διαδικασιών, οι υπολογιστές συντελούν στο να δημιουργούνται περιβάλλοντα μάθησης όπου οι χρήστες έχουν τη μοναδική ευκαιρία να παρατηρήσουν φαινόμενα, υλικά και διαδικασίες που συχνά είναι δύσκολο, αδύνατο ή, ακόμα, επικίνδυνο να παρατηρήσουν στην πραγματικότητα, να εκτελέσουν εικονικά πειράματα και να παρέμβουν στις διαδικασίες προκειμένου να ελέγξουν υποθέσεις και να μελετήσουν αλλαγές της ύλης τόσο στον πραγματικό κόσμο όσο και σε εναλλακτικούς. Τα υποστηριζόμενα από τους υπολογιστές περιβάλλοντα οικοδόμησης της

γνώσης δεν περιλαμβάνουν έτοιμη γνώση, αλλά δημιουργούν καταστάσεις και παρέχουν εργαλεία που υποκινούν τον μαθητή να κάνει τη μέγιστη δυνατή χρήση των δικών του γνωστικών ικανοτήτων [4, 5].

Αξίζει να σημειωθεί ότι η αξιοποίηση των ποικίλων δυνατοτήτων του υπολογιστή στη διδασκαλία και τη μάθηση των φυσικών επιστημών δεν αντικαθιστά το πείραμα σε πραγματικές συνθήκες σε βαθμό που να υποβαθμίζεται ο ρόλος του σχολικού εργαστηρίου φυσικών επιστημών, διότι το εργαστήριο καλλιεργεί δεξιότητες χειρισμού που δεν μπορούν να αναπτυχθούν με τη χρήση εκπαιδευτικών λογισμικών.

Στην περίπτωση σχολείων μικρών, οικονομικά υποβαθμισμένων ή απομακρυσμένων περιοχών όπου δεν υπάρχει η δυνατότητα εργαστηρίων φυσικών επιστημών, η αξιοποίηση των δυνατοτήτων που παρέχουν οι υπολογιστές στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών αποτελεί μία ενδιαφέρουσα επιλογή και ίσως, μερικές φορές, τη μοναδική επιλογή για μαθητές που χρειάζονται την εργαστηριακή εμπειρία σε επιστημονικά μαθήματα προκειμένου να αποφοιτήσουν και να προχωρήσουν στην επόμενη βαθμίδα εκπαίδευσης. Άλλα ζητήματα που έρχεται να καλύψει η εισαγωγή των ΤΠΕ στη διδασκαλία και τη μάθηση των φυσικών επιστημών είναι τα εξής : i) το υψηλό κόστος του εργαστηριακού εξοπλισμού και των υλικών, ii) η αδυναμία εξεύρεσης ή διάθεσης χώρου για αποκλειστική χρήση του, προκειμένου να στηθεί ένα εργαστήριο φυσικών επιστημών, iii) η διάθεση επιπλέον χρόνου από πλευράς του εκπαιδευτικού για την προετοιμασία μίας εργαστηριακής δραστηριότητας και iv) η συνεχώς αυξανόμενη ευαισθησία των μαθητών σε ηθικά ζητήματα όπως η χρήση ζώων στα πειράματα ή η εκτέλεση πειραμάτων που δεν είναι φιλικά για το περιβάλλον [6].

Η διδακτική αξιοποίηση των ΤΠΕ μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών, καθώς οι ποικίλες δυνατότητες των ΤΠΕ δύνανται να αξιοποιηθούν με κατάλληλα σενάρια και διδακτικές πορείες, προκειμένου να βοηθηθούν οι μαθητές να οικοδομήσουν επιστημονικές απόψεις, γνώσεις, δεξιότητες, ικανότητες, συνδεδεμένες με την καθημερινή ζωή και ειδικότερα με την αντιμετώπιση πραγματικών καταστάσεων και προβλημάτων.

Τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα έχει γίνει σημαντική προσπάθεια για την ανάπτυξη πακέτων εκπαιδευτικού λογισμικού στο πλαίσιο έργων τόσο του Υπουργείου Παιδείας όσο και ανεξάρτητων ερευνητικών ακαδημαϊκών ομάδων. Πλέον υπάρχει μία σχετικά ικανοποιητική βάση τέτοιων εκπαιδευτικών λογισμικών φυσικών επιστημών, πολλά από τα οποία έχουν πιστοποιηθεί από το Υπουργείο Παιδείας και διατίθενται για χρήση στα σχολεία και τις ακαδημαϊκές μονάδες. Επίσης, πολλοί δικτυακοί τόποι, σε διεθνές και τοπικό επίπεδο, προσφέρουν πληροφόρηση, ενημέρωση για θέματα διδασκαλίας και μάθησης των φυσικών επιστημών και εύρεση ψηφιακού εκπαιδευτικού υλικού, προτάσεων διδασκαλίας, συνοδευτικού υλικού, ταινιών βίντεο, εικονικών πειραμάτων, παιχνιδιών κ.ά. Ένα υλικό που ο εκπαιδευτικός μπορεί να αξιοποιήσει ώστε να προσφέρει στους μαθητές του αποτελεσματική και ενδιαφέρουσα διδασκαλία των φυσικών επιστημών.

1.2 Οι προσομοιώσεις στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών

Μία από τις διάφορες μορφές αναπαραστάσεων που μπορεί να αξιοποιηθεί ως γνωστικό εργαλείο είναι η εκπαιδευτική προσομοίωση. Με τον όρο γνωστικό εργαλείο εννοείται ένα εργαλείο που αποτελεί επέκταση της σκέψης του μαθητή, βοηθάει στις γνωστικές λειτουργίες του και τον υποστηρίζει να οικοδομήσει γνώση καθώς ο μαθητής διερευνά το πρόβλημα με τη βοήθεια του υπολογιστή και του κατάλληλου λογισμικού.

Ως εκπαιδευτική προσομοίωση συστήματος (φυσικού, τεχνητού ή φανταστικού) ορίζεται η αναπαράσταση κατάστασης, διαδικασιών, φαινομένου ή ενός αντικειμένου από λογισμικό μέσω του οποίου ο μαθητής μπορεί να διαδράσει με την προσομοίωση και να οικοδομήσει γνώση για τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος, του φαινομένου, των διαδικασιών ή του αντικειμένου που αποτελεί τον στόχο μάθησης [7, 8, 9].

Στη μαθησιακή διαδικασία, η προσομοίωση θέτει τον μαθητή σε καταστάσεις παρόμοιες με την πραγματικότητα που του παρέχουν ανάδραση σε πραγματικό χρόνο για αποφάσεις, δράσεις και ερωτήματα. Πρέπει να είναι δυναμική, παρέχοντας επιλογή των μεταβλητών εκείνων που θεωρούνται σημαντικές σύμφωνα με τον διδακτικό μετασχηματισμό, δίνοντας κίνητρα στον μαθητή και

καθιστώντας φανερή σε αυτόν τη σχέση των επιδράσεων του με την εξέλιξη του φαινομένου ή της διαδικασίας που προσομοιώνεται.

Μία προσομοίωση βασίζεται πάντα σε κάποιο υπολογιστικό μοντέλο, δηλαδή ένα απλούστερο ή συνθετότερο φυσικό ή ιδεατό σύστημα το οποίο εκτελείται από ένα λογισμικό προσομοίωσης και προσομοιώνει τη λειτουργία του συστήματος που μελετά ο μαθητής. Η διεπαφή του χρήστη προσφέρει τη δυνατότητα ώστε ο μαθητής να επηρεάσει την προσομοίωση, δηλαδή να αλλάξει την είσοδο δεδομένων στο λογισμικό. Ταυτόχρονα, το λογισμικό θα πρέπει, με βάση το υπολογιστικό μοντέλο, να ανταποκρίνεται στα δεδομένα που εισάγει ο χρήστης και να εμφανίζει τις αντίστοιχες αλλαγές στην έξοδο – η οποία συνήθως είναι η οθόνη του υπολογιστή. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αναπαρίστανται με διάφορους τρόπους, κυρίως ως αριθμητικά δεδομένα και γραφικά.

Ο εκπαιδευόμενος, παρατηρώντας το αποτέλεσμα που έχουν οι ενέργειές του στη συμπεριφορά του προσομοιωμένου συστήματος, συνειδητοποιεί περισσότερο τους περιορισμούς της αρχικής του ερμηνείας (το αποτέλεσμα της προσομοίωσης ενδέχεται να έρχεται σε σύγκρουση με τις προσδοκίες του) και ανακαλύπτει τις ιδιότητες του επιστημονικού μοντέλου που περιέχει η προσομοίωση. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της προσομοίωσης είναι ότι το υπολογιστικό μοντέλο συχνά τονίζει τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τη θεωρητική κατανόηση και αποκρύπτει ή αποκλείει τα στοιχεία που δεν έχουν κάποια σχέση ή μπορούν να οδηγήσουν σε παρανοήσεις [10].

Ανάλογα με τη σχεδίαση και την εκπαιδευτική στόχευση, διακρίνονται τα ακόλουθα είδη προσομοίωσης [11] :

1) Εννοιολογική : το μοντέλο προσομοίωσης περιλαμβάνει έννοιες, αρχές και γεγονότα σχετικά με το σύστημα που προσομοιώνεται και μέσω αυτού ο χρήστης μαθαίνει την εννοιολογική δομή του συστήματος. Ειδικότερες κατηγορίες είναι :

1.1 οι φυσικές, όπου ένα φυσικό σύστημα ή φαινόμενο προσομοιώνεται στην οθόνη του υπολογιστή με συνεχή τρόπο λειτουργίας, επιτρέποντας στον μαθητή να μάθει κάτι σχετικά με αυτό,

1.2 οι επαναληπτικές, όπου ο μαθητής μπορεί να επαναλάβει την εκτέλεση της προσομοίωσης επιλέγοντας διαφορετικές αρχικές τιμές εισόδου και παρατηρώντας τη συμπεριφορά του συστήματος.

2) Λειτουργική : το μοντέλο εστιάζει σε αλληλουχίες νοητικών διαδικασιών που ενεργοποιούνται κατά τη λειτουργία και τον χειρισμό του συστήματος. Ο εκπαιδευόμενος μαθαίνει πώς να διαχειρίζεται τις βασικές λειτουργίες του συστήματος ενεργοποιώντας τις κατάλληλες νοητικές διεργασίες. Διακρίνονται σε :

2.1 διαδικαστικές, όπου ο εκπαιδευόμενος μαθαίνει πως να εκτελεί μία σειρά ενεργειών ολοκληρώνοντας ένα συγκεκριμένο αποτέλεσμα,

2.2 σχετικές με την κατανόηση, οι οποίες προσομοιώνουν στάσεις και συμπεριφορές ατόμων ή οργανισμών σε διαφορετικές συνθήκες/καταστάσεις.

Με κριτήριο τη συμμετοχή του μαθητή, μπορεί να διακριθούν δύο κατηγορίες προσομοιώσεων : τις συμβατικές και τις εμπειρικές. Συμβατική είναι μία προσομοίωση όπου ο μαθητής δεν είναι ενεργός μέτοχος του περιβάλλοντος του λογισμικού. Αντιθέτως, ως εμπειρική χαρακτηρίζεται η προσομοίωση όπου ο μαθητής αποτελεί ενεργό παράγοντα ενός σύνθετου, μεταβαλλόμενου περιβάλλοντος [12].

Για τη δημιουργία και απόδοση των προσομοιώσεων με σκοπό την αξιοποίησή τους στην εκπαιδευτική διαδικασία πρέπει να ακολουθούνται τα τέσσερα βασικά στάδια που απαιτούνται για την επιστημονική χρήση και τις διακρίνουν από τα απλά κινούμενα σχέδια [13] :

(1) Συλλογή δεδομένων : τα δεδομένα μπορούν να αποκτηθούν μέσω αισθητήρων και συναντώνται σε εργαστήρια συνδεδεμένα με υπολογιστή. Μπορούν, επίσης, να καταγραφούν από άμεση παρατήρηση φυσικών φαινομένων. Τέλος, μπορούν να προκύψουν από αριθμητική προσομοίωση φαινομένων και καταστάσεων.

(2) Μετασχηματισμός δεδομένων για διαχείρισή τους από υπολογιστή : δεδομένα που προέρχονται από αισθητήρες προσομοίωσης είναι έτοιμα για το επόμενο στάδιο, ενώ αυτά που προκύπτουν από άμεση παρατήρηση εισάγονται απευθείας στον υπολογιστή μέσω των κατάλληλων διεπαφών. Σε

ψηφιοποίηση υπόκεινται και δεδομένα που βρίσκονται σε αναλογική μορφή, όπως χάρτες και εικόνες.

(3) Απόδοση προσομοιώσεων : υλοποιείται κυρίως ως γραφικές παραστάσεις, οπτικοποίηση επιφάνειας και όγκου, κινούμενη εικόνα και εικονικά περιβάλλοντα. Ως μορφή παρουσίασης της προσομοίωσης αξιοποιούνται σε συγκεκριμένες περιπτώσεις και αριθμητικά δεδομένα.

(4) Ανάλυση αποτελεσμάτων, η μελέτη των προσομοιώσεων και η εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν τον μαθητή, αλλά και τον εκπαιδευτικό.

Οι προσομοιώσεις τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες διατίθενται σε μεγάλη ποικιλία στους εκπαιδευτικούς των φυσικών επιστημών μέσω ποικίλων οδών, όπως, για παράδειγμα, διαδικτυακοί τόποι ελεύθερης πρόσβασης, εμπορικοί διαδικτυακοί τόποι και εμπορικά λογισμικά για ιδιωτική χρήση (resident commercial softwares). Αξιοποιούνται, δε, για την παρουσίαση επιστημονικών φαινομένων και διαδικασιών που ενδεχομένως δεν μπορούν να παρατηρηθούν με άλλο τρόπο. Για παράδειγμα, επιτρέπουν στους μαθητές να παρακολουθήσουν σε αργή εξέλιξη την ανάπτυξη ενός κύματος ή σε γρήγορη κίνηση τη διάβρωση που προκαλεί ένας ποταμός, είτε στη μοντελοποίηση φαινομένων που είναι αόρατα με γυμνό μάτι, όπως η κίνηση των μορίων ενός αερίου. Επίσης, αξιοποιούνται σε καταστάσεις κατά τις οποίες απαιτείται η επανάληψη ενός πειράματος πολλές φορές, με τη μεταβολή των παραμέτρων κάθε φορά και εντός ορισμένου χρόνου. Τέλος, επιτρέπουν το χειρισμό των μεταβλητών ενός συστήματος που είναι αδύνατον να ελεγχθούν στον φυσικό κόσμο [14].

Σημαντικός αριθμός ερευνών έχουν αναδείξει την αποτελεσματικότητα των προσομοιώσεων στην εκπαιδευτική διαδικασία. Ο Rutten και οι συνεργάτες του έκαναν μία ανασκόπηση των ημι-πειραματικών ερευνών που είχαν δημοσιευθεί από το 2001 μέχρι το 2010 και βρήκαν ότι, γενικά, οι προσομοιώσεις έχουν θετικά αποτελέσματα και μπορούν να ενισχύσουν την παραδοσιακή διδασκαλία. Πιο συγκεκριμένα, μέσω των προσομοιώσεων, οι μαθητές μπορούν να εκτελέσουν εικονικά πειράματα ή να παρακολουθήσουν φαινόμενα που δεν μπορούν να πραγματώσουν στην καθημερινή ζωή [15]. Οι Smetana και Bell (2012) σε μία ποσοτική ανασκόπηση των ερευνών μεταξύ 1972 και 2010 εστίασαν στον αντίκτυπο των προσομοιώσεων και κατέληξαν στο

συμπέρασμα ότι, αν αξιοποιηθούν κατάλληλα, μπορούν να είναι αποτελεσματικές σε ό,τι αφορά την προαγωγή i) της γνώσης περιεχομένου (content knowledge), ii) των ικανοτήτων (δεξιοτήτων) επεξεργασίας (process skills) και iii) της εννοιολογικής αλλαγής (cognitive change) [16].

Οι Trey και Khan έδειξαν ότι δυναμικά υπολογιστικά ανάλογα μπορούν να ενισχύσουν σε φοιτητές κολεγίου τη μάθηση μη παρατηρήσιμων φαινομένων στη χημεία [17]. Ερευνητές αναφέρουν, επίσης, την επιτυχία που είχαν οι προσομοιώσεις στην ανάπτυξη δεξιοτήτων διερεύνησης και διατύπωσης συμπεράσματος. Σύμφωνα με έρευνα των Monaghan και Clement η προσομοίωση επιτρέπει στους μαθητές να ελέγξουν τις προβλέψεις τους και συνακόλουθα να διαμορφώσουν πιο ακριβή νοητικά μοντέλα για την κίνηση [18]. Οι Chang, Chen, Linn και Sung σύγκριναν τα μαθησιακά αποτελέσματα και την ικανότητα για αφηρημένη σκέψη μαθητών που εκτέλεσαν μία εργαστηριακή άσκηση σε κλασικό εργαστήριο με εκείνη μαθητών που εκτέλεσαν την ίδια άσκηση σε εικονικό περιβάλλον και βρήκαν ότι οι μαθητές της δεύτερης περίπτωσης σημείωσαν καλύτερες επιδόσεις από τους πρώτους [19]. Άλλες έρευνες αναφέρουν λιγότερο εντυπωσιακά αποτελέσματα στη χρήση των προσομοιώσεων στις φυσικές επιστήμες. Σύμφωνα με κάποιες από αυτές, η χρήση των προσομοιώσεων δεν έχει κάποιο πλεονέκτημα συγκριτικά με τη χρήση παραδοσιακών μεθόδων διδασκαλίας [20, 21]. Ακόμα και όταν έχουν σημειωθεί καλύτερες επιδόσεις από τους μαθητές με τη χρήση τεχνολογιών όπως είναι οι προσομοιώσεις, κάποιοι εκτιμούν ότι αυτό οφείλεται περισσότερο στην αποτελεσματική εκπαιδευτική μέθοδο και τον εκπαιδευτικό [22, 23].

Σαφώς η αποτελεσματικότητα των προσομοιώσεων συνδέεται στενά με την παιδαγωγική προσέγγιση που εμπλέκει τις προσομοιώσεις [22, 23, 24]. Η αποτυχία της παιδαγωγικής προσέγγισης που χρησιμοποιεί μία τεχνολογική εφαρμογή μπορεί να εξηγήσει τα αρνητικά αποτελέσματα ερευνών πεδίου. Απλώς επιτρέποντας στους μαθητές να έχουν πρόσβαση σε ένα λογισμικό χωρίς να δίνεται η απαιτούμενη προσοχή στη μαθησιακή στήριξη και τη διδακτική πρακτική είναι πιθανόν να μην επιτευχθούν οι προσδοκώμενοι εκπαιδευτικοί στόχοι.

Ένα από τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά μίας προσομοίωσης που επηρεάζει το μαθησιακό αποτέλεσμα είναι η αλληλεπίδραση του μαθητή με αυτή. Πειραματικές μελέτες που επιχείρησαν να προσδιορίσουν τις επιπτώσεις της αλληλεπίδρασης μέσω προσομοίωσης κατέληξαν σε μεικτά αποτελέσματα [25]. Ο Lee και οι συνεργάτες του διαπίστωσαν ότι το να επιτρέπεται στους μαθητές να ελέγχουν τις παραμέτρους μίας προσομοίωσης ήταν επιβλαβές για τη μάθηση [26]. Οι Timpe και Wichmann (2012) διαπίστωσαν ότι οι μαθητές ωφελούνταν περισσότερο όταν μπορούσαν να ελέγχουν τις τιμές που εισήγαγαν στις μεταβλητές μίας προσομοίωσης απ' όταν η διάδραση με την προσομοίωση περιοριζόταν στο να την ξεκινούν, τη διακόπτουν και να την ξεκινούν ξανά [27]. Η Mc Elhaneey και οι συνεργάτες της σε μία μετά-αναλυτική ανασκόπηση των επιπτώσεων των διαδραστικών προσομοιώσεων συνιστούν ότι χρειάζεται περαιτέρω έρευνα για να αποκαλυφθούν νέοι τρόποι προκειμένου οι διαδραστικές προσομοιώσεις να είναι πιο αποτελεσματικές και λιγότερο αποθαρρυντικές [25].

Στην βιβλιογραφία αναφέρονται δύο τρόποι αλληλεπίδρασης των μαθητών με μία προσομοίωση : στη μία περίπτωση υπάρχει αλληλεπίδραση μέσω πειραματισμού (experimentation interactivity) και στην άλλη αλληλεπίδραση μέσω παρατήρησης (observation interactivity). Στην πρώτη οι μαθητές εκτελούν, με τη βοήθεια της προσομοίωσης, εικονικά πειράματα έχοντας τον έλεγχο των εισαγόμενων τιμών διαφορετικών μεταβλητών της προσομοίωσης. Στη δεύτερη οι μαθητές παρακολουθούν μία σειρά από βίντεο μικρής διάρκειας που παρουσιάζουν την εξέλιξη της προσομοίωσης, με τον εκπαιδευτικό να έχει αλλάξει τις τιμές των διαφορετικών μεταβλητών. Μελέτη των Ryoo και Linn (2012) έδειξε ότι η αλληλεπίδραση με παρατήρηση μπορεί να είναι αποτελεσματική στην περίπτωση που η παρουσίαση αφορά καταγραφή της προσομοίωσης κατά τμήματα [28]. Συγκριτικά, το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μέσω πειραματισμού έχει διερευνηθεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα [26, 27]. Οι μελέτες δείχνουν ότι, αν επιτρέπεται στους μαθητές να εκτελούν εικονικά πειράματα, υπάρχουν θετικά αποτελέσματα όταν κατά το σχεδιασμό της προσομοίωσης λαμβάνεται υπόψη το γνωστικό φορτίο των μαθητών [29].

Βέβαια, η δυνατότητα του μαθητή να εισάγει ο ίδιος τιμές στις μεταβλητές μίας προσομοίωσης ενέχει τον κίνδυνο να περιοριστούν τα μαθησιακά αποτελέσματα που η εφαρμογή της προσομοίωσης επιδιώκει. Οι λόγοι είναι πολλοί. Είναι δυνατόν ο μαθητής να εκτελεί δραστηριότητες που δεν συνδέονται άμεσα με τους επιδιωκόμενους στόχους, αυξάνοντας έτσι το εξωγενές γνωστικό φορτίο που παρεμποδίζεται τη μάθηση [29]. Όταν ο μαθητής καλείται να ελέγξει τις δικές του απόψεις αλλάζοντας τις τιμές των μεταβλητών σε μία προσομοίωση ενδέχεται να επιβαρύνει τη μνήμη εργασίας [25]. Ή, τέλος, μπορεί ο μαθητής να μην κατανοεί με ποιο τρόπο θα πρέπει να πειραματιστεί με τις μεταβλητές της προσομοίωσης για να πετύχει τον στόχο του [26].

Ένα άλλο στοιχείο που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ο αριθμός των μεταβλητών που καλείται να χειριστεί ο μαθητής σε μία προσομοίωση. Ο έλεγχος πολλών μεταβλητών δυσκολεύει περισσότερο από το να παρουσιαστεί η προσομοίωση με προκαθορισμένες τιμές για τις μεταβλητές της [26]. Αντίθετα όταν η μεταβλητή, της οποίας τις τιμές καλείται ο μαθητής να αλλάξει, είναι μία (π.χ η θερμοκρασία) τότε τα μαθησιακά αποτελέσματα είναι υψηλότερα από την παρουσίαση της προσομοίωσης για προκαθορισμένες τιμές της μεταβλητής αυτής (π.χ υψηλή και χαμηλή θερμοκρασία) [27].

Σε ότι αφορά την παρακολούθηση μίας προσομοίωσης της οποίας οι μεταβλητές μπορούν να επηρεαστούν, σημαντικός είναι ο τρόπος παρουσίασής της και συγκεκριμένα αν θα παρουσιαστεί ενιαία ή τμηματικά με τον μαθητή να ελέγχει τη συχνότητα και το ρυθμό που θα παρακολουθεί τα επί μέρους τμήματα. Μαθητές που παρακολούθησαν τμηματοποιημένη μία προσομοίωση κατέβαλαν λιγότερη πνευματική προσπάθεια και θεώρησαν λιγότερο δύσκολο το προς κατανόηση υλικό συγκριτικά με μαθητές που παρακολούθησαν την μη τμηματοποιημένη εκδοχή της προσομοίωσης [30]. Και αυτό διότι σε μία τμηματοποιημένη δυναμική απεικόνιση (όπως είναι η προσομοίωση) η ροή των πληροφοριών διαιρείται σε μικρότερα τμήματα και οι διακοπές μεταξύ των τμημάτων παρέχουν τον απαραίτητο χρόνο στον μαθητή να προβεί στις απαραίτητες γνωστικές ενέργειες ώστε να συνδέσει τις πληροφορίες του ενός τμήματος με αυτές του προηγούμενου [30, 31].

Η μαθησιακή γνώση γίνεται μεγαλύτερη αν ο μαθητής έχει τον έλεγχο του ρυθμού και των επαναλήψεων των τμημάτων μίας τμηματοποιημένης

δυναμικής απεικόνισης. Σε έρευνα των Boucheix και Guignard βρέθηκε μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ των pre- και post-test σε μαθητές που είχαν τη δυνατότητα να επιλέξουν πότε θα δουν την επόμενη παρουσίαση ή να επαναλάβουν την προηγούμενη σε σύγκριση με μαθητές που παρακολούθησαν την παρουσίαση συνεχόμενη [32]. Συμπεράσματα που συμφωνούν με τα αποτελέσματα έρευνας του Mayer για τα περιβάλλοντα πολυμεσικής μάθησης [33].

Οι δύο τρόποι αλληλεπίδρασης δίνουν στον μαθητή τη δυνατότητα επιλογής του περιεχομένου και της αλληλουχίας των μαθησιακών δραστηριοτήτων στηριζόμενοι στις δικές του ανάγκες και αμφότεροι συμφωνούν με τις θεωρητικές αρχές του Εποικοδομητισμού επιτρέποντας την ενεργό συμμετοχή. Παρ' όλα αυτά, η αλληλεπίδραση μέσω πειραματισμού παρέχει περισσότερες επιλογές και είναι πιο ανοιχτή σε σύγκριση με την αλληλεπίδραση μέσω παρατήρησης, γεγονός που ενδέχεται να αυξάνει το εξωγενές γνωστικό φορτίο και να περιορίζει τα μαθησιακά αποτελέσματα. Έρευνες δείχνουν ότι οι μαθητές συχνά συναντούν δυσκολίες όταν συνειδητά και επί τούτου πραγματοποιούν εικονικά πειράματα αξιοποιώντας κάποια προσομοίωση [26, 34]. Ίσως να οφείλεται σε γνωστική υπερφόρτωση που προκαλεί η αλληλεπίδραση [35] ή σε έλλειψη κατανόησης του σκοπού και της μεθόδου της αξιοποιούμενης προσομοίωσης για την πραγματοποίηση των εικονικών πειραμάτων [36, 37].

Έρευνα που διεξήγαγε η Chang [29] έδειξε ότι η εφαρμογή που επιτρέπει στους μαθητές να εκτελούν πειράματα εισάγοντας δεδομένα και η εφαρμογή που επιτρέπει να παρακολουθούν μικρής διάρκειας βίντεο όσες φορές και με όποια σειρά θέλουν έχουν τα ίδια αποτελέσματα. Σε αντίθεση με τα ευρήματα των Lee και των συνεργατών του [26] και των Timpe και Wichmann [27], τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας έδειξαν ότι, αν λαμβάνονται υπόψη οι προσλαμβάνουσες του μαθητή τα αποτελέσματα είναι εξίσου καλά. Το εύρημα αυτό υποστηρίζει τις θεωρίες της ενεργού επεξεργασίας και του Εποικοδομητισμού [29]. Επιπλέον, κανένας από τους δύο τρόπους αλληλεπίδρασης δεν αποδείχτηκε να προκαλεί γνωστική υπερφόρτωση στους μαθητές, λαμβάνοντας υπόψη το σημαντικό όφελος μεταξύ του pre- και του post-test [29].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΝΩΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ

2.1 Θεωρία γνωστικού φορτίου

Σύμφωνα με την ανθρώπινη γνωστική αρχιτεκτονική, οι βασικοί στόχοι για την επίτευξη της μάθησης είναι η κατασκευή και η αυτοματοποίηση σχημάτων (schemas). Ειδικότερα, ο Sweller υποστηρίζει πως «παρόλο που τα σχήματα αποθηκεύονται στη μακροχρόνια μνήμη, για να υλοποιηθεί η κατασκευή τους, οι πληροφορίες πρέπει να επεξεργαστούν στη βραχυπρόθεσμη μνήμη» [38]. Αυτό σημαίνει ότι οι μαθητές θα πρέπει αρχικά να αναγνωρίσουν τις πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την κατανόηση ενός θέματος, στη συνέχεια να τις επεξεργαστούν στη βραχυπρόθεσμη μνήμη με στόχο να τις ενοποιήσουν (τόσο μεταξύ τους όσο και με παλαιότερες σχετικές γνώσεις), δημιουργώντας έτσι ένα σχήμα το οποίο θα αποθηκευτεί στη μακροχρόνια μνήμη. Μία υπερφόρτωση της βραχυπρόθεσμης μνήμης εξαιτίας των πολλαπλών διαδικασιών που χειρίζεται θα μπορούσε να αποβεί μοιραία για τη διαδικασία της μάθησης [39].

Το γνωστικό φορτίο αντιπροσωπεύει τη νοητική προσπάθεια που αναλαμβάνεται από τη βραχυπρόθεσμη μνήμη (εργαζόμενη μνήμη ή μνήμη εργασίας) σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή προκειμένου να γίνει κατανοητή μία πληροφορία [40]. Η θεωρία του γνωστικού φορτίου υποστηρίζει ότι οι περιορισμοί της βραχυπρόθεσμης μνήμης αποτελούν κύριο εμπόδιο για τη μάθηση και προτείνει διαδικασίες για τη βελτίωση του σχεδιασμού της διδασκαλίας με γνώμονα τους περιορισμούς της βραχυπρόθεσμης μνήμης [41].

Η θεωρία του γνωστικού φορτίου (cognitive load theory, CLT) βασίζεται σε 5 αρχές [42] :

- 1) στην αρχή αποθήκευσης πληροφοριών (information store principle), σύμφωνα με την οποία το μεγαλύτερο μέρος των γνωστικών λειτουργιών του ατόμου βασίζονται στο περιεχόμενο της μακροχρόνιας μνήμης,
- 2) στην αρχή του δανεισμού και της αναδιοργάνωσης (borrowing and reorganizing principle), σύμφωνα με την οποία τα σχήματα (τα οποία αποτελούν τις γνωστικές κατασκευές που επιτρέπουν την κατηγοριοποίηση

των πληροφοριών) χρησιμοποιούνται και αναδιοργανώνονται για την κατάκτηση νέας γνώσης,

3) στην αρχή της τυχειότητας ως μηχανισμού γένεσης (randomness and genesis principle), σύμφωνα με την οποία η αμιγώς νέα γνώση επέρχεται με την επίλυση προβλημάτων,

4) στην αρχή των στενών ορίων αλλαγής (narrow limite of change principle), που αφορά την περιορισμένη δυνατότητα επεξεργασίας πληροφοριών και

5) στην αρχή περιβαλλοντικής οργάνωσης και σύνδεσης (environmental organizing and linking principle), που επιτρέπει την ανάκτηση μεγάλου αριθμού σχημάτων από τη μακροχρόνια μνήμη για την αλληλεπίδραση του ατόμου με το περιβάλλον.

Με βάση τη θεωρία αυτή, οι διδακτικές δραστηριότητες δημιουργούν στους μαθητές τρεις τύπους γνωστικού φορτίου: το ενδογενές (ή εγγενές ή εσωτερικό) (intrinsic cognitive load), το εξωγενές (extraneous cognitive load) και το συναφές (germane). Η διάκριση αυτή έχει μικρή σημασία για τους μαθητές, αφού σε κάθε περίπτωση θα δυσκολευτούν να αποκτήσουν μία γνώση, αλλά είναι εξαιρετικά σημαντική για τον εκπαιδευτικό, ο οποίος θα πρέπει να λάβει υπόψη του κάθε γνωστικό φορτίο ξεχωριστά προκειμένου να σχεδιάσει μία αποτελεσματική διδασκαλία και να διευκολύνει την απόκτηση νέας γνώσης από τον μαθητή [41].

2.1.1 Ενδογενές γνωστικό φορτίο

Το ενδογενές γνωστικό φορτίο σχετίζεται άμεσα με τη δυσκολία του περιεχομένου της διδασκαλίας και είναι αδύνατη η τροποποίησή του με διδακτικούς σχεδιασμούς. Όσο πιο εύκολο είναι το περιεχόμενο της διδασκαλίας, τόσο μικρότερο θα είναι το φορτίο αυτό. Σύμφωνα με τον Sweller, «το φορτίο στο οποίο θα επιβληθεί η βραχυπρόθεσμη μνήμη εξαρτάται από τον αριθμό των στοιχείων (items) που θα πρέπει να επεξεργαστούν ταυτόχρονα στην βραχυπρόθεσμη μνήμη, και ο αριθμός των στοιχείων αυτών, με τη σειρά τους, εξαρτάται από την έκταση της αλληλεπίδρασης των στοιχείων. Ένα στοιχείο είναι οτιδήποτε έχει ήδη μαθευτεί ή χρειάζεται να μαθευτεί, συνήθως ένα σχήμα» [38]. Δηλαδή το μέγεθος αυτού του τύπου γνωστικού φορτίου εξαρτάται από:

- i) την ποσότητα των πληροφοριών που θα πρέπει να επεξεργαστεί ταυτόχρονα ο μαθητής ώστε να βγάλει νόημα από τη διδασκαλία,
- ii) το πόσο εκτενής είναι η αλληλεπίδραση ανάμεσα στις πληροφορίες και
- iii) τις προϋπάρχουσες γνώσεις των μαθητών.

Όταν τα στοιχεία μίας πληροφορίας μπορούν να γίνουν κατανοητά το ένα ξεχωριστά από το άλλο, η αλληλεπιδραστικότητα τους είναι χαμηλή και αντίστοιχα χαμηλό είναι το ενδογενές γνωστικό φορτίο. Παραδείγματος χάριν, μπορούμε να μάθουμε χωριστά την ορθογραφία ενός μεγάλου καταλόγου λέξεων, χωρίς να σχετίζεται η μία με την άλλη. Η δυσκολία αυτής της δραστηριότητας οφείλεται στην ποσότητα της πληροφορίας και όχι στην αλληλεπιδραστικότητα των στοιχείων. Αντίθετα, όταν όλα τα στοιχεία αλληλεπιδρούν και σχετίζονται μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο ώστε να πρέπει να δεχτούν επεξεργασία όλα μαζί προκειμένου να υπάρξει κατανόησή τους, το ενδογενές γνωστικό φορτίο είναι υψηλό [41, 43]. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το ενδογενές γνωστικό φορτίο είναι δεδομένο για κάθε γνωστικό έργο, αφού καθορίζεται από τον αριθμό των αλληλεπιδρόντων στοιχείων της πληροφορίας, οι μόνοι τρόποι για να μεταβληθεί είναι είτε αλλάζοντας το ίδιο το γνωστικό έργο ή αυξάνοντας σταδιακά το επίπεδο εξειδίκευσης του μαθητή [43].

2.1.2 Εξωγενές γνωστικό φορτίο

Το εξωγενές γνωστικό φορτίο σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά του μαθησιακού περιβάλλοντος ή με τους τρόπους με τους οποίους σχεδιάζεται και υλοποιείται μία διδακτική δραστηριότητα και αναφέρεται στον τρόπο παρουσίασης των πληροφοριών και όχι στην εσωτερική πολυπλοκότητα της γνώσης. Έτσι, τα αλληλεπιδρώντα στοιχεία μπορεί να μειωθούν αλλάζοντας τον διδακτικό σχεδιασμό, με αποτέλεσμα, συγκριτικά με το ενδογενές, το εξωγενές γνωστικό φορτίο να είναι ευκολότερο να μεταβληθεί [44].

Η αύξησή του οφείλεται στο γεγονός ότι κάποιες διδακτικές μέθοδοι αναγκάζουν τους μαθητές να επεξεργάζονται πολλά στοιχεία ταυτόχρονα, ενώ κάτι τέτοιο μπορεί να μην επιβάλλεται από την ίδια την πληροφορία [45, 46].

Σε πολλές περιπτώσεις φαίνεται δύσκολο να διευκρινιστεί αν το γνωστικό φορτίο ενός γνωστικού έργου είναι ενδογενές ή εξωγενές. Η αλληλεπιδραστικότητα των στοιχείων, η οποία καθορίζει, εκτός από το

ενδογενές, και το εξωγενές φορτίο, μπορεί να βοηθήσει στη διάκριση των δύο φορτίων. Εάν τα αλληλεπιδρώντα στοιχεία μπορούν να μειωθούν χωρίς να αλλάξει η φύση της πληροφορίας, τότε το γνωστικό φορτίο είναι εξωγενές. Εάν δεν μπορούν να μειωθούν, τότε είναι ενδογενές [43].

Σε κάθε περίπτωση που το γνωστικό φορτίο υπερβαίνει τα όρια των νοητικών δυνατοτήτων του μαθητή, τότε η μάθηση παρεμποδίζεται, αφού είναι αδύνατη η επεξεργασία των διαθέσιμων πληροφοριών. Κάθε προσπάθεια που αποβλέπει στον περιορισμό ή στην ελαχιστοποίηση του εξωγενούς γνωστικού φορτίου συμβάλλει ουσιαστικά στην αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα της επιχειρούμενης διδακτικής προσέγγισης, αφού το συνολικό γνωστικό φορτίο περιορίζεται στα όρια των νοητικών δυνατοτήτων των μαθητών [44].

Η προσπάθεια ενσωμάτωσης της τεχνολογίας σε συγκεκριμένο μάθημα δημιουργεί πρόσθετο γνωστικό φορτίο. Το πρόσθετο φορτίο πηγάζει από τα τεχνολογικά εργαλεία, τη χρήση των οποίων πρέπει να μάθουν οι μαθητές (ενδογενές γνωστικό φορτίο) και από τους τρόπους με τους οποίους τα εργαλεία αυτά θα ενσωματωθούν στη διδασκαλία (εξωγενές γνωστικό φορτίο). Στην περίπτωση που τα άτομα τα οποία εμπλέκονται στη διαδικασία αυτή δεν είναι έμπειροι αλλά αρχάριοι χρήστες της τεχνολογίας, τότε η ενσωμάτωση της τεχνολογίας δημιουργεί υπερβολικές απαιτήσεις στις νοητικές προσπάθειες τους για επεξεργασία του όγκου των πληροφοριών που συνοδεύει τις προσπάθειες αυτές [44].

2.1.3 Συναφές γνωστικό φορτίο

Το συναφές γνωστικό φορτίο περιλαμβάνει τη χρήση διδακτικού σχεδιασμού τέτοιου που να εστιάζει την προσοχή του μαθητή στο μαθησιακό περιεχόμενο και στην κατασκευή σχημάτων. Αυτός ο τύπος γνωστικού φορτίου αναφέρεται στην ενοποίηση στοιχείων του περιεχομένου της διδασκαλίας, η οποία γίνεται από τον εκπαιδευτικό, αλλά μόνο εκείνων των στοιχείων που θεωρούνται απαραίτητα για την κατανόηση του περιεχομένου. Σκοπός είναι η ενοποίηση αυτή να βοηθήσει το μαθητή να δημιουργήσει ένα σχήμα, το οποίο θα αυτοματοποιήσει με την εξάσκηση, ώστε να μειωθεί ο αριθμός των στοιχείων που θα πρέπει να διατηρεί και να επεξεργάζεται στη βραχυπρόθεσμη μνήμη του όσο αυτός εμβαθύνει στο περιεχόμενο της διδασκαλίας [39] .

Αν το ενδογενές γνωστικό φορτίο είναι υψηλό, τότε το περιεχόμενο της διδασκαλίας θα είναι δύσκολο να γίνει κατανοητό, επειδή η βραχυπρόθεσμη μνήμη θα πρέπει να επεξεργαστεί πολλά στοιχεία ταυτόχρονα και όχι σειριακά. Στην περίπτωση αυτή, στην καλύτερη κατανόηση μπορεί να συμβάλει ο εκπαιδευτικός, αυξάνοντας το συναφές γνωστικό φορτίο, κατευθύνοντας δηλαδή την προσοχή των μαθητών στην ενοποίηση των βασικών στοιχείων του διδακτικού υλικού και ενισχύοντας την κατασκευή σχημάτων [39]. Αυτός ο τύπος γνωστικού φορτίου αποδεικνύεται ιδιαίτερα σημαντικός σε πολύπλοκα γνωστικά έργα, στα οποία η κατασκευή σχημάτων εξαρτάται από τις υψηλές αλληλεπιδράσεις των στοιχείων της πληροφορίας, δηλαδή από ένα υψηλό ενδογενές γνωστικό φορτίο [46].

Το συναφές γνωστικό φορτίο εξαρτάται από τις προηγούμενες γνώσεις του μαθητή, δηλαδή από το επίπεδο εξειδίκευσής του σε ένα συγκεκριμένο γνωστικό έργο. Έτσι, το γνωστικό φορτίο που είναι συναφές για έναν μαθητή με χαμηλό επίπεδο προηγούμενων γνώσεων μπορεί να είναι εξωγενές για έναν έμπειρο μαθητή. Δηλαδή, πληροφορίες που θα βοηθήσουν στη δημιουργία σχημάτων έναν άπειρο μαθητή μπορεί να είναι πλεονάζουσες και να εμποδίσουν στον εμπλουτισμό των σχημάτων έναν έμπειρο μαθητή [47].

Η ύπαρξη του συναφούς γνωστικού φορτίου έχει αμφισβητηθεί ως ανεξάρτητος τύπος γνωστικού φορτίου καθώς μία θεωρία ενδογενούς - εξωγενούς γνωστικού φορτίου θα μπορούσε να ερμηνεύσει επαρκώς τα φαινόμενα που σχετίζονται με την κατανόηση του περιεχομένου της διδασκαλίας [48].

Σε έρευνες φάνηκε πως τόσο το πολύ υψηλό γνωστικό φορτίο όσο και το πολύ χαμηλό επηρεάζουν αρνητικά τη μάθηση [49]. Σε διδακτικά αντικείμενα με χαμηλές απαιτήσεις επεξεργασίας από τη βραχυπρόθεσμη μνήμη θα πρέπει να αυξηθεί το γνωστικό φορτίο (και συγκεκριμένα το συναφές γνωστικό φορτίο), ώστε να κινητοποιηθεί ο μαθητής να εμπλακεί στη διδακτική διαδικασία. Αντίθετα, σε έργα με υψηλές απαιτήσεις επεξεργασίας από τη βραχυπρόθεσμη μνήμη το γνωστικό φορτίο θα πρέπει να μειωθεί, προκειμένου να μη δυσχεραίνεται η απόκτηση νέας γνώσης [47]. Συνεπώς, πρωταρχικός στόχος στον σχεδιασμό μίας διδακτικής διαδικασίας δεν θα πρέπει να είναι τόσο η μείωση του γνωστικού φορτίου αλλά η βελτιστοποίησή του προς όφελος της απόκτησης νέων γνώσεων. Αυτό προϋποθέτει τη μείωση του εξωγενούς, την

αύξηση του συναφούς και τη διατήρηση του συνδυασμού των δύο μαζί με το ενδογενές γνωστικό φορτίο της πληροφορίας σε επίπεδο διαχείρισης από τη βραχυπρόθεσμη μνήμη [50].

Μία συχνή παρερμηνεία είναι ότι η επιθυμητή τροποποίηση του γνωστικού φορτίου ταυτίζεται με τη μείωση ή την υπεραπλούστευση του γνωστικού υλικού [51]. Στην πραγματικότητα οι αρχές της θεωρίας γνωστικού φορτίου που έχουν εφαρμογή στον εκπαιδευτικό σχεδιασμό εμπλέκουν πολλές παραμέτρους που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά των μαθητών και μεταβάλλονται ανάλογα. Απώτερος σκοπός της εφαρμογής της θεωρίας γνωστικού φορτίου είναι να αξιοποιηθεί με βέλτιστο τρόπο η σχέση της πεπερασμένης βραχυπρόθεσμης μνήμης με τη θεωρητικά απεριόριστη μακροχρόνια μνήμη [52].

Υπό το πρίσμα της θεωρίας γνωστικού φορτίου επιβεβαιώνεται η σημασία της προϋπάρχουσας γνώσης και διαφαίνεται η σύνδεσή της με τη θεωρία της ζώνης επικειμένης ανάπτυξης του Vygotsky, η οποία αναγνωρίζει ότι το περιθώριο γνωστικής ανάπτυξης ενός μαθητή καθορίζεται από αυτά που ήδη γνωρίζει [53].

2.2 Μέτρηση γνωστικού φορτίου

Από τότε που διατυπώθηκε η θεωρία του γνωστικού φορτίου, διαπιστώθηκε πως η μέτρησή του αποτελεί δύσκολο εγχείρημα για τον ερευνητή. Σύμφωνα με το μοντέλο των Paas και van Merriënboer, το γνωστικό φορτίο μπορεί να εκτιμηθεί με μέτρηση του νοητικού φορτίου (mental load), της νοητικής προσπάθειας (mental effort) και της απόδοσης (performance) [54]. Άλλοι ερευνητές αξιοποιούν αναλυτικές και εμπειρικές μεθόδους για να κατατάξουν μετρήσεις του γνωστικού φορτίου. Οι αναλυτικές μέθοδοι στοχεύουν στην εκτίμηση του νοητικού φορτίου και στηρίζονται στη συλλογή τόσο υποκειμενικών στοιχείων (παρατηρήσεις ειδικών) όσο και αναλυτικών (μαθηματικά μοντέλα και αναλύσεις έργων). Οι εμπειρικές μέθοδοι στοχεύουν στην εκτίμηση της νοητικής προσπάθειας και της επίδοσης και στηρίζονται στη συλλογή i) υποκειμενικών δεδομένων από κλίμακες διαβάθμισης, ii) δεδομένων επίδοσης σε κύριες και δευτερεύουσες εργασίες και iii) ψυχοφυσιολογικών δεδομένων, αξιοποιώντας ψυχοφυσιολογικές τεχνικές. Από τα δύο είδη μεθόδων πιο διαδεδομένες είναι οι εμπειρικές και συγκεκριμένα οι κλίμακες

διαβάθμισης, οι ψυχοφυσιολογικές τεχνικές και οι τεχνικές δευτερεύουσας δραστηριότητας.

2.2.1 Κλίμακες διαβάθμισης

Η τεχνική αυτή στηρίζεται στην υπόθεση ότι οι άνθρωποι είναι ικανοί να παρατηρήσουν τις γνωστικές τους διαδικασίες και να αναφέρουν το μέγεθος της νοητικής προσπάθειας που κατέβαλαν. Τεχνικές αυτού του τύπου έχουν αποδείξει ότι οι κλίμακες διαβάθμισης είναι ευαίσθητες σε σχετικά μικρές διαφορές του γνωστικού φορτίου και έχουν βρεθεί να είναι έγκυρες, αξιόπιστες και μη παρεμβατικές [55, 56].

Η πιο συχνά αξιοποιούμενη κλίμακα διαβάθμισης στην επιστήμη της εκπαίδευσης είναι εκείνη που σχεδίασε ο Paas. Πρόκειται για ένα ερωτηματολόγιο αποτελούμενο από μία ερώτηση και ο μαθητής καλείται να εκτιμήσει σε μία 9-βαθμια κλίμακα το ποσό της νοητικής προσπάθειας που κατέβαλε κατά την εκτέλεση μίας εργασίας [57]. Εκτός αυτής, έχουν εφαρμοστεί και άλλες κλίμακες που διαφέρουν σε ό,τι αφορά τον αριθμό των διαβαθμίσεων, τον περιγραφικό όρο των ορίων της κλίμακας και τη χρονική στιγμή που συμπληρώνεται [58].

Αναφορικά με τον αριθμό των διαβαθμίσεων, μετά των 9 βαθμίδων ακολουθούν σε συχνότητα αυτές των 7 και των 5 βαθμίδων, ενώ στη βιβλιογραφία αναφέρονται και κλίμακες των 10 και 100 βαθμίδων [58].

Ένα άλλο στοιχείο στο οποίο διαφοροποιούνται οι κλίμακες είναι στους περιγραφικούς όρους των ορίων της κάθε κλίμακας. Στο ερωτηματολόγιο του Paas τα δύο όρια είναι τα «πολύ, πολύ χαμηλή νοητική προσπάθεια» και «πολύ, πολύ μεγάλη νοητική προσπάθεια» [57]. Σε άλλες εργασίες τα όρια είναι τα «εξαιρετικά εύκολη» και «εξαιρετικά δύσκολη» ή «πολύ, πολύ εύκολη» και «πολύ, πολύ δύσκολη» [58].

Για τη χρονική στιγμή που γίνεται η εκτίμηση του γνωστικού φορτίου, στις περισσότερες μελέτες αυτή γίνεται αμέσως μετά την ολοκλήρωση της εργασίας και σε άλλες το ίδιο ερωτηματολόγιο συμπληρώνεται πολλές φορές σε όλη τη διάρκεια εξέλιξης της εργασίας από τον μαθητή. Υποστηρίζεται ότι όσο πιο συχνά μετράται το γνωστικό φορτίο, τόσο πιο ακριβές θα είναι το αποτέλεσμα

της μέτρησης (δεδομένου ότι το γνωστικό φορτίο διαφοροποιείται κατά τη διάρκεια της μαθησιακής διαδικασίας) [59].

2.2.2 Ψυχοφυσιολογικές τεχνικές

Οι τεχνικές αυτές στηρίζονται στην παραδοχή ότι οι αλλαγές στις γνωστικές λειτουργίες αντανακλώνται στις τιμές ψυχοφυσιολογικών παραμέτρων. Στις τεχνικές αυτές περιλαμβάνονται μετρήσεις της καρδιακής δραστηριότητας, της δραστηριότητας του εγκεφάλου και της δραστηριότητας των οφθαλμών (π.χ η διαστολή της κόρης, ο ρυθμός βλεφαρίσματος).

Η μεταβλητότητα του καρδιακού ρυθμού θεωρείται από τους Paas και van Merriënboer αναξιόπιστη και χαμηλής ευαισθησίας ως τεχνική μέτρησης του γνωστικού φορτίου [54] και οι Nickel και Nachreiner τη θεωρούν χρήσιμη ως δείκτη της πίεσης του χρόνου ή της συναισθηματικής καταπόνησης [60].

Από τις υπόλοιπες, η αξιοποίηση της απόκρισης της κόρης του οφθαλμού φαίνεται να αποτελεί ένα εξαιρετικά ευαίσθητο μέσο για την ανίχνευση των διακυμάνσεων του γνωστικού φορτίου. Οι Beatty και Lucero-Wagoner διέκριναν τρεις διαφορετικές αποκρίσεις της κόρης που προκαλούνται κατά την εκτέλεση μίας εργασίας: μέση διαστολή της κόρης, μέγιστη διαστολή και καθυστέρηση στην κορυφή [61]. Αυτές οι τρεις αποκρίσεις εντείνονται σε συνάρτηση με το γνωστικό φορτίο, με τη μέση διαστολή να αποτελεί μία χρήσιμη απόκριση για τη μέτρηση του γνωστικού φορτίου σύμφωνα με τον van Gerven και τους συνεργάτες του [62]. Παρά την ευαισθησία της ως τεχνική έχει αξιοποιηθεί σε περιορισμένο αριθμό ερευνών. Επίσης, υπάρχουν ενδείξεις ότι η ευαισθησία της τεχνικής αυτής στη μέτρηση των μεταβολών του φόρτου εργασίας μειώνεται με την ηλικία των συμμετεχόντων στην έρευνα [62].

Ένα πολλά υποσχόμενο πεδίο φαίνεται να αποτελεί η εκτίμηση του γνωστικού φορτίου με τη χρήση νευρο-απεικονιστικών τεχνικών, παρότι υπάρχουν ερωτήματα σχετικά με τον τρόπο που σχετίζονται οι δραστηριότητες του εγκεφάλου με το γνωστικό φορτίο [58].

2.2.3 Τεχνικές στηριζόμενες στη δραστηριότητα και την επίδοση

Η κατηγορία αυτή των τεχνικών περιλαμβάνει δύο υποκατηγορίες :

- Τεχνικές μέτρησης κύριας δραστηριότητας, που στηρίζονται στην επίδοση στη δραστηριότητα

- Μεθοδολογία δευτερεύουσας δραστηριότητας, που στηρίζεται στην επίδοση σε δραστηριότητα που γίνεται ταυτόχρονα με την κύρια

Παραδείγματα δευτερευουσών δραστηριοτήτων μπορεί να είναι μία εργασία παρακολούθησης όπως η όσο πιο γρήγορη απόκριση σε μία χρωματική αλλαγή [63] ή σε μεταβολή του χρώματος του βάθους της οθόνης [64] ή ο εντοπισμός ενός απλού ακουστικού ερεθίσματος [65] ή ενός οπτικού ερεθίσματος, όπως για παράδειγμα η εμφάνιση ενός έγχρωμου γράμματος στην οθόνη [66]. Μεταβλητές που σχετίζονται με την επίδοση είναι ο χρόνος απόκρισης, η ακρίβεια και το ποσοστό σφάλματος. Η αρχή στην οποία στηρίζονται οι τεχνικές αυτές είναι ότι η καθυστέρηση και ανακριβής εκτέλεση της δευτερεύουσας δραστηριότητας αποτελούν ενδείξεις κατανάλωσης περισσότερων γνωστικών πόρων από την εκτέλεση της κύριας δραστηριότητας. Οι τεχνικές των διπλών δραστηριοτήτων πλεονεκτούν έναντι, για παράδειγμα, του ερωτηματολογίου στη μέτρηση του γνωστικού φορτίου τη στιγμή που αυτό σημειώνεται. Παρ' όλη την πολύ υψηλή ευαισθησία και αξιοπιστία της, η τεχνική αυτή σπάνια εφαρμόζεται [58].

Η μέτρηση του γνωστικού φορτίου έχει συμβάλει στην προαγωγή της θεωρίας του γνωστικού φορτίου, καθώς προσφέρει μία εμπειρική βάση για τις υποθετικές επιπτώσεις των εκπαιδευτικών παρεμβάσεων στο γνωστικό φορτίο και καθιστά δυνατό τον υπολογισμό της σχετικής πνευματικής αποτελεσματικότητας των εκπαιδευτικών συνθηκών [54].

Τέλος, υπάρχουν τρία προβλήματα που σχετίζονται με τη μέτρηση του γνωστικού φορτίου. Το πρώτο είναι ότι οι μετρήσεις πάντοτε παρουσιάζονται ως σχετικές. Το δεύτερο είναι ότι η συνολική βαθμολόγηση του γνωστικού φορτίου δεν συμβάλλει πολύ στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων σύμφωνα με τη θεωρία του γνωστικού φορτίου εξαιτίας της διαφορετικής συμβολής στη μάθηση των διαφορετικών μορφών γνωστικού φορτίου. Και το τρίτο είναι ότι οι πιο συχνά αξιοποιούμενες μετρήσεις δεν παρουσιάζουν ευαισθησία στις μεταβολές με το πέρασμα του χρόνου [58].

2.3 Πνευματική απόδοση και εκπαιδευτικές συνθήκες

Οι μεμονωμένες μετρήσεις του γνωστικού φορτίου είναι σημαντικές για τον προσδιορισμό της ισχύος των διαφορετικών εκπαιδευτικών συνθηκών. Για να

ερμηνευτεί σωστά ένα δεδομένο επίπεδο γνωστικού φορτίου θα πρέπει να συνδυαστεί με το αντίστοιχο επίπεδο εκτέλεσης της δραστηριότητας. Προκειμένου να συνδυάσουν τις μετρήσεις την νοητικής προσπάθειας με τις μετρήσεις της απόδοσης στην κύρια δραστηριότητα και να καταλήξουν σε μία σύγκριση της πνευματικής αποτελεσματικότητας των εκπαιδευτικών συνθηκών, οι Paas και van Merriënboer ανέπτυξαν μία υπολογιστική εξίσωση προσδιορισμού της πνευματικής αποτελεσματικότητας [54].

Ως νοητική προσπάθεια (mental effort) ορίζεται η συνολική ποσότητα ελεγχόμενης νοητικής επεξεργασίας στην οποία εμπλέκεται ένα άτομο. Ως απόδοση (performance) ορίζεται η αποτελεσματικότητα στην επίτευξη μίας συγκεκριμένης δραστηριότητας [54].

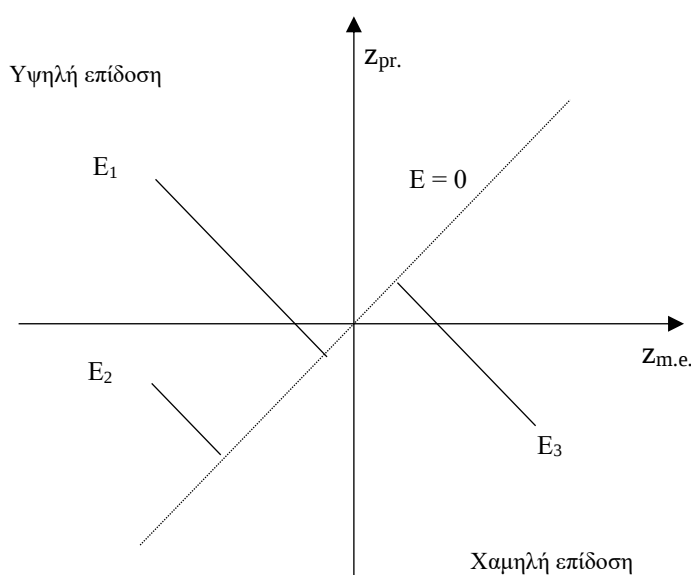
Οι πολύπλοκες σχέσεις μεταξύ νοητικής προσπάθειας και απόδοσης μπορούν να αξιοποιηθούν προκειμένου να γίνει σύγκριση της πνευματικής αποτελεσματικότητας των εκπαιδευτικών συνθηκών με τέτοιο τρόπο που η ανταπόκριση του εκπαιδευόμενου σε συγκεκριμένες εκπαιδευτικές συνθήκες να θεωρείται πιο αποτελεσματική αν η απόδοσή του είναι υψηλότερη από την αναμενόμενη με βάση την καταβαλλόμενη νοητική προσπάθεια ή λιγότερο αποτελεσματική αν η καταβαλλόμενη νοητική προσπάθεια είναι χαμηλότερη από την αναμενόμενη με βάση την απόδοσή του.

Εντός των ορίων της γνωστικής τους ικανότητας, οι μαθητές μπορούν να αντισταθμίζουν την αύξηση του πνευματικού φορτίου (π.χ. πολυπλοκότητα εργασιών) επενδύοντας περισσότερη πνευματική προσπάθεια και διατηρώντας έτσι την απόδοση σε ένα σταθερό επίπεδο. Συνεπώς, το γνωστικό κόστος που συνδέεται με μια συγκεκριμένη απόδοση δεν μπορεί να συναχθεί από μετρήσεις της απόδοσης μόνο. Αντ' αυτού, ο συνδυασμός των μετρήσεων της νοητικής προσπάθειας και της απόδοσης μπορεί να αποκαλύψει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με το γνωστικό φορτίο, που δεν αντανakλάται αναγκαστικά στις μετρήσεις της απόδοσης και του πνευματικού φορτίου. Η προσέγγιση των Paas και van Merriënboer παρέχει ένα εργαλείο για τη συσχέτιση της νοητικής προσπάθειας με την απόδοση [54]. Στην προσέγγιση αυτή, η υψηλή απόδοση σε μία δραστηριότητα που συνδέεται με χαμηλή προσπάθεια καλείται *υψηλή εκπαιδευτική αποδοτικότητα* (high-instructional efficiency), ενώ η χαμηλή επίδοση σε μία δραστηριότητα με καταβολή

αντίστοιχα μεγάλης προσπάθειας καλείται *χαμηλή εκπαιδευτική αποδοτικότητα* (low-instructional efficiency) [59].

Στην υπολογιστική αυτή προσέγγιση, ο βαθμός του μαθητή για την νοητική προσπάθεια και την απόδοση τυποποιούνται και προκύπτει ένας δείκτης z για τη νοητική προσπάθεια ($z_{m.e.}$) και ένας δείκτης z για την απόδοση ($z_{pr.}$). Στη συνέχεια υπολογίζεται ο *δείκτης αποδοτικότητας εκπαιδευτικών συνθηκών* E (instructional condition efficiency score) για κάθε μαθητή που αντιστοιχεί στην απόσταση ενός σημείου με συντεταγμένες $(x,y) = (z_{m.e.}, z_{pr.})$ από την ευθεία « $E = 0$ », όπου η νοητική προσπάθεια και η επίδοση είναι σε ισορροπία. Η μαθηματική σχέση υπολογισμού του δείκτη E είναι: $E = \frac{|z_{m.e.} - z_{pr.}|}{\sqrt{2}}$ με την τετραγωνική ρίζα του 2 στον παρονομαστή να προκύπτει από το γενικό τύπο υπολογισμού της απόστασης σημείου $A(x,y)$ από την ευθεία ϵ με εξίσωση $x-y = 0$. Ακολουθώντας, μπορεί να απεικονιστεί γραφικά ο δείκτης E σε ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων με τον οριζόντιο άξονα να είναι ο άξονας του $z_{m.e.}$ και ο κατακόρυφος άξονας του $z_{pr.}$. Το πρόσημο του δείκτη E καθορίζεται από τη διαφορά $z_{pr.} - z_{m.e.}$. Όταν $z_{m.e.} - z_{pr.} > 0$ τότε $E < 0$ και όταν $z_{m.e.} - z_{pr.} < 0$ τότε $E > 0$.

Έστω ότι για τρεις διαφορετικές εκπαιδευτικές παρεμβάσεις προκύπτουν οι αντίστοιχοι δείκτες E_1 , E_2 και E_3 . Στο σχήμα 1 απεικονίζονται γραφικά.



Σχήμα 1 Γραφική απεικόνιση δεικτών

Από το σχήμα αυτό φαίνεται πως υψηλότερη εκπαιδευτική απόδοση παρουσιάζει η παρέμβαση με δείκτη E_1 όπου η υψηλή απόδοση επιτεύχθηκε

με την καταβολή σχετικά μικρής νοητικής προσπάθειας. Αντίθετα, χαμηλότερης εκπαιδευτικής απόδοσης είναι η παρέμβαση με δείκτη E_3 όπου διαπιστώνεται χαμηλή απόδοση με την καταβολή υψηλής νοητικής προσπάθειας.

Όλα τα σημεία μίας ευθείας που διέρχεται από ένα σημείο E_i και είναι παράλληλη της $E = 0$ υποτίθεται ότι αντιπροσωπεύουν τη νοητική προσπάθεια. Μετατωπίσεις προς τα επάνω και αριστερά του συστήματος συντεταγμένων δηλώνουν αύξηση της αποδοτικότητας (υψηλότερη απόδοση με σχετικά χαμηλή νοητική προσπάθεια) και μετατωπίσεις προς τα κάτω και δεξιά δηλώνουν μείωση της αποδοτικότητας (χαμηλότερη απόδοση με σχετικά υψηλή νοητική προσπάθεια) [54].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Διαδραστικές προσομοιώσει PhET

Οι διαδραστικές προσομοιώσεις PhET (Physics Education Technology) αποτελούν έναν μη κερδοσκοπικό ανοιχτό εκπαιδευτικό πόρο (open educational resource, OER) και αποτελούν έργο του Πανεπιστημίου Boulder του Κολοράντο. Ξεκίνησαν το 2002 από τον κάτοχο του βραβείου Νόμπελ Carl Wieman και το όραμά του να βελτιώσει 1) τον τρόπο με τον οποίο διδάσκεται και μαθαίνεται η επιστήμη και τα μαθηματικά και 2) τη μόρφωση και την εκπαίδευση παγκόσμια μέσα από ελεύθερες διαδραστικές προσομοιώσεις.

Το ακρωνύμιο του έργου PhET σήμαινε αρχικά "Τεχνολογία εκπαίδευσης φυσικής," αλλά το PhET σύντομα επεκτάθηκε και σε άλλους τομείς. Το έργο τώρα σχεδιάζεται, αναπτύσσεται και εκδίδεται σε πάνω από 125 ελεύθερες διαδραστικές προσομοιώσεις για εκπαιδευτική χρήση στους τομείς Φυσικής, Χημείας, Βιολογίας, στις Επιστήμες γης και περιβάλλοντος και τα Μαθηματικά. Οι προσομοιώσεις έχουν μεταφραστεί σε πάνω από 65 διαφορετικές γλώσσες, συμπεριλαμβανομένων των ελληνικών και ο ιστότοπος PhET (<https://phet.colorado.edu/>) δέχεται εκατομμύρια επισκέπτες κάθε χρόνο.

3.1 Ιστορικό

Το 2001, ο Wieman κέρδισε το Βραβείο Νόμπελ Φυσικής, μαζί με τους Eric Cornell και Wolfgang Ketterle για βασικές μελέτες στο συμπύκνωμα Bose-Einstein. Μετά τη λήψη του βραβείου Νόμπελ, ο Wieman ενεπλάκη έντονα στις προσπάθειες βελτίωσης της Διδακτικής των φυσικών επιστημών και διεξήγαγε εκπαιδευτικές έρευνες στην εκπαίδευση της επιστήμης. Βοήθησε στη συγγραφή του Physics 2000 όπου παρείχε προσομοιώσεις που εξηγούσαν την εργασία του στη δημιουργία του συμπυκνώματος Bose-Einstein. Καθώς έδινε δημόσιες διαλέξεις, παρατήρησε ότι συχνά οι προσομοιώσεις ήταν το πρώτο πράγμα που θυμόντουσαν τα άτομα από την ομιλία μου. Με βάση τις ερωτήσεις και τα σχόλια τους, φάνηκε ότι μάθαιναν σύμφωνα με τις παρουσιαζόμενες προσομοιώσεις φυσικής. Έπειτα διέθεσε χρήματα από μια χορηγία του διακεκριμένου προγράμματος σχολικών διδασκαλιών του National Science Foundation, του ιδρύματος Kavli και ένα μέρος από τα χρήματα του βραβείου Νόμπελ για να χρηματοδοτήσει το PhET ώστε να βελτιωθεί ο τρόπος που

διδάσκεται και μαθαίνεται η φυσική. Οι προσομοιώσεις PhET διαφέρουν από τις προσομοιώσεις του Physics 2000, επειδή οι χρήστες μπορούν να αλληλεπιδράσουν με την προσομοίωση για να αλλάξουν τις συνθήκες, ενώ οι προσομοιώσεις Physics 2000 είναι απλά βίντεο.

3.2 Σχεδίαση

Οι διαδραστικές προσομοιώσεις PhET ενσωματώνουν πρακτικές με βάση την έρευνα στην ενεργή διδασκαλία για να βελτιώσουν την εκμάθηση των εννοιών της επιστήμης και των μαθηματικών και σχεδιάζονται έτσι ώστε να είναι ευπροσάρμοστες για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως επιδείξεις σε διαλέξεις, σε εργαστήρια ή σε οικιακές δραστηριότητες.

Οι προσομοιώσεις χρησιμοποιούν ένα διαισθητικό περιβάλλον, παρόμοιο με παιχνίδι, όπου ο εκπαιδευόμενος μπορεί να μάθει μέσα από μια απλοποιημένη επιστημονική προσέγγιση, όπου οι δυναμικές οπτικές αναπαραστάσεις κάνουν το αόρατο ορατό και οι επιστημονικές ιδέες συσχετίζονται με τα πραγματικά φαινόμενα.

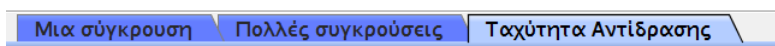
Η ομάδα που συμμετέχει στον σχεδιασμό των προσομοιώσεων δεν είναι σταθερή αλλά αλλάζει με την πάροδο του χρόνου. Αποτελείται από περίπου 16 μέλη τα οποία είναι καθηγητές, μεταδιδακτορικοί σπουδαστές, ερευνητές, ειδικοί της εκπαίδευσης, μηχανικοί λογισμικού, εκπαιδευτικοί και διοικητικοί βοηθοί.

Μια προσομοίωση PhET ξεκινά με τρία έως πέντε άτομα συμπεριλαμβανομένων ενός ειδικού του εξεταζόμενου θέματος, ενός εκπαιδευτικού, ενός εκπαιδευτικού ερευνητή και ενός επαγγελματία ανάπτυξης λογισμικού. Η σχεδίαση ξεκινά με την ταυτοποίηση των συγκεκριμένων εκπαιδευτικών σκοπών που έχουν αποδειχθεί εννοιολογικά δύσκολες με βάση την εμπειρία των δασκάλων στην τάξη. Τα μέλη της ομάδας συζητούν το σχέδιο, την εμφάνιση και την αίσθηση της προσομοίωσης, ετοιμάζουν προσχέδια της και αφού καταλήξουν σε συμφωνία γίνεται τελικά η κωδικοποίησή της. Κάθε προσομοίωση εξετάζεται από τους χρήστες μέσα από συνεντεύξεις με σπουδαστές και στις τάξεις, επεξεργάζεται ξανά όταν χρειάζεται και ξαναδοκιμάζεται, πριν εμφανιστεί στον ιστότοπο του PhET.

Για τη δημιουργία του αλγορίθμου των προσομοιώσεων χρησιμοποιείται η αντικειμενοστραφής γλώσσα Java.

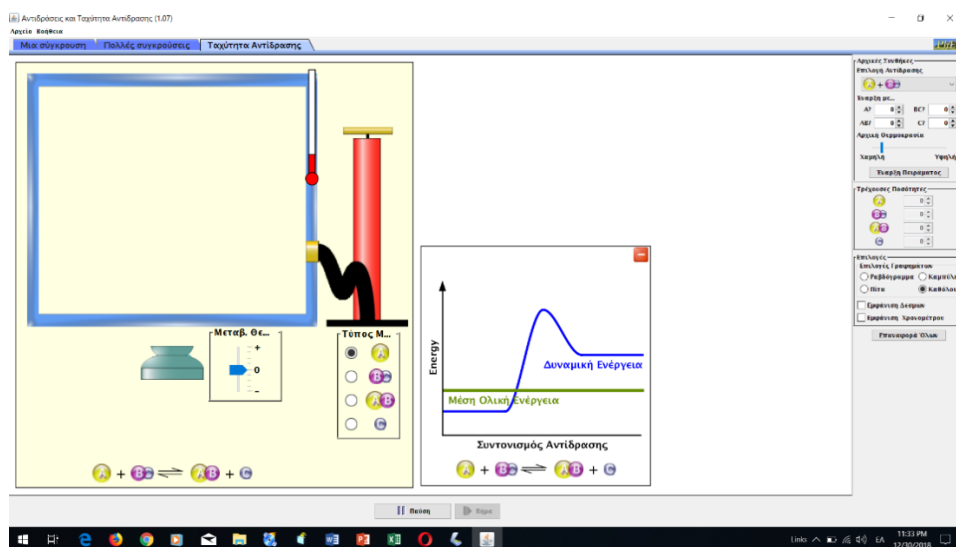
3.3 Παρουσίαση προσομοίωσης PhET Αντιδράσεις και Ταχύτητα Αντίδρασης (1.07)

Η προσομοίωση PhET Αντιδράσεις και Ταχύτητα Αντίδρασης (1.07) επιτρέπει στον χρήστη να επιλέξει να εργαστεί σε τρία διαφορετικά περιβάλλοντα : Μία σύγκρουση – Πολλές συγκρούσεις – Ταχύτητα Αντίδρασης



Σχήμα 2 : Μενού προσομοίωσης PhET Αντιδράσεις και Ταχύτητα Αντίδρασης (1.07)

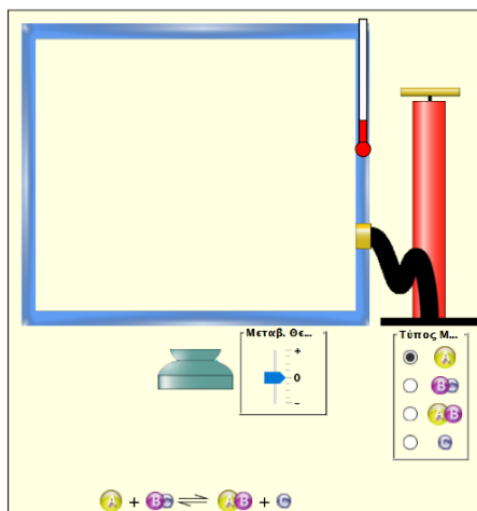
Για την απάντηση στα δύο ερωτήματα του φύλλου εργασίας του μαθητή θα αξιοποιηθεί το περιβάλλον Ταχύτητα Αντίδρασης. Κάνοντας αυτή την επιλογή ο χρήστης, του ανοίγει ένα παράθυρο στο οποίο διακρίνονται τρία πεδία :



Σχήμα 3 : Επιφάνεια εργασίας προσομοίωσης "Ταχύτητα Αντίδρασης"

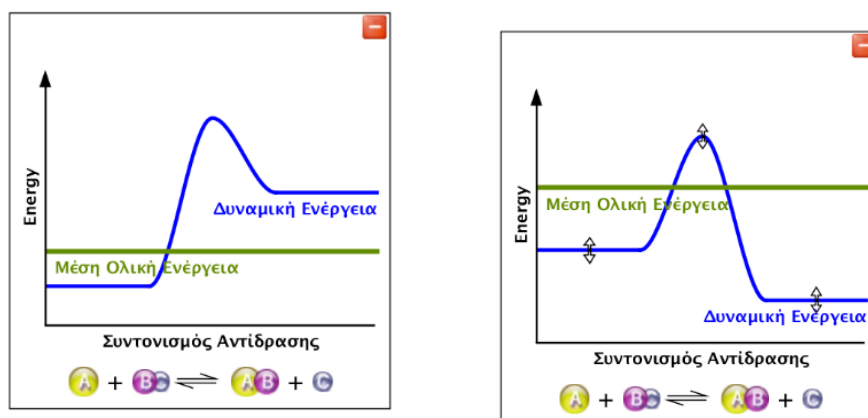
α) στο πρώτο πεδίο παρουσιάζεται i) το κλειστό δοχείο (σε δύο διαστάσεις) σταθερού όγκου στο οποίο πραγματοποιείται η χημική αντίδραση που μελετάται, ii) μία αντλία εισαγωγής κατ' επιλογή μορίων αντιδρώντων και προϊόντων οποιαδήποτε στιγμή της εξέλιξης της αντίδρασης, iii) μία πηγή θερμότητας με επιλογέα που επιτρέπει την αύξηση ή τη μείωση της

θερμοκρασίας του συστήματος των αντιδρώντων και των προϊόντων iv) και η χημική εξίσωση της αντίδρασης που μελετάται.



Σχήμα 4 : Πρώτο πεδίο επιφάνειας εργασίας προσομοίωσης "Ταχύτητας Αντίδρασης"

β) στο δεύτερο πεδίο υπάρχει η δυνατότητα εμφάνισης ή όχι του ενεργειακού διαγράμματος της αντίδρασης. Στην περίπτωση που ο χρήστης επιλέξει να σχεδιάσει τη δική του αντίδραση, του δίνεται η δυνατότητα να μεταβάλλει τη δυναμική ενέργεια αντιδρώντων και προϊόντων καθώς και την ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης.

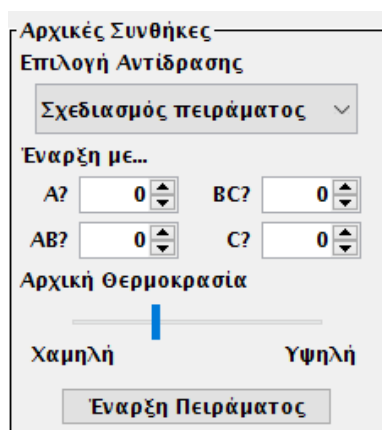


Σχήμα 5 : Ενεργειακό διάγραμμα αντίδρασης και επιλογών μεταβολής ενεργειών

γ) στο τρίτο πεδίο υπάρχουν τρία υποπεδία :

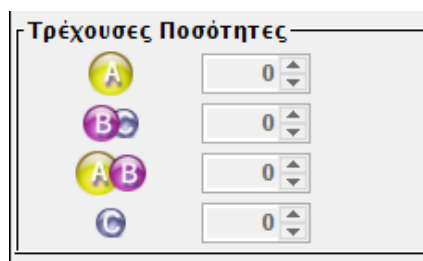
- το πρώτο αφορά τις αρχικές συνθήκες του συστήματος και υπάρχει η δυνατότητα i) επιλογής είτε μίας αντίδρασης από τις τέσσερις με προκαθορισμένο ενεργειακό προφίλ ή να σχεδιάσει ο χρήστης τη δική του αντίδραση (δες β), ii) εισαγωγής του αρχικού αριθμού μορίων αντιδρώντων και προϊόντων είτε πληκτρολογώντας τον επιθυμητό αριθμό αυτών είτε με τη χρήση

βελών και iii) επιλογής αρχικής θερμοκρασίας με τη χρήση επιλογέα. Αλλάζοντας την αρχική θερμοκρασία μεταβάλλεται η συνολική μέση ενέργεια του συστήματος που εμφανίζεται στο ενεργειακό διάγραμμα ως μία οριζόντια πράσινη γραμμή (σχήμα 6). Στο ίδιο πεδίο υπάρχει και το κουμπί έναρξης του πειράματος.



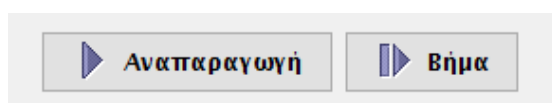
**Σχήμα 6 : Πρώτο υποπεδίο τρίτου πεδίου επιφάνειας εργασίας προσομοίωσης
"Ταχύτητα Αντίδρασης"**

- στο δεύτερο παρουσιάζεται ο αριθμός των μορίων κάθε ουσίας σε πραγματικό χρόνο και τον οποίο μπορεί ο χρήστης μπορεί να αυξομειώσει είτε με τη χρήση των βελών είτε εισάγοντας την επιθυμητή τιμή.



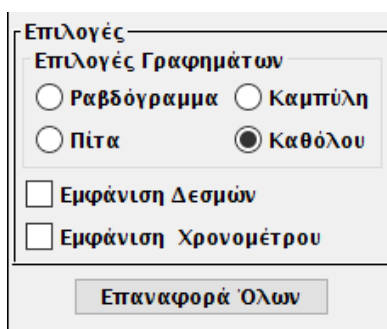
**Σχήμα 7 : Δεύτερο υποπεδίο τρίτου πεδίου επιφάνειας εργασίας προσομοίωσης
"Ταχύτητα Αντίδρασης"**

Κάτω από το πρώτο και το δεύτερο υποπεδίο υπάρχουν δύο κουμπιά το Αναπαραγωγή / Παύση και το Βήμα που επιτρέπουν στο χρήστη i) να διακόψει και να ξεκινήσει από το σημείο διακοπής την αντίδραση στο δοχείο ii) να προχωρήσει την αντίδραση (αφού έχει προηγηθεί η διακοπή της) βήμα – βήμα.



Σχήμα 8 : Κουμπιά Αναπαραγωγής / Παύσης και Βήματος Αντίδρασης

- στο τρίτο υποπεδίο ο χρήστης μπορεί να επιλέξει, αν θέλει, να εμφανίζονται i) στο δεύτερο πεδίο η μεταβολή του αριθμού των μορίων των ουσιών που μετέχουν στην αντίδραση στην πορεία της αντίδρασης υπό τη μορφή μπαρών, πίτας, γραμμικά ή καθόλου και με το χρήστη να μπορεί να μεταβάλλει την κλίμακα του κατακόρυφου άξονα στην παρουσίαση των μεταβολών σε μορφή μπαρών ή γραμμικά, ii) οι δεσμοί μεταξύ των δομικών μονάδων των ουσιών στο δοχείο της αντίδρασης, iii) ένα χρονόμετρο του οποίου τη θέση μπορεί να αλλάξει ο χρήστης σύροντάς το με το ποντίκι οπουδήποτε στο παράθυρο της προσομοίωσης. Το χρονόμετρο διαθέτει κουμπιά για τη διακοπή / επανέναρξη της χρονομέτρησης και επαναφοράς στο 0.00. Κάθε μονάδα χρόνου στο χρονόμετρο (που στο εξής θα συμβολίζεται μ.χ) αντιστοιχεί περίπου σε 1 sec.



**Σχήμα 9 : Τρίτο υποπεδίο τρίτου πεδίου επιφάνειας εργασίας προσομοίωσης
"Ταχύτητα Αντίδρασης"**

Κάτω ακριβώς από αυτό το τρίτο υποπεδίο υπάρχει το κουμπί Επαναφοράς Όλων των παραμέτρων της προσομοίωσης σε μία συγκεκριμένη κατάσταση.

Παρατηρήσεις για τη μοντελοποίηση που αξιοποιείται στο λογισμικό της προσομοίωσης

1) Η προσομοίωση έχει σχεδιαστεί ώστε να βοηθηθεί ο μαθητής στην οπτικοποίηση των αμφίδρομων αντιδράσεων, ο αριθμός των μορίων είναι μικρός (0 – 100) και δεν μπορούν να εξαχθούν ποσοτικά συμπεράσματα.

2) Η Μέση Ολική Ενέργεια είναι το άθροισμα της κινητικής και δυναμικής ενέργειας των μορίων αντιδρώντων και προϊόντων. Κατά τη σύγκρουση δύο σωματιδίων (που για λόγους απλοποίησης θεωρείται ελαστική) η μεταβολή της δυναμικής ενέργειας υπολογίζεται με κατάλληλη προσαρμογή της κινητικής ενέργειας.

3) Κατά την πρόσθεση / αφαίρεση ενέργειας, η μεταβολή της ενέργειας γίνεται αμέσως αντιληπτή στη μεταβολή της κίνησης των μορίων (πιο γρήγορη ή πιο αργή αντίστοιχα) στο δοχείο της αντίδρασης. Στον πραγματικό κόσμο, πρώτα θα μεταβληθεί η θερμοκρασία του δοχείου και στη συνέχεια θα μεταβληθεί η ενέργεια των σωματιδίων λόγω σύγκρουσης, διάδοσης ή σκέδασης.

4) Το μέγεθος των σωματιδίων δεν λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς του λογισμικού. Τα διαφορετικά χρώματα και μεγέθη των σωματιδίων αποσκοπούν στην καλύτερη αντίληψη των μαθητών.

3.4 Παρουσίαση προγράμματος OBS Studio

Πρόκειται για ένα ανοιχτού κώδικα πρόγραμμα καταγραφής video και κορυφαία εφαρμογή για streaming όσων συμβαίνουν στην οθόνη του υπολογιστή. Είναι γραμμένο σε γλώσσα C και C++, γεγονός που το καθιστά εξαιρετικά γρήγορο, και εκπέμπει προς όλες τις γνωστές – αλλά και άγνωστες – υπηρεσίες streaming της εποχής: Twitch.tv, Youtube/Youtube Gaming, hitbox, beam.pro, Daily Motion, Livecoding.tv, Web.Tv, Facebook κ.ά.

Επίσης, μπορεί να αξιοποιηθεί για την καταγραφή video όσων συμβαίνουν στην οθόνη του υπολογιστή αλλά και παιχνιδιών. Αξιοποιεί τις δυνατότητες του DirectX 11 αλλά μπορεί να ρυθμιστεί και για OpenGL. Για το encoding του video χρησιμοποιεί μεταξύ άλλων, τις δυνατότητες codec όπως οι x264 free software library, Intel Quick Sync Video και Nvidia NVENC για να δημιουργήσει video streams σε H.264/MPEG-4 AVC format, προσφέροντας όσο το δυνατόν καλύτερη αναλογία ανάμεσα στο μέγεθος του αρχείου με την καλύτερη ποιότητα. Μοναδικό του μειονέκτημα η σχετική πολυπλοκότητα για την ρύθμισή του που μπορεί να αποθαρρύνει τον αρχάριο χρήστη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Σκοπός της προτεινόμενης εργασίας είναι η διερεύνηση της αποτελεσματικότητας δύο διαφορετικών τρόπων αλληλεπίδρασης των μαθητών με μία προσομοίωση σε υπολογιστή όπου στη μία οι μαθητές θα αλλάζουν τις τιμές μίας μεταβλητής της προσομοίωσης και στην άλλη θα παρακολουθούν βίντεο της προσομοίωσης με όποια σειρά και ρυθμό θέλουν. Τα ερευνητικά ερωτήματα (Ε.Ε) και οι αντίστοιχες υποθέσεις (Υ) είναι τα εξής :

1^ο Ε.Ε: *Η αλληλεπίδραση μέσω πειραματισμού είναι αποτελεσματικότερη από την αλληλεπίδραση μέσω παρατήρησης κατά την εφαρμογή προσομοίωσης σε υπολογιστή για τον προσδιορισμό των παραγόντων που επηρεάζουν τη θέση Χημικής Ισορροπίας και του τρόπου που αυτοί την επηρεάζουν ;*

Υ : Αναμένεται οι μαθητές που θα αλλάζουν τις τιμές των μεταβλητών i) αριθμός μορίων αντιδρώντων – προϊόντων και ii) θερμοκρασία στην προσομοίωση να επιτύχουν καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα συγκριτικά με εκείνους που θα παρακολουθήσουν βίντεο της προσομοίωσης.

2^ο Ε.Ε: *Η αλληλεπίδραση μέσω πειραματισμού προκαλεί αυξημένο γνωστικό φορτίο σε σύγκριση με την αλληλεπίδραση μέσω παρατήρησης κατά τον προσδιορισμό των παραγόντων που επηρεάζουν τη θέση Χημικής Ισορροπίας και του τρόπου που αυτοί την επηρεάζουν ;*

Υ : Αναμένεται στους μαθητές που θα αλλάζουν τις τιμές στις μεταβλητές της προσομοίωσης να παρουσιαστεί αυξημένο γνωστικό φορτίο (εξωγενές) συγκριτικά με εκείνους που θα παρακολουθήσουν βίντεο της προσομοίωσης.

4.1 Μέθοδος

4.1.1 Συμμετέχοντες

Στην έρευνα συμμετείχαν 30 μαθητές (14 αγόρια και 16 κορίτσια) της Β' τάξης του 7^{ου} Ημερήσιου Γενικού Λυκείου Αθηνών και 31 μαθητές (15 αγόρια και 16 κορίτσια) της Β' τάξης του 4^{ου} Ημερήσιου Γενικού Λυκείου Χαλανδρίου. Όλοι ήταν μαθητές που είχαν επιλέξει την ομάδα προσανατολισμού Θετικών σπουδών, δεν είχαν καμία πρότερη γνώση για την ενότητα στην οποία θα εφαρμοζόταν η διδακτική παρέμβαση και που στην Γ' τάξη θα συνεχίσουν με

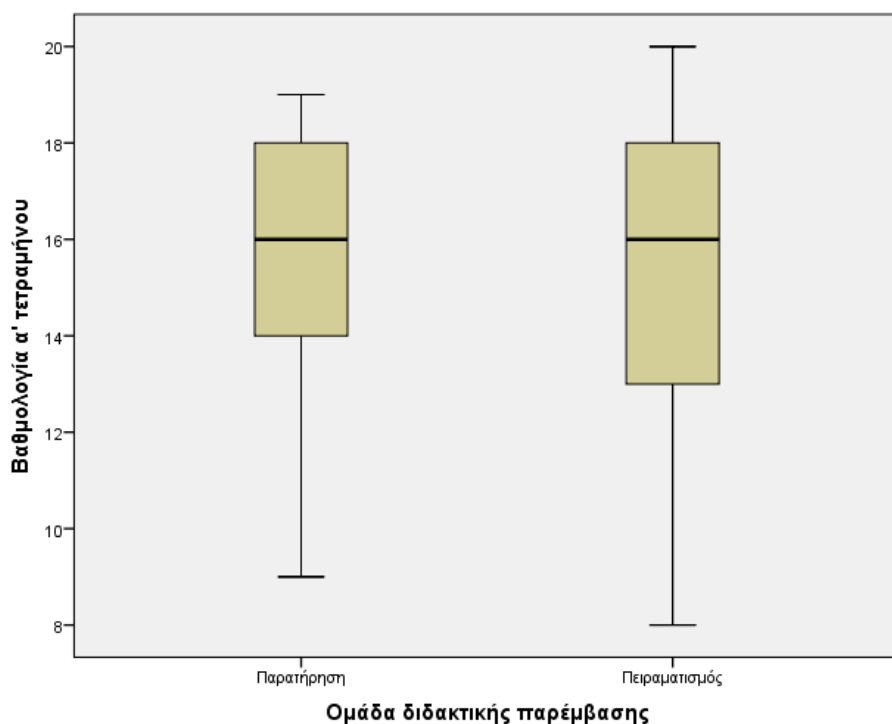
την ίδια ομάδα προσανατολισμού. Οι μαθητές κάθε σχολείου χωρίστηκαν τυχαία σε δύο ομάδες, την ομάδα της παρατήρησης (Ο1) και την ομάδα του πειραματισμού (Ο2). Για τον χωρισμό των μαθητών σε ομάδες εφαρμόστηκε η προτεινόμενη στο άρθρο *The mechanics of random assignment using MS Excel* τεχνική [67].

Αναλυτικά οι ομάδες που προέκυψαν παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα :

Πίνακας 1 : Κατανομή μαθητών ανά ομάδα και σχολείο

	7 ^ο ΓΕΛ Αθηνών		4 ^ο ΓΕΛ Χαλανδρίου	
	Αγόρια	Κορίτσια	Αγόρια	Κορίτσια
Ομάδα παρατήρησης	7	8	7	7
Ομάδα πειραματισμού	7	8	8	9

Για τον έλεγχο της διαφοροποίησης ή μη των δύο ομάδων ως προς τη σύνθεσή τους ως κριτήριο επιλέχθηκε η βαθμολογία του α΄ τετράμηνου στο μάθημα της Χημείας και εφαρμόστηκε ο έλεγχος μέσων τιμών Mann – Whitney U test και όχι ο έλεγχος μέσων τιμών t-test, αφού διαπιστώθηκε ότι ενώ δεν υπάρχουν ακραίες παρατηρήσεις (γράφημα 1), ο έλεγχος της κανονικότητας με το στατιστικό τεστ των Shapiro – Wilk έδειξε μη κανονική κατανομή του πληθυσμού από τον οποίο προήλθε το κάθε τυχαίο δείγμα. (Πίνακας 2).



Γράφημα 1 : Θηκόγραμμα για τις βαθμολογίες των μαθητών στο μάθημα της Χημείας στο α' τετράμηνο ανά ομάδα διδακτικής παρέμβασης

Πίνακας 2 : Αποτελέσματα ελέγχου κανονικότητας βαθμολογιών μαθητών στο pre-test ανά ομάδα διδακτικής παρέμβασης

	Ομάδα παρέμβασης	Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
βαθμολογία α' τετράμηνο	παρατήρησης	,889	29	,006
	πειραματισμού	,921	32	,022

Από τα αποτελέσματα του ελέγχου προκύπτει ότι η κατανομή του πληθυσμού σε ότι αφορά τη βαθμολογία του α' τετράμηνο δε είναι προσεγγιστικά κανονική για καμία από τις δύο ομάδες ($p < 0,05$).

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις των δύο παραμέτρων για κάθε μία ομάδα καθώς και τα αποτελέσματα του ελέγχου μέσω των τιμών Mann – Whitney U.

**Πίνακας 3 : Αποτελέσματα ελέγχου κανονικότητας βαθμολογιών μαθητών στο pre-test
ανά ομάδα διδακτικής παρέμβασης**

	Ομάδα παρέμβασης	Πλήθος	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Mann-Whitney U	Z	Sig.
Βαθμολογία α' τετράμηνου	Παρατήρησης	29	15,59	2,719	458,000	-,078	,930
	Πειραματισμού	32	15,22	3,572			

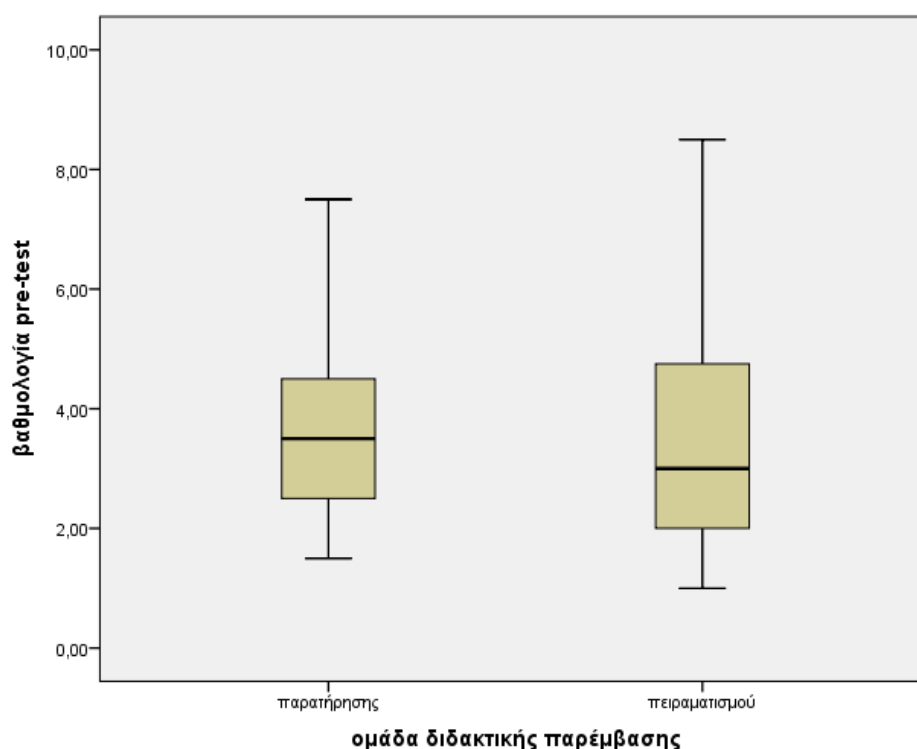
Από τα αποτελέσματα παρατηρούμε ότι η μέση βαθμολογία των μαθητών της ομάδας Ο1 είναι μεγαλύτερος από εκείνη των μαθητών της Ο2 ($M = 15,59$ και $M = 15,22$ αντίστοιχα), ωστόσο η διαφορά αυτή δεν είναι στατιστικά σημαντική ($Z = -0,078$, $p > 0,05$). Άρα, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι οι δύο ομάδες είναι ισοδύναμες.

Κριτήριο του τι γνώριζαν οι μαθητές σχετικά με τους παράγοντες που επηρεάζουν τη θέση μίας χημικής ισορροπίας και του τρόπου που αυτοί την επηρεάζουν αποτέλεσε η επίδοσή τους στο pre-test.

Για τον έλεγχο της διαφοροποίησης των μαθητών των δύο ομάδων ως προς την επίδοσή τους στο pre-test εφαρμόστηκε ο έλεγχος μέσων τιμών t-test, αφού πρώτα διαπιστώθηκε ότι :

- δεν υπάρχουν ακραίες παρατηρήσεις και
- η κατανομή του πληθυσμού από τον οποίο προήλθε το κάθε τυχαίο δείγμα είναι η κανονική κατανομή

Ο πρώτος έλεγχος έγινε γραφικά με τη βοήθεια θηκογράμματος (boxplot) από το οποίο διαπιστώθηκε ότι δεν υπάρχουν ακραίες παρατηρήσεις (γράφημα 2)



Γράφημα 2 : Θηκόγραμμα για τις βαθμολογίες των μαθητών στο pre-test ανά ομάδα διδακτικής παρέμβασης

Ο έλεγχος της κανονικότητας έγινε με το στατιστικό τεστ των Shapiro-Wilk (Πίνακας 1) και από τα οποία προκύπτει ότι η κατανομή του πληθυσμού από τον οποίο προέρχεται το κάθε δείγμα είναι προσεγγιστικά κανονική ($p > 0,05$ και για τις δύο ομάδες).

Πίνακας 4 : Αποτελέσματα ελέγχου κανονικότητας βαθμολογιών μαθητών στο pre-test ανά ομάδα διδακτικής παρέμβασης

	Ομάδα παρέμβασης	Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
βαθμολογία pre-test	παρατήρησης	,944	29	,129
	πειραματισμού	,930	32	,060

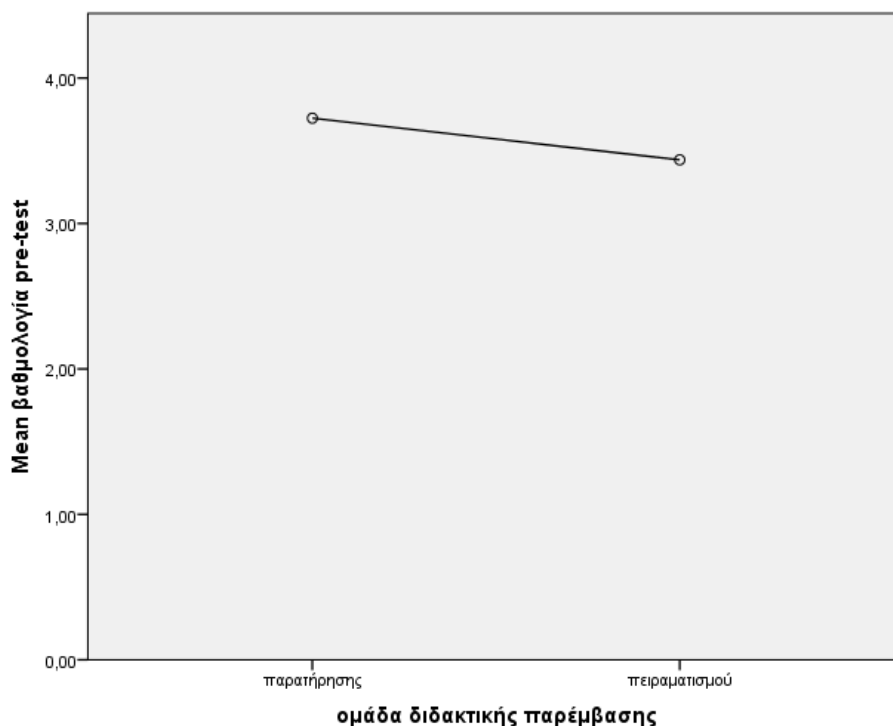
Εφόσον ικανοποιούνται οι προϋποθέσεις, εφαρμόστηκε ο παραμετρικός έλεγχος t-test.

Από τον έλεγχο ισότητας των διακυμάνσεων με το Levene test ($p > 0,05$) συμπεραίνουμε ότι ισχύει η προϋπόθεση της ισότητας των διακυμάνσεων.

Πίνακας 5 : Έλεγχος διακυμάνσεων μέσω τιμών επιδόσεων μαθητών στο pre-test για τις δύο ομάδες

F	df	Sig.
,858	59	,358

Το γράφημα 3 δείχνει τη διαφοροποίηση των μέσων τιμών των επιδόσεων των μαθητών στο pre-test για τις δύο ομάδες.



Γράφημα 3 : Μέσες τιμές βαθμολογίας μαθητών στο pre-test

Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των επιδόσεων των μαθητών των δύο ομάδων στο pre-test και τα αποτελέσματα του ελέγχου μέσων τιμών t-test.

Πίνακας 6 : Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις επιδόσεων μαθητών των δύο ομάδων στο pre-test και τα αποτελέσματα του ελέγχου μέσων τιμών t-test

	Ομάδα παρέμβασης	Πλήθος	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	t	Sig.
Βαθμολογία Pre-test	Παρατήρησης	29	3,72	1,60	,639	,525
	Πειραματισμού	32	3,43	1,87		

Από τον έλεγχο προκύπτει ότι οι δύο ομάδες δεν διαφέρουν στην επίδοσή τους στο pre-test ($t[59] = 0,64$, $p > 0,05$) και η όποια διαφορά δεν είναι στατιστικά σημαντική. Άρα, μπορούμε να δεχτούμε ότι η γνώση τους πάνω στην ενότητα που θα εφαρμοστεί η διδακτική παρέμβαση είναι ίδια. Αυτό αποτελεί άλλο ένα στοιχείο που συνηγορεί υπέρ του ότι οι δύο ομάδες είναι ισοδύναμες.

Για όλους τους συμμετέχοντες υπήρχε ενυπόγραφη συγκατάθεση των γονέων / κηδεμόνων. Επίσης, όλοι οι μαθητές εφοδιάστηκαν με ένα όνομα χρήστη (username) και έναν κωδικό εισόδου (password) για την είσοδό τους στην

πλατφόρμα <https://e-school.biologia.gr/> όπου ήταν αναρτημένα τα βίντεο και ο σύνδεσμος (link) της προσομοίωσης.

Οι λόγοι που η έρευνα εφαρμόστηκε σε μαθητές της Β' τάξης και όχι της Γ' τάξης όπως θα ήταν το αναμενόμενο (καθώς η Χημική Ισορροπία διδάσκεται στη Γ' τάξη στα πλαίσια του μαθήματος ΧΗΜΕΙΑΣ Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών) ήταν οι ακόλουθοι :

1. η πλειοψηφία των μαθητών της Γ' τάξης παρακολουθούν μαθήματα προετοιμασίας για τις πανελλήνιες εξετάσεις ήδη όντας στη Β' τάξη με αποτέλεσμα η ενότητα αυτή να τους είναι γνωστή τη χρονική στιγμή που είχε επιλεγεί να διεξαχθεί η έρευνα και να μπορούν να απαντήσουν στα ερωτήματα της έρευνας χωρίς να εφαρμόσουν την προσομοίωση ή να παρακολουθήσουν τα βίντεο και
2. τα χρονικά πλαίσια ολοκλήρωσης της ύλης της ΧΗΜΕΙΑΣ στο σχολείο είναι πολύ περιορισμένα και ο εκπαιδευτικός που διδάσκει το συγκεκριμένο μάθημα δεν έχει την πολυτέλεια να αφιερώσει ώρες σε τέτοιες δραστηριότητες.

4.1.2 Μέσα συλλογής δεδομένων

Η διδακτική παρέμβαση αφορούσε τη διδακτική ενότητα 4.2 *Παράγοντες που επηρεάζουν τη θέση Χημικής Ισορροπίας – Αρχή Le Chatelier* του σχολικού βιβλίου της Χημείας Γ' Γενικού Λυκείου Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών.

Κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης στους μαθητές των δύο ομάδων μοιράστηκαν 1) από ένα φύλλο εργασίας με δύο ερωτήματα που σχετίζονταν με τη μετατόπιση της θέσης της Χημικής Ισορροπίας ενός συστήματος αερίων σε συνάρτηση με τη μεταβολή της συγκέντρωσης των αντιδρώντων και των προϊόντων και της θερμοκρασίας συνοδευόμενα από μία διαβαθμισμένη κλίμακα αξιολόγησης της νοητικής προσπάθειας που κατέβαλαν για την απάντηση των ερωτημάτων (παράρτημα III) και 2) από έναν πίνακα καταχώρησης των πειραμάτων που εκτέλεσαν ή των βίντεο που παρακολούθησαν (ανάλογα με την ομάδα που ανήκαν) και καταγραφής του χρόνου έναρξης και λήξης της αλληλεπίδρασης (παράρτημα IV).

Πριν και μετά την αλληλεπίδραση, οι μαθητές απάντησαν ένα κριτήριο αξιολόγησης (pre- και post-test) τα οποία ήταν πανομοιότυπα (παράρτημα II).

Το κριτήριο αξιολόγησης αποτελούνταν από τρεις ομάδες ερωτήσεων :

- 5 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής όπου κάθε σωστή απάντηση βαθμολογούνταν με 1 και κάθε λανθασμένη με 0,
- 3 ερωτήσεις σύντομης ανάπτυξης όπου οι μαθητές θα έπρεπε να αιτιολογήσουν την απάντησή τους συνδέοντας την με μία επιστημονική έννοια και όπου κάθε πλήρως αιτιολογούμενη απάντηση βαθμολογούνταν με 2, μία μερικώς τεκμηριωμένη απάντηση με 1 και κάθε ατελής ή άσχετη με το ερώτημα απάντηση με 0 και
- 3 ερωτήσεις εκτεταμένης ανάπτυξης όπου το ζητούμενο ήταν ο συνδυασμός δύο ή τριών εννοιών και όπου βαθμολογούνταν με 3 απάντηση στην οποία δινόταν ικανοποιητική εξήγηση με συνδυασμό όλων των εννοιών, με 2 απάντηση στην οποία δινόταν ικανοποιητική εξήγηση αξιοποιώντας επαρκώς κάποια από τις έννοιες, με 1 μία μερικώς ικανοποιητική εξήγηση και με 0 μία ανεπαρκής ή άσχετη απάντηση.

Το μέγιστο αποτέλεσμα που θα μπορούσε να επιτύχει ένας μαθητής ήταν 20.

Η κλίμακα αξιολόγησης της νοητικής προσπάθειας που κατέβαλαν οι μαθητές για να απαντήσουν στα ερωτήματα του φύλλου εργασίας ήταν μία κλίμακα διαβάθμισης 9 βαθμίδων με τα δύο όρια της να είναι τα «1 : πολύ, πολύ μικρή» και «9 : πολύ, πολύ μεγάλη», σύμφωνα με την προτεινόμενη από τον Paas κλίμακα [57].

Η αξιοπιστία για την κλίμακα υπολογίστηκε με τη βοήθεια του συντελεστή Cronbach's α ο οποίος βρέθηκε ίσος προς 0,615, τιμή που μας επιτρέπει να ισχυριστούμε ότι η κλίμακα αυτή είναι αξιόπιστη

Σε όλα τα έντυπα οι μαθητές έπρεπε να καταχωρήσουν το όνομα χρήστη για να μπορέσει να γίνει η αντιστοίχιση του κάθε εντύπου στον ίδιο μαθητή.

Για να εκτιμηθεί το όφελος που προσκόμισαν οι μαθητές της κάθε ομάδας από την εκπαιδευτική παρέμβαση ως κριτήριο επιλέχθηκε η διαφορά της επίδοσης τους στο pre- και το post-test [29]. Άλλα στοιχεία που συνεκτιμήθηκαν ήταν i) η επίδοσή τους στο post-test, ii) ο χρόνος ολοκλήρωσης της δραστηριότητας, iii) ο αριθμός των βίντεο που παρακολούθησαν οι μαθητές της ομάδα Ο1 και των εικονικών πειραμάτων που εκτέλεσαν οι μαθητές της ομάδας Ο2 και iv) η

αποδοτικότητα της μάθησης (learning efficiency) για τους μαθητές της κάθε ομάδας. Ως αποδοτικότητα της μάθησης ακολουθήθηκε ο ορισμός της Chang [29] σύμφωνα με την οποία ως αποδοτικότητα της μάθησης ορίζεται η διαφορά μεταξύ των επιδόσεων στο post- και το pre-test διαιρούμενη με τον αριθμό των βίντεο που παρακολούθησαν οι μαθητές της ομάδας O1 και του αριθμού των εικονικών πειραμάτων που εκτέλεσαν οι μαθητές της ομάδας O2.

Για την εκτίμηση του γνωστικού φορτίου αξιοποιήθηκε η τυποποίηση της αξιολόγησης από πλευράς των μαθητών της νοητικής προσπάθειας (mental effort) που κατέβαλαν για την απάντηση των ερωτήσεων του φύλλου εργασίας, σε μία διαβαθμισμένη κλίμακα 9 βαθμίδων και η τυποποίηση της απόδοσής (performance) σε αυτό και στη συνέχεια ο υπολογισμός βάσει αυτών του δείκτη αποδοτικότητας εκπαιδευτικών συνθηκών (condition efficiency) Ε, όπως αυτός ορίζεται από τους Paas και van Merriënboer [54].

4.1.3 Εκπαιδευτική παρέμβαση

Η παρέμβαση διεξάχθηκε στη διάρκεια 6 διδακτικών ωρών στο κάθε σχολείο από τον εκπαιδευτικό – Χημικό του κάθε σχολείου. Όλοι οι μαθητές είχαν ενημερωθεί για τον σκοπό της έρευνας και συγκεκριμένα πως συμμετέχουν σε μία έρευνα με σκοπό τη σύγκριση / εκτίμηση των μαθησιακών αποτελεσμάτων και του γνωστικού φορτίου που προκαλούν δύο διαφορετικές αλληλεπιδράσεις των μαθητών με προσομοιώσεις σε υπολογιστή. Επίσης, ενημερώθηκαν πως τα στοιχεία τους δεν θα γνωστοποιηθούν, ενώ η συμμετοχή τους δεν θα αποτελέσει κριτήριο αξιολόγησής τους στο μάθημα της Χημείας από τον εκπαιδευτικό της τάξης.

Η εκπαιδευτική παρέμβαση, όπως προαναφέρθηκε, αφορούσε τη διδακτική ενότητα 4.2 *Παράγοντες που επηρεάζουν τη θέση Χημικής Ισορροπίας – Αρχή Le Chatelier* με διδακτικό στόχο «Να καθορίζει ο μαθητής τους παράγοντες που επηρεάζουν τη θέση μίας χημικής ισορροπίας και να ανακαλύψει την επίδραση που έχουν αυτοί στη μετατόπιση της χημικής ισορροπίας». Προαπαιτούμενες γνώσεις ήταν 1) η έννοια της μεταβολής της ενθαλπίας, ΔΗ, και η διάκριση των αντιδράσεων σε εξώθερμες και ενδόθερμες, 2) η θεωρία των συγκρούσεων και η έννοια της ενέργειας ενεργοποίησης και 3) η έννοια της χημικής ισορροπίας και των αμφίδρομων αντιδράσεων.

Στην παρέμβαση υπήρχαν τρεις φάσεις : η πρώτη, διάρκειας 2 διδακτικών ωρών, περιλάμβανε την παρουσίαση των προαπαιτούμενων γνώσεων, η δεύτερη, διάρκειας 1 διδακτικής ώρας, περιλάμβανε την παρουσίαση της προσομοίωσης PhET Αντιδράσεις και Ταχύτητα Αντίδρασης (1.07) και της διαχείρισης των video και η τρίτη, διάρκειας 1 ώρας, τη διδακτική παρέμβαση.

Στην ώρα της διδακτικής παρέμβασης :

- Οι μαθητές της ομάδας της παρατήρησης είχαν να παρακολουθήσουν 12 βίντεο προκειμένου να απαντήσουν σε 2 ερωτήματα (όπως και οι μαθητές της ομάδας του πειραματισμού). Τα 8 βίντεο αφορούσαν το 1^ο ερώτημα και τα άλλα 4 το 2^ο ερώτημα. Οι μαθητές μπορούσαν να παρακολουθήσουν τα βίντεο με όποια σειρά ήθελαν, όσες φορές ήθελαν έχοντας τη δυνατότητα διακοπής και επανέναρξης του βίντεο, να το προχωρήσουν ή να το πάνε πίσω.

Για να παρακολουθήσουν τα βίντεο θα έπρεπε να κάνουν είσοδο με τα στοιχεία που τους είχαν δοθεί (Όνομα χρήστη και Κωδικό εισόδου) στην ηλεκτρονική διεύθυνση <https://e-school.biologia.gr/>.

Σε όλα τα βίντεο η προσομοίωση έτρεχε για 1000 μονάδες χρόνου της προσομοίωσης. Περίπου τη χρονική στιγμή 500 η προσομοίωση διακοπτόταν, γινόταν μία μεταβολή (π.χ προθέτονταν μόρια ενός από τα προϊόντα) και συνεχιζόταν μέχρι περίπου τη χρονική στιγμή 1000. Στους μαθητές επισημαίνονταν πως θα έπρεπε να παρατηρήσουν ποια μεταβολή γινόταν τη χρονική στιγμή 500.

- Οι μαθητές της ομάδας του πειραματισμού είχαν να εκτελέσουν εικονικά πειράματα αξιοποιώντας την προσομοίωση PhET Αντιδράσεις και Ταχύτητα Αντίδρασης (1.07). Για την απάντηση στα δύο ερωτήματα του φύλλου εργασίας του μαθητή θα αξιοποιούσαν το περιβάλλον *Ταχύτητα Αντίδρασης*.

Για να εκτελέσουν την προσομοίωση θα έπρεπε να κάνουν είσοδο με τα στοιχεία που τους είχαν δοθεί (Όνομα χρήστη και Κωδικό εισόδου) στην ηλεκτρονική διεύθυνση <https://e-school.biologia.gr/>.

Πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση οι μαθητές έγραψαν το pre- και post-test αντίστοιχα.

4.2 Αποτελέσματα

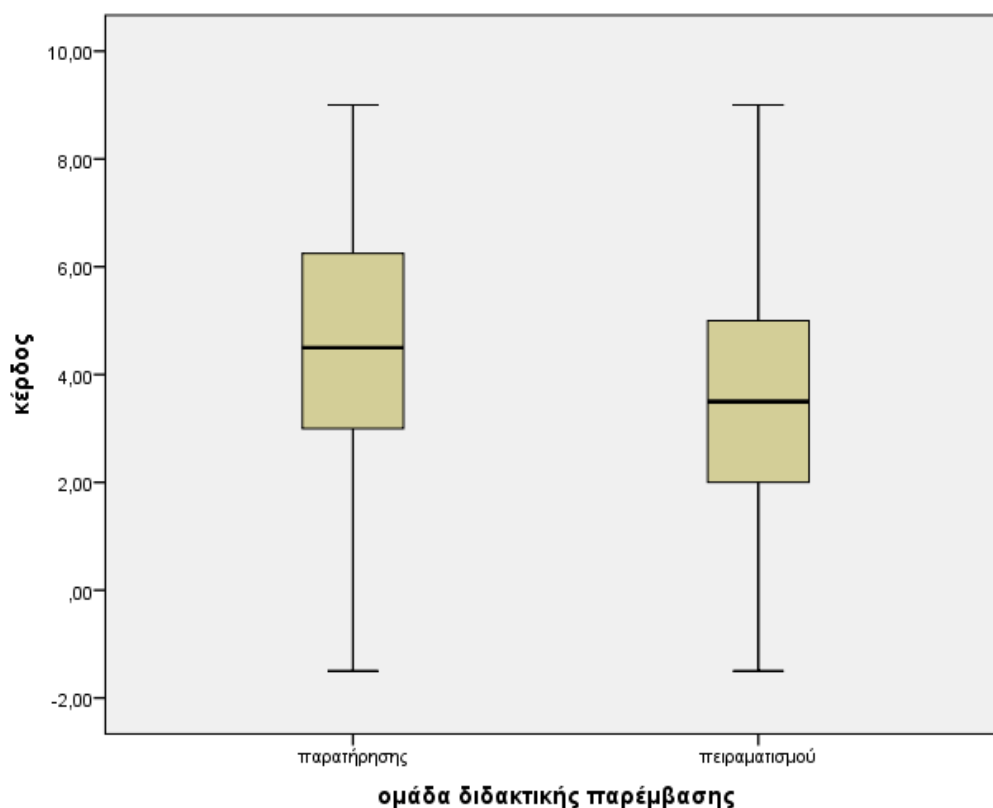
4.2.1 1^ο Ερευνητικό Ερώτημα

Σε ότι αφορά το όφελος που προσκόμισαν οι μαθητές της κάθε ομάδας, το αναμενόμενο θα ήταν οι μαθητές μετά από τη εκπαιδευτική παρέμβαση να 1) να αναγνωρίζουν τη μεταβολή της ποσότητας αντιδρώντων και προϊόντων και της θερμοκρασίας ως παράγοντες που επηρεάζουν μία χημική ισορροπία αερίων ουσιών και 2) να κατανοούν τον τρόπο με τον οποίο αυτοί οι δύο παράγοντες την επηρεάζουν. Ως όφελος ορίζεται η διαφορά στην επίδοση των μαθητών μεταξύ του pre- και του post-test.

Για τον έλεγχο της διαφοροποίησης ή μη στο όφελος που είχαν οι μαθητές των δύο ομάδων ύστερα από την εκπαιδευτική παρέμβαση, χρησιμοποιήθηκε ο έλεγχος μέσων τιμών εξαρτημένων δειγμάτων t-test για τους μαθητές κάθε μία από τις ομάδες αφού πρώτα διαπιστώθηκε ότι :

- δεν υπάρχουν ακραίες παρατηρήσεις και
- η κατανομή του πληθυσμού από τον οποίο προήλθε το κάθε τυχαίο δείγμα είναι η κανονική κατανομή

Ο πρώτος έλεγχος έγινε γραφικά με τη βοήθεια θηκογράμματος από το οποίο διαπιστώθηκε ότι δεν υπάρχουν ακραίες παρατηρήσεις για τη μεταβλητή όφελος σε ποσοστό μεγαλύτερο από το 10 % του δείγματος για καθένα από τα δύο δείγματα (γράφημα 4).



Γράφημα 4 : Θηκόγραμμα για το κέρδος των μαθητών ανά ομάδα διδακτικής παρέμβασης

Ο έλεγχος της κανονικότητας έγινε με το στατιστικό τεστ των Shapiro-Wilk από το οποίο προκύπτει ότι η κατανομή του πληθυσμού είναι κανονική (Πίνακας 7).

Πίνακας 7 : Έλεγχος κανονικότητας διαφοράς επίδοσης ανάμεσα στο pre- και το post-test

	Ομάδα παρέμβασης	Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
κέρδος	παρατήρησης	,975	29	,710
	πειραματισμού	,942	32	,085

Εφόσον ικανοποιούνται όλες οι προϋποθέσεις έγινε χρήση του παραμετρικού ελέγχου t-test για εξαρτημένα δείγματα. Τα αποτελέσματα του ελέγχου (Πίνακας 8) έδειξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις επιδόσεις των μαθητών ανάμεσα στο pre- και το post-test τόσο για τους μαθητές της ομάδας Ο1 ($t[28] = -9,28$, $p < 0,05$) όσο και για τους μαθητές της ομάδας Ο2 ($t[32] = -9,58$, $p < 0,05$).

Πίνακας 8 : Αποτελέσματα ελέγχου t-test για διαφορές επιδόσεων ανάμεσα στο pre- και το post-test

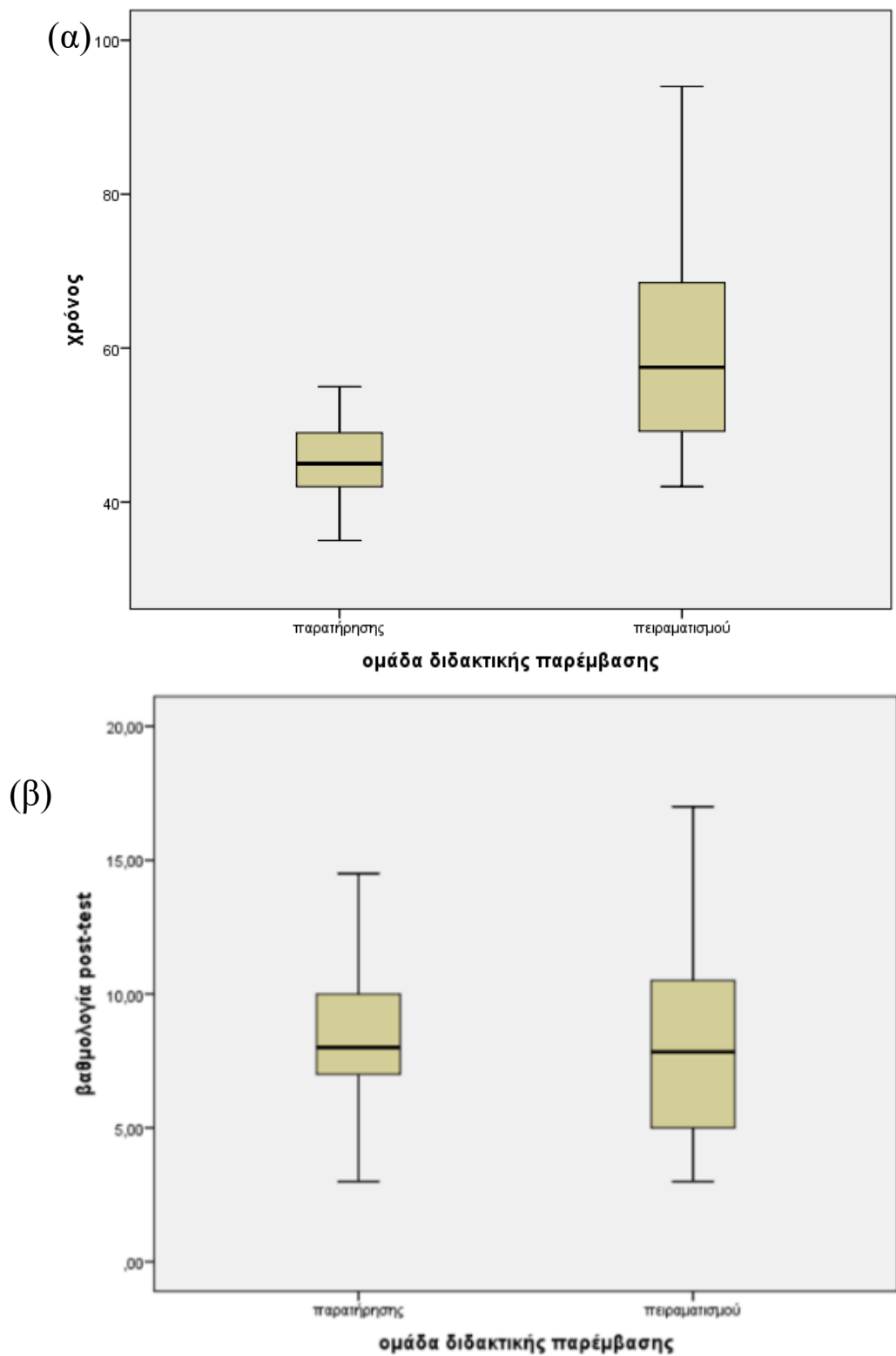
	Ομάδα παρέμβασης	Πλήθος	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	t	Sig.
κέρδος	Παρατήρησης	29	-4,512	2,527	-9,276	,000
	Πειραματισμού	32	-4,189	2,393	-9,585	,000

Σε ότι αφορά τις τέσσερεις άλλες παραμέτρους που συνεκτιμήθηκαν (την επίδοση στο post-test, τον χρόνο ολοκλήρωσης της δραστηριότητας, τον αριθμό βίντεο / εικονικών πειραμάτων και την αποτελεσματικότητα της μάθησης) τα αποτελέσματα έχουν ως εξής :

Σε ότι αφορά τη διαπίστωση διαφοροποίησης ή μη στην επίδοση στο post-test και στον χρόνο ολοκλήρωσης της δραστηριότητας εφαρμόστηκε ο έλεγχος μέσων τιμών t-test αφού πρώτα διαπιστώθηκε ότι :

- δεν υπάρχουν ακραίες παρατηρήσεις και
- η κατανομή του πληθυσμού από τον οποίο προήλθε το κάθε τυχαίο δείγμα είναι η κανονική

Ο πρώτος έλεγχος έγινε γραφικά με τη βοήθεια θηκογράμματος (γράφημα 5 (α) και 5 (β)) από το οποίο προκύπτει ότι δεν υπάρχουν ακραίες παρατηρήσεις.



Γράφημα 5 : (α) Θηκόγραμμα για τις επιδόσεις των μαθητών στο post-test - (β)
Θηκόγραμμα για το χρόνο παρακολούθησης βίντεο / εκτέλεσης εικονικών πειραμάτων

Ο έλεγχος της κανονικότητας έγινε με το στατιστικό τεστ των Shapiro-Wilk (Πίνακας 9).

Πίνακας 9 : Αποτελέσματα ελέγχου κανονικότητας επίδοσης στο post-test και του χρόνου παρακολούθησης βίντεο / εκτέλεσης εικονικών πειραμάτων

	Ομάδα παρέμβασης	Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
επίδοση στο post-test	παρατήρησης	,941	29	,104
	πειραματισμού	,943	32	,094
χρόνος	παρατήρησης	,980	29	,839
	πειραματισμού	,837	32	,061

Για την επίδοση των μαθητών στο post-test από την τιμή του στατιστικού τεστ ($p > 0,05$ και για τις δύο ομάδες) συμπεραίνουμε ότι η κατανομή του πληθυσμού από τον οποίο προέρχεται το κάθε δείγμα είναι προσεγγιστικά κανονική.

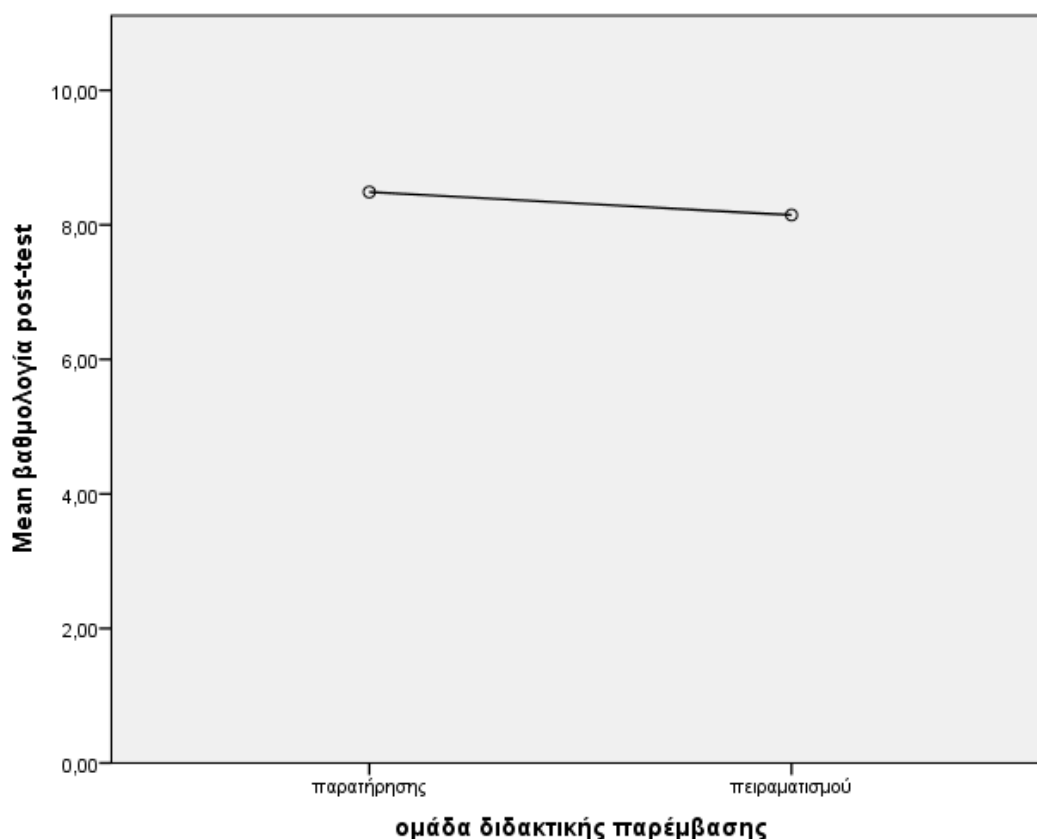
Για τον χρόνο παρακολούθησης βίντεο και εκτέλεσης εικονικών πειραμάτων από τους μαθητές της ομάδας Ο1 και Ο2 αντίστοιχα, από την τιμή του στατιστικού τεστ των Shapiro-Wilk ($p > 0,05$ και για τις δύο ομάδες) επίσης συμπεραίνουμε ότι η κατανομή του πληθυσμού από τον οποίο προέρχεται το κάθε δείγμα είναι προσεγγιστικά κανονική.

Εφόσον ικανοποιούνται όλες οι προϋποθέσεις έγινε χρήση του παραμετρικού ελέγχου t-test. Για τον έλεγχο της διαφοροποίησης της επίδοσης των μαθητών στο post-test μεταξύ των δύο ομάδων της εκπαιδευτικής παρέμβασης, από τον έλεγχο ισότητας των διακυμάνσεων με το Levene test ($p > 0,05$) συμπεραίνουμε ότι ισχύει η προϋπόθεση της ισότητας των διακυμάνσεων (Πίνακας 10).

Πίνακας 10 : Αποτελέσματα ελέγχου t-test για επίδοση στο post-test

	F	df	Sig.
επίδοση στο post-test	,858	59	,358

Το γράφημα 6 δείχνει τη διαφοροποίηση των μέσων τιμών της επίδοσης των μαθητών στο post-test.



Γράφημα 6 : Μέσες τιμές επίδοσης μαθητών στο post-test

Στον πίνακα 11 παρουσιάζονται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της επίδοσης των μαθητών κάθε ομάδας στο post-test καθώς και τα αποτελέσματα του ελέγχου μέσων τιμών t-test.

Πίνακας 11 : Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις επίδοσης στο post-test - Αποτελέσματα ελέγχου μέσων τιμών t-test

	Ομάδα παρέμβασης	Πλήθος	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	t	Sig.
επίδοση στο post-test	Παρατήρησης	29	8,488	2,902	,417	,678
	Πειραματισμού	32	8,146	3,449		

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η διαφορά μεταξύ των επιδόσεων στο post-test των μαθητών των δύο ομάδων δεν είναι στατικά σημαντική ($t[59] = 0,42$, $p > 0,05$). Η επίδοση των μαθητών της ομάδας Ο1 είναι υψηλότερη εκείνης των μαθητών της Ο2 ($M = 8,488$ και $M = 8,146$ αντίστοιχα), ωστόσο η διαφορά αυτή δεν είναι στατικά σημαντική.

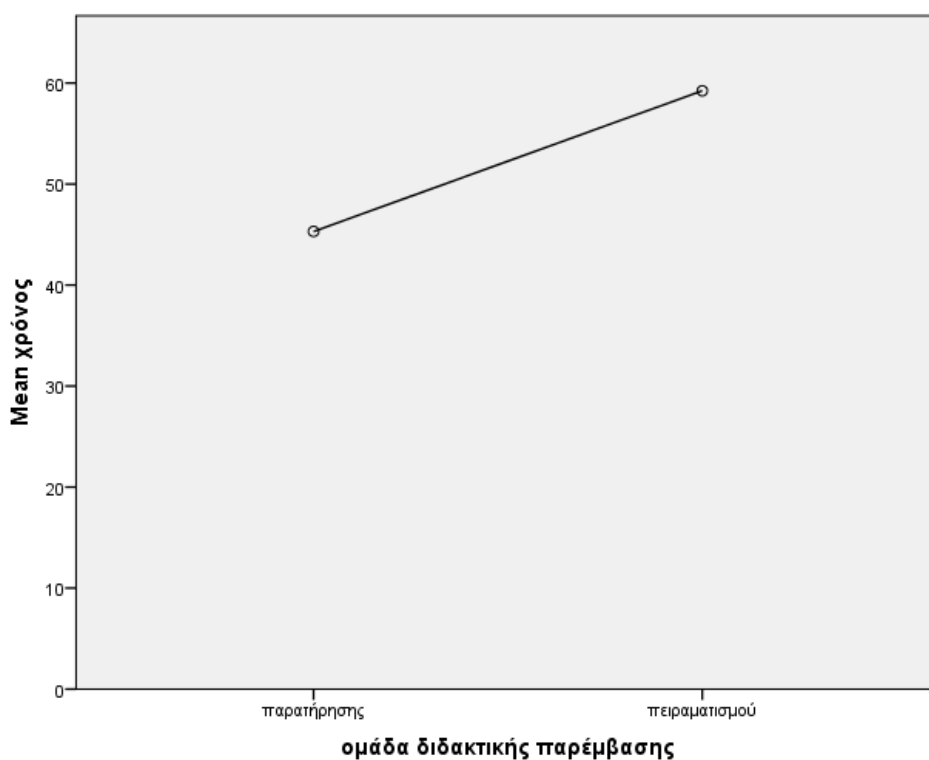
Για τον έλεγχο της διαφοροποίησης στο χρόνο ολοκλήρωσης της δραστηριότητας για τους μαθητές της Ο1 και τους μαθητές της Ο2, από τον έλεγχο ισότητας των διακυμάνσεων με το Levene test ($p < 0,05$)

συμπεραίνουμε ότι δεν ισχύει η προϋπόθεση της ισότητας των διακυμάνσεων (Πίνακας 12).

Πίνακας 12 : Αποτελέσματα ελέγχου διαφοροποίησης χρόνου ολοκλήρωσης της δραστηριότητας

	F	df	Sig.
Χρόνος ολοκλήρωσης της δραστηριότητας	14,922	59	,000

Το γράφημα 7 δείχνει τη διαφοροποίηση των μέσων τιμών του χρόνου ολοκλήρωσης της δραστηριότητας για τους μαθητές της Ο1 και για τους μαθητές της Ο2.



Γράφημα 7 : Μέση τιμή χρόνου ολοκλήρωσης της δραστηριότητας ανά ομάδα

Στον πίνακα 13 παρουσιάζονται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των δύο χρόνων καθώς και το αποτέλεσμα του ελέγχου μέσων τιμών t-test.

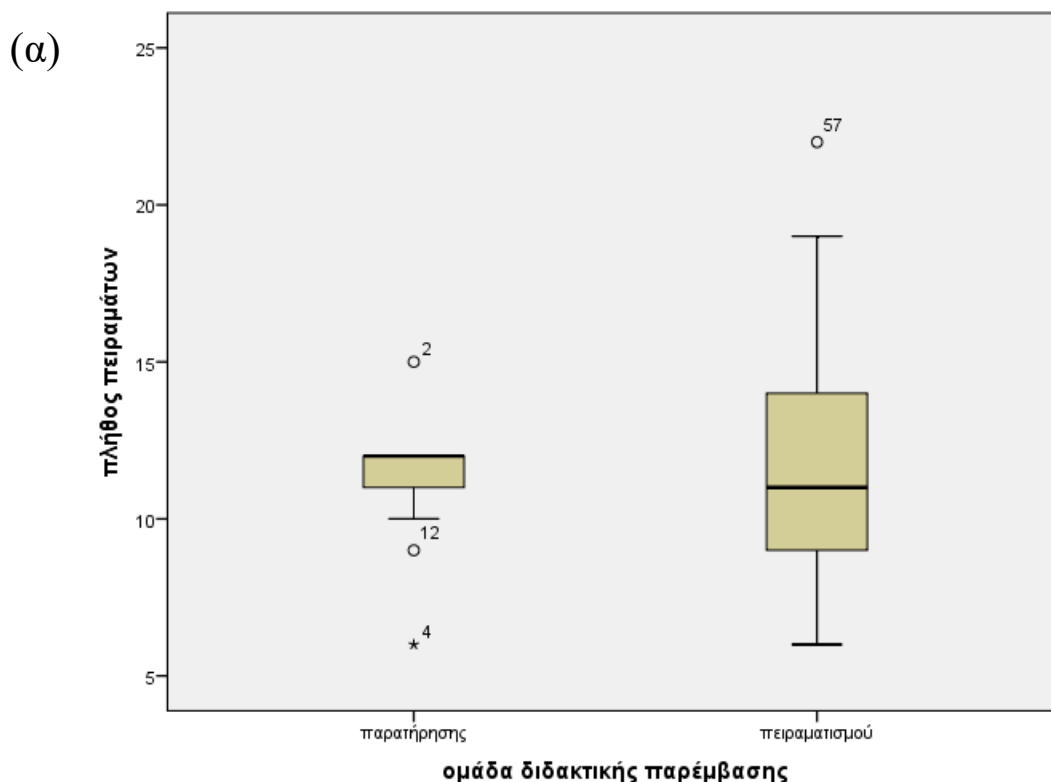
Πίνακας 13 : Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις χρόνου ολοκλήρωσης της δραστηριότητας - Αποτελέσματα ελέγχου t-test

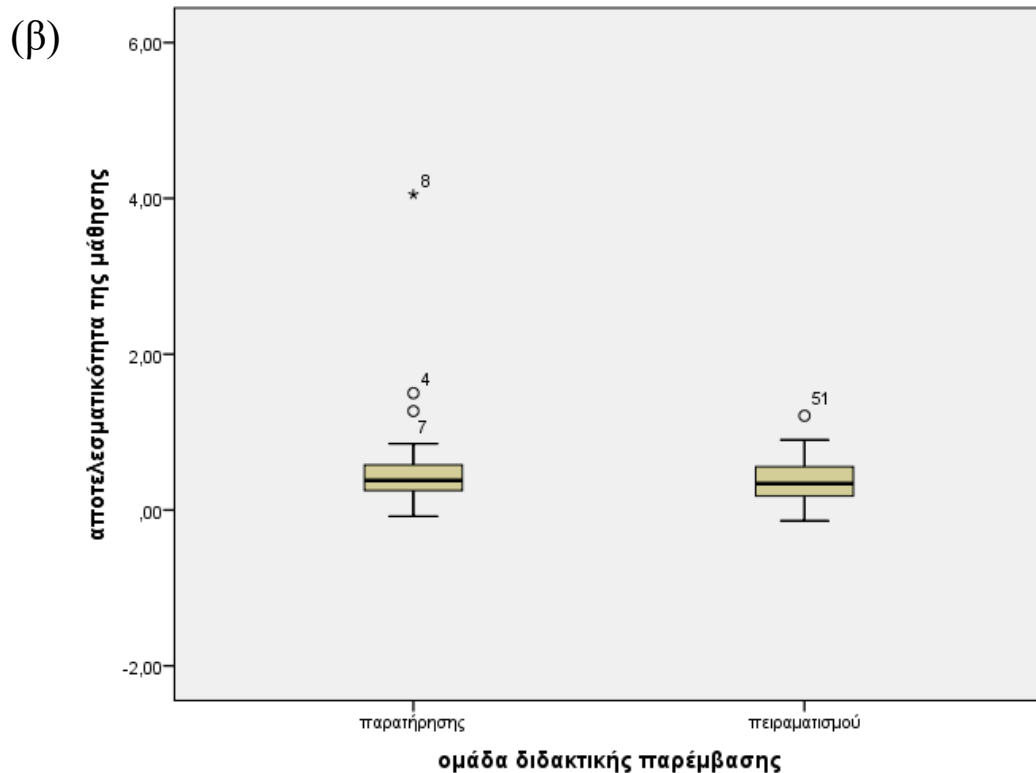
	Ομάδα παρέμβασης	Πλήθος	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	t	Sig.
Χρόνος ολοκλήρωσης δραστηριότητας	Παρατήρησης	29	45,30	5,199	-5,685	,000
	Πειραματισμού	32	59,23	12,737		

Με βάση τα αποτελέσματα του ελέγχου προκύπτει ότι η διαφορά μεταξύ των δύο χρόνων είναι στατιστικά σημαντική ($F[59] = -5,68, p < 0,05$). Συγκεκριμένα, η μέση τιμή του χρόνου για την ομάδα Ο1 ($M = 45,30$) είναι στατιστικά μικρότερη από εκείνη της Ο2 ($M = 59,23$).

Για τον έλεγχο της διαφοροποίησης τόσο του αριθμού των πειραμάτων που παρακολούθησαν οι μαθητές της Ο1 και εκείνων που εκτέλεσαν οι μαθητές της Ο2 όσο και της αποδοτικότητας της μάθησης, εφαρμόστηκε ο έλεγχος μέσων τιμών Mann – Whitney U test και όχι ο έλεγχος μέσων τιμών t-test, αφού διαπιστώθηκε :

- από τον έλεγχο γραφικά με τη βοήθεια θηκογραμμάτων (γραφήματα 8 (α) και 8 (β)) η ύπαρξη ακραίων παρατηρήσεων (που ξεπερνούν σε ποσοστό το 10 % για την Ο1 και για τις δύο μεταβλητές),
- από τον έλεγχο της κανονικότητας με το στατιστικό τεστ των Shapiro – Wilk η μη κανονική κατανομή του πληθυσμού από τον οποίο προήλθε το κάθε τυχαίο δείγμα. (Πίνακας 14).





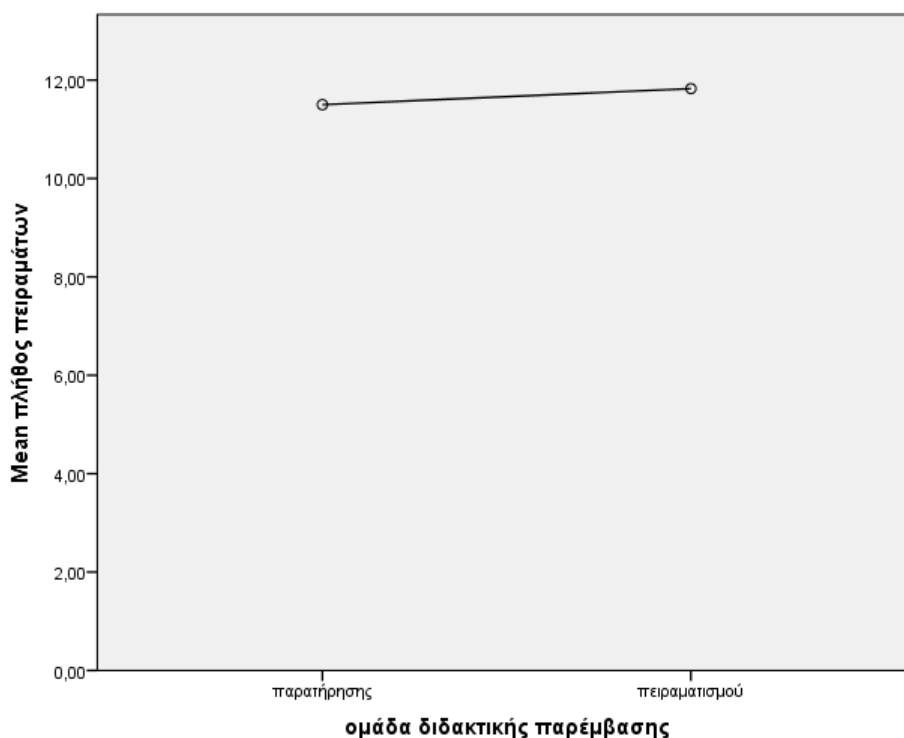
Γράφημα 8 : (α) Θηκόγραμμα για το πλήθος των πειραμάτων που παρακολούθησαν / εκτέλεσαν οι μαθητές - (β) Θηκόγραμμα για την αποδοτικότητα μάθησης των μαθητών ανά ομάδα εκπαιδευτικής παρέμβασης

Πίνακας 14 : Αποτελέσματα ελέγχου κανονικότητας για πλήθος πειραμάτων και αποδοτικότητα μάθησης

	Ομάδα παρέμβασης	Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
πλήθος πειραμάτων	παρατήρησης	,670	29	,000
	πειραματισμού	,940	32	,074
αποδοτικότητα της μάθησης	παρατήρησης	,552	29	,000
	πειραματισμού	,953	32	,178

Από τα αποτελέσματα του ελέγχου συμπεραίνουμε ότι η κατανομή του πληθυσμού από τον οποίο προέρχεται το κάθε δείγμα είναι προσεγγιστικά κανονική μόνο για την Ο2.

Το γράφημα 9 δείχνει τη διαφοροποίηση των μέσων τιμών του αριθμού πειραμάτων για την κάθε ομάδα.



Γράφημα 9 : Μέσες τιμές πλήθους πειραμάτων που παρακολούθησαν / εκτέλεσαν οι μαθητές ανά ομάδα

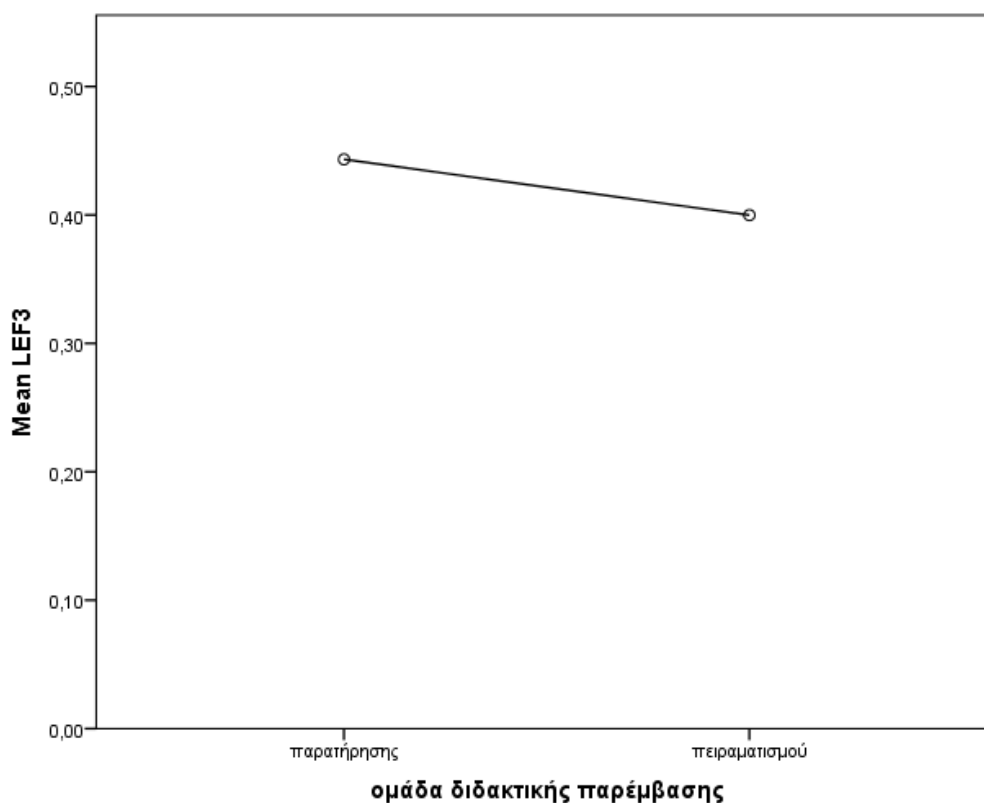
Στον πίνακα 15 παρουσιάζονται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση του αριθμού των πειραμάτων και τα αποτελέσματα του ελέγχου μέσων τιμών Mann – Whitney U.

Πίνακας 15 : Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις αριθμού πειραμάτων - Αποτελέσματα ελέγχου Mann - Whitney U

	Ομάδα παρέμβασης	Πλήθος	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Mann-Whitney U	Z	Sig.
Πλήθος πειραμάτων	Παρατήρησης	29	11,50	1,437	417,500	-,689	,491
	Πειραματισμού	32	11,83	3,803			

Από τα αποτελέσματα παρατηρούμε ότι ο μέσος αριθμός των πειραμάτων που παρακολούθησαν οι μαθητές της Ο1 είναι μικρότερος από εκείνων που εκτέλεσαν οι μαθητές της Ο2 ($M = 11,50$ και $M = 11,83$ αντίστοιχα), ωστόσο η διαφορά αυτή δεν είναι στατιστικά σημαντική ($Z = -0,69$, $p > 0,05$).

Το γράφημα 10 παρουσιάζει τη διαφοροποίηση των μέσων τιμών της αποτελεσματικότητας της εκπαιδευτικής παρέμβασης στη μάθηση για τους μαθητές των δύο ομάδων.



Γράφημα 10 : Μέσες τιμές αποτελεσματικότητας εκπαιδευτικής παρέμβασης

Στον πίνακα 16 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές και η τυπική απόκλιση της αποτελεσματικότητας της εκπαιδευτικής παρέμβασης στη μάθηση των μαθητών των δύο ομάδων όπως και τα αποτελέσματα του ελέγχου μέσω των τιμών Mann – Whitney U.

Πίνακας 16 : Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις αποτελεσματικότητας εκπαιδευτικής παρέμβασης - Αποτελέσματα ελέγχου Mann - Whitney U

	Ομάδα παρέμβασης	Πλήθος	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Mann-Whitney U	Z	Sig.
Αποτελεσματικότητα της μάθησης	Παρατήρησης	29	,443	,338	490,000	-,444	,657
	Πειραματισμού	32	,399	,307			

Τα αποτελέσματα μας δείχνουν ότι η αποτελεσματικότητα της εκπαιδευτικής παρέμβασης στη μάθηση των μαθητών της Ο1 είναι υψηλότερη από εκείνη των μαθητών της Ο2 ($M = 0,443$ και $M = 0,399$ αντίστοιχα) χωρίς, όμως, η διαφορά αυτή να είναι στατιστικά σημαντική ($Z = -0,444$, $p > 0,05$).

4.2.2 2^ο Ερευνητικό Ερώτημα

Κριτήριο για τον έλεγχο του γνωστικού φορτίου μεταξύ των μαθητών των δύο ομάδων αποτέλεσαν :

- η καταβληθείσα νοητική προσπάθεια, όπως αυτή αξιολογήθηκε από τους μαθητές σε μία 9βάθμια κλίμακα
- η απόδοση των μαθητών κατά την απάντηση των ερωτημάτων του φύλλου εργασίας, που ορίζεται ως το ποσοστό επί της μέγιστης βαθμολογίας και

Με βάση την υπόθεση που αφορά το 2^ο ερώτημα, αναμένεται το γνωστικό φορτίο να είναι μεγαλύτερο για τους μαθητές της ομάδας Ο2 συγκριτικά με εκείνο των μαθητών της Ο1.

Για τον έλεγχο της υπόθεσης αυτής, χρησιμοποιήθηκε ο έλεγχος μέσων τιμών Mann – Whitney U για κάθε μία από τις παραπάνω παραμέτρους αφού διαπιστώθηκε ότι η κατανομή του πληθυσμού από τον οποίο προήλθε το κάθε τυχαίο δείγμα δεν είναι κανονική. Ο έλεγχος της κανονικότητας έγινε με το στατιστικό τεστ των Shapiro – Wilk (Πίνακας 17).

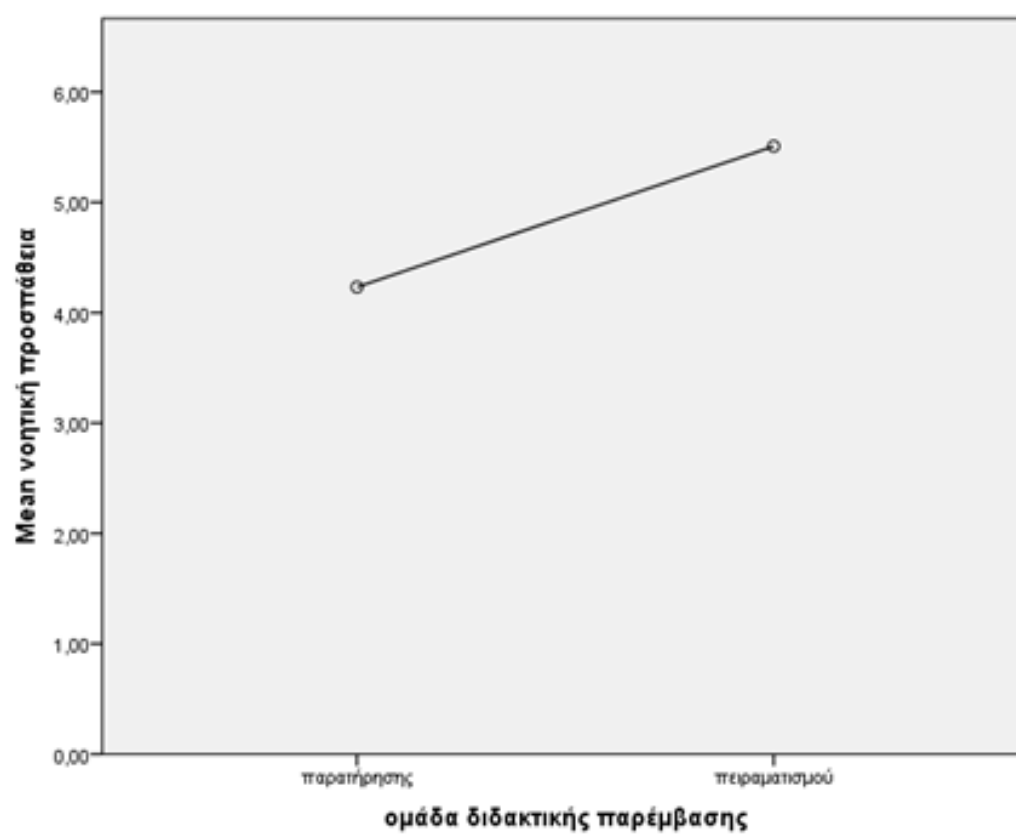
Πίνακας 17 : Έλεγχος κανονικότητας νοητικής προσπάθειας και απόδοσης

	Ομάδα παρέμβασης	Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
νοητική προσπάθεια	παρατήρησης	,952	29	,209
	πειραματισμού	,921	32	,022
απόδοση	παρατήρησης	,670	29	,000
	πειραματισμού	,763	32	,000

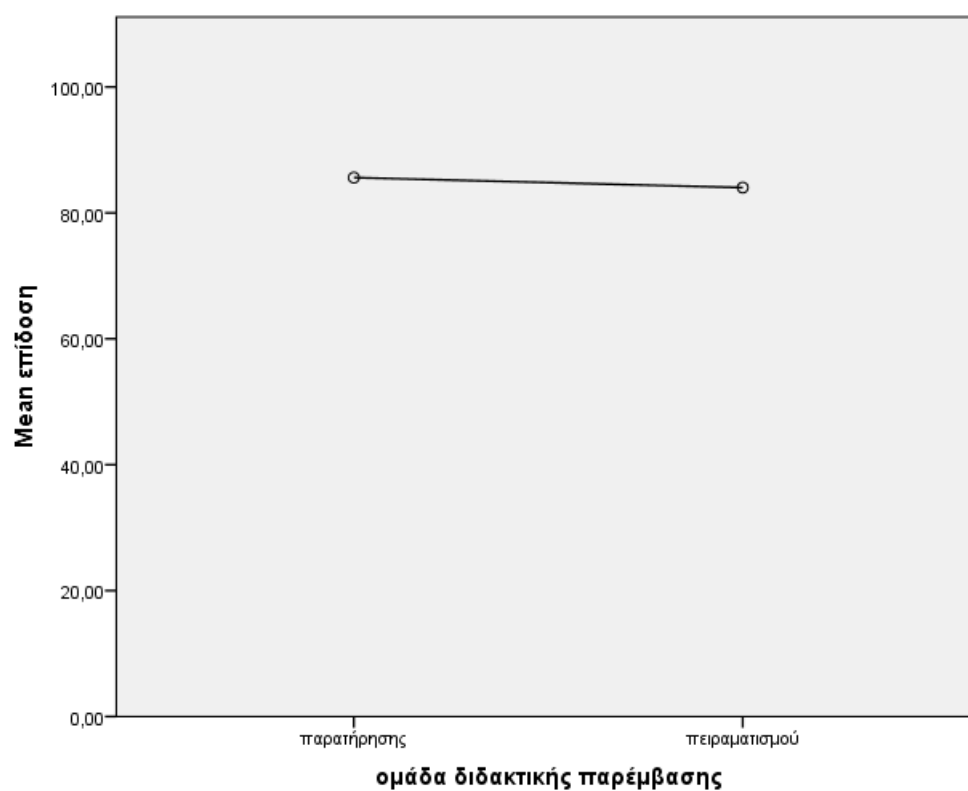
Από τα αποτελέσματα του ελέγχου προκύπτει ότι η κατανομή του πληθυσμού σε ότι αφορά τη νοητική προσπάθεια είναι προσεγγιστικά κανονική μόνο για την ομάδα της παρατήρησης ($p > 0,05$ και $p < 0,05$ για την κάθε ομάδα αντίστοιχα). Σε ότι αφορά την απόδοση δεν είναι προσεγγιστικά κανονική για καμία από τις δύο ομάδες ($p < 0,05$ και για τις δύο ομάδες).

Στα γραφήματα 11 (α) και (β) παρουσιάζεται η διαφοροποίηση των μέσων τιμών της καταβληθείσας νοητικής προσπάθειας και της απόδοσης των μαθητών της κάθε ομάδας.

(α)



(β)



Γράφημα 11 : (α) Μέσες τιμές νοητικής προσπάθειας κατά την απάντηση των ερωτημάτων του φύλλου εργασίας - (β) Μέσες τιμές απόδοσης

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις των δύο παραμέτρων για κάθε μία ομάδα καθώς και τα αποτελέσματα του ελέγχου μέσων τιμών Mann – Whitney U.

**Πίνακας 18 : Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις νοητικής προσπάθειας και απόδοσης
- Αποτελέσματα ελέγχου Mann - Whitney**

	Ομάδα παρέμβασης	Πλήθος	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Mann-Whitney U	Z	Sig.
νοητική προσπάθεια	παρατήρησης	29	4,232	1,355	208,000	-3,726	,000
	πειραματισμού	32	5,508	0,890			
απόδοση	παρατήρησης	29	85,602	23,775	423,500	-,655	,512
	πειραματισμού	32	84,017	18,584			

Από τον έλεγχο προκύπτουν στατιστικά σημαντικές διαφοροποιήσεις για την καταβληθείσα νοητική προσπάθεια όχι όμως και στην απόδοση κατά την απάντηση των ερωτημάτων του φύλλου εργασίας. Συγκεκριμένα, σε ότι αφορά τη νοητική προσπάθεια ($Z = - 3,28$, $p < 0,05$) οι μαθητές της Ο1 κατέβαλαν μικρότερη νοητική προσπάθεια έναντι των μαθητών της Ο2. Αναφορικά με την απόδοση ($Z = - 0,65$, $p > 0,05$) οι μαθητές της Ο1 πέτυχαν υψηλότερη απόδοση συγκριτικά με τους μαθητές της Ο2 ($M = 85,602$ και $M = 84,017$ αντίστοιχα), χωρίς όμως αυτή η διαφορά να είναι στατιστικά σημαντική.

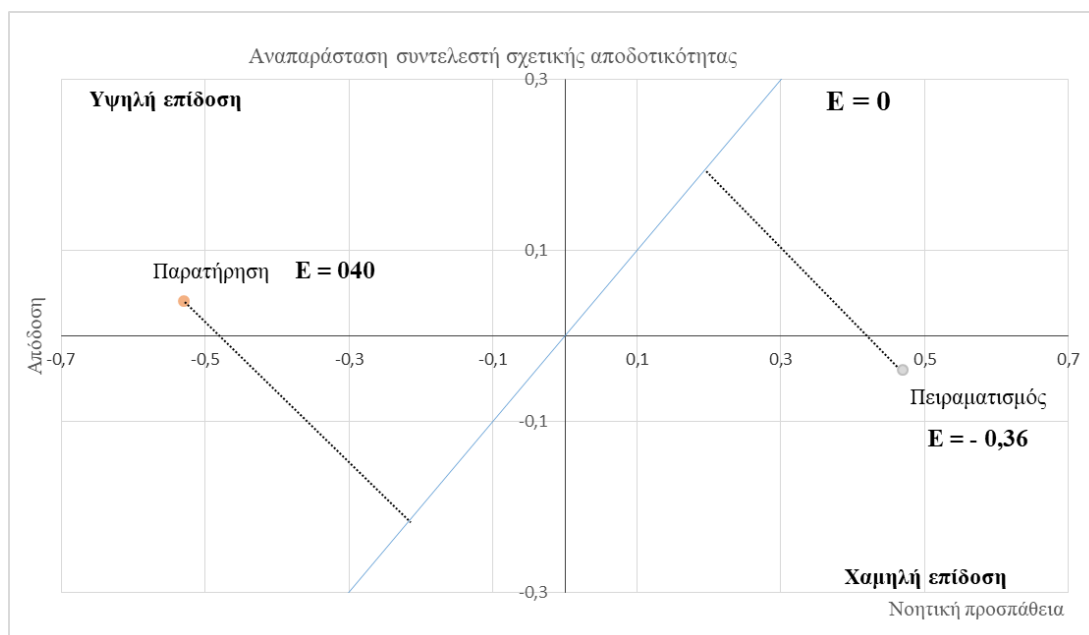
Με βάση τις τιμές της εκτιμηθείσας από τους μαθητές νοητικής προσπάθειας και της απόδοσής τους κατά την απάντηση των ερωτημάτων του φύλλου εργασίας, υπολογίζονται οι δείκτες για τη νοητική προσπάθεια ($Z_{m.e.}$) για την απόδοση ($Z_{pr.}$) και από αυτούς υπολογίζεται ο δείκτης αποδοτικότητας εκπαιδευτικών συνθηκών E για κάθε μία από τις δύο ομάδες. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στον πίνακα 19 :

Πίνακας 19 : Αποτελέσματα υπολογισμού δείκτη αποδοτικότητας εκπαιδευτικών συνθηκών Ε

r _i		r _i '		$E_i = \frac{ z_{m.e.i} - z_{pr.i} }{\sqrt{2}}$	
Νοητική προσπάθεια (1 – 9)		Απόδοση (% επί της συνολικής βαθμολογίας)			
O1	O2	O1	O2	O1	O2
4,50	6,00	100,00	100,00	0,74	-0,08
2,00	4,00	100,00	75,00	2,12	0,17
6,00	4,50	50,00	100,00	-1,77	0,74
3,50	6,00	100,00	75,00	1,29	-0,92
6,50	6,50	0,00	50,00	-3,74	-2,05
6,50	6,00	100,00	75,00	-0,35	-0,92
<u>4,91</u> *	6,00	<u>84,66</u> *	100,00	0,00	-0,08
2,00	4,00	100,00	50,00	2,12	-0,68
5,00	5,50	100,00	75,00	0,47	-0,65
5,00	6,00	50,00	75,00	-1,22	-0,92
5,50	5,50	100,00	75,00	0,20	-0,65
5,00	6,50	75,00	100,00	-0,38	-0,35
2,50	5,50	100,00	100,00	1,84	0,20
3,00	6,00	100,00	75,00	1,57	-0,92
3,50	5,50	50,00	100,00	-0,40	0,20
5,50	6,00	100,00	100,00	0,20	-0,08
3,50	4,50	100,00	100,00	1,29	0,74
3,50	5,00	100,00	75,00	1,29	-0,38
4,00	<u>4,91</u> *	100,00	<u>84,66</u> *	1,02	0,00
6,00	6,00	70,00	100,00	-1,09	-0,08
5,50	5,50	75,00	100,00	-0,65	0,20
2,50	6,50	100,00	75,00	1,84	-1,20
<u>4,91</u> *	3,50	<u>84,66</u> *	100,00	0,00	1,29
3,50	7,00	70,00	100,00	0,28	-0,63
5,00	5,50	100,00	75,00	0,47	-0,65
4,00	5,00	70,00	100,00	0,00	0,47
2,00	6,00	100,00	100,00	2,12	-0,08
4,50	6,00	100,00	50,00	0,74	-1,77
3,00	4,50	100,00	100,00	1,57	0,74
	4,00		50,00		-0,68
	6,50		100,00		-0,35
	6,50		50,00		-2,05
(Μέση τιμή) M ₁ = 4,19	(Μέση Τιμή) M ₂ = 5,51	(Μέση τιμή) M ₁ = 85,56	(Μέση Τιμή) M ₂ = 83,87	E ₁ = 0,40	E ₂ = - 0,36
(Γενικός Μέσος όρος) GM _{m.e.} = 4,91	(Τυπική απόκλιση) SD _{m.e.} = 1,29	(Γενικός Μέσος όρος) GM _{pr.} = 84,66	(Τυπική απόκλιση) SD _{pr.} = 20,86		
$z_{m.e.i} = \frac{ r_i - GM_{m.e.} }{SD_{m.e.}}$		$z_{pr.i} = \frac{ r_i' - GM_{pr.} }{SD_{pr.}}$			
O1	O2	O1	O2		
-0,32	0,84	0,74	0,74		
-2,26	-0,71	0,74	-0,46		
0,84	-0,32	-1,66	0,74		
-1,09	0,84	0,74	-0,46		
1,23	1,23	-4,06	-1,66		
1,23	0,84	0,74	-0,46		
0,00	0,84	0,00	0,74		
-2,26	-0,71	0,74	-1,66		
0,07	0,46	0,74	-0,46		
0,07	0,84	-1,66	-0,46		
0,46	0,46	0,74	-0,46		
0,07	1,23	-0,46	0,74		
-1,87	0,46	0,74	0,74		
-1,48	0,84	0,74	-0,46		
-1,09	0,46	-1,66	0,74		
0,46	0,84	0,74	0,74		
-1,09	-0,32	0,74	0,74		
-1,09	0,07	0,74	-0,46		
-0,71	0,00	0,74	0,00		
0,84	0,84	-0,70	0,74		
0,46	0,46	-0,46	0,74		
-1,87	1,23	0,74	-0,46		
0,00	-1,09	0,00	0,74		
-1,09	1,62	-0,70	0,74		
0,07	0,46	0,74	-0,46		
-0,71	0,07	-0,70	0,74		
-2,26	0,84	0,74	0,74		
-0,32	0,84	0,74	-1,66		
-1,48	-0,32	0,74	0,74		
	-0,71		-1,66		
	1,23		0,74		
	1,23		-1,66		
Z _{m.e.1} = - 0,52	Z _{m.e.2} = 0,47	Z _{pr.1} = 0,04	Z _{pr.2} = - 0,04		

* Οι χαμένες τιμές έχουν αντικατασταθεί με τον Γενικό Μέσο Όρο

Ακολουθώς, για κάθε μία ομάδα απεικονίζεται γραφικά ο δείκτης E σε ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων με τον οριζόντιο άξονα να είναι ο άξονας του $Z_{m.e.}$ και ο κατακόρυφος άξονας του $Z_{pr.}$.



Γράφημα 12 : Γραφική απεικόνιση δείκτη αποδοτικότητας εκπαιδευτικών συνθηκών E ανά μορφή αλληλεπίδρασης

4.3 Συμπεράσματα – Συζήτηση

Η εκπαιδευτική παρέμβαση που πραγματοποιήθηκε σκοπό είχε να ελέγξει :

A) εάν η αλληλεπίδραση μέσω πειραματισμού των μαθητών με την προσομοίωση ήταν αποτελεσματικότερη από την αλληλεπίδραση μέσω παρατήρησης και

B) εάν το γνωστικό φορτίο εμφανίζεται αυξημένο στους μαθητές της ομάδας του πειραματισμού συγκριτικά με εκείνο της ομάδας παρατήρησης.

Η αποτελεσματικότητα ελέγχθηκε με την επίδοση των μαθητών στο κριτήριο αξιολόγησης (post-test) και η εκτίμηση του γνωστικού φορτίου για την απάντηση των ερωτημάτων του φύλλου εργασίας έγινε από τον συνδυασμό των μετρήσεων της νοητικής προσπάθειας που κατέβαλε ο μαθητής σε μία διαβαθμισμένη κλίμακα από το 1 (πολύ, πολύ μικρή) έως 9 (πολύ, πολύ μεγάλη) και της απόδοσης της κάθε δραστηριότητας, σύμφωνα με την προτεινόμενη μέθοδο των Paas και van Merriënboer [54].

Σε ότι αφορά τον πρώτο σκοπό της έρευνας, από τη σύγκριση της επίδοσης τους στο pre- και στο post-test προκύπτει ότι η διδακτική παρέμβαση ήταν αποτελεσματική και για τις δύο ομάδες με τους μαθητές να πετυχαίνουν υψηλότερες επιδόσεις στο post-test, γεγονός που σημαίνει ότι μετά το πέρας της οι μαθητές είναι σε θέση i) να αναγνωρίζουν την ποσότητα αντιδρώντων και προϊόντων και τη θερμοκρασία ως παράγοντες που επηρεάζουν τη θέση μιας χημικής ισορροπίας αερίων σωμάτων, ii) να προβλέπουν τη μετατόπιση μιας χημικής ισορροπίας προς την μία ή την άλλη κατεύθυνση όταν ένας από αυτούς τους δύο παράγοντες μεταβάλλεται και iii) να ερμηνεύουν τη μετατόπιση μίας χημικής ισορροπίας προς την μία ή την άλλη κατεύθυνση όταν ένας από αυτούς τους δύο παράγοντες μεταβάλλεται. Συγκρίνοντας τις άλλες παραμέτρους (επίδοση στο post-test, αριθμός βίντεο / εικονικών πειραμάτων, αποτελεσματικότητα μάθησης) παρατηρούνται κάποιες διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων, χωρίς όμως αυτές οι διαφορές να είναι στατιστικά σημαντικές. Στατιστικά σημαντική διαφορά σημειώνεται στο χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο οι μαθητές ολοκλήρωσαν τη διαδικασία, με τους μαθητές της Ο1 να χρειάζονται λιγότερο χρόνο από τους μαθητές της Ο2 ($M = 45,30$ και $M = 59,23$ αντίστοιχα) παρόλο που και οι δύο παρακολούθησαν και εκτέλεσαν κατά μέσο όρο τον ίδιο αριθμό βίντεο και εικονικών πειραμάτων αντίστοιχα. Η διαφορά αυτή μπορεί να αποδοθεί στους εξής παράγοντες :

- οι μαθητές της Ο1 είχαν την επιλογή να τρέξουν τα βίντεο και να διαπιστώσουν σε συντομότερο χρονικό διάστημα τις επιπτώσεις των μεταβολών των ποσοτήτων αντιδρώντων – προϊόντων και της θερμοκρασίας στη χημική ισορροπία, σε αντίθεση με τους μαθητές της Ο2 που θα έπρεπε να περιμένουν να ολοκληρωθεί το εικονικό πείραμα και να εξάγουν συμπεράσματα,
- οι μαθητές της Ο2 χρειαζόταν χρόνο αφενός για να αποφασίσουν ποιο θα ήταν το επόμενο πείραμα που θα εκτελούσαν και να το σχεδιάσουν, αφετέρου για να κάνουν τις απαραίτητες ρυθμίσεις (αρχική θερμοκρασία, αρχικές ποσότητες, ρύθμιση χρονομέτρου μεταξύ άλλων).

Συμπερασματικά, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι τα αποτελέσματα συμφωνούν τα ευρήματα της Chang [29], δηλαδή η αλληλεπίδραση μέσω πειραματισμού είναι το ίδιο αποτελεσματική με την αλληλεπίδραση μέσω παρατήρησης σε ότι

αφορά την ευκολία με την οποία οι μαθητές κατανοούν νέες έννοιες και μαθαίνουν [29].

Σε ότι αφορά τον δεύτερο σκοπό της έρευνας, από τη θέση των δεικτών E στο σύστημα συντεταγμένων $Z_{m.e.} - Z_{pr.}$ προκύπτει ότι το γνωστικό φορτίο είναι χαμηλότερο για τους μαθητές της ομάδας O1 συγκριτικά με εκείνο των μαθητών της ομάδας O2 αφού πέτυχαν συγκριτικά υψηλότερες αποδόσεις καταβάλλοντας μικρότερη νοητική προσπάθεια. Ένας μαθητής της ομάδας O2 προκειμένου να εκτελέσει ένα εικονικό πείραμα αξιοποιώντας τις δυνατότητες που του προσφέρει η συγκεκριμένη προσομοίωση θα πρέπει να το σχεδιάσει και να λάβει υπόψη του στοιχεία όπως : τον σκοπό του πειράματος, ρυθμίσεις που πρέπει να γίνουν όπως του είδους της αντίδρασης (εξώθερμη ή ενδόθερμη), την αρχική θερμοκρασία, τις αρχικές ποσότητες των αντιδρώντων, την εμφάνιση και επανεκκίνηση του χρονομέτρου, την κατάλληλη χρονική διακοπή της αντίδρασης προκειμένου να επιφέρει μία μεταβολή στο σύστημα κ.ά. Σύμφωνα με τον Pollock και τους συνεργάτες του, όταν στους εκπαιδευόμενους παρουσιάζεται ένα νέο υλικό, για το οποίο δεν υπάρχει κάποια πρότερη γνώση, και καλούνται να διαχειριστούν μια σειρά στοιχείων ταυτόχρονα στη βραχυπρόθεσμη μνήμη χωρίς να διαθέτουν τα απαραίτητα σχήματα τότε το γνωστικό φορτίο είναι αυξημένο [68]. Αντίθετα, οι μαθητές της O1, μέσα από τα βίντεο που παρακολουθούν, προσλαμβάνουν εκείνα μόνο τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για την κατανόηση (understanding) της διδασκόμενης ενότητας (στα πλαίσια της παρούσης έρευνας η αρχή Le Chatelier), έχοντας έτσι τη δυνατότητα να δημιουργήσουν στη βραχυπρόθεσμη μνήμη τους κάποια αρχικά σχήματα που θα τους επιτρέψουν την ευκολότερη διατήρηση και επεξεργασία των προσλαμβανόμενων πληροφοριών. Η μέθοδος αυτή μπορεί να οδηγεί σε περιορισμένη αρχική κατανόηση του διδασκόμενου αντικειμένου, όμως, αυξάνεται η πιθανότητα μάθησής του (learning) με μικρότερη επιβάρυνση ως προς το γνωστικό φορτίο.

Όπως δηλώνουν οι Paas και van Merriënboer, ο δείκτης αποδοτικότητας των εκπαιδευτικών συνθηκών είναι μία πρώτη εκτίμηση της αποδοτικότητας δύο διαφορετικών συνθηκών καθώς δέχονται ως δεδομένη μία γραμμική σχέση ανάμεσα στη νοητική προσπάθεια και την απόδοση. Δεδομένης της απουσίας άλλων πιο λεπτομερών μοντέλων, η προτεινόμενη τεχνική είναι μία χρήσιμη

εναλλακτική που επιτρέπει τη συσχέτιση των μετρήσεων της νοητικής προσπάθειας και της απόδοσης [54].

Επίσης, σημαντικό είναι να συνδυαστεί η μέτρηση της νοητικής αποδοτικότητας και του γνωστικού φορτίου με την καταγραφή του χρονικού διαστήματος μέσα στο οποίο οι μαθητές των δύο ομάδων ολοκλήρωσαν την εργασία. Κι αυτό διότι, κατά τον Paas και τους συνεργάτες του είναι απαραίτητη η μέτρηση του χρόνου που χρειάστηκε ένας μαθητής να ολοκληρώσει την εργασία αφού, μία εκτίμηση 5 στην 9-βάθμια κλίμακα για κάποιον που χρειάστηκαν 5 λεπτά να πραγματοποιήσει την εργασία δεν έχει την ίδια αξία με κάποιον που χρειάστηκε 10 λεπτά για να την ολοκληρώσει [59]. Στην παρούσα έρευνα, διαπιστώθηκε διαφοροποίηση στο χρόνο ολοκλήρωσης της δραστηριότητας ($M = 45,30$ και $M = 59,23$ για τις ομάδες O1 και O2 αντίστοιχα) γεγονός που μπορεί να ερμηνευθεί από την αυξημένη νοητική προσπάθεια που έπρεπε να καταβάλουν οι μαθητές της 2ης ομάδας προκειμένου να οργανώσουν, να εκτελέσουν και να απαντήσουν στα δύο ερωτήματα του φύλλου εργασίας τους. Βέβαια, κατά τον Paas και τους συνεργάτες του, όταν ζητείται από τους μαθητές να εκτιμήσουν τη νοητική προσπάθεια κατά την εκτέλεση μίας δραστηριότητας, θα πρέπει να διευκρινίζεται αν λαμβάνουν υπόψη τους και τον χρόνο περάτωσης της (οπότε δεν χρειάζεται καταγραφή του χρόνου). Διαφορετικά, μια μέτρηση της αποδοτικότητας όπου έχουν ληφθεί υπόψη η νοητική προσπάθεια, η απόδοση και ο χρόνος είναι ιδιαίτερος κατατοπιστική [59].

Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι η τεχνολογία που επιτρέπει στον μαθητή να εκτελεί τα δικά του εικονικά πειράματα με τη χρήση μίας προσομοίωσης και εκείνη που του επιτρέπει να παρακολουθεί βίντεο πειραμάτων με όποια σειρά και με όποιον ρυθμό επιθυμεί έχουν το ίδιο μαθησιακό όφελος. Και οι δύο διδακτικές προτάσεις οδήγησαν σε συγκρίσιμη συμπεριφορική (behavioural) και γνωστική εμπλοκή.

Ο σχεδιασμός διαδραστικών εκπαιδευτικών διαδικασιών όπου γίνεται χρήση προσομοιώσεων σε υπολογιστή, διαδικασιών σύμφωνων με τις αρχές του εποικοδομητισμού και της γνωστικής θεωρίας της πολυμεσικής μάθησης μπορεί να επιφέρει οφέλη στη μάθηση. Μία διαδικασία που i) επιτρέπει τη διάδραση μαθητή – ποροσομοίωσης και ii) λαμβάνει υπόψη της την πρότερη

γνώσης του μαθητή και το γνωστικό φορτίο που μπορεί να του προκαλέσει δεν εμποδίζει τη μάθηση.

Συνολικά, μπορούμε να πούμε ότι με τη διερεύνηση της διάδρασης μαθητή – προσομοίωσης ως χαρακτηριστικού που πρέπει να διαθέτει μία προσομοίωση και με τον σχεδιασμό μίας εκπαιδευτικής πρακτικής που την αξιοποιεί, τα ευρήματα της παρούσης εργασίας θα μπορέσουν να βοηθήσουν στον σχεδιασμό μαθησιακών περιβαλλόντων που ενσωματώνουν προσομοιώσεις και θα συμβάλλουν σε αυξημένα μαθησιακά αποτελέσματα (απόκτηση δεξιοτήτων, εννοιολογική αλλαγή, γνώση περιεχομένου).

4.4 Περιορισμοί

Η παρούσα έρευνα διέπεται από ορισμένους περιορισμούς. Ο πρώτος είναι ότι η επιλογή του δείγματος δεν ακολούθησε τις αρχές της τυχαίας δειγματοληψίας, αλλά ήταν συμπωματική, εξαιτίας της δυσκολίας εξασφάλισης δείγματος (π.χ. άρνηση εκπαιδευτικών, κλάδου ΠΕ04.02 να συμμετάσχουν τα τμήματά τους στην έρευνα). Έτσι, η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε δύο σχολικές μονάδες, που δέχθηκαν να συμμετάσχουν. Η κατανομή των μαθητών σε κάθε ομάδα έγινε με τυχαίο τρόπο μεν, λαμβάνοντας υπόψη τη βαθμολόγηση τους στη Χημεία στο α' τετράμηνο.

Επίσης, το δείγμα των 61 μαθητών, σε συνδυασμό με τον μη τυχαίο τρόπο επιλογής τους, είναι αρκετά μικρό για να επιτρέψει τη γενίκευση των αποτελεσμάτων της έρευνας σε έναν ευρύ πληθυσμό. Τα συμπεράσματα της έρευνας μπορούμε να πούμε ότι αφορούν τον πληθυσμό μαθητών της Β' τάξης ημερήσιου γενικού λυκείου μεγάλου αστικού κέντρου, λαμβάνοντας υπόψη την περιοχή διεξαγωγής της παρέμβασης (δηλαδή, την Αθήνα του νομού Αττικής).

Ένας άλλος περιορισμός ήταν το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο έπρεπε να ολοκληρωθεί η παρέμβαση και η έρευνα. Συγκεκριμένα, συμφωνήθηκε με τις σχολικές μονάδες η διαδικασία να διαρκέσει τρεις με τέσσερις εβδομάδες και δύο με τρεις διδακτικές ώρες ανά εβδομάδα.

Τέλος, λόγω της παλαιότητας του εξοπλισμού των εργαστηρίων Ηλεκτρονικών Υπολογιστών των σχολικών μονάδων, δεν μπορούσαν όλες οι συσκευές να υποστηρίξουν την προσομοίωση PhET Αντιδράσεις και Ταχύτητα Αντίδρασης (1.07) ή να τρέξουν τα video των προσομοιώσεων. Το αποτέλεσμα ήταν να μην

είναι δυνατή η παρουσία όλων των μαθητών της κάθε ομάδας ταυτόχρονα στο εργαστήριο Η/Υ τόσο κατά την παρουσίαση της προσομοίωσης όσο και κατά την αλληλεπίδραση τους είτε μέσω παρατήρησης είτε μέσω του πειραματισμού.

4.5 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Όπως προαναφέρθηκε, ένας περιορισμός της παρούσης έρευνας είναι ο μικρός αριθμός των συμμετεχόντων μαθητών και η προέλευσή τους γεγονός που δεν μας επιτρέπει γενίκευση των αποτελεσμάτων. Μελλοντική έρευνα θα πρέπει να περιλάβει μεγαλύτερο αριθμό μαθητών και από διαφορετικές περιοχές, όχι μόνο μεγάλων αστικών κέντρων προκειμένου να ελεγχθεί η επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων.

Ένα άλλο στοιχείο που θα μπορούσε να διερευνηθεί είναι κατά πόσο μία καθοδηγούμενη παρέμβαση θα ήταν πιο αποτελεσματική και επιβάρυνε λιγότερο τη νοητική προσπάθεια στην περίπτωση της αλληλεπίδρασης με πειραματισμό. Λέγοντας καθοδηγούμενη παρέμβαση εννοούμε μία παρέμβαση όπου θα περιγράφονται λεπτομερώς τα βήματα που θα πρέπει να ακολουθήσουν οι μαθητές κατά την εκτέλεση των εικονικών πειραμάτων προκειμένου να απαντήσουν τα ερωτήματα του φύλλου εργασίας. Η Chang στην έρευνα της για την κατανόηση της άνωσης και των παραγόντων που την επηρεάζουν διαπίστωσε ότι όταν στους μαθητές δίνονται σαφείς οδηγίες για τα βήματα που θα πρέπει να ακολουθήσουν, το όφελος για τους μαθητές είναι μεγαλύτερο [29].

Επίσης, όπως προαναφέρθηκε, σε μελλοντική έρευνα θα πρέπει να διευκρινίζεται αν στην εκτίμηση της νοητικής προσπάθειας οι μαθητές συνυπολογίζουν το χρόνο που χρειάστηκε να απαντήσουν το κάθε ερώτημα του φύλλου εργασίας. Κι αυτό διότι μία ίδια εκτίμηση της νοητικής προσπάθειας στην 9-βάθμια κλίμακα με διαφορετικό χρόνο απάντησης ενός ερωτήματος οδηγεί σε διαφορετικά συμπεράσματα σε ότι αφορά την καταβληθείσα νοητική προσπάθεια [59].

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

Πίνακας 20 : Πίνακας ορολογίας με τις αντιστοιχίσεις των ελληνικών και ξενόγλωσσων όρων

Ξενόγλωσσος όρος	Ελληνικός Όρος
Borrowing and Reorganizing Principle	Αρχή του Δανεισμού και της Αναδιοργάνωσης
Boxplot	Θηκόγραμμα
Cognitive Change	Εννοιολογική Αλλαγή
Cognitive Load Theory	Θεωρία Γνωστικού Φορτίου
Content Knowledge	Γνώση Περιεχομένου
Criss-crossing	Πολύδρομη Διάσχιση
Deductive Approach	Παραγωγική μέθοδος
Efficiency	Αποδοτικότητα
Effectiveness	Αποτελεσματικότητα
Environmental Organizing and Linking Principle	Αρχή Περιβαλλοντικής Οργάνωσης και Σύνδεσης
Experimentation Interactivity	Αλληλεπίδραση με πειραματισμό
Extraneous Cognitive Load	Εξωγενές Γνωστικό Φορτίο
Germane Cognitive Load	Συναφές Γνωστικό Φορτίο
High-instructional Efficiency	Υψηλή Εκπαιδευτική Αποδοτικότητα
Inductive Approach	Επαγωγική Μέθοδος
Information Store Principle	Αρχή Αποθήκευσης Πληροφοριών
Instructional Condition Efficiency Score E	Δείκτης Αποδοτικότητας Εκπαιδευτικών Συνθηκών E
Intrinsic Cognitive Load	Ενδογενές (ή εγγενές ή εσωτερικό) Γνωστικό Φορτίο
Learning	Μάθηση
Learning Efficiency	Αποδοτικότητα της Μάθησης

Low-instructional Efficiency	Χαμηλή Εκπαιδευτική Αποδοτικότητα
Mental Effort	Νοητική Προσπάθεια
Mental Load	Νοητικό Φορτίο
Narrow Limite of Change Principle	Αρχή των Στενών Ορίων Αλλαγής
Observation Interactivity	Αλληλεπίδραση με παρατήρηση
Password	Κωδικός Εισόδου
Performance	Απόδοση
Process Skills	Ικανότητες (Δεξιότητες) Επεξεργασίας
Randomness and Genesis Principle	Αρχή της Τυχαιότητας ως Μηχανισμού Γένεσης
Resident Commercial Softwares	Εμπορικά Λογισμικά για Ιδιωτική Χρήση
Schema	Σχήμα
Simulation	Προσομοίωση
Understanding	Κατανόηση
Username	Όνομα Χρήστη

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

Πίνακας 21 : Ακρωνύμια και ανάπτυξή τους

CLT	Cognitive Load Theory,
ICT	Information and Communication Technologies
PhET	Physics Education Technology
OER	Open Educational Resource
ΑΠΘ	Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
ΤΠΕ	Τεχνολογία/-ες Πληροφόρησης και Επικοινωνίας

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Πρόγραμμα εκπαιδευτικής παρέμβασης

Διδακτική ώρα	Περιεχόμενο	
1	Pre-test	
2	Θέμα	Μεταβολή ενέργειας κατά τις χημικές αντιδράσεις Ενδόθερμες – εξώθερμες αντιδράσεις Θερμότητα αντίδρασης Μεταβολή ενθαλπίας Χημική κινητική – Θεωρία συγκρούσεων – Θεωρία μεταβατικής κατάστασης
	Διδακτικές ενότητες	§ 2.1 (σελ. 44 – 46) § 3.1 (σελ. 71 – 73) Σχολικό εγχειρίδιο : Λιοδάκης Σ. (2017) <i>Χημεία γ' λυκείου / Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών</i> ΙΤΥΕ
	Στόχοι	Στο τέλος της διδακτικής ώρας θα πρέπει ο μαθητής : 1) να ταξινομεί τις αντιδράσεις σε ενδόθερμες και εξώθερμες με κριτήριο την ανταλλαγή ενέργειας με τη μορφή θερμότητας μεταξύ συστήματος και περιβάλλοντος, 2) να ορίζει τη μεταβολή της ενθαλπίας ΔΗ, 3) να ταξινομεί τις αντιδράσεις σε ενδόθερμες και εξώθερμες με κριτήριο τη μεταβολή ενθαλπίας της αντίδρασης, 4) να ερμηνεύει τις χημικές αντιδράσεις σύμφωνα με i) τη θεωρία των συγκρούσεων και ii) τη θεωρία της μεταβατικής κατάστασης, 5) να αναγνωρίζει πότε μία αντίδραση είναι ενδόθερμη ή εξώθερμη από το ενεργειακό διάγραμμα της αντίδρασης
3	Θέμα	Χημική ισορροπία Αμφίδρομες αντιδράσεις

	Διδακτικές ενότητες	§ Εισαγωγή 4^{ου} Κεφαλαίου (σελ. 103) § 4.1 (σελ. 103 – 106) Σχολικό εγχειρίδιο : Λιοδάκης Σ. (2017) <i>Χημεία γ' λυκείου / Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών</i>, ΙΤΥΕ
	Στόχοι	Στο τέλος της διδακτικής ώρας θα πρέπει ο μαθητής : 1) να ορίζει τι είναι αμφίδρομη αντίδραση και να την αποδίδει με τη χρήση κατάλληλου συμβολισμού, 2) να ορίζει τι είναι χημική ισορροπία, 3) να αναφέρει τα χαρακτηριστικά (ποιοτικά – ποσοτικά) ενός συστήματος σε κατάσταση χημικής ισορροπίας, 4) να αναγνωρίζει ότι η χημική ισορροπία είναι μία δυναμική ισορροπία.
4	Θέμα	Παρουσίαση της προσομοίωσης PhET Αντιδράσεις και Ταχύτητα Αντίδρασης (1.07) Παρουσίαση βίντεο με το OBS Studio
	Στόχοι	Στο τέλος της διδακτικής ώρας θα πρέπει ο μαθητής : 1) να είναι εξοικειωμένος με το περιβάλλον της προσομοίωσης Ταχύτητα Αντίδρασης και των δυνατοτήτων που έχει ως χρήστης να αλλάζει τα χαρακτηριστικά ενός συστήματος (εισαγωγή / αφαίρεση μορίων, αύξηση / μείωση θερμοκρασίας, διακοπή / έναρξη αντίδρασης, επαναφορά συστήματος / χρονομέτρου), 2) να αλληλοεπιδρά με βίντεο που έχουν δημιουργηθεί με το πρόγραμμα OBS Studio (επιλογή βίντεο, διακοπή / επανέναρξη βίντεο, να πηγαίνει μπροστά ή πίσω στο βίντεο).
5	Διδακτική παρέμβαση	
	Διαδικασία	(Έχει προηγηθεί ο ορισμός των ομάδων και έχουν ενημερωθεί οι μαθητές σε ποια ομάδα ανήκουν) 1) Κάθε μαθητής εργάζεται ατομικά και στο δικό του υπολογιστή. 2) Οι μαθητές κάθονται εναλλάξ. 3) Ο διαθέσιμος χρόνος για να ολοκληρώσει ο μαθητής είτε τις δοκιμές είτε την παρακολούθηση των βίντεο είναι τα 30 λεπτά.

		4) Στον υπόλοιπο χρόνο μέχρι τη λήξη της διδακτικής ώρας ο μαθητής απαντά στο φύλλο εργασίας τις δύο (2) ερωτήσεις και συμπληρώνει τα στοιχεία που του ζητούνται (αν χρειαστεί, μπορεί να διατεθεί και χρόνος από το διάλειμμα).
6	Post-test	

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

Όνομα χρήστη (Username) :

Pre- και Post-test

Ασκήσεις πολλαπλής επιλογής

1. Έστω η ισορροπία $A_{(g)} + B_{(g)} \rightleftharpoons AB_{(g)} + \Gamma_{(g)}$. Τι θα συμβεί αν προσθέσουμε στο σύστημα σε ισορροπία ποσότητα AB διατηρώντας τη θερμοκρασία και τον όγκο σταθερά;

- α. Η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα δεξιά
- β. Η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα αριστερά
- γ. Η ισορροπία θα μετατοπιστεί και προς τις δύο κατευθύνσεις
- δ. Η ισορροπία ΔΕΝ θα μετατοπιστεί

2. Σε ποιο από τα παρακάτω συστήματα σε ισορροπία η προσθήκη ποσότητας A θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ποσότητας του Γ (διατηρώντας τη θερμοκρασία και τον όγκο σταθερά);

- α. $B_{(g)} + \Gamma_{(g)} \rightleftharpoons A_{(g)} + \Delta_{(g)}$
- β. $A_{(g)} + B_{(g)} \rightleftharpoons \Delta_{(g)} + \Gamma_{(g)}$
- γ. $A_{(g)} + \Gamma_{(g)} \rightleftharpoons B_{(g)} + \Delta_{(g)}$
- δ. $A_{(g)} \rightleftharpoons B_{(g)} + \Gamma_{(g)}$

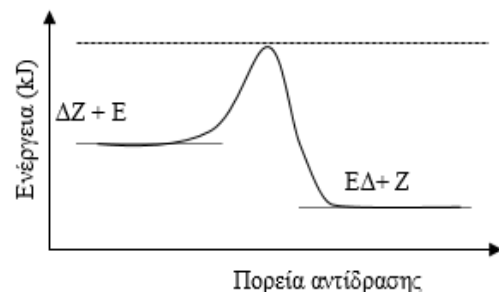
3. Για να αυξηθεί η ποσότητα του B στην ισορροπία $A_{(g)} + B_{(g)} \rightleftharpoons \Gamma_{(g)} + \Delta_{(g)}$, $\Delta H < 0$ θα πρέπει:

- α. να αυξηθεί η ποσότητα του A
- β. να αυξηθεί η θερμοκρασία
- γ. να μειωθεί η θερμοκρασία
- δ. να μειωθεί η ποσότητα του Γ

4. Έστω η ισορροπία $\Delta Z_{(g)} + E_{(g)} \rightleftharpoons E\Delta_{(g)} + Z_{(g)}$ με τη μεταβολή της ενέργειας αντιδρώντων και προϊόντων να φαίνεται στο διπλανό σχήμα.

Τι θα συμβεί αν ελαττώσουμε την θερμοκρασία διατηρώντας τον όγκο σταθερό;

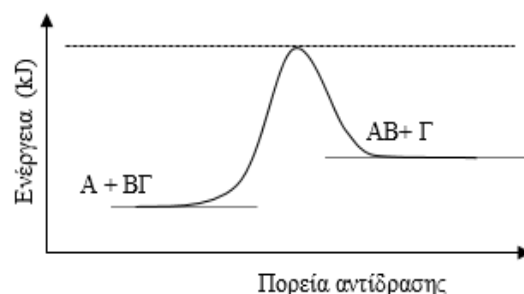
- α. Η ισορροπία θα μετατοπιστεί δεξιά
- β. Η ισορροπία θα μετατοπιστεί αριστερά
- γ. Η ισορροπία θα μετατοπιστεί και προς τις δύο κατευθύνσεις
- δ. Η ισορροπία ΔΕΝ θα μετατοπιστεί



5. Έστω η ισορροπία $A_{(g)} + B\Gamma_{(g)} \rightleftharpoons AB_{(g)} + \Gamma_{(g)}$ με τη μεταβολή της ενέργειας αντιδρώντων και προϊόντων να φαίνεται στο διπλανό σχήμα.

Αυξάνοντας τη θερμοκρασία του συστήματος και διατηρώντας τον όγκο σταθερό :

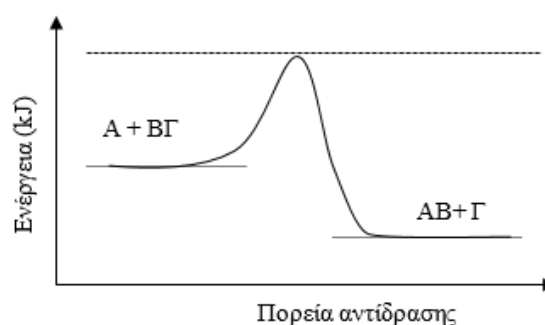
- α. θα αυξηθεί η ποσότητα των A και BΓ
- β. θα αυξηθεί η ποσότητα των AB και Γ



δ. θα αυξηθεί η ποσότητα όλων των αερίων

Το σύστημα Α, Β, Γ σε κατάσταση χημικής ισορροπίας έχει γαλαζοπράσινο χρώμα που οφείλεται στα συστατικά του, στο γαλάζιο Α και στο πράσινο Γ. Πώς θα μεταβληθεί το χρώμα του συστήματος αν μειωθεί η θερμοκρασία; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

2. Το ακόλουθο διάγραμμα δείχνει τη μεταβολή της ενέργειας αντιδρώντων και προϊόντων για την αμφίδρομη αντίδραση $A_{(g)} + B_{(g)} \rightleftharpoons AB_{(g)} + \Gamma_{(g)}$. Να αιτιολογήσετε γιατί η μείωση της θερμοκρασίας, διατηρώντας τον όγκο σταθερό, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ποσότητας του Α.



3. Έστω η ισορροπία $A_{(g)} + B_{(g)} \rightleftharpoons \Gamma_{(g)} + \Delta_{(g)}$, $\Delta H > 0$. Να αιτιολογήσετε πώς θα πρέπει να μεταβληθεί η θερμοκρασία προκειμένου να αυξηθεί η ποσότητα του αερίου Δ (διατηρώντας τον όγκο σταθερό).

Το σύστημα Α, Β, Γ σε κατάσταση χημικής ισορροπίας έχει γαλαζοπράσινο χρώμα που οφείλεται στα συστατικά του, στο γαλάζιο Α και στο πράσινο Γ. Πως θα μεταβληθεί το χρώμα του συστήματος αν μειωθεί η θερμοκρασία; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

Βαθμολογία	2 μονάδες	1 μονάδα	0 μονάδες
Επιλογή	Γαλάζιο (0,5)	Γαλάζιο (0,5)	Πράσινο
Αιτιολόγηση	Διότι η αντίδραση προς τα δεξιά είναι ενδόθερμη και η μείωση της θερμοκρασίας ευνοεί τις εξώθερμες. Άρα η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα αριστερά και το χρώμα του συστήματος θα αλλάξει από γαλαζοπράσινο σε γαλάζιο.	Διότι η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα αριστερά.	Οποιαδήποτε εξήγηση που είναι λάθος ή άσχετη

Ασκήσεις εκτεταμένης ανάπτυξης

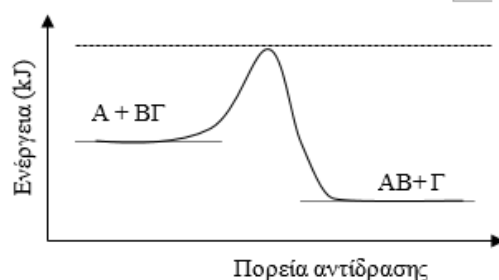
1. Έστω η ισορροπία $A_{(g)} + B_{(g)} \rightleftharpoons AB_{(g)} + \Gamma_{(g)}$. Διατηρώντας τον όγκο και τη θερμοκρασία σταθερά, για να αυξηθεί η ποσότητα του $B\Gamma$ θα πρέπει να προσθέσουμε ποσότητα του αερίου Γ . Να αιτιολογήσετε το γιατί.

1η Έννοια : «Αντιδρών – Προϊόν»	Το ΒΓ είναι αντιδρών και το Γ προϊόν.
2η Έννοια : «Η μετατόπιση της χημικής ισορροπίας»	Η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα αριστερά

Βαθμολογία	3 μονάδες	2 μονάδες	1 μονάδα	0 μονάδες
Αιτιολόγηση	Για να αυξηθεί η ποσότητα του ΒΓ θα πρέπει η ισορροπία να μετατοπισθεί προς τα αριστερά, δηλαδή προς την πλευρά των αντιδρώντων. Αυτό μπορεί να γίνει είτε με μείωση της ποσότητας των αντιδρώντων είτε με αύξηση της ποσότητας των προϊόντων. Συνεπώς για να αυξηθεί η ποσότητα του ΒΓ θα πρέπει να προσθέσουμε Γ	Η προσθήκη Γ έχει ως αποτέλεσμα τη μετατόπιση της ισορροπίας προς τα αριστερά και άρα θα αυξηθεί η ποσότητα του ΒΓ.	Η προσθήκη Γ έχει ως αποτέλεσμα τη μετατόπιση της ισορροπίας προς τα αριστερά. Η αύξηση της ποσότητας ενός από τα προϊόντα της αντίδρασης έχει ως αποτέλεσμα τη μετατόπιση της ισορροπίας προς την πλευρά των αντιδρώντων.	<i>Οποιαδήποτε εξήγηση που είναι λάθος ή άσχετη</i>

Όνομα χρήστη (Username) :

2. Το ακόλουθο διάγραμμα δείχνει τη μεταβολή της ενέργειας αντιδρώντων και προϊόντων για την αμφίδρομη αντίδραση $A_{(g)} + B_{(g)} \rightleftharpoons AB_{(g)} + \Gamma_{(g)}$. Να αιτιολογήσετε γιατί η μείωση της θερμοκρασίας, διατηρώντας τον όγκο σταθερό, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ποσότητας του A.



1 ^η Έννοια : «Είδος θερμοχημικής αντίδρασης»	Η προς τα δεξιά αντίδραση είναι εξώθερμη.
2 ^η Έννοια : «Η μετατόπιση της χημικής ισορροπίας»	Η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα δεξιά.

Βαθμολογία	3 μονάδες	2 μονάδες	1 μονάδα	0 μονάδες
Αιτιολόγηση	Με βάση τη μεταβολή της ενέργειας αντιδρώντων – προϊόντων η αντίδραση προς τα δεξιά είναι εξώθερμη. Η μείωση της θερμοκρασίας θα μετατοπίσει την ισορροπία προς την κατεύθυνση που εκλύεται θερμότητα, δηλαδή προς τα δεξιά, που η αντίδραση είναι εξώθερμη, με συνέπεια, να μειωθεί η ποσότητα των αντιδρώντων, άρα και του A.	Με βάση τη μεταβολή της ενέργειας αντιδρώντων – προϊόντων η αντίδραση προς τα δεξιά είναι εξώθερμη. Η μείωση της θερμοκρασίας θα μετατοπίσει την ισορροπία προς τα δεξιά με συνέπεια, να μειωθεί η ποσότητα του A.	Η μείωση της θερμοκρασίας θα μετατοπίσει την ισορροπία προς τα δεξιά με συνέπεια να μειωθεί η ποσότητα του A. Η μείωση της θερμοκρασίας θα μετατοπίσει την ισορροπία προς την κατεύθυνση που εκλύεται θερμότητα, δηλαδή προς τα δεξιά, που η αντίδραση είναι εξώθερμη.	Καμία αναφορά στο είδος της αντίδρασης (ότι δηλαδή η αντίδραση προς τα δεξιά είναι εξώθερμη) Οποιαδήποτε εξήγηση που είναι λάθος ή άσχετη

3. Έστω η ισορροπία $A_{(g)} + B_{(g)} \rightleftharpoons \Gamma_{(g)} + \Delta_{(g)}$, $\Delta H > 0$. Να αιτιολογήσετε πώς θα πρέπει να μεταβληθεί η θερμοκρασία προκειμένου να αυξηθεί η ποσότητα του αερίου Δ (διατηρώντας τον όγκο σταθερό).

1 ^η Έννοια : «Είδος θερμοχημικής αντίδρασης»	Η προς τα δεξιά αντίδραση είναι ενδόθερμη.
2 ^η Έννοια : «Αντιδρών – Προϊόν»	Το Δ είναι προϊόν
3 ^η Έννοια : «Η μετατόπιση της χημικής ισορροπίας»	Η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα δεξιά.

Βαθμολογία	3 μονάδες (συνδυασμός και των τριών εννοιών)	2 μονάδες (συνδυασμός των δύο από τις τρεις έννοιες)	1 μονάδα (αναφορά μόνο σε μία από τις τρεις έννοιες)	0 μονάδες
Αιτιολόγηση	Προκειμένου να αυξηθεί η ποσότητα του προϊόντος Δ θα πρέπει η ισορροπία να μετατοπιστεί προς την πλευρά των προϊόντων	Προκειμένου να αυξηθεί η ποσότητα του προϊόντος Δ θα πρέπει η ισορροπία να μετατοπιστεί προς την	Προκειμένου να αυξηθεί η ποσότητα του προϊόντος Δ θα πρέπει να αυξηθεί η θερμοκρασία. Η	Οποιαδήποτε εξήγηση που είναι λάθος ή άσχετη
	δηλαδή προς τα δεξιά. Δεδομένου ότι η αντίδραση προς τα δεξιά είναι ενδόθερμη, θα πρέπει η θερμοκρασία να αυξηθεί ώστε η ισορροπία να μετατοπιστεί προς την κατεύθυνση που θα απορροφηθεί θερμότητα (δηλαδή προς τα δεξιά).	πλευρά των προϊόντων δηλαδή προς τα δεξιά. Η Δεδομένου ότι η αντίδραση προς τα δεξιά είναι ενδόθερμη, θα πρέπει η θερμοκρασία να αυξηθεί ώστε η ισορροπία να μετατοπιστεί προς την κατεύθυνση που θα απορροφηθεί θερμότητα (δηλαδή προς τα δεξιά).	Προκειμένου να αυξηθεί η ποσότητα του Δ θα πρέπει η ισορροπία να μετατοπιστεί προς τα δεξιά. Η Θα πρέπει να αυξήσουμε τη θερμοκρασία ώστε να μετατοπιστεί η ισορροπία προς τα δεξιά.	

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Φύλλα εργασίας

1.1 Ομάδας παρατήρησης

Όνομα χρήστη (Username) :

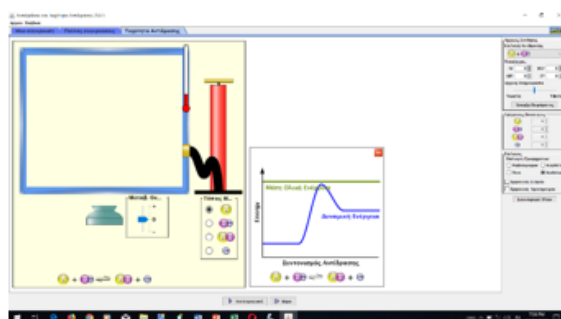
Κωδικός εισόδου (Password) :

Χρόνος έναρξης δραστηριότητας :

Χρόνος λήξης δραστηριότητας :

Αλληλεπίδραση με παρατήρηση

Παρακολουθήστε τα βίντεο που παρουσιάζουν πειράματα που έχουν γίνει αξιοποιώντας την προσομοίωση PhET Αντιδράσεις και Ταχύτητα Αντίδρασης (1.07) για να απαντήσετε στις 2 ερωτήσεις.



Τις παρατηρήσεις σας να τις σημειώνεται στον πίνακα που θα σας δοθεί.

1^η Ερώτηση

Σε ένα δοχείο όγκου V έχει αποκατασταθεί η ισορροπία :



Τι θα συμβεί στο σύστημα (που βρίσκεται σε κατάσταση χημικής ισορροπίας) αν μεταβάλλουμε την ποσότητα (εδώ αριθμό μορίων) μίας από τις ουσίες που συμμετέχουν στην ισορροπία (αντιδρώντα – προϊόντα) διατηρώντας σταθερά τον όγκο του δοχείου που πραγματοποιείται η αντίδραση και τη θερμοκρασία : δεν θα παρατηρηθεί καμία μεταβολή – θα μετατοπιστεί η ισορροπία προς κάποια κατεύθυνση (αντιδρώντων / προϊόντων) :

Υπάρχουν 8 βίντεο που μπορείτε να παρακολουθήσετε όσες φορές θέλετε, με όποια σειρά θέλετε, να τα προχωρήσετε μπροστά ή να πάτε πίσω.

Απάντηση 1^{ης} ερώτησης

Όνομα χρήστη (Username) :
Κωδικός εισόδου (Password) :

Σημείωσε στην ακόλουθη κλίμακα τη νοητική προσπάθεια που κατέβαλες για να εκτελέσεις τη δραστηριότητα και να απαντήσεις στο 1^ο ερώτημα

Πολύ, πολύ μικρή	Πολύ μικρή	Αρκετά μικρή	Μικρή	Μέτρια	Μεγάλη	Αρκετά μεγάλη	Πολύ μεγάλη	Πολύ, πολύ μεγάλη
1	2	3	4	5	6	7	8	9

2^η Ερώτηση

Σε ένα δοχείο όγκου V έχει αποκατασταθεί η ισορροπία :



Τι θα συμβεί στο σύστημα (που βρίσκεται σε κατάσταση χημικής ισορροπίας) αν μεταβάλλουμε τη θερμοκρασία του συστήματος διατηρώντας σταθερά τον όγκο του δοχείου που πραγματοποιείται η αντίδραση και τις ποσότητες (εδώ αριθμό μορίων) των ουσιών που συμμετέχουν στην ισορροπία (αντιδρώντα – προϊόντα) : δεν θα παρατηρηθεί καμία μεταβολή – θα μετατοπιστεί η ισορροπία προς κάποια κατεύθυνση (εξώθερμη / ενδόθερμη) ;

Υπάρχουν 4 βίντεο που μπορείτε να παρακολουθήσετε όσες φορές θέλετε, με όποια σειρά θέλετε, να τα προχωρήσετε μπροστά ή να πάτε πίσω.

Απάντηση 2^{ης} ερώτησης

Σημείωσε στην ακόλουθη κλίμακα τη νοητική προσπάθεια που κατέβαλες για να εκτελέσεις τη δραστηριότητα και να απαντήσεις στο 2^ο ερώτημα

Πολύ, πολύ μικρή	Πολύ μικρή	Αρκετά μικρή	Μικρή	Μέτρια	Μεγάλη	Αρκετά μεγάλη	Πολύ μεγάλη	Πολύ, πολύ μεγάλη
1	2	3	4	5	6	7	8	9

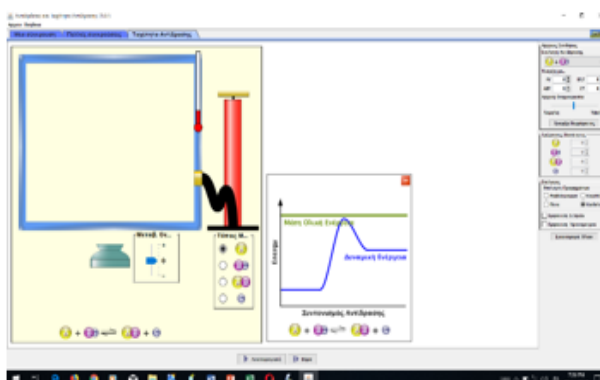
1.2 Ομάδας πειραματισμού

Χρόνος έναρξης δραστηριότητας :

Χρόνος λήξης δραστηριότητας :

Αλληλεπίδραση με πειραματισμό

Αξιοποιήστε την προσομοίωση PhET Αντιδράσεις και Ταχύτητα Αντίδρασης (1.07) για να πραγματοποιήσετε τα πειράματά σας και να απαντήσετε στις 2 ερωτήσεις.



Τις παρατηρήσεις σας να τις σημειώνεται στον πίνακα που θα σας δοθεί.

1^η Ερώτηση

Σε ένα δοχείο όγκου V έχει αποκατασταθεί η ισορροπία :



Τι θα συμβεί στο σύστημα (που βρίσκεται σε κατάσταση χημικής ισορροπίας) αν μεταβάλλουμε την ποσότητα (εδώ αριθμό μορίων) μίας από τις ουσίες που συμμετέχουν στην ισορροπία (αντιδρώντα – προϊόντα) διατηρώντας σταθερά τον όγκο του δοχείου που πραγματοποιείται η αντίδραση και τη θερμοκρασία : δεν θα παρατηρηθεί καμία μεταβολή – θα μετατοπιστεί η ισορροπία προς κάποια κατεύθυνση (αντιδρώντων / προϊόντων) ;

Απάντηση 1^{ης} ερώτησης

Αριθμός πειραμάτων που εκτέλεσες :

Όνομα χρήστη (Username) :
Κωδικός εισόδου (Password) :

Σημείωσε στην ακόλουθη κλίμακα τη νοητική προσπάθεια που κατέβαλες για να εκτελέσεις τη δραστηριότητα και να απαντήσεις στο 1^ο ερώτημα

Πολύ, πολύ μικρή	Πολύ μικρή	Αρκετά μικρή	Μικρή	Μέτρια	Μεγάλη	Αρκετά μεγάλη	Πολύ μεγάλη	Πολύ, πολύ μεγάλη
1	2	3	4	5	6	7	8	9

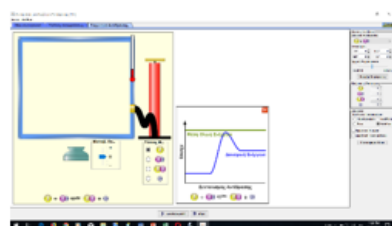
2^η Ερώτηση

Σε ένα δοχείο όγκου V έχει αποκατασταθεί η ισορροπία :

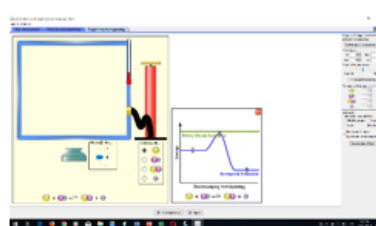


Τι θα συμβεί στο σύστημα (που βρίσκεται σε κατάσταση χημικής ισορροπίας) αν μεταβάλλουμε τη θερμοκρασία του συστήματος διατηρώντας σταθερά τον όγκο του δοχείου που πραγματοποιείται η αντίδραση και τις ποσότητες (εδώ αριθμό μορίων) των ουσιών που συμμετέχουν στην ισορροπία (αντιδρώντα – προϊόντα) : δεν θα παρατηρηθεί καμία μεταβολή – θα μετατοπιστεί η ισορροπία προς κάποια κατεύθυνση (της ενδόθερμης /της εξώθερμης) ;

Αξιοποιήστε την προσομοίωση PhET Αντιδράσεις και Ταχύτητα Αντίδρασης (1.07) για να πραγματοποιήσετε τα πειράματά σας και να απαντήσετε στην ερώτηση. Ζητήστε από τον καθηγητή σας να σας αλλάξει την αντίδραση (εξώθερμη – ενδόθερμη).



1^η περίπτωση : Εξώθερμη αντίδραση



2^η περίπτωση : Ενδόθερμη αντίδραση

Απάντηση 2^{ης} ερώτησης



Αριθμός πειραμάτων που εκτέλεσες :

Όνομα χρήστη (Username) :
Κωδικός εισόδου (Password) :

Σημείωσε στην ακόλουθη κλίμακα τη νοητική προσπάθεια που κατέβαλες για να εκτελέσεις τη δραστηριότητα και να απαντήσεις στο 2^ο ερώτημα

Πολύ, πολύ μικρή	Πολύ μικρή	Αρκετά μικρή	Μικρή	Μέτρια	Μεγάλη	Αρκετά μεγάλη	Πολύ μεγάλη	Πολύ, πολύ μεγάλη
1	2	3	4	5	6	7	8	9

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV

Πίνακες φύλλων εργασίας

1.1 Ομάδας παρατήρησης

Ομάδα παρατήρησης

Όνομα χρήστη (Username) :

Φύλλο εργασίας – Πίνακας μεταβολών

Βίντεο	Είδος αντίδρασης (εξώθερμη ή ενδόθερμη)	Τρέχουσες ποσότητες (κατά τη χρονική στιγμή ~ 500 μ.χ)				Μεταβολή	Τρέχουσες ποσότητες (μετά τη μεταβολή)				Τρέχουσες ποσότητες (κατά τη χρονική στιγμή ~ 1000 μ.χ)			
		A	BC	AB	C		A	BC	AB	C	A	BC	AB	C
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														

Παρατήρηση :

- Στη 2^η στήλη να σημειώσετε αν η αντίδραση είναι **ενδόθερμη** ή **εξώθερμη**
- Στη στήλη *Μεταβολή* να σημειώσετε τη μεταβολή που γίνεται στο σύστημα π.χ αύξηση αριθμού μορίων A κατά ή μείωση αριθμού μορίων C κατά ή μείωση θερμοκρασία **κ.ο.κ**
- Οι στήλες που αντιστοιχούν στις *Τρέχουσες ποσότητες (μετά τη μεταβολή)* συμπληρώνονται **μόνο** στην περίπτωση που γίνεται μεταβολή του αριθμού των μορίων κάποιου από τα αντιδρώντα ή τα προϊόντα
- Αν χρειαστεί να δείτε κάποιο βίντεο 2^η, 3^η ... φορά, να καταχωρήσετε τα στοιχεία σε ξεχωριστή σειρά, σαν να πρόκειται για διαφορετικό βίντεο

1.2 Ομάδας πειραματισμού

Ομάδα πειραματισμού

Όνομα χρήστη (Username) :

Φύλλο εργασίας – Πίνακας μεταβολών



Πείραμα	Είδος αντίδρασης (εξώθερμη ή ενδόθερμη)	Τρέχουσες ποσότητες (κατά τη χρονική στιγμή ~ 500 μ.χ)				Μεταβολή	Τρέχουσες ποσότητες (μετά τη μεταβολή)				Τρέχουσες ποσότητες (κατά τη χρονική στιγμή ~ 1000 μ.χ)			
		A	BC	AB	C		A	BC	AB	C	A	BC	AB	C
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														

19														
20														
21														
22														

Παρατήρηση :

- Στη 2^η στήλη να σημειώσετε αν η αντίδραση είναι **ενδόθερμη** ή **εξώθερμη**
- Στη στήλη *Μεταβολή* να σημειώσετε τη μεταβολή που επιφέρεται στο σύστημα π.χ αύξηση αριθμού μορίων Α κατά ή μείωση αριθμού μορίων ΑΒ κατά ή μείωση / αύξηση θερμοκρασία κ.ο.κ
- Οι στήλες που αντιστοιχούν στις *Τρέχουσες ποσότητες (μετά τη μεταβολή)* συμπληρώνονται **μόνο** στην περίπτωση που γίνεται μεταβολή του αριθμού των μορίων κάποιου από τα αντιδρώντα ή τα προϊόντα

Βιβλιογραφία

1. Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H., & Hemmo, V. (2007). *Science Education now : A renewed pedagogy for the future of Europe*. European Commission, Directorate-General for Research, Information and Communication Unit, High Level Group on Science Education (EUR 22845).
2. Σταυρίδου, Ε. (2011). Σύγχρονες τάσεις και οι επιπτώσεις τους στη διδακτική πράξη. In *Βασικό επιμορφωτικό υλικό* (Vol. B, pp. 1-14). Παιδαγωγικό Ινστιτούτο.
3. de Vries, E., Demetriadis, S., & Ainsworth, S. (2009). External representations for learning. Headed towards a digital culture. In N. Balacheff, S. Ludvigsen, T. de Jong, A. Lazonder, & S. Barnes (Eds.), *Technology-Enhanced Learning : Principles and Products* (pp. 137-153). Springer Netherlands.
4. Clements, H. (1991). Enhancement of creativity in computer environments. *American Educational Research Journal*, 28, 173-187.
5. Jonassen, D. (1996). *Computers in the classroom. Mindtools for critical thinking*. USA: Prentice-Hall.
6. Scalise, K., Timms, M., Moorjani, A., Clark, L., Hotlermann, K., & Irvin, P. (2011). Student Learning in Science Simulations : Design Features That Promote Learning Gains. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(9), 1050-1078.
7. de Jong, T., & van Joolingen, W. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179-202.
8. Thompson, A.D.; Simonson, M.R.; Hargrave, C.P. (1993). *Educational technology : a review of the research*. (R. ed., Ed.) Washington, D.C: Association for Education Communications and Technology.
9. Akpan, J., & Andre, T. (1999). The effect of a prior dissection simulation on middle school students' dissection performance and understanding of the anatomy and morphology of the frog. *Journal of Science Education and Technology*, 8(2), 107-121.
10. Jaakkola, T., Nurmi, S., & Veermans, K. (2011). A Comparison of Student's Conceptual Understanding of Electric Circuits in Simulation Only and Simulation-Laboratory Contexts. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(1), 71-93.
11. Alessi, S., & Trollip, S. (2001). *Πολυμέσα και Εκπαίδευση* (2η ed.). (Μ.Κ.Γκιούρδας, Ed., & Χ. Κουτρούμπα, Trans.) Αθήνα.
12. Gredler, M. (1996). Educational games and simulations : A technology in search of a research paradigm. In D. Jonassen, *Handbook of research for educational communications and technology* (pp. 521-539). New York: Mac Millan.
13. Μικρόπουλος, Τ. (2002). Προσομοιώσεις και Οπτικοποιήσεις στην Οικοδόμηση της Γνώσης στις Φυσικές Επιστήμες. *3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτικής Φυσικών Επιστημών*, (pp. 371-376). Ρέθυμνο.
14. Trundle, K., & Bell, R. (2010). The use of a computer simulation to promote conceptual change : A quasi-experimental study. *Computer and Education*, 54, 1078-1088.

15. Rutten, N., van Joolingen, W., & van der Veer, J. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computer and Education*, 58(1), 136-153.
16. Smetana, L., & Bell, R. (2012). Computer simulations to support science instruction and learning : A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 34, 1337-1370.
17. Tray, L., & Khan, S. (2008). How science student can learn about unobservable phenomena using computer-based analogies. *Computer & Education*, 51, 519-529.
18. Monaghan, J., & Clement, J. (1999). Use of a computer simulation to develop mental simulation for understanding relative motion concepts. *International Journal of Science Education*, 21, 921-944.
19. Chang, K.-E., Chen, Y.-L., Lin, H.-Y., & Sung, Y.-T. (2008). Effects of learning support in simulation-based physics learning. *Computer & Education*, 51(4), 1486-1498.
20. Carlsen, D., & Andre, T. (1992). Use of a microcomputer simulation and conceptual change text to overcome student preconceptions about electric circuits. *Journal of Computer-Based Instruction*, 19, 105-109.
21. Regan, M., & Sheppard, S. (1996). Interactive multimedia courseware and the hands-on learning experience. An assessment. *Journal of Engineering Education*, 85, 123-131.
22. Clark, R. (1983). Reconsidering research on learning from media. *Review of Educational Research*, 53, 445-459.
23. Clark, R. E. (1994). Media will never influence learning. *Educational technology research and development*, 42(2), 21-29.
24. Flick, L., & Bell, R. (2000). Preparing tomorrow's science teachers to use technology: Guidelines for Science educators. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education [Online serial]*, 1(1).
25. McElhaney, K., Chang, H.-Y., Chiu, J., & Linn, M. (2015). Evidence for effective uses of dynamic visualizations in science curriculum materials. *Studies in Science Education*, 51, 49-85.
26. Lee, K., Nicoll, G., & Brooks, D. (2004). A comparison of inquiry and worked example web-based instruction using Physlets. *Journal of Science Education and Technology*, 13, 81-88.
27. Timpe, S., & Wichmann, A. (2012). How can we prepare learners to benefit from experimentation during an inquiry cycle ? *European Association for Research on Learning and Instruction SIG 20*. Bohum, Germany.
28. Ryoo, K., & Linn, M. (2012). Can dynamic visualizations improve middle school students' understanding of energy in photosynthesis ? *International Journal of Science Education*, 49, 218-243.
29. Chang, H.-Y. (2017). How to augment the learning impact of computer simulation ? The designs and effects of interactivity and scaffolding. *Interactive Learning Environments*, 25(8), 1083-1097.

30. Mayer, R., & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*(38), 43-52.
31. Moreno, R., & Mayer, R. (2007). Interactive multimodal learning environments. *Educational Psychology Review*(19), 309-326.
32. Boucheix, J., & Guignard, H. (2005). What animated illustrations conditions can improve technical document comprehension in young students ? Formal signaling and control of the presentation. *European Journal of Psychology of Education*(20), 369-388.
33. Mayer, R., Dow, G., & Mayer, S. (2003). Multimedia learning in an interactive self-explaining environment : What works in the design of agent-based microworlds ? *Journal of Education and Psychology*(95), 806-812.
34. Parnafes, O. (2007). What does "fast" mean ? Understanding the physical world through computational representations. *The Journal of the Learning Science*, 16, 415-450.
35. Moreno, R., & Valdez, A. (2005). Cognitive load and learning effects of having students organize pictures and words in multimedia environments : The role of student interactivity and feedback. *Educational Technology Research and Development*, 53, 35-45.
36. Harrison, A., & Treagust, D. (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules : Implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80, 509-534.
37. Treagust, D., Chittleborough, G., & Mamiala, T. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24, 357-368.
38. Sweller, J., van Merriënboer, J., & Paas, F. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10(3), pp. 251-296.
39. Μπούρου, Ζ. (2013). Πτυχιακή Εργασία : Δημιουργία Διαλογικής Πολυμεσικής Εφαρμογής για την Εκμάθηση των Βασικών Στοιχείων Θεωρίας και Σημειογραφίας της Μουσικής : Διδακτικός Σχεδιασμός Περιεχομένων, Βασισμένος στη Γνωστική Θεωρία της Πολυμεσικής Μάθησης. Α.Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΡΕΘΥΜΝΟΥ, ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ, Ρέθυμνο.
40. Cooper, J. (1990). Cognitive Load Theory as an aid for instructional design. *Australian Journal of Education Technology*, 6(2), 108-113.
41. Sweller, J. (. (1994). Cognitive Load Theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*(4), 295-312.
42. Sweller, J., & Sweller, S. (2006). human-nature.com/ep. *Evolutionary Psychology*, 4(1).
43. Sweller, J. (. (2010). Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous and Germane Cognitive Load. *Educational Psychology Review*(22), pp. 123-158.
44. Αγγελή, Χ., & Βαλαβανίδης, Ν. (2002). Αντλαμβανόμενο Γνωστικό Φορτίο από την Ενσωμάτωση της Τεχνολογίας στη Μαθησιακή Διαδικασία : Εφαρμογή στην

Εκπαίδευση Εκπαιδευτικών Δημοτικής Εκπαίδευσης. *Οι ΤΠΕ στην Εκπαίδευση. Β'*, pp. 27-36. Ρόδος: ΚΑΣΤΑΝΙΩΤΗΣ.

45. Paas, F., Renkel, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive Load Theory and Instructional Design : Recent Developments. *Educational Psychology*(38), 1-4.
46. Paas, F., van Gog, T., & Sweller, J. (2010). Cognitive Load Theory : New conceptualizations, specifications and integrated research perspectives. *Educational Psychology Review*(22), 115-121.
47. Paas, J., Renkel, A., & Sweller, J. (2004). Cognitive Load Theory : Instructional Implications of the Interaction between Information Structures and Cognitive Architecture. *Instructional Science*(32), 1-8.
48. Kalyuga, S. (2011). Cognitive Load Theory : How many types of load does it really need ? *Educational Psychology Review*, 23(1), 1-19.
49. Σάλτα, Μ. (2017). *Διπλωματική εργασία : Η Θεωρία του Γνωστικού Φορτίου στη Διδασκαλία των Μαθηματικών στο Δημοτικό Σχολείο*. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Ψυχολογίας, Αθήνα.
50. Kirschner, P., Ayres, P., & Chandler, P. (2011). Contemporary Cognitive Load Theory research : The good, the bad, the ugly. *Computers in Human Behavior*, 27, 99-105.
51. Cook, M. (2006). Visual representations in science education : The influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles. *Science Education*, 90(6), 1073-1091.
52. Paas, F., & Ayres, P. (2014). Cognitive Load Theory : A broader view on the role of memory in learning and education. *Educational Psychology Review*, 26(2), 191-195.
53. Τσώνη, Ρ. (2017). Γνωστικό φορτίο και πολυμορφικό διδακτικό υλικό στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση. *Διεθνές Συνέδριο για την Ανοικτή και εξ Αποστάσεως Εκπαίδευση*, 9, pp. 42-51. Αθήνα.
54. Paas, F., & van Merriënboer, J. (1994). Variability of worked examples and transfer of geometrical problem solving skills : A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 86, 122-133.
55. Gimino, A. (2002). Students' investment of mental effort. *Annual meeting of the American Educational Research Association*. New Orlean, L.A.
56. Paas, F., van Merriënboer, J., & Adam, J. (1994). Measurements of cognitive load in instructional research. *Perceptual and Motor Skills*, 79(1), 419-430.
57. Paas, F. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics : A cognitive load approach. *Journal of Educational Psychology*, 38, 429-434.
58. de Jong, T. (2010). Cognitive load theory, educational research, and instructional design : some food for thought. *Instructional Science*, 38, 105-134.
59. Paas, F., Tuovinen, J., Tabbers, H., & van Gerven, P. (2003). Cognitive load measurements as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychology*, 38, 63-72.

60. Nickel, P., & Nachreiner, F. (2003). Sensitivity and diagnosticity of the 0.1-Hz component of heart rate variability as an indicator of mental workload. *Human Factors*, 45(57), 575-590.
61. Beatty, J., & Lucer-Wagoner, B. (2000). The pupillary system. In J. Cacioppo, L. Tassinari, G. Bernston, & 2nd (Ed.), *Handbook of psychophysiology* (pp. 142-162). Cambridge University Press.
62. van Gerven, P., Paas, F., van Merriënboer, J., & Schmidt, H. (2004). Memory load and the cognitive pupillary response in aging. *Psychophysiology*, 41, 167-174.
63. Brünken, R., Plass, J., & Leutner, D. (2003). Direct measurement of cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychology*, 38, 53-62.
64. De Leeuw, K., & Mayer, R. (2008). A comparison of three measures of cognitive load : Evidence for separable measurew of intrinsic, extraneous and germen load. *Journal of Educational Psychology*, 100, 223-234.
65. Brünken, R., Plass, J., & Leutner, D. (2004). Assessment of cognitive load in multimedia learning with dual-task methodology : Auditory load and modality effects. *Instructional Science*, 32, 115-132.
66. Cierniak, G., Scheiter, K., & Gerjets, P. (2009). Explaining the split-attention effect : Is the reduction of extraneous cognitive load accompanied by an increase in germane cognitive load ? *Computers in Human Behaviour*, 25, 315-324.
67. The Abdul Latif Jameel Poverty Action Lab. (n.d.). *J-PAL Executive Education Course : Incorporating Random Assignment into the Research Design [PDF file]*. Retrieved from https://www.povertyactionlab.org/sites/default/files/documents/Exercise1_RandomizationMechanics_instructions.pdf
68. Pollock, E., Chandler, P., & Sweller, J. (2002). Assimilating complex information. *Learning and Instruction*(12), 61-86.

