

**ΕΘΝΙΚΟΝ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΝ ΑΘΗΝΩΝ**



**ΣΧΟΛΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ & ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ & ΜΕΣΩΝ ΜΑΖΙΚΗΣ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗΣ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**«Σχεδιασμός και ανάπτυξη μαθησιακών εμπειριών
Επαυξημένης Πραγματικότητας στη σχολική εκπαίδευση για
την παιγνιώδη επικοινωνία και την κατανόηση θεμελιωδών
εννοιών και φαινομένων Φυσικής»**

Τομαρά Παναγιώτα Μαρίνα
(Α.Μ 3303)

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δημήτρης Γκούσκος, Επίκουρος Καθηγητής Τμήματος ΕΜΜΕ ΕΚΠΑ

Μέλη Συμβουλευτικής Επιτροπής:

Μιχάλης Μειμάρης, Ομότιμος Καθηγητής Τμήματος ΕΜΜΕ ΕΚΠΑ

Βασίλης Τσελφές, Ομότιμος Καθηγητής Τμήματος ΤΕΑΠΗ ΕΚΠΑ

ΑΘΗΝΑ, Οκτώβριος 2020

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**Σχεδιασμός και ανάπτυξη μαθησιακών εμπειριών Επαυξημένης Πραγματικότητας
στη σχολική εκπαίδευση για την παιγνιώδη επικοινωνία και την κατανόηση
θεμελιωδών εννοιών και φαινομένων Φυσικής**

Τομαρά Παναγιώτα Μαρίνα

Τριμελής συμβουλευτική επιτροπή

Επιβλέπων Καθηγητής: Δημήτρης Γκούσκος, Επίκουρος Καθηγητής Εθνικού και
Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, Τμήμα Επικοινωνίας και ΜΜΕ

Μέλη:

Μιχάλης Μειμάρης, Ομότιμος Καθηγητής Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου
Αθηνών, Τμήμα Επικοινωνίας και ΜΜΕ

Βασίλης Τσελφές, Ομότιμος Καθηγητής Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου
Αθηνών, Τμήμα Εκπαίδευσης και Αγωγής στην Προσχολική Ηλικία

Επταμελής εξεταστική επιτροπή

Δημήτρης Γκούσκος, Επίκουρος Καθηγητής Εθνικού και Καποδιστριακού
Πανεπιστημίου Αθηνών, Τμήμα Επικοινωνίας και ΜΜΕ

Μιχάλης Μειμάρης, Ομότιμος Καθηγητής Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου
Αθηνών, Τμήμα Επικοινωνίας και ΜΜΕ

Βασίλης Τσελφές, Ομότιμος Καθηγητής Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου
Αθηνών, Τμήμα Εκπαίδευσης και Αγωγής στην Προσχολική Ηλικία

Κωνσταντίνος Μουρλάς, Αναπληρωτής Καθηγητής Εθνικού και Καποδιστριακού
Πανεπιστημίου Αθηνών, Τμήμα Επικοινωνίας και ΜΜΕ

Δημήτρης Χαρίτος, Αναπληρωτής Καθηγητής Εθνικού και Καποδιστριακού
Πανεπιστημίου Αθηνών, Τμήμα Επικοινωνίας και ΜΜΕ

Μαρία Ραγκούση, Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων
και Ηλεκτρονικών Μηχανικών

Κυπαρισσία Παπανικολάου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ανώτατης Σχολής
Παιδαγωγικής & Τεχνολογικής Εκπαίδευσης, Παιδαγωγικό Τμήμα

Δήλωση

Δηλώνω ρητά ότι το παρόν κείμενο αποτελεί προϊόν προσωπικής εργασίας, δεν παραβιάζει κατά οποιονδήποτε τρόπο πνευματικά δικαιώματα τρίτων, και περιλαμβάνει ορθές και πλήρεις βιβλιογραφικές αναφορές προς το σύνολο των πηγών οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν.

Αθήνα, 17 Οκτωβρίου 2020

Τομαρά Παναγιώτα Μαρίνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε μία εποχή που το σχολείο δυσκολεύεται όλο και περισσότερο να ευθυγραμμιστεί με τα ενδιαφέροντα των μαθητών και τους νέους τρόπους πρόσληψης πληροφοριών είναι φανερό η ανάγκη αναζήτησης διαδικασιών που θα είναι ικανές να εμπλέξουν τους μαθητές στη μαθησιακή διαδικασία, δίνοντας κίνητρα μάθησης και νοηματοδοτώντας τελικά την δόμηση νέας γνώσης. Από την άλλη μεριά, η τεχνολογία επινοεί συνεχώς νέους τρόπους επικοινωνίας της πληροφορίας και της γνώσης. Ειδικότερα, οι έξυπνες φορητές συσκευές διαθέτουν πλέον αρκετές ιδιότητες που τις καταστούν δυνητικά ικανές να επεκτείνουν σημαντικά τα πλαίσια μέσα στα οποία συντελείται η μάθηση. Σήμερα, η πρακτική που σχετίζεται με την μάθηση μέσω κινητών συσκευών (mobile learning) κινείται ολοένα και περισσότερο προς συστήματα Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality). Ειδικότερα σε σχέση με τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, ένας σημαντικός αριθμός ερευνών έχουν ήδη αναδείξει σημαντικές αξίες που απορρέουν από την αξιοποίησή της.

Η παρούσα διατριβή αφορά στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός αριθμού ψηφιακών μαθησιακών εφαρμογών οι οποίες αξιοποιούν την τεχνολογία Επαυξημένης Πραγματικότητας με χρήση έξυπνων κινητών συσκευών για να διδάξουν με παιγνιώδη τρόπο θεμελιώδεις έννοιες της Φυσικής. Οι εφαρμογές αυτές υλοποιούν ουσιαστικά τρισδιάστατα περιβάλλοντα κατάλληλα για συνεργατική, διερευνητική μάθηση μέσα στη σχολική τάξη.

Επιπλέον, στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, με βάση τα παραπάνω περιβάλλοντα ΕΠ σχεδιάστηκαν και οργανώθηκαν κατάλληλες μαθησιακές εμπειρίες οι οποίες ενσωματώθηκαν στη σχολική διδασκαλία της Φυσικής. Τέλος, επιχειρήθηκε μια εμπειρική έρευνα με στόχο να διερευνηθεί η στάση των μαθητών απέναντι στον προτεινόμενο τρόπο μάθησης και ο βαθμός εμπλοκής και κινητοποίησης τους στη μαθησιακή διαδικασία, αξιοποιώντας τις παραπάνω μαθησιακές εμπειρίες. Βασική προϋπόθεση κατά τον σχεδιασμό των μαθησιακών περιβαλλόντων Επαυξημένης Πραγματικότητας ήταν να είναι εφικτή η ενσωμάτωσή τους στη σχολική διδασκαλία με χρήση φθηνού, τοπικά διαθέσιμου εξοπλισμού χωρίς να δαπανάται πολύτιμος διδακτικός χρόνος.

Τα αποτελέσματα της έρευνας ήταν ιδιαίτερα ενθαρρυντικά, αφού έδειξαν ότι η παρούσα διδακτική προσέγγιση ευθυγραμμίζεται με τα ενδιαφέροντα και τους σύγχρονους τρόπους πρόσληψης πληροφοριών από τους σύγχρονους μαθητές και μπορεί να αποτελέσει ισχυρό κίνητρο για την εμπλοκή τους στη μαθησιακή διαδικασία.

Κάτω από αυτό το πρίσμα, διαφαίνεται ότι ο συγκεκριμένος τρόπος μάθησης εισάγει μια νέα προοπτική στη διαδικασία δόμησης της επιστημονικής γνώσης στο πλαίσιο της σχολικής εκπαίδευσης, για το μάθημα της Φυσικής.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: φυσικές επιστήμες, θεμελιώδεις έννοιες Φυσικής, ηλεκτρικές δυνάμεις, κίνηση, δύναμη, μαθησιακά περιβάλλοντα επαυξημένης πραγματικότητας, επαυξημένη πραγματικότητα, έξυπνες φορητές συσκευές, διερευνητική μάθηση, παιγνιώδης μάθηση, βιωματική μάθηση

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

Tomara, M. & Gouscos, D. (2019). A Case Study: Visualizing Coulomb Forces with the Aid of Augmented Reality. *Journal of Educational Computing Research, Special Issue: Augmented & Virtual Reality in Education: Immersive Learning Research*, 57 (7), 1619–1625.

Tomara, M., Tselfes, V., & Gouscos, D. (2017). Instructional strategies to promote conceptual change about force and motion: A review of the literature. *Themes in Science and Technology Education*, 10(1), 1-16.

Τομαρά, Μ., Γκούσκος, Δ., & Τσελφές Β. (2015). Οι αντιλήψεις των μαθητών μετά το Δημοτικό Σχολείο σε σχέση με θεμελιώδεις έννοιες της Κλασσικής Μηχανικής (Ταχύτητα, Επιτάχυνση, Μάζα, Βάρος και Δύναμη). *Πανελλήνιο συνέδριο «Νέος Παιδαγωγός»*, υπό την αιγίδα του Υπουργείου Παιδείας (α.π. 73234/Γ2/12-05- 2014). Ίδρυμα Ευγενίδου, Μάιος 2015.

Tomara, M., & Gouscos, D. (2014). Using augmented reality for the reformation of learners' misconceptions in science education: Issues and prospects. *eLearning Papers*, 39, 26-33. Ανακτήθηκε από: http://www.eunis.org/wp-content/uploads/2014/11/Learning-in-cyber-physical-worlds_Issue39.pdf στις 20-12-2019.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ & ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το έναυσμα για την εκπόνηση της παρούσας διδακτορικής διατριβής μου δόθηκε περίπου δέκα χρόνια νωρίτερα, το 2009. Ως εκπαιδευτικός, ειδικότερα δε ως καθηγήτρια Φυσικών Επιστημών και έχοντας λάβει το βασικό μου πτυχίο από το τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Πατρών, οι γνώσεις μου σε σχέση με την παιδαγωγική διάσταση της διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών σε μαθητές δευτεροβάθμιας ήταν αρκετά ελλιπείς. Ως εκ τούτου, είχα την αίσθηση ότι, προκειμένου να καταφέρω να εμπλέξω πραγματικά τα παιδιά στην μαθησιακή διαδικασία της σχολικής πραγματικότητας, θα έπρεπε πρώτα εγώ η ίδια να διερευνήσω τους δυνατούς τρόπους για να το επιχειρήσω. Για τον λόγο αυτό, το 2008 έκανα αίτηση και έγινα δεκτή στο Διαπανεπιστημιακό Διατμηματικό Πρόγραμμα Σπουδών Τεχνολογίες της Πληροφορίας και Επικοινωνίας για την Εκπαίδευση. Στο πλαίσιο του προγράμματος παρακολούθησα μεταξύ άλλων τα μαθήματα «Μάθηση και Ψυχαγωγία σε Ψηφιακό Περιβάλλον» και «Δημιουργία Ψηφιακών Εφαρμογών» με διδάσκοντες Καθηγητές τον κ. Μιχάλη Μείμαρη, Ομότιμο Καθηγητή του Τμήματος Επικοινωνίας και Μ.Μ.Ε. του ΕΚΠΑ και τον κ. Γκούσκο Δημήτρη, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Επικοινωνίας και Μ.Μ.Ε. του ΕΚΠΑ. Μέσα από τις παρακολουθήσεις αυτές μου φανερώθηκε μια άλλη προοπτική διδασκαλίας, εκείνης που στοχεύει στην ευχάριστη, παιγνιώδη μάθηση στην οποία ο μαθητής βρίσκει πραγματική χαρά και νόημα να συμμετέχει. Έτσι, άρχισε να ζυμώνεται στο μυαλό μου η ιδέα για αναζήτηση τρόπων βιωματικής και παιγνιώδους διδασκαλίας των «αφηρημένων» εννοιών της Φυσικής και η προοπτική αισθητοποίησης του «αόρατου» των Φυσικών Επιστημών με αξιοποίηση των νέων τεχνολογικών μέσων. Στο σημείο εκείνο είχε ουσιαστικά ξεκινήσει η περιπέτεια της παρούσας έρευνας.

Η εκπόνηση της διδακτορικής μου διατριβής αποτέλεσε αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινής μου ζωής, για ένα διάστημα πέντε περίπου χρόνων. Ήταν μια συναρπαστική διαδρομή. Πέρα από την επιστημονική γνώση που αναμφίβολα μου προσέφερε, αισθάνομαι ότι αποτέλεσε το μέσο για να διευρύνω περαιτέρω τις ερευνητικές μου ανησυχίες και κυρίως να αναζητήσω και να αντιληφθώ πτυχές της διδασκαλίας της Φυσικής μέσα στη σχολική τάξη τις οποίες δεν είχα διερευνήσει κατά τα προηγούμενα χρόνια της διδακτικής μου εμπειρίας.

Για τους λόγους αυτούς, θα ήθελα να εκφράσω τις βαθύτερές μου ευχαριστίες σε ένα μικρό αλλά σημαντικό αριθμό ανθρώπων οι οποίοι συνεισέφεραν, ο καθένας με τον δικό του τρόπο, στην ολοκλήρωση αυτής της διατριβής.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο επιβλέποντα μου, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Επικοινωνίας και Μ.Μ.Ε. του ΕΚΠΑ κ. Γκούσκο Δημήτρη, ο οποίος μου έδωσε την ευκαιρία να συνεργαστώ μαζί του, πίστεψε σε μένα, με ενθάρρυνε και με καθοδήγησε με πλήθος εποικοδομητικών συζητήσεων καθόλη αυτή τη διαδρομή. Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω και στον κ. Μειμάρη Μιχάλη, Ομότιμο Καθηγητή του Τμήματος Επικοινωνίας και Μ.Μ.Ε. του ΕΚΠΑ, ο οποίος πίστεψε στην αξία της παρούσας έρευνας και υποστήριξε εξαρχής τις ερευνητικές μου ανησυχίες. Θα ήθελα επιπλέον να ευχαριστήσω τον κ. Τσελφέ, Ομότιμο Καθηγητή του Τμήματος Εκπαίδευσης και Αγωγής στην Προσχολική Ηλικία του ΕΚΠΑ, για την υποστήριξή του, τις πολύτιμες συμβουλές του και την εποικοδομητική κριτική του στα διάφορα στάδια της έρευνας.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους συναδέλφους Καθηγητές του Γυμνασίου Κουβαρά όπου πραγματοποιήθηκε η εμπειρική έρευνα για την παρούσα διατριβή και ιδιαίτερα στον Διευθυντή του σχολείου κ. Αμπλιανίτη Παναγιώτη, για την κατανόησή τους και τη συναδελφικότητά τους. Επίσης, ευχαριστώ τους μαθητές του σχολείου για την προθυμία και την συνεργασία τους κατά την πραγματοποίηση της εμπειρικής έρευνας.

Τέλος, θα ήθελα να τονίσω ότι η ολοκλήρωση της διατριβής αυτής δεν θα είχε καταστεί εφικτή χωρίς την συνεχή υποστήριξη της οικογένειάς μου και ιδιαίτερα της κόρης μου Μαρίας, η οποία αποτέλεσε για μένα αστείρευτη πηγή δύναμης και ενθάρρυνσης.

Οκτώβριος 2020

Μαρίνα Τομαρά

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	20
1.1 Κινητοποίηση	20
1.2 Σκοπός της έρευνας.....	22
1.3 Ερευνητικά ερωτήματα και μεθοδολογία της έρευνας	22
1.4 Η συμβολή της έρευνας.....	29
1.5 Διάρθρωση της διατριβής	30

ΜΕΡΟΣ Α΄: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	34
--	-----------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	35
2.1 Η συμβολή του εποικοδομισμού στο σχεδιασμό μαθησιακών περιβαλλόντων με ΤΠΕ.....	35
2.2 Η διερευνητική μάθηση για τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών	38
2.3 Πρότερες αντιλήψεις σε σχέση με τις Φυσικές Επιστήμες	40
2.4 Παιγνιοποίηση της επικοινωνίας για μαθησιακούς σκοπούς	41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	44
3.1 Πλαισιωμένη μάθηση με χρήση κινητών συσκευών	44
3.2 Τεχνολογικά μέσα Επαυξημένης Πραγματικότητας	47
3.3 Διδακτικές προσεγγίσεις που αξιοποιούν την τεχνολογία ΕΠ για μαθησιακούς σκοπούς στις Φυσικές Επιστήμες.....	50
3.4 Οι προοπτικές αξιοποίησης της τεχνολογίας ΕΠ στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών	54
3.5 Προκλήσεις και περιορισμοί της τεχνολογίας ΕΠ για τις Φυσικές Επιστήμες.....	57

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΟΙ ΠΡΟΤΕΡΕΣ ΙΔΕΕΣ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΚΑΙ ΤΗ ΔΥΝΑΜΗ.....59

4.1 Οι πρότερες ιδέες των μαθητών στην Μηχανική59

4.2 Μελέτη Περίπτωσης: διερεύνηση των πρότερων ιδεών μαθητών της Α΄ γυμνασίου σε σχέση με θεμελιώδεις έννοιες της Μηχανικής.....62

4.2.1 Σχεδιασμός και εφαρμογή της εκπαιδευτικής έρευνας 62

4.2.2 Τα αποτελέσματα της εκπαιδευτικής έρευνας..... 67

4.3 Συμπεράσματα.....72

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΚΑΙ ΤΗ ΔΥΝΑΜΗ73

5.1 Μέθοδος βιβλιογραφικής έρευνας73

5.2 Διδακτικές προσεγγίσεις74

5.2.1 Ένα μαθησιακό περιβάλλον με βάση το πείραμα 74

5.2.2 Μια ανεστραμμένη προσέγγιση επαγωγικής σκέψης 75

5.2.3 Σωματοποιημένη μάθηση που βασίζεται σε κιναισθητικές δραστηριότητες 76

5.2.4 Μια στρατηγική διδασκαλίας βασισμένη στις κιναισθητικές δραστηριότητες..... 77

5.2.5 Αντιμετωπίζοντας τις πρότερες ιδέες με τη βοήθεια της τεχνολογίας των υπολογιστών 78

5.3 Κύρια ευρήματα της βιβλιογραφικής έρευνας.....82

ΜΕΡΟΣ Β΄: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ.....93

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΑΘΗΣΙΑΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΩΝ ΕΠ94

6.1 Προδιαγραφές περιβαλλόντων ΕΠ με βάση το θεωρητικό πλαίσιο της έρευνας94

6.1.1 Εποικοδομισμός και ανακαλυπτική μάθηση 95

6.1.2 Χαρακτηριστικά μαθησιακών εμπειριών ΕΠ 95

6.1.3 Μάθηση με χρήση τεχνολογιών κινητής τηλεφωνίας (mobile based learning) 97

6.1.4 Αξιοποίηση της τεχνολογίας ΕΠ 97

6.1.5 Παιγνιοποίηση 98

6.2 Διαμόρφωση αρχών σχεδιασμού μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ.....98

6.3 Μεθοδολογία ανάπτυξης μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ	101
6.4 Εκπαιδευτικός σχεδιασμός μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ.....	102

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΑΘΗΣΙΑΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΩΝ ΕΠ 108

7.1 Τεχνικές προδιαγραφές περιβαλλόντων ΕΠ.....	108
---	-----

7.2 Εργαλεία ανάπτυξης περιβαλλόντων ΕΠ	112
---	-----

7.2.1 Unity 3D Editor	112
-----------------------------	-----

7.2.2 Unity 3D MonoDevelop	113
----------------------------------	-----

7.2.3 Vuforia Target Manager	114
------------------------------------	-----

7.2.4 SketchUp Make	115
---------------------------	-----

7.2.5 Βιβλιοθήκες Τρίτων Φορέων (Third Party Libraries).....	115
--	-----

7.3 Βασικά στοιχεία υλοποίησης περιβαλλόντων ΕΠ	116
---	-----

7.3.1 Η διεπαφή χρήστη.....	116
-----------------------------	-----

7.3.2 Τα αντικείμενα-στόχοι	117
-----------------------------------	-----

7.3.3 Τα Μενού (Menus).....	119
-----------------------------	-----

7.3.4 Τα Αντικείμενα Παιχνιδιού (Game Objects).....	119
---	-----

7.3.5 Τα αρχεία κώδικα (Scripts).....	123
---------------------------------------	-----

ΜΕΡΟΣ Γ΄: Α΄ ΦΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ 124

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΑΘΗΣΙΑΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΠ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ 125

8.1 Υλοποίηση του Μοντέλου Περιεχομένου	125
---	-----

8.2 Υλοποίηση του Μοντέλου Τεκμηρίων Γνώσης	127
---	-----

8.3 Υλοποίηση του Μοντέλου Δραστηριοτήτων	130
---	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ..... 135

9.1 Πειραματικός σχεδιασμός της εκπαιδευτικής έρευνας	135
9.2 Μεθοδολογία της έρευνας.....	136
9.2.1 Το δείγμα της έρευνας	137
9.2.2 Εκπαιδευτικός σχεδιασμός της έρευνας.....	137
9.2.3 Ο ρόλος του εκπαιδευτικού	140
9.2.4 Εργαλεία της έρευνας	140
9.3 Ανάλυση των αποτελεσμάτων	143
9.4 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων	147
9.5 Συμπεράσματα.....	150
ΜΕΡΟΣ Δ΄: Β΄ ΦΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	152

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΑΘΗΣΙΑΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΠ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΚΑΙ ΤΗ ΔΥΝΑΜΗ

153

10.1 Τα περιβάλλοντα μάθησης ΕΠ για την κίνηση και τη δύναμη	153
10.2 Σχεδιασμός του περιβάλλοντος ΕΠ για την κατανόηση εννοιών της Κίνησης	155
10.2.1 Υλοποίηση του Μοντέλου Περιεχομένου	155
10.2.2 Υλοποίηση του Μοντέλου Τεκμηρίων Γνώσης	156
10.2.3 Υλοποίηση του Μοντέλου Δραστηριοτήτων.....	159
10.3 Σχεδιασμός του περιβάλλοντος ΕΠ για την κατανόηση της Δύναμης.....	171
10.3.1 Υλοποίηση του Μοντέλου Περιεχομένου	171
10.3.2 Υλοποίηση του Μοντέλου Τεκμηρίων Γνώσης	172
10.3.3 Υλοποίηση του Μοντέλου Δραστηριοτήτων.....	174

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΈΡΕΥΝΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ.....

178

11.1 Πειραματικός σχεδιασμός της εκπαιδευτικής έρευνας	178
11.2 Μεθοδολογία της έρευνας.....	179
11.2.1 Το δείγμα της έρευνας	179

11.2.2 Εκπαιδευτικός σχεδιασμός της έρευνας.....	181
11.2.3 Εργαλεία της έρευνας	188
11.3 Ανάλυση των αποτελεσμάτων	194
11.4 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων	201
ΜΕΡΟΣ Ε΄: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	206
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12	
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	207
12.1 Συμπεράσματα.....	207
12.1.1 Η στάση των μαθητών απέναντι στη μάθηση μέσα από τις εμπειρίες ΕΠ.....	209
12.1.2 Η λειτουργικότητα των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ.....	210
12.1.3 Τα κύρια χαρακτηριστικά της ενσωμάτωσης των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ στην καθημερινή διδασκαλία της Φυσικής.....	211
12.1.4 Ιδιαιτερότητες και δυσκολίες κατά την οργάνωση των μαθησιακών εμπειριών ΕΠ	212
12.1.5 Πρωτοτυπία τεχνικού σχεδιασμού	214
12.1.6 Αρχές τεχνικού σχεδιασμού για μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ.....	216
12.2 Περιορισμοί της έρευνας	218
12.3 Προτάσεις μελλοντικής έρευνας	220
12.3.1 Περαιτέρω διερεύνηση κινητοποίησης και γνωστικής προόδου	220
12.3.2 Καταγραφή και αξιοποίηση αριθμητικών δεδομένων κίνησης.....	221
12.3.3 Δημιουργία βιβλιοθήκης γραφικών στοιχείων επαύξησης.....	222
12.3.4 Αξιοποίηση προηγμένης τεχνολογίας.....	223
12.3.5 Μαθησιακά σενάρια για μεγαλύτερη ανακαλυπτικότητα	223
12.4 Επίλογος.....	225
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΕΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	227
ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΕΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	237
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΔΙΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΦΥΛΛΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΔΕΙΞΗ ΙΔΕΩΝ	238
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΜΑΘΗΣΙΑΚΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑΣ ΕΠ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	245

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΑΘΗΣΙΑΚΩΝ ΕΜΠΕΙΡΙΩΝ ΕΠ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΚΑΙ ΤΗ ΔΥΝΑΜΗ	249
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV: ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	253
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V: ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ	258
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI: ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΥΝΑΜΗ.....	262
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VII: ΦΥΛΛΟ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ ΜΑΘΗΤΗ ΜΕΣΑ ΣΤΗΝ ΟΜΑΔΑ.....	266

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Τα στάδια της έρευνας, τα ερευνητικά ερωτήματα για κάθε στάδιο και οι μέθοδοι συλλογής και ανάλυσης των δεδομένων, όπως αντιστοιχούν στα ερευνητικά ερωτήματα.	26
Πίνακας 3.1: Πιθανές μορφές επαύξησης για κάθε μία από τις 5 βασικές αισθήσεις (Barfield &Furness, 1995).....	49
Πίνακας 4.1: Στόχοι της έρευνας για την ανάδειξη των ιδεών των μαθητών σε σχέση με τις έννοιες Ταχύτητα, Επιτάχυνση, Μάζα, Βάρος, Δύναμη.	64
Πίνακας 4.2: Επικρατέστερες αντιλήψεις σε σχέση με την έννοια της δύναμης, με βάση τη σχετική βιβλιογραφία.	66
Πίνακας 5.1: Οι μελέτες που παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο: η ερευνητική μέθοδος και το πλαίσιο καθώς και τα σημαντικότερα ερευνητικά ευρήματα.	88
Πίνακας 6.1: Προδιαγραφές σχεδιασμού των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ με βάση το θεωρητικό πλαίσιο της έρευνας.....	99
Πίνακας 7.1: Σύγκριση των δύο βιβλιοθηκών ARToolkit και Vuforia αναφορικά με τις απαιτήσεις των περιγραφόμενων περιβαλλόντων ΕΠ.	111
Πίνακας 9.1: Οι μέθοδοι συλλογής και ανάλυσης των δεδομένων, όπως αντιστοιχούν σε κάθε ερευνητικό ερώτημα για την Α' φάση της έρευνας:.....	136
Πίνακας 9.2: Τα στοιχεία του εργαλείου RIMMS.....	141
Πίνακας 9.3: Τα στοιχεία του ερωτηματολογίου «δυσκολίας/ευχαρίστησης» αναφορικά με το βαθμό δυσκολίας (8 στοιχεία)και ευχαρίστησης (4 στοιχεία) που βίωσαν οι μαθητές κατά τη διάρκεια της παρέμβασης.	142
Πίνακας 9.4: Μετρούμενοι μαθησιακοί στόχοι πριν και μετά την διδακτική παρέμβαση. 143	
Πίνακας 9.5: Αξιοπιστία του εργαλείου RIMMS (n=12).	143
Πίνακας 9.6: Οι μέσες βαθμολογίες των μαθητών για κάθε μια από τις τέσσερις υποκλίμακες του εργαλείου RIMMS (n=12).	144
Πίνακας 9.7: Αξιοπιστία του εργαλείου «δυσκολίας/ευχαρίστησης» (n=12).	145
Πίνακας 9.8: Οι μέσες βαθμολογίες των μαθητών στις δύο δομές του εργαλείου «δυσκολίας/ευχαρίστησης»	145
Πίνακας 9.9: Μονόπλευρη δοκιμασία McNemar.	147

Πίνακας 10.1: Οι μαθησιακοί στόχοι του περιβάλλοντος ΕΠ για την κατανόηση εννοιών της κίνησης και οι δραστηριότητες που τις υλοποιούν.	156
Πίνακας 11.1: οι μέθοδοι συλλογής και ανάλυσης των δεδομένων, όπως αντιστοιχούν σε κάθε ερευνητικό ερώτημα για την Β' φάση της πειραματικής έρευνας.	179
Πίνακας 11.2: Τα στοιχεία του εργαλείου RIMMS.	190
Πίνακας 11.3: Τα στοιχεία του ερωτηματολογίου «δυσκολίας/ευχαρίστησης» αναφορικά με το βαθμό δυσκολίας (10 στοιχεία) και ευχαρίστησης (4 στοιχεία) που βίωσαν οι μαθητές κατά τη διάρκεια της παρέμβασης.	193
Πίνακας 11.4: Αξιοπιστία του εργαλείου RIMMS (n=18).	194
Πίνακας 11.5: Οι μέσες βαθμολογίες των μαθητών για κάθε μια από τις τέσσερις υποκλίμακες του εργαλείου RIMMS και επί του συνόλου των ερωτήσεων (n=18).	195
Πίνακας 11.6: Αξιοπιστία του εργαλείου «δυσκολίας/ευχαρίστησης».	195
Πίνακας 11.7: Οι μέσες βαθμολογίες των μαθητών στις δύο δομές του εργαλείου «δυσκολίας/ευχαρίστησης»	196
Πίνακας 12.1: Τα αποτελέσματα της έρευνας αναφορικά με τα κύρια ερευνητικά ερωτήματα.	207

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 3.1: Η Συνέχεια Πραγματικότητας – Εικονικότητας (Virtuality-Reality Continuum), (Milgram & Kishino, 1994).	47
Εικόνα 3.2: Διεπαφές χρήστη για εμπειρίες επαυξημένης πραγματικότητας.	49
Εικόνα 3.3: Επαύξηση του φυσικού χώρου με τρισδιάστατο μοντέλο της Γης που περιστρέφεται γύρω από τον άξονα της.	52
Εικόνα 6.1: Οι πέντε διαστάσεις που καθορίζουν τον σχεδιασμό των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ.	99
Εικόνα 6.2: Το Μοντέλο Ισορροπημένου Σχεδιασμού (Balanced Design Model)	103
Εικόνα 7.1:Το περιβάλλον του Unity 3D Editor.....	113
Εικόνα 7.2:Το περιβάλλον του MonoDevelop.....	114
Εικόνα 7.3:Το περιβάλλον του Vuforia Target Manager.	114
Εικόνα 7.4: Το περιβάλλον του προγράμματος 3D γραφικών, Sketchup Make.....	115
Εικόνα 7.5: Η διεπαφή χρήστη στην περίπτωση επαύξησης εικόνας-στόχου τυπωμένης σε κομμάτι χαρτιού.	116
Εικόνα 7.6: Η διεπαφή χρήστη στην περίπτωση επαύξησης τρισδιάστατου αντικείμενου-στόχου.....	117
Εικόνα 7.7: Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν ως Image Targets κατά την ανάπτυξη της εφαρμογής ΕΠ για τις ηλεκτρικές δυνάμεις.....	118
Εικόνα 7.8: Η εικόνα που χρησιμοποιήθηκε ως Image Target πάνω στο φυσικό αντικείμενο κατά την ανάπτυξη της εφαρμογής ΕΠ για τις Κινήσεις και τις Δυνάμεις...	119
Εικόνα 7.9 : Η AR Camera της πλατφόρμας Unity.	120
Εικόνα 7.10: Το αντικείμενο-στόχος που δημιουργήθηκε για να αναπαραστήσει το φυσικό αντικείμενο-κύβο.....	121
Εικόνα 7.11: Η κόκκινη γραμμή που επαυξάνει ψηφιακά τον κύβο όσο είναι αυτός ανιχνεύσιμος από την κάμερα της κινητής συσκευής.....	121
Εικόνα 7.12: Ένα από τα βέλη που επαυξάνουν ψηφιακά τα φυσικά αντικείμενα σε κάποια από τις εφαρμογές ΕΠ.....	122
Εικόνα 7.13: Η γραμμή αναφοράς ως Αντικείμενο Παιχνιδιού (Game Object) μέσα στον Unity Editor.....	122

Εικόνα 7.14: Τα διανύσματα-βέλη που οπτικοποιούν τη δύναμη από το χέρι του χρήστη και τη δύναμη Τριβής κατά την κίνηση του κύβου και οι αντίστοιχες επισυναπτόμενες στα βέλη ετικέτες.	123
Εικόνα 7.15: Αρχεία κώδικα.....	123
Εικόνα 8.1: Τα χαρτάκια-στόχοι που χρησιμοποιήθηκαν ως δείκτες πλαισίου.	131
Εικόνα 8.2: Επαυξημένα φορτία και ηλεκτρικές δυνάμεις στην περίπτωση των αντίθετων ηλεκτρικών φορτίων διαφορετικού μεγέθους ($Q_1=10\mu\text{C}$, $Q_2=20\mu\text{C}$).....	131
Εικόνα 8.3: Επαυξημένα φορτία και ηλεκτρικές δυνάμεις στην περίπτωση ομόσημων ηλεκτρικών φορτίων ($Q_1=10\mu\text{C}$, $Q_2=20\mu\text{C}$).....	132
Εικόνα 8.4: Η διεπαφή AR που επιτρέπει στο μαθητή να πειραματιστεί με διάφορες τιμές των ηλεκτρικών φορτίων.	132
Εικόνα 8.5: Η διεπαφή AR που επιτρέπει στο μαθητή να πειραματιστεί με τα είδη των ηλεκτρικών φορτίων των ηλεκτρικών φορτίων.....	133
Εικόνα 9.1: Οι μαθητές καθώς πειραματίζονται σε ομάδες πάνω στην εφαρμογή ΕΠ μέσα στη σχολική τάξη.	139
Εικόνα 9.2: Οι μαθητές καθώς πειραματίζονται με το περιβάλλον της εφαρμογής ΕΠ.	139
Εικόνα 9.3: Ο κάθε μαθητής έχει αναλάβει ένα ρόλο: είτε να χειρίζεται την κινητή συσκευή, είτε να κινεί κατάλληλα τα χαρτάκια-στόχους στο θρανίο είτε να διαβάξει στην ομάδα τις οδηγίες και να συμπληρώνει το φύλλο εργασίας.	140
Εικόνα 9.4: Η μαθήτρια ανεβαίνει πάνω στην καρέκλα της προκειμένου να διευρύνει τον επαυξημένο χώρο.....	149
Εικόνα 10.1: Το κοινό μενού εισόδου στις τέσσερις δραστηριότητες ΕΠ για την κίνηση και τη δύναμη.....	155
Εικόνα 10.2: Το βέλος της ταχύτητας επαυξάνει το φυσικό αντικείμενο και ακολουθώντας το στην κίνησή του μεταβάλλει ανάλογα το μήκος του και την κατεύθυνσή του.	155
Εικόνα 10.3: Οι μαθητές μετακινούν τον κύβο τους πάνω σε μια ψηφιακή ευθεία αναφοράς που αποτελεί στοιχείο επαύξησης του πραγματικού κόσμου..	157
Εικόνα 10.4: Τα κυβάκια τύπου lego που χρησιμοποιήθηκαν ως φυσικά αντικείμενα-στόχοι των δραστηριοτήτων ΕΠ με κολλημένο ασπρόμαυρο γραφικό εικονίδιο.	160

Εικόνα 10.5: Γραφικές ενδείξεις ανίχνευσης του στόχου ΕΠ.....	161
Εικόνα 10.6: Η διεπαφή της δραστηριότητας «ΘΕΣΗ» με τα μενού αλληλεπίδρασης με τα ψηφιακά στοιχεία της εφαρμογής ΕΠ.	162
Εικόνα 10.7: Καθώς ο μαθητής μετακινεί το κυβάκι του πάνω στην ευθεία αναφοράς ένα βέλος επαυξάνει το φυσικό χώρο, το οποίο αποτελεί τη γραφική αναπαράσταση του διανύσματος της θέσης.....	163
Εικόνα 10.8: Τα στοιχεία ανατροφοδότησης και επιβράβευσης για κάθε επιτυχημένη προσπάθεια.....	163
Εικόνα 10.9: Η διεπαφή της δραστηριότητας ΕΠ «ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ» με τα μενού διάδρασης στο αριστερό μέρος της οθόνης	165
Εικόνα 10.10: Η αλληλεπίδραση του μαθητή με τα στοιχεία του περιβάλλοντος ΕΠ. ..	166
Εικόνα 10.11: Η διεπαφή της δραστηριότητας ΕΠ «ΤΑΧΥΤΗΤΑ-ΤΡΟΧΙΑ».....	169
Εικόνα 10.12: Ο μαθητής κινεί τον κύβο-στόχο ακολουθώντας διάφορες διαδρομές...170	
Εικόνα 10.13: Ο μαθητής κινεί τον κύβο-στόχο σε ευθεία γραμμή ακολουθώντας μια άσπρη αυτοκόλλητη ταινία.....	170
Εικόνα 10.14: Η διεπαφή της δραστηριότητας ΕΠ «ΔΥΝΑΜΗ». Σε αυτό το στιγμιότυπο το αντικείμενο-στόχος είναι ακίνητο κ επομένως η ταχύτητά του μηδενική.	175
Εικόνα 10.15: Ο κύβος-στόχος επαυξάνεται με τις κατακόρυφες δυνάμεις που δέχεται ενώ ηρεμεί σε οριζόντιο έδαφος.	175
Εικόνα 10.16: Ο κύβος-στόχος επαυξάνεται με τις κατακόρυφες δυνάμεις που δέχεται ενώ ηρεμεί σε εικονικά επίπεδα διαφορετικών κλίσεων.....	176
Εικόνα 10.17: Ο κύβος-στόχος επαυξάνεται με τις οριζόντιες δυνάμεις που δέχεται ενώ κινείται προς τα αριστερά.....	177
Εικόνα 11.1: Οι μαθητές πειραματίζονται μέσα στο περιβάλλον της δραστηριότητας ΕΠ για τη Θέση σε ομάδες των τριών, εναλλάσσοντας ρόλους μέσα στην ομάδα.....	183
Εικόνα 11.2: Οι μαθητές καθώς αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον της εφαρμογής ΕΠ για τη Μετατόπιση, ακολουθώντας τα βήματα του φύλλου εργασίας.	184
Εικόνα 11.3: Οι μαθητές αλληλεπιδρούν με τα πραγματικά και τα ψηφιακά στοιχεία του μαθησιακού περιβάλλοντος ΕΠ για την Τροχιά και την Ταχύτητα.....	185

Εικόνα 11.4: Οι μαθητές πειραματίζονται μέσα στο περιβάλλον της δραστηριότητας ΕΠ για την Τροχιά και την Ταχύτητα, σε ομάδες των δύο όπως κάθονται συνήθως στα θρανία τους.....	186
Εικόνα 11.5: Οι μαθητές παρατηρούν τις δυνάμεις κατά τον κατακόρυφο άξονα πάνω στον κύβο και συμπληρώνουν τα σχετικά ερωτήματα του φύλλου εργασίας.....	187
Εικόνα 11.6: Το πεδίο κάλυψης του πραγματικού χώρου από την κάμερα της κινητής συσκευής είναι περιορισμένο.....	199
Εικόνα 11.7: Οι μαθητές εργάζονται συγκεντρωμένοι, μέσα σε κλίμα συνεργασίας και καλής διάθεσης.....	201
Εικόνα 11.8: Οι μαθητές «αυτοσχεδιάζουν» με τα πραγματικά στοιχεία της διεπαφής ΕΠ προκειμένου να πραγματοποιήσουν τα βήματα του φύλλου εργασίας .	203
Εικόνα 12.1: Τεχνική υλοποίηση της επαύξησης των κινούμενων αντικειμένων με κατάλληλα μεταβαλλόμενα δεδομένα επαύξησης σε πραγματικό χρόνο.....	203

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο παρέχει μια σύντομη εισαγωγή στο υπόβαθρο, την κινητοποίηση και τη διατύπωση του προβλήματος, τον ερευνητικό στόχο, τη μεθοδολογία και τελικά τη συνεισφορά της παρούσας έρευνας. Επιπλέον, παρουσιάζεται μια σύντομη περίληψη των περιεχομένων της εργασίας.

1.1 Κινητοποίηση

Η παρούσα διδακτορική διατριβή αφορά στην διερεύνηση των δυνατοτήτων των περιβαλλόντων Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality) με στόχο την γνωστική πρόοδο των μαθητών, σε σχέση με έννοιες και φαινόμενα από το πεδίο της Φυσικής. Κύριο αντικείμενο της έρευνας αποτέλεσε η ανάδειξη και η αξιοποίηση των δυνατοτήτων της τεχνολογίας Επαυξημένης Πραγματικότητας με σκοπό την ανάπτυξη μαθησιακών εμπειριών για την κατανόηση και την αισθητοποίηση θεμελιωδών εννοιών και φαινομένων στο πλαίσιο της σχολικής εκπαίδευσης για το μάθημα της Φυσικής.

Τα ερευνητικά ερωτήματα που επιχειρεί να απευθύνει η παρούσα διδακτορική έρευνα διαμορφώθηκαν σταδιακά μέσα από την επαγγελματική μου εμπειρία ως καθηγήτρια Φυσικών Επιστημών στη Δευτεροβάθμια Δημόσια Εκπαίδευση. Αφενός, μέσα από την καθημερινή διδασκαλία του μαθήματος της Φυσικής καθημερινά διαπιστώνω την ισχύ των πρότερων ιδεών και τη δυσκολία κατάρριψής τους, ενώ είναι φανερό η αδυναμία πολλών παιδιών να αισθητοποιήσουν φαινόμενα μη ορατά καθώς και να αντιληφθούν διαδικασίες που εκτυλίσσονται στον χώρο (τρεις διαστάσεις), αδυνατώντας, ως εκ τούτου, να τα κατανοήσουν πλήρως και άρα να τα εντάξουν στις γνωστικές δομές τους. Αφετέρου, οι μαθητές φαίνεται ότι αποδέχονται πραγματικά τη νέα γνώση μόνο όταν αυτή η γνώση έχει για εκείνους πραγματικό νόημα, υπό την έννοια ότι, αφότου τη λάβουν, θα μπορούν να την χρησιμοποιήσουν για να δώσουν απάντηση, λύση ή ερμηνεία σε κάποιο πρόβλημα ή κατάσταση του πραγματικού κόσμου.

Τα δύο αυτά σημεία με οδήγησαν στην αναζήτηση ερευνητικών κατευθύνσεων που θα μπορούσαν πιθανά να προσφέρουν στον μαθητεύομενο τα «μέσα» ώστε να μπορέσει, σε πρώτο επίπεδο να αισθητοποιήσει τα φαινόμενα και τις έννοιες που καλείται να μελετήσει καθώς λαμβάνει τη σχολική διδασκαλία του μαθήματος της Φυσικής και σε ένα δεύτερο επίπεδο, να τα εντάξει μέσα στο πλαίσιο των εμπειριών του και της

καθημερινής του αλληλεπίδρασης με τα φαινόμενα του πραγματικού κόσμου. Μία τέτοια προσέγγιση θα μπορούσε πιθανώς να γεφυρώσει το κενό μεταξύ των φυσικών φαινομένων της καθημερινής ζωής που βιωματικά αντιλαμβάνονται και ερμηνεύουν διαισθητικά οι μαθητές και της αυστηρής επιστημονικής γνώσης που οι εκπαιδευτικοί προσπαθούμε να μεταδώσουμε στα σχολεία.

Παράλληλα, στη σύγχρονη σχολική πραγματικότητα, η δυνατότητα πραγματοποίησης εργαστηριακών πειραμάτων από τους μαθητές είναι ιδιαίτερα περιορισμένη, είτε λόγω έλλειψης χρόνου, είτε λόγω ελλιπούς υλικοτεχνικής υποδομής. Πολλοί ερευνητές υπογραμμίζουν ότι, για να διδαχθούν οι μαθητές επιστημονικές έννοιες με αποτελεσματικό τρόπο, απαιτείται η χρήση περιβαλλόντων προσομοίωσης τριών διαστάσεων, τα οποία έχουν αποδειχθεί πολύ περισσότερο αποτελεσματικά σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους διδασκαλίας (Hewson, 1985, Novak, Gowin & Johansen, 1983, Thornton & Sokoloff, 1990, 1998).

Με βάση πληθώρα μελετών σε σχέση με την αξιοποίηση της τεχνολογίας Επαυξημένης Πραγματικότητας (ΕΠ) για μαθησιακούς σκοπούς, διαφαίνεται ότι η τεχνολογία αυτή διαθέτει ορισμένα εγγενή χαρακτηριστικά που την καθιστούν κατάλληλη για την επαύξηση της οπτικής αντίληψης ενός συστήματος ή ενός περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία ΕΠ επιτρέπει την υπέρθεση εικονικών συνθετικών αντικείμενων τριών διαστάσεων (3Δ) πάνω στον πραγματικό κόσμο προκειμένου να επαυξηθεί η οπτική αντίληψη ενός συστήματος ή ενός περιβάλλοντος. Όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3 της παρούσας εργασίας, κατάλληλα σχεδιασμένα περιβάλλοντα ΕΠ μπορούν να αξιοποιηθούν ώστε να ζωντανέψουν στο χώρο των τριών διαστάσεων έννοιες και φαινόμενα τα οποία είναι εξαιρετικά δύσκολο αν όχι αδύνατο να παρασταθούν με άλλο τρόπο (Tomara & Gouscos, 2014). Επιπρόσθετα, η τεχνολογία ΕΠ, η οποία βασίζεται στη χρήση κινητών συσκευών, εισάγει μια νέα δυναμική για επί τόπου μάθηση και διερεύνηση χωρίς ειδικό εξοπλισμό.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, διαμορφώνεται η πρόκληση της κατάλληλης αξιοποίησης των χαρακτηριστικών της τεχνολογίας ΕΠ η οποία αξιοποιεί κινητές συσκευές για τη σχολική εκπαίδευση του μαθήματος της Φυσικής, με στόχο την αισθητοποίηση του αόρατου σε περιβάλλοντα τριών διαστάσεων του πραγματικού χώρου, ώστε τα περιβάλλοντα αυτά να αποβούν πιο ελκυστικά και αποτελεσματικά σε σχέση με ήδη υπάρχοντα τεχνολογικά εμπλουτισμένα περιβάλλοντα μάθησης.

1.2 Σκοπός της έρευνας

Ο βασικός σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να παρουσιαστεί στους μαθητές Γυμνασίου ένα καινοτόμο μαθησιακό περιβάλλον το οποίο αξιοποιεί το δυναμικό της τεχνολογίας ΕΠ για την παροχή τρισδιάστατων περιβαλλόντων συνεργατικής, διερευνητικής μάθησης μέσα στο χώρο της σχολικής τάξης, για το μάθημα της Φυσικής.

Πιο συγκεκριμένα, ο σκοπός της παρούσας έρευνας είναι τριπλός. Σε πρώτη φάση, επιχειρήθηκε η δόμηση ενός σχεδιαστικού πλαισίου για την ανάπτυξη μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ με αντικείμενο τη διδασκαλία θεμελιωδών εννοιών από το πεδίο της Φυσικής. Το πλαίσιο αυτό καθορίστηκε με βάση το θεωρητικό υπόβαθρο της έρευνας, ως αποτέλεσμα συγκερασμού των κυρίαρχων χαρακτηριστικών τόσο των υιοθετούμενων παιδαγωγικών προσεγγίσεων όσο και των αξιοποιούμενων τεχνολογικών μέσων. Ο δεύτερος σκοπός αφορά στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη, με βάση τις παραπάνω σχεδιαστικές αρχές, μαθησιακών περιβαλλόντων τα οποία αξιοποιούν την τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας και την μάθηση μέσω κινητών συσκευών. Τα περιβάλλοντα αυτά στοχεύουν στη διδασκαλία θεμελιωδών εννοιών της Φυσικής, μέσα στο πλαίσιο της σχολικής τάξης. Τελικό σκοπό της παρούσας έρευνας αποτέλεσε η ενσωμάτωση των παραπάνω μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ στην καθημερινή διδασκαλία της Φυσικής μέσα στη σχολική τάξη, προκειμένου να διερευνηθεί αφενός η στάση των μαθητών απέναντι στη διαδικασία μάθησης με χρήση των προτεινόμενων εμπειριών ΕΠ και αφετέρου, κάτω από ποιες προϋποθέσεις είναι τελικά εφικτή η ενσωμάτωση τέτοιων περιβαλλόντων μάθησης που αξιοποιούν την τεχνολογία της ΕΠ, στο σχολικό πρόγραμμα σπουδών για το μάθημα της Φυσικής.

1.3 Ερευνητικά ερωτήματα και μεθοδολογία της έρευνας

Για να ικανοποιηθεί ο παραπάνω τριπλός σκοπός, η παρούσα έρευνα έλαβε χώρα σε δύο στάδια. Το πρώτο στάδιο της έρευνας πραγματοποιήθηκε κατά το χρονικό διάστημα Ιούλιος 2014 - Μάιος 2016 και αφορά στη θεωρητική τεκμηρίωση της έρευνας. Κατά το διάστημα αυτό προσεγγίστηκαν όλες οι πλευρές του ερευνητικού προβλήματος, ως αποτέλεσμα βιβλιογραφικής ανασκόπησης και εμπειρικής έρευνας. Αρχικά, καθορίστηκε το παιδαγωγικό και το τεχνολογικό πλαίσιο της έρευνας και αναδείχθηκαν τα κύρια χαρακτηριστικά των πολλαπλών διαστάσεων του ερευνητικού ζητήματος. Αναφορικά με τα χαρακτηριστικά αυτά, διαμορφώθηκαν οι βασικές αρχές σχεδιασμού

των περιβαλλόντων ΕΠ με βάση τις οποίες πραγματοποιήθηκε ο εκπαιδευτικός σχεδιασμός καθώς και ο τεχνικός σχεδιασμός των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ.

Το κύριο ερευνητικό ερώτημα που διαμορφώθηκε κατά το πρώτο στάδιο της έρευνας ήταν το ακόλουθο:

- Ποιες σχεδιαστικές αρχές διαμορφώνονται με βάση το θεωρητικό πλαίσιο της παρούσας έρευνας για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ, τα οποία έχουν ως στόχο τη διδασκαλία εννοιών και φαινομένων της Φυσικής;

Η πειραματική έρευνα που ακολούθησε αποτέλεσε το δεύτερο στάδιο και έλαβε χώρα κατά το χρονικό διάστημα 2016-2019 σε δύο κύριες φάσεις:

Α' φάση: Πραγματοποιήθηκε κατά το χρονικό διάστημα 2016–2018. Κατά τη φάση αυτή σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε μια διδακτική προσέγγιση που αφορούσε στη διδασκαλία των ηλεκτρικών δυνάμεων Coulomb με αξιοποίηση ενός κατάλληλα σχεδιασμένου μαθησιακού περιβάλλοντος ΕΠ, σε μαθητές της Γ' τάξης Γυμνασίου. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη του πρώτου μαθησιακού περιβάλλοντος ΕΠ, για τη διδασκαλία της ηλεκτρικής δύναμης. Ακολούθησε ο σχεδιασμός και η υλοποίηση της εκπαιδευτικής έρευνας η οποία πραγματοποιήθηκε με στόχο να αξιολογηθεί η επίδραση της μαθησιακής εμπειρίας ΕΠ στους μαθητές. Η Α' φάση λειτούργησε ως προκαταρκτική έρευνα, τα αποτελέσματα της οποίας αποτέλεσαν είσοδο για το σχεδιασμό των δραστηριοτήτων ΕΠ που στοχεύουν στην κατανόηση θεμελιωδών εννοιών από το πεδίο της Κλασσικής Μηχανικής καθώς και για την αντίστοιχη εκπαιδευτική έρευνα της Β' φάσης.

Οι βασικοί στόχοι της Α' φάσης της πειραματικής έρευνας ήταν οι ακόλουθοι:

- Να περιγραφεί η διαδικασία ανάπτυξης του μαθησιακού περιβάλλοντος ΕΠ.
- Να αξιολογηθεί ο σχεδιασμός του περιβάλλοντος ΕΠ με βάση την ανάδραση των μαθητών.
- Να διερευνηθεί η απόκριση των μαθητών στη διαδικασία μάθησης με αξιοποίηση των προτεινόμενων μαθησιακών εμπειριών ΕΠ μέσα στο περιβάλλον της σχολικής τάξης.

Τα κύρια ερευνητικά ερωτήματα που διατυπώνονται με βάση τους παραπάνω στόχους για την Α' φάση της εκπαιδευτικής έρευνας είναι τα εξής:

1. Ποια είναι η στάση των μαθητών απέναντι στη διαδικασία μάθησης με χρήση του περιβάλλοντος ΕΠ μέσω κινητών συσκευών, μέσα στο περιβάλλον της σχολικής τάξης;
2. Είναι λειτουργικός ο τεχνικός σχεδιασμός του μαθησιακού περιβάλλοντος ΕΠ;
3. Ποια χαρακτηριστικά της διδακτικής προσέγγισης με αξιοποίηση του περιβάλλοντος ΕΠ αναδύονται ως ευνοϊκά και ποια ως δυσμενή για τους μαθητές κατά τη διεξαγωγή των μαθησιακών εμπειριών ΕΠ μέσα στο περιβάλλον της σχολικής τάξης;

Β' φάση: Πραγματοποιήθηκε κατά το χρονικό διάστημα 2018–2019. Κατά το διάστημα αυτό υλοποιήθηκε η διδακτική προσέγγιση που αφορούσε στη διδασκαλία θεμελιωδών εννοιών της Φυσικής σε μαθητές της Β' τάξης Γυμνασίου. Συγκεκριμένα, για την ανάπτυξη των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ κατά το στάδιο αυτό, επιλέχθηκαν ως μαθησιακά αντικείμενα οι ενότητες της Κίνησης και της Δύναμης όπως αυτές εισάγονται στους μαθητές της Β' τάξης Γυμνασίου, με βάση το ισχύον Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών. Οι μαθητές της Β' τάξης του Γυμνασίου προσφέρονται ως ερευνητικό δείγμα, από την άποψη ότι έχουν την απαιτούμενη ωριμότητα και εξοικείωση που απαιτείται για την οργάνωση και το συντονισμό της έρευνας σε σχέση με τους μικρότερους μαθητές της Α' τάξης του Γυμνασίου όπου και εκεί, με βάση την προβλεπόμενη διδακτέα ύλη, θα μπορούσαν να εισαχθούν κατάλληλα περιβάλλοντα ΕΠ για την διδασκαλία θεμελιωδών εννοιών της Φυσικής όπως το μήκος, ο χρόνος, η μάζα. Συνολικά, αναπτύχθηκαν τέσσερις δραστηριότητες ΕΠ. Η πρώτη στοχεύει στην έννοια της θέσης, η δεύτερη στην έννοια της μετατόπισης, η τρίτη έχει ως αντικείμενο τη στιγμιαία ταχύτητα και την έννοια της τροχιάς και η τέταρτη αφορά στις δυνάμεις. Ακολούθησε ο σχεδιασμός και η υλοποίηση εκπαιδευτικής έρευνας για την ενσωμάτωση των παραπάνω δραστηριοτήτων ΕΠ στην καθημερινή διδακτική πρακτική της σχολικής τάξης.

Οι βασικοί στόχοι της Β' φάσης της πειραματικής έρευνας επικεντρώνονται στους ακόλουθους άξονες:

- Να περιγραφεί η διαδικασία ανάπτυξης των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ.
- Να αξιολογηθεί ο σχεδιασμός των περιβαλλόντων ΕΠ με βάση την ανάδραση των μαθητών.

- Να διερευνηθεί η απόκριση των μαθητών στη διαδικασία μάθησης με αξιοποίηση των μαθησιακών εμπειριών ΕΠ μέσα στο περιβάλλον της σχολικής τάξης, για εκτενές χρονικό διάστημα.
- Να προταθούν κάποιες βασικές αρχές σχεδιασμού μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ για τη διδασκαλία εννοιών και φαινομένων της Φυσικής.

Μέσα σε αυτό το πνεύμα, τα κύρια ερευνητικά ερωτήματα της Β' φάσης της πειραματικής έρευνας διαμορφώνονται ως εξής:

1. Ποια είναι η στάση των μαθητών απέναντι στη διαδικασία μάθησης με ενσωμάτωση των περιβαλλόντων ΕΠ μέσω κινητών συσκευών στην καθημερινή διδακτική πρακτική της σχολικής τάξης για το μάθημα της Φυσικής;
2. Είναι λειτουργικός ο τεχνικός σχεδιασμός των περιβαλλόντων ΕΠ για τη διδασκαλία θεμελιωδών εννοιών της Φυσικής;
3. Ποια χαρακτηριστικά της διδακτικής προσέγγισης με αξιοποίηση των περιβαλλόντων ΕΠ αναδύονται ως ευνοϊκά και ποια ως δυσμενή για τους μαθητές κατά τη διεξαγωγή των εμπειριών ΕΠ μέσα στο περιβάλλον της σχολικής τάξης;
4. Ποιες είναι οι ιδιαιτερότητες και οι δυσκολίες που προέκυψαν κατά την οργάνωση, τον συντονισμό και τη διεξαγωγή των μαθησιακών εμπειριών ΕΠ κατά την ενσωμάτωση τους στη διδακτική πρακτική μέσα στο περιβάλλον της σχολικής τάξης;
5. Ποιες βασικές αρχές τεχνικού σχεδιασμού διαμορφώνονται για την ανάπτυξη μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ που έχουν ως στόχο τη διδασκαλία εννοιών της Φυσικής;

Ο πίνακας 1.1 συνοψίζει τις μεθόδους συλλογής και ανάλυσης των δεδομένων, όπως αντιστοιχούν σε κάθε ερευνητικό ερώτημα για την παρούσα έρευνα.

Πίνακας 1.1: Τα στάδια της έρευνας, τα ερευνητικά ερωτήματα για κάθε στάδιο και οι μέθοδοι συλλογής και ανάλυσης των δεδομένων, όπως αντιστοιχούν στα ερευνητικά ερωτήματα.

		Ερευνητικό ερώτημα	Μέθοδος Συλλογής Δεδομένων	Ανάλυση Δεδομένων
A & B Μέρος	Θεωρητικό πλαίσιο & Πειραματικός Σχεδιασμός	Ποιες σχεδιαστικές αρχές διαμορφώνονται με βάση το θεωρητικό πλαίσιο της παρούσας έρευνας για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ τα οποία έχουν ως στόχο τη διδασκαλία εννοιών και φαινομένων της Φυσικής;	<ul style="list-style-type: none"> - Βιβλιογραφική ανασκόπηση - Ερωτηματολόγιο για την ανάδειξη των πρότερων ιδεών αναφορικά με θεμελιώδεις έννοιες της Φυσικής 	<ul style="list-style-type: none"> Θεωρητική έρευνα Εμπειρική έρευνα
Γ Μέρος	Α' φάση της πειραματικής έρευνας	1. Ποια είναι η στάση των μαθητών απέναντι στη διαδικασία μάθησης με χρήση του περιβάλλοντος ΕΠ μέσω κινητών συσκευών, μέσα στο περιβάλλον της σχολικής τάξης;	<ul style="list-style-type: none"> - Ερωτηματολόγιο RIMMS - Συμμετοχικές παρατηρήσεις παιδιών κατά τη διάρκεια της διδακτικής παρέμβασης για την εκτίμηση της κινητοποίησης τους και της εμπλοκής τους 	<ul style="list-style-type: none"> Εμπειρική έρευνα Ποιοτική ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων παρατήρησης
		2. Είναι λειτουργικός ο τεχνικός σχεδιασμός του μαθησιακού περιβάλλοντος ΕΠ για τις ηλεκτρικές δυνάμεις;	<ul style="list-style-type: none"> - Ερωτηματολόγιο «δυσκολίας/ευχαρίστησης» - Συμμετοχικές παρατηρήσεις παιδιών κατά τη διάρκεια της διδακτικής παρέμβασης (καταγραφή συμπεριφορών και αντιδράσεων των παιδιών από την ερευνήτρια-εκπαιδευτικό) 	<ul style="list-style-type: none"> Συνδυαστική ερμηνεία των παραπάνω Εξαγωγή συμπερασμάτων
		3. Ποια χαρακτηριστικά της διδακτικής προσέγγισης με αξιοποίηση του περιβάλλοντος ΕΠ αναδύονται ως ευνοϊκά και ποια ως δυσμενή για τους μαθητές κατά τη διεξαγωγή των μαθησιακών εμπειριών ΕΠ μέσα	<ul style="list-style-type: none"> για την εκτίμηση της στάσης τους 	

		στο περιβάλλον της σχολικής τάξης;		
Δ' Μέρος	Β' φάση της πειραματικής έρευνας	1. Ποια είναι η στάση των μαθητών απέναντι στη διαδικασία μάθησης με ενσωμάτωση των περιβαλλόντων ΕΠ μέσω κινητών συσκευών στην καθημερινή διδακτική πρακτική της σχολικής τάξης για το μάθημα της Φυσικής;	- Ερωτηματολόγιο RIMMS - Συμμετοχικές παρατηρήσεις παιδιών κατά τη διάρκεια της διδακτικής παρέμβασης για την εκτίμηση της κινητοποίησης τους και της εμπλοκής τους - Άτυπες ατομικές συνεντεύξεις των μαθητών	Εμπειρική έρευνα Ποιοτική ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων παρατήρησης Συνδυαστική ερμηνεία των παραπάνω
		2. Είναι λειτουργικός ο τεχνικός σχεδιασμός των περιβαλλόντων ΕΠ για τη διδασκαλία θεμελιωδών εννοιών της Φυσικής;	- Ερωτηματολόγιο «δυσκολίας/ευχαρίστησης» - Συμμετοχικές παρατηρήσεις παιδιών κατά τη διάρκεια της διδακτικής παρέμβασης (καταγραφή συμπεριφορών και αντιδράσεων των παιδιών από την ερευνήτρια-εκπαιδευτικό) για την εκτίμηση της στάσης τους - Άτυπες ατομικές συνεντεύξεις των μαθητών	Εξαγωγή συμπερασμάτων
		3. Ποια χαρακτηριστικά της διδακτικής προσέγγισης με αξιοποίηση των περιβαλλόντων ΕΠ αναδύονται ως ευνοϊκά και ποια ως δυσμενή για τους μαθητές κατά τη διεξαγωγή των μαθησιακών εμπειριών ΕΠ μέσα στο περιβάλλον της σχολικής τάξης;	- Συμμετοχικές παρατηρήσεις μαθητών κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας με αξιοποίηση των περιβαλλόντων ΕΠ για την εκτίμηση της εμπλοκής τους - Άτυπες ατομικές συνεντεύξεις των μαθητών	
		4. Ποιες είναι οι ιδιαιτερότητες και οι δυσκολίες που προέκυψαν κατά την οργάνωση, τον συντονισμό και τη διεξαγωγή των μαθησιακών εμπειριών ΕΠ κατά την ενσωμάτωσή τους στη διδακτική πρακτική μέσα στο περιβάλλον της σχολικής τάξης;		

		5. Ποιες αρχές τεχνικού σχεδιασμού διαμορφώνονται για την ανάπτυξη μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ για τη διδασκαλία εννοιών της Φυσικής	<ul style="list-style-type: none"> - Βιβλιογραφική ανασκόπηση - Ανάλυση των αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας 	<p>Συνδυαστική ερμηνεία των αποτελεσμάτων της έρευνας</p> <p>Εξαγωγή συμπερασμάτων</p>
--	--	--	--	--

1.4 Η συμβολή της έρευνας

Καθώς η τεχνολογία αναζητά και ανακαλύπτει νέους τρόπους για αξιοποίηση των ΤΠΕ στην εκπαίδευση, αυτή η ίδια εξελίσσεται με πολύ γρήγορους ρυθμούς. Η σύγχρονη γενιά κινητών συσκευών (κινητά τηλέφωνα, ταμπλέτες) ήδη παρέχουν αρκετές προηγμένες λειτουργίες. Επιπλέον, έχουν κάνει την εμφάνισή τους υψηλής τεχνολογίας κομψά, φορέσιμα εξαρτήματα (wearables) τα οποία επιτρέπουν τον εμπλουτισμό του πραγματικού κόσμου με πολλά επίπεδα ψηφιακής πληροφορίας. Παράλληλα, η δυνατότητα της μεταφοράς μιας κινητής συσκευής μέσα σε οποιοδήποτε μαθησιακό περιβάλλον υποδεικνύει την δυναμική της για διδασκαλία μέσα σε αυθεντικά πλαίσια.

Σήμερα, χάρη σε όλες τις παραπάνω νέες δυνατότητες, οι διδακτικές πρακτικές της κινητής μάθησης μετατοπίζονται προς μαθησιακά περιβάλλοντα μικτά και επαυξημένης πραγματικότητας. Συγκεκριμένα, η τεχνολογία ΕΠ επιτρέπει την υπέρθεση 3Δ εικονικών αντικειμένων πάνω στον πραγματικό κόσμο, προκειμένου να επαυξησει την οπτική αντίληψη του χρήστη για ένα σύστημα ή περιβάλλον. Πληθώρα ερευνών των τελευταίων ετών αναφέρουν ευρήματα με βάση τα οποία η τεχνολογία ΕΠ φαίνεται να διαθέτει χαρακτηριστικά (Boletsis & McCallum, 2013, Dunleavy, Dede & Mitchell, 2009, Ibanez κ.ά., 2014, Wu κ.ά., 2013) που την καθιστούν ιδιαίτερα ελκυστική για αξιοποίηση σε μαθησιακά πλαίσια. Παράλληλα, με βάση τις σχετικές έρευνες, προκύπτει ότι η ΕΠ ως μαθησιακό εργαλείο ευθυγραμμίζεται με τις αρχές του εποικοδομισμού, καθώς θέτει το μαθητή σε ένα κοινωνικό, ρεαλιστικό πλαίσιο του πραγματικού κόσμου και επιτρέπει την υλοποίηση συμμετοχικών μεταγνωστικών μαθησιακών διαδικασιών όπως η ενεργός παρατήρηση μέσω πολλαπλών τρόπων πολυδιάστατης αναπαράστασης επιστημονικών εννοιών και διαδικασιών (Dunleavy & Simmons, 2014).

Τα ευρήματα της παρούσας έρευνας συνεισφέρουν στην γνώση που αφορά την αξιοποίηση διαδραστικών περιβαλλόντων ΕΠ για την διδασκαλία εννοιών και φαινομένων από το πεδίο της Φυσικής. Όπως θα συζητηθεί εκτενέστερα στο κεφάλαιο 3, πληθώρα ερευνών αξιοποιούν την ΕΠ για διδακτικούς σκοπούς στις Φυσικές Επιστήμες. Ωστόσο, μικρή μόνο εμπειρία καταγράφεται σχετικά με την ενσωμάτωση της ΕΠ μέσω κινητών συσκευών στην καθημερινή διδακτική πρακτική της Φυσικής μέσα στο περιβάλλον της σχολικής τάξης, με χρήση απλού, φθηνού και άμεσα διαθέσιμου τοπικού εξοπλισμού.

Κάτω από αυτό το πρίσμα, η παρούσα έρευνα περιγράφει το σχεδιασμό και την ανάπτυξη μιας σειράς περιβαλλόντων ΕΠ που αξιοποιούν τις κινητές συσκευές ως μέσο

μάθησης για τη διδασκαλία θεμελιωδών εννοιών της Φυσικής. Επιπλέον, προτείνει μια διδακτική προσέγγιση η οποία βασίζεται στην ενσωμάτωση των παραπάνω εμπειριών ΕΠ στην καθημερινή διδακτική πρακτική του μαθήματος της σχολικής Φυσικής, όποτε αυτό κρίνεται απαραίτητο, αναφορικά με τους τιθέμενους μαθησιακούς στόχους της διδασκαλίας. Η διδακτική προσέγγιση που περιγράφεται στην παρούσα εργασία βασίζεται στα παραπάνω μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ. Η προσέγγιση αυτή στοχεύει στο να κινητοποιηθούν οι μαθητές και να εμπλακούν στη μαθησιακή διαδικασία με ένα τρόπο ο οποίος δεν θα διαταράσσει την ομαλή ροή του μαθήματος, δεν θα χρειάζεται ακριβό, ειδικό εξοπλισμό και δεν θα δαπανά πολύτιμο διδακτικό χρόνο, αφού δεν θα απαιτεί τη μεταφορά των μαθητών σε άλλο χώρο του σχολείου. Ως εκ των ανωτέρω, η συμβολή της παρούσας έρευνας συνοψίζεται στα παρακάτω σημεία:

- Ως αποτέλεσμα βιβλιογραφικής έρευνας αλλά και με βάση τα ευρήματα της εμπειρικής έρευνας, προτείνεται ένα σύνολο βασικών αρχών σχεδιασμού αναφορικά με την ανάπτυξη περιβαλλόντων ΕΠ για διδασκαλία εννοιών και φαινομένων της Φυσικής.
- Μέσω της ενσωμάτωσης των εμπειριών ΕΠ στην καθημερινή διδακτική πρακτική της Φυσικής στο περιβάλλον της σχολικής τάξης διερευνάται η κινητοποίηση και η μακροπρόθεσμη εμπλοκή των μαθητών στην μαθησιακή διαδικασία, καθώς η διδασκαλία με βάση τα μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ εναλλάσσεται με διδακτικές ενότητες παραδοσιακής διδασκαλίας.
- Τέλος, η έρευνα επιχειρεί να φωτίσει και να αναδείξει τις ιδιαίτερες συνθήκες που διαμορφώνονται κατά την ενσωμάτωση εμπειριών ΕΠ στην διδακτική πρακτική της σχολικής Φυσικής.

1.5 Διάρθρωση της διατριβής

Στο παρόν, πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται ο στόχος, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε καθώς και η συνεισφορά της παρούσας έρευνας. Επιπλέον, περιγράφεται η διάρθρωση της ερευνητικής εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο συζητείται το παιδαγωγικό υπόβαθρο της έρευνας. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται η εποικοδομιστική θεωρία διδασκαλίας και η ανακαλυπτική μάθηση, οι οποίες αποτέλεσαν το παιδαγωγικό πλαίσιο για την πειραματική έρευνα. Επιπλέον, επεξηγείται η σημασία των πρότερων ιδεών των μαθητών κατά τη δόμηση της νέας γνώσης για το μάθημα της Φυσικής. Τέλος,

συζητείται η αξιοποίηση της παιγνιοποίησης ως τεχνική για να κινητοποιηθούν και να εμπλακούν ενεργά οι μαθητές στη μαθησιακή διαδικασία.

Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στο τεχνολογικό πλαίσιο της έρευνας. Παρουσιάζει τις τεχνολογίες που επιλέχθηκαν και αναλύει τις δυνατότητες τους αναφορικά με τους στόχους της παρούσας έρευνας. Αρχικά, συζητείται η δυνατότητα πλαισιωμένης μάθησης με χρήση κινητών συσκευών. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας και περιγράφονται τα κυρίαρχα χαρακτηριστικά της. Ακολούθως επιχειρείται, με βάση τη βιβλιογραφία, η καταγραφή της τρέχουσας στάθμης της έρευνας σε σχέση με την αξιοποίηση περιβαλλόντων επαυξημένης πραγματικότητας για μαθησιακούς σκοπούς. Επιπλέον, συζητούνται οι δυνατότητες της εν λόγω τεχνολογίας, που την καθιστούν εν δυνάμει κατάλληλη για την ανάπτυξη μαθησιακών εμπειριών, με σκοπό να βελτιώσουν την κατανόηση και την αισθητοποίηση εννοιών και φαινομένων από το πεδίο των Φυσικών Επιστημών. Συγχρόνως, αναδεικνύονται τα κυρίαρχα χαρακτηριστικά της αναφορικά με την αξιοποίησή της στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, αλλά και οι περιορισμοί και οι προκλήσεις που φαίνεται να εισάγει αυτή στις σύγχρονες σχολικές συνθήκες μάθησης.

Το τέταρτο κεφάλαιο συζητά τις πρότερες ιδέες των μαθητών και τη σημασία τους στη διαδικασία κατάκτησης της επιστημονικής γνώσης για το μάθημα της Φυσικής. Επιπλέον, παρουσιάζει μια μελέτη περίπτωσης η οποία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας και έλαβε χώρα σε Έλληνες μαθητές της Α' τάξης Γυμνασίου. Η μελέτη αυτή έγινε με σκοπό να αναδείξει περαιτέρω τη σημασία και το περιεχόμενο που αποδίδουν οι Έλληνες μαθητές σε βασικές έννοιες από το πεδίο της Φυσικής και ειδικότερα της Μηχανικής μόλις μετά την έξοδο τους από την Δημοτική Εκπαίδευση.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται, ως αποτέλεσμα βιβλιογραφικής έρευνας, σύγχρονες διδακτικές προσεγγίσεις που στοχεύουν στην γνωστική πρόοδο των μαθητών αναφορικά με τις θεμελιώδεις έννοιες και νόμους της Κλασικής Μηχανικής. Ακολούθως, με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, αναδεικνύονται τα κυρίαρχα χαρακτηριστικά των παραπάνω προσεγγίσεων, τα περισσότερα από τα οποία αξιοποιήθηκαν στη συνέχεια κατά τον πειραματικό σχεδιασμό της έρευνας και συνδυάστηκαν κατάλληλα, ώστε να δομηθεί η διδακτική προσέγγιση που προτείνει η παρούσα έρευνα.

Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφεται ο σχεδιασμός και η υλοποίηση των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ με βάση το παιδαγωγικό και τεχνολογικό υπόβαθρο της παρούσας

έρευνας. Αρχικά, περιγράφονται οι προδιαγραφές σχεδιασμού που θέτει κάθε μία από τις επιλεγόμενες μεθοδολογικές προσεγγίσεις αναφορικά με τις υιοθετούμενες παιδαγωγικές θεωρίες, το διδακτικό αντικείμενο και τις αξιοποιούμενες τεχνολογίες. Στη συνέχεια, ως αποτέλεσμα συγκερασμού των παραπάνω διαστάσεων, συντίθεται ένα σύνολο αρχών σχεδιασμού αναφορικά με την δημιουργία μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ για τη διδασκαλία εννοιών και φαινομένων από το πεδίο της Φυσικής. Ακολούθως, παρουσιάζεται το μεθοδολογικό πλαίσιο σχεδιασμού και περιγράφεται ο εκπαιδευτικός σχεδιασμός των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ αναφορικά με τις σχεδιαστικές αρχές που διαμορφώθηκαν.

Το έβδομο κεφάλαιο αναφέρεται στον τεχνικό σχεδιασμό των προτεινόμενων μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι λειτουργικές προδιαγραφές οι οποίες κατεύθυναν την αναζήτηση και τον προσδιορισμό των κατάλληλων εργαλείων ανάπτυξης. Ακολούθως, παρουσιάζονται τα προγραμματιστικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των μαθησιακών εφαρμογών ΕΠ και τέλος αναλύονται τα βασικά στοιχεία τα οποία υλοποιούν τα μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ.

Στο όγδοο κεφάλαιο αναλύεται η διαδικασία σχεδιασμού της πρώτης μαθησιακής εμπειρίας ΕΠ για την ηλεκτρική δύναμη. Το περιγραφόμενο περιβάλλον ΕΠ αναπτύχθηκε κατά την Α' φάση της πειραματικής έρευνας, σε συμφωνία με τις σχεδιαστικές αρχές που διαμορφώθηκαν και με βάση το μοντέλο Ισορροπημένου Σχεδιασμού (Balanced Design Model) το οποίο αποτέλεσε το μεθοδολογικό πλαίσιο σχεδιασμού των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ, όπως αυτό περιγράφεται στο κεφάλαιο 6.

Στο ένατο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο εκπαιδευτικός σχεδιασμός και τα δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά τη διεξαγωγή της εκπαιδευτικής έρευνας που έλαβε χώρα στη συνέχεια, με κύριο στόχο να διερευνηθεί η επίδραση του παραγόμενου μαθησιακού περιβάλλοντος ΕΠ για την ηλεκτρική δύναμη σε μαθητές Γυμνασίου, σε πραγματικές συνθήκες σχολικής τάξης. Η εμπειρική έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε αυτή τη φάση λειτούργησε ως προκαταρκτική έρευνα, μέρος των αποτελεσμάτων της οποίας αποτέλεσε είσοδο για το σχεδιασμό των δραστηριοτήτων ΕΠ που στοχεύουν στην κατανόηση θεμελιωδών εννοιών της Φυσικής συγκεκριμένα από το πεδίο της Κλασικής Μηχανικής, καθώς και για την αντίστοιχη εκπαιδευτική έρευνα που πραγματοποιήθηκε.

Στο δέκατο κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία σχεδιασμού για τα περιβάλλοντα ΕΠ που υλοποιήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν κατά τη Β' φάση της πειραματικής έρευνας. Τα μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ που σχεδιάστηκαν σε αυτό το στάδιο της έρευνας στοχεύουν να εμπλέξουν τους μαθητές της Β' τάξης του Γυμνασίου στην μαθησιακή διαδικασία για την κατανόηση των θεμελιωδών, για την περαιτέρω κατανόηση της Φυσικής, διανυσματικών μεγεθών της θέσης, της μετατόπισης της ταχύτητας και της δύναμης.

Στο ενδέκατο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο εκπαιδευτικός σχεδιασμός της εμπειρικής έρευνας που ακολούθησε. Η έρευνα αυτή είχε ως στόχο την αξιοποίηση των δραστηριοτήτων ΕΠ οι οποίες σχεδιάστηκαν και αναπτύχθηκαν για τη διδασκαλία εννοιών και φαινομένων σε σχέση με τις διδακτικές ενότητες των κινήσεων και των δυνάμεων και την ενσωμάτωσή τους στη σχολική διδασκαλία. Βασικό σκοπό της παρούσας ερευνητικής φάσης αποτέλεσε η περαιτέρω διερεύνηση της στάσης των μαθητών απέναντι στην καθημερινή διδασκαλία της φυσικής, η οποία ενσωματώνει την τεχνολογία ΕΠ για την παροχή τρισδιάστατων περιβαλλόντων συνεργατικής διερευνητικής μάθησης με χρήση απλού και τοπικά διαθέσιμου εξοπλισμού.

Με το δωδέκατο κεφάλαιο ολοκληρώνεται η παρούσα διδακτορική εργασία. Το κεφάλαιο αυτό συνοψίζει τα κύρια ευρήματα και συζητά τους περιορισμούς που τέθηκαν κατά τη διάρκεια της ερευνητικής διαδικασίας. Τέλος, με βάση την κριτική προσέγγιση των αποτελεσμάτων της έρευνας, τα νέα ερωτήματα που αναδύθηκαν κατά τη διάρκεια της έρευνας και αντιμετωπίζοντας τις συναντώμενες δυσκολίες, διαμορφώνονται και προτείνονται κάποιες κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα.

Μέρος Α':

Θεωρητικό Πλαίσιο

Κεφάλαιο 2

Παιδαγωγικό Πλαίσιο

Το παρόν κεφάλαιο παρουσιάζει τις ποικίλες διαστάσεις που αναδύθηκαν με βάση την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας αναφορικά με τη θεωρητική πλαισίωση της παρούσας έρευνας. Αρχικά, καθορίζεται και αιτιολογείται η αρχή του εποικοδομισμού ως επιλεγόμενη διδακτική προσέγγιση για την ανάπτυξη των δραστηριοτήτων ΕΠ με στόχο τη διδασκαλία εννοιών από το πεδίο της Φυσικής. Στη συνέχεια, αναλύονται τα κύρια χαρακτηριστικά που καθορίζουν το παιδαγωγικό πλαίσιο της παρούσας έρευνας, με βάση την παραπάνω επιλογή. Πιο συγκεκριμένα, συζητείται η αξία της διερευνητικής μάθησης στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών και ακολούθως επεξηγείται η σημασία των πρότερων ιδεών των μαθητών κατά τη δόμηση της νέας γνώσης στο μάθημα της Φυσικής. Τέλος, συζητείται η αξιοποίηση της παιγνιοποίησης ως τεχνικής για να κινητοποιηθούν και να εμπλακούν ενεργά οι μαθητές στη μαθησιακή διαδικασία.

Ορισμένα από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο έχουν δημοσιευθεί στο άρθρο (Τομαρά & Γκούσκος, 2014). Επιπλέον, στις ενότητες 2.1 και 2.2 αξιοποιούνται αποτελέσματα επισκόπησης βιβλιογραφίας της πηγής (Τομαρά, 2010).

2.1 Η συμβολή του εποικοδομισμού στο σχεδιασμό μαθησιακών περιβαλλόντων με ΤΠΕ

Η κυριότερη συμβολή του εποικοδομισμού στην εκπαίδευση είναι ότι εισήγαγε περισσότερο μαθητοκεντρικά και ανοιχτά μοντέλα διδασκαλίας, και ανέδειξε τη σημασία του ψυχο-κοινωνικού πλαισίου της μάθησης, της ομαδοσυνεργατικής διδασκαλίας και γενικά, της αξίας της κοινωνικής διευκόλυνσης μέσω των γόνιμων κοινωνικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ μαθητών-εκπαιδευτικού-συμμαθητών και άλλων εμπειριών ενηλίκων. Επιπλέον, μετέθεσε το βάρος στη σημασία της κατανόησης και της εμπλοκής της προηγούμενης εμπειρίας των μαθητών στη διαδικασία της μάθησης. Οι βασικές αρχές που ορίζουν τη μάθηση με την έννοια της θεωρίας του εποικοδομισμού αναπτύχθηκαν κυρίως από τους Piaget, Bruner, Papert και Vygotsky.

Βασική επιστημολογική παραδοχή του εποικοδομισμού είναι ότι η συμμετοχή του μαθητή στην μαθησιακή διαδικασία είναι ενεργή και ο ίδιος αλληλεπιδρά με το περιβάλλον μάθησης. Επιπλέον, η δόμηση της γνώσης είναι μια λειτουργία που

βασίζεται στις προϋπάρχουσες εμπειρίες, τα νοητικά σχήματα που έχει ήδη διαμορφώσει ο μαθητής αναφορικά με τα φυσικά φαινόμενα που παρατηρεί, τις «θεωρίες» που έχει διαμορφώσει ο ίδιος προκειμένου να ερμηνεύσει αντικείμενα ή γεγονότα και τις οποίες ο διδάσκοντας θα πρέπει να λαμβάνει ως σημείο εκκίνησης της διδακτικής διαδικασίας (Jonassen, 1991). Συνεπώς, οι μαθητές μαθαίνουν με το δικό τους τρόπο μέσω ενεργού γνωστικής εξερεύνησης και η μάθηση συντελείται, όταν η εξερεύνηση του μαθητή αποκαλύπτει γνωστικές συγκρούσεις μεταξύ κατακτημένης γνώσης και της εμπειρίας του (Piaget, 1961, 1973). Παράλληλα, ο εποικοδομισμός ως θεωρία μάθησης δίνει έμφαση στους διαφορετικούς τρόπους μάθησης των διαφορετικών μαθητών (ικανότητα συγκέντρωσης, ανάλυσης, μνήμης πληροφοριών και δεξιοτήτων). Επιπλέον, κάθε μαθητής δημιουργεί τις δικές του αναπαραστάσεις, χτίζοντας τις δικές του εμπειρίες, άρα δεν υπάρχει μια μοναδική «σωστή» αναπαράσταση της γνώσης (Μακράκης, 2000). Παράλληλα, βασικός στόχος της εποικοδομητικής παιδαγωγικής είναι το μαθησιακό περιβάλλον να προσαρμόζεται στα ενδιαφέροντα, τους τρόπους μάθησης και τις ικανότητες κάθε χρήστη χωριστά.

Για πάρα πολλά χρόνια, μέχρι και σήμερα, ο σχεδιασμός διδακτικών πρακτικών με χρήση ΤΠΕ βασίστηκε σε προσεγγίσεις συμπεριφοριστικού τύπου. Αυτά τα λογισμικά είναι κλειστού τύπου, βασισμένα κατά κύριο λόγο στην παρουσίαση της πληροφορίας και στην αξιολόγηση της γνώσης με διαδικασίες εξάσκησης και πρακτικής (drill-and-practice). Ωστόσο, με βάση τη θεωρία του εποικοδομισμού, μία μαθησιακή εμπειρία η οποία αξιοποιεί τις ΤΠΕ δεν μπορεί να θεωρηθεί ολοκληρωμένη, αν δεν λάβει υπόψη τον τρόπο με τον οποίο οικοδομούν τις γνώσεις τους οι ίδιοι οι μαθητές, οι οποίοι, βάσει της αλληλεπίδρασης τους με τον κόσμο, οικοδομούν, ελέγχουν, αναδιατάσσουν τις γνωστικές τους αναπαραστάσεις οι οποίες στην συνέχεια νοηματοδοτούν τα φαινόμενα του πραγματικού κόσμου (Κόμης, 2004).

Για τον σχεδιασμό μαθησιακών περιβαλλόντων τα οποία αξιοποιούν τις ΤΠΕ και βασίζονται στην προσέγγιση του εποικοδομισμού σημαντική υπήρξε η συμβολή του Papert, ο οποίος όπως και ο Piaget, αναγνωρίζει τη μάθηση όχι ως απόρροια της μεταβίβασης της γνώσης από το δάσκαλο στον μαθητή αλλά ως προϊόν της δόμησης και της αναδόμησης της γνώσης από το ίδιο το παιδί. Επιπλέον, ο Papert υποστηρίζει ότι η μάθηση είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική όταν πραγματοποιείται στο πλαίσιο μιας πλούσιας και συγκεκριμένης δραστηριότητας κατά την οποία ο μαθητής πειραματίζεται κατασκευάζοντας ένα προϊόν που έχει νόημα για τον ίδιο (Papert, 1980).

Ένα ψηφιακό περιβάλλον μάθησης χαρακτηρίζεται ως εποικοδομητικό, εφόσον διαθέτει μία σειρά από χαρακτηριστικά. Πιο συγκεκριμένα, μια σημαντική συνιστώσα της εποικοδομητικής μάθησης είναι η αυθεντικότητα των καταστάσεων τις οποίες πραγματεύεται. Ένα πρόβλημα είναι αυθεντικό όταν έχει νόημα για τον μαθητή, το αντιλαμβάνεται δηλαδή ως ενδιαφέρον, χρήσιμο και σημαντικό (Bigge, 1990). Η έννοια της αυθεντικότητας είναι ιδιαίτερα δημοφιλής στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών. Η προσομοίωση αυθεντικών πειραματικών καταστάσεων χρησιμοποιείται ήδη από λογισμικά που αξιοποιούν την ανακαλυπτική μάθηση, με στόχο να προσομοιώσει ουσίες, διαδικασίες και φυσικά φαινόμενα, ώστε να οικοδομήσει αποδεκτές αναπαραστάσεις του πραγματικού κόσμου στο πειραματικό επίπεδο (Τομαρά, 2010).

Επιπλέον, στο σχεδιασμό λογισμικών για τις Φυσικές Επιστήμες και σε ευθυγράμμιση με τη θεωρία του εποικοδομισμού, δίνεται έμφαση στην αναπαράσταση της υποκείμενης γνώσης μέσω πολλαπλών μέσων και η νέα γνώση είναι απαραίτητο να συνδεθεί με αναπαραστάσεις των φαινομένων, τόσο σε μικροσκοπικό επίπεδο όσο και σε μαθηματικό ή/και συμβολικό επίπεδο (συμβολισμοί, τύποι, διαγράμματα, κλπ.). Με αυτό τον τρόπο, οι μαθητές συνειδητοποιούν ότι δεν υπάρχει μόνο ένας αντικειμενικός κόσμος, μια μορφή γνώσης και ένας τρόπος ερμηνείας, αλλά πολλοί κόσμοι, διάφορα είδη γνώσης και πολλαπλοί τρόποι και οπτικές θεώρησης και επίλυσης των προβλημάτων που πραγματεύονται (Μακράκης, 2000).

Παράλληλα, σε ένα εποικοδομητικού τύπου λογισμικό η παροχή ανατροφοδότησης του μαθητή είναι επίσης αναγκαία ώστε να γνωρίζει ο μαθητής κάθε στιγμή τα αποτελέσματα των ενεργειών και των επιλογών του μέσα στο μαθησιακό περιβάλλον. Επιπρόσθετα θα πρέπει να παρέχονται συμπληρωματικές πληροφορίες για τις λανθασμένες, ελλιπείς ή και σωστές απαντήσεις και να δίνονται κατευθύνσεις για την διόρθωση και συμπλήρωσή τους, με στόχο την αποτελεσματική διδακτική αντιμετώπιση των εναλλακτικών ιδεών και την οικοδόμηση έγκυρης και αποδεκτής γνώσης (Σολωμονίδου, 2006).

Τέλος, ένα ψηφιακό μαθησιακό περιβάλλον που σχεδιάζεται μέσα στο πνεύμα του εποικοδομισμού δεν παραβλέπει την κοινωνική διάσταση της μάθησης. Αντίθετα ευνοεί την αλληλεπίδραση ανάμεσα στους μαθητές αλλά και μεταξύ μαθητών και διδασκόντα και επιτρέπει την συνεργασία των παικτών σε ομάδες (Piaget, 1973). Το τελευταίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό, δεδομένου ότι η ομαδική εργασία και ο καταμερισμός των ερευνητικών προσπαθειών μεταξύ επιστημών αποτελούν βασικά χαρακτηριστικά της σύγχρονης έρευνας. Έξαλλου, η προσέγγιση της επιστημονικής μεθοδολογίας

υπαγορεύει την ανάγκη της καλλιέργειας του ομαδικού πνεύματος στην τάξη. Η ικανότητα της επικοινωνίας, η ικανότητα να μαθαίνουμε από τους γύρω μας ακόμη και όταν διαφωνούμε μαζί τους, να συνδυάζουμε τα συμπεράσματά μας με αυτά των συνεργατών και να καταλήγουμε σε κοινές ενέργειες, είναι στοιχεία της εκπαίδευσης πολύ σημαντικότερα ίσως από την διδακτέα ύλη, στοιχεία που μπορούν να καλλιεργηθούν από την εργασία σε ομάδες (Τομαρά, 2010).

Ιδιαίτερα σε σχέση με μαθησιακές εφαρμογές οι οποίες αξιοποιούν την τεχνολογία ΕΠ, οι Sommerauer και Muller (Sommerauer & Muller, 2018) υποστηρίζουν ότι όταν αυτά τα μαθησιακά περιβάλλοντα βασίζονται στον εποικοδομισμό δύνανται να δημιουργήσουν πλαίσια μάθησης που δίνουν νόημα στο μαθησιακό αντικείμενο και επιτρέπουν στους μαθητές να δομήσουν οι ίδιοι τη γνώση τους.

2.2 Η διερευνητική μάθηση για τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών

Οι Φυσικές Επιστήμες αφορούν στη μελέτη του κόσμου γύρω μας. Συνεπώς, το μάθημα της Φυσικής είναι σημαντικό να συσχετίζεται με τις εμπειρίες των μαθητών κατά την αλληλεπίδρασή τους με τον πραγματικό κόσμο ώστε αυτοί να μην θεωρούν ότι τα όσα διδάσκονται αφορούν σε καταστάσεις ειδικών συνθηκών και εκτός της δικής τους πραγματικότητας (Bentley & Watts, 1992). Παράλληλα, η ενεργός συμμετοχή των μαθητών στην εξέλιξη του μαθήματος αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο αναβάθμισης του ενδιαφέροντος. Σε αντίθεση με την παθητική ακρόαση διαλέξεων του διδάσκοντα ή την ανάγνωση κειμένων, η εμπλοκή των ίδιων των μαθητών σε πειραματικές δραστηριότητες και η άμεση εμπλοκή τους μετατρέπει τη διαδικασία μάθησης σε βιωματική εμπειρία που αποκτά νόημα για τους ίδιους (Prensky, 2009). Συνεπώς, η διερευνητική και ανακαλυπτική μάθηση με την εκτέλεση πειραμάτων αποτελεί σημαντική στρατηγική για τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, γιατί αξιοποιεί τη βιωματική εμπειρία του μαθητή (Κώτσης & Μπασιάκος, 2009). Η διερευνητική μέθοδος διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1960, σε απάντηση στην παραδοσιακή διδασκαλία, η οποία εισήχθη ως ιδέα αρχικά από τον Dewey το 1910. Ο μαθητής παροτρύνεται να παρατηρεί, να υποθέτει, να ελέγχει τις υποθέσεις του με πειράματα και να οδηγείται σε επιστημονικώς αποδεκτά συμπεράσματα.

Οι ερευνητές (Crawford, 2007) θέτουν τα παρακάτω σημεία ως πλαίσιο για το σχεδιασμό διδακτικών προσεγγίσεων για τις Φυσικές Επιστήμες με βάση την επιστημονική έρευνα, σύμφωνα με τα Εθνικά Πρότυπα Μάθησης Φυσικών Επιστημών των Ηνωμένων Πολιτειών, NSES (NRC, 1996, 2000) :

- Με βάση την επιστημονική μέθοδο τίθενται ερωτήματα τα οποία απαντώνται και στη συνέχεια η απάντηση συγκρίνεται με αυτό που είναι ήδη γνωστό για τον κόσμο.
- Η ανάλυση των δεδομένων κατευθύνεται από ερωτήσεις ενδιαφέροντος, πραγματοποιείται με αναπαράσταση της πληροφορίας με πολλαπλούς τρόπους και αφορά στη δημιουργία λογικών μοτίβων και επεξηγήσεων.
- Η διερεύνηση εξυπηρετεί πολλαπλούς σκοπούς και αξιοποιεί ποικίλες μεθόδους.
- Οι επιστήμονες διαμορφώνουν ερμηνείες μέσω διερεύνησης των αποδείξεων που διαθέτουν και προτείνουν εναλλακτικές ερμηνείες.
- Η δημιουργικότητα εντοπίζεται σε όλες τις εκφάνσεις της επιστημονικής προσέγγισης
- Οι επιστήμονες κοινοποιούν τα αποτελέσματα της δουλειάς τους.

Με βάση τα παραπάνω σημεία της επιστημονικής μεθόδου η διδασκαλία που βασίζεται στην διερεύνηση ξεκινά είτε με κάποια ερωτήματα, είτε με κάποιες παρατηρήσεις είτε με την περιγραφή ή παρουσίαση μιας συγκεκριμένης κατάστασης. Οι φάσεις της μεθόδου μέσα από τις οποίες θα πρέπει ιδανικά να περάσουν οι μαθητές είναι οι ακόλουθες (Inter-American Network of Academies of Sciences [IANAS], 2017):

- διατύπωση μιας υπόθεσης
- επινόηση ερωτημάτων από τους μαθητές
- συγκέντρωση αποδεικτικών στοιχείων ώστε να δοθούν από τους ίδιους τους μαθητές απαντήσεις στα ερωτήματά τους
- ερμηνεία των αποδεικτικών στοιχείων
- σύνδεση αυτής της ερμηνείας με τη γνώση που αποκτήθηκε μέσω της ανακαλυπτικής μαθησιακής διαδικασίας
- διαμόρφωση επιχειρημάτων και αιτιολόγησης για την παραπάνω ερμηνεία και επανάληψη του κύκλου.

Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δίνεται κατά τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών μέσω διερεύνησης ώστε ο μαθητής να έχει αρκετό χρόνο για να μπορέσει να «παιδευτεί» με τα δεδομένα και να ερμηνεύσει τις παρατηρήσεις του βάσει λογικής και αιτιολόγησης. Κάτω από αυτό το πρίσμα γίνεται αντιληπτή η κρισιμότητα των τρόπων με τον οποίο ο

διδάσκοντας υποστηρίζει την αξιοποίηση των επιστημονικών δεδομένων ως αποδεικτικά στοιχεία.

Σημειώνεται τέλος ότι στην ανακαλυπτική μάθηση των Φυσικών Επιστημών η πορεία δεν είναι πάντοτε γραμμική καθώς η δομή που ακολουθείται συνήθως δε δύναται να είναι αυστηρά δομημένη και η διατύπωση μιας υπόθεσης απαιτεί κάποια προεργασία (IANAS, 2017).

2.3 Πρότερες αντιλήψεις σε σχέση με τις Φυσικές Επιστήμες

Ιδιαίτερα σε σχέση με τις Φυσικές Επιστήμες, τα παιδιά εισάγονται στο πεδίο της επιστημονικής γνώσης έχοντας ήδη διαμορφώσει ένα προσωπικό σύστημα αντιλήψεων για το πώς λειτουργεί ο φυσικός κόσμος, με βάση τις προσωπικές τους εμπειρίες και την αλληλεπίδρασή τους με το φυσικό περιβάλλον (Hestenes & Wells, 1992). Αυτές οι «εναλλακτικές» ή «προϋπάρχουσες» ιδέες σχετικά με τα φυσικά φαινόμενα, τις οποίες αναπτύσσουν οι άνθρωποι από πολύ μικρές ηλικίες, έχει αποδειχθεί από πλήθος ερευνών τα τελευταία τριάντα χρόνια (Driver, Guesne & Tiberghien, 1985, Driver, Squires, Rushworth & Wood-Robinson, 1994, Pfundt & Duit, 2000) ότι πολύ συχνά, είναι σε διάσταση με την επιστημονική άποψη, και ότι αντιστέκονται σε μεγάλο βαθμό στην αλλαγή, ακόμα και μετά από χρόνια μόρφωσης στις Φυσικές Επιστήμες (Viennot, 1979, Halloun & Hestenes, 1985, Αλιμήσης, 1993, Κόκκοτας, 2002).

Ένας τεράστιος όγκος μελετών που τεκμηριώνουν συγκεκριμένες προϋπάρχουσες αντιλήψεις στο πεδίο των Φυσικών Επιστημών είναι σήμερα διαθέσιμος. Ειδικότερα για τις έννοιες της δύναμης και της κίνησης, που βρίσκονται στο κέντρο της Νευτώνειας μηχανικής θεωρείται, εδώ και χρόνια, κοινώς παραδεκτό (Halloun & Hestenes, 1985, 1992) ότι, αφενός, οι σχετικές προϋπάρχουσες αντιλήψεις είναι σε μεγάλη ασυμφωνία με την επιστημονική γνώση και αφετέρου, οι παραδοσιακές διδακτικές προσεγγίσεις δεν είναι επαρκείς να επιφέρουν σημαντική αναδόμηση αυτών των αντιλήψεων. Με βάση πλήθος ερευνών (Pope & Gilbert, 1983, Halloun & Hestenes, 1992, Hestenes & Wells, 1992) αποδεικνύεται ότι η παραδοσιακή διδασκαλία, με το διδάσκοντα να περιγράφει τα φαινόμενα και να επεξηγεί τις έννοιες, δεν δύναται να επιφέρει μια τέτοια αλλαγή. Το πρόβλημα φάνηκε ότι δεν είναι τόσο η κατανόηση της νέας έννοιας όσο η «απροθυμία» να απορρίψουν τα παιδιά την αρχική, διαισθητική τους γνώση. Συνήθως, οι μαθητές προσλαμβάνουν μεν τις νέες έννοιες αλλά τις μπερδεύουν με τις πρότερες με τρόπο ώστε αυτές να συνυπάρχουν (Λουκά, Καραγεώργος, Πατάπης, Κυνηγός, 2003). Με βάση τις σύγχρονες εποικοδομητικές θεωρίες μάθησης, η σημασία των πρότερων ιδεών

είναι πολύ σπουδαία στις περαιτέρω μαθησιακές δραστηριότητες, διότι ο τρόπος με τον οποίο οι μαθητές παρατηρούν και ερμηνεύουν τα διάφορα γεγονότα και φαινόμενα, επικοινωνούν ή δέχονται τις νέες πληροφορίες, έχει σχέση με τις ιδέες αυτές (Viennot, 1977, Driver & Easley, 1978).

2.4 Παιγνιοποίηση της επικοινωνίας για μαθησιακούς σκοπούς

Παιγνιοποίηση είναι η ενσωμάτωση παιγνιωδών συλλογισμών και μηχανισμών παιγνίων σε μη παιγνιώδη πλαίσια, με στόχο την εμπλοκή των χρηστών για την επίλυση προβλημάτων, την βελτίωση της εμπειρίας χρήστη καθώς και για την προώθηση επιθυμητών συμπεριφορών (Deterding κ.ά., 2011, Huotari & Hamari, 2012). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή παιγνιωδών στοιχείων ώστε να κινητοποιηθούν οι εκπαιδευόμενοι για το περιεχόμενο, χωρίς ωστόσο αλλαγές στο ίδιο το περιεχόμενο. Έτσι, δε γίνεται το περιεχόμενο παιχνίδι αλλά η δομή γύρω από το περιεχόμενο. Τέτοιοι τύποι ανταμοιβής είναι οι πόντοι (points), τα διακριτικά (badges) οι πίνακες σκορ (leaderboard), ή μπάρα προόδου (progress bar), το ξεκλείδωμα περιεχομένου ή ανώτερων επιπέδων στο παιχνίδι, το εικονικό χρήμα. Ενώ τα ψηφιακά παιχνίδια υλοποιούν τεχνικές για να κινητοποιήσουν το χρήστη, να τον προκαλέσουν και να κρατήσουν το ενδιαφέρον του, στις προσεγγίσεις παιγνιοποίησης αυτά τα στοιχεία δεν αποτελούν την καρδιά του συστήματος αλλά έχουν ως στόχο να κινητοποιήσουν το χρήστη να χρησιμοποιήσει το σύστημα αυτό (Raymer, 2011). Ήδη από τη δεκαετία του '80 οι ερευνητές μελετούσαν τα οφέλη της αξιοποίησης παιγνιωδών και της μάθησης με βάση το ψηφιακό παιχνίδι στην εκπαίδευση (Malone & Lepper, 1987).

Καθώς το σύγχρονο σχολείο αποτελεί γενικά ένα εγγενώς μη παιγνιώδες πλαίσιο, η παιγνιοποίηση χρησιμοποιείται συχνά ως τεχνική για να κινητοποιηθούν και να εμπλακούν οι μαθητές στη μαθησιακή διαδικασία (Borges κ.ά., 2014). Η παιγνιοποίηση στην εκπαίδευση συζητείται κυρίως σε σχέση με την ενίσχυση της εμπλοκής των μαθητών (Hamari et al. (2014). Αυτή η ενισχυμένη εμπλοκή δύναται τελικά να επιφέρει και αύξηση της γνώσης που προσλαμβάνουν οι μαθητές σε σχέση με το διδακτικό αντικείμενο (Borges κ.ά., 2014). Σύμφωνα με τη σχετική βιβλιογραφία (Borys & Laskowski, 2013) παραδείγματα επιθυμητών συμπεριφορών των μαθητών που μπορεί να επιφέρει η παιγνιοποίηση σε εκπαιδευτικά πλαίσια αποτελούν το ενδιαφέρον για την παρακολούθηση των μαθημάτων, η εστίαση της προσοχής στη μαθησιακή διαδικασία, καθώς και η ανάληψη πρωτοβουλιών.

Ένα στοιχείο που είναι σημαντικό κατά τη διαδικασία παιγνιοποίησης της προτεινόμενης εμπειρίας ΕΠ είναι η έννοια της Ροής (flow). Πρόκειται για μια έννοια που βρίσκεται στην καρδιά σχεδιασμού των σύγχρονων ψηφιακών παιχνιδιών και πηγάζει από την έρευνα του Mihaly Csikszentmihalyi, καθηγητή Ψυχολογίας γνωστού για τις μελέτες του σχετικά με την ευτυχία και τη δημιουργικότητα. Η έννοια εισήχθη το 1975 και περιγράφεται από τον Csikszentmihalyi ως *το ευχάριστο και αναζωογονητικό συναίσθημα που επιφέρει ένα δημιουργικό επίτευγμα και μια οξυμμένη λειτουργία*. Το να κατακτηθεί η κατάσταση αυτή σημαίνει για τα ψηφιακά παιχνίδια ότι ο παίκτης βρίσκεται μεταξύ αγωνίας και πλήξης καθώς συναντά το προσωπικό του επίπεδο κινητοποίησης μέσα σε αυτή την εμπειρία. Οι Zichermann και Cunningham (2011) υποστηρίζουν ότι ο καθένας από εμάς έχει βρεθεί σε αυτή την κατάσταση όπου χάνεται η αίσθηση του χώρου και του χρόνου: ένας μουσικός παίζοντας το σαξόφωνό του, ή ένας δρομέας που προπονείται για ένα αγώνα ή μια συγγραφέας κατά τη διάρκεια της γραφής, κάποιος που μιλά στο τηλέφωνο ή καθαρίζει το σπίτι, όλοι ξεχνούν τον εξωτερικό κόσμο για λίγο. Τα τελευταία χρόνια η έννοια της Ροής έχει αποτελέσει βασικό στοιχείο της παιγνιοποίησης και οι σχεδιαστές παιχνιδιών αναζητούν τρόπους να κρατούν τον παίκτη μέσα στο παιχνίδι σε κατάσταση ροής. Για να επιτευχθεί αυτή η κατάσταση είναι σημαντικό οι δεξιότητες του χρήστη μέσα στη δοκιμασία δεν θα πρέπει ούτε να υπολείπονται ούτε και να υπερβαίνουν κατά πολύ το απαιτούμενο επίπεδο δεξιοτήτων καθώς στην πρώτη περίπτωση ο παίκτης θα βιώσει άγχος ενώ στη δεύτερη θα βιώσει πλήξη.

Μια επιπλέον σημαντική πλευρά που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την παιγνιοποίηση μιας δραστηριότητας είναι η κατηγοριοποίηση των παικτών σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο που αντιδρούν μέσα σε ένα παιγνιώδες περιβάλλον (Zichermann και Cunningham, 2011). Αυτοί οι τύποι παικτών είναι :

- οι παίκτες που θέλουν να πετυχαίνουν (achievers): Βλέπουν τη δοκιμασία ως πρόκληση που πρέπει να κατακτήσουν.
- οι εξερευνητές (explorers): Αυτοί οι οποίοι ενδιαφέρονται να βιώνουν όλες τις πλευρές της εμπειρίας και θέλουν να ανακαλύψουν κάθε κρυμμένο μυστικό αυτής.
- οι παίκτες που αρέσκονται να κοινωνικοποιούνται (socializers): Αυτοί οι οποίοι που αντιλαμβάνονται το παιχνίδι και το στόχο του ως καταλύτη για κοινωνική αλληλεπίδραση.

- οι Δολοφόνοι (killers): οι παίκτες που αντλούν ικανοποίηση από την ήττα των άλλων παικτών. Βεβαίως ένας παίκτης συνήθως εμφανίζει χαρακτηριστικά που ανήκουν σε περισσότερους του ενός ή και σε όλους του τύπους παικτών.

Οποιαδήποτε διαδικασία είναι μαθησιακού περιεχομένου, τα αποτελέσματα των ενεργειών των παικτών μπορούν να μετρηθούν και είναι δυνατόν μια ανατροφοδότηση να δοθεί στον παίκτη σε πραγματικό χρόνο είναι δυνατό να παιγνιοποιηθεί (Cook, 2013). Η παιγνιοποίηση δύναται να προσθέσει επίσης τόσο στοιχεία ανταμοιβής όσο και στοιχεία ανταγωνισμού στη μαθησιακή διαδικασία (Huotari & Hamari, 2012). Οι ερευνητές προτείνουν γενικά την οργάνωση των παιγνιοποιημένων δραστηριοτήτων λαμβάνοντας υπόψη τα παρακάτω σημεία (Borges κ.ά., 2014):

- να επιτρέπεται η επανάληψη του πειραματισμού προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος
- να περιλαμβάνονται βρόχοι άμεσης ανατροφοδότησης που βοηθούν τους μαθητούμενους να βελτιώνουν την τεχνική τους και να έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα επιτυχίας στην επόμενη προσπάθεια.
- να προσαρμόζονται οι δοκιμασίες στις δυνατότητες των μαθητών καθώς όπως είδαμε και νωρίτερα η προσαρμογή των στόχων μέσα στη δοκιμασία ανάλογα με τις δυνατότητες των παικτών αυξάνει την κινητοποίησή τους.
- να υπάρχει κλιμάκωση της δυσκολίας των δοκιμασιών καθώς οι μαθητές βελτιώνονται αφού το στοιχείο αυτό φαίνεται να βελτιώνει τις προσδοκίες του μαθητή για επιτυχημένη εκπλήρωση των δοκιμασιών.
- να διαιρούνται οι σύνθετες δοκιμασίες σε πιο σύντομες και απλές υπό-δοκιμασίες
- να παρέχονται κατά το δυνατό διαφορετικές διαδρομές επιτυχίας.
- να ενσωματώνονται ανταμοιβές δράσεις αναγνώρισης της προσπάθειας των μαθητών από δασκάλους και γονείς, γεγονός που προωθεί την κοινωνική αναγνώριση των μαθητών.

Κεφάλαιο 3

Τεχνολογικό Πλαίσιο

Το παρόν κεφάλαιο παρουσιάζει τις τεχνολογίες που επιλέχθηκαν και αναλύει τις δυνατότητες τους αναφορικά με τους στόχους της παρούσας έρευνας. Αρχικά, συζητείται η δυνατότητα πλαισιωμένης μάθησης με χρήση κινητών συσκευών. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας. Ακολούθως επιχειρείται, με βάση τη βιβλιογραφία, η καταγραφή της τρέχουσας στάθμης της έρευνας σε σχέση με την αξιοποίηση περιβαλλόντων επαυξημένης πραγματικότητας για μαθησιακούς σκοπούς. Επιπλέον, περιγράφονται οι δυνατότητες της εν λόγω τεχνολογίας, οι οποίες την καθιστούν εν δυνάμει κατάλληλη για την ανάπτυξη μαθησιακών εμπειριών, με σκοπό να βελτιώσουν την κατανόηση και την αισθητοποίηση εννοιών και φαινομένων από το πεδίο των Φυσικών Επιστημών. Συγχρόνως, αναδεικνύονται τα κυρίαρχα χαρακτηριστικά της αναφορικά με την αξιοποίησή της στη διδασκαλία της Φυσικής αλλά και οι περιορισμοί και οι προκλήσεις που φαίνεται να εισάγει αυτή στις σύγχρονες σχολικές συνθήκες μάθησης.

Ορισμένα από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο έχουν δημοσιευθεί στο άρθρο (Τομαρά & Γκούσκος, 2014).

3.1 Πλαισιωμένη μάθηση με χρήση κινητών συσκευών

Καθώς η εκπαίδευση αναζητά και εφευρίσκει νέους τρόπους να αξιοποιήσει τις νέες Τεχνολογίες της Πληροφορίας και Επικοινωνίας (ΤΠΕ) στα εκπαιδευτικά προγράμματα, η ίδια αυτή η τεχνολογία εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς. Με την διάδοση των έξυπνων τηλεφώνων (smartphones) και της τεχνολογίας γεωγραφικού εντοπισμού (GPS), ο άνθρωπος βιώνει μια θεμελιώδη μετατόπιση στον τρόπο που αντιλαμβάνεται τον φυσικό χώρο. Δεν είναι πλέον ανεξάρτητος από τον ψηφιακό, διαδικτυακό χώρο. Το διαδίκτυο είναι γύρω μας παντού, δεν εισερχόμαστε πλέον σε αυτό αλλά το κουβαλούμε μαζί μας, είναι ενσωματωμένο σε κάθε είδους αισθητήρα και συσκευή συνδεδεμένη στο διαδίκτυο. Κινητές συσκευές, δέκτες GPS και ετικέτες RFID είναι μόνο μερικά τέτοια παραδείγματα. Η φυσική μας θέση καθορίζει πλέον το είδος της πληροφορίας που ανακτούμε διαδικτυακά και τους ανθρώπους και τα πράγματα που βρίσκουμε γύρω μας. Πλέον, είμαστε περισσότερο ενήμεροι για την θέση μας επειδή συνδεόμαστε με νέους τρόπους μέσα από τις διαθέσιμες τεχνολογίες με τους ανθρώπους και τα μέρη στην

θέση αυτή. Και το να γνωρίζουμε την θέση μας σημαίνει να είμαστε ενήμεροι για την πληροφορία που μπορεί να συνοδεύει αυτή την θέση (De Souza e Silva & Gordon, 2011).

Επιπρόσθετα, η σύγχρονη γενιά των έξυπνων τηλεφώνων (smartphones) παρέχει προηγμένες λειτουργίες που σχετίζονται με την επίγνωση περιβάλλοντος (location awareness) επικοινωνία ένας-προς-ένα μεταξύ συσκευών, διαδικτυακή σύνδεση πάντα και παντού, οθόνες αφής, δυνατότητες καταγραφής δεδομένων, δυνατότητες επεξεργασίας εικόνας. Με όλες τις παραπάνω δυνατότητες οι έξυπνες συσκευές μπορούν να επεκτείνουν σημαντικά τα πλαίσια μέσα στα οποία συντελείται η μάθηση και να επιτρέψουν την δημιουργία καινοτόμων εποικοδομιστικών μαθησιακών εμπειριών (Brown, 2010).

Από την άλλη μεριά, η πλαισιωμένη μάθηση, σύμφωνα με την οποία η μεταβίβαση της γνώσης γίνεται μέσα στο περιβάλλον στο οποίο αυτή η γνώση θα χρησιμοποιηθεί, ανέκαθεν αναγνωρίζονταν ως ανεκτίμητη μέθοδος διδασκαλίας (Brown, Collin & Duguit, 1989). Ως πλαίσιο μπορούμε να ορίσουμε το επίσημο ή το ανεπίσημο περιβάλλον μέσα στο οποίο λαμβάνει χώρα μια κατάσταση. Μπορεί να περιλαμβάνει πολλές θεωρήσεις και διαστάσεις, όπως την τοποθεσία, τον χρόνο, την προσωπική και κοινωνική δραστηριότητα, πόρους αλλά και στόχους και δομές εργασιών ατόμων ή και ομάδων (Brown κ.ά., 1989). Το «πλαίσιο» μπορεί να δημιουργηθεί μέσω της αλληλεπίδρασης με ανθρώπους, αντικείμενα ή θέσεις του πραγματικού κόσμου. Παράλληλα, η φύση της μάθησης επαυξάνεται και επιταχύνεται από τα νέα ψηφιακά μέσα και εργαλεία (Pachler κ.ά., 2010). Η δυνατότητα να φέρει κανείς μια φορητή συσκευή σε ένα οποιοδήποτε περιβάλλον καταδεικνύει την χρησιμότητα της για την διδασκαλία μαθησιακών αντικειμένων μέσα σε ένα αυθεντικό πλαίσιο. Το πλαίσιο μέσα στο οποίο συντελείται η κινητή μάθηση μπορεί να θεωρηθεί και ως μια αλληλεπιδραστική διαπραγμάτευση μεταξύ του μαθητευόμενου και του περιβάλλοντος. Στην περίπτωση που η μάθηση γίνεται κινητή, τότε η τοποθεσία γίνεται ένα σημαντικό πλαίσιο, τόσο σε σχέση με την φυσική θέση του μαθητή αλλά και με τις δυνατότητες που παρέχονται ώστε η ίδια η μάθηση να γίνει χωροευαίσθητη, δηλαδή να διαμορφώνεται και να τροποποιείται ανάλογα με το πλαίσιο μέσα στο οποίο συντελείται. Αυτό καθιστά σημαντικές και άλλες διαστάσεις του μαθησιακού πλαισίου, όπως τις εργασίες και τους στόχους του μαθητή. Οι σύγχρονες φορητές συσκευές, με το λογισμικό που διαθέτουν και τις υπηρεσίες που υποστηρίζουν, επιτρέπουν την σχεδίαση τέτοιων διδακτικών εμπειριών και τον εμπλουτισμό τους με μαθησιακό περιεχόμενο σχετικό με το περιβάλλον (context

relevant), το οποίο υπερτίθεται στην αντίληψη που έχει ο μαθητής για το περιβάλλον (επαυξημένη πραγματικότητα). Με την χρήση των έξυπνων κινητών συσκευών κάτι τέτοιο γίνεται σήμερα εφικτό και συγχρόνως επιτρέπει να υποστηρίξουμε την συνεργατική μάθηση με την βοήθεια της κινητής επικοινωνίας. Αυτή η προσέγγιση δύναται να μετατρέψει το πλούσιο μαθησιακό περιεχόμενο σε πλούσιο μαθησιακό περιβάλλον (Benford κ.ά., 2004). Επιπλέον, η μάθηση μέσω κινητών προσελκύει το ενδιαφέρον των μαθητών παρέχοντας έτσι ένα ελκυστικότερο περιβάλλον μάθησης (Nix, 2005). Εξάλλου, οι ερευνητές (Hevner κ.ά., 2004) υποστηρίζουν ότι πρόοδος σημειώνεται όταν πιο λειτουργικές τεχνολογίες αντικαθιστούν τις ήδη υπάρχουσες αναφορικά με τα μαθησιακά μέσα. Παράλληλα, πρόσφατες έρευνες συσχετίζουν την αποτελεσματικότητα της μάθησης με την αξιοποίηση της τεχνολογίας οθονών αφής (Peluso, 2012). Ειδικότερα δε οι Φυσικές Επιστήμες δεν συναντώνται μόνο μέσα στα σχολικά βιβλία (Bentley & Watts, 1992). Αντίθετα, βρίσκονται σε κάθε δραστηριότητα της καθημερινής μας ζωής, από το βάδισμά μας, την κίνηση της μπάλας που κλοτσάει ένα παιδί, το μάλλινο πουλόβερ που ανασηκώνει τα μαλλιά του. Συνεπώς, είναι προφανές ότι η διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών μπορεί να γίνει πιο αποτελεσματική αν καταφέρει να κάνει τους μαθητές να «δουν» τον κόσμο με διαφορετική ματιά μέσα από το πρίσμα όσων τους διδάσκει. Ο Nyíri (2002) τονίζει ιδιαίτερα τη σημασία της εικόνας ως μέσο για την επικοινωνία εννοιών στις Φυσικές Επιστήμες αφού πολλές φορές οι έννοιες αυτές είναι αφηρημένες και περιγράφονται από νόμους που μόνο περιγραφικά μπορούν να δοθούν στους μαθητές. Έτσι, η δυνατότητα καταγραφής εικόνας μέσω κινητών συσκευών φαίνεται να διαθέτει μια σημαντική δυναμική αναφορικά με τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών.

Παράλληλα, δεδομένου ότι η διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών λαμβάνει χώρα σε ένα “περιβάλλον διδασκαλίας και μάθησης” (Κοσσυβάκη, 2005) γίνεται αντιληπτή η σημασία της οργάνωσης ενός κατάλληλου τέτοιου μαθησιακού περιβάλλοντος μέσα στο οποίο θα υπάρχουν οι προϋποθέσεις εμπιστοσύνης, συνεργασίας και δημιουργικότητας που θα βοηθήσουν τους μαθητές να διερευνήσουν και να κατανοήσουν πώς λειτουργεί ο φυσικός κόσμος. Σχετική έρευνα τεκμηριώνει ότι όταν οι μαθητές εμπλέκονται σε δραστηριότητες και συζητήσεις που αξιοποιούν κινητές συσκευές οι ίδιοι χαρακτηρίζουν τη διαδικασία ως πιο διασκεδαστική σε σχέση με ένα τυπικό μάθημα σε μορφή διάλεξης (Morrone κ.ά., 2012). Επιπλέον προκύπτει ότι οι κινητές συσκευές έχουν τη δυναμική να φέρουν κοντά τον διδάσκοντα με τους μαθητές, να εγείρουν πιο ενεργές και ουσιαστικές δραστηριότητες και συζητήσεις μεταξύ διδάσκοντα-μαθητών, αλλά και μεταξύ μαθητών

(Morrone κ.ά., 2012) και να βελτιώσουν τις συνθήκες μάθησης δημιουργώντας κατάλληλες συνθήκες αλληλεπίδρασης και συνεργασίας (Huang κ.ά., 2010). Κάτω από αυτό το πρίσμα, γίνονται περισσότερο αντιληπτές οι προοπτικές για μάθηση με χρήση κινητών συσκευών μέσα στο σχολικό περιβάλλον, ιδιαίτερα για την διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, όπου διαφαίνεται μια νέα δυναμική για επί τόπου μάθηση και διερεύνηση.

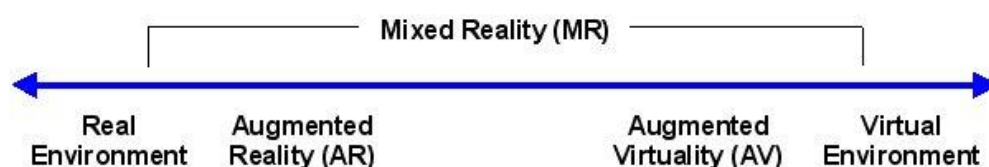
3.2 Τεχνολογικά μέσα Επαυξημένης Πραγματικότητας

Η επαυξημένη πραγματικότητα είναι μια τεχνολογία με βάση την οποία κάποια ιδεατή πληροφορία υπερτίθεται στον πραγματικό κόσμο ώστε να παραχθεί μία εμπλουτισμένη, επαυξημένη (augmented) πραγματικότητα (Azuma, 1997).

Για την ακρίβεια, η ΕΠ συνίσταται στην υπέρθεση της ψηφιακής πληροφορίας (π.χ. κείμενο και γραφικά) πάνω στα στοιχεία του πραγματικού κόσμου κατά τέτοιο τρόπο ώστε η ψηφιακή πληροφορία να συνοδεύει τα φυσικά αντικείμενα ακόμη και όταν αυτά κινούνται (Koleva, Benford & Greenhalgh, 1999) και εμφανίζει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- συνδυάζει πραγματικά αντικείμενα με εικονικά, σε ένα πραγματικό περιβάλλον
- λειτουργεί σε πραγματικό χώρο τριών διαστάσεων
- λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο

Με βάση τα παραπάνω και σε σχέση με το διάγραμμα του Milgram (Milgram & Kishino, 1994), το οποίο καθορίζει τη Συνέχεια Εικονικότητας-Πραγματικότητας (Virtuality-Reality Continuum), η Επαυξημένη Πραγματικότητα μπορεί να θεωρηθεί ότι βρίσκεται μεταξύ του Πραγματικού Περιβάλλοντος και του Εικονικού Περιβάλλοντος (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1: Η Συνέχεια Πραγματικότητας – Εικονικότητας (Virtuality-Reality Continuum), (Milgram & Kishino, 1994).

Όπως προκύπτει από το διάγραμμα του Milgram, η ΕΠ βρίσκεται στην περιοχή της Μικτής Πραγματικότητας, εγγύτερα στα Πραγματικά Περιβάλλοντα, σε σχέση με την Επαυξημένη Εικονικότητα, όπου περιεχόμενο του πραγματικού κόσμου υπερτίθενται σε ένα Εικονικό Περιβάλλον.

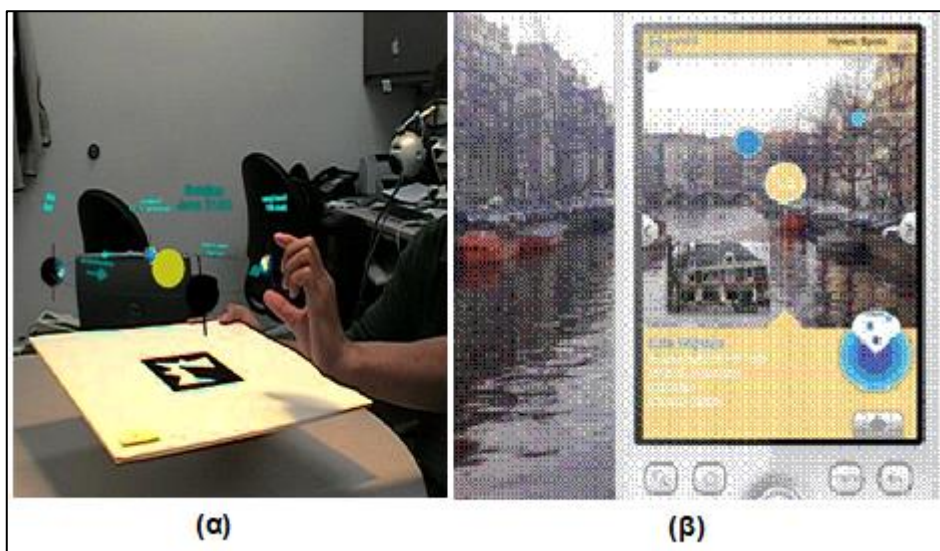
Σε αντίθεση με την εικονική πραγματικότητα, όπου επιδιώκεται η εμπύθιση του χρήστη σε ένα εντελώς εικονικό περιβάλλον, στην Επαυξημένη Πραγματικότητα ο πραγματικός κόσμος είναι η βάση στην οποία προστίθεται πληροφορία. Ο όρος «πραγματικότητα» εξ' ορισμού, σημαίνει την κατάσταση ή την ιδιότητα του να είσαι αληθινός ή να υπάρχουν στην πραγματικότητα. Υπό αυτή την έννοια, με την επαυξημένη πραγματικότητα εμπλουτίζεται η αντίληψη των αντικειμένων τα οποία είναι υπαρκτά και βρίσκονται στο παρόν.

Στη πράξη, η επαύξηση τυπικά παίρνει τη μορφή γραφικών, σχηματικών διαγραμμάτων, περίπλοκων 2Δ ή 3Δ γραφικών ή κειμένων τα οποία εμπλουτίζουν ένα πραγματικό περιβάλλον. Προκειμένου να γίνει αντιληπτή αυτή η επαύξηση απαιτείται η χρήση μιας κατάλληλης διεπαφής. Τέτοιου τύπου οπτικές διεπαφές αποτέλεσαν αρχικά οι οπτικές συσκευές απεικόνισης και οι βιντεοσυσκευές, συσκευές δύσκολες στην κατασκευή και τον χειρισμό τους, οι οποίες λόγω πολυπλοκότητας και κόστους κατασκευής δεν ήταν δυνατό να αποτελέσουν εμπορικά προϊόντα (εικόνα 3.2.α). Σήμερα, οι εμπορικά διαθέσιμες έξυπνες φορητές συσκευές διαθέτουν την απαιτούμενη τεχνολογία και μπορούν, πλέον, να χρησιμοποιηθούν ως οικονομικά προσιτές, αυτόνομες πλατφόρμες χειρός επαυξημένης πραγματικότητας, εύκολα μεταφέρσιμες και διαχειρήσιμες.

Θεωρητικά, δεν υπάρχουν περιορισμοί ως προς ποιο αισθητήριο σύστημα του ανθρώπινου σώματος μπορεί να επωφεληθεί από εμπλουτισμένα σήματα εισόδου.

Ο πίνακας 3.1 (Barfield & Furness, 1995) δείχνει κάποια παραδείγματα επαύξησης που μπορούν να υπάρξουν για κάθε μία από τις πέντε βασικές αισθήσεις.

Παρ' όλες τις εφαρμογές της επαυξημένης πραγματικότητας που μπορούν να υπάρξουν, η επαύξηση μέχρι στιγμής χρησιμοποιείται περισσότερο για να εισάγει επιπρόσθετες πληροφορίες στο οπτικό περιβάλλον του χρήστη παρά για να βελτιώσει τις δυνατότητες κάποιου άλλου αισθητήριου συστήματος του χρήστη (Αναστασάκη & Πρεβεζάνου, 2008).



Εικόνα 3.2: Διεπαφές χρήστη για εμπειρίες επαυξημένης πραγματικότητας. α) http://www.researchgate.net/publication/4352441_Augmented_Reality_Interactive_Storytelling_Systems_Using_Tangible_Cubes_for_Edutainment (Shelton & Hedley, 2002). **β)** χρήση έξυπνων κινητών συσκευών για τον ίδιο σκοπό (πηγή: <http://www.sprxmobile.com/>)

Πίνακας 3.1: Πιθανές μορφές επαύξησης για κάθε μία από τις 5 βασικές αισθήσεις (Barfield & Furness, 1995).

Αίσθηση	Τύπος της Επαύξησης	Πιθανά Παραδείγματα
Όραση	Κείμενο, σχήματα, απλά γραφικά, πολύπλοκα γραφικά, εικόνες, κινούμενα σχέδια, βίντεο.	Κείμενο με σχολιασμό, ηλεκτρονικό σχέδιο (wiring diagrams), βελάκια πλοήγησης (navigation arrows). Είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος επαύξησης.
Ακοή	Απλά μπιπς, σήματα, μουσική, ειπωμένες λέξεις, διάλογος.	Οι ήχοι ενός εργοστασίου μπορούν προσομοιωθούν για την εκπαίδευση ενός εργάτη σε έναν απομονωμένο εργασιακό τομέα.
Αφή	Απλά αντικείμενα, πολύπλοκα αντικείμενα, εργαλεία.	Οι θερμοκρασίες μπορούν να προσαρμοστούν έτσι ώστε να μπορέσουν να προσομοιωθούν πραγματικές περιβαλλοντικές συνθήκες.
Όσφρηση	Απλή, σύνθετη.	Κάποια δηλητηριώδη αέρια είναι αναμιγμένα με γνώριμες μυρωδιές. Μία μυρωδιά-δείγμα μπορεί να βοηθήσει στην αναγνώριση δηλητηριωδών αερίων.
Γεύση	Γλυκό, ξινό, πικρό.	Αρχάριοι μάγειρες μπορούν να δοκιμάσουν τεχνητές γεύσεις.

Ήδη, η τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας έχει αξιοποιηθεί σε διάφορους τομείς τόσο για ερευνητικούς όσο και για εμπορικούς σκοπούς, με κυριάρχους τομείς τον

στρατό και την ιατρική αρχικά και, μεταγενέστερα, τον κατασκευαστικό τομέα, την διαφήμιση και την εκπαίδευση. Η ακριβής ποσότητα της έρευνας που έχει διεξαχθεί και ο τύπος του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας που χρησιμοποιείται, ποικίλει σε μεγάλο βαθμό από εφαρμογή σε εφαρμογή.

3.3 Διδακτικές προσεγγίσεις που αξιοποιούν την τεχνολογία ΕΠ για μαθησιακούς σκοπούς στις Φυσικές Επιστήμες

Σήμερα, η πρακτική που σχετίζεται με την μάθηση μέσω κινητών συσκευών (mobile learning) κινείται ολοένα και περισσότερο προς συστήματα Επαυξημένης Πραγματικότητας (Wu κ.ά., 2013).

Ως γνωστικό εργαλείο και ταυτόχρονα παιδαγωγική προσέγγιση, η επαυξημένη πραγματικότητα ευθυγραμμίζεται κυρίως με τις αρχές της πλαισιωμένης μάθησης και την εποικοδομητική θεωρία, καθώς θέτει το μαθητή μέσα σε ένα φυσικό κοινωνικό πλαίσιο του πραγματικού κόσμου, ενώ ταυτόχρονα καθοδηγεί, χτίζει και διευκολύνει συμμετοχικές και μεταγνωστικές μαθησιακές διαδικασίες, όπως η αυθεντική έρευνα, η ενεργή παρατήρηση και η αλληλοδιδασκαλία, μέσα από δυνατότητες πολλαπλής αναπαράστασης του περιεχομένου (Dunleavy & Simmons, 2014). Η τεχνολογία της επαυξημένης πραγματικότητας επιτρέπει την υπέρθεση εικονικών, συνθετικών αντικείμενων 3D πάνω στον πραγματικό κόσμο, προκειμένου να επαυξηθεί η οπτική αντίληψη ενός συστήματος ή ενός περιβάλλοντος. Πλήθος μελετών αναδεικνύουν τις αξίες της τεχνολογίας ΕΠ για εκπαιδευτικούς σκοπούς και υποστηρίζουν ότι η εν λόγω τεχνολογία μπορεί να αξιοποιηθεί κατάλληλα ώστε να παρέχει μαθησιακά πλαίσια τριών διαστάσεων, συνεργατικής και πλαισιωμένης μάθησης τα οποία θα επιτρέπουν την αισθητοποίηση του αόρατου και θα ενισχύουν την εμπειρία της αμεσότητας, της συμμετοχής και της εμπύθισης του μαθητή.

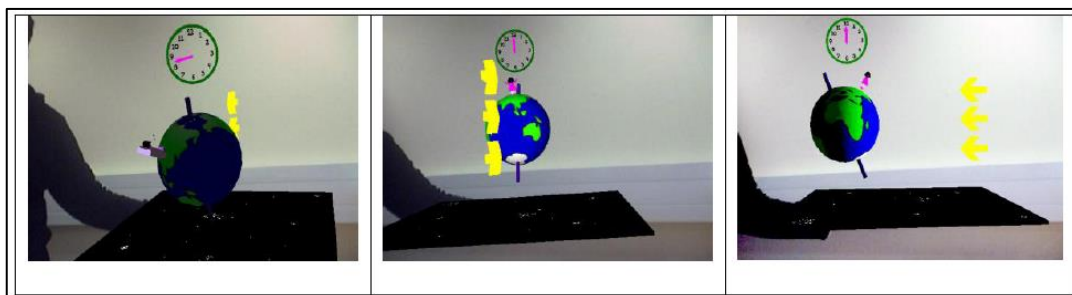
Αυτή τη στιγμή, υπάρχουν δύο τύποι ΕΠ διαθέσιμοι για μαθησιακούς σκοπούς: Ο χωρο-ευαίσθητος (location-aware) και ο οπτικός (vision-based). Ο πρώτος τύπος παρέχει στους μαθητές ψηφιακά δεδομένα καθώς αυτοί περιηγούνται σε έναν φυσικό χώρο εξοπλισμένοι με κάποια έξυπνη κινητή συσκευή που διαθέτει GPS. Τα ψηφιακά μέσα (κείμενο, γραφικά, ήχος, εικόνα, μοντέλα 2D ή 3D) επαυξάνουν το φυσικό περιβάλλον με αφήγηση, πλοήγηση ή/και ακαδημαϊκές πληροφορίες σχετικές με το συγκεκριμένο τόπο. Αντίθετα, ο δεύτερος τύπος ΕΠ παρέχει στους μαθητές ψηφιακά μέσα αφότου αυτοί στρέψουν την κάμερα της κινητής συσκευής τους σε ένα καθορισμένο αντικείμενο (Dunleavy & Simmons, 2014).

Ήδη, αρκετά εκπαιδευτικά ερευνητικά κέντρα καθώς και διακεκριμένες ερευνητικές ομάδες έχουν αφιερώσει πόρους και ανθρώπινο δυναμικό για την αξιοποίηση των δυνατοτήτων που εισάγει η νέα τεχνολογία της ΕΠ για εκπαιδευτικούς σκοπούς (Dunleavy & Simmons, 2014) και ένας σημαντικός αριθμός ερευνών έχουν αναδείξει αξίες που απορρέουν από την αξιοποίησή της (Dunleavy, Dede & Mitchell, 2009). Μελέτες σύγχρονων ερευνών που αξιοποιούν την επαυξημένη πραγματικότητα για μαθησιακούς σκοπούς (Wu κ.ά., 2013) υποστηρίζουν ότι η επαυξημένη πραγματικότητα διαθέτει ένα πλήθος εγγενών ιδιοτήτων που την καθιστούν ιδιαίτερα δελεαστική για αξιοποίηση σε εκπαιδευτικά πλαίσια.

Το 2006, η ερευνητική ομάδα των Kerawalla, Luckin, Seljeflot και Woolard του πανεπιστημίου του Harvard (Kerawalla κ.ά., 2006) ανέπτυξαν μια σειρά δραστηριοτήτων με χρήση τεχνολογικών μέσων επαυξημένης πραγματικότητας, με στόχο την διδασκαλία της αλληλεπίδρασης Γης– Ηλίου και της εναλλαγής ημέρας- νύχτας. Η έρευνα επιχείρησε να συγκρίνει τις διδακτικές αυτές εμπειρίες με τις συμβατικές διδακτικές προσεγγίσεις των συγκεκριμένων γνωστικών αντικειμένων. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, οι διδάσκοντες ήταν ιδιαίτερα θετικοί σε σχέση με τα πιθανά οφέλη της αξιοποίησης ΕΠ για την διδασκαλία αντικειμένων όπως οι αλληλεπιδράσεις γης-ήλιου-σελήνης και ανέδειξαν ιδιαίτερα την δυνατότητα της ΕΠ να «ζωντανεύει» τέτοιου τύπου μαθησιακά αντικείμενα (Kerawalla κ.ά., 2006). Επιπρόσθετα, με βάση τα ευρήματα που προέκυψαν, διαμορφώθηκαν και προτάθηκαν σχεδιαστικές προδιαγραφές που μπορούν να λαμβάνονται υπόψη κατά την ανάπτυξη εμπειριών ΕΠ για μαθησιακούς σκοπούς μέσα σε ένα πλαίσιο διερευνητικής μάθησης: ευέλικτο περιεχόμενο, εύκολα προσαρμόσιμο στις ανάγκες των μαθητών, καθοδηγούμενη διερεύνηση που θα μεγιστοποιεί τις μαθησιακές δυνατότητες μέσα στον διατιθέμενο περιορισμένο χρόνο και ευθυγράμμιση των εμπειριών με τις απαιτήσεις του ιδρύματος αλλά και του προγράμματος σπουδών. Τέλος, η παραπάνω έρευνα υπογράμμισε τις αδυναμίες της αξιοποίησης ΕΠ σε μαθησιακά πλαίσια, ως αποτέλεσμα κυρίως τεχνολογικών περιορισμών και ανάγκης να καταστεί η συγκεκριμένη τεχνολογία περισσότερο ευέλικτη και ελεγχόμενη από τον διδάσκοντα.

Με ανάλογη λογική, στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος «Learning Physics through Play» (Enyedy, Danish, Delacruz & Kumar, 2012) αναπτύχθηκε μία σειρά δραστηριοτήτων ΕΠ οι οποίες ενέπλεκαν μαθητές 6-8 ετών σε επιστημονικές έρευνες με γνωστικό αντικείμενο τις Νευτώνειες δυνάμεις και τις κινήσεις των σωμάτων. Τα ευρήματα της έρευνας ανέδειξαν τις δυνατότητες και τις αξίες της ΕΠ για την ανάπτυξη

παιγνιωδών μαθησιακών εμπειριών μέσα στο φυσικό χώρο αλλά και την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα σε σχέση με τον βαθμό διαισθητικής κατανόησης που δύνανται να αναπτύξουν οι μαθητές μέσα από συμμετοχικά περιβάλλοντα ΕΠ.



Εικόνα 3.3: Επαύξηση του φυσικού χώρου με τρισδιάστατο μοντέλο της Γης που περιστρέφεται γύρω από τον άξονα της. Ο μαθητής περιστρέφει το μοντέλο για να το παρατηρήσει από διαφορετικές οπτικές. Τα κίτρινα βέλη αναπαριστούν το ηλιακό φως (Kerawalla κ.ά., 2006).

Το πρόγραμμα EcoMobile (Kamarainen κ.ά., 2013), σε συμφωνία με τις αρχές της πλαισιωμένης μάθησης, αποτελεί ένα σύγχρονο παράδειγμα αξιοποίησης της τεχνολογίας επαυξημένης πραγματικότητας για να επιτευχθούν συγκεκριμένοι μαθησιακοί στόχοι περιβαλλοντικής εκπαίδευσης. Το πρόγραμμα αξιοποίησε την τεχνολογία της ΕΠ σε μία εκπαιδευτική εκδρομή όπου οι μαθητές διεξήγαγαν επιτόπου μετρήσεις σε τοπική λίμνη. Κατά την διάρκεια της εκδρομής οι μαθητές πλοηγούνταν στο φυσικό χώρο με την βοήθεια ενός κατάλληλα σχεδιασμένου περιβάλλοντος ΕΠ μέσω του οποίου λάμβαναν εικονικές πληροφορίες και επεξηγήσεις που υπερτίθεντο στα στοιχεία του φυσικού περιβάλλοντος. Οι δάσκαλοι που έλαβαν μέρος στο πρόγραμμα ανέφεραν υψηλά επίπεδα εμπλοκής των μαθητών σε σχέση με τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία αλλά και με το επιστημονικό αντικείμενο, κάτι το οποίο επιβεβαιώθηκε και με βάση τις απαντήσεις των μαθητών στα διαγνωστικά τεστ. Οι διδάσκοντες υπογράμμισαν ακόμη ότι η τεχνολογία ΕΠ με χρήση κινητών συσκευών ενθάρρυνε την ανεξαρτησία και απελευθέρωνε τον διδάσκοντα ώστε να δύναται να ενεργήσει ως συντονιστής, γεγονός που αναδεικνύει την δυναμική της τεχνολογίας ΕΠ ως ισχυρό παιδαγωγικό εργαλείο που ενισχύει την μαθητοκεντρική διδασκαλία. Επιπλέον, τα ερευνητικά αποτελέσματα ανέδειξαν ως χαρακτηριστικό της εν λόγω τεχνολογίας τη δυνατότητα να ενθαρρύνει την ενεργή επεξεργασία της πληροφορίας, βοηθώντας τους μαθητές να αναπτύξουν βαθύτερη κατανόηση, να ανακαλύψουν οι ίδιοι τα κενά τους και να αντιληφθούν τη δυνατότητα μεταφοράς της αποκτηθείσας γνώσης σε παρόμοια πλαίσια του πραγματικού κόσμου.

Την ίδια χρονιά, οι Su, Feng-Kuang και Xu (Su et al., 2013) πραγματοποίησαν μια μελέτη περίπτωσης για τη διδασκαλία εννοιών της οπτικής. Κατά την έρευνα τους πραγματοποίησαν δύο διδακτικές προσεγγίσεις, μια με αξιοποίηση της τεχνολογίας ΕΠ και μια με παραδοσιακή διδασκαλία. Οι ερευνητές πραγματοποίησαν το πείραμα ΕΠ μέσα στην σχολική τάξη με μορφή επίδειξης σε βιντεοπροβολέα. Τα αποτελέσματα της έρευνας φανέρωσαν ότι οι περισσότεροι μαθητές επέδειξαν θετικές συμπεριφορές απέναντι στην μάθηση με αξιοποίηση της ΕΠ. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας οι περισσότεροι μαθητές αρέσκονται να πραγματοποιούν έρευνες και να δοκιμάζουν νέες δραστηριότητες όπως το να πειραματίζονται μόνοι τους. Μεταξύ άλλων ευρημάτων, οι εφαρμογές ΕΠ βρέθηκαν να κινητοποιούν, να εμπλέκουν ισχυρά τους μαθητές και να τους βοηθούν στην απομνημόνευση των αποτελεσμάτων.

Παράλληλα, το παιχνίδι "Table-Mystery" (Boletsis & McCallum, 2013), το οποίο αναπτύχθηκε στο Κέντρο Επιστημών του Όπλαντ στη Νορβηγία (Vitensenteret Innlandet) αξιοποίησε την τεχνολογία ΕΠ σε μια προσπάθεια να εμπλέξει τους μαθητές σε μια μαθησιακή εμπειρία για το μάθημα της χημείας και συγκεκριμένα για τα στοιχεία του περιοδικού πίνακα. Ο μακροπρόθεσμος στόχος της έρευνας ήταν να διερευνηθεί η επίδραση της τεχνολογίας ΕΠ αναφορικά με το βαθμό κινητοποίησης και εμπλοκής των μαθητών. Τα χημικά στοιχεία σε ένα περιοδικό πίνακα μεγέθους αφίσας έπαιξαν τον ρόλο των στόχων σάρωσης για τη διεπαφή ΕΠ. Στους μαθητές δόθηκαν από ένα mini iPad καθώς και ένα βιβλίο χημείας και ένα τετράδιο. Οι ομάδες είχαν επίσης πρόσβαση σε σταθερό υπολογιστή για αναζήτηση απαντήσεων. Το παιχνίδι δοκιμάστηκε και αξιολογήθηκε τόσο από ερευνητές όσο και από μαθητές. Συνολικά, τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η ΕΠ μπορεί δυνητικά να δημιουργήσει ευχάριστα και ελκυστικά περιβάλλοντα μάθησης.

Ένα χρόνο αργότερα, οι Ibanez κ.ά. (2014) ανέπτυξαν μια δραστηριότητα ΕΠ προκειμένου να αξιολογήσουν την επίδρασή της στα μαθησιακά αποτελέσματα σε σχέση με έννοιες από το πεδίο του ηλεκτρομαγνητισμού. Κατά την διδασκαλία με αξιοποίηση των περιβαλλόντων ΕΠ οι μαθητές εργάστηκαν ατομικά, χρησιμοποιώντας ταμπλέτες για να αλληλεπιδράσουν με τα 3D σχήματα τα οποία αναπαριστούσαν τα επαυξημένα στοιχεία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Οι ερευνητές συνέκριναν τα αποτελέσματα της εμπειρίας ΕΠ με αυτά που προέκυψαν από τη μάθηση με αξιοποίηση μιας διαδικτυακής εφαρμογής με το ίδιο αντικείμενο. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν και πάλι ότι η ΕΠ μπορεί να αξιοποιηθεί ως ένα αποτελεσματικό

μαθησιακό περιβάλλον για τη διδασκαλία των βασικών αρχών του ηλεκτρομαγνητισμού στις ανώτερες τάξεις της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

Αλλά και σε επίπεδο καθημερινής εκπαιδευτικής πρακτικής, αρκετοί διδάσκοντες επιχειρούν να αξιοποιήσουν την τεχνολογία ΕΠ για να εμπλέξουν και να κινητοποιήσουν τους μαθητές αλλά και για να απευθύνουν συγκεκριμένους μαθησιακούς στόχους. Σήμερα υπάρχουν διαθέσιμες πλατφόρμες ΕΠ που επιτρέπουν στους διδάσκοντες να καθορίσουν μόνοι τους τόσο τις φυσικές σημάνσεις (triggers) όσο και τις ψηφιακές επαυξήσεις (overlays). Τέτοια παραδείγματα είναι οι πλατφόρμες Aurasma (<http://aurasma.com>), Layar (<http://layar.com>) και Junaiο (<http://junaiο.com>) αλλά και Vuforia από την Qualcomm (www.vuforia.com). Κάτι τέτοιο σημαίνει ότι οι εκπαιδευτικοί αλλά και οι ίδιοι οι μαθητές έχουν ήδη αρχίσει να σχεδιάζουν, να κτίζουν και να διαχειρίζονται τις δικές τους εμπειρίες ΕΠ.

3.4 Οι προοπτικές αξιοποίησης της τεχνολογίας ΕΠ στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών

Στη σύγχρονη σχολική πραγματικότητα, η δυνατότητα πραγματοποίησης εργαστηριακών πειραμάτων από τους μαθητές είναι ιδιαίτερα περιορισμένη, είτε λόγω έλλειψης χρόνου, είτε/και λόγω ελλιπούς υλικοτεχνικής υποδομής. Προκειμένου να καλυφθεί το κενό αυτό στην διδακτική πρακτική, οι διδάσκοντες των Φυσικών Επιστημών καθημερινά επινοούν μικρά τεχνάσματα καλώντας τους μαθητές, μέσα στην σχολική αίθουσα, να «φανταστούν» φυσικές διαδικασίες, έννοιες και φυσικά μεγέθη, προκειμένου να κατανοήσουν το γνωστικό αντικείμενο. Αυτό το γεγονός, σε συνδυασμό με τη διαπιστωμένη αδυναμία των μαθητών να αντιληφθούν φαινόμενα που εξελίσσονται στο χώρο (3Δ), και ακόμη περισσότερο φαινόμενα του μικρόκοσμου ή του μακρόκοσμου, καθιστούν προφανή την συχνότατη αδυναμία τους να δώσουν νόημα στη γνώση που τους προσφέρεται, να την εντάξουν σε πλαίσια του πραγματικού κόσμου και επομένως, να μπορέσουν να αναδομήσουν τις πρότερες ιδέες τους.

Από την άλλη μεριά, με βάση τις εποικοδομητικές θεωρίες μάθησης, η ανάπτυξη της νόησης και η βελτίωση της διαισθητικής κατανόησης εννοιών και φαινομένων σχετίζεται άμεσα με την διαδικασία με την οποία εσωτερικοποιείται αυτή η γνώση. Επομένως, η μαθησιακή διαδικασία αποτελεί στην πραγματικότητα μια διαδικασία ανακάλυψης. Πολλοί ερευνητές υπογραμμίζουν ότι, για να διδαχθούν επιστημονικές έννοιες με αποτελεσματικό τρόπο, απαιτείται η χρήση περιβαλλόντων προσομοίωσης τριών διαστάσεων, τα οποία έχουν αποδειχθεί πολύ περισσότερο αποτελεσματικά σε σχέση

με τις συμβατικές μεθόδους διδασκαλίας (Hewson, 1985, Novak, Gowin & Johansen, 1983, Thornton & Sokoloff, 1990, 1998). Σε συμφωνία με την παραπάνω θέση, πλήθος ερευνών καταδεικνύουν ότι η αξιοποίηση τέτοιων μαθησιακών περιβαλλόντων προσομοίωσης συνεισφέρουν σημαντικά στην βελτίωση της κινητοποίησης των μαθητών, ενώ η οπτικοποίηση φυσικών και χημικών διαδικασιών ενισχύει ακόμη περισσότερο την διαισθητική κατανόηση των υποκείμενων εννοιών (Trindade, Fiolhais & Almeida, 2002). Με βάση τα παραπάνω, φαίνεται να αναδεικνύεται η δυναμική της ΕΠ αφού δύναται να παρέχει στους μαθητές μία κοινή για όλους, τρισδιάστατη, απτή αναπαράσταση μιας έννοιας ή διαδικασίας, αντί αυτοί να καλούνται να «φανταστούν» την διαδικασία ή την έννοια αυτή. Μια τέτοια αναπαράσταση ΕΠ, αποτελώντας μια κοινή εμπειρία για όλους τους μαθητές, θα είναι παρατηρήσιμη και διαχειρίσιμη από διάφορες οπτικές γωνίες μέσα από την προσωπική διεπαφή μιας έξυπνης φορητής συσκευής ή, στο κοντινό μέλλον, μέσω ειδικών γυαλιών ή και φακών επαφής, που θα καθιστούν την εμπειρία ακόμη πιο διαφανή.

Πιο συγκεκριμένα, με βάση τις προαναφερόμενες έρευνες, εκείνα τα χαρακτηριστικά που φαίνεται ότι καθιστούν την τεχνολογία ΕΠ κατάλληλη για αξιοποίηση μέσα σε μαθησιακά περιβάλλοντα Φυσικών Επιστημών συνοψίζονται στα παρακάτω σημεία:

- i. 3D απεικόνιση ψηφιακών αντικειμένων.
- ii. Δυνατότητα παρατήρησης χρονικής εξέλιξης των υπερτιθέμενων ψηφιακών δεδομένων.
- iii. Δυνατότητα διάδρασης με τα υπερτιθέμενα ψηφιακά δεδομένα.
- iv. Δυνατότητα αισθητοποίησης του αόρατου (είτε πολύ μικρό είτε πολύ μεγάλο).
- v. Δυνατότητα παρατήρησης των ψηφιακών δεδομένων από διαφορετικές οπτικές γωνίες.
- vi. Δυνατότητα παρατήρησης της εξέλιξης ενός κοινού φαινομένου από όλους τους μαθητές, ο καθένας μέσα από την δική του διεπαφή (tablet, smartphone).
- vii. Ενίσχυση της μαθητοκεντρικής διδασκαλίας.
- viii. Απελευθέρωση του διδάσκοντα ο οποίος τίθεται σε ρόλο διευκολυντή.

Τα χαρακτηριστικά (i) έως (v), εισάγουν μια νέα προοπτική για την ανάπτυξη πλούσιων, διαδραστικών παραδειγμάτων σύνθετων φυσικών φαινομένων και διαδικασιών, εμπλέκοντας μαθητές διαφορετικών μαθησιακών στυλ, και φέρνοντας την τρισδιάστατη φύση των καταστάσεων του πραγματικού κόσμου μέσα στην ίδια την διαδικασία

δόμησης της γνώσης. Εξάλλου, η οπτική και εικονική αναπαράσταση που περιλαμβάνεται στις τυπικές δισδιάστατες πληροφορίες απαιτεί ένα επιπλέον στοιχείο ερμηνείας, το οποίο είναι δύσκολο για ορισμένους μαθητές. Έτσι, οι μαθητές μπορούν μέσα από κατάλληλα σχεδιασμένα μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ να δομήσουν νέα γνώση αλληλεπιδρώντας με τρισδιάστατα αντικείμενα που δίνουν ζωή στις υποκείμενες πληροφορίες (Sotiriou & Bockner, 2008, Enyedy κ.ά., 2012). Δυναμικές διαδικασίες, μεγάλα σύνολα και αντικείμενα πολύ μικρά ή πολύ μεγάλα μπορούν να έρθουν στον προσωπικό χώρο του μαθητή σε κατάλληλη κλίμακα και μορφή που να μπορεί εκείνος να κατανοήσει και να χειριστεί δημιουργώντας συνδέσεις μεταξύ της ζωής του και της προσλαμβάνουσας επιστημονικής γνώσης. Ως εκ τούτου, όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά της ΕΠ θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν κατάλληλα προκειμένου να ζωντανέψουν στο χώρο των τριών διαστάσεων τη χρονική και χωρική εξέλιξη φυσικών φαινομένων τα οποία είναι εξαιρετικά δύσκολο αν όχι αδύνατο να παρασταθούν με άλλο τρόπο (Tomara & Gouscos, 2014) και τα οποία εξελίσσονται σε κλίμακες είτε πολύ μικρές είτε πολύ μεγάλες ώστε να είναι παρατηρήσιμα.

Συγχρόνως, τα χαρακτηριστικά (vi) έως (viii) μπορούν να αξιοποιηθούν κατάλληλα για την δημιουργία μαθησιακών περιβαλλόντων πλαισιωμένης μάθησης τα οποία κινητοποιούν και εμπλέκουν τον μαθητή σε μια διαδικασία διερευνητικής μάθησης και προάγουν την συνεργατικότητα μεταξύ μαθητών και την από κοινού παρατήρηση του ίδιου φαινομένου, όπου ο δάσκαλος αποδεσμεύεται από τον παραδοσιακό του ρόλο και λειτουργεί ενθαρρύνοντας και κατευθύνοντας την μαθησιακή εμπειρία.

Επιπρόσθετα, η τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας, η οποία βασίζεται στη χρήση κινητών συσκευών, εισάγει μια νέα δυναμική για επί τόπου μάθηση και διερεύνηση χωρίς ειδικό εξοπλισμό, και τούτο αποτελεί ένα από τα πιο δελεαστικά στοιχεία αυτής της τεχνολογίας (Dunleavy & Simmons, 2014, Teemu, 2018). Αυτή ακριβώς η επιτόπου δυνατότητα εμπλουτισμού αντικειμένων του φυσικού κόσμου με κατάλληλο ψηφιακό περιεχόμενο δύναται να αποτελέσει μια γέφυρα μεταξύ των επιστημονικών δεδομένων με παραδείγματα της καθημερινής ζωής. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω και δεδομένης της δυσκολίας των περισσότερων μαθητών να συλλάβουν και να αντιληφθούν φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στις 3Δ καθώς και της συχνής αδυναμίας αισθητοποίησης φυσικών φαινομένων του μικρόκοσμου, ένα σωστά σχεδιασμένο μαθησιακό πλαίσιο ΕΠ θα μπορούσε να αποτελέσει ένα “μικρόκοσμο” (Papert, 1980). Ένα τέτοιο μικρόκοσμο θα κληθούν να διερευνήσουν οι μαθητές με τρόπο συνεργατικό και πιθανώς περισσότερο βιωματικό - σε σχέση με ήδη υπάρχοντα

τεχνολογικά εμπλουτισμένα περιβάλλοντα μάθησης. Μέσα σε ένα τέτοιο περιβάλλον ΕΠ οι μαθητές μπορούν να πειραματίζονται αλλάζοντας ελεύθερα παραμέτρους και μεταβλητές και έχοντας άμεση ανάδραση των χειρισμών τους, μέσα στο ρεαλιστικό πλαίσιο τριών διαστάσεων του φυσικού χώρου. Κάτω από αυτό το πρίσμα, διαφαίνεται η προοπτική να αξιοποιηθεί η τεχνολογία της επαυξημένης πραγματικότητας, με ειδικότερο στόχο την ανάπτυξη κατάλληλα σχεδιασμένων εμπειριών για τη γεφύρωση της επιστημονικής γνώσης με τον πραγματικό κόσμο, την ανάδειξη και την αναδόμηση των πρότερων ιδεών σε σχέση με έννοιες και φαινόμενα από το πεδίο των Φυσικών Επιστημών. Τέτοιου τύπου εκπαιδευτικές εμπειρίες πιθανώς να αποτελούν περισσότερο βιωματικά περιβάλλοντα σε σχέση με τα υπολογιστικά περιβάλλοντα προσομοίωσης. Κατά συνέπεια πιθανώς να μπορέσουν να συντελέσουν και αποτελεσματικότερα στην αναδόμηση των πρότερων ιδεών και την αφομοίωση της νέας γνώσης (Tomara & Gouscos, 2014).

Με βάση τα παραπάνω, αναδεικνύεται η ουσιαστική αξία της εύρεσης τρόπων με στόχο την αξιοποίηση των χαρακτηριστικών της ΕΠ μέσα σε πλαίσια διδασκαλίας εννοιών και φαινομένων από το πεδίο της Φυσικής και με κύριο στόχο την γνωστική πρόοδο των μαθητών. Κύριο άξονα σχεδιασμού τέτοιων εμπειριών μπορεί να αποτελέσει η συνάφεια με τις βασικές αρχές του εποικοδομισμού και της μάθησης μέσω ανακάλυψης. Πιο συγκεκριμένα, ένα τέτοιο περιβάλλον θα πρέπει να επιτρέπει στο μαθητή να πειραματιστεί με τα στοιχεία του περιβάλλοντος (πραγματικά και συνθετικά), να κάνει υποθέσεις και να τις δοκιμάσει, ελέγχοντας την ορθότητα τους, να αισθητοποιήσει, με πολλαπλές αναπαραστάσεις τις σχετικές έννοιες και φυσικά μεγέθη και να αναδομήσει, εν τέλει, τις πρότερες ιδέες που είχε εδραιώσει.

3.5 Προκλήσεις και περιορισμοί της τεχνολογίας ΕΠ για τις Φυσικές Επιστήμες

Η υλοποίηση συστημάτων ΕΠ μαθησιακού σκοπού αναδύει πλήθος ζητημάτων, παιδαγωγικού τεχνολογικού και μαθησιακού χαρακτήρα.

Τον προφανέστερο, ίσως, περιορισμό σε σχέση με την αξιοποίηση της ΕΠ σε ένα επίσημο εκπαιδευτικό πλαίσιο αποτελεί η αδυναμία του σύγχρονου σχολικού περιβάλλοντος, που υποστηρίζει κυρίως την διδασκαλία μέσω παρουσίασης, να ευθυγραμμιστεί με την επαυξημένη πραγματικότητα που είναι καταλληλότερη για διερευνητικού τύπου δραστηριότητες (Dunleavy & Simmons, 2014). Σημαντικό ζήτημα αποτελεί επίσης ο εντοπισμός και η αποτύπωση των περιορισμών που προκύπτουν κατά την ενσωμάτωση των εμπειριών ΕΠ στο επίσημο εκπαιδευτικό περιβάλλον

(Kerawalla κ.ά., 2006, Mitchel, 2011). Τα βασικότερα τεχνολογικά ζητήματα που εγείρονται σχετίζονται με την κατάλληλη, κάθε φορά, επιλογή των διαθέσιμων εργαλείων για την υλοποίηση της εμπειρίας, τον απαιτούμενο εξοπλισμό για την εφαρμογή της εμπειρίας σε εκπαιδευτικό περιβάλλον (απαιτήσεις για κινητές συσκευές με κάμερα, GPS, QR reader), καθώς και η εξοικείωση των χρηστών με τον εξοπλισμό. Επιπρόσθετα, η οργάνωση τέτοιου τύπου δραστηριοτήτων στο παρόν τεχνολογικό στάδιο απαιτεί τη χρήση εξοπλισμού που αφενός μεν δε διατίθεται από τα ίδια τα σχολεία, αφετέρου η ορθή χρήση του από τους μαθητές αλλά και από τους διδάσκοντες εμπεριέχει ένα βαθμό δυσκολίας που ενδεχομένως να καθιστά αναγκαία την παρουσία δύο ή και τριών ατόμων ανά σχολική τάξη, για την οργάνωση τέτοιων εμπειριών (Dunleavy κ.ά., 2009, Dunleavy & Simmons, 2011).

Ειδικότερα για την ανάπτυξη μαθησιακών εμπειριών ΕΠ με στόχο την ανάδειξη των πρότερων ιδεών των μαθητών και την αναδόμηση της γνώσης, θα είχε ιδιαίτερη αξία ο καθορισμός, μέσα από ειδικά σχεδιασμένα εκπαιδευτικά σενάρια και παρεμβάσεις, των δεξιοτήτων που φαίνεται να ενισχύονται περισσότερο μέσα σε μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ: κατανόηση δυναμικών μοντέλων (Rosenbaum, Klopfer, & Perry, 2007), ικανότητα οπτικοποίησης φαινομένων που δεν είναι δυνατό να παρατηρηθούν στο φυσικό κόσμο (Kerawalla κ.ά., 2006). Σημαντική θα ήταν, επιπλέον, η διερεύνηση και τεκμηρίωση σχετικά με το εάν και πώς τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που εισάγονται από τα μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ επηρεάζουν και αναδιαμορφώνουν, τελικά, τις έννοιες της αυθεντικότητας και της εμπλοκής ενός περιβάλλοντος μάθησης (Wu & Huang, 2007). Κάτω από την ίδια λογική, αποκτά νόημα η διερεύνηση διδακτικών και μαθησιακών προσεγγίσεων που ευθυγραμμίζονται με τη χρήση ΕΠ για την γνωστική πρόοδο των μαθητών αναφορικά με έννοιες και φαινόμενα από το πεδίο των Φυσικών Επιστημών αλλά και η αναζήτηση, μέσω κατάλληλων εκπαιδευτικών παρεμβάσεων, τρόπων ενσωμάτωσης των εμπειριών αυτών σε ένα εκπαιδευτικό περιβάλλον (ανάπτυξη μαθησιακών δραστηριοτήτων και εκπαιδευτικών σεναρίων με χρήση εμπειριών ΕΠ).

Κεφάλαιο 4

Οι Πρότερες Ιδέες των Μαθητών για την Κίνηση και τη Δύναμη

Το παρόν κεφάλαιο συζητά τις πρότερες ιδέες των μαθητών και τη σημασία τους στη διαδικασία κατάκτησης της επιστημονικής γνώσης. Επιπλέον, παρουσιάζει μια μελέτη περίπτωσης που έλαβε χώρα σε Έλληνες μαθητές της Α' τάξης Γυμνασίου με στόχο να αναδείξει τη σημασία και το περιεχόμενο που αποδίδουν οι μαθητές σε βασικές έννοιες από το πεδίο της Φυσικής και ειδικότερα της Μηχανικής, όπως η Ταχύτητα, η Επιτάχυνση, η Μάζα, το Βάρος και η Δύναμη, μόλις μετά την έξοδο τους από την Δημοτική Εκπαίδευση. Πιο συγκεκριμένα, η έρευνα αυτή επιχειρήσε να αναδείξει τις ιδέες που έχουν διαμορφώσει οι μαθητές σε σχέση με τις παραπάνω έννοιες, με βάση τόσο τα όσα έχουν διδαχθεί σχετικά στο Δημοτικό Σχολείο, όσο και τις προσωπικές ερμηνείες που αποδίδουν στα καθημερινά φαινόμενα που εμπλέκουν τις εν λόγω έννοιες. Η Κλασική Μηχανική αποτελεί ένα θεμελιώδες κεφάλαιο των Φυσικών Επιστημών τόσο για την ορθή δόμηση της επιστημονικής γνώσης που θα κληθούν να κατακτήσουν οι μαθητές στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο όσο και γενικότερα για τον τρόπο με τον οποίο η επιστημονική παράδοση/κουλτούρα προσεγγίζει και ερμηνεύει τα σχετικά φυσικά φαινόμενα. Κατά συνέπεια, η ανάδειξη των ιδεών των μαθητών σε σχέση με τις παραπάνω έννοιες κρίνεται πολύ σημαντική και πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά το σχεδιασμό των μαθησιακών δραστηριοτήτων ΕΠ που αναπτύσσονται στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας.

4.1 Οι πρότερες ιδέες των μαθητών στην Μηχανική

Η Κλασική Μηχανική αποτελεί ένα θεμελιώδες κεφάλαιο των Φυσικών Επιστημών (Bozzi, 1990, Proffitt, 1999, Shanon, 1976), τόσο για την ορθή δόμηση της επιστημονικής γνώσης που θα κληθούν να κατακτήσουν οι μαθητές στο Λύκειο όσο και γενικότερα για τον τρόπο με τον οποίο η επιστημονική παράδοση/κουλτούρα προσεγγίζει και ερμηνεύει τα σχετικά φυσικά φαινόμενα (Carson & Rowlands, 2005, Galili, 2001, 1995). Το συγκεκριμένο πεδίο των Φυσικών Επιστημών αναπαριστά πλήθος φαινομένων που συναντώνται στην ανθρώπινη συμπεριφορά και δραστηριότητα, από το περπάτημα μέχρι την προσπάθεια να σημαδέψει κανείς κάποιο στόχο. Πράγματι, η κλασική μηχανική προσφέρει ίσως τα πιο οικεία παραδείγματα,

αφού η σημαντικότητα άλλων όψεων της Φυσικής όπως η κβαντική μηχανική μπορούν μόνο να αποτιμηθούν είτε στον μικρόκοσμο της υποατομικής Φυσικής είτε στον μέγακοσμο της αστροφυσικής, πεδία καθόλου εύκολα προσβάσιμα στην καθημερινή εμπειρία της ανθρώπινης αλληλεπίδρασης με ένα κόσμο μεσαίας κλίμακας (από λίγα χιλιοστά μέχρι μερικά χιλιόμετρα) (Gibson, 1979).

Λόγω της καθημερινής εμπειρίας που αναπτύσσουν οι άνθρωποι με τα φυσικά φαινόμενα που περιγράφει η κλασική μηχανική, ο καθένας μας από πολύ μικρή ηλικία διαμορφώνει κάποιες ιδέες προκειμένου να προσεγγίσει και να ερμηνεύσει τα σχετικά φαινόμενα, πολύ πριν κληθεί να δομήσει τη σχετική επιστημονική γνώση μέσα στο σχολικό περιβάλλον. Στην πραγματικότητα, πολλές από αυτές τις ιδέες δεν είναι μόνο απλουστευμένες αλλά συστηματικά λανθασμένες. Για παράδειγμα, ενώ οι άνθρωποι είναι σε θέση να σημαδέψουν με ακρίβεια ένα στόχο, πετώντας μια μπάλα, ωστόσο δυσκολεύονται να σχεδιάσουν την τροχιά που αυτή η μπάλα ακολουθεί (Clement, 1982, Kaiser, Jonides, & Alexander, 1986, Kaiser, Proffitt, & McCloskey).

Αναφορικά με αυτές τις πρότερες ιδέες σχετικά με τη μηχανική, εκτιμάται ότι, ενώ οι άνθρωποι μπορεί να έχουν κατακτήσει μεμονωμένα όλες τις απαραίτητες σχετικές γνώσεις, αδυνατούν να τις ενοποιήσουν όταν διαμορφώνουν αναπαραστάσεις σύνθετων φαινομένων. Αυτές τις ημιτελείς αναπαραστάσεις που διαμορφώνουν, τις εφαρμόζουν στη συνέχεια σε καινούριες καταστάσεις όπου πλέον το αποτέλεσμα δεν μπορεί να εκτιμηθεί σωστά.

Χαρακτηριστικό είναι πάντως το γεγονός ότι η εμπειρία των εξαιρετικά οικείων φαινομένων, όπως η ρίψη μιας μπάλας, δεν οδηγεί πάντα σε ορθή γνώση (αφηρημένη ή έμμεση) σε σχέση με τις αρχές που διέπουν αυτά τα φαινόμενα (Hecht & Bertamini, 2000). Επιπρόσθετα, κάποιες από αυτές τις ιδέες ενισχύονται μάλλον παρά εξασθενούν μέσα από την καθημερινή εμπειρία με τα αντίστοιχα φαινόμενα (Hecht & Proffitt, 1995).

Από την άλλη μεριά, οι έννοιες της Κλασικής Μηχανικής και ιδιαίτερα η έννοια της Δύναμης είναι θεμελιώδεις για τη διδασκαλία της Φυσικής (Carson & Rowlands, 2005). Η Κλασική Μηχανική και οι έννοιες που πραγματεύεται αποτελούν κατά κάποιο τρόπο, τη «βάση» για τη διδασκαλία του μαθήματος της Φυσικής, τόσο στο Γυμνάσιο όσο και στο Λύκειο. Συνεπώς, η κατανόηση αυτού του επιστημονικού πεδίου και η γνωστική αλλαγή που επιχειρείται μέσα από τη διδασκαλία των σχετικών εννοιών και των σχέσεων που τις συνδέει, έχει πρόσθετη αξία για το μαθητή, αφού θα πρέπει να στοχεύει στο να τον διευκολύνει να «βλέπει» εφεξής τα καθημερινά φαινόμενα της κάθε

είδους κίνησης των σωμάτων μέσα από τη σωστή οπτική και να τα ερμηνεύει κάνοντας χρήση της αποκτηθείσας, επιστημονικά ορθής γνώσης.

Ο όγκος των μελετών και ερευνών που αφορούν στην γνωστική αλλαγή των πρότερων ιδεών σε σχέση με το πεδίο της Κλασσικής Μηχανικής είναι σημαντικός. Πλήθος ερευνών έχουν πραγματοποιηθεί για την ανίχνευση και ανάδειξη των εναλλακτικών αντιλήψεων από το πεδίο της Κλασσικής Μηχανικής (Rowlands, Graham, Berry, McWilliam, 2007, Jimoyiannis & Komis, 2003, Champagne, Klopfer & Anderson, 1980) και σημαντικά ερευνητικά εργαλεία έχουν αναπτυχθεί για το σκοπό αυτό, η εγκυρότητα και η αποτελεσματικότητα των οποίων έχουν επιβεβαιωθεί μέσα από την πολυετή εφαρμογή τους σε μεγάλο αριθμό ερευνών (Pfundt & Duit, 2000, Halloun & Hestenes, 1985, Trowbridge & McDermott, 1980, 1981). Τέλος, υπάρχει σημαντικός όγκος μελέτης και έρευνας σε σχέση με διδακτικές προτάσεις, σενάρια και μεθόδους για την αλλαγή αυτών των πρότερων ιδεών που αφορούν τη Δύναμη και την Κίνηση (Halim, Yong & Meerah, 2014, Demirci, 2005, Κουλαϊδής & Ρογκάκος, 1999, Thornton & Sokoloff, 1998, Hestenes, 1992) καθώς και για τη χρήση εξειδικευμένων λογισμικών (Hatzikraniotis, Theodorakos, Spyrtou, & Kariotoglou, 2005, Tao, 1997).

Ο κάθε μαθητής (ο κάθε άνθρωπος, γενικότερα) έχει δομήσει την προσωπική του θεωρία με βάση τις ερμηνείες που ο ίδιος δίνει στα καθημερινά φαινόμενα, μέσα από την καθημερινή του εμπειρία, σε σχέση με τα φαινόμενα και τις έννοιες της κλασσικής μηχανικής. Το γεγονός αυτό καθιστά αυτές τις πρότερες ιδέες που έχει ο μαθητής διαμορφώσει, ιδιαίτερα ανθεκτικές στις προσπάθειες αλλαγής (Vosniadou, Vamvakoussi & Skopeliti, 2008), σε σχέση με άλλες περιπτώσεις, για τις οποίες αρκεί πολλές φορές η λεκτική διατύπωση της σωστής έννοιας για να επέλθει η αλλαγή. Έτσι, οι έννοιες της *δύναμης*, της *ταχύτητας*, της *επιτάχυνσης*, της *ενέργειας* και της *μάζας*, που αποτελούν το «λεξιλόγιο» της κλασσικής μηχανικής είναι από τις περισσότερο κακώς εννοούμενες έννοιες στο πεδίο των Φυσικών Επιστημών (Jadhao & Parida, 2013). Η ταχύτητα συχνά συγχέεται με την έννοια της επιτάχυνσης ή με τη γρήγορη κίνηση (Trowbridge & McDermott, 1981). Το βάρος ταυτίζεται με τη μάζα (Stamenkovski & Zajkon, 2014) ενώ τα παιδιά τείνουν, πολλές φορές, να θεωρούν ότι τα μεγαλύτερα σε μέγεθος αντικείμενα είναι και τα βαρύτερα (Smith & Cassati, 1994). Ειδικότερα για την έννοια της Δύναμης, που βρίσκεται στη βάση της Νευτώνειας Μηχανικής, αφενός μεν οι σχετικές αντιλήψεις των παιδιών είναι σε ασυμφωνία με την επιστημονική γνώση, αφετέρου δε, οι παραδοσιακές διδακτικές προσεγγίσεις δεν επιτυγχάνουν, τις περισσότερες φορές, να

επιφέρουν σημαντική αναδόμηση αυτών των αντιλήψεων (Halloun & Hestenes, 1985, 1992, Kariotoglou, Spyrtou & Tselfes, 2009).

Με βάση τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι, προκειμένου κανείς να κατανοήσει τις αρχές και τους νόμους που διέπουν τις κινήσεις των σωμάτων, θα πρέπει πρώτα να σκεφτεί για δυνάμεις, επιτάχυνση, ταχύτητα, ενέργεια, έργο και μάζα.

4.2 Μελέτη Περίπτωσης: διερεύνηση των πρότερων ιδεών μαθητών της Α΄ γυμνασίου σε σχέση με θεμελιώδεις έννοιες της Μηχανικής

Με βάση τα παραπάνω, καθίσταται φανερό ότι, προκειμένου οι μαθητές να μπορέσουν να δομήσουν νέα γνωστικά σχήματα για να αντικαταστήσουν τα παλιά λανθασμένα ή ημιτελή γνωστικά σχήματα αναφορικά με τις κινήσεις των σωμάτων, θα πρέπει πρώτα να θεμελιώσουν σωστά τις ίδιες τις έννοιες «Δύναμη», «Ταχύτητα», «Ενέργεια» και «Μάζα» που αποτελούν στην επιστήμη της Φυσικής τις βασικές «λέξεις» για την περιγραφή των κινήσεων των υλικών σωμάτων. Παρότι οι έρευνες σχετικά με τις πρότερες ιδέες από το πεδίο της μηχανικής είναι πολυπληθείς, ελάχιστες εστιάζουν στη σωστή θεμελίωση των ίδιων των εννοιών «Δύναμη», «Ταχύτητα», «Ενέργεια» και «Μάζα» προκειμένου να μπορέσουν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν ορθά για την περιγραφή των κινήσεων.

Στη βάση της παραπάνω λογικής, επιχειρήθηκε μια έρευνα με μαθητές της Α΄ τάξης Γυμνασίου προκειμένου να εντοπιστούν και να αναδειχθούν οι ιδέες τους σε σχέση με το πώς αυτοί ερμηνεύουν τις έννοιες «Δύναμη», «Ταχύτητα», «Ενέργεια» και «Μάζα», σε μια προσπάθεια οριοθέτησης του τι εκφράζουν τελικά για τους μαθητές οι έννοιες αυτές.

4.2.1 Σχεδιασμός και εφαρμογή της εκπαιδευτικής έρευνας

Κύριο στόχο της παρούσας έρευνας αποτελεί η ανάδειξη των εναλλακτικών σημασιών που αποδίδουν οι μαθητές της Α΄ Γυμνασίου στις έννοιες Ταχύτητα, Επιτάχυνση, Μάζα, Βάρος και Δύναμη. Ως εκ τούτου, η έρευνα αποτελεί μια προσπάθεια οριοθέτησης των αντιλήψεων που έχουν διαμορφώσει σχετικά οι σύγχρονοι μαθητές κατά την έξοδό τους από την ελληνική πρωτοβάθμια εκπαίδευση, με βάση τόσο τα όσα έχουν διδαχθεί στο Δημοτικό Σχολείο, όσο και τις προσωπικές ερμηνείες που δίνουν στα καθημερινά φαινόμενα τα οποία εμπλέκουν τις παραπάνω έννοιες.

Η ερευνητική προσέγγιση βασίζεται στη λογική ότι, προκειμένου οι μαθητές να μπορέσουν να τροποποιήσουν, να συμπληρώσουν ή να διορθώσουν τα αρχικά

εναλλακτικά ή ημιτελή μοντέλα (Vosniadou, 2002) αναφορικά με τις κινήσεις των σωμάτων και την Νευτώνεια Μηχανική, θα πρέπει πρώτα να θεμελιώσουν σωστά τις ίδιες τις έννοιες Δύναμη, Ταχύτητα, Επιτάχυνση, Μάζα και Βάρος, οι οποίες βρίσκονται στη βάση της κλασσικής μηχανικής και οι οποίες αποτελούν το βασικό «λεξιλόγιο» για την περιγραφή των κινήσεων των υλικών σωμάτων με βάση τους Νόμους του Νεύτωνα.

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στο 2^ο Γυμνάσιο Αρτέμιδος, στην Αττική, κατά τη διάρκεια του πρώτου διδακτικού τριμήνου του σχολικού έτους 2014-2015. Στην έρευνα συμμετείχαν τρία τμήματα της Α' τάξης, συνολικά 60 μαθητές, οι οποίοι είχαν στο μάθημα της Φυσικής την ερευνήτρια ως διδάσκουσα καθηγήτρια και δεν είχαν διδαχθεί τις έννοιες τις οποίες πραγματεύεται η έρευνα. Για τις ανάγκες της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν διερευνητικά φύλλα από το βιβλίο «Uncovering Students' Ideas in Physical Science» (Keeley & Harrington, 2010). Το παραπάνω βιβλίο ανήκει στη σειρά «Uncovering Students' Ideas in Physical Science» των εκδόσεων NSTA press¹. Τα βιβλία αυτά περιέχουν διαγνωστικά εργαλεία για την ανίχνευση των εναλλακτικών αντιλήψεων των παιδιών σε σχέση με τις Φυσικές Επιστήμες, αξιοποιώντας και έρευνες πολλών ετών πάνω στα θέματα της εννοιολογικής αλλαγής. Επιλέχθηκαν ορισμένα διερευνητικά φύλλα², τα οποία μεταφράστηκαν στα Ελληνικά από την ίδια την ερευνήτρια, με κριτήριο το τί η παρούσα έρευνα επιδιώκει να μελετηθεί (Παράρτημα Ι). Τα φύλλα χρησιμοποιήθηκαν αυτούσια χωρίς τροποποιήσεις με μόνη εξαίρεση τις επιλογές που αφορούσαν στην πιθανή αδυναμία διάκρισης μεταξύ των όρων «speed» και «velocity», δεδομένου ότι δεν υπάρχει αντίστοιχη δυσκολία στην ελληνική γλώσσα. Συγκεκριμένα, στην ελληνική γλώσσα δεν χρησιμοποιούνται διαφορετικοί όροι για το μέτρο της ταχύτητας (speed) και για την ταχύτητα ως διανυσματικό μέγεθος (velocity). Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν να μοιράζονται ένα ή δύο διερευνητικά φύλλα κάθε φορά, στο τέλος της διδακτικής ώρας και να αφιερώνεται ένα περίπου τέταρτο της ώρας για την συμπλήρωσή τους. Τα ερευνητικά φύλλα συμπληρώθηκαν επώνυμα. Οι ερωτήσεις στόχευαν σε συγκεκριμένες αντιλήψεις οι οποίες θεωρούνται επικρατέστερες με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία αλλά συγχρόνως παρότρυναν τους μαθητές να

¹ Επίσημος ιστοχώρος του συλλόγου NSTA: <http://nsta.org>.

² Για την Ταχύτητα χρησιμοποιήθηκαν τα φύλλα Following Jack Part I, σελ. 23 και NASCAR racing, σελ. 51. Για την Επιτάχυνση χρησιμοποιήθηκε το φύλλο Just Rolling Along, σελ. 55. Για τη Μάζα και του Βάρους χρησιμοποιήθηκε το φύλλο Pizza Dough, σελ. 143. Για την Δύναμη χρησιμοποιήθηκαν τα φύλλα Talking About Forces, σελ. 71, Does it have to touch, σελ. 75 και Force and Motion Ideas, σελ. 79 (βλέπε παράρτημα Ι).

αναπτύξουν και το δικό τους σκεπτικό σχετικά με την απάντηση ή τις απαντήσεις που καλούνταν να επιλέξουν. Το γεγονός αυτό επίσης συντέινει στο να αποκαλυφθούν περαιτέρω οι ιδέες των μαθητών, σε σχέση με τις έννοιες που ενδιαφέρουν.

Ο πίνακας 4.1 συνοψίζει, στην πρώτη στήλη, τις ιδέες που επιδιώχθηκε να διερευνηθούν, με βάση τα διαγνωστικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε έννοια. Στην δεύτερη στήλη παρατίθενται οι αντιλήψεις που επικρατούν μεταξύ των μαθητών - όπου υπάρχουν - για την κάθε έννοια, όπως αυτές καταγράφονται στο βιβλίο "Uncovering Students' Ideas in Physical Science", αλλά και με βάση τη σχετική βιβλιογραφία.

Ο πίνακας 4.2 παραθέτει τις επικρατέστερες πρότερες αντιλήψεις σε σχέση με την έννοια της δύναμης με βάση τη σχετική βιβλιογραφία καθώς και την επιστημονικά ορθή θεώρηση για κάθε μια από αυτές τις αντιλήψεις.

Πίνακας 4.1: Στόχοι της έρευνας για την ανάδειξη των ιδεών των μαθητών σε σχέση με τις έννοιες Ταχύτητα, Επιτάχυνση, Μάζα, Βάρος, Δύναμη.

Στόχοι της έρευνας	Σχετικές πρότερες αντιλήψεις (όπου έχουν καταγραφεί)
Ταχύτητα (2 διερευνητικά φύλλα)	
<p>Να εξεταστεί εάν μπορούν οι μαθητές να ερμηνεύσουν ένα διάγραμμα κίνησης και εάν είναι σε θέση να εκτιμήσουν την ταχύτητα ενός κινούμενου σώματος σε σχέση με την απόσταση που αυτό διανύει σε ίσα χρονικά διαστήματα, διακρίνοντας αφενός μεταξύ μικρής και μεγάλης ταχύτητας και αφετέρου μεταξύ σταθερής και μεταβαλλόμενης ταχύτητας, χρησιμοποιώντας ένα διάγραμμα κίνησης.</p>	<p>Τα μικρά παιδιά συνήθως αντιλαμβάνονται τα σώματα είτε σε ακινησία είτε σε κίνηση. Η χρονική διάρκεια της μεταβολής πολύ σπάνια ενδιαφέρει τα παιδιά, τα οποία τείνουν να χρησιμοποιούν όρους όπως «ένα σώμα πηγαίνει γρηγορότερα» με ασαφείς τρόπους, αναφερόμενα άλλοτε στο μέτρο της ίδιας της ταχύτητας και άλλοτε στην αύξηση της ταχύτητας σε σχέση με το χρόνο (Driver κ.ά., 1994).</p>
<p>Να διερευνηθεί τι εννοούν οι μαθητές όταν χρησιμοποιούν την έννοια της ταχύτητας για να περιγράψουν μία κίνηση.</p>	<p>Οι μαθητές συχνά συναντούν στην καθημερινότητά τους λέξεις που χρησιμοποιούνται και από την επιστήμη, με αποτέλεσμα να αποδίδουν σε αυτές νοήματα προτού τις συναντήσουν στο επίσημο πλαίσιο της σχολικής επιστήμης.</p>
Επιτάχυνση (1 διερευνητικό φύλλο)	

<p>Να διερευνηθεί τι εννοούν οι μαθητές όταν χρησιμοποιούν την έννοια της επιτάχυνσης για να περιγράψουν μία κίνηση.</p>	<p>Πολλοί μαθητές πιστεύουν ότι όσο πιο γρήγορα κινείται ένα σώμα τόσο περισσότερο «επιταχύνει» και ότι όσο πιο αργά πηγαίνει ένα σώμα τόσο λιγότερο «επιταχύνει» (Stavey & Tirosh, 2000).</p> <p>Είναι σύνηθες οι μαθητές να συγχέουν την έννοια της επιτάχυνσης με την έννοια της ταχύτητας (Trowbridge & McDermott, 1981).</p>
<p>Μάζα και Βάρος (1 διερευνητικό φύλλο)</p>	
<p>Να διερευνηθούν οι ιδέες που έχουν διαμορφώσει οι μαθητές για τις έννοιες της Μάζας και του Βάρους. Το ερευνητικό εργαλείο έχει σχεδιαστεί ειδικά για να διερευνήσει αν οι μαθητές αναγνωρίζουν ότι, ενώ η μάζα και το βάρος δεν αποτελούν ταυτόσημες έννοιες, ωστόσο και τα δύο μεγέθη παραμένουν αναλλοίωτα όταν ένα σώμα αλλάζει σχήμα (μεταβάλλεται ο όγκος ή/και η επιφάνεια του). Καθώς οι μαθητές διδάσκονται ότι η μάζα ενός σώματος παραμένει ίδια στη Γη και στη Σελήνη αλλά το βάρος του διαφέρει (ζυγίζει λιγότερο στη Σελήνη από ότι στη Γη), πιθανώς να μεταφέρουν αυτή τη γνώση και σε συναφή πλαίσια όπου υπάρχει κάποια μεταβολή, όπως στην μεταβολή του σχήματος του σώματος.</p>	<p>Οι ερευνητές διαπιστώνουν ότι τα παιδιά, από πολύ μικρή ηλικία, παρατηρούν ότι τα αντικείμενα διαφέρουν ως προς τον τρόπο που αυτά «πιέζουν/σπρώχνουν προς τα κάτω» με βάση την αίσθηση που έχουν αυτά καθώς κρατούν στα χέρια ένα αντικείμενο ή κουβαλώντας το στην πλάτη. Αυτό το «αισθητό βάρος», ως μια αίσθηση πίεσης προς τα κάτω, αποτελεί πρόωμη αντίληψη της ιδιότητας του βάρους (Holding, 1987).</p> <p>Η λέξη «μάζα» συχνά συσχετίζεται με την φωνητικά παρόμοια λέξη «μαζικός» και ως αποτέλεσμα, οι μαθητές τείνουν να θεωρούν ότι η μάζα ενός σώματος μεταβάλλεται αν αλλάξει κάτι στο μέγεθος ή στον όγκο ενός σώματος. Οι μαθητές συχνά συνδέουν την μάζα με το σχήμα των αντικειμένων (Driver κ.ά., 1994).</p> <p>Η επιστημονική ιδέα του βάρους ως δύναμης βαρύτητας που ασκείται σε ένα αντικείμενο δεν φαίνεται να είναι μια καλά εμπεδωμένη ιδέα με βάση μελέτες που έχουν γίνει σε μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (Ruggiero κ.ά., 1985).</p>
<p>Δύναμη (3 διερευνητικά φύλλα)</p>	
<p>Να εκμαιευτούν οι πρότερες ιδέες των μαθητών σε σχέση με τα είδη των δυνάμεων.</p>	<p>Οι μικρότεροι μαθητές αποδίδουν εκλαϊκευμένες σημασίες στη λέξη «δύναμη». Συχνά συσχετίζουν την έννοια της Δύναμης με τον εξαναγκασμό, τα ζωντανά σώματα, την φυσική δραστηριότητα και την μυϊκή δύναμη (Driver κ.ά., 1994).</p>
<p>Να εξεταστεί κατά πόσο οι μαθητές αντιλαμβάνονται ότι οι δυνάμεις μπορούν να ασκηθούν είτε με επαφή είτε από</p>	<p>Αρκετοί μαθητές δυσκολεύονται να συσχετίσουν τα αποτελέσματα από τη δράση μιας δύναμης με το σπρώξιμο ή το τράβηγμα των σωμάτων (Shevlin, 1989,</p>

απόσταση.	Erickson & Hobbs, 1978). Αρκετοί μαθητές θεωρούν ότι άλλες δυνάμεις σπρώχνουν και τραβούν και άλλες απλά συγκρατούν τα σώματα (Driver κ.ά., 1994).
Να γίνει προσπάθεια να αποκαλυφθούν οι ιδέες των μαθητών αναφορικά με τη σχέση δύναμης-κίνησης. Ο κατάλογος με τις απόψεις που προτείνονται ως επιλογές στους μαθητές περιλαμβάνει τις επικρατέστερες αντιλήψεις όπως αυτές έχουν μέχρι σήμερα καταγραφεί με βάση τις σχετικές έρευνες όχι μόνο σε μικρά παιδιά αλλά ακόμη και σε φοιτητές δασκάλους Φυσικών Επιστημών (Nabilah, Marlina & Lilia, 2013, Atasoy, Küçük & Akdeniz, 2011).	Συχνά καταγράφεται ισχυρή ανάμεσα στους μαθητές η πεποίθηση ότι για να κινείται ένα σώμα πρέπει να επιδρά επάνω του κάποια δύναμη διαρκώς, προκειμένου αυτό να διατηρείται σε κίνηση (Gunstone & Watts, 1985). Πολλοί μαθητές θεωρούν την ακινησία ως μια φυσική κατάσταση των σωμάτων κατά την οποία καμιά δύναμη δεν επιδρά επάνω στα σώματα (Minstrell, 1982). Εκείνοι οι οποίοι αναγνωρίζουν κάποιο είδος «δύναμης συγκράτησης» διαφοροποιούν αυτές τις δυνάμεις από εκείνες που τραβούν ή σπρώχνουν τα σώματα. (Driver κ.ά., 1994).

Πίνακας 4.2: Επικρατέστερες αντιλήψεις σε σχέση με την έννοια της δύναμης, με βάση τη σχετική βιβλιογραφία.

Πρότερες Ιδέες	Επιστημονική Αντίληψη
Αν ένα σώμα κινείται, πάντοτε ασκείται πάνω του κάποια δύναμη (Driver κ.ά., 1994).	Με βάση τον 2ο Νόμο του Νεύτωνα: Αν ένα σώμα επιταχύνεται τότε ασκείται σε αυτό συνισταμένη δυνάμεων στην κατεύθυνση της κίνησης.
Οι δυνάμεις θέτουν σε κίνηση τα σώματα αλλά δεν τα σταματούν (Minstrell, 1989).	Αν επιβραδύνεται τότε ασκείται σε αυτό συνισταμένη δυνάμεων αντίθετη της κίνησης. Αν κινείται με σταθερή ταχύτητα τότε ή δεν ασκούνται σε αυτό δυνάμεις ή η συνισταμένη των δυνάμεων που του ασκούνται είναι μηδέν.
Αν σε ένα σώμα δεν ασκούνται δυνάμεις τότε το σώμα αυτό δεν κινείται (Driver κ.ά., 1994).	Με βάση τον 1ο Νόμο του Νεύτωνα: Αν ένα σώμα ηρεμεί, τότε η συνισταμένη των δυνάμεων που του ασκούνται είναι μηδενική.

<p>Η δύναμη αποτελεί ιδιότητα των σωμάτων και όχι αλληλεπίδραση μεταξύ των σωμάτων (Brown & Clement 1989, Dykstra, Boyle & Monarch, 1992).</p> <p>Τα σώματα σταματούν όταν εξαντλείται η δύναμη ή η ενέργεια μέσα σε αυτά (Driver κ.ά., 1994).</p> <p>Όλα τα κινούμενα σώματα κάποια στιγμή σταματούν (Driver κ.ά., 1994).</p> <p>Η δύναμη μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο (Brown & Clement, 1989).</p>	<p>Αρκετοί μαθητές χρησιμοποιούν την λέξη «δύναμη» ως κάτι που περιέχεται σε ένα αντικείμενο, όπως η έκφραση «έχει πολλή δύναμη». Ωστόσο, μια δύναμη δεν είναι κάτι που προέρχεται από το ίδιο το σώμα. Οφείλεται στην αλληλεπίδραση του σώματος με το περιβάλλον του.</p>
--	--

4.2.2 Τα αποτελέσματα της εκπαιδευτικής έρευνας

Με βάση τις επιλογές και τις απαντήσεις των μαθητών στα ερευνητικά εργαλεία αναφορικά με τις υπό μελέτη έννοιες, προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Ταχύτητα

Η πλειοψηφία των παιδιών (σε ποσοστό περίπου 60%) μπόρεσε να εκτιμήσει σωστά τα διαγράμματα κίνησης και να αντιληφθεί ότι μεγαλύτερες διανυόμενες αποστάσεις στον ίδιο χρόνο αντιστοιχούν σε μεγαλύτερη ταχύτητα ενώ ίσες διανυόμενες αποστάσεις στον ίδιο χρόνο αντιστοιχούν σε σταθερή ταχύτητα. Ωστόσο, ένα σημαντικό ποσοστό μαθητών (περίπου 40%) δεν κατάφερε να ερμηνεύσει σωστά τα διαγράμματα. Συγκεκριμένα, αρκετοί μαθητές δεν μπόρεσαν να διακρίνουν μεταξύ σταθερής και μεταβαλλόμενης ταχύτητας, με βάση τα διανυόμενα διαστήματα (σε ίσους χρόνους) μεταβλητού μήκους που τους παρουσιάστηκαν, ενώ κάποιοι δεν κατάφεραν καθόλου να αντιστοιχήσουν τα μεγάλα διανυόμενα διαστήματα με μεγαλύτερη ταχύτητα και τα μικρότερα διανυόμενα διαστήματα με μικρότερη ταχύτητα. Προκύπτει, επομένως, ότι αρκετοί είναι εκείνοι οι μαθητές που αδυνατούν να συνδέσουν το μέγεθος της ταχύτητας με το μέγεθος της διανυόμενης απόστασης (σε ίσα χρονικά διαστήματα), τουλάχιστον όταν η πληροφορία τους παρέχεται μέσω διαγραμμάτων.

Πολλοί από τους μαθητές που συμμετείχαν στην έρευνα (σε ποσοστό μεγαλύτερο από 40%) αποδίδουν σωστά την έννοια της ταχύτητας, ως το πόσο γρήγορα κινείται ένα σώμα, ωστόσο αρκετοί από αυτούς ισχυρίζονται ότι η έννοια της ταχύτητας δεν εμπεριέχει την κατεύθυνση της κίνησης. Το τελευταίο είναι μάλλον αναμενόμενο, δεδομένου ότι οι μαθητές δεν είχαν ακόμη διδαχθεί την έννοια των διανυσματικών

μεγεθών. Επιπλέον, ορισμένοι μαθητές (σε ποσοστό περίπου 10%) συσχετίζουν την έννοια της ταχύτητας με την γρήγορη κίνηση μόνο, ενώ κάποιοι (σε ποσοστό περίπου 10%) την ταυτίζουν με την έννοια της επιτάχυνσης. Αντιπροσωπευτικές διατυπώσεις μαθητών που παρατηρήθηκαν συχνότερα:

«Ταχύτητα σημαίνει ότι κάτι κινείται γρήγορα».

«Ταχύτητα δεν είναι μόνο η γρήγορη κίνηση αλλά και η αργή».

«Η ταχύτητα δεν έχει να κάνει με το προς τα πού πηγαίνει (το σώμα)».

Επιτάχυνση

Οι περισσότεροι μαθητές που έλαβαν μέρος στην έρευνα (σε ποσοστό μεγαλύτερο από 40%) αποδίδουν στην έννοια της επιτάχυνσης τη γρήγορη κίνηση (δηλαδή την κίνηση με μεγάλη ταχύτητα) αλλά, ταυτόχρονα, αναγνωρίζουν ορθά ως επιτάχυνση και το να «πηγαίνεις αργά και μετά γρηγορότερα» (70%). Αντιπροσωπευτικές διατυπώσεις των μαθητών στα διαγνωστικά φύλλα που τους δόθηκαν:

«Επιτάχυνση είναι όταν κάτι πάει πολύ γρήγορα».

«Επιτάχυνση είναι όταν κάτι πηγαίνει πολύ αργά και μετά πηγαίνει πιο γρήγορα και έχει σταθερή, γρήγορη ταχύτητα».

«Χωρίς επιτάχυνση δεν υπάρχει ταχύτητα και το αντίθετο».

Μόνο το 10% των μαθητών της έρευνας συνέδεσε την επιτάχυνση με αλλαγές στην κατεύθυνση της κίνησης, κάτι το οποίο φαίνεται λογικό αφού και με βάση τις επιλογές τους στο διερευνητικό εργαλείο που πραγματεύεται την έννοια της ταχύτητας, οι μαθητές φάνηκε να αγνοούν τον διανυσματικό χαρακτήρα αυτών των μεγεθών. Κανένας από τους μαθητές της έρευνας δεν θεωρεί επιτάχυνση το να μειώνει ένα σώμα την ταχύτητα του, γεγονός που δηλώνει ότι η έννοια της επιτάχυνσης είναι συνδεδεμένη μόνο με την αύξηση της ταχύτητας σε σχέση με το χρόνο και όχι γενικά με τη μεταβολή της.

Τέλος, ορισμένες διατυπώσεις φανερώσουν σύγχυση των εννοιών, όπως:

«Επιτάχυνση είναι η σταθερή επιτάχυνση: ούτε πολύ γρήγορη ούτε πολύ αργή».

«Επιτάχυνση είναι η απότομη ταχύτητα».

Μάζα και Βάρος

Η πλειοψηφία των μαθητών της έρευνας (σε ποσοστό περίπου 60%) δεν αναγνωρίζει

τη μάζα ως μια αναλλοίωτη ιδιότητα των σωμάτων αλλά υιοθετεί την ιδέα ότι η μάζα αλλάζει όταν μεταβάλλεται το σχήμα του σώματος. Πολλοί από τους μαθητές της έρευνας διατύπωσαν την άποψη ότι η μάζα ενός σώματος μεταβάλλεται καθώς ένα σώμα παραμορφώνεται ώστε να αυξηθεί ο όγκος του ή η επιφάνεια του.

Διατυπώσεις μαθητών που ήταν οι πιο αντιπροσωπευτικές των ιδεών τους:

«Η μάζα αραιώνεται όταν η επιφάνεια (της ζύμης μεγαλώνει)»

«Όσο μεγαλώνει η ζύμη η μάζα της μειώνεται»

«Η μάζα της ζύμης αυξάνεται αφού αυτή απλώνει»

«μακριά ζύμη.. μεγάλη μάζα»

«Η μάζα αραιώνεται όταν η επιφάνεια μεγαλώνει»

«Όταν η ζύμη τεντωθεί η μάζα μεγαλώνει»

«Μάζα σημαίνει κυρίως το μέγεθος»

«Η μάζα της ζύμης αυξάνεται αφού αυτή απλώνει»

Από την άλλη μεριά, οι διατυπώσεις ορισμένων μαθητών της έρευνας σε σχέση με το βάρος αποκαλύπτουν ότι κάποιοι αναγνωρίζουν το βάρος ως τη δύναμη με την οποία η γη έλκει τα σώματα, αλλά και πάλι θεωρούν ότι το βάρος ενός σώματος μεταβάλλεται όταν μεταβληθεί το σχήμα του (σε ποσοστό περίπου 70%). Δύο μόνο μαθητές συσχέτισαν το βάρος ενός σώματος με τη μάζα του, ενώ οι περισσότεροι συνέδεσαν το βάρος με το σχήμα του σώματος κατά τα ακόλουθα:

«Αφού τεντώνεται η ζύμη το βάρος δεν συγκεντρώνεται μόνο σε ένα σημείο και έτσι γίνεται ελαφρύτερη».

«Το βάρος μειώνεται αφού το ζυμάρι γίνεται πολύ λεπτό».

«Το ζυμάρι τεντώνεται λεπταίνει και γίνεται ελαφρύ».

«Το βάρος απλώνεται (και μικραίνει) καθώς μεγαλώνει η επιφάνεια της ζύμης».

«Το βάρος αλλάζει (μειώνεται) γιατί μοιράζεται στα διάφορα σημεία της επιφάνειας».

Δυνάμεις

Ένα μεγάλο ποσοστό των μαθητών που συμμετείχαν στην έρευνα (λίγο μεγαλύτερο από 40%) αναγνωρίζει το σπρώξιμο και το τράβηγμα ως μοναδικά είδη δυνάμεων, ενώ

ένα εξίσου σημαντικό ποσοστό των μαθητών αυτών (γύρω στο 40%) πιστεύει ότι υπάρχει και ένα ακόμη τρίτο είδος δύναμης που συγκρατεί τα σώματα στη θέση τους:

«...Αλλά υπάρχει και μια δύναμη με την οποία μένεις στο ίδιο σημείο».

«Υπάρχει και ένα άλλο είδος δύναμης που απλά συγκρατεί τα αντικείμενα στη θέση τους».

Ορισμένοι από τους μαθητές (σε ποσοστό περίπου 10%) δεν αντιλαμβάνονται καν τη δύναμη ως σπρώξιμο ή τράβηγμα.

Επιπλέον, η πλειοψηφία των μαθητών της έρευνας (σε ποσοστό περίπου 60%) αντιλαμβάνεται τη δύναμη μόνο ως αποτέλεσμα της επαφής δύο σωμάτων. Χαρακτηριστική είναι η απάντηση μαθήτριας με την παραπάνω άποψη, η οποία έδωσε την ακόλουθη αιτιολόγηση:

«Οι μαγνήτες για να κολλήσουν πρέπει να ακουμπήσουν μεταξύ τους»

Τέλος, περίπου ένας μόνο στους τέσσερις μαθητές της έρευνας αντιλαμβάνεται τις δυνάμεις ως αποτέλεσμα δράσης και από απόσταση.

Αναφορικά με το πώς συσχετίζουν οι μαθητές την έννοια της δύναμης με την κίνηση, προκύπτει ότι οι ιδέες που υιοθετούν ελάχιστα προσεγγίζουν την επιστημονική γνώση. Συγκεκριμένα, μεταξύ των μαθητών της έρευνας φάνηκε να επικρατεί η άποψη ότι στα κινούμενα σώματα πάντοτε ασκείται μια δύναμη (σε ποσοστό περίπου 90%) καθώς και ότι τα σώματα δεν δέχονται δυνάμεις όταν είναι ακίνητα (σε ποσοστό περίπου 50%). Διατυπώσεις ανάλογες με τις παρακάτω συναντήθηκαν συχνότερα:

«Όταν ένα σώμα κινείται, μόνον τότε ασκείται πάνω του κάποια δύναμη» και

«Αν κάτι δεν το σπρώξεις δεν κινείται».

Γενικότερα, οι μαθητές που έλαβαν μέρος στην έρευνα φάνηκε να συνδέουν την ύπαρξη κίνησης με την ύπαρξη δύναμης ενώ την απουσία δύναμης με την απουσία κίνησης. Επιπλέον, αρκετοί από τους μαθητές της έρευνας θεωρούν ότι σταθερή δύναμη συνεπάγεται κίνηση με σταθερή ταχύτητα (σε ποσοστό περίπου 60%). Χαρακτηριστικό ήταν το σχετικό παράδειγμα μαθήτριας:

«Όταν πατάς σταθερά το γκάζι τότε και η ταχύτητα του αυτοκινήτου είναι σταθερή».

Μόνο ένας στους τρεις μαθητές της έρευνας πιστεύει ότι μπορεί να υπάρχει κίνηση σε ευθεία γραμμή χωρίς την επίδραση δύναμης στο κινούμενο σώμα. Οι παραπάνω ιδέες

αντικατοπτρίζουν τη λεγόμενη «Αριστοτελική σκέψη» σύμφωνα με την οποία κάθε «βίαιη κίνηση» προϋποθέτει την ύπαρξη δύναμης. Εδώ, οι φυσικές κινήσεις (των βαριών σωμάτων προς τα κάτω, των ελαφριών προς τα πάνω και των ουράνιων σε κύκλους) δεν απαιτούσαν δυνάμεις. Οι ιδέες αυτές, καθώς και άλλες που εμφανίσθηκαν κατά την περίοδο της επιστημονικής επανάστασης (όπως το ότι οι «κινητήριες δυνάμεις» είναι διαφορετικής φύσης από τις «δυνάμεις ισορροπίας») απορρίφθηκαν σταδιακά, αρχικά από τον Γαλιλαίο, ο οποίος πρώτος πρότεινε την κυκλική κίνηση με σταθερή ταχύτητα ως την φυσική κίνηση των σωμάτων (κίνηση που δεν χρειάζεται δύναμη για να πραγματοποιηθεί). Η θεωρία της μηχανικής ολοκληρώθηκε όταν ο Νεύτωνας ισχυρίστηκε ότι μόνο η αλλαγή της κινητικής κατάστασης ενός σώματος απαιτεί την παρουσία μιας συνισταμένης δύναμης στο σώμα και διατύπωσε και τη γνωστή ποσοτική σχέση (Keeley & Harrington, 2010).

Τέλος, οι περισσότεροι μαθητές που συμμετείχαν στην έρευνα (σε ποσοστό 70%) αντιλαμβάνονται τη δύναμη ως ένα είδος εσωτερικής ενέργειας που όταν εξαντληθεί, το σώμα θα σταματήσει να κινείται. Η αντίληψη αυτή απέχει πολύ από την επιστημονική θεώρηση της δύναμης ως αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης μεταξύ σωμάτων. Απόψεις των μαθητών αναφορικά με τη σχέση δύναμης και κίνησης που συναντήθηκαν συχνότερα, με παρόμοιες μεταξύ τους διατυπώσεις ήταν οι εξής:

«Για να κινηθεί ένα σώμα χρειάζεται δύναμη και ενέργεια και όταν αυτή εξαντληθεί τότε θα σταματήσει να κινείται».

«Ένα σώμα για να κινείται χρειάζεται να του ασκείται μια δύναμη κι όταν αυτή εξαντλείται το σώμα σταματάει να κινείται».

«Ο άνθρωπος πρέπει να έχει δύναμη για να ασκείται και να κινηθεί».

«Η κίνηση εξαρτάται από τη δύναμη που έχει ένα σώμα».

«Αναλόγως το πόσο αργά ή γρήγορα κινείται ένα σώμα τόσο πιο γρήγορα ή αργά εξαντλείται η ενέργεια του».

«Δύναμη έχουν όλα τα σώματα».

«Δεν νομίζω ότι πρέπει να ακουμπάνε (δύο σώματα) για να υπάρξει δύναμη. Και ένα αντικείμενο μόνο του θα έχει δύναμη.»

Από τις παραπάνω διατυπώσεις αλλά και άλλες ακόμη φάνηκε ότι οι μαθητές έχουν την τάση να συγχέουν την έννοια της δύναμης με την ενέργεια, υπό την έννοια της δράσης:

«Δύναμη είναι μια ενέργεια που ασκούμε».

«Δύναμη είναι η ενέργεια που ασκούμε για να κάνουμε μια κίνηση».

Τέλος συναντήθηκαν διατυπώσεις που φανερώνουν την αντίληψη ότι μόνο τα άψυχα αντικείμενα χρειάζεται να δεχθούν δύναμη προκειμένου να κινηθούν, όπως:

«Τα άψυχα αντικείμενα χρειάζονται δύναμη για να κινηθούν, οι άνθρωποι όχι» και

«Οι ζωντανοί οργανισμοί κινούνται και χωρίς να τους ασκηθεί δύναμη ενώ τα άψυχα αντικείμενα κινούνται μόνο αν τους ασκηθεί δύναμη».

4.3 Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της έρευνας συμφωνούν, σε γενικές γραμμές, με τα ευρήματα της σχετικής βιβλιογραφίας και αποτελούν ένδειξη ότι τα παιδιά που εισάγονται στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση έχουν ήδη διαμορφώσει κάποιες ιδέες σε σχέση με τις βασικές έννοιες της Κλασσικής Μηχανικής, προτού διδαχθούν τις έννοιες αυτές μέσα στο επίσημο πλαίσιο της σχολικής επιστήμης. Οι ιδέες αυτές φαίνονται να διαμορφώνονται ως αποτέλεσμα συγκερασμού των ερμηνειών που δίνουν τα παιδιά στα φαινόμενα της καθημερινότητας τους, στις σημασίες που έχουν οι έννοιες στη φυσική γλώσσα των παιδιών, καθώς και σε αποσπασματικές γνώσεις που αυτά λαμβάνουν, είτε στο σχολείο είτε αλλού και σε πολλές περιπτώσεις απέχουν πολύ από την ορθή επιστημονική γνώση.

Με βάση τα παραπάνω, διαφαίνεται η σημασία της αναζήτησης διδακτικών προσεγγίσεων για τον μετασχηματισμό αυτών των ιδεών σε επιστημονικά στέρεες θεωρήσεις. Έννοιες όπως οι Δυνάμεις, η Ταχύτητα, η Επιτάχυνση, η Μάζα και η Ενέργεια, που αποτελούν το «λεξιλόγιο» της Κλασσικής Μηχανικής, είναι μη ορατές στο μαθητή και έχει αξία να επιχειρηθεί η «οπτικοποίηση» τους ή/και των αποτελεσμάτων τους μέσα σε κατάλληλα ρεαλιστικά ψηφιακά περιβάλλοντα για την συστηματική διδασκαλία θεμελιωδών εννοιών της Φυσικής στις επόμενες σχολικές βαθμίδες.

Κεφάλαιο 5

Σύγχρονες Διδακτικές Πρακτικές για την Κίνηση και τη Δύναμη

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται, ως αποτέλεσμα βιβλιογραφικής έρευνας, σύγχρονες διδακτικές προσεγγίσεις που στοχεύουν στην γνωστική πρόοδο των μαθητών αναφορικά με θεμελιώδεις έννοιες σχετικές με την κίνηση και τη δύναμη. Ακολούθως και με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, αναδεικνύονται τα κυρίαρχα χαρακτηριστικά των παραπάνω προσεγγίσεων, τα περισσότερα από τα οποία αξιοποιήθηκαν και συνδυάστηκαν στη συνέχεια ώστε να δομηθεί η διδακτική προσέγγιση που προτείνει η παρούσα έρευνα.

5.1 Μέθοδος βιβλιογραφικής έρευνας

Προκειμένου να εντοπιστούν σύγχρονες εκπαιδευτικές προσεγγίσεις για γνωστική πρόοδο σε σχέση με την κίνηση και τη δύναμη διερευνήθηκαν αξιολογημένα (peer-reviewed) άρθρα και κεφάλαια βιβλίων τα οποία i) πραγματεύονται το ζήτημα της γνωστικής πρόοδου σε σχέση με θεμελιώδεις έννοιες της κλασικής Μηχανικής ii) εισάγουν διδακτικές στρατηγικές που στοχεύουν στη βελτίωση της επιστημονικής γνώσης των μαθητών για θεμελιώδεις έννοιες σχετικές με την κίνηση και τη δύναμη.

Η αναζήτηση έγινε στις βάσεις δεδομένων ERIC, Scopus και Teacher Reference Center, επιλέγοντας τα ακόλουθα κριτήρια αναζήτησης: “conceptual change” AND (force/”force and motion” OR/AND “Newton’s laws”). Η αναζήτηση αυτή κατέληξε σε ένα σύνολο 125 αναφορών. Στα παραπάνω αποτελέσματα προστέθηκαν και 3 ακόμη άρθρα από το αρχείο της ερευνήτριας. Στη συνέχεια οι 128 αυτές έρευνες μελετήθηκαν και εφαρμόστηκαν περαιτέρω κριτήρια επιλογής. Σύμφωνα με τα επιπλέον κριτήρια αναζητήθηκαν εργασίες οι οποίες :

- προτείνουν και εφαρμόζουν μια συγκεκριμένη διδακτική προσέγγιση για γνωστική πρόοδο σε σχέση με τη δύναμη και την κίνηση,
- επιδεικνύουν ένα βαθμό πρωτοτυπίας σε σχέση με παραδοσιακές διδακτικές πρακτικές,
- είναι εφαρμόσιμες μέσα στο περιβάλλον της σχολικής τάξης.

Τελικά, με βάση τα προαναφερθέντα κριτήρια, επιλέχθηκαν να παρουσιαστούν επτά διδακτικές προσεγγίσεις οι οποίες εκτιμήθηκε ότι εμφανίζουν συνολικά μια ποικιλία, αναφορικά με τις υιοθετούμενες ερευνητικές μεθόδους, τα εργαλεία και τα ερευνητικά τους αποτελέσματα.

5.2 Διδακτικές προσεγγίσεις

5.2.1 Ένα μαθησιακό περιβάλλον με βάση στο πείραμα

Το 2001 οι Vosniadou κ.ά. (2001) επιχείρησαν να δομήσουν ένα μαθησιακό περιβάλλον Φυσικής για μαθητές της Πέμπτης και Έκτης Δημοτικού σχολείου στην Ελλάδα. Η έρευνα αυτή αποτέλεσε τμήμα ενός μεγαλύτερου έργου που είχε ως στόχο του την ανάπτυξη και τον έλεγχο περιβαλλόντων μάθησης για την προώθηση της επιστήμης στο Δημοτικό σχολείο. Η έρευνα αυτή επιχείρησε να αξιοποιήσει τα αποτελέσματα προηγούμενων μελετών για τη δόμηση της έννοιας της Δύναμης και ταυτόχρονα να στηριχθεί σε βασικές αρχές διερευνητικής μάθησης: ενεργή επεξεργασία της γνώσης, εγκαθιδρυμένη μάθηση σε πλαίσια του πραγματικού κόσμου, εξατομικευμένη μάθηση με βάση τις δυνατότητες και αδυναμίες του κάθε μαθητή, έμφαση στην μεταγνωστική επίγνωση και δόμηση ευρύτερων επεξηγηματικών πλαισίων με μεγαλύτερη συστηματικότητα, συνοχή και επεξηγηματική ισχύ. Το πρόγραμμα της έρευνας σχεδιάστηκε ώστε να βοηθήσει τους μαθητές να αναπτύξουν ξεκάθαρες αντιλήψεις για τις έννοιες της Δύναμης και της Ενέργειας.

Η διδακτική παρέμβαση διήρκησε οκτώ εβδομάδες (8 διδακτικές ώρες των 90 λεπτών). Στην έρευνα έλαβαν μέρος 25 μαθητές οι οποίοι εργάστηκαν ανά πέντε, σε ομάδες. Οι μαθητές συμμετείχαν σε πειράματα όπου οι ίδιοι λάμβαναν μετρήσεις του μέτρου της δύναμης για διάφορα είδη δυνάμεων. Οι μαθητές ενεπλάκησαν και στην κατασκευή δυναμόμετρου με στόχο να αντιληφθούν την έννοια της δύναμης ως μια μετρήσιμη αλληλεπίδραση μεταξύ των σωμάτων και όχι ως μια εγγενή ιδιότητα των σωμάτων. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν συμβολικές αναπαραστάσεις της Δύναμης και της Ενέργειας. Για το σκοπό αυτό, τα διανύσματα χρησιμοποιήθηκαν τόσο ως γραφικές αναπαραστάσεις των δυνάμεων όσο και ως τρισδιάστατα φυσικά αντικείμενα που κατασκευάστηκαν από χαρτόνι και τοποθετήθηκαν σε διάφορες περιπτώσεις επάνω στα σώματα για να οπτικοποιηθούν σε κάθε περίπτωση οι παρούσες δυνάμεις. Με όμοιο τρόπο χρησιμοποιήθηκαν κίτρινα αυτοκόλλητα για να αναπαραστήσουν τις μονάδες ενέργειας. Τα αυτοκόλλητα κολλήθηκαν σε ένα κομμάτι χαρτόνι για να δηλώσουν τα ενεργειακά αποθέματα ενός αντικειμένου και μεταφέρονταν στη συνέχεια από τα

ενεργειακά αποθέματα του ενός αντικειμένου στο άλλο για να δηλώσουν τη μεταφορά της ενέργειας. Κάτω από το ίδιο σκεπτικό κατασκευάστηκε από χαρτόνι και ένα «μοντέλο Τριβής» για να αναπαραστήσει σε μεγέθυνση, τις ανωμαλίες των επιφανειών επαφής μεταξύ ενός κινούμενου αντικειμένου (πχ ένα τούβλο) και μιας επιφάνειας στήριξης (πχ. Ένα τραπέζι).

Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής φανέρωσαν μια σημαντική αύξηση ορθών επιστημονικά απαντήσεων από τους μαθητές που παρακολούθησαν την παρέμβαση (πειραματική ομάδα) έναντι των μαθητών που έλαβαν παραδοσιακή διδασκαλία (ομάδα ελέγχου), οι οποίοι επέδειξαν μικρή ή και καμία γνωστική πρόοδο. Με βάση τα παραπάνω ευρήματα, οι ερευνητές τονίζουν επίσης τη σημασία της επεξήγησης και ερμηνείας των εννοιών από τους ίδιους τους μαθητές ως ένα μηχανισμό επέκτασης των ωφελειών της αυτό-ερμηνείας και της προώθησης βαθύτερης κατανόησης και γνωστικής αλλαγής. Ο δάσκαλος αναφέρεται επίσης στο επίκεντρο της μαθησιακής διαδικασίας: αντί να παρουσιάζει απλά το επιστημονικό μοντέλο πρέπει να επινοεί τρόπους και τεχνικές να εγείρει τις πρότερες ιδέες των μαθητών και στη συνέχεια να τις χρησιμοποιεί για να προχωρεί μέσα από διάλογο σε μια «διαπραγμάτευση περιεχομένου» η οποία, σύμφωνα με τους ερευνητές, αποτελεί προϋπόθεση για βαθύτερη κατανόηση των παραπάνω εννοιών και γνωστική πρόοδο.

5.2.2 Μια ανεστραμμένη προσέγγιση επαγωγικής σκέψης

Οι Lee και Park (Lee & Park, 2013) επιχείρησαν να διερευνήσουν την αποτελεσματικότητα της εφαρμογής του δεύτερου νόμου του Νεύτωνα σε προβλήματα Φυσικής αντιστρέφοντας την παραδοσιακή διδακτική διαδικασία. Για το σκοπό αυτό, υιοθέτησαν μια προσέγγιση επαγωγικής σκέψης με βάση την ληφθείσα επιστημονική πληροφορία. Συγκεκριμένα, οι ερευνητές προτείνουν μια αναστροφή της παραδοσιακής διδασκαλίας του 2^{ου} νόμου του Νεύτωνα, κατά την οποία παρουσιάζονται αρχικά οι δυνάμεις που επιδρούν στο υπό μελέτη σώμα και έπειτα, με βάση τη συνισταμένη δύναμη, οι μαθητές προβλέπουν πώς θα κινηθεί το σώμα αυτό. Αντί αυτού, καλούν τους μαθητές να αναγνωρίσουν τη συνισταμένη δύναμη που επιδρά στο σώμα παρατηρώντας την αλλαγή στην κινητική κατάσταση του.

Οι ερευνητές ανέπτυξαν, για το σκοπό αυτό, κάποια φύλλα εργασίας για διαφορετικά είδη κινήσεων, τα οποία ζητούσαν επεξήγηση κάνοντας επαγωγικές σκέψεις (deductive explanation tasks, DETs) και τα οποία δομήθηκαν με βάση το μοντέλο D–N των Park και Han (Park & Han, 2002). Τα τεστ αξιολόγησης που διενεργήθηκαν πριν και μετά

από την εφαρμογή των φύλλων εργασίας στους μαθητές τόσο της πειραματικής ομάδας (64 μαθητές 11^{ης} τάξης) όσο και της ομάδας ελέγχου (64 μαθητές 11^{ης} τάξης) έδειξαν ότι η επεξήγηση επαγωγικής σκέψης μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να βελτιώσουν τη γνώση τους αλλά και τη στάση τους απέναντι στη Φυσική γενικότερα. Με βάση τα αποτελέσματα της εν λόγω έρευνας, οι ερευνητές τονίζουν ότι, σε ορισμένες περιπτώσεις, η αδυναμία των μαθητών για γνωστική αλλαγή οφείλεται στην έλλειψη πιο γενικών δεξιοτήτων και τμημάτων γνώσης, όπως η χαμηλή κατανόηση επιστημονικού λεξιλογίου, η έλλειψη ικανότητας αποκωδικοποίησης γραπτών κειμένων Φυσικής, η έλλειψη εξοικείωσης με την εφαρμογή επιστημονικής ερμηνείας για μια κατάσταση του πραγματικού κόσμου (πχ η κίνηση ενός κέρματος πάνω σε μια επιφάνεια) αλλά και θεμελιώδους σημασίας κενά στις γνώσεις τους, όπως η αναπαράσταση της κατεύθυνσης των διανυσμάτων με βέλη.

5.2.3 Σωματοποιημένη μάθηση που βασίζεται σε κιναισθητικές δραστηριότητες

Οι Halim κ.ά. (2014) επικεντρώθηκαν στην αναπαράσταση των δυνάμεων με βέλη και στην ικανότητα της να διευκολύνει την κατανόηση των βασικών χαρακτηριστικών της Δύναμης από τους μαθητές. Υπό το πρίσμα αυτό, πραγματοποίησαν μια παρέμβαση βασισμένη στην ενεργό μάθηση. Η έρευνα πεδίου διεξήχθη σε 23 μαθητές δεκαέξι ετών στο Σέλανγκορ (Selangor) της Μαλαισίας.

Η ίδια η παρέμβαση συνίστατο στην εισαγωγή βασικών εννοιών της Δύναμης, όπως η "δύναμη επαφής" και η "δύναμη πεδίου", δίνοντας έμφαση στην αντίστοιχη αναπαράστασή τους με βέλη, τα οποία εκκινούν κάθε φορά από διαφορετικά σημεία. Διερευνήθηκαν πέντε διαφορετικά σενάρια, καθένα από τα οποία αντιστοιχούσε και σε μια διαφορετική κατάσταση δυνάμεων σε ισορροπία: ένα βιβλίο που στηρίζεται σε ένα τραπέζι, ένας άνθρωπος που πιέζει έναν τοίχο, ένας αλεξιπτωτιστής που πέφτει με σταθερή ταχύτητα, ένα αεροπλάνο που κινείται με σταθερή ταχύτητα και τέλος, ένας πίνακας ζωγραφική που είναι κρεμασμένος στον τοίχο.

Οι μέθοδοι διδασκαλίας που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των δυνάμεων ήταν η επίδειξη και κάποια βίντεο κινούμενων σχεδίων. Αναλογίες με τη μορφή επίδειξης, οι οποίες ενέπλεκαν τους μαθητές σε σωματοποιημένη συμμετοχή, χρησιμοποιήθηκαν για τις περιπτώσεις i) και ii). Για τις περιπτώσεις iii) και v) χρησιμοποιήθηκαν προβολές κινούμενων σχεδίων για την αναπαράσταση των αντικειμένων υπό μελέτη. Τα κινούμενα σχέδια καθοδηγούνταν από προγραμματισμένες ερωτήσεις προκειμένου να προκαλέσουν τη σκέψη των μαθητών

σχετικά με την κάθε περίπτωση. Για την κατάσταση iv) μια αναλογία με ένα δακτύλιο σε ισορροπία που κρέμεται από μία κλωστή και ταυτόχρονα τραβιέται από ένα σύστημα τεσσάρων ελατηρίων χρησίμευσε για την προσομοίωση της κατάστασης ενός αεροπλάνου που κινείται με σταθερή ταχύτητα. Οι μεταβολές στην κατάσταση ισορροπίας του δακτυλίου με την αλλαγή των ζευγών αντίθετων δυνάμεων οδηγούσαν σε κίνηση του δακτυλίου με σταθερή ταχύτητα. Για να εκτιμηθεί η ικανότητα των μαθητών να σχεδιάζουν δυνάμεις ως βέλη με σωστή κατεύθυνση και σωστό σημείο εφαρμογής, διενεργήθηκαν γραπτές δοκιμασίες πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση. Τα αποτελέσματα των τεστ έδειξαν σημαντική βελτίωση στην κατανόηση των μαθητών, επιβεβαιώνοντας έτσι τα θετικά αποτελέσματα της εμπλοκής των μαθητών σε ενσωματωμένες δραστηριότητες.

Ένα άλλο ενδιαφέρον συμπέρασμα ήταν ότι οι μαθητές κατέδειξαν δυσκολίες στην σωστή αναγνώριση του μεγέθους των δυνάμεων που ασκούνται στα σώματα σε ισορροπία. Οι συγγραφείς υποθέτουν ότι αυτή η δυσκολία οφείλεται στο γεγονός ότι οι δυνάμεις δεν είναι ορατές και ως εκ τούτου η εκτίμηση του μεγέθους τους απαιτεί «επίσημη σκέψη». Για το σκοπό αυτό, προτείνεται να δοθεί έμφαση στην ρητή αναφορά του μεγέθους της δύναμης σε κάθε κατάσταση χρησιμοποιώντας ένα κατάλληλο εργαλείο.

5.2.4 Μια στρατηγική διδασκαλίας βασισμένη στις κιναισθητικές δραστηριότητες

Στο ίδιο σχεδόν κονστρουκτιβιστικό πνεύμα, μια διαφορετική προσέγγιση προτάθηκε από τον Bruun & Christiansen (2014). Σύμφωνα με τους συγγραφείς, πρόσφατες έρευνες έχουν αναφέρει σημαντικά οφέλη από τη χρήση των δραστηριοτήτων κιναισθητικής μάθησης στην κατανόηση των επιστημονικών εννοιών. Οι συγγραφείς δηλώνουν ότι «οι παρερμηνείες των μαθητών προέρχονται από ανακριβή διαισθητική κατανόηση των φυσικών εννοιών, παρότι είναι εξοικειωμένοι με τη φαινομενολογική εμπειρία αυτών των εννοιών στην πράξη». Από την άποψη αυτή, υποστηρίζουν ότι η συστηματική ενσωμάτωση τέτοιων οικείων, καθημερινών κιναισθητικών εμπειριών στη διδασκαλία της Φυσικής θα μπορούσε να χρησιμεύσει στη δημιουργία εννοιολογικών δομών πιο σταθερών σε διαφορετικά πλαίσια και περισσότερο ευθυγραμμισμένων με την επίσημη σχολική Φυσική, σε σύγκριση την παραδοσιακή διδασκαλία.

Μέσα σε αυτό το πνεύμα, η μελέτη υιοθετεί τη σχηματική αναπαράσταση προσπάθειας-αντίστασης-ροής (effort-resistance-flow) (DiSessa, 1993) ως κεντρικό στοιχείο για τη διδασκαλία εννοιών της Μηχανικής, προκειμένου να δομήσει ένα διδακτικό πλαίσιο

βασισμένο στη Θεωρία των Διδακτικών Καταστάσεων (Theory of Didactical Situations, TDS) (Brousseau, 1997), ως βάση για τη συσχέτιση των σωματικών εμπειριών των μαθητών με την επίσημη Νευτώνεια έννοια της δύναμης. Μαθητές ανώτερης Δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης έλαβαν μέρος σε αυτή τη διδακτική προσέγγιση, σε ομάδες των τριών. Στους μαθητές διατέθηκαν ορισμένα υλικά τα οποία αποτελούσαν τις διδακτικές μεταβλητές (σχοιριά, λαβές, πλάκες, φύλλα εργασίας) και στη συνέχεια αυτοί κλήθηκαν να εκτελέσουν δραστηριότητες κιναισθητικής μάθησης ενώ ταυτόχρονα συζητούσαν και κατέγραφαν i) περιγραφές των δραστηριοτήτων που πραγματοποιούσαν, ii) τις φυσικές έννοιες που αυτοί πίστευαν ότι ήταν σχετικές με αυτές τις δραστηριότητες και iii) τις ερμηνείες τους για το πώς αυτές οι έννοιες σχετίζονταν με τις σωματικές τους εμπειρίες.

Μεταξύ άλλων, οι συγγραφείς υπογράμμισαν τη σημασία του ρόλου του δασκάλου, ο οποίος: εστιάζει στις εξηγήσεις των μαθητών, χρησιμοποιεί βασικά σημεία αυτών των εξηγήσεων για να κάνει γενικεύσεις και να προβάλλει τις ιδέες τους στην επίσημη γλώσσα της Φυσικής, να παρέχει κατευθυντήριες ερωτήσεις, να επικυρώνει τους συλλογισμούς τους και να τους δίνει έγκαιρα εξηγήσεις. Οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι, γενικά, οι περισσότεροι μαθητές είναι σε θέση να χρησιμοποιούν τέτοιες δραστηριότητες για να εμπλέκονται σε μεταξύ τους συζητήσεις σχετικές με το διδακτικό περιεχόμενο και ότι, επιπλέον, οι μαθητές υιοθετούν θετική στάση απέναντι σε αυτή τη διαδικασία. Ο απώτερος στόχος μιας τέτοιας προσέγγισης είναι για τους μαθητές να διαμορφώνουν οι ίδιοι τη γνώση τους καθώς την δομούν, μέσω της εμπειρίας, της συζήτησης, του σχεδιασμού και της καταγραφής των ιδεών τους. Κατά παρόμοιο τρόπο, οι εκπαιδευτικοί χρειάζεται να σχεδιάζουν εμπειρίες που θα επιτρέπουν στους μαθητές να φτάνουν σε υψηλότερο επίπεδο αφαίρεσης από την ίδια την κιναισθητική δραστηριότητα και να συσχετίζουν αυτές τις εμπειρίες με την επίσημη γνώση της Φυσικής.

5.2.5 Αντιμετωπίζοντας τις πρότερες ιδέες με τη βοήθεια της τεχνολογίας των υπολογιστών

Για πολλά χρόνια, οι προσομοιώσεις υπολογιστών χρησιμοποιήθηκαν ως εργαλεία μάθησης και σε πολλές περιπτώσεις αποδείχθηκαν πολύ πιο αποτελεσματικές από τις παραδοσιακές μεθόδους μάθησης για τη διδασκαλία επιστημονικών εννοιών (Hewson, 1985, Novak, Gowin & Johansen, 1983, Thornton & Sokoloff, 1990, 1998). Επιπλέον, η χρήση πολυδιάστατων μαθησιακών περιβαλλόντων συμβάλλει στη βελτίωση των

κινήτρων των μαθητών, ενώ η οπτικοποίηση των φυσικών και χημικών διαδικασιών, ενθαρρύνει περαιτέρω την εννοιολογική κατανόηση (Trindade, Fiolhais & Almeida, 2002). Συγκεκριμένα, η προοπτική της αξιοποίησης υπολογιστικών προσομοιώσεων ως μέσων αντιμετώπισης των ιδεών των μαθητών σε σχέση με την Κίνηση και τη Δύναμη έχει επίσης αποτελέσει αντικείμενο έρευνας.

Με αυτή τη λογική, οι Jimoyiannis, Mikropoulos και Ravanis (2000) χρησιμοποίησαν προσομοιώσεις ηλεκτρονικών υπολογιστών για να εξετάσουν τη γνωστική πρόοδο των Ελλήνων μαθητών σε σχέση με τις έννοιες της ταχύτητας και της επιτάχυνσης, οι οποίες θεωρούνται θεμελιώδεις για την κατανόηση των νόμων του Νεύτωνα. Η έρευνα διεξήχθη σε 57 μαθητές στην Α΄ τάξη ενός Λυκείου του Νομού Ιωαννίνων. Η έρευνα στόχευε στην ανάδειξη και τη μελέτη των πιο κοινών αντιλήψεων των μαθητών σχετικά με την ταχύτητα και την επιτάχυνση. Επιπλέον, η συγκεκριμένη έρευνα εξέτασε την επίδραση των υπολογιστικών προσομοιώσεων στην κατανόηση των εννοιών αυτών από τους μαθητές. Ο έλεγχος έγινε με τη χρήση ίδιων τεστ αξιολόγησης πριν και μετά από τη διδακτική προσέγγιση (pre/post-tests). Οι συνηθέστερες σχετικές αντιλήψεις με βάση τη σχετική βιβλιογραφία επιβεβαιώθηκαν από τα αποτελέσματα της έρευνας: η σύγχυση των εννοιών θέσης και ταχύτητας καθώς και μέσης και στιγμιαίας ταχύτητας αλλά και η αδυναμία διάκρισης μεταξύ ταχύτητας και επιτάχυνσης.

Κατά την έναρξη της έρευνας, οι μαθητές κλήθηκαν να απαντήσουν σε συγκεκριμένες ερωτήσεις σχετικά με ένα σύνολο «εργασιών-πειραμάτων», αξιολογώντας, εξηγώντας και δικαιολογώντας τις απαντήσεις τους σε σχέση με απλές φυσικές διαδικασίες αναφορικά με τις έννοιες της ταχύτητας και της επιτάχυνσης.

Δεκαπέντε μέρες αργότερα και χωρίς καμία ενδιάμεση διδασκαλία, οι μαθητές δούλεψαν ατομικά σε προσομοιώσεις των εργασιών που μελετήθηκαν. Στη συνέχεια, τους ζητήθηκε να απαντήσουν στις ίδιες ερωτήσεις που τους δόθηκαν αρχικά. Τα πειράματα προσομοίωσης σχεδιάστηκαν με το περιβάλλον Interactive Physics, ένα δισδιάστατο εικονικό εργαστήριο Φυσικής και αφορούσαν στη μελέτη των ακόλουθων καταστάσεων: i) δύο αντικείμενα κινούμενα με σταθερή ταχύτητα ii) ένα αντικείμενο κινούμενο με σταθερή ταχύτητα και ένα αντικείμενο το οποίο επιβραδύνεται ομαλά iii) δύο αντικείμενα τα οποία επιταχύνονται ομαλά και iv)) μια μπάλα που αναπηδά στο έδαφος.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν μια συστηματική μετάβαση από εντελώς ανεπαρκείς σε σημαντικά βελτιωμένες απαντήσεις, επικυρώνοντας έτσι την αξία της προσομοίωσης για την γνωστική πρόοδο των μαθητών και για την ενίσχυση της

επιστημονικής τους συλλογιστικής. Ωστόσο, οι ερευνητές, κρίνοντας από την περιορισμένη πρόοδο των μαθητών στα πειράματα που αφορούσαν τις περιπτώσεις κίνησης (iii) και (iv), τονίζουν τις ιδιαίτερες και επίμονες δυσκολίες των μαθητών σχετικά με τις έννοιες της ταχύτητας και της επιτάχυνσης στην περίπτωση αντικειμένων που δεν κινούνται ομαλά και οι οποίες, σύμφωνα με τους ερευνητές, απαιτούν αναλυτική σκέψη υψηλότερου επιπέδου. Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας αναδεικνύεται επίσης η σημασία της αλληλεπίδρασης μεταξύ μαθητή –δασκάλου αλλά και μεταξύ μαθητών κατά τη διάρκεια των πειραμάτων προσομοίωσης, σε σύγκριση με την περιορισμένη πρόοδο των μαθητών που αναφέρθηκε όταν αυτοί εργάζονταν ξεχωριστά. Τέλος, η μελέτη επιβεβαιώνει τον ενθουσιασμό των μαθητών κατά την ενασχόλησή τους με τις προσομοιώσεις, ένα χαρακτηριστικό που ενισχύει τη θετική τους στάση απέναντι στο μαθησιακό αντικείμενο.

Όμοια, οι Tao & Gunstone (1997) διεξήγαγαν μια έρευνα σε περιβάλλον σχολικής τάξης με δέκα μαθητές ενός λυκείου της Μελβούρνης. Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν διδασκαλία υποβοηθούμενη από χρήση υπολογιστή σε μια προσπάθεια να αντιμετωπίσουν τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών σε σχέση με τις Δυνάμεις και τις Κινήσεις. Η μελέτη επιχειρούσε να ανιχνεύσει την αποτελεσματικότητα των γνωστικών συγκρούσεων που επέφερε η αξιοποίηση ειδικά σχεδιασμένων προσομοιώσεων στη γνωστική αλλαγή. Ταυτόχρονα, η έρευνα επιδίωκε να διαμορφώσει κάποια συμπεράσματα αναφορικά με το πώς συντελείται αυτή η αλλαγή. Για τις ανάγκες της έρευνας αυτής χρησιμοποιήθηκε μία σουίτα τριών προγραμμάτων προσομοίωσης που αποτέλεσαν τα πλαίσια για την εξερεύνηση της επίδρασης της δύναμης στην κίνηση ενός σώματος σε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις: (i) Οριζόντια γραμμική κίνηση με και χωρίς Τριβή με στόχο την αντιμετώπιση των αντιλήψεων ότι αφενός η κίνηση «περιέχει» δύναμη και αφετέρου ότι η ύπαρξη δύναμης συνεπάγεται την κίνηση, (ii) γραμμική κίνηση χωρίς Τριβή/Αντίσταση και πάλι με στόχο την αντίληψη ότι η ύπαρξη δύναμης συνεπάγεται την κίνηση και (iii) κατακόρυφη πτώση με την επίδραση της βαρύτητας χωρίς και με αντίσταση του αέρα, εξαρτώμενη από την ταχύτητα του σώματος, στοχεύοντας στην διερεύνηση των δυνάμεων που ασκούνται στο σώμα και στον προσδιορισμό του είδους της κίνησης που αυτές προκαλούν σε κάθε περίπτωση. Κάθε προσομοίωση συνοδεύονταν από ένα φύλλο εργασίας με ερωτήσεις του τύπου «υπέθεσε-παρατήρησε-εξήγησε» (predict-observe-explain, POE), ειδικά σχεδιασμένου για να προκαλεί τις απαιτούμενες γνωστικές συγκρούσεις.

Στην έρευνα συμμετείχαν 27 μαθητές, από τους οποίους οι 14 πήραν μέρος και σε εις-βάθος μελέτες (in-depth studies). Οι μαθητές δούλεψαν στις προσομοιώσεις για πέντε διδακτικές ώρες στο μέσο της διδασκαλίας της σχετικής ενότητας σε ομάδες των δύο οι οποίες διαμορφώθηκαν από μαθητές κατά το δυνατό όμοιων μαθησιακών επιδόσεων (με βάση τη βαθμολογία τους σε σχετικό τεστ που έγινε πριν την διδακτική παρέμβαση) αλλά και με βάση τις σχέσεις φιλίας μεταξύ των μαθητών. Πέντε μαθήματα είχαν προηγηθεί της παρέμβασης και επακολούθησαν άλλα πέντε μαθήματα τα οποία συνίστατο σε παραδοσιακή διδασκαλία, εργαστηριακά πειράματα και επίλυση ασκήσεων. Ως αποτέλεσμα αυτής της έρευνας συλλέχθηκε ένας μεγάλος αριθμός δεδομένων. Η ίδια γραπτή δοκιμασία δόθηκε στους μαθητές πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση αλλά και πέντε μήνες αργότερα σε εκείνους τους μαθητές που επέλεξαν το μάθημα της Φυσικής κατά την επόμενη σχολική χρονιά. Ομαδικές συζητήσεις μεταξύ των μαθητών βιντεοσκοπήθηκαν και απομαγνητοφωνήθηκαν. Επίσης, συλλέχθηκαν και μελετήθηκαν οι γραπτές απαντήσεις των μαθητών τόσο στα φύλλα εργασίας όσο και στις γραπτές δοκιμασίες, λήφθηκαν σημειώσεις πεδίου καθώς και συνεντεύξεις με ορισμένους από τους μαθητές μετά από τις τρεις δοκιμασίες. Τέλος, ερωτηματολόγια τύπου Likert συμπληρώθηκαν από τους μαθητές προκειμένου να εκτιμηθεί η αντίδραση των μαθητών στη διαδικασία. Όλα τα δεδομένα που συλλέχθηκαν αναλύθηκαν ποιοτικά και η γνωστική πρόοδος για κάθε ένα από τους 12 εκ των 14 μαθητών αποτέλεσε μια γραπτή μελέτη περίπτωσης. Ως αποτέλεσμα, σταθερή γνωστική πρόοδος καταγράφηκε για τους 6 από τους 14 μαθητές, οι οποίοι μπόρεσαν με προθυμία να συγκρίνουν τα διαφορετικά πλαίσια κινήσεων και να εντοπίσουν τα κοινά σημεία είτε με προσωπική πρωτοβουλία είτε παρακινούμενοι από τις σχετικές συνεντεύξεις. Αυτοί οι μαθητές ενεπλάκησαν ενεργά στις ερωτήσεις των φύλλων εργασίας και υποστήριξαν ότι τα προγράμματα ήταν ενδιαφέροντα χρήσιμα και ευχάριστα. Από την άλλη μεριά, οι μαθητές που σημείωσαν μικρή ή καμία γνωστική πρόοδο επέδειξαν χαμηλό βαθμό εμπλοκής στις ενέργειες των φύλλων εργασίας. Μέσα σε κάθε πλαίσιο η γνωστική αλλαγή συντελούνταν απότομα με τους μαθητές να εγκαταλείπουν την πρότερη σχετική ιδέα και να υιοθετούν την επιστημονικά ορθή αντίληψη. Αναφορικά με το συνεργατικό τρόπο μάθησης, οι συγκρούσεις μεταξύ των μελών κάθε ομάδας φάνηκε να λειτουργεί προς όφελος των επιδιωκόμενων γνωστικών αλλαγών, το ίδιο και η από κοινού δόμηση της νέας γνώσης. Ωστόσο, η έρευνα αποκάλυψε ότι για να επιτευχθεί ουσιαστικός γνωστικός μετασχηματισμός χρειάζεται ο κάθε μαθητής ξεχωριστά να βιώσει την προσωπική δόμηση της νέας γνώσης αποδίδοντας ο ίδιος νόημα στα γνωστικά πλαίσια

με τα οποία έρχεται αντιμέτωπος. Συνολικά, τα ευρήματα της έρευνας έδειξαν ότι τα προγράμματα είχαν θετική απήχηση στους μαθητές καθώς και ότι τα υπολογιστικά προγράμματα είναι δυνατόν να διευκολύνουν τους μαθητές, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται ομαδικά και κυρίως για τους μαθητές που είναι πρόθυμοι να εμπλακούν ενεργά στη σχετική μαθησιακή διαδικασία (Tao & Gunstone, 1997).

Μία ανάλογη έρευνα διεξήχθη το 2005 (Kim κ.ά., 2005) με στόχο να διερευνήσει την επίδραση μιας σειράς προσομοιώσεων Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality) στην γνωστική πρόοδο των μαθητών μέσω γνωστικών συγκρούσεων. Για τις ανάγκες της έρευνας οι προσομοιώσεις επέτρεπαν στους μαθητές να κάνουν προβλέψεις σε σχέση με τις δυνάμεις που ασκούνταν σε κινούμενα σώματα σε διαφορετικές περιπτώσεις, να πραγματοποιούν την αντίστοιχη επιλογή και στη συνέχεια να βλέπουν το πραγματικό αποτέλεσμα της επιλογής τους αναφορικά με το είδος της κίνησης του υπό μελέτη σώματος. Οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι η χρήση των προσομοιώσεων Εικονικής Πραγματικότητας είναι ικανές να εγείρουν εσωτερικές γνωστικές συγκρούσεις και συνεπώς είναι χρήσιμες κατά την αντιμετώπιση των πρότερων ιδεών των μαθητών. Επιπλέον, τα περιβάλλοντα Εικονικής Πραγματικότητας ενίσχυσαν την εμπλοκή των μαθητών και την συγκέντρωσή τους στη μαθησιακή διαδικασία. Μεταξύ άλλων, ένα σημαντικό εύρημα της συγκεκριμένης έρευνας ήταν το εξής: Σύμφωνα με τους ερευνητές είναι αναγκαίο να ελαχιστοποιούνται οι παράμετροι που πρέπει να διαχειρίζονται οι μαθητές μέσα στο περιβάλλον προσομοίωσης προκειμένου να αποφεύγεται η σύγχυση και να εξασφαλίζεται η καλή οργάνωση του περιβάλλοντος προσομοίωσης.

5.3 Κύρια ευρήματα της βιβλιογραφικής έρευνας

Με βάση τη βιβλιογραφία, διαφαίνεται ότι οι διδακτικές προσεγγίσεις που στοχεύουν στη γνωστική πρόοδο των μαθητών έχουν καλύτερα αποτελέσματα εφόσον δομούνται σε εποικοδομιστικής μεθόδους διδασκαλίας. Τα οφέλη που προκύπτουν από τέτοιες μεθόδους ενισχύονται ακόμη περισσότερο όταν συνδυάζονται στο διδακτικό περιβάλλον όσο το δυνατό περισσότερες αρχές εποικοδομιστικής διδασκαλίας (Duit, Tragus & Widodo, 2008). Στον πίνακα 5.1 συνοψίζονται όλες οι περιγραφόμενες διδακτικές προσεγγίσεις καθώς και τα σημαντικότερα ευρήματα των σχετικών ερευνών. Τα αποτελέσματα αυτά ενισχύουν περαιτέρω την άποψη ότι η προσπάθεια να ευθυγραμμιστούν οι ιδέες των μαθητών για την Κίνηση και τη Δύναμη με τη σχετική επιστημονική γνώση είναι ιδιαίτερα δύσκολη και απαιτητική διαδικασία. Με βάση τις

διδασκτικές προσεγγίσεις που παρουσιάστηκαν, αναδύονται ορισμένα χαρακτηριστικά αναφορικά με τις διαφορετικές διδασκτικές προσεγγίσεις που υιοθετήθηκαν, με στόχο πάντοτε τη γνωστική πρόοδο των μαθητών για τη διδασκαλία εννοιών σχετικών με την Κίνηση και τη Δύναμη στο μάθημα της Φυσικής. Η παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση επιχειρεί να αναδείξει τα παραπάνω χαρακτηριστικά κάτω από τη λογική ότι, αν αυτά συνδυαστούν κατάλληλα πιθανώς να επιτευχθεί μεγιστοποίηση του βαθμού εμπλοκής, κινητοποίησης και πιθανώς και γνωστικής πρόοδου των μαθητών.

Αρχικά, σε όλες τις παραπάνω προσεγγίσεις έγινε προσπάθεια να εμπλακούν οι μαθητές σε βιωματικές δραστηριότητες και παρατηρήσεις. Κατ' αυτό τον τρόπο οι μαθητές ενθαρρύνονται ώστε (i) να βγάλουν στην επιφάνεια τις ιδέες και τις ερμηνείες τους αναφορικά με τις Κινήσεις και τις Δυνάμεις, (ii) να αντιληφθούν και να μπορέσουν τελικά να «δουν» τις δυνάμεις πάνω στα κινούμενα σώματα του πραγματικού κόσμου, (iii) να ερμηνεύσουν τα παρατηρούμενα φαινόμενα με βάση τις διδαχθείσες επιστημονικές έννοιες και (iv) να μπορέσουν, εν τέλει, να αναγνωρίσουν τους νόμους και τις έννοιες που διδάχθηκαν κατά τη σχολική εκπαίδευση, στα πραγματικά φαινόμενα που βιώνουν στην καθημερινή τους ζωή.

Παράλληλα, διαφαίνεται ότι οι υπολογιστικές προσομοιώσεις είναι ικανές να συνεισφέρουν σημαντικά προς αυτή την κατεύθυνση. Σήμερα, η φορητότητα των υπολογιστών και η κινητικότητα των χρηστών εισάγουν νέες δυνατότητες για ενεργητική, επί τόπου έρευνα και μάθηση. Επιπλέον οι σύγχρονες πρακτικές μάθησης μέσω φορητών συσκευών κινούνται προς τα συστήματα Επαυξημένης Πραγματικότητας καθώς διαφαίνεται ότι, όπως ήδη συζητήθηκε, η τεχνολογία αυτή αναδεικνύεται ως κατάλληλη για την αισθητοποίηση εννοιών και φαινομένων των Φυσικών Επιστημών.

Ένα κυρίαρχο χαρακτηριστικό όλων των παραπάνω διδασκτικών προσεγγίσεων είναι η προσπάθεια για παρουσίαση των υπό μελέτη εννοιών σε πολλά διαφορετικά πλαίσια. Πράγματι, τα σχετικά ερευνητικά αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι συχνά οι ερμηνείες που δίνουν οι μαθητές μετά τη διδασκαλία των εννοιών και νόμων που διέπουν τις κινήσεις διαφέρουν μεταξύ τους ανάλογα με το υπό μελέτη πλαίσιο (Jimoγιannis & Komis, 2003). Προκύπτει επομένως ότι οι μαθητές εμφανίζουν ισχυρότερες γνωστικές δυσκολίες στο να αντιληφθούν και να ερμηνεύσουν κάποια είδη κίνησης σε κάποια συγκεκριμένα πλαίσια σε σχέση με άλλα, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση μελέτης της επιτάχυνσης, στην περίπτωση σωμάτων που κινούνται με μεταβλητή επιτάχυνση (μη ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση) (Jimoγιannis κ.ά., 2000). Έτσι, κάτω από

αυτό το πρίσμα, οι διδάσκοντες είναι καλό να εξασφαλίζουν στους μαθητές όσο το δυνατό περισσότερες περιπτώσεις μελέτης για την ίδια αρχή που επιθυμούν να διδάξουν.

Παράλληλα, όλες οι παραπάνω προσεγγίσεις αναδεικνύουν τη σπουδαιότητα του ρόλου του διδάσκοντα στην ενορχήστρωση κατάλληλων εκπαιδευτικών σεναρίων για τη διδασκαλία εννοιών και φαινομένων σχετικών με τις δυνάμεις και τις κινήσεις των σωμάτων. Πράγματι, ο ρόλος του διδάσκοντα είναι πολύ καθοριστικός αφού πρέπει αυτός να ρυθμίζει συνεχώς όλες τις παραμέτρους τις διδασκαλίας, λαμβάνοντας υπόψη συνεχώς τον διαθέσιμο χρόνο, το επιστημονικό υπόβαθρο των μαθητών και βέβαια τη βαθμίδα στην οποία βρίσκονται. Έτσι, μαθητές των μικρότερων βαθμίδων της δευτεροβάθμιας χρειάζονται να εστιάζουν περισσότερο στην κατανόηση των θεμελιωδών εννοιών και στην ποιοτική ερμηνεία των σχετικών φαινομένων ενώ στις μεγαλύτερες βαθμίδες είναι σημαντικό οι μαθητές να μπορούν να ερμηνεύσουν τα υπό μελέτη φαινόμενα κάνοντας χρήση και των σχετικών νόμων και σχέσεων, όπως είναι οι εξισώσεις κίνησης των σωμάτων και η ποσοτική περιγραφή των Νόμων του Νεύτωνα.

Μια σημαντική διάσταση κατά τη διδασκαλία των Κινήσεων και των Δυνάμεων αποτελεί η αξιοποίηση της διανυσματικής αναπαράστασης των φυσικών μεγεθών σε πολλαπλά σενάρια μελέτης. Καθώς οι δυνάμεις όπως και η θέση, η μετατόπιση και η ταχύτητα είναι κατά βάση έννοιες αόρατες, η διανυσματική αναπαράστασή τους επιτρέπει την οπτικοποίηση τους και βοηθά τους μαθητές να εκτιμούν τι εκφράζει κάθε φορά το μέτρο και η κατεύθυνση τους, να αντιλαμβάνονται πώς μεταβάλλεται η κατεύθυνση τους σε σχέση με την κατεύθυνση της κίνησης του κινούμενου σώματος, αλλά και να μάθουν να ερμηνεύουν τις μεταβολές στο μέγεθος μιας δύναμης. Κάτω από τη λογική αυτή κρίνεται σημαντικό οι μαθητές να ενθαρρύνονται να σχεδιάζουν ως βέλη τις δυνάμεις πάνω στα κινούμενα σώματα για διάφορες περιπτώσεις κίνησης. Αυτή η προσέγγιση αφενός επιτρέπει στους μαθητές να κατανοήσουν σε βάθος της αλληλεπιδράσεις του σώματος που μελετάται με τα υπόλοιπα σώματα του συστήματος και αφετέρου να αναγνωρίσει, βάσει αυτών των αλληλεπιδράσεων, τις ασκούμενες δυνάμεις και να τις αναπαραστήσει ως βέλη πάνω στο σώμα. Ακολουθώντας αυτή τη μαθησιακή διαδρομή, ο μαθητής τελικά θα μπορέσει να περιγράψει την κίνηση του σώματος που μελετά με βάση τις δυνάμεις που αυτό δέχεται. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι οι Mikropoulos & Natsis (2011) υποστηρίζουν πως η αξιοποίηση των τεχνολογιών Εικονικής και Επαυξημένης Πραγματικότητας αποτελούν ένα σπουδαίο πλαίσιο για να επιτευχθούν

διάφορες αναπαραστάσεις των υπό μελέτη καταστάσεων αναφορικά με την Κίνηση και την Δύναμη.

Αναφορικά με την εμπλοκή των μαθητών στη μαθησιακή διαδικασία για τις κινήσεις και τις δυνάμεις είναι γνωστό ότι, τόσο η αδυναμία κατανόησης των επιστημονικών κειμένων που περιγράφουν τις υπό μελέτη έννοιες, όσο και η αδυναμία κατανόησης της διανυσματικής αναπαράστασης των φυσικών μεγεθών, αποτελούν στην πραγματικότητα συνήθεις αιτίες αποθάρρυνσης των μαθητών (Lee & Park, 2013, Nieminen κ.ά., 2012). Θα πρέπει επομένως οι διδάσκοντες να μην παραβλέπουν τις αδυναμίες κατανόησης και αποκωδικοποίησης των κειμένων που περιγράφουν και ερμηνεύουν τις υπό μελέτη έννοιες προς χάριν της μαθηματικής ή της γραφικής σχετικής πληροφορίας.

Επιπλέον, αποτελεί κοινή γνώση για τους εκπαιδευτικούς το γεγονός ότι οι λέξεις-κλειδιά της Μηχανικής όπως η ίδια η λέξη *δύναμη* αλλά και οι λέξεις *βάρος*, *μάζα*, *ταχύτητα*, *επιτάχυνση* και *ενέργεια* εμπεριέχουν ήδη κάποιο νόημα στην καθημερινή ζωή των μαθητών, νοήματα που συχνότατα αποδεικνύονται ανεπαρκή ή και εσφαλμένα για να χρησιμοποιηθούν σε επιστημονικά πλαίσια. Έτσι οι εκπαιδευτικοί θα πρέπει να ξεκαθαρίζουν την καθημερινή σημασία αυτών των λέξεων από την διαφορετική σημασία που λαμβάνουν αυτές όταν χρησιμοποιούνται μέσα στο σχετικό επιστημονικό τους πλαίσιο. Επιπρόσθετα, θα πρέπει οι εκπαιδευτικοί να μην απορρίπτουν αλλά να επινοούν τρόπους για να αξιοποιούν αυτές τις αρχικές ερμηνείες ως βάση πάνω στην οποία θα δομήσουν τον επιστημονικό ορισμό και την ερμηνεία των φυσικών μεγεθών που αντιπροσωπεύουν οι λέξεις αυτές. Είναι σημαντικό οι μαθητές πρώτα να εξοικειωθούν με αυτές τις έννοιες-κλειδιά χρησιμοποιώντας τις ορθά μέσα στο επιστημονικό τους πλαίσιο, προτού ξεκινήσουν να συζητούν για τους τρόπους που αυτές οι έννοιες (*μάζα*, *βάρος*, *ταχύτητα*, *επιτάχυνση*, *έργο* και *ενέργεια*) συνδέονται μεταξύ τους μέσω μαθηματικών σχέσεων. Η διάκριση, για παράδειγμα, μεταξύ βάρους και μάζας, θέσης και μετατόπισης αλλά και η κατανόηση της βαρύτητας αντιπροσωπεύουν σημαντικά γνωστικά εμπόδια στην διαδικασία κατανόησης της Μηχανικής (Keeley & Harington, 2010). Αυτό βρίσκει κυρίως εφαρμογή στους μαθητές των υψηλότερων σχολικών βαθμίδων οι οποίοι έχουν ήδη συναντήσει τις έννοιες αυτές σε μικρότερες τάξεις προτού διδαχθούν τους αντίστοιχες μαθηματικούς τύπους που περιγράφουν τις μεταξύ τους σχέσεις ιδιαίτερος τους Νόμους του Νεύτωνα. Επομένως, είναι σημαντικό οι διδάσκοντες να διασφαλίζουν ότι μέσω της κατάλληλης διδασκαλίας, οι μαθητές θα μπορέσουν τελικά να αντιληφθούν τις διαφορές μεταξύ της καθημερινής

σημασίας που αποδίδεται στις λέξεις που χρησιμοποιούμε προκειμένου να αναφερθούμε στις παραπάνω έννοιες και στην αντίστοιχη επιστημονική τους σημασία (Βοσνιάδου κ.ά., 2001). Στη βάση αυτής της λογικής, όπως συμβαίνει και στις περισσότερες από τις παραπάνω διδακτικές προσεγγίσεις, είναι σημαντικό οι μαθητές να ενθαρρύνονται να εκφράζουν τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά τους τόσο προφορικά όσο και γραπτά. Με αυτό τον τρόπο οι μαθητές θεμελιώνουν την γνωστική τους πρόοδο καθώς μεταβαίνουν από την απλή κατανόηση στην αξιοποίηση του κατάλληλου επιστημονικού «λεξιλογίου», προκειμένου να είναι σε θέση να δώσουν άριστες νοηματικά ερμηνείες για τα υπό μελέτη φαινόμενα.

Είναι επίσης σημαντικό ορισμένες φορές οι εκπαιδευτικοί να λαμβάνουν υπόψη τη χρονική σειρά με την οποία παρουσιάζονται στους μαθητές τα παραπάνω στοιχεία γνώσης (Tiberghien, Vince & Gaidioz, 2009, Vosniadou κ.ά., 2001) ώστε να σχεδιάζουν κατάλληλα τη διδασκαλία τους σε σχέση και με τη βαθμίδα εκπαίδευσης. Μέσα σε αυτό το πνεύμα οι Carson & Rowlands (2005) πρότειναν την διδασκαλία της έννοιας της δύναμης πριν από αυτή της επιτάχυνσης καθώς και της μετατόπισης πριν από την ταχύτητα. Συγκεκριμένα, οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι *στους μικρούς μαθητές η επιτάχυνση μπορεί να γίνει κατανοητή ως η αλλαγή της κίνησης που οφείλεται στη δράση μιας ασκούμενης δύναμης*. Όμοια, ο Osborne (1980) τονίζει ότι οι μαθητές πρέπει πρώτα να καταλάβουν την έννοια της δύναμης προτού αρχίσουν να προβληματίζονται σχετικά με την ενέργεια και την ισχύ.

Ένα ακόμη σημαντικό στοιχείο όπως αυτό αναδύεται από τις παραπάνω μελέτες είναι η συνεργατική συμμετοχή σε κατάλληλα σχεδιασμένες για το σκοπό αυτό δραστηριότητες. Η συνεργασία μεταξύ των μαθητών μπορεί να διευρυνθεί ακόμη περισσότερο, όπως προτείνεται από τον Kocakulah (2010). Στο πλαίσιο της σχετικής μελέτης, μία ομάδα σπουδαστών δασκάλων συμμετείχε στη διαδικασία σχεδιασμού μιας ρουμπρίκας αξιολόγησης η οποία τελικά χρησιμοποιήθηκε για την αλληλο-αξιολόγηση των επιδόσεων τους αναφορικά με τους Νόμους του Νεύτωνα. Μια ενδιαφέρουσα προοπτική που θα μπορούσε να εμπλέξει περισσότερο ενεργά τους μαθητές σε ενεργό συμμετοχή και διάλογο θα ήταν η κατάλληλη προσαρμογή της διαδικασίας σχεδιασμού μιας αντίστοιχης ρουμπρίκας αξιολόγησης για μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

Ένα ακόμη ζήτημα που πρέπει να σκεφτούν οι διδάσκοντες, κυρίως κατά τη διδασκαλία των νόμων του Νεύτωνα στις μεγαλύτερες τάξεις, είναι ο τρόπος που θα εισαχθούν στη διδασκαλία οι μαθηματικοί τύποι που διέπουν τις Κινήσεις και τις Δυνάμεις των σωμάτων και ιδιαίτερα οι νόμοι του Νεύτωνα. Ενώ κάποιες έρευνες παρουσιάζουν

πρώτα στους μαθητές τις μαθηματικές σχέσεις που εκφράζουν τους παραπάνω νόμους προτού τους εμπλέξουν σε εποικοδομιστικής δραστηριότητες (Hestenes, 1992, Carson & Rowlands, 2005) υπάρχει και η προοπτική οι μαθητές να οδηγηθούν απευθείας σε σχετικές δραστηριότητες ώστε να αναπτύξουν διαισθητική κατανόηση των φαινομένων που διέπουν οι νόμοι και στη συνέχεια διδαχθούν τις μαθηματικές σχέσεις που περιγράφουν τα φαινόμενα που αυτοί παρατηρούν (McKittrick, Mulhall & Gunstone, 1999).

Τέλος, οι διδάσκοντες μπορούν επίσης να κρατούν στο νου τους τη χρονολογική σειρά των επιστημονικών επιτευγμάτων που επέτρεψαν στη σύλληψη των νόμων του Νεύτωνα (Hestenes, 1992). Αν και η σύγχρονη έρευνα δεν αποδέχεται την αναλογία μεταξύ των πρότερων ιδεών των μαθητών και της εξέλιξης των ιδεών της Φυσικής (Brown & Hammer, 2008), ωστόσο σε ορισμένες περιπτώσεις έχει σημασία το να φέρνουμε τους μαθητές αντιμέτωπους με ιστορικές ερωτήσεις οι οποίες συνδέονται με κάποιες περιπτώσεις κίνησης. Αυτή η προσέγγιση ίσως βοηθήσει τους μαθητές στο δρόμο προς τη συνειδητοποίηση ότι οι νόμοι της κίνησης δεν αποτελούν οικουμενικές αλήθειες που «κρύβονταν» στα φαινόμενα του πραγματικού κόσμου περιμένοντας για χρόνια να τους ανακαλύψουμε. Αντίθετα επινοήθηκαν για να εξηγήσουν ορισμένες απρόσμενες συμπεριφορές κατά την κίνηση των σωμάτων και η επινοήσή τους δεν θα ήταν δυνατή αν δεν είχαν προηγηθεί άλλες γνωστικές «εφευρέσεις» (Hestenes, 1992). Σύμφωνα με τους Carson και Rowlands: *υπάρχουν πολλά ιστορικά παραδείγματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε οι διαισθητικές ιδέες των μαθητών να τεθούν στο σωστό εννοιολογικό πλαίσιο και τελικά να κατανοήσουν τι ακριβώς είναι η επιστήμη της Φυσικής, δηλαδή να κατανοήσουν την περίπλοκη σχέση μεταξύ του τι έχει δοθεί εμπειρικά από τη Φύση, τι έχει προκύψει λογικά ως αποτέλεσμα αιτιολόγησης και τι έχει προσφερθεί ως συνεισφορά λόγω της ιδιοφυίας κάποιων λαμπρών επιστημόνων με τη μορφή ενός στρατηγικού κανόνα σκέψης που μπορεί να είναι μια σχέση, ένα μοντέλο ή μια αναλογία* (Carson & Rowlands, 2005).

Αδιαμφισβήτητα, το πιο ολοκληρωμένο σενάριο για την επίτευξη της γνωστικής προόδου αναφορικά με την διδασκαλία των κινήσεων και των δυνάμεων είναι εκείνο το οποίο ενεργοποιεί όσο το δυνατό περισσότερες διαφορετικές καταστάσεις της σχετικής θεωρίας σε όσο το δυνατό λιγότερο χρόνο, δεδομένου ότι η κατανομή του σχολικού χρόνου αποτελεί σημαντική διδακτική παράμετρο, ενώ ταυτόχρονα θα διατηρείται ενεργή η κινητοποίηση και η εμπλοκή των μαθητών. Είναι προφανές ότι ο διδάσκοντας κατέχει ρόλο κλειδί στην οργάνωση μιας τέτοιας μαθησιακής διαδικασίας.

Πίνακας 5.1: Οι μελέτες που παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο: η ερευνητική μέθοδος και το πλαίσιο καθώς και τα σημαντικότερα ερευνητικά ευρήματα.

Βιβλιογραφική Αναφορά	Ερευνητικό Πλαίσιο	Κύρια Ευρήματα
Vosniadou κ.ά., (2001)	<p>Στόχος: Η αξιοποίηση πρότερων ερευνητικών αποτελεσμάτων για την διδασκαλία της έννοιας της Δύναμης.</p> <p>Δείγμα: 25 Έλληνες μαθητές 5^{ης} και 6^{ης} τάξης Δημοτικού, εργαζόμενοι σε ομάδες των πέντε. 8 διδακτικές ώρες των 90 λεπτών.</p> <p>Μέθοδος:</p> <p>Ενεργός πειραματισμός για τη μέτρηση του μεγέθους διαφόρων δυνάμεων.</p> <p>Κατασκευή δυναμόμετρου.</p> <p>Συμβολική αναπαράσταση των δυνάμεων μέσω γραφικών αναπαραστάσεων καθώς και με πραγματικά τρισδιάστατα αντικείμενα κατασκευασμένα από χαρτόνι.</p>	<p>Γνωστική πρόοδος</p> <p>Αξία της συζήτησης με τους άλλους μαθητές κατά τη διάρκεια της μαθησιακής διαδικασίας</p> <p>Σημασία του ρόλου του διδάσκοντα στην ανάδειξη των γνωστικών εμποδίων των μαθητών και στη χρησιμοποίησή τους ως βάση για διάλογο.</p>
Lee & Park (2013)	<p>Στόχος: Να διερευνηθεί η αποτελεσματικότητα μιας ανεστραμμένης, επαγωγικής προσέγγισης για τη διδασκαλία του δεύτερου νόμου του Νεύτωνα.</p> <p>Δείγμα: 64 μαθητές μεγάλων τάξεων της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (πειραματική ομάδα) and 72 μαθητές (ομάδα ελέγχου) μεγάλων τάξεων της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.</p> <p>Μέθοδος: Δραστηριότητες επαγωγικής ερμηνείας (Deductive explanation tasks, DETs) στις οποίες οι μαθητές καλούνται να αναγνωρίσουν την συνισταμένη δύναμη σε ένα σώμα καθώς παρατηρούν την κίνηση του.</p>	<p>Γνωστική πρόοδος χάρη στις γνωστικές συγκρούσεις που προκλήθηκαν από τις λογικές ερμηνείες των μαθητών για το είδος της κίνησης των αντικειμένων αναφορικά τη συνισταμένη δύναμη που αυτά δέχονται σε κάθε περίπτωση κίνησης</p> <p>Θετική στάση των μαθητών απέναντι στη μάθηση της Φυσικής</p> <p>Ενδείξεις για χαμηλό βαθμό κατανόησης των λέξεων στο επιστημονικό τους πλαίσιο/αδυναμία αποκωδικοποίησης των κειμένων στα βιβλία</p>

		φυσικής/ελλειπής εξοικείωση με την εφαρμογή επιστημονικών εννοιών σε καταστάσεις του πραγματικού κόσμου/γνωστικά χάσματα
Bruun & Christiansen (2014)	<p>Στόχος: Η ανάδειξη των μαθησιακών δυνατοτήτων της ενσωμάτωσης καθημερινών κιναισθητικών δραστηριοτήτων στη διδασκαλία της μηχανικής.</p> <p>Δείγμα: Μαθητές μεγάλων τάξεων της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης εργαζόμενοι σε ομάδες των τριών.</p> <p>Μέθοδος: αξιοποίηση της σχηματικής αναπαράστασης προσπάθεια-αντίσταση-ροή, (DiSessa, 1993) για τη δόμηση ενός διδακτικού πλαισίου με βάση τη Θεωρία των Διδακτικών Καταστάσεων (Theory of Didactical Situations, TDS), (Brousseau, 1997) προκειμένου να συσχετιστούν οι ενσωματωμένες εμπειρίες από τη συμμετοχή των μαθητών στις κιναισθητικές δραστηριότητες, με την επιστημονική Νευτώνεια ερμηνεία της έννοιας της δύναμης.</p>	<p>Σημασία του ρόλου του δασκάλου</p> <p>Θετική στάση των μαθητών απέναντι στη μαθησιακή διαδικασία</p> <p>Ενδείξεις ότι οι κιναισθητικές δραστηριότητες δύνανται να εμπλέξουν τους μαθητές σε μια διαδικασία αυτο-δόμησης της γνώσης και κατάκτησης ενός υψηλότερου επιπέδου αφαίρεσης.</p>
Halim, Yong & Meerah (2014)	<p>Στόχος: Η διερεύνηση του δυναμικού της διανυσματικής αναπαράστασης των δυνάμεων για την κατανόηση της έννοιας της δύναμης και των διανυσματικών χαρακτηριστικών της.</p> <p>Δείγμα: 26 16χρονοι Μαλαίσιοι μαθητές</p> <p>Μέθοδος: μελέτη διαφορετικών περιπτώσεων δυνάμεων σε ισορροπία μέσω επίδειξης και κινούμενων σχεδίων (animation).</p>	<p>Βελτίωση της κατανόησης των μαθητών</p> <p>Θετική επίδραση στην εμπλοκή των μαθητών στις σωματοποιημένες επιδείξεις.</p> <p>Ενδείξεις για δυσκολία των μαθητών να αντιληφθούν το μέγεθος των δυνάμεων πιθανώς λόγω αδυναμίας αισθητοποίησης του αόρατου.</p>

Προσεγγίσεις που αξιοποιούν την τεχνολογία υπολογιστών

Βιβλιογραφική Αναφορά	Ερευνητικό Πλαίσιο	Κύρια Ευρήματα
Jimoyiannis, Mikropoulos &	Στόχος: Η μελέτη της γνωστικής προόδου των μαθητών αναφορικά με τις έννοιες της ταχύτητας και	Θετικά αποτελέσματα των προσομοιώσεων αναφορικά με

Ravanis (2000)	<p>της επιτάχυνσης.</p> <p>Δείγμα: 57 Έλληνες μαθητές της Α' λυκείου.</p> <p>Μέθοδος: Πειράματα βασισμένα σε προσομοιώσεις για τη διερεύνηση της ταχύτητας και της επιτάχυνσης κινούμενων αντικειμένων.</p>	<p>την εμπλοκή και τη γνωστική πρόοδο των μαθητών.</p> <p>Ενδείξεις για ισχυρές γνωστικές δυσκολίες σε σχέση με μεταβαλλόμενες κινήσεις.</p> <p>Σπουδαιότητα της αλληλεπίδρασης διδάσκοντα-μαθητή κατά τη διενέργεια των πειραμάτων-προσομοιώσεων.</p>
Tao & Gunstone (1997)	<p>Στόχος: Ο έλεγχος της αποτελεσματικότητας των γνωστικών συγκρούσεων που εγείρονται κατά τη χρήση προσομοιώσεων στη γνωστική πρόοδο των μαθητών σε σχέση με θεμελιώδεις έννοιες από το πεδίο των κινήσεων και των δυνάμεων. Δείγμα: 27 Αυστραλοί μαθητές Λυκείου σε ζευγάρια.</p> <p>Μέθοδος: Ανάπτυξη υπολογιστικών προσομοιώσεων για τη διερεύνηση των αποτελεσμάτων της δύναμης σε διάφορες περιπτώσεις κίνησης: Ευθύγραμμη κίνηση σε οριζόντιο επίπεδο καθώς και κίνηση με/χωρίς Τριβή. Οι προσομοιώσεις συνοδεύονταν από φύλλα εργασίας αποτελούμενα από δραστηριότητες του τύπου: «προέβλεψε-παρατήρησε-εξήγησε» (predict-observe-explain, POE).</p>	<p>Ενεργός εμπλοκή</p> <p>Απότομη γνωστική αλλαγή</p> <p>Θετικά αποτελέσματα των προσομοιώσεων στην εμπλοκή και τη γνωστική πρόοδο των μαθητών</p> <p>Θετικά αποτελέσματα από τη συνεργατική μάθηση και τη συν-δόμηση της γνώσης.</p>
Kim κ.ά., (2005)	<p>Στόχος: Ο έλεγχος της αποτελεσματικότητας προσομοιώσεων Εικονικής Πραγματικότητας στη γνωστική πρόοδο των μαθητών αναφορικά με έννοιες από το πεδίο των κινήσεων και των δυνάμεων</p> <p>Δείγμα: 4 μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, τυχαία επιλεγμένοι.</p> <p>Μέθοδος: Διαδραστικές προσομοιώσεις εικονικής πραγματικότητας που επιτρέπουν στους μαθητές να προβλέπουν το είδος της δύναμης που ασκείται πάνω στα αντικείμενα και βάση αυτής της επιλογής να παρατηρούν το πώς εξελίσσεται η κίνηση του.</p>	<p>Αυξημένη προσοχή, συγκέντρωση και συμμετοχή.</p> <p>Αναγκαιότητα για ελαχιστοποίηση των μεταβλητών που πρέπει να διαχειριστούν οι μαθητές μέσα στο περιβάλλον προσομοίωσης για αποφυγή σύγχυσης.</p>

Με βάση τα όσα συζητήθηκαν στο παρόν κεφάλαιο, συνοψίζονται τα κυρίαρχα χαρακτηριστικά των παραπάνω διδακτικών προσεγγίσεων για τη διδασκαλία θεμελιωδών εννοιών σε σχέση με την κίνηση και τη δύναμη όπως ακολουθεί:

1. Ενεργή, ανακαλυπτική μάθηση.
2. Εμπλοκή σε βιωματικές δραστηριότητες και παρατηρήσεις- αλληλεπίδραση με τις παραμέτρους των μαθησιακών περιβαλλόντων.
3. Μάθηση μέσω πειραμάτων – υπολογιστικών προσομοιώσεων - 3Δ περιβαλλόντων ΕΠ και ΕΠ.
4. Διερεύνηση των υπό μελέτη εννοιών σε διαφορετικές περιπτώσεις –πλαίσια.
5. Σπουδαιότητα ρόλου του διδάσκοντα για συντονισμό και ρύθμιση των παραμέτρων της μαθησιακής διαδικασίας.
6. Αδυναμία κατανόησης επιστημονικών κειμένων – επιστημονικού λεξιλογίου από τους μαθητές: να λαμβάνεται υπόψη το συχνά ελλιπές επιστημονικό λεξιλόγιο τους αναφορικά με τις υπό μελέτη έννοιες.
7. Αδυναμία κατανόησης των διανυσματικών χαρακτηριστικών των φυσικών μεγεθών: ανάγκη οπτικοποίησης τους από τα μαθησιακά περιβάλλοντα ως διανύσματα-βέλη.
8. Σημασία πρότερων ιδεών των μαθητών αναφορικά με λέξεις-κλειδιά της Μηχανικής, με βάση την καθημερινή τους εμπειρία: ο διδάσκων χρειάζεται να αλιεύει τα γνωστικά εμπόδια από τις ενέργειες των μαθητών κατά τη διάρκεια της μαθησιακής διαδικασίας και να τα χρησιμοποιεί ως βάση για συζήτηση μέσα στην ομάδα.
9. Κινητοποίηση των μαθητών να σχεδιάζουν οι ίδιοι τα διανυσματικά φυσικά μεγέθη και ιδιαίτερα τις δυνάμεις πάνω στα σώματα, σε διάφορες περιπτώσεις- πλαίσια.
10. Συνεργασία-συνδόμηση της γνώσης: οι μαθητές να έχουν την ευκαιρία να συζητούν μεταξύ τους σε ομάδες καθώς αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον της εφαρμογής.
11. Αναγκαιότητα για προφορική και γραπτή έκφραση των παρατηρήσεων των μαθητών για θεμελίωση γνωστικής προόδου μέσω αξιοποίησης του κατάλληλου επιστημονικού λεξιλογίου.

12. Έμφαση στην συνεχή αλληλεπίδραση μεταξύ διδάσκοντος και μαθητών καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας.
13. Ελαχιστοποίηση κατά το δυνατόν των μεταβλητών που πρέπει ταυτόχρονα να διαχειρίζονται οι μαθητές μέσα στο ψηφιακό περιβάλλον μάθησης για αποφυγή σύγχυσης και αποπροσανατολισμού.
14. Ιδιαίτερη προσοχή στην προϋπάρχουσα επιστημονική γνώση των μαθητών κατά την εισαγωγή νέων εννοιών και κατά την ενσωμάτωση μαθηματικών σχέσεων που περιγράφουν ή συνδέουν τις υπό μελέτη έννοιες στη μαθησιακή διαδικασία, ανάλογα και με τη βαθμίδα εκπαίδευσης.
15. Αναφορά, όπου κρίνεται απαραίτητο, στις ιστορικές ερωτήσεις σε σχέση με τις κινήσεις οι οποίες οδήγησαν στην ανάγκη επινόησης των αντίστοιχων νόμων της κίνησης.

Μέρος Β΄:

Πειραματικός Σχεδιασμός

Κεφάλαιο 6

Μεθοδολογικός Σχεδιασμός Μαθησιακών Περιβαλλόντων ΕΠ

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται ο σχεδιασμός και η υλοποίηση των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ με βάση το παιδαγωγικό και τεχνολογικό υπόβαθρο της παρούσας έρευνας. Αρχικά, περιγράφονται οι προδιαγραφές σχεδιασμού που θέτει κάθε μία από τις επιλεγόμενες μεθοδολογικές προσεγγίσεις αναφορικά με τις υιοθετούμενες παιδαγωγικές θεωρίες, το διδακτικό αντικείμενο και τις χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες. Στη συνέχεια, ως αποτέλεσμα συγκερασμού των παραπάνω, συντίθεται ένα σύνολο αρχών σχεδιασμού αναφορικά με την δημιουργία μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ για τη διδασκαλία εννοιών και φαινομένων από το πεδίο της Φυσικής. Ακολούθως, παρουσιάζεται το μεθοδολογικό πλαίσιο σχεδιασμού και περιγράφεται ο εκπαιδευτικός σχεδιασμός των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ αναφορικά με τις σχεδιαστικές αρχές που διαμορφώθηκαν.

6.1 Προδιαγραφές περιβαλλόντων ΕΠ με βάση το θεωρητικό πλαίσιο της έρευνας

Η ανάπτυξη των εμπειριών ΕΠ εμφανίζει πολλές πτυχές που απαιτούν διαφοροποιημένη μεθοδολογική κάλυψη, δεδομένου ότι θα πρέπει να συνδυάζουν αρχές σχεδιασμού αναφορικά με τις ακόλουθες πέντε διαστάσεις, οι οποίες παρουσιάστηκαν αναλυτικά κατά την ανάπτυξη του θεωρητικού πλαισίου της παρούσας εργασίας:

- την επιλογή του εποικοδομισμού και της ανακαλυπτικής μάθησης ως υιοθετούμενες διδακτικές προσεγγίσεις,
- τον σχεδιασμό της εκπαιδευτικής προσέγγισης για μαθησιακούς σκοπούς και συγκεκριμένα για έννοιες από το πεδίο της Φυσικής,
- την αξιοποίηση της τεχνολογίας ΕΠ για τον παραπάνω σκοπό,
- την επιλογή κινητών συσκευών ως μέσων για την υλοποίηση της προσέγγισης,
- την παιγνιώδη διάσταση των μαθησιακών εμπειριών.

Κάτω από αυτό το πρίσμα, γίνεται φανερή η ανάγκη να ληφθούν υπόψη όλες οι παραπάνω επιμέρους διαστάσεις προκειμένου, εν τέλει, να δομηθεί μια συνθετική μεθοδολογική πρόταση για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη των προτεινόμενων

εφαρμογών ΕΠ με στόχο την κατανόηση θεμελιωδών εννοιών από το πεδίο της Μηχανικής.

6.1.1 Εποικοδομισμός και ανακαλυπτική μάθηση

Η επιλογή του εποικοδομισμού ως θεωρίας μάθησης οδήγησε στην προσπάθεια ενσωμάτωσης των κυρίαρχων χαρακτηριστικών της εποικοδομιστικής προσέγγισης κατά το σχεδιασμό των περιγραφόμενων εφαρμογών ΕΠ. Έτσι, τα μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ προκειμένου να ακολουθήσουν το μαθησιακό μοντέλο του εποικοδομισμού και την μάθηση μέσω διερεύνησης θα πρέπει να ενσωματώνουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- η δόμηση της γνώσης βασίζεται στις προϋπάρχουσες εμπειρίες τις οποίες ο διδάσκοντας δεν αγνοεί κατά τις διδακτικές του επιδιώξεις,
- η διαδικασία της μάθησης είναι μαθητοκεντρική και όχι δασκαλοκεντρική,
- ο διδάσκοντας έχει λιγότερο το ρόλο του ειδικού και περισσότερο αυτόν του συντονιστή,
- ο κάθε μαθητής δομεί τη γνώση μόνος του ως αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης του με το περιβάλλον-πλαίσιο της μαθησιακής εμπειρίας,
- ο μαθητής αλληλεπιδρά με τις παραμέτρους μιας εμπειρίας και με τον τρόπο αυτό κινητοποιείται και εμπλέκεται ενεργά στην επίλυση ενός προβλήματος,
- η μάθηση συντελείται μέσω συνεργατικών δραστηριοτήτων και διαδικασιών επίλυσης προβλημάτων.

6.1.2 Χαρακτηριστικά μαθησιακών εμπειριών ΕΠ

Η βιβλιογραφική έρευνα που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 5 ανέδειξε, όπως συζητήθηκε, ορισμένα χαρακτηριστικά που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό εκπαιδευτικών εμπειριών για τη μάθηση των υποκείμενων εννοιών. Ως εκ τούτου, προκειμένου οι μαθητές να κινητοποιηθούν θετικά, να εμπλακούν ενεργά και να οδηγηθούν σε γνωστική πρόοδο σε σχέση με το μαθησιακό αντικείμενο, οι προτεινόμενες μαθησιακές εμπειρίες ΕΠ θα πρέπει αυτές να συνδυάζουν τα ακόλουθα στοιχεία:

- Ενεργή, ανακαλυπτική μάθηση.

- Εμπλοκή σε βιωματικές δραστηριότητες και παρατηρήσεις - αλληλεπίδραση με τις παραμέτρους των μαθησιακών περιβαλλόντων-γνωστικές συγκρούσεις.
- Μάθηση μέσω πειραμάτων-υπολογιστικών προσομοιώσεων-3D περιβαλλόντων ΕΠ και ΕΠ.
- Διερεύνηση των υπό μελέτη εννοιών σε διαφορετικές περιπτώσεις –πλαίσια.
- Έμφαση στο ρόλο του διδάσκοντα για συντονισμό και ρύθμιση των παραμέτρων της μαθησιακής διαδικασίας.
- Αδυναμία κατανόησης επιστημονικών κειμένων – επιστημονικού λεξιλογίου από τους μαθητές, συχνά έλλειπες επιστημονικό λεξιλόγιο αναφορικά με τις υπό μελέτη έννοιες.
- Αδυναμία κατανόησης των διανυσματικών χαρακτηριστικών των φυσικών μεγεθών - ανάγκη αναπαράστασής τους από τα μαθησιακά περιβάλλοντα.
- Σημασία πρότερων ιδεών των μαθητών αναφορικά με λέξεις-κλειδιά της Μηχανικής, με βάση την καθημερινή τους εμπειρία.
- Αλίευση από τον διδάσκοντα των γνωστικών εμποδίων με βάση τις ενέργειες των μαθητών κατά τη διάρκεια της μαθησιακής διαδικασίας και αξιοποίησή τους ως βάση για συζήτηση μέσα στην ομάδα. Ομάδα.
- Κινητοποίηση των μαθητών να σχεδιάζουν οι ίδιοι τα διανυσματικά φυσικά μεγέθη και ιδιαίτερα τις δυνάμεις πάνω στα σώματα, σε διάφορες περιπτώσεις-πλαίσια.
- Συνεργασία-συνδόμηση της γνώσης: διαμόρφωση συνθηκών για συζήτηση μεταξύ των μαθητών σε ομάδες καθώς αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον της εφαρμογής.
- Αναγκαιότητα για προφορική και γραπτή έκφραση των παρατηρήσεων των μαθητών για θεμελίωση της γνωστικής προόδου μέσω αξιοποίησης του κατάλληλου επιστημονικού λεξιλογίου.
- Έμφαση στην συνεχή αλληλεπίδραση μεταξύ διδάσκοντος και μαθητών καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας.
- Ελαχιστοποίηση κατά το δυνατόν των μεταβλητών που πρέπει να διαχειρίζονται ταυτόχρονα οι μαθητές μέσα στο μαθησιακό περιβάλλον για αποφυγή σύγχυσης και αποπροσανατολισμού.

- Ιδιαίτερη προσοχή στην προϋπάρχουσα επιστημονική γνώση των μαθητών κατά την εισαγωγή νέων εννοιών και κατά την ενσωμάτωση μαθηματικών σχέσεων που περιγράφουν ή συνδέουν τις υπό μελέτη έννοιες στη μαθησιακή διαδικασία, ανάλογα και με τη βαθμίδα εκπαίδευσης.

6.1.3 Μάθηση με χρήση τεχνολογιών κινητής τηλεφωνίας (mobile based learning)

Η επιλογή αξιοποίησης κινητών συσκευών ως μέσο μάθησης για τα προτεινόμενα μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ επίσης δημιουργεί ιδιαίτερες μαθησιακές συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα οι κινητές συσκευές επιτρέπουν κατά την υλοποίηση των περιβαλλόντων ΕΠ :

- την αξιοποίηση τους παντού και οποιαδήποτε στιγμή,
- την κινητικότητα των μαθητών καθώς χειρίζονται τη συσκευή

6.1.4 Αξιοποίηση της τεχνολογίας ΕΠ

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και η εγγενής πολυτροπικότητα που εισάγονται από την ίδια την τεχνολογία ΕΠ την διαφοροποιούν σημαντικά από τα άλλα μαθησιακά, τεχνολογικά εμπλουτισμένα περιβάλλοντα (Kulas κ.ά, 2004). Αναφορικά με την αξιοποίηση της τεχνολογίας ΕΠ για την ανάπτυξη των εφαρμογών της παρούσας προσέγγισης, έγινε προσπάθεια να αξιοποιηθούν όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά της ΕΠ που ανέδειξε η σχετική βιβλιογραφική έρευνα του κεφαλαίου 3. Τα χαρακτηριστικά αυτά ως εγγενή χαρακτηριστικά της ΕΠ δύνανται, με βάση τη σχετική βιβλιογραφική μελέτη, να κινητοποιήσουν και να εμπλέξουν τον μαθητευόμενο σε μια διαδικασία διερευνητικής μάθησης, να προάγουν την συνεργατικότητα μεταξύ μαθητευόμενων, την από κοινού παρατήρηση του ίδιου φαινομένου, και να αποδεσμεύσουν τον δάσκαλο από τον παραδοσιακό του ρόλο επιτρέποντάς του να κατευθύνει και να ενθαρρύνει την μαθησιακή διαδικασία. Σύμφωνα με τα όσα συζητήθηκαν στο κεφάλαιο 3 της παρούσας εργασίας, ο σχεδιασμός των μαθησιακών δραστηριοτήτων ΕΠ θα πρέπει να αξιοποιεί τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- 3D απεικόνιση ψηφιακών δεδομένων,
- δυνατότητα παρατήρησης χρονικής εξέλιξης των υπερτιθέμενων ψηφιακών δεδομένων,
- δυνατότητα διάδρασης με τα υπερτιθέμενα ψηφιακά δεδομένα,
- δυνατότητα αισθητοποίησης του αόρατου,

- δυνατότητα παρατήρησης των ψηφιακών δεδομένων από διαφορετικές οπτικές γωνίες,
- δυνατότητα παρατήρησης της εξέλιξης ενός κοινού φαινομένου από όλους τους μαθητές,
- ενίσχυση της μαθητοκεντρικής διδασκαλίας,
- απελευθέρωση του διδάσκοντα ο οποίος τίθεται σε ρόλο διευκολυντή,

6.1.5 Παιγνιοποίηση

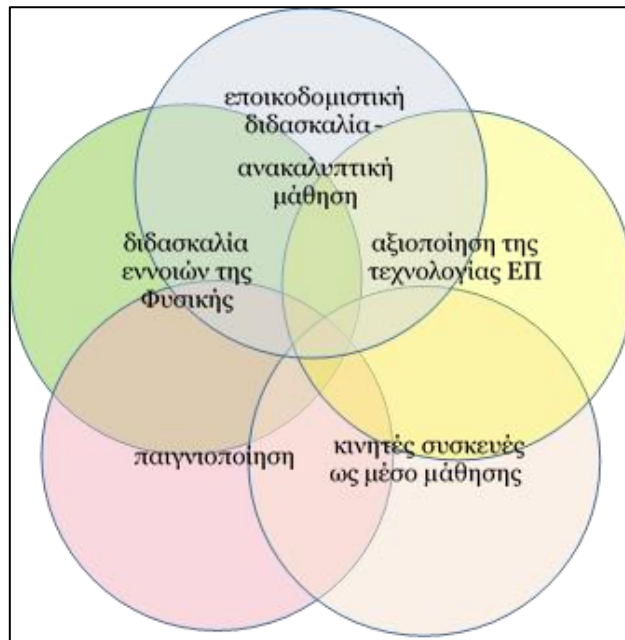
Προκειμένου να ενισχυθεί η μαθησιακή διαδικασία, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο 2^ο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας, έγινε προσπάθεια να ενσωματωθούν τα παρακάτω στοιχεία παιγνιοποίησης κατά τον σχεδιασμό και την υλοποίηση των εμπειριών ΕΠ στη σχολική τάξη:

- το στοιχείο της πρόκλησης,
- το στοιχείο της έκπληξης,
- απρόσμενη ευχαρίστηση,
- περιστασιακή επιβράβευση με «δώρα»/εικονικά αντικείμενα,
- διατήρηση των μαθητών σε κατάσταση ροής,
- ικανοποίηση, κατά το δυνατόν, όλων των τύπων «παικτών».

6.2 Διαμόρφωση αρχών σχεδιασμού μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ

Με βάση τα παραπάνω είναι προφανές ότι οι πολλαπλές μεθοδολογικές διαστάσεις αλληλεπικαλύπτονται σε αρκετά σημεία (εικόνα 6.1).

Ως αποτέλεσμα της προσπάθειας συνδυασμού των κυρίαρχων χαρακτηριστικών των παραπάνω διαφορετικών προσεγγίσεων αναφορικά και με τις δυνατότητες των αξιοποιούμενων τεχνολογιών, προέκυψε τελικά ένα σύνολο σχεδιαστικών προδιαγραφών όπως αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1.



Εικόνα 6.1: Οι πέντε διαστάσεις που καθορίζουν τον σχεδιασμό των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ.

Πίνακας 6.1: Προδιαγραφές σχεδιασμού των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ με βάση το θεωρητικό πλαίσιο της έρευνας.

Μαθητοκεντρική διδασκαλία – ο μαθητής δομεί ο ίδιος τη γνώση του

Ο διδάσκοντας τίθεται σε ρόλο συντονιστή-ενορχηστρωτή της μαθησιακής διαδικασίας

Ενεργή, ανακαλυπτική μάθηση μέσω πειραμάτων-προσομοιώσεων-3Δ περιβαλλόντων

Εμπλοκή σε βιωματικές δραστηριότητες και παρατηρήσεις - αλληλεπίδραση με τις παραμέτρους των μαθησιακών περιβαλλόντων

Συνεργασία-συνδόμηση της γνώσης ώστε οι μαθητές να έχουν την ευκαιρία να συζητούν μεταξύ τους σε ομάδες καθώς αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον της εφαρμογής

Έμφαση στην συνεχή αλληλεπίδραση μεταξύ διδάσκοντος και μαθητών καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας

Σημασία πρότερων ιδεών των μαθητών αναφορικά με λέξεις-κλειδιά της Μηχανικής, με βάση την καθημερινή τους εμπειρία: ο διδάσκων πρέπει να αλιεύει τα γνωστικά εμπόδια από τις ενέργειες των μαθητών κατά τη διάρκεια της μαθησιακής διαδικασίας και να τα χρησιμοποιεί ως βάση για συζήτηση μέσα στην ομάδα

Διερεύνηση των υπό μελέτη εννοιών σε διαφορετικές περιπτώσεις -πλαίσια

Ιδιαίτερη προσοχή σε σχέση με την αδυναμία κατανόησης επιστημονικών κειμένων – επιστημονικού λεξιλογίου από τους μαθητές εξαιτίας του συχνά ελλιπούς επιστημονικού λεξιλογίου αναφορικά με τις υπό μελέτη έννοιες

Αναγκαιότητα για προφορική και γραπτή έκφραση των παρατηρήσεων των μαθητών για θεμελίωση γνωστικής προόδου μέσω αξιοποίησης του κατάλληλου επιστημονικού λεξιλογίου

Ανάγκη οπτικής αναπαράστασης των διανυσματικών φυσικών μεγεθών λόγω αδυναμίας κατανόησης των διανυσματικών χαρακτηριστικών τους από τους μαθητές

Κινητοποίηση των μαθητών να σχεδιάζουν οι ίδιοι τα διανυσματικά φυσικά μεγέθη και ιδιαίτερα τις δυνάμεις πάνω στα σώματα, σε διάφορες περιπτώσεις-πλαίσια

Ελαχιστοποίηση κατά το δυνατόν των μεταβλητών που πρέπει ταυτόχρονα να διαχειρίζονται οι μαθητές μέσα στο περιβάλλον για αποφυγή σύγχυσης και αποπροσανατολισμού

Ιδιαίτερη προσοχή στην προϋπάρχουσα επιστημονική γνώση των μαθητών (σύμφωνα με το τί έχουν ήδη διδαχθεί) κατά την εισαγωγή νέων εννοιών και κατά την ενσωμάτωση μαθηματικών σχέσεων που περιγράφουν ή συνδέουν τις υπό μελέτη έννοιες στη μαθησιακή διαδικασία, ανάλογα και με τη βαθμίδα εκπαίδευσης

Εξατομίκευση και προσαρμογή των ζητούμενων δοκιμασιών ανάλογα με το επίπεδο γνώσεων του μαθητή

Ανάθεση δοκιμασιών κλιμακούμενης δυσκολίας μέσα στο μαθησιακό περιβάλλον ΕΠ – δυνατότητα επανάληψης της δραστηριότητας όσες φορές απαιτείται για να πετύχει ο μαθητής το επιθυμητό αποτέλεσμα ή να βελτιώσει την τεχνική του, με μεγαλύτερη πιθανότητα επιτυχίας στην επόμενη προσπάθεια

Άμεση ανάδραση των ενεργειών του μαθητή, ώστε να γνωρίζει αυτός το αποτέλεσμα των ενεργειών του

Αναγνώριση/επιβράβευση κατά την ολοκλήρωση μιας δοκιμασίας με πόντους (points)

6.3 Μεθοδολογία ανάπτυξης μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ

Ως μεθοδολογικό πλαίσιο σχεδιασμού της διδακτικής προσέγγισης, χρησιμοποιήθηκε το Μοντέλο Ισορροπημένου Σχεδιασμού (Balanced Design Model) (Groff, J., Clarke-Midura, J., Owen, V.E., Rosenheck, L., & Beall, M., 2015). Σύμφωνα με την ομάδα σχεδιασμού, το παραπάνω πλαίσιο σχεδιασμού έχει ως στόχο να βοηθήσει τους σχεδιαστές εκπαιδευτικών εμπειριών να ευθυγραμμίσουν τους μαθησιακούς στόχους με τη μηχανική του παιχνιδιού ώστε να δημιουργήσουν πιο επιτυχημένες και ελκυστικές μαθησιακές εμπειρίες.

Το παρόν μεθοδολογικό πλαίσιο βασίζεται στο ευρύτατα διαδεδομένο, αλλά συνθετότερο και συχνά μη εφαρμόσιμο, μοντέλο ECD (Evidence-Centered Design) (Mislevy, R., Almond, R., & Lukas, J., 2003) και αποτελείται από τρία κύρια στοιχεία χαρακτηριζόμενα ως «Μοντέλα»:

- Το *Μοντέλο Περιεχομένου* (The Content Model), γνωστό και ως Μοντέλο του μαθητή: προσδιορίζει τις γνώσεις/δεξιότητες/ικανότητες στις οποίες στοχεύει η εμπειρία και καθορίζει τη μαθησιακή δομή της εμπειρίας. Αποτελεί την καρδιά του σχεδιασμού ενός μαθησιακού περιβάλλοντος - χωρίς αυτό το στοιχείο κανείς δεν μπορεί να είναι σίγουρος τι ακριβώς στοχεύει να πετύχει η εφαρμογή.
- το *Μοντέλο Τεκμηρίων Γνώσης* (the Evidence Model): περιγράφει πιθανές παρατηρήσεις και συμπεριφορές των μαθητών οι οποίες δύνανται να αποτελέσουν στοιχείο των ικανοτήτων τους. Αυτό το στοιχείο πολύ συχνά αντιμετωπίζεται ανεπαρκώς κατά το σχεδιασμό μιας μαθησιακής εμπειρίας. Το στοιχείο αυτό απαντά στις ερωτήσεις «Πώς θα μετρηθεί η κατάκτηση της παραπάνω γνώσης;» και «Ποιες συμπεριφορές και αποδόσεις θα χρησιμοποιηθούν;». Επιπλέον, καθορίζει τους κανόνες για το πώς θα ερμηνευτεί η απόδοση των μαθητών σε κάθε δραστηριότητα και το πώς θα ενημερωθεί το μοντέλο περιεχομένου με βάση την εν λόγω ερμηνεία. Με άλλα λόγια, ο μαθητής πραγματικά αντιλαμβάνεται τη γνωστική δομή που του παρουσιάζεται ή χρειάζεται επιπλέον υποστήριξη; Ερωτώντας και απαντώντας στις παραπάνω

ερωτήσεις οριοθετείται το Μοντέλο Περιεχομένου. Χωρίς αυτό το σαφές και καθορισμένο μοντέλο κρίνουμε το σχεδιασμό του παιχνιδιού χωρίς στοιχεία αποδείξεων που να εμπλέκουν τη μαθησιακή διαδικασία. Ως αποτέλεσμα, ο μαθησιακός σχεδιασμός προκύπτει περισσότερο ως αποτέλεσμα καλής κρίσης και όχι βάσει μαθησιακών τεκμηρίων.

- το *Μοντέλο Δραστηριοτήτων* (the Task Model). Περιγράφει πλευρές των καταστάσεων εκείνων που είναι πιθανό να αναδείξουν τις παραπάνω αποδείξεις. Αυτό το κομμάτι του σχεδιασμού περιγράφει αναλυτικά τη δομή του παιχνιδιού και τις προκλήσεις που ο μαθητής-παίκτης θα πρέπει να αντιμετωπίσει.

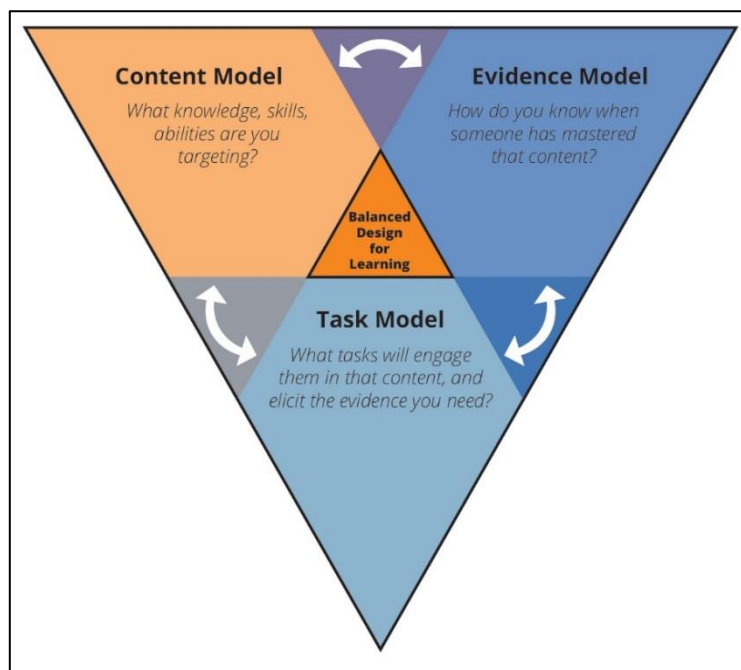
Σε συνδυασμό, τα παραπάνω στοιχεία σχεδιασμού παρέχουν ένα μεθοδολογικό πλαίσιο σχεδιασμού προκειμένου να καθοριστούν:

- η γνώση που πρέπει να αποκτηθεί,
- οι δραστηριότητες που θα εμπλέξουν τους μαθητές σε σχέση με τους επιδιωκόμενους μαθησιακούς στόχους,
- τα δεδομένα που θα προκύψουν από αυτές τις δραστηριότητες και το πώς αυτά θα ερμηνευτούν ώστε να προκύψουν συμπεράσματα για τις ικανότητες των μαθητών.

Με βάση την παραπάνω δομή, επιτυγχάνεται η ευθυγράμμιση μεταξύ των μαθησιακών στόχων και των αποδεικτικών στοιχείων κατάκτησης αυτών των στόχων, χαρακτηριστικό το οποίο ως επί το πλείστον απουσιάζει από το χώρο των μαθησιακών παιχνιδιών (Groff κ.ά., 2015). Κατ' αυτό τον τρόπο, ο συνδυασμός των παραπάνω στοιχείων δύναται να δώσει μία κυκλική ανατροφοδότηση για μια διαρκή μαθησιακή εμπειρία.

6.4 Εκπαιδευτικός σχεδιασμός μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ

Η ανάγκη για αξιοποίηση των αρχών σχεδιασμού που διαμορφώθηκαν και υιοθετήθηκαν στην παρούσα έρευνα υπέδειξε ως στρατηγική σχεδιασμού της παρούσης διδακτικής προσέγγισης την αυτό-καθοδηγούμενη, ανακαλυπτική μάθηση μέσω της εκτέλεσης δραστηριοτήτων, υπό τύπον προσομοιώσεων οι οποίες αξιοποιούν την τεχνολογία ΕΠ.



Εικόνα 6.2: Το Μοντέλο Ισορροπημένου Σχεδιασμού (Balanced Design Model) που επιλέχθηκε ως μεθοδολογικό πλαίσιο σχεδιασμού των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ (Groff κ.ά., 2015).

Πιο συγκεκριμένα, το μαθησιακό περιβάλλον δομήθηκε ως ένα σύνολο αυτόνομων αυτό-καθοδηγούμενων εμπειριών. Κάθε εμπειρία πραγματοποιείται ως ένα ανοικτό πείραμα, μια δραστηριότητα ΕΠ η οποία, εν συνεχεία, σχεδιάζεται ώστε να στοχεύει σε συγκεκριμένους μαθησιακούς στόχους, σύμφωνα με το Μοντέλο Περιεχομένου.

Προκειμένου να υλοποιηθεί το Μοντέλο του Περιεχομένου για κάθε μία από τις δραστηριότητες ΕΠ αρχικά οριοθετήθηκε και στη συνέχεια καθορίστηκε το μαθησιακό περιεχόμενο. Τα πειράματα ΕΠ έχουν «εισόδους» με συγκεκριμένες παραμέτρους, για παράδειγμα την πραγματική απόσταση μεταξύ δύο εικονικών ηλεκτρικών φορτίων η οποία καθορίζεται κάθε στιγμή από τον μαθητή μέσα στο αντίστοιχο μαθησιακό περιβάλλον ΕΠ. Όπως υπαγορεύει η υιοθετούμενη σχεδιαστική μεθοδολογία, οι παράμετροι «εξόδου» των πειραμάτων ΕΠ (για παράδειγμα το μέγεθος της εικονικής ηλεκτρικής δύναμης καθώς μεταβάλλεται η απόσταση μεταξύ των ηλεκτρικών φορτίων) είναι σημαντικό να καταγραφούν, ώστε να αξιολογηθεί σε πραγματικό χρόνο ο βαθμός κατάκτησης των μαθησιακών στόχων της δραστηριότητας και να εκτιμηθεί αν θα πρέπει η διαδικασία να υποστηριχθεί περαιτέρω. Προκειμένου να εκπληρωθεί η παραπάνω προδιαγραφή, σε συνδυασμό με την ανάγκη για δημιουργία ενός ελεύθερου περιβάλλοντος πειραματισμού που δεν ακολουθεί γραμμική δομή, ο παραπάνω μηχανισμός υλοποιήθηκε με την χρήση κατάλληλα σχεδιασμένων φύλλων εργασίας. Τα φύλλα εργασίας υλοποιούν το Μοντέλο των Αποδείξεων, και σχεδιάζονται κατά τρόπο

ώστε αρχικά να καθοδηγούν τον μαθητή στο να εξερευνήσει το μαθησιακό περιβάλλον σε σχέση πάντα με τους επιδιωκόμενους μαθησιακούς στόχους και στη συνέχεια να εξάγει συμπεράσματα με βάση τις παρατηρήσεις του.

Στην παρούσα υλοποίηση τα φύλλα εργασίας έχουν έναν επιπλέον ρόλο πέρα από τη συλλογή τεκμηρίων γνώσης, ο οποίος υπαγορεύεται από την «ανοικτότητα» της δραστηριότητας. Ο ρόλος αυτός είναι να καθοδηγούν την εξερεύνηση με σκοπό να βοηθήσουν τους μαθητές να χειριστούν σωστά τις μεταβλητές του περιβάλλοντος ΕΠ, καθώς κατακτούν τους μαθησιακούς στόχους που τίθενται από το Μοντέλο Περιεχομένου. Κάτω από αυτή τη λογική, αντί να ενσωματωθεί ένας μηχανισμός αξιολόγησης μέσα στην εφαρμογή γεγονός που θα περιόριζε τα σημεία ελέγχου και θα καθόριζε αυστηρά, προτιμήθηκε η πιο ανοικτή προσέγγιση των φύλλων εργασίας. Το σκεπτικό πίσω από την επιλογή ήταν ότι τα φύλλα εργασίας μπορούν κάθε φορά να τροποποιηθούν κατάλληλα προκειμένου να ταιριάζουν περισσότερο στις εκάστοτε συνθήκες, ώστε να αξιολογούν αποδοτικότερα τις κατά περίπτωση γνωστικές δυσκολίες των μαθητών, όπως αυτές πολλές φορές ποικίλουν και διαφοροποιούνται από τάξη σε τάξη, ανάλογα και με τις πρότερες ιδέες αλλά και την υπάρχουσα σχετική επιστημονική γνώση των μαθητών της τάξης. Επιπλέον, μέσω της επί τόπου συμπλήρωσης των φύλλων εργασίας οι μαθητές έχουν την ευκαιρία να αποτυπώνουν και γραπτά τα συμπεράσματά τους, κατόπιν μεταξύ τους συζήτησης, τόσο χρησιμοποιώντας το σχετικό επιστημονικό λεξιλόγιο όσο και κάνοντας χρήση των κατάλληλων σχηματικών στοιχείων. Αυτή η δυνατότητα όπως συζητήθηκε στο κεφάλαιο 5 είναι ιδιαίτερα σημαντική, δεδομένου ότι οι μαθητές, διαμορφώνοντας τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά τους προφορικά και γραπτά, θεμελιώνουν περαιτέρω την εννοιολογική τους πρόοδο. Μέσω μιας τέτοιας διαδικασίας, οι μαθητές προχωρούν από την απλή κατανόηση των εννοιών και φαινομένων στην αξιοποίηση του κατάλληλου επιστημονικού "λεξιλογίου" προκειμένου να δώσουν ουσιαστικές εξηγήσεις για τα φαινόμενα που ερευνήθηκαν (Tomara et al., 2017).

Τέλος, το Μοντέλο των Δοκιμασιών αναπτύχθηκε ξεχωριστά για κάθε μία εμπειρία ΕΠ, προκειμένου να σχεδιαστεί η διαδικασία που θα εμπλέξει τους μαθητές κατάλληλα, αναφορικά με το διδακτικό περιεχόμενο και η οποία θα ανασύρει ταυτόχρονα τα απαιτούμενα τεκμήρια γνώσης.

Αναφορικά με τη δομή των επιμέρους δραστηριοτήτων ΕΠ, προσπαθήσαμε να εφαρμόσουμε τις σχεδιαστικές αρχές που προτείνονται από τους Kerawalla κ.ά. (2006), οι οποίες είναι σε συμφωνία με τις ήδη υιοθετούμενες σχεδιαστικές αρχές:

- i. ευέλικτο περιεχόμενο που οι εκπαιδευτικοί μπορούν να προσαρμόσουν στις ανάγκες των μαθητών,
- ii. καθοδηγούμενη ανακάλυψη ώστε να μεγιστοποιούνται οι δυνατότητες μάθησης στον περιορισμένο διατιθέμενο χρόνο,
- iii. ιδιαίτερη προσοχή στις ανάγκες στις ιδιαίτερες απαιτήσεις της εκπαιδευτικής μονάδας και του αναλυτικού προγράμματος.

Για να ικανοποιήσουμε την πρώτη απαίτηση, κάτω από τη λογική υλοποίησης ενός «ανοικτού» μαθησιακού περιβάλλοντος που δύναται να τροποποιηθεί κατά περίπτωση, ως προς τους επιμέρους στόχους και τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα, επιλέξαμε να μην ακολουθήσουμε μια μη γραμμική δομή αναφορικά με τις μεμονωμένες δραστηριότητες ΕΠ. Αντί αυτού και ικανοποιώντας ταυτόχρονα και τη δεύτερη απαίτηση της καθοδηγούμενης διερεύνησης καθόλη τη διάρκεια της εμπειρίας ΕΠ, σχεδιάσαμε κατάλληλα φύλλα εργασίας όπως εξηγήθηκε νωρίτερα. Για να ικανοποιηθεί και το τρίτο σημείο των παραπάνω προδιαγραφών σχεδιασμού, το περιβάλλον κάθε δραστηριότητας ΕΠ δομείται κατά τρόπο ώστε να υλοποιεί συγκεκριμένους μαθησιακούς στόχους, όπως θα εξηγηθεί στη συνέχεια.

Περαιτέρω σχεδιαστικές επιλογές υλοποιήθηκαν για να ενισχυθούν ακόμη περισσότερο οι αρχές που υιοθετήθηκαν. Αρχικά, τα μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ σχεδιάστηκαν για να επιτρέπουν στους μαθητές να πειραματιστούν με τρόπο συνεργατικό, αφού πληθώρα ερευνητικών μελετών αναδεικνύουν τις θετικές επιδράσεις της συνεργατικής μάθησης και της συνεργατικής δόμησης της γνώσης (Tao & Gunstone, 1997; Vosniadou, Ioannides, Dimitrakoulou, & Papademitriou, 2001). Εξάλλου αυτή η προοπτική υπαγόρευσε εξ αρχής την επιλογή να αναπτυχθούν οι μαθησιακές εμπειρίες ΕΠ για περιβάλλον κινητών συσκευών. Η μάθηση μέσω κινητών συσκευών αναδείχθηκε ως η καταλληλότερη για να επιτρέψει στους μαθητές να πειραματιστούν συνεργατικά και να κάνουν παρατηρήσεις καθισμένοι στα θρανία τους μέσα στο αυθεντικό περιβάλλον διδασκαλίας τους σε σχέση με το να χρειάζεται να μεταφερθούν σε μια αίθουσα υπολογιστών προκειμένου να πειραματιστούν σε ένα ψηφιακό περιβάλλον προσομοίωσης.

Επιπρόσθετα, τα στοιχεία κειμένου που εμφανίζονται στα περιβάλλοντα ΕΠ επιλέχθηκε να είναι κατά το δυνατό περιορισμένα, καθώς, σύμφωνα με τους Ibanez κ.ά. (2014), η πληροφορία που δίνεται με την μορφή κειμένου είναι δυνατόν να αποσπάσει την προσοχή των μαθητών. Επιπλέον, οι Lee και Park (2013) επίσης ανέφεραν στην έρευνά

τους αδυναμία κατανόησης που σύμφωνα με τους ερευνητές οφείλονταν στον ελλιπή βαθμό κατανόησης των λέξεων σε επιστημονικό πλαίσιο.

Παράλληλα, οι ερευνητές ανέφεραν αδυναμία αποκωδικοποίησης των κειμένων της Φυσικής και ως εκ τούτου μειωμένη ικανότητα εφαρμογής των επιστημονικών εννοιών για την περιγραφή πραγματικών φαινομένων της καθημερινής ζωής. Οι Boletsis και McCallum (2013) αναφέρουν επίσης δυσκολίες των μαθητών που οφείλονται στην λεκτική διατύπωση εννοιών. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, αποφασίστηκε να ελαχιστοποιηθεί η χρήση οδηγιών υπό μορφή κειμένου κατά τον σχεδιασμό των διεπαφών ΕΠ. Με αυτόν τον τρόπο, επιδιώκεται οι μαθητές να μπορέσουν να επικεντρωθούν στις λέξεις-κλειδιά που αποτελούν την λεκτική αναπαράσταση των αντίστοιχων εννοιών της Φυσικής καθώς και στα σύμβολα που χρησιμοποιούνται ευρέως για να συμβολίζουν αυτές τις έννοιες. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, δεδομένου ότι οι δραστηριότητες ΕΠ στοχεύουν σε μαθητές του Γυμνασίου οι οποίοι χρειάζεται να ξεκαθαρίσουν αυτές τις έννοιες τις τόσο θεμελιώδεις στην γνώση της επιστήμης της Φυσικής προτού εισαχθούν σε πιο σύνθετες έννοιες και μαθηματικούς τύπους κατά τη μετάβαση τους σε μεγαλύτερες τάξεις. Η προαναφερθείσα επιλογή ενισχύθηκε περαιτέρω από τους περιορισμούς που εισάγονται λόγω του περιορισμένου μεγέθους οθόνης των κινητών συσκευών.

Από άποψη παιγνιοποίησης περιεχομένου οι δραστηριότητες ΕΠ υλοποιούν:

- το στοιχείο της πρόκλησης, με την ανάθεση δοκιμασιών κλιμακούμενης δυσκολίας μέσα στο περιβάλλον ΕΠ και τη συγκέντρωση βαθμών (points) κατά την ολοκλήρωση μιας δοκιμασίας.
- η δυνατότητα επανάληψης της κάθε δραστηριότητας ΕΠ όσες φορές χρειάζεται μέχρι να πετύχει ο μαθητής το επιθυμητό αποτέλεσμα.
- άμεση ανάδραση των ενεργειών του μαθητή, ώστε να βλέπει το αποτέλεσμα των ενεργειών του
- έκπληξη και απρόσμενη ευχαρίστηση η οποία προκύπτει από την επιτυχημένη εκτέλεση των ζητούμενων ενεργειών μέσα στο περιβάλλον ΕΠ και η εμφάνιση των «αόρατων» δεδομένων ΕΠ.
- εξατομίκευση και προσαρμογή των ζητούμενων δοκιμασιών ανάλογα με το επίπεδο γνώσεων του μαθητή.
- περιστασιακή επιβράβευση με «δώρα»/ εικονικά αντικείμενα.

Τα περισσότερα από τα παραπάνω σημεία παιγνιοποίησης είναι σε ευθυγράμμιση με σχεδιαστικές προδιαγραφές που τίθενται τόσο από την επιλογή της εποικοδομιστικής προσέγγισης ως θεωρίας μάθησης για τον σχεδιασμό των εμπειριών ΕΠ όσο και από προδιαγραφές που θέτει η μάθηση μέσω ανακάλυψης για το αντικείμενο της Φυσικής αλλά και η αξιοποίηση των χαρακτηριστικών της τεχνολογίας ΕΠ για μαθησιακούς σκοπούς.

Τα παραπάνω στοιχεία παιγνιοποίησης επιλέχθηκαν και αναφορικά με τους τύπους παικτών του Bartle (Κεφάλαιο 2). Οι προκλήσεις κλιμακούμενης δυσκολίας μέσα στο περιβάλλον ΕΠ, οι βαθμοί και οι ανταμοιβές είναι χαρακτηριστικά που ανταποκρίνονται στον τύπο του παίκτη που θέλει να πετυχαίνει αφού του δίνουν την αίσθηση της επιτυχίας που επιθυμούν να λαμβάνουν κατά τη μαθησιακή διαδικασία. Επίσης κάποια περιστασιακά «δώρα» που δίνονται ως ανταμοιβές σε κάποια σημεία κατά τον ελεύθερο πειραματισμό μέσα στο περιβάλλον της εμπειρίας ΕΠ αλλά και το στοιχείο της απρόσμενης ικανοποίησης που προκύπτει από την εμφάνιση επαυξημένων ψηφιακών δεδομένων μετά από κάποιο βήμα της διαδικασίας και η εξατομίκευση ανάλογα με το επίπεδο του παίκτη είναι στοιχεία που ελκύουν τον τύπο του παίκτη-εξερευνητή. Για την ικανοποίηση του παίκτη που επιζητεί την κοινωνικοποίηση προκύπτει μέσα από τον συνεργατικό χαρακτήρα της διδακτικής προσέγγισης καθώς και την ανάγκη για συζήτηση και αλληλεπίδραση ανάμεσα στα μέλη της ομάδας καθόλη τη διάρκεια πειραματισμού μέσα στα περιβάλλοντα ΕΠ. Ο τύπος του παίκτη-δολοφόνου αντλεί ικανοποίηση από την αποτυχία των υπόλοιπων παικτών. Δεδομένου ότι αυτή η στάση δεν κρίνεται παιδαγωγικά σωστό να προωθηθεί μέσα στο σχολικό περιβάλλον αποφασίστηκε να μην συμπεριληφθούν στα περιβάλλοντα ΕΠ στοιχεία παιγνιοποίησης που να ικανοποιούν αυτό το είδος παίκτη.

Επιπλέον, και προκειμένου να διατηρηθεί κατά το δυνατόν ο μαθητής σε κατάσταση ροής, ο διδάσκων δύναται να επιλέξει να αναθέσει σε ορισμένες ομάδες μαθητών κάποιες μόνο από τις δραστηριότητες των φύλλων εργασίας ή και να τα δομήσει ανάλογα με το γνωστικό υπόβαθρο κάθε ομάδας αναφορικά με το διδακτικό αντικείμενο.

Κεφάλαιο 7

Τεχνικός Σχεδιασμός Μαθησιακών Περιβαλλόντων ΕΠ

Το παρόν κεφάλαιο αναφέρεται στον τεχνικό σχεδιασμό των προτεινόμενων μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ. Συγκεκριμένα, περιγράφονται οι λειτουργικές προδιαγραφές οι οποίες κατεύθυναν την αναζήτηση και τον προσδιορισμό των κατάλληλων εργαλείων ανάπτυξης. Ακολούθως παρουσιάζονται τα προγραμματιστικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των μαθησιακών εφαρμογών ΕΠ και τέλος αναλύθηκαν τα βασικά στοιχεία τα οποία υλοποιούν τα μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ.

7.1 Τεχνικές προδιαγραφές περιβαλλόντων ΕΠ

Από τεχνικής άποψης, σκοπό των περιβαλλόντων ΕΠ αποτελεί η επαύξηση φυσικών αντικειμένων-στόχων με πρόσθετα (επαυξημένα) ψηφιακά δεδομένα όπως κείμενο, 2Δ και 3Δ γραφικά στοιχεία. Αυτός ο τύπος ΕΠ υλοποιείται από την τεχνολογία vision-based AR (Uematsu & Saito, 2008, Azuma, 1997) η οποία βασίζεται στην αναγνώριση εικόνας ή αντικείμενου (image recognition) και παρέχει στους χρήστες επαυξημένα ψηφιακά δεδομένα μόνο αφότου αυτοί εστιάσουν την κάμερα της φορητής συσκευής τους σε ένα συγκεκριμένο φυσικό αντικείμενο ή εικόνα. Ο βασικός περιορισμός αναφορικά με την επιλογή των κατάλληλων προγραμματιστικών εργαλείων για την υλοποίηση των περιβαλλόντων ΕΠ ήταν να είναι αυτά δωρεάν διαθέσιμα.

Αναφορικά με το σκοπό των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ και με βάση τον μεθοδολογικό σχεδιασμό που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 6, διαμορφώνονται κάποιες λειτουργικές προδιαγραφές (functional requirements):

- i. Οι εφαρμογές ΕΠ θα πρέπει να επαυξάνουν το αντικείμενο-στόχο της κάμερας με δισδιάστατα (2D) και τρισδιάστατα (3D) γραφικά στοιχεία (graphics rendering).
- ii. Ο στόχος της κάμερας θα πρέπει να γίνεται αντιληπτός ως πραγματικό αντικείμενο που υπόκειται στους νόμους της Νευτώνειας Φυσικής γεγονός που υπαγορεύει την αναγκαιότητα μηχανής Φυσικής (Game engine).

- iii. Οι εφαρμογές ΕΠ θα πρέπει να υλοποιούν τη δυνατότητα αναγνώρισης αντικειμένου-στόχου και επαύξησης του με ψηφιακά δεδομένα, σε πραγματικό χρόνο (Marker tracking).
- iv. Οι εφαρμογές ΕΠ θα πρέπει να υλοποιούν την ταυτόχρονη αναγνώριση περισσότερων του ενός αντικειμένων – στόχων, όπου απαιτείται (multi target tracking).
- v. Οι εφαρμογές ΕΠ θα πρέπει να επιτρέπουν αλληλεπίδραση μεταξύ των αντικειμένων-στόχων, όπου απαιτείται.
- vi. Οι εφαρμογές θα πρέπει να επιτρέπουν την κίνηση των αντικειμένων-στόχων χωρίς να χάνονται τα επαυξημένα δεδομένα.
- vii. Οι εφαρμογές θα πρέπει να λειτουργούν σε φορητές συσκευές με λειτουργικό Android (smartphones και tablets) .

Οι παραπάνω λειτουργικές απαιτήσεις κατεύθυναν την αναζήτηση και τον προσδιορισμό των κατάλληλων εργαλείων ανάπτυξης για τα περιγραφόμενα περιβάλλοντα ΕΠ.

Αρχικά, η απαίτηση για κάλυψη όλων των παραπάνω τεχνικών προδιαγραφών οδήγησε στη αναζήτηση κάποιας κατάλληλης Μηχανής Ανάπτυξης Παιχνιδιών (Game Engine). Οι Μηχανές Παιχνιδιών αποτελούν πλαίσια για τον προγραμματισμό, όχι μόνο παιχνιδιών αλλά ενός μεγάλου εύρους εφαρμογών οι οποίες απαιτούν ένα σημαντικό αριθμό εργαλείων (tools), έτοιμων βιβλιοθηκών (libraries) και επεκτάσεων (add-ons). Μεταξύ των πολλών Μηχανών Ανάπτυξης Παιχνιδιών, η πλατφόρμα ανάπτυξης Unity 3D αναδείχθηκε ως η καταλληλότερη, για αρκετούς λόγους. Πρώτον, η σχετική έρευνα κατέδειξε ότι αποτελεί ένα από τα κορυφαία εργαλεία ανάπτυξης παιχνιδιών (Watkins, 2011). Δεύτερον, ικανοποιεί τις δύο βασικότερες από τις παραπάνω λειτουργικές απαιτήσεις. Η πλατφόρμα ανάπτυξης παιχνιδιών Unity 3D αποτελεί ουσιαστικά ένα πλαίσιο ανάπτυξης που παρέχει ένα μεγάλο αριθμό απαιτούμενων εργαλείων με κυριότερα την μηχανή απόδοσης δισδιάστατων και τρισδιάστατων γραφικών (2D και 3D Renderer) καθώς και την Μηχανή Φυσικής (Physics Engine).

Αφενός, μέσα στο περιβάλλον της πλατφόρμας Unity 3D τα Αντικείμενα (Objects) υπόκεινται στους νόμους της Νευτώνειας Μηχανικής και συμπεριφέρονται ως αντικείμενα του πραγματικού κόσμου (Rigid Bodies). Με άλλα λόγια, η πλατφόρμα Unity 3D περιλαμβάνει μια ισχυρότατη Μηχανή Φυσικής (Physics Engine) και συγκεκριμένα

τη Μηχανή Προσομοίωσης Φυσικής “PhysX” της Nvidia. Οι μηχανές Φυσικής είναι ενδιάμεσα προγράμματα (middleware software) που αναλαμβάνουν να υλοποιήσουν ότι έχει να κάνει με τους φυσικούς νόμους που διέπουν την υπό ανάπτυξη εφαρμογή. Έτσι αν, για παράδειγμα, το αντικείμενο μας μετατοπίζεται στο χώρο τότε δεν είμαστε υποχρεωμένοι να δημιουργήσουμε εμείς κατάλληλο κώδικα που θα υλοποιεί τη συνάρτηση υπολογισμού της ταχύτητας του, αφού αυτό υλοποιείται ήδη από την μηχανή Φυσικής της πλατφόρμας. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο στόχος της παρούσας έρευνας είναι η αισθητοποίηση των φυσικών μεγεθών που σχετίζονται με τις κινήσεις των σωμάτων εύκολα γίνεται αντιληπτή η αναγκαιότητα ενσωματωμένης Μηχανής Φυσικής στην πλατφόρμα ανάπτυξης των συγκεκριμένων περιβαλλόντων ΕΠ. Αφετέρου, η σχεδιαστική απόφαση για οπτικοποίηση των διανυσματικών χαρακτηριστικών των φυσικών μεγεθών με τη βοήθεια τρισδιάστατων βελών μεταβλητού μήκους κατέστησε αναγκαία τη δυνατότητα απόδοσης τρισδιάστατων γραφικών (graphics renderer), λειτουργία την οποία επίσης ικανοποιεί η πλατφόρμα Unity 3D, αφού αυτή περιλαμβάνει μηχανή απόδοσης 2D και 3D γραφικών. Η πλατφόρμα Unity 3D διατίθεται σε δύο εκδόσεις, τη δωρεάν (Unity 3D) και την επαγγελματική (Unity 3D Pro). Προφανώς ο περιορισμός για χρήση δωρεάν λογισμικού οδήγησε στην πρώτη δωρεάν έκδοση Unity 3D.

Από την άλλη μεριά, δεν ήταν προφανώς εφικτό στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας να υλοποιηθούν οι απαιτούμενες λειτουργίες αναγνώρισης εικόνας. Αντί αυτού επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν για αυτό το σκοπό έτοιμες βιβλιοθήκες οι οποίες υλοποιούν την τεχνολογία αυτή. Η σχετική αναζήτηση την χρονική περίοδο 2013-2014 ανέδειξε κάποιες τέτοιες βιβλιοθήκες, ωστόσο η επιλογή χρήσης της πλατφόρμας Unity 3D περιόρισε τα αποτελέσματα στις ακόλουθες δύο βιβλιοθήκες, ARToolkit και Vuforia, αφού ήταν οι μοναδικές που διέθεταν πρόσθετο (plugin) για την πλατφόρμα Unity 3D.

Εκτός από τις παραπάνω λειτουργικές απαιτήσεις, βασική προϋπόθεση για την επιλογή βιβλιοθήκης αναφορικά με την υλοποίηση της λειτουργίας ΕΠ αποτέλεσε η ύπαρξη δικτύου υποστήριξης με οδηγούς χρήσης (tutorials) και παραδείγματα έτοιμων εφαρμογών ΕΠ για κάθε βιβλιοθήκη. Την τελική επιλογή της κατάλληλης βιβλιοθήκης καθόρισε ο βαθμός ικανοποίησης όλων των παραπάνω απαιτήσεων των περιβαλλόντων ΕΠ όπως φαίνεται στον παρακάτω συγκριτικό πίνακα.

Με βάση τον παραπάνω συγκριτικό πίνακα η βιβλιοθήκη Vuforia αναδείχθηκε ελαφρώς πληρέστερη. Αλλά και πέραν το παραπάνω απαιτήσεων η βιβλιοθήκη Vuforia υλοποιεί και άλλες πρόσθετες λειτουργίες όπως είναι η διατήρηση των επαυξημένων στοιχείων

ακόμη και όταν χάνεται από το πεδίο της κάμερας το αντικείμενο-ο στόχος (Extended Tracking). Λόγω του γεγονότος ότι η επιλογή αυτή έγινε στα αρχικά στάδια σχεδιασμού των περιβαλλόντων ΕΠ θεωρήθηκε προτιμότερο να επιλεγεί η πιο εξοπλισμένη βιβλιοθήκη ΕΠ, δεδομένου ότι θα μπορούσε να προκύψει ανάγκη και για κάποια από τις πιο προηγμένες λειτουργίες.

Πίνακας 7.1: Σύγκριση των δύο βιβλιοθηκών ARToolkit και Vuforia αναφορικά με τις απαιτήσεις των περιγραφόμενων περιβαλλόντων ΕΠ.

	ARToolkit	Vuforia
Εντοπισμός στόχων 2Δ (2D Target tracking)	+	+
Εντοπισμός στόχων 3Δ (3D object and model tracking)	-	+
Εντοπισμός πολλαπλών ταυτόχρονα στόχων (Multiple target tracking)	+	+
Διατήρηση εντοπισμού κινούμενων στόχων	+	+
Δίκτυο υποστήριξης (documentation)	+	+

Επιπλέον, λόγω του πιο εμπορικού της χαρακτήρα, η βιβλιοθήκη Vuforia συνοδευόταν από ένα πιο οργανωμένο δίκτυο υποστήριξης με παραδείγματα χρήσης τόσο από την ίδια την εταιρία όσο και από κοινότητες προγραμματιστών. Έτσι με βάση τα παραπάνω θεωρήθηκε προτιμότερη επιλογή η βιβλιοθήκη Vuforia. Ωστόσο, ως εμπορικό προϊόν, σε αντίθεση με την ανοιχτού κώδικα ελεύθερη βιβλιοθήκη ARToolkit, η βιβλιοθήκη Vuforia ακόμη και στη βασική της έκδοση είχε μηνιαίο κόστος χρήσης. Το εμπόδιο αυτό ξεπεράστηκε κατόπιν επικοινωνίας με την τότε εταιρία Qualcomm (στη συνέχεια Ptc) η οποία παραχώρησε δωρεάν άδεια χρήσης της βιβλιοθήκης για ερευνητικούς σκοπούς υπό την προϋπόθεση ότι δεν θα χρησιμοποιηθούν εμπορικά οι παραγόμενες εφαρμογές ΕΠ. Αργότερα, το 2017, η βιβλιοθήκη Vuforia ενσωματώθηκε μέσα στην πλατφόρμα ανάπτυξης Unity 3D.

Τέλος, τα μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ αναπτύχθηκαν για φορητές πλατφόρμες με λογισμικό Android (smartphones και tablets). Η επιλογή αυτή έγινε με βάση το γεγονός ότι, αφενός οι περισσότεροι μαθητές διαθέτουν κινητά τηλέφωνα με λειτουργικό σύστημα Android έναντι των λιγοστών μαθητών που διαθέτουν κινητά με λειτουργικό

σύστημα Apple. Επιπλέον, η ανάπτυξη των μαθησιακών εφαρμογών ΕΠ για iPhone συσκευές εμπεριέχει κόστος διανομής τους μέσα από το ηλεκτρονικό κατάστημα Appstore, της εταιρίας Apple. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα πλατφόρμες-στόχους για τα μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ αποτέλεσαν κινητές συσκευές με λειτουργικό Android, με ελάχιστο επίπεδο API 18 (Android 4.3 "Jellybean").

7.2 Εργαλεία ανάπτυξης περιβαλλόντων ΕΠ

Στη συνέχεια, περιγράφονται τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ.

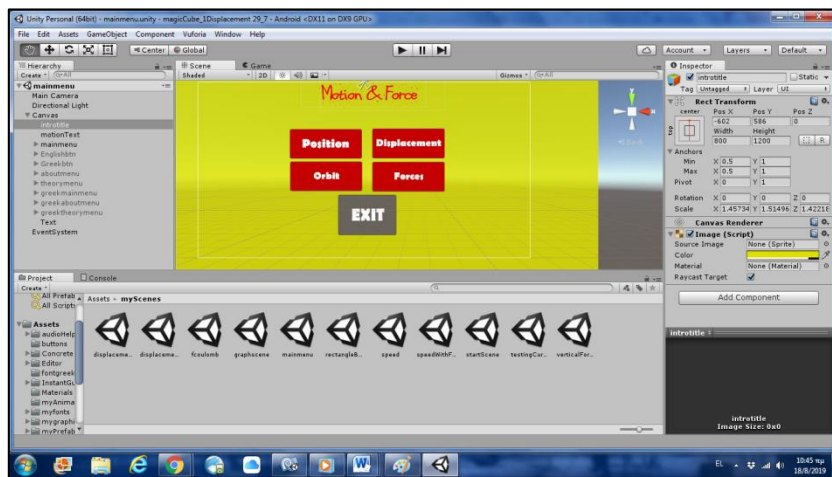
7.2.1 Unity 3D Editor

Κατά το χρονικό διάστημα ανάπτυξης των παραπάνω εφαρμογών ΕΠ έγιναν διάφορες αναβαθμίσεις της πλατφόρμας ανάπτυξης Unity 3D με σημαντικότερη την έκδοση Unity 2017.2 με την οποία η βιβλιοθήκη Vuforia (Vuforia SDK) ενσωματώθηκε στην πλατφόρμα ανάπτυξης Unity 3D. Η ανάπτυξη των εφαρμογών ΕΠ ολοκληρώθηκε με την έκδοση Unity 3D 5.4.03.

Το κύριο περιβάλλον της πλατφόρμας Unity είναι ο editor. Στο περιβάλλον αυτό ξεκινάει η ανάπτυξη μιας εφαρμογής με τη δημιουργία ενός νέου project. Αποτελείται από την κεντρική σκηνή (scene) όπου εκεί τοποθετούνται όλα τα Αντικείμενα (Objects) της εφαρμογής. Κάθε project μπορεί να αποτελείται από μία ή περισσότερες σκηνές (scenes), ωστόσο μια σκηνή μπορεί να φορτώνεται κάθε φορά στη διεπαφή χρήστη (User Interface). Τα παράθυρα (views) γύρω από τη σκηνή ουσιαστικά επιτελούν διάφορες λειτουργίες αναφορικά με τα περιεχόμενα της σκηνής. Έτσι, το παράθυρο Hierarchy εμφανίζει την ιεραρχία όλων των αντικειμένων επί σκηνής ενώ το παράθυρο Project εμφανίζει όλους τους φακέλους με τα περιεχόμενα τους τα οποία ανήκουν στο συγκεκριμένο Project. Τέλος, τα κουμπιά play, stop και pause πάνω από τη σκηνή επιτρέπουν την εκτέλεση της εφαρμογής για δοκιμή (testing) κατά την ανάπτυξή της μέσα στο περιβάλλον του editor, χωρίς να απαιτείται η εγκατάσταση και δοκιμή της στην πλατφόρμα για την οποία προορίζεται. Το ίδιο ισχύει επίσης και για τα στοιχεία της ενσωματωμένης βιβλιοθήκης ΕΠ, Vuforia, γεγονός που βοήθησε ιδιαίτερα κατά τη διαδικασία ανάπτυξης των εφαρμογών ΕΠ. Έτσι, ο προγραμματιστής μπορεί να δοκιμάσει το παιχνίδι μέσα από το παράθυρο Παιχνίδι (Game) το οποίο είναι ουσιαστικά ένας προσομοιωτής των συσκευών/ κονσόλων για τις οποίες προορίζονται

οι εφαρμογές μετά τη δημιουργία τους. Το παράθυρο Game προσφέρει διάφορες επιλογές ανάλυσης οθόνης για δοκιμαστικούς σκοπούς.

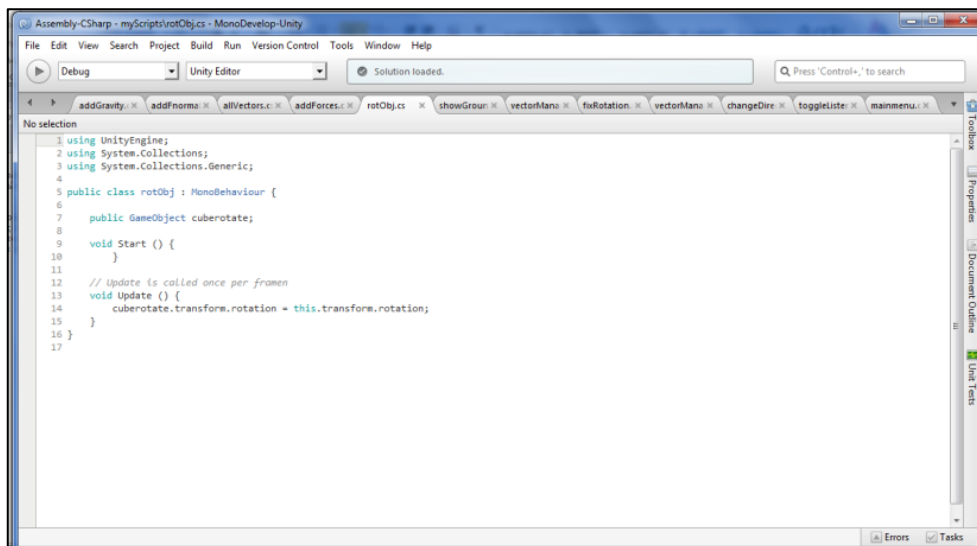
Το Unity υποστηρίζει προγραμματισμό σε C#, JavaScript ή Boo. Το ίδιο Project δύναται να συνδυάσει αρχεία κώδικα γραμμένα σε διαφορετικές γλώσσες. Τα αρχεία κώδικα (scripts) που δημιουργούνται έχουν σκοπό να ορίσουν την συμπεριφορά των αντικειμένων μέσα στην εφαρμογή. Από τη στιγμή που θα δημιουργηθεί ένα αρχείο κώδικα μπορεί να ανατεθεί σε κάποιο αντικείμενο (object) και να αποτελεί πλέον ένα στοιχείο (component) αυτού του αντικειμένου. Ένα αντικείμενο μπορεί να έχει πολλά διαφορετικά αρχεία κώδικα ως στοιχεία και αντίστροφα, το ίδιο στοιχείο μπορεί να ανήκει σε διαφορετικά αντικείμενα.



Εικόνα 7.1:Το περιβάλλον του Unity 3D Editor.

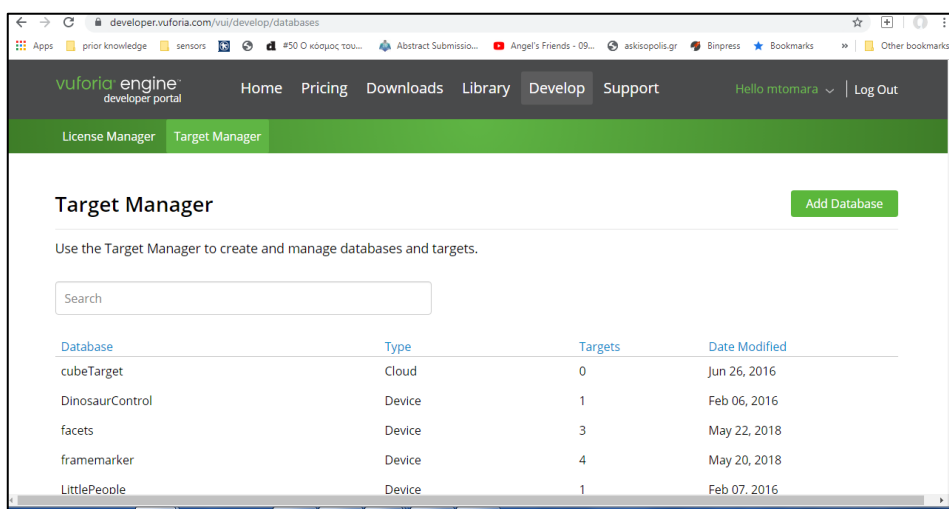
7.2.2 Unity 3D MonoDevelop

Πρόκειται για ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (Integrated Environment Interface, IDE) το οποίο παρέχεται από την πλατφόρμα Unity για την ανάπτυξη των αρχείων κώδικα (scripts) που απαιτούνται στην εφαρμογή, σε γλώσσα C#. Αποτελείται κυρίως από τον Script Editor αλλά διαθέτει βοηθητικό πρόγραμμα εντοπισμού σφαλμάτων (debugger). Από την έκδοση της πλατφόρμας Unity 2018.1 το περιβάλλον ανάπτυξης MonoDevelop δεν ενσωματώνεται πλέον στο πρόγραμμα εγκατάστασης (installer) του Unity 3D αλλά αποτελεί ανεξάρτητο περιβάλλον ανάπτυξης.



Εικόνα 7.2:Το περιβάλλον του MonoDevelop

7.2.3 Vuforia Target Manager

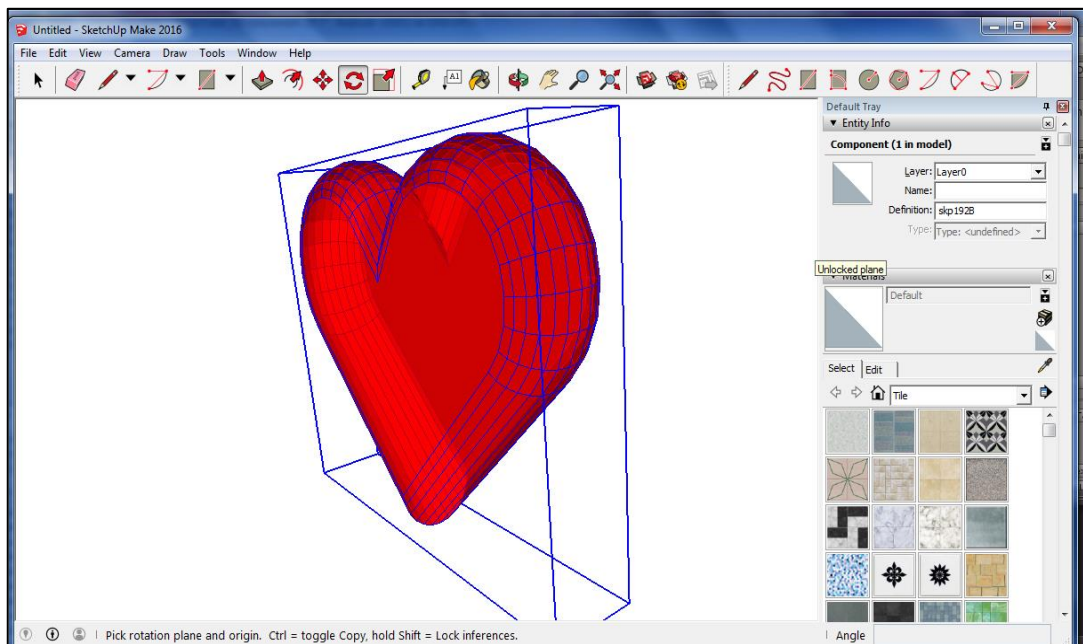


Εικόνα 7.3:Το περιβάλλον του Vuforia Target Manager.

Ο διαχειριστής στόχων της Vuforia (Vuforia Target Manager) είναι ένα διαδικτυακό εργαλείο ανάπτυξης το οποίο επιτρέπει τη δημιουργία και διαχείριση των εικόνων - στόχων που θα χρησιμοποιηθούν σε μία εφαρμογή. Αφού γίνει εγγραφή και είσοδος στο εργαλείο, και αφότου δημιουργηθούν οι κατάλληλες εικόνες-στόχοι (trackables) μπορούν πλέον αυτές να εισαχθούν ως αντικείμενο του Unity (prefab) μέσα στον Unity Editor. Επιπλέον, το εργαλείο αυτό παρέχει τον έλεγχο και την αξιολόγηση των εικόνων που φορτώνονται αναφορικά με την καταλληλότητά τους να χρησιμοποιηθούν ως στόχοι ΕΠ.

7.2.4 SketchUp Make

Πρόκειται για πρόγραμμα 3D μοντελοποίησης. Χρησιμοποιήθηκε για τη σχεδίαση και παραγωγή των τρισδιάστατων γραφικών που χρησιμοποιήθηκαν στις εφαρμογές ΕΠ. Τα γραφικά αυτά στοιχεία εξάχθηκαν μετά τη δημιουργία τους από το πρόγραμμα ως αρχεία τύπου DAE και στη συνέχεια εισάχθηκαν στο Unity ως Αντικείμενα (Objects). Κατά τη χρονική περίοδο ανάπτυξης των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ η διάθεση του προγράμματος ήταν δωρεάν στη βασική του, μη εμπορική έκδοση.



Εικόνα 7.4: Το περιβάλλον του προγράμματος 3D γραφικών, Sketchup Make.

7.2.5 Βιβλιοθήκες Τρίτων Φορέων (Third Party Libraries)

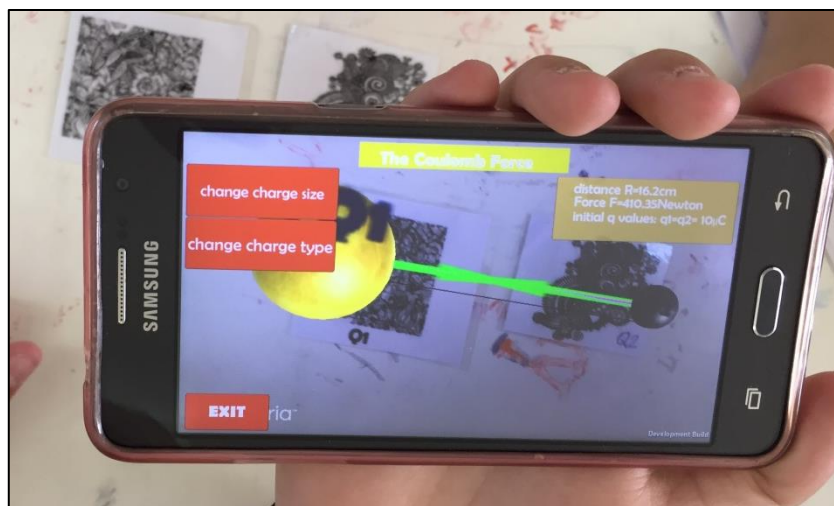
Κατά τη δημιουργία των εφαρμογών ΕΠ χρησιμοποιήθηκαν και οι ακόλουθες επιπλέον οι ακόλουθες βιβλιοθήκες :

- Vectrosity : αποτελεί εργαλείο επέκτασης του Unity για σχεδίαση γραμμών με χρήση κώδικα C#. Αγοράστηκε από το ηλεκτρονικό κατάστημα Asset Store
- Open-Sans : περιέχει γραμματοσειρές μεταξύ των οποίων και οι γραμματοσειρές που χρησιμοποιήθηκαν στις εφαρμογές ΕΠ.

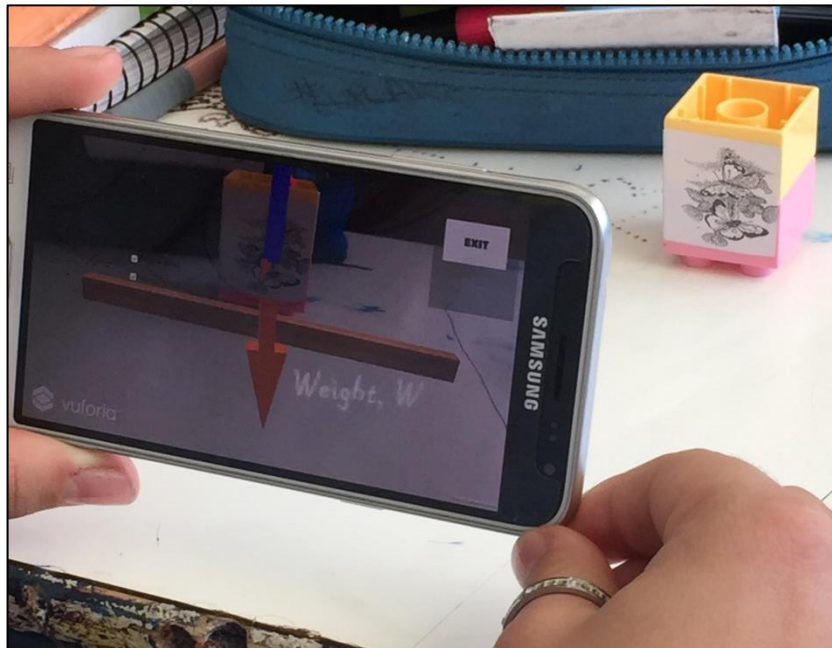
7.3 Βασικά στοιχεία υλοποίησης περιβαλλόντων ΕΠ

7.3.1 Η διεπαφή χρήστη

Η διεπαφή χρήστη αποτελείται από δύο μέρη: το αντικείμενο-στόχο και την οθόνη αφής, η οποία απεικονίζει αφενός το αντικείμενο-στόχο, κατάλληλα επαυξημένο, αφετέρου ενσωματώνει τα μενού που υλοποιούν τα στοιχεία ελέγχου των εφαρμογών ΕΠ, όπως φαίνεται στην εικόνα 7.5 και 7.6. Στην πραγματικότητα, ο χρήστης αλληλεπιδρά με το περιβάλλον των εφαρμογών ΕΠ με δύο τρόπους. Είτε μέσω των μενού της διεπαφής ΕΠ είτε κινώντας το φυσικό αντικείμενο-στόχο σε σχέση με την κάμερα της κινητής συσκευής. Η ισχυρότερη τεχνική προδιαγραφή που τίθεται αναφορικά με τα μενού της επαφής προέρχεται από την ανάγκη αυτά να μην επικαλύπτουν κατά το δυνατό τα στοιχεία του πραγματικού κόσμου. Αυτός ο περιορισμός οφείλεται στα εγγενή χαρακτηριστικά της vision-based AR και καθιστά αναγκαία την ελαχιστοποίηση των στοιχείων πλοήγησης (μενού, ταμπλέτες) προς χάριν των στοιχείων του πραγματικού κόσμου τα οποία επαυξάνονται. Δεδομένου ότι οι δραστηριότητες ΕΠ που υλοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας απαιτούν και την κίνηση των φυσικών αντικειμένων –στόχων, τα μενού της διεπαφής χρήστη πρέπει να καταλαμβάνουν όσο το δυνατόν λιγότερο χώρο επί της οθόνης.



Εικόνα 7.5: Η διεπαφή χρήστη στην περίπτωση επαύξησης εικόνας-στόχου τυπωμένης σε κομμάτι χαρτιού.



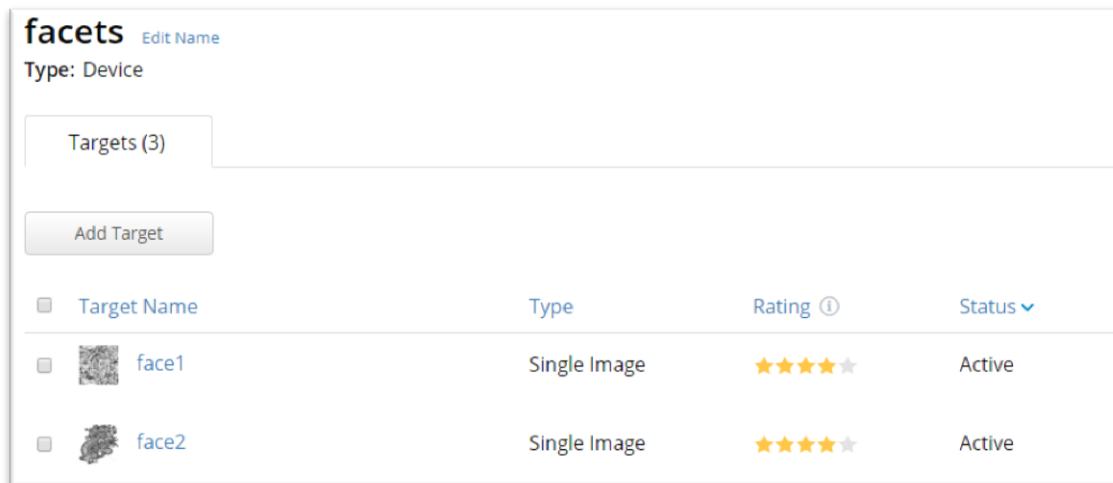
Εικόνα 7.6: Η διεπαφή χρήστη στην περίπτωση επαύξησης τρισδιάστατου αντικειμένου-στόχου.

7.3.2 Τα αντικείμενα-στόχοι

Τα αντικείμενα – στόχοι είναι στην ουσία η καρδιά των εφαρμογών ΕΠ, υπό την έννοια ότι αποτελούν τα πραγματικά αντικείμενα, πάνω στα οποία θα αισθητοποιηθούν όλα τα υπό μελέτη φυσικά μεγέθη.

Για τις εφαρμογές ΕΠ δημιουργήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι αντικειμένων στόχων. Συγκεκριμένα, για την εφαρμογή ΕΠ η οποία στοχεύει στη διδασκαλία των ηλεκτρικών δυνάμεων χρησιμοποιήθηκαν δύο απλά κομμάτια χαρτιού, 5εκ x 5εκ τα οποία φέρουν τυπωμένες εικόνες. Οι στόχοι αυτού του τύπου είναι γνωστοί ως δείκτες πλαισίου (frame markers). Το κάθε κομμάτι χαρτιού αντιπροσωπεύει ένα ηλεκτρικό φορτίο. Μόλις η κάμερα της κινητής συσκευής στοχεύσει τα χαρτιά-στόχους, η εφαρμογή τις επαυξάνει με τα ηλεκτρικά φορτία και υπερθέτει τα κατάλληλα στοιχεία επαύξησης πάνω στα φορτία, όπως για παράδειγμα τις μεταξύ τους ηλεκτρικές δυνάμεις. Οι μαθητές μπορούν στη συνέχεια να κινήσουν στο χώρο τα επαυξημένα φορτία κινώντας στην πραγματικότητα τα κομμάτια χαρτιού και να παρατηρήσουν τις αντίστοιχες μεταβολές στα στοιχεία που επαυξάνουν τα ηλεκτρικά φορτία. Οι τυπωμένες εικόνες δημιουργήθηκαν για τις ανάγκες της εφαρμογής και φέρουν γραφικά τα οποία υπόκεινται σε συγκεκριμένους κανόνες που καθορίζεται από τις προδιαγραφές της βιβλιοθήκης Vuforia σύμφωνα με τα ακόλουθα κριτήρια:

- Να είναι πλούσια σε λεπτομέρειες: ιδανικά γραφικά στοιχεία ως προς αυτή την παράμετρο αποτελούν, για παράδειγμα, ένα πλήθος ανθρώπων ή ένα κολλάζ διαφορετικών αντικειμένων.
- Να έχουν έντονες χρωματικές αντιθέσεις, όπως φωτεινές και σκοτεινές περιοχές και έντονα χρώματα στην περίπτωση έγχρωμων εικόνων.
- - Να μην περιλαμβάνουν επαναλαμβανόμενα ίδια στοιχεία όπως ένα λιβάδι ή την πρόσοψη μιας πολυκατοικίας με όμοια παράθυρα και γενικώς να αποφεύγεται η χρήση μοτίβων.
- Οι εικόνες δοκιμάστηκαν για την καταλληλότητά τους με επιτυχία στον διαδικτυακό Διαχειριστή Στόχων (Target Manager) της Vuuforia και στη συνέχεια φορτώθηκαν κατάλληλα μέσα στο περιβάλλον του Unity Editor.



Εικόνα 7.7: Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν ως Image Targets κατά την ανάπτυξη της εφαρμογής ΕΠ για τις ηλεκτρικές δυνάμεις με την αξιολόγηση καταλληλότητας μέσα στη διαδικτυακή πλατφόρμα του Διαχειριστή Στόχων (Target Manager) της Vuuforia.

Για τις εφαρμογές ΕΠ που αφορούν στη διδασκαλία των Κινήσεων και των Δυνάμεων χρησιμοποιήθηκαν ως στόχοι τρισδιάστατα φυσικά αντικείμενα και συγκεκριμένα κυβάρια τύπου lego τα οποία φέρουν στη μία όψη τους ετικέτες που παίζουν το ρόλο των δεικτών πλαισίου (frame markers). Τα γραφικά πάνω στην εικόνα που χρησιμοποιήθηκε εδώ ως δείκτης πλαισίου είναι ασπρόμαυρα και η εικόνα δοκιμάστηκε πάλι στον διαδικτυακό διαχειριστή στόχων της Vuuforia προκειμένου να ελεγχθεί η καταλληλότητα της σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν.



Εικόνα 7.8: Η εικόνα που χρησιμοποιήθηκε ως Image Target πάνω στο φυσικό αντικείμενο κατά την ανάπτυξη της εφαρμογής ΕΠ για τις Κινήσεις και τις Δυνάμεις. Διακρίνεται η αξιολόγηση καταλληλότητας από το διαδικτυακό Διαχειριστή Στόχων (Target Manager) της Vuforia.

7.3.3 Τα Μενού (Menus)

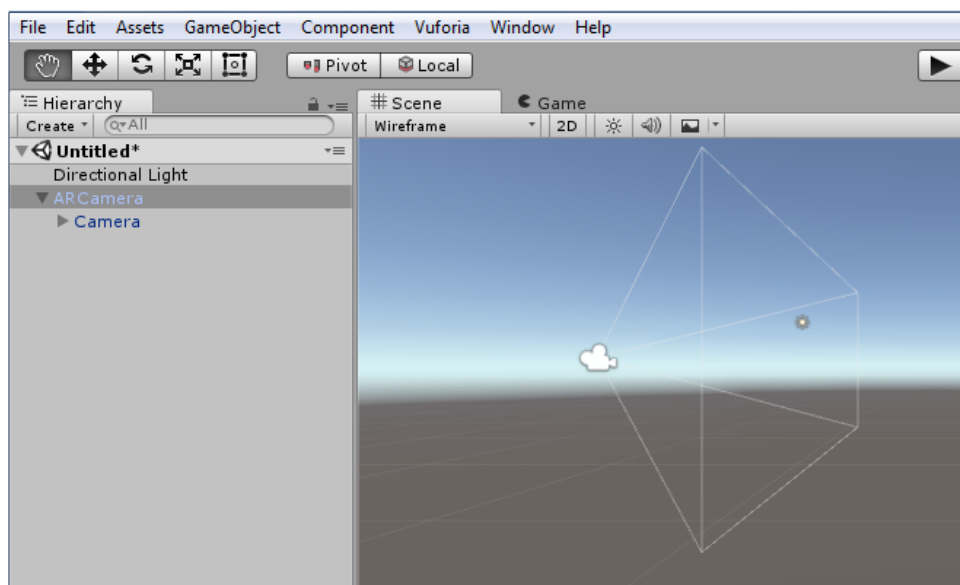
Τα Μενού (Menus) αποτελούνται από κουμπιά (Buttons), πεδία εισαγωγής χαρακτήρων (Input Fields) και κείμενο (text) τα οποία είναι και αυτά ειδικού τύπου Αντικείμενα Παιχνιδιού (User Interface, UI) και στα οποία επισυνάπτεται κατάλληλο αρχείο κώδικα (script) ανάλογα με την ενέργεια που είναι επιθυμητό να επιτελεί το κάθε τέτοιο αντικείμενο. Αλληλεπιδρώντας με τα μενού της διεπαφής ΕΠ ο χρήστης προκαλεί διάφορα συμβάντα και μεταβάλλει διάφορες παραμέτρους παρατηρώντας τα αποτελέσματα των μεταβολών αυτών επί της οθόνης ως επαυξημένα δεδομένα σε σχέση πάντα με το φυσικό αντικείμενο-στόχο. Όλα τα Αντικείμενα Παιχνιδιού τύπου UI ομαδοποιούνται αυτόματα από τον Editor πάνω σε ένα καμβά (Canvas) ο οποίος είναι μοναδικός για κάθε Σκηνή (Scene).

7.3.4 Τα Αντικείμενα Παιχνιδιού (Game Objects)

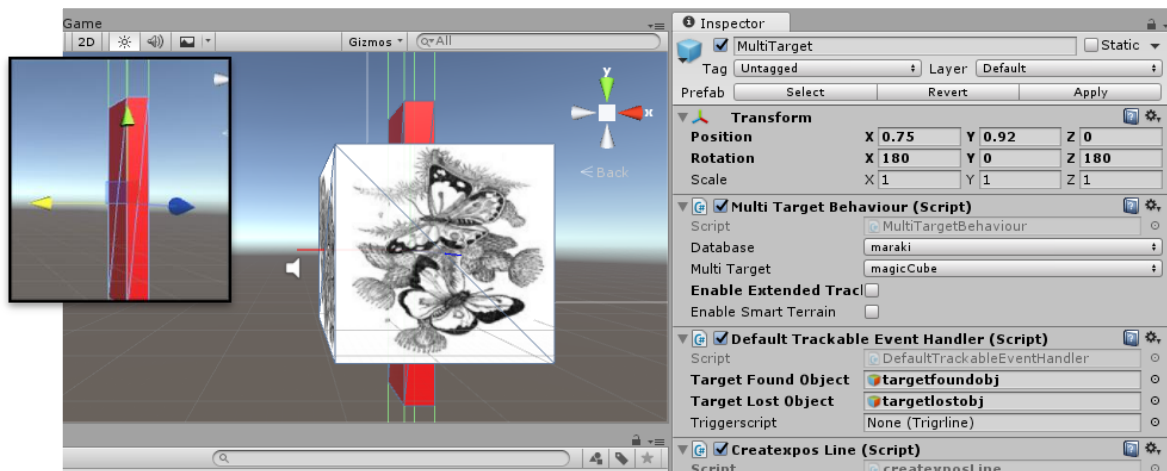
Αποτελούν τα αντικείμενα της εφαρμογής. Τα αντικείμενα παιχνιδιού τοποθετούνται στη σκηνή και στη συνέχεια τους αποδίδονται διάφορα στοιχεία (components) τα οποία μπορεί να είναι υφές (textures), χρώματα (colors), ήχοι (sounds), διάφορα εφέ (effects), ιδιότητες φυσικού αντικειμένου (physics), γεγονότα (events) και αρκετά ακόμη χαρακτηριστικά, καθώς και συμπεριφορές μέσω αρχείων κώδικα (scripts). Για κάθε ένα από τα αντικείμενα των εφαρμογών ΕΠ είναι δυνατό τα στοιχεία τους να τροποποιηθούν, ή να προστεθούν σε αυτά τα αντικείμενα καινούρια στοιχεία, μέσα από το παράθυρο του επιθεωρητή (inspector).

Για τα περιγραφόμενα περιβάλλοντα ΕΠ τα βασικά αντικείμενα είναι τα ακόλουθα:

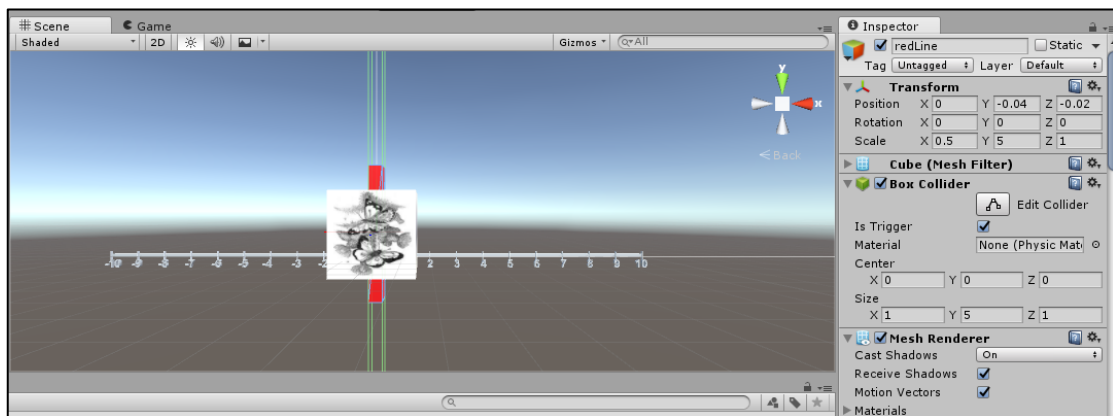
- AR Camera, η οποία είναι αντικείμενο που υλοποιείται από την βιβλιοθήκη Vuforia, εισάγεται στον Editor ως αντικείμενο της πλατφόρμας Unity 3D (prefab) και μέσω αυτής εντοπίζεται το φυσικό αντικείμενο-στόχος και επιτυγχάνεται η επαύξησή του. Είναι απαραίτητο αντικείμενο σε όλες τις εφαρμογές οι οποίες υλοποιούν λειτουργίες ΕΠ.
- τα Image Targets, τα οποία αντιπροσωπεύουν τις εικόνες-στόχους στην περίπτωση της εφαρμογής ΕΠ για τις ηλεκτρικές δυνάμεις.
- τα MultiTargets, τα οποία αντιπροσωπεύουν τα φυσικά αντικείμενα-κύβους τύπου lego που χρησιμοποιήθηκαν στις υπόλοιπες εφαρμογές ΕΠ ως στόχοι.
- η κόκκινη γραμμή (Red Line). Πρόκειται για μια κόκκινη γραμμή η οποία μαρκάρει το φυσικό αντικείμενο ως ένδειξη ότι αυτό είναι ανιχνεύσιμο από την κάμερα του κινητού. Αν για κάποιο λόγο η κάμερα χάσει ενώ το αντικείμενο είναι ορατό στην οθόνη τότε η κόκκινη γραμμή εξαφανίζεται. Αποτελεί ένα Αντικείμενο Παιχνιδιού (Game Object), παιδί (child) των multiTargets.



Εικόνα 7.9: Η AR Camera της πλατφόρμας Unity.



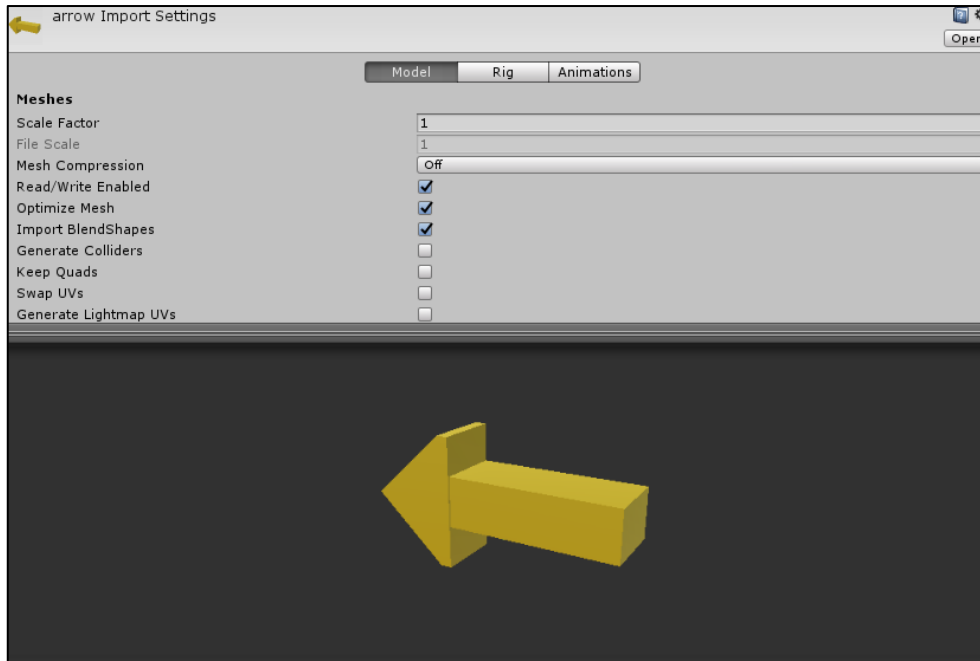
Εικόνα 7.10: Το αντικείμενο-στόχος που δημιουργήθηκε για να αναπαραστήσει το φυσικό αντικείμενο-κύβο.



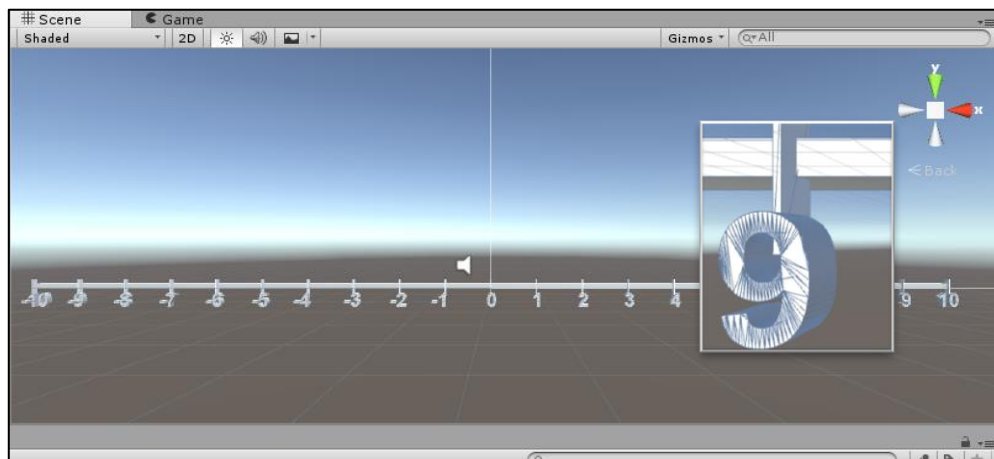
Εικόνα 7.11: Η κόκκινη γραμμή που επαυξάνει ψηφιακά τον κύβο όσο είναι αυτός ανιχνεύσιμος από την κάμερα της κινητής συσκευής.

- 3D Αντικείμενα βέλη (Arrows): Αποτελούν βασικά αντικείμενα σε όλες τις εφαρμογές ΕΠ, καθώς χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν τα διανυσματικά χαρακτηριστικά των φυσικών μεγεθών και το πώς αυτά μεταβάλλονται. Αποτελούν ειδικού τύπου αντικείμενα - εφόδια (Assets) για το περιβάλλον Unity. Τα Assets είναι στην πραγματικότητα Αντικείμενα τα οποία εισάγονται στον Editor και έχουν δημιουργηθεί με κάποιο άλλο πρόγραμμα. Όλα τα βέλη που χρησιμοποιήθηκαν στις περιγραφόμενες εφαρμογές ΕΠ σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν στο sKetchUP. Μετά την εισαγωγή τους στον Unity Editor τα Assets αποτελούν και αυτά Αντικείμενα και επομένως τα Στοιχεία (Components) τους τροποποιήθηκαν κατάλληλά ή τους ανατέθηκαν νέα στοιχεία όπου χρειάστηκε καθώς και συμπεριφορές, μέσω κατάλληλων αρχείων κώδικα (Scripts).

- Η Γραμμή Αναφοράς, η οποία αποτελεί την γραμμή αναφοράς για τις κινήσεις του πραγματικού αντικειμένου-στόχου των εφαρμογών ΕΠ, με κέντρο το μηδέν και υποδιαιρέσεις ανά ένα εκατοστό (cm), από -10 εκατοστά μέχρι +10 εκατοστά. Πάνω σε αυτή και με σημείο αναφοράς το μηδέν της γραμμής πραγματοποιούνται όλες οι κινήσεις στις εφαρμογές ΕΠ που αφορούν στην ενότητα των Κινήσεων. Δημιουργήθηκε εξ ολοκλήρου στο SketchUp.



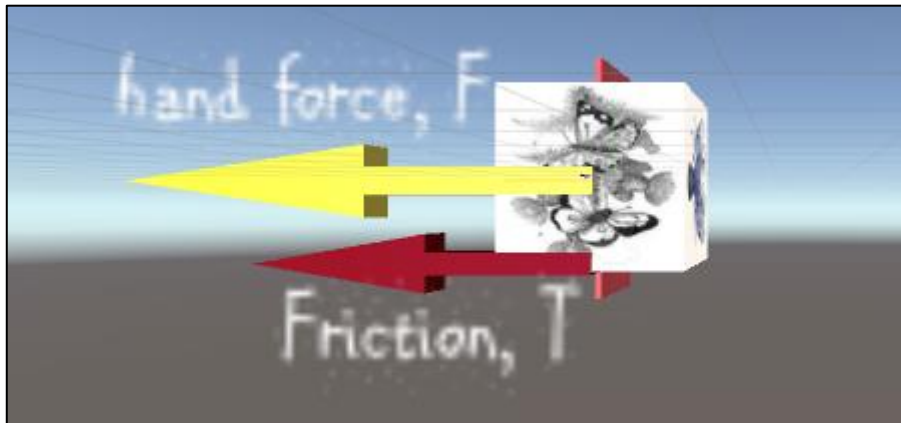
Εικόνα 7.12: Ένα από τα βέλη που επαυξάνουν ψηφιακά τα φυσικά αντικείμενο σε κάποια από τις εφαρμογές ΕΠ.



Εικόνα 7.13: Η γραμμή αναφοράς ως Αντικείμενο Παιχνιδιού (Game Object) μέσα στον Unity Editor.

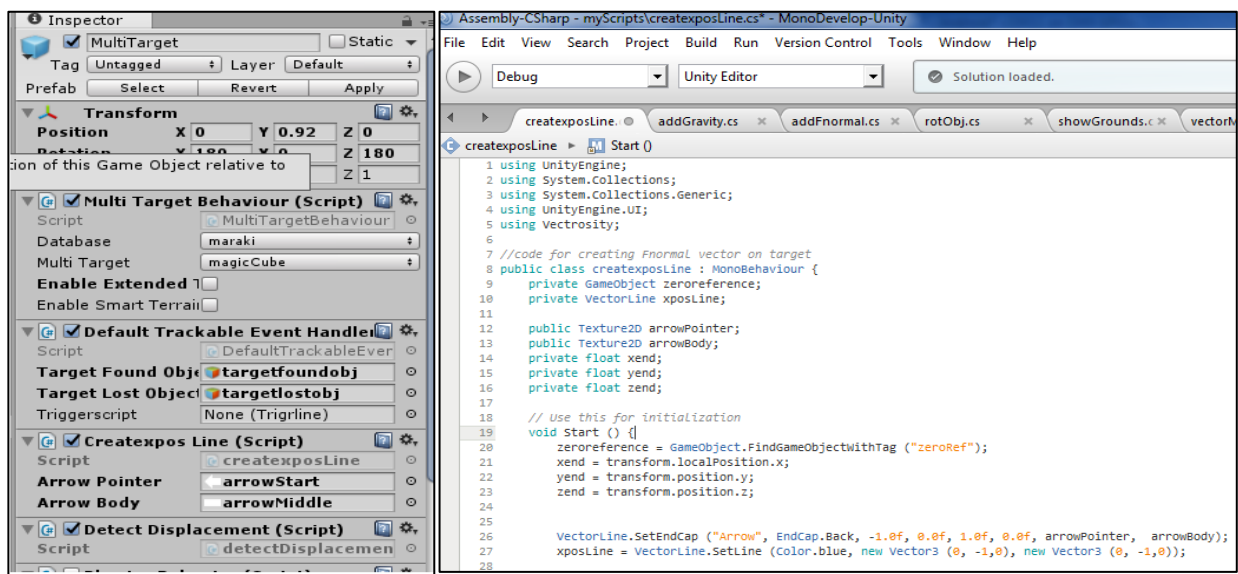
- Τα 3D κείμενα (3D Texts), είναι γραφικά αντικείμενα τα οποία πιλοφορούν τα αντικείμενα της διεπαφής πληροφορώντας τον χρήστη για τα ονόματα τα

σύμβολα και τις μονάδες μέτρησης των φυσικών μεγεθών που αισθητοποιούνται σε κάθε εφαρμογή ΕΠ.



Εικόνα 7.14: Τα διανύσματα-βέλη που οπτικοποιούν τη δύναμη από το χέρι του χρήστη και τη δύναμη Τριβής κατά την κίνηση του κύβου και οι αντίστοιχες επισυναπτόμενες στα βέλη ετικέτες.

7.3.5 Τα αρχεία κώδικα (Scripts)



Εικόνα 7.15: Αρχεία κώδικα. (α): Στον Inspector εμφανίζονται τα αρχεία κώδικα ως επισυναπτόμενα Στοιχεία (Components) στο αντικείμενο MultiTarget. (β) Αρχείο κώδικα στο περιβάλλον του MonoDevelop.

Τα αρχεία κώδικα αποτελούν Στοιχεία (components) τα οποία επισυνάπτονται στα Αντικείμενα των εφαρμογών ΕΠ και καθορίζουν τη συμπεριφορά τους. Τα αρχεία κώδικα (Scripts) που γράφτηκαν για τις εφαρμογές ΕΠ προγραμματίστηκαν σε C# και υλοποιήθηκαν μέσα στο περιβάλλον ανάπτυξης του MonoDevelop.

Μέρος Γ΄:

Α΄ φάση της πειραματικής έρευνας

Κεφάλαιο 8

Σχεδιασμός και Ανάπτυξη Μαθησιακού Περιβάλλοντος ΕΠ για την Ηλεκτρική Δύναμη

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται η διαδικασία σχεδιασμού του πρώτου μαθησιακού περιβάλλοντος ΕΠ για τη διδασκαλία της ηλεκτρικής δύναμης. Το περιγραφόμενο περιβάλλον ΕΠ αναπτύχθηκε κατά την Α' φάση της πειραματικής έρευνας, σε συμφωνία με τις σχεδιαστικές αρχές που διαμορφώθηκαν και με βάση το μοντέλο Ισορροπημένου Σχεδιασμού (Balanced Design Model) το οποίο αποτέλεσε το μεθοδολογικό πλαίσιο σχεδιασμού των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ, όπως συζητήθηκε στο κεφάλαιο 6.

8.1 Υλοποίηση του Μοντέλου Περιεχομένου

Η πρώτη εμπειρία ΕΠ σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε με στόχο να προσελκύσει τους μαθητές σε μια διαδικασία μάθησης σχετικά με τις ηλεκτρικές δυνάμεις καθώς και τον νόμο του Coulomb. Για το σκοπό αυτό σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ένα περιβάλλον ΕΠ το οποίο στοχεύει στην οπτικοποίηση των δυνάμεων Coulomb μεταξύ δύο επαυξημένων ηλεκτρικών φορτίων σαν συνάρτηση του είδους και του μεγέθους των ηλεκτρικών αυτών φορτίων και της μεταξύ τους (πραγματικής) απόστασης. Το συγκεκριμένο περιβάλλον ΕΠ αναπτύχθηκε κατά το τρίτο έτος εκπόνησης της παρούσας διατριβής με στόχο να είναι έτοιμο πριν από το τέλος του διδακτικού έτους 2017-2018 προκειμένου να μπορέσει να εισαχθεί στη σχολική τάξη πριν από την ολοκλήρωση της διδακτικής χρονιάς. Σκοπός της συγκεκριμένης διδακτικής εμπειρίας ΕΠ ήταν να λειτουργήσει ως ένα βαθμό πιλοτικά αναφορικά με τις επιλογές υλοποίησης των μαθησιακών εμπειριών ΕΠ και τα εργαλεία αποτίμησης που επρόκειτο να υλοποιηθούν στη συνέχεια, κατά τη Β' φάση της παρούσας έρευνας.

Παρότι το μαθησιακό αντικείμενο για την Β' φάση της πειραματικής έρευνας είναι το πεδίο της Μηχανικής που διδάσκεται στη Β' Γυμνασίου, τα κριτήρια με βάση τα οποία επιλέχθηκαν οι ηλεκτρικές δυνάμεις Coulomb ως μαθησιακό αντικείμενο για την υλοποίηση του συγκεκριμένου πιλοτικού περιβάλλοντος ΕΠ ήταν πολλαπλά. Αφενός, έχοντας διδάξει για τρίτη συνεχόμενη χρονιά την Φυσική της Γ' τάξης είχα ήδη εντοπίσει τις γνωστικές δυσκολίες κατά την πρόοδο των μαθητών σε σχέση με τις διδασκόμενες έννοιες και είχα καθορίσει ποιοι θα έπρεπε να είναι οι μαθησιακοί στόχοι αναφορικά με τα γνωστικά εμπόδια των μαθητών σε σχέση με τις ηλεκτρικές δυνάμεις. Αφετέρου,

κατά το σχολικό έτος 2017-2018 που βρισκόμουν στο παρόν στάδιο ανάπτυξης δίδασκα και πάλι τη Φυσική στη Γ' τάξη του Γυμνασίου, με αποτέλεσμα να είμαι σε θέση να οργανώσω και να διεξάγω την αντίστοιχη εκπαιδευτική παρέμβαση σε δικούς μου μαθητές. Αυτό το σημείο αποτελεί ένα μεγάλο πλεονέκτημα κατά τη διεξαγωγή της παρούσας έρευνας γιατί έδωσε τη δυνατότητα ευέλικτης διαχείρισης του διδακτικού χρόνου, δεδομένου ότι η διδακτική παρέμβαση που αφορά σε μία σχετικά πρωτόγνωρη για τους μαθητές προσέγγιση είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα και απαιτεί τον απόλυτο συντονισμό των μαθητών της τάξης. Αυτή η τελευταία συνθήκη δεν είναι πάντα εύκολο να επιτευχθεί όταν ο ερευνητής δεν γνωρίζει τους μαθητές. Επιπρόσθετα, οι ηλεκτρικές δυνάμεις αποτελούν τμήμα της ύλης της Γ' γυμνασίου γεγονός που συνεπάγεται την εμπλοκή μεγαλύτερων ηλικιακά μαθητών, με τους οποίους είναι πιο εύκολη η συνεργασία και επικοινωνία σε επίπεδο διαχείρισης τάξης κατά την οργάνωση της εμπειρίας. Τέλος, οι ηλεκτρικές δυνάμεις αποτελούν μια σύντομη, αυτοτελή εννοιολογικά ενότητα που μπορεί να εισαχθεί και να δοκιμαστεί στη σχολική τάξη σε λίγα μαθήματα.

Έτσι, με βάση τα παραπάνω, επιλέχθηκαν οι ηλεκτρικές δυνάμεις ως μαθησιακό αντικείμενο της παρούσας ερευνητικής φάσης. Για τη διδασκαλία τους σχεδιάστηκε, αναπτύχθηκε και δοκιμάστηκε στη σχολική τάξη ένα μαθησιακό περιβάλλον ΕΠ με στόχο να προσελκύσει τους μαθητές σε μια διαδικασία μάθησης σχετικά με τις ηλεκτρικές δυνάμεις καθώς και τον νόμο του Coulomb.

Αναφορικά με το Μοντέλο Περιεχομένου, η πρώτη δραστηριότητα ΕΠ στοχεύει στο γνωστικό αντικείμενο των ηλεκτρικών δυνάμεων και του νόμου Coulomb από το πεδίο του Ηλεκτρισμού της Γ' τάξης του Γυμνασίου με βάση το ισχύον Ελληνικό Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών. Οι μαθησιακοί στόχοι του περιβάλλοντος ΕΠ καθορίστηκαν με βάση το αναλυτικό πρόγραμμα για τη διδασκαλία της ενότητας «Νόμος του Coulomb» στο μάθημα της Φυσικής της Γ' τάξης γυμνασίου σύμφωνα με τα παρακάτω σημεία:

- i. κατανόηση των διανυσματικών χαρακτηριστικών της ηλεκτρικής δύναμης,
- ii. κατανόηση της ελκτικής/απωστικής φύσης των δυνάμεων μεταξύ ομόσημων/ετερόσημων ηλεκτρικών φορτίων,
- iii. ερμηνεία της σχέσης των ηλεκτρικών δυνάμεων μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης δράσης-αντίδρασης,
- iv. κατανόηση των υποκείμενων σχέσεων μεταξύ της ηλεκτρικής δύναμης, του μεγέθους των ηλεκτρικών φορτίων που αλληλεπιδρούν και της μεταξύ τους απόστασης.

8.2 Υλοποίηση του Μοντέλου Τεκμηρίων Γνώσης

Σύμφωνα με τα όσα συζητήθηκαν στο 6^ο κεφάλαιο, προκειμένου να δοθεί στους μαθητές η δυνατότητα καθοδηγούμενης διερεύνησης κατά τη διάρκεια της εμπειρίας ΕΠ, διαμορφώθηκαν κατάλληλα φύλλα εργασίας (παράρτημα IV) με οδηγίες προκειμένου αφενός να βοηθηθούν οι μαθητές να χειριστούν σωστά τους επαυξημένους στόχους-φορτία και αφετέρου να αποτελέσουν οι απαντήσεις τους τεκμήρια γνώσης αναφορικά με τους διδακτικούς στόχους. Οι μαθητές καθοδηγούνται από το φύλλο εργασίας για να διερευνήσουν την εξάρτηση του μεγέθους και της κατεύθυνσης των ηλεκτρικών δυνάμεων από την πραγματική απόσταση και τη σχετική θέση των ηλεκτρικών φορτίων και στη συνέχεια να εξάγουν συμπεράσματα με βάση τις παρατηρήσεις τους. Επιπλέον και αναφορικά με τους διδακτικούς στόχους που τέθηκαν στο Μοντέλο Περιεχομένου τα βήματα που προτείνονται στο φύλλο εργασίας καθοδηγούν τους μαθητές στην εξερεύνηση και την κατάκτηση των τιθέμενων μαθησιακών στόχων.

Η πρώτη δραστηριότητα ΕΠ που καλούνται να υλοποιήσουν οι μαθητές με βάση το φύλλο εργασίας αφορά στην εξοικείωσή τους με τα πραγματικά και ψηφιακά στοιχεία του περιβάλλοντος ΕΠ και ταυτόχρονα στη ποιοτική διερεύνηση των χαρακτηριστικών της ηλεκτρικής δύναμης. Όπως αναφέρθηκε και κατά την ανάλυση του εκπαιδευτικού σχεδιασμού των περιβαλλόντων ΕΠ, είναι σημαντική η χρονική σειρά με την οποία εισάγονται στους μαθητές οι νέες γνώσεις. Έτσι για τη διδασκαλία της ηλεκτρικής δύναμης σε μαθητές Γυμνασίου κρίθηκε σκόπιμο να αισθητοποιηθεί αρχικά η δύναμη ως διάνυσμα ώστε να μπορέσουν οι μαθητές να αντιληφθούν τα διανυσματικά χαρακτηριστικά της καθώς και το πώς αυτά μεταβάλλονται. Αφού οι μαθητές κατακτήσουν αυτό το στοιχείο γνώσης, στη συνέχεια καλούνται να μελετήσουν την ποσοτική εξάρτηση του μέτρου των ηλεκτρικών δυνάμεων από τις λοιπές παραμέτρους του συστήματος που μελετάται εισάγοντας σταδιακά και αριθμητικά δεδομένα στα βήματα του φύλλου εργασίας.

Συγκεκριμένα, η πρώτη δραστηριότητα στο περιβάλλον ΕΠ παροτρύνει τους μαθητές να μετακινήσουν στον πραγματικό χώρο τα επαυξημένα ηλεκτρικά φορτία με τυχαίο τρόπο και στη συνέχεια να παρατηρήσουν και να αναγνωρίσουν τί αντιπροσωπεύουν τα τρισδιάστατα βέλη που υπερτίθενται πάνω στα ηλεκτρικά φορτία καθώς μεταβάλλεται από τους ίδιους τους μαθητές η σχετική θέση των φορτίων πάνω στο θρανίο (στόχος (i)). Τα βέλη αυτά, τα οποία προφανώς αντιπροσωπεύουν τις ηλεκτρικές δυνάμεις μεταξύ των ηλεκτρικών φορτίων, μεταβάλλουν τόσο το μέτρο τους όσο και την κατεύθυνσή τους καθώς οι μαθητές αλλάζουν τη σχετική θέση και απόσταση μεταξύ των

φορτίων-στόχων. Στη συνέχεια, σε συμφωνία με τις αρχές σχεδιασμού, οι μαθητές καλούνται να τοποθετήσουν τα φορτία το ένα δίπλα στο άλλο και κατόπιν το ένα πάνω από το άλλο σε πραγματική απόσταση δέκα εκατοστών και να ζωγραφίσουν τα φορτία και τις δυνάμεις που δέχονται στο χαρτί ως βέλη και για τις δύο περιπτώσεις, ώστε να κατακτηθεί περαιτέρω η γνώση της διανυσματικής αναπαράστασης της ηλεκτρικής δύναμης ως διανυσματικό φυσικό μέγεθος.

Η επόμενη δραστηριότητα με βάση το φύλλο εργασίας στοχεύει στην κατανόηση της ελκτικής/απωστικής φύσης των δυνάμεων μεταξύ ομόσημων/ετερόσημων ηλεκτρικών φορτίων (στόχος (ii)). Για το σκοπό αυτό οι μαθητές καλούνται να κρατήσουν σταθερή την απόσταση μεταξύ των φορτίων και να μεταβάλλουν το είδος τους αλληλεπιδρώντας με τα κατάλληλα κουμπιά της διεπαφής. Στόχος είναι να παρατηρήσουν τη μεταβολή των διανυσματικών χαρακτηριστικών των ηλεκτρικών δυνάμεων (ελκτικές/απωστικές) και ακολούθως να διατυπώσουν γραπτά τις παρατηρήσεις τους ανάλογα με το είδος των φορτίων που αλληλεπιδρούν (ετερόσημα/ομόσημα).

Τα επόμενα βήματα στοχεύουν στην ερμηνεία της σχέσης των ηλεκτρικών δυνάμεων μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης δράσης-αντίδρασης (στόχος (iii)). Με αυτό το σκοπό, καθοδηγούνται οι μαθητές να μεταβάλλουν αυτή τη φορά το μέτρο των ηλεκτρικών φορτίων, να παρατηρήσουν εκ νέου πώς αλλάζουν τα βέλη πάνω στα φορτία που αντιπροσωπεύουν τις ηλεκτρικές δυνάμεις, να συγκρίνουν τα διανύσματα-βέλη μεταξύ τους και να εκφράσουν και πάλι γραπτά τις παρατηρήσεις τους. Η παραπάνω δραστηριότητα επαναλαμβάνεται για δύο διαφορετικούς προσανατολισμούς των φορτίων-στόχων, τη μία φορά το ένα δίπλα στο άλλο σε απόσταση δέκα εκατοστών και την επόμενη το ένα δίπλα στο άλλο σε απόσταση και πάλι δέκα εκατοστών. Με αυτό τον τρόπο οι μαθητές ωθούνται στη συνειδητοποίηση ότι οι ηλεκτρικές δυνάμεις πάνω στα φορτία αποτελούν ζεύγος δυνάμεων και επομένως εμφανίζουν το ίδιο μέτρο και αντίθετες κατευθύνσεις ακόμη και όταν τα ηλεκτρικά φορτία δεν έχουν το ίδιο μέγεθος. Με τα παραπάνω βήματα ολοκληρώνεται η ποιοτική διερεύνηση της μεταβολής των διανυσματικών χαρακτηριστικών της ηλεκτρικής δύναμης και οι μαθητές καλούνται να χρησιμοποιήσουν τις κατάλληλες επιστημονικές λέξεις-κλειδιά για τη συμπλήρωση κειμένου με κενά αναφορικά με την ελκτική/απωστικής φύση των ηλεκτρικών δυνάμεων μεταξύ ετερόσημων/ομόσημων ηλεκτρικών φορτίων και τη σχέση δράσης-αντίδρασης μεταξύ του ζεύγους των ηλεκτρικών δυνάμεων.

Στο Β' μέρος του φύλλου εργασίας και προκειμένου να αντιμετωπιστεί ο στόχος (iv), οι μαθητές κατευθύνονται μέσα από μια σειρά βημάτων στην διερεύνηση της ποσοτικής σχέσης του μήκους του βέλους (δηλαδή του μέτρου της δύναμης των ηλεκτρικών δυνάμεων) με το μέγεθος των ηλεκτρικών φορτίων και της μεταξύ τους απόστασης, ώστε σταδιακά να δομήσουν οι ίδιοι το νόμο Coulomb. Οι μαθητές αρχικά κρατούν σταθερή την απόσταση μεταξύ των φορτίων και δίνουν διάφορες τιμές στα ηλεκτρικά φορτία καταγράφοντας στη συνέχεια την τιμή του γινομένου των μέτρων των φορτίων και την αντίστοιχη τιμή της δύναμης, για διάφορα ζεύγη τιμών φορτίων. Επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία για διάφορα ζεύγη φορτίων με τιμές πολλαπλάσιες των αρχικών οι μαθητές κατευθύνονται τελικά στη διαπίστωση ότι το μέτρο των ηλεκτρικών δυνάμεων είναι ανάλογο με το γινόμενο των μέτρων των ηλεκτρικών φορτίων, $F \propto Q_1 Q_2$, όπου F το μέτρο των ηλεκτρικών δυνάμεων και Q1, Q2 τα μέτρα των ηλεκτρικών φορτίων που αλληλεπιδρούν. Με ανάλογο τρόπο, κρατώντας σταθερές τις τιμές των φορτίων οι μαθητές καλούνται να μετακινήσουν τα φορτία έτσι ώστε η μεταξύ τους απόσταση να πάρει διάφορες τιμές πολλαπλάσιες και υποπολλαπλάσιες της αρχικής και να καταγράψουν και πάλι την αντίστοιχη τιμή της δύναμης για κάθε τιμή της απόστασης. Σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι να οδηγηθούν, μετά από προβληματισμό και συζήτηση, στην διαπίστωση ότι το μέτρο των ηλεκτρικών δυνάμεων είναι αντιστρόφως ανάλογο με το τετράγωνο της απόστασης μεταξύ των φορτίων-στόχων, $F \propto \frac{1}{R^2}$, όπου R η πραγματική απόσταση μεταξύ των φορτίων-στόχων που χειρίζονται οι μαθητές.

Τελικά, με την ολοκλήρωση των βημάτων του φύλλου εργασίας, οι μαθητές έχουν ουσιαστικά οδηγηθεί στο νόμο του Coulomb, η λεκτική διατύπωση του οποίου εισάγεται στο σημείο αυτό μαζί με τη μαθηματική σχέση που τον περιγράφει και την επεξήγηση όλων των συμβόλων. Καθόλη τη διάρκεια του πειραματισμού των μαθητών με τα στοιχεία του περιβάλλοντος ΕΠ ακολουθώντας τα βήματα στα φύλλα εργασίας οι μαθητές συζητούν μεταξύ τους ενώ η εκπαιδευτικός τους παρακολουθεί διαρκώς, ελέγχει τα φύλλα εργασίας και αλιεύει γνωστικά εμπόδια τα οποία στη συνέχεια με κατάλληλες προφορικές ερωτήσεις θέτει ως βάση για προβληματισμό. Όποτε και εφόσον κριθεί απαραίτητο, ο διδάσκοντας μπορεί να ζητήσει από κάποια ομάδα να επαναλάβει μια δραστηριότητα με τον ίδιο ή λίγο διαφορετικό τρόπο, ή και να παραλείψει κάποια βήματα, ανάλογα με το μαθησιακό επίπεδο της ομάδας, προσαρμόζοντας έτσι το μαθησιακό περιεχόμενο στον κάθε μαθητή, ανάλογα με την

απόκριση των μαθητών όπως αυτή διαπιστώνεται από τον συνεχή έλεγχο των φύλλων εργασίας.

8.3 Υλοποίηση του Μοντέλου Δραστηριοτήτων

Τελικά, και σε σχέση με τις περιγραφόμενες προδιαγραφές σχεδιασμού αναπτύχθηκε μια διεπαφή AR με κύριους στόχους:

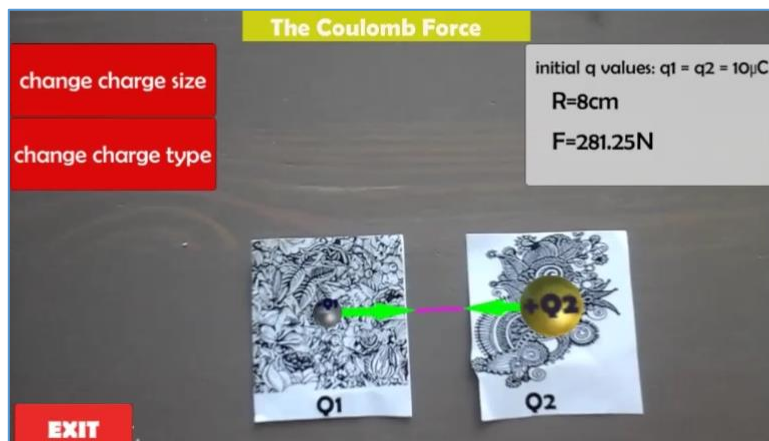
- i. την οπτικοποίηση των μη ορατών ηλεκτρικών δυνάμεων που υπερτίθενται στα εικονικά ηλεκτρικά φορτία ως διανύσματα 3D,
- ii. την αλληλεπίδραση των μαθητών με τα πραγματικά και εικονικά στοιχεία του περιβάλλοντος προκειμένου να παρατηρηθούν οι παράμετροι που επηρεάζουν τις ηλεκτρικές δυνάμεις, με βάση στον νόμο του Coulomb,
- iii. την παρατήρηση και διαχείριση των παραμέτρων της μαθησιακής αυτής εμπειρίας με ένα συμμετοχικό και συνεργατικό τρόπο, όπου οι μαθητές, καθισμένοι ως συνήθως στα θρανία τους πειραματίζονται σε ομάδες με το περιβάλλον ΕΠ, χωρίς την ανάγκη για περαιτέρω εξοπλισμό εκτός από μια κινητή συσκευή και ένα ζευγάρι τυπωμένα κομμάτια χαρτιού.

Η εφαρμογή ΕΠ αναπτύχθηκε με τρόπο ώστε να επιτρέπει την επαύξηση των ηλεκτρικών φορτίων πάνω σε δύο απλά, 5 εκ x 5 εκ. κομμάτια χαρτιού. Οι κάρτες αυτές δημιουργήθηκαν από σελίδες A4 πάνω στις οποίες τυπώθηκαν ασπρόμαυρα γραφικά στοιχεία μέγεθος 5 εκ. x 5 εκ., οι οποίες στη συνέχεια κόπηκαν κατάλληλα ώστε να δημιουργηθούν πανομοιότυπες κάρτες που χρησιμεύουν ως δείκτες πλαισίου (frame markers). Τέλος, οι κάρτες πλαστικοποιήθηκαν ώστε να ελαχιστοποιηθεί η φθορά τους κατά την χρήση και να διασφαλιστεί ότι δεν θα αλλοιωθούν τα γραφικά στοιχεία τους. Για την συγκεκριμένη εφαρμογή ΕΠ χρησιμοποιήθηκαν δύο είδη καρτών με διαφορετική εικόνα η κάθε μία καθώς το κάθε είδος κάρτας αντιπροσωπεύει ένα ηλεκτρικό φορτίο (εικόνα 8.1).

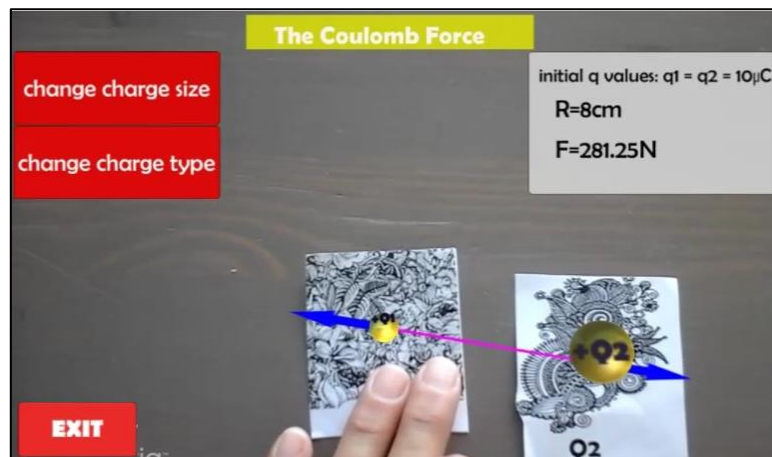


Εικόνα 8.1: Τα χαρτάκια-στόχοι που χρησιμοποιήθηκαν ως δείκτες πλαισίου.

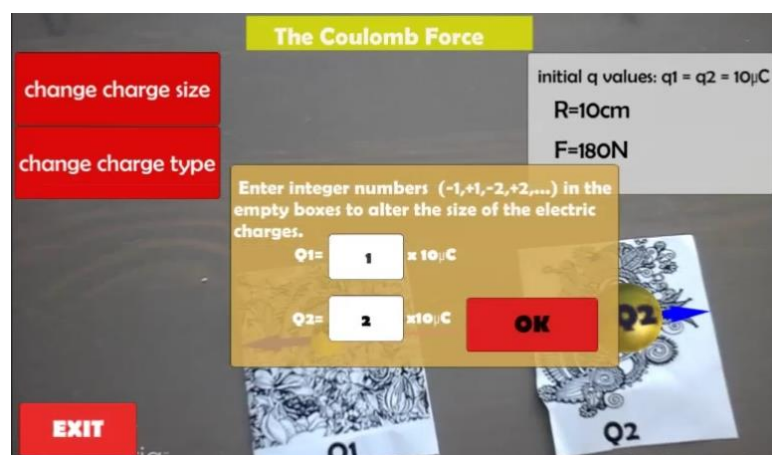
Μόλις η κάμερα της κινητής συσκευής στοχεύσει τις εκτυπωμένες εικόνες, η εφαρμογή τις επαυξάνει με τα ηλεκτρικά φορτία και υπερθέτει τις μεταξύ τους ηλεκτρικές δυνάμεις. Οι μαθητές μπορούν στη συνέχεια να κινήσουν στο χώρο τα επαυξημένα φορτία και να παρατηρήσουν τις αντίστοιχες μεταβολές στο μέγεθος και στην κατεύθυνση των δυνάμεων καθώς μεταβάλλουν την απόσταση και τη σχετική θέση μεταξύ των φορτίων, μετακινώντας απλώς τα δύο κομμάτια χαρτιού. Οι μαθητές λαμβάνουν συνεχώς αριθμητική ανατροφοδότηση της πραγματικής απόστασης μεταξύ των επαυξημένων ηλεκτρικών φορτίων καθώς και της τιμής της ηλεκτρικής δύναμης (βλ. Εικόνες 8.2 και 8.3).



Εικόνα 8.2: Επαυξημένα φορτία και ηλεκτρικές δυνάμεις στην περίπτωση των αντίθετων ηλεκτρικών φορτίων διαφορετικού μεγέθους ($Q_1=10\mu\text{C}$, $Q_2=20\mu\text{C}$).



Εικόνα 8.3: Επαυξημένα φορτία και ηλεκτρικές δυνάμεις στην περίπτωση ομόσημων ηλεκτρικών φορτίων ($Q_1=10\mu\text{C}$, $Q_2=20\mu\text{C}$).



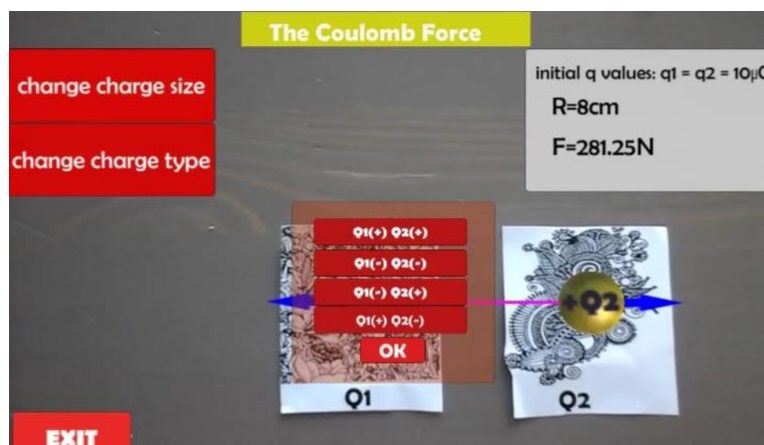
Εικόνα 8.4: Η διεπαφή AR που επιτρέπει στο μαθητή να πειραματιστεί με διάφορες τιμές των ηλεκτρικών φορτίων.

Σε συμφωνία με τις σχεδιαστικές αρχές που διαμορφώθηκαν στο κεφάλαιο 6 τα μενού της εφαρμογής είναι πολύ απλά. Τρία μόνο κουμπιά ενσωματώνονται στη διεπαφή οθόνης, δύο για τις μεταβολές παραμέτρων και ένα για έξοδο από την εφαρμογή. Επιπλέον, δεν υπάρχουν οδηγίες, τα κείμενα είναι περιορισμένα και περιέχουν μόνο τα ονόματα, τα σύμβολα και τις αριθμητικές τιμές των μεγεθών που μελετώνται.

Ένα απλό κουμπί επιτρέπει στον χρήστη να πειραματιστεί με τις ηλεκτρικές δυνάμεις μεταξύ των επαυξημένων ηλεκτρικών φορτίων αναφορικά με (α) το μέγεθος του φορτίου και (β) το είδος του φορτίου. Πατώντας το, οι μαθητές μπορούν να εισάγουν διάφορες αριθμητικές τιμές για το μέγεθος των φορτίων στα αντίστοιχα πεδία της διεπαφής ΕΠ (βλέπε εικόνα 8.4).

Αυτή η ενέργεια συνοδεύεται από την αλλαγή στο μέγεθος των επαυξημένων ηλεκτρικών φορτίων η οποία, καθώς γίνεται και οπτικά αντιληπτή, διευκολύνει τους μαθητές να παρατηρήσουν και να κατανοήσουν την επακόλουθη αλλαγή στο μέγεθος

της ηλεκτρικής δύναμης. Με παρόμοιο τρόπο, με την επιλογή ενός δεύτερου όμοιου κουμπιού, οι μαθητές μπορούν να πειραματιστούν αλλάζοντας το είδος των ηλεκτρικών φορτίων για να παρατηρήσουν στη συνέχεια την αλλαγή στην κατεύθυνση των ηλεκτρικών δυνάμεων (εικόνα 8.5).



Εικόνα 8.5: Η διεπαφή AR που επιτρέπει στο μαθητή να πειραματιστεί με τα είδη των ηλεκτρικών φορτίων των ηλεκτρικών φορτίων.

Επιπλέον, περαιτέρω σχεδιαστικές επιλογές υλοποιήθηκαν για να ενισχυθούν ακόμη περισσότερο οι σχεδιαστικές αρχές που υιοθετήθηκαν. Αρχικά, για να ικανοποιηθεί η απαίτηση της «ανοικτότητας», επιλέχθηκε να μην ακολουθηθεί μια γραμμική δομή αναφορικά με τις μεμονωμένες δραστηριότητες που απαρτίζουν το μαθησιακό περιβάλλον ΕΠ. Αντίθετα, προτιμήθηκε οι μαθητές να αφεθούν ελεύθεροι να χειριστούν την σχετική θέση των επαυξημένων στόχων και να μεταφερθούν από τη μία δραστηριότητα στην άλλη με μη γραμμικό τρόπο. Έτσι τους δίνεται η δυνατότητα να διερευνήσουν πραγματικά τη σχέση μεταξύ των στοιχείων της εφαρμογής, μεταβάλλοντας τις σχετικές παραμέτρους ο καθένας με τον δικό του προσωπικό ρυθμό και όντας σε θέση να επαναλάβουν προηγούμενα βήματα των ενεργειών τους μέσα στο μαθησιακό περιβάλλον, εφόσον το επιθυμούν.

Παράλληλα, με στόχο την αισθητοποίηση των διανυσματικών χαρακτηριστικών των ηλεκτρικών δυνάμεων, έγινε προσπάθεια κατά τη σχεδίαση της συγκεκριμένης μαθησιακής δραστηριότητας ΕΠ να υπάρχει μια άμεση οπτική αναπαράσταση της εξάρτησης του μεγέθους της δύναμης και της κατεύθυνσης της από την πραγματική απόσταση μεταξύ των δύο επαυξημένων φορτίων και από τον σχετικό προσανατολισμό τους στο χώρο, αντίστοιχα. Έτσι, τα διανύσματα-βέλη που αντιπροσωπεύουν τις δυνάμεις αυξομειώνουν το μήκος τους ανάλογα με την πραγματική απόσταση στην οποία τοποθετεί ο μαθητής κάθε στιγμή τα φορτία-στόχους σε πραγματικό χρόνο.

Επιπλέον, τα διανύσματα-βέλη που αντιπροσωπεύουν τις ηλεκτρικές δυνάμεις ακολουθούν συνεχώς τα φορτία-στόχους στην κίνηση τους από τον μαθητή που τα χειρίζεται και μεταβάλλουν ανάλογα τον προσανατολισμό τους και το μήκος τους, διατηρώντας πάντα μεταξύ τους ίδιο μέτρο, ως ζεύγος δυνάμεων, σύμφωνα με τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα.

Επιπρόσθετα, οι McKittrick, Mulhall και Gunstone (1999) προτείνουν οι εκπαιδευτικοί να καθοδηγούν τους μαθητές τους με άμεσο τρόπο, ώστε αυτοί να εστιάζουν στις δραστηριότητες και τις παρατηρήσεις. Οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι με αυτή την προσέγγιση επιτυγχάνεται αποτελεσματικότερα η κατανόηση των υπό μελέτη εννοιών, πριν από την παρουσίαση των μαθηματικών τύπων που περιγράφουν τα παρατηρούμενα φαινόμενα. Κάτω από αυτή τη λογική, αποφασίστηκε να μην ενσωματωθεί στη διεπαφή του περιβάλλοντος ΕΠ ο νόμος του Coulomb, ο οποίος δίνει τελικά το μέγεθος της ηλεκτρικής δύναμης Coulomb. Αντί αυτού, έγινε προσπάθεια να καθοδηγηθούν οι μαθητές στην βήμα-προς-βήμα δόμηση του παραπάνω μαθηματικού τύπου, ακολουθώντας τις οδηγίες στα φύλλα εργασίας που κατασκευάστηκαν με αυτό το σκοπό σύμφωνα με όσα συζητήθηκαν στο μοντέλο τεκμηρίων γνώσης.

Τέλος, η παρούσα διδακτική προσέγγιση δεν ενσωματώνει στοιχεία δομικής παιγνιοποίησης όπως βαθμούς και σήματα. Δεδομένου ότι πρόκειται για την πρώτη διδακτική προσέγγιση ΕΠ που σχεδιάστηκε, αναπτύχθηκε και δοκιμάστηκε στο σχολικό περιβάλλον επιλέχθηκε να περιορίσουμε τις παραμέτρους ώστε να αποτιμηθεί κατά το δυνατό ο βαθμός κινητοποίησης των μαθητών κυρίως λόγω της αξιοποίησης των χαρακτηριστικών της τεχνολογίας ΕΠ μέσω κινητών συσκευών. Ωστόσο, λόγω των σχεδιαστικών προδιαγραφών που τίθενται από τις επιλεγμένες σχεδιαστικές αρχές, η παρούσα διδακτική προσέγγιση υλοποιεί τα στοιχεία της έκπληξης και της απρόσμενης ευχαρίστησης από την εμφάνιση τόσο των επαυξημένων ψηφιακών φορτίων όσο και την αποκάλυψη των ηλεκτρικών δυνάμεων. Επιπλέον, υλοποιείται και το στοιχείο της ανάδρασης καθώς ο μαθητής βλέπει άμεσα την αλλαγή του μεγέθους και του προσανατολισμού των τρισδιάστατων βελών που αντιπροσωπεύουν τις ηλεκτρικές δυνάμεις, ως άμεση ανάδραση των ενεργειών του και της αλληλεπίδρασης του τόσο με τα πραγματικά φορτία-στόχους όσο και με τα ψηφιακά στοιχεία της διεπαφής ΕΠ. Ακόμη, το στοιχείο της πρόκλησης αλλά και η εξατομίκευση και η προσαρμογή των δραστηριοτήτων ΕΠ υλοποιούνται κατάλληλα από τη δομή και τη διάρθρωση του φύλλου εργασίας το οποίο καθοδηγεί τους μαθητές στην εξερεύνηση τους καθόλα τη διάρκεια της εμπειρίας.

Κεφάλαιο 9

Σχεδιασμός Εκπαιδευτικής Έρευνας για τη Διδασκαλία της Ηλεκτρικής Δύναμης

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται ο πειραματικός σχεδιασμός και τα δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά τη διεξαγωγή της εκπαιδευτικής έρευνας η οποία έλαβε χώρα με στόχο να διερευνηθεί η επίδραση της μαθησιακής εμπειρίας ΕΠ για τη διδασκαλία της ηλεκτρικής δύναμης σε μαθητές Γυμνασίου, σε πραγματικές συνθήκες σχολικής τάξης.

9.1 Πειραματικός σχεδιασμός της εκπαιδευτικής έρευνας

Κατά την παρούσα φάση της έρευνας υλοποιήθηκε η διδακτική προσέγγιση που αφορούσε στη διδασκαλία των ηλεκτρικών δυνάμεων Coulomb σε μαθητές της Γ' τάξης Γυμνασίου. Στην εμπειρική έρευνα πήραν μέρος μαθητές του Γυμνασίου Κουβαρά. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε κατά το χρονικό διάστημα Φεβρουάριος 2017 – Μάιος 2018. Κατά τη φάση αυτή υλοποιήθηκε η διδακτική προσέγγιση που αφορούσε στη διδασκαλία των ηλεκτρικών δυνάμεων Coulomb σε μαθητές της Γ' τάξης Γυμνασίου. Ο εκπαιδευτικός σχεδιασμός της προσέγγισης αναπτύχθηκε με βάση τις αρχές που υιοθετήθηκαν και σε σχέση με τους μαθητές τους οποίους στοχεύει, τις συνήθειες συνθήκες που επικρατούν στην σχολική τάξη καθώς και τον διαθέσιμο εξοπλισμό. Η εμπειρική έρευνα που πραγματοποιήθηκε λειτούργησε, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 1, ως προκαταρκτική έρευνα, μέρος των αποτελεσμάτων της οποίας αποτέλεσε είσοδο για το σχεδιασμό των δραστηριοτήτων επαυξημένης πραγματικότητας που στόχευαν στην κατανόηση θεμελιωδών εννοιών από το πεδίο της Κλασικής Μηχανικής καθώς και για την αντίστοιχη εκπαιδευτική έρευνα της Β' φάσης.

Σύμφωνα με τα όσα συζητήθηκαν και στην εισαγωγή της παρούσας εργασίας, η ιδέα πίσω από την συγκεκριμένη προσέγγιση ήταν να παρουσιαστεί στους μαθητές ένα καινοτόμο μαθησιακό περιβάλλον που εκμεταλλεύεται το δυναμικό της τεχνολογίας ΕΠ για την παροχή τρισδιάστατων περιβαλλόντων συνεργατικής, διερευνητικής μάθησης μέσα στο χώρο της σχολικής τάξης. Κάτω από αυτό το πρίσμα, βασικός σκοπός της παρούσας ερευνητικής φάσης ήταν να διερευνηθεί αν η συγκεκριμένη διδακτική προσέγγιση πράγματι ευθυγραμμίζεται με την εξοικείωσή των μαθητών με την κινητή τεχνολογία και την ευχαρίστηση που νιώθουν αυτοί όταν κάνουν χρήση αυτής της τεχνολογίας, προκειμένου να τονώσουν τα εσωτερικά κίνητρά τους και τις μαθησιακές

τους επιδόσεις. Δεδομένου ότι η εμπειρία αυτή ήταν η πρώτη που σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε, αποτέλεσε κατά μία έννοια ένα «πιλότο» για τις μαθησιακές εμπειρίες που σχεδιάστηκαν και οργανώθηκαν κατά τη Β' φάση της πειραματικής έρευνας, αναφορικά με τις σχεδιαστικές επιλογές και τα εργαλεία αποτίμησης που χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια.

9.2 Μεθοδολογία της έρευνας

Ο πίνακας 9.1 συνοψίζει τις μεθόδους συλλογής και ανάλυσης των δεδομένων, όπως αντιστοιχούν σε κάθε ερευνητικό ερώτημα για την Α' φάση της πειραματικής έρευνας:

Πίνακας 9.1: Οι μέθοδοι συλλογής και ανάλυσης των δεδομένων, όπως αντιστοιχούν σε κάθε ερευνητικό ερώτημα για την Α' φάση της έρευνας:

Ερευνητικό ερώτημα	Μέθοδος Συλλογής Δεδομένων	Ανάλυση Δεδομένων
Ποια είναι η στάση των μαθητών απέναντι στη διαδικασία μάθησης με χρήση του περιβάλλοντος ΕΠ μέσω κινητών συσκευών, μέσα στο περιβάλλον της σχολικής τάξης;	Ερωτηματολόγιο RIMMS Συμμετοχικές παρατηρήσεις παιδιών κατά τη διάρκεια της διδακτικής παρέμβασης (μη συστηματική καταγραφή συμπεριφορών και αντιδράσεων των παιδιών από την ερευνήτρια-εκπαιδευτικό).	Εμπειρική μελέτη Ποιοτική ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων παρατήρησης Συνδυαστική ερμηνεία των παραπάνω και εξαγωγή συμπερασμάτων
Είναι λειτουργικός ο τεχνικός σχεδιασμός του περιβάλλοντος ΕΠ;	Ερωτηματολόγιο «δυσκολίας/ευχαρίστησης» Ποιοτικές παρατηρήσεις παιδιών κατά τη διάρκεια της διδακτικής παρέμβασης (μη συστηματική καταγραφή συμπεριφορών και αντιδράσεων των παιδιών από την ερευνήτρια-	Εμπειρική μελέτη Ποιοτική ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων παρατήρησης Συνδυαστική ερμηνεία των παραπάνω και εξαγωγή
Ποια χαρακτηριστικά της διδακτικής προσέγγισης με αξιοποίηση του περιβάλλοντος ΕΠ αναδύονται ως ευνοϊκά και ποια ως δυσμενή για τους μαθητές κατά τη διεξαγωγή των	Ερωτηματολόγιο «δυσκολίας/ευχαρίστησης» Ποιοτικές παρατηρήσεις παιδιών κατά τη διάρκεια της διδακτικής παρέμβασης (μη συστηματική καταγραφή συμπεριφορών και αντιδράσεων των παιδιών από την ερευνήτρια-	Εμπειρική μελέτη Ποιοτική ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων παρατήρησης Συνδυαστική ερμηνεία των παραπάνω και εξαγωγή

μαθησιακών εμπειριών ΕΠ μέσα στο περιβάλλον της σχολικής τάξης;	εκπαιδευτικό).	συμπερασμάτων
---	----------------	---------------

9.2.1 Το δείγμα της έρευνας

Στην παρούσα φάση της έρευνας πήραν μέρος 13 μαθητές της Γ' τάξης του Γυμνασίου Κουβαρά, αγόρια και κορίτσια ηλικίας 14-15 ετών. Όλοι οι μαθητές ήταν εξοικειωμένοι με τη χρήση κινητών συσκευών. Οι μαθητές είχαν λάβει παραδοσιακή διδασκαλία του διδακτικού αντικείμενου έξι μήνες πριν από την εισαγωγή του περιγραφόμενου περιβάλλοντος ΕΠ στην τάξη τους, σύμφωνα με το Ελληνικό Πρόγραμμα Σπουδών.

9.2.2 Εκπαιδευτικός σχεδιασμός της έρευνας

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η εφαρμογή της παρούσας διδακτικής προσέγγισης στην τάξη χρειάστηκαν έξι περίπου διδακτικές ώρες των 45 λεπτών. Αρχικά, έπρεπε να αντιμετωπισθούν ορισμένα θέματα σχετικά με την ομαλή εισαγωγή της τεχνολογίας ΕΠ στη σχολική τάξη. Συγκεκριμένα, χρειάστηκαν συνολικά δύο διδακτικές ώρες προκειμένου:

1. Να γίνει μια άτυπη συνέντευξη των μαθητών ώστε να αναγνωριστεί ο βαθμός εξοικείωσής τους με τις κινητές συσκευές.
2. Να μοιραστούν υπεύθυνες δηλώσεις για να ληφθεί γραπτή άδεια από τους κηδεμόνες ώστε οι μαθητές να μπορούν να φέρνουν μαζί τους και να χρησιμοποιούν τις κινητές συσκευές για τις ανάγκες του μαθήματος.
3. Να καταγραφούν οι κινητές συσκευές των μαθητών.
4. Να δοκιμαστούν όλες οι συσκευές των μαθητών με λειτουργικό σύστημα android οι οποίες ήταν συμβατές με το λογισμικό προς εγκατάσταση και να επιλεγούν οι καταλληλότερες βάση συμβατότητας και χαρακτηριστικών (ταχύτητα, μέγεθος, ανάλυση οθόνης).
5. Να γίνει συζήτηση με τους μαθητές σχετικά με την τεχνολογία Επαυξημένης Πραγματικότητας και να εξηγηθεί ο τρόπος με τον οποίο επρόκειτο να χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία αυτή κατά την μαθησιακή διαδικασία.
6. Να μοιραστούν τα χαρτάκια- στόχοι στους μαθητές

7. Να γίνει μια επίδειξη μέσω βιντεοπροβολέα της επαύξησης των χαρτιών-στόχων και του τρόπου χρήσης της διεπαφής ΕΠ.
8. Να χωριστούν οι μαθητές σε ομάδες.

Ως αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας, οι μαθητές έδειξαν απόλυτα εξοικειωμένοι με τη χρήση των κινητών συσκευών, αναφέροντας ότι χρησιμοποιούν κινητά σε καθημερινή βάση. Επιπλέον, όλοι οι κηδεμόνες συναίνεσαν γραπτώς για τη χρήση των κινητών. Αρχικά, η καταγραφή οδήγησε σε μία λίστα επτά συσκευών Android, από τις οποίες επιλέχθηκαν τελικά οι τέσσερις καταλληλότερες (βάσει της συμβατότητας, του μεγέθους της οθόνης και της ανάλυσης κάμερας): Αφότου οι μαθητές χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες των τριών και μία ομάδα τεσσάρων. Η οργάνωση των μαθητών σε ομάδες έγινε με κύριο κριτήριο τις σχέσεις φιλίας μεταξύ τους προκειμένου να δημιουργηθεί ένα θετικό κλίμα. Επιπλέον, έγινε προσπάθεια κάθε ομάδα να απαρτίζεται από ένα μαθητή χαμηλών μαθησιακών επιδόσεων στο μάθημα της Φυσικής, ένα μαθητή μέτριων και ένα μαθητή υψηλών επιδόσεων. Στη συνέχεια, έγινε επίδειξη στους μαθητές μέσω βιντεοπροβολέα του τρόπου χρήσης της διεπαφής ΕΠ.

Κατά την επόμενη, 3η διδακτική ώρα οι μαθητές που διέθεταν τις 4 αυτές συσκευές τις έφεραν στην τάξη έχοντας προεγκαταστήσει την εφαρμογή από ιστότοπο του διαδικτύου στον οποίο είχε προηγουμένα «ανέβει» το αντίστοιχο λογισμικό από την ερευνήτρια. Το πείραμα διεξήχθη εξολοκλήρου στη σχολική τάξη (εικόνα 9.1). Οι μαθητές άλλαξαν θέσεις προκειμένου να σχηματίσουν ομάδες και η κάθε ομάδα κάθισε σε ένα θρανίο σύμφωνα με το πλάνο που είχε συμφωνηθεί. Σε κάθε ομάδα μοιράστηκε ένα ζευγάρι καρτών-στόχων και ένα φύλλο εργασίας το οποίο σχεδιάστηκε ώστε να κατευθύνει τη μαθησιακή διαδικασία και οι μαθητές ξεκίνησαν να πειραματίζονται με το περιβάλλον της εφαρμογής ΕΠ (εικόνα 9.2).

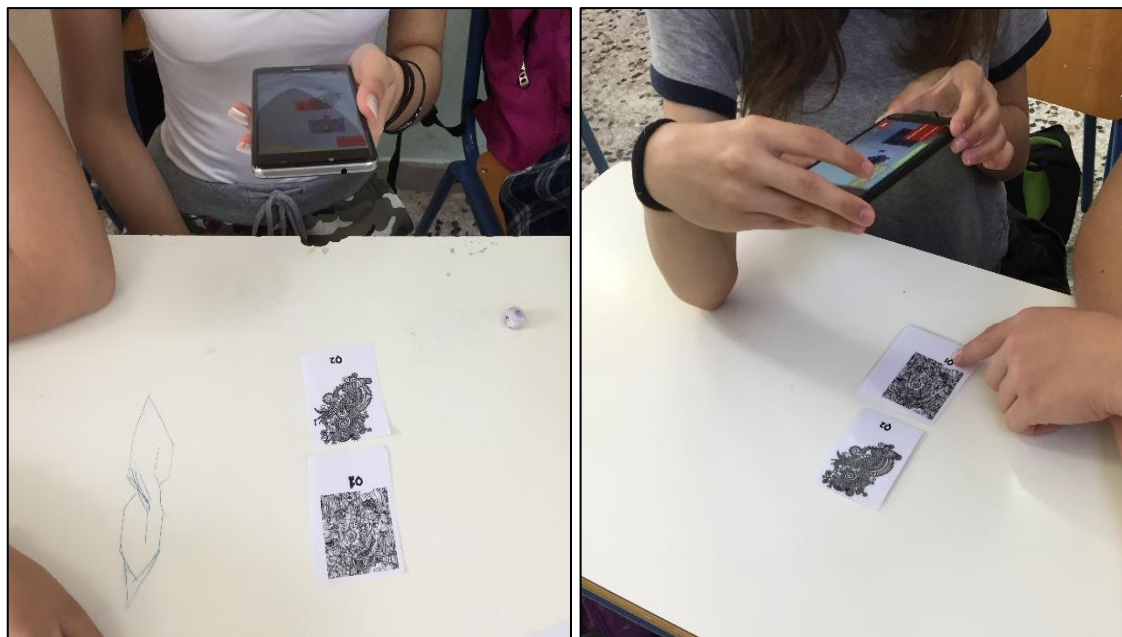
Ακολουθώντας τα βήματα του φύλλου εργασίας, οι μαθητές αλληλεπιδρούσαν με τις μεταβλητές της διεπαφής και παρατηρούσαν πώς αυτές οι αλληλεπιδράσεις επηρέαζαν τις υπερτιθέμενες πάνω στα ηλεκτρικά φορτία ηλεκτρικές δυνάμεις. Ως μέλος της ομάδας, ο κάθε μαθητής είχε αναλάβει ένα ρόλο: είτε να χειρίζεται την κινητή συσκευή στοχεύοντας τη κατάλληλα πάνω στα χαρτάκια-στόχους, είτε να κινεί κατάλληλα τα χαρτάκια-στόχους στο θρανίο είτε να διαβάζει δυνατά τις οδηγίες και να συμπληρώνει τις ερωτήσεις στο φύλλο εργασίας (εικόνα 9.3).

Οι μαθητές άλλαζαν ρόλους μετά την ολοκλήρωση ενός ή δύο βημάτων του φύλλου εργασίας. Κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων διδακτικών ενοτήτων 12 από τους 13

μαθητές απάντησαν στις ερωτήσεις του εργαλείου RIMMS καθώς και στις ερωτήσεις του ερωτηματολογίου «δυσκολίας/απόλαυσης» (ο ένας μαθητής απουσίαζε την ημέρα εκείνη της συμπλήρωσης των εργαλείων).



Εικόνα 9.1: Οι μαθητές καθώς πειραματίζονται σε ομάδες πάνω στην εφαρμογή ΕΠ μέσα στη σχολική τάξη.



Εικόνα 9.2: Οι μαθητές καθώς πειραματίζονται με το περιβάλλον της εφαρμογής ΕΠ.



Εικόνα 9.3: Ο κάθε μαθητής έχει αναλάβει ένα ρόλο: είτε να χειρίζεται την κινητή συσκευή, είτε να κινεί κατάλληλα τα χαρτάκια-στόχους στο θρανίο είτε να διαβάζει στην ομάδα τις οδηγίες και να συμπληρώνει το φύλλο εργασίας.

9.2.3 Ο ρόλος του εκπαιδευτικού

Όπως συζητήθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο η παρούσα διδακτική προσέγγιση σχεδιάστηκε για να προάγει ένα μαθητοκεντρικό, ενεργητικό και συνεργατικό μαθησιακό περιβάλλον το οποίο έθεσε τον εκπαιδευτικό σε ρόλο καίριο μεν αλλά όχι κεντρικό όπως συμβαίνει κατά την παραδοσιακή διδασκαλία. Ο ρόλος του εκπαιδευτικού ήταν κυρίως συντονιστικός ως προς την πραγματοποίηση των ενεργειών του φύλλου εργασίας όσο και υποστηρικτικός ως προς τις λειτουργικές απαιτήσεις του 3Δ περιβάλλοντος.

9.2.4 Εργαλεία της έρευνας

Προκειμένου να εκτιμηθεί ο βαθμός κινητοποίησης των μαθητών, χρησιμοποιήθηκε μια συνεπτυγμένη έκδοση του ερωτηματολογίου Keller (Keller's Instruction Motivation Survey Motivation Survey, IMMS) (Keller, 2015, 2010, 1987), μεταφρασμένη στα ελληνικά και προσαρμοσμένη στο εκπαιδευτικό υλικό από την ερευνήτρια (παράρτημα II). Το συνεπτυγμένο ερωτηματολόγιο IMMS (RIMMS) είναι μια κλίμακα 12 στοιχείων που έχει δοκιμαστεί και έχει αποδειχθεί ότι έχει καλή εσωτερική συνοχή και εγκυρότητα, όσον αφορά τη μέτρηση του βαθμού κινητοποίησης (Loorbach et al., 2014). Συγκεκριμένα, η κλίμακα του εργαλείου RIMMS χρησιμοποιήθηκε για να μετρήσει την κινητοποίηση των μαθητών σε σχέση με τις ακόλουθες τέσσερις διαστάσεις: Προσοχή,

Συνάφεια, Αυτοπεποίθηση και Ικανοποίηση (Attention, Relevance, Confidence, Satisfaction-ARCS). Στην παρούσα έρευνα, η κινητοποίηση των μαθητών μετρήθηκε με βάση τη μέση βαθμολογία των μαθητών σε κάθε μία από τις τέσσερις υποκλίμακες, προσοχή (Attention, A), συνάφεια (Relevance, R), αυτοπεποίθηση (Confidence, C) και ικανοποίηση (Satisfaction, S). Οι παρακάτω τιμές χρησιμοποιήθηκαν για να υποδείξουν την απάντηση των μαθητών σε κάθε στοιχείο του εργαλείου: 1 - αληθές, 2 = λίγο αληθές, 3 = μέτρια αληθές, 4 = ως επί το πλείστον αληθές, 5 = πολύ αληθές. Κάθε υποκλίμακα απαρτίζεται από 3 στοιχεία του ερωτηματολογίου, όπως φαίνεται στον Πίνακα 9.2.

Πίνακας 9.2: Τα στοιχεία του εργαλείου RIMMS.

Στοιχείο	Διάσταση
1. Η ποιότητα της εφαρμογής με βοήθησε να κρατήσω την προσοχή μου στο διδακτικό αντικείμενο.	Προσοχή
2. Ο τρόπος που παρουσιάστηκε η πληροφορία από την δραστηριότητα με βοήθησε να είμαι συγκεντρωμένη/μένος σε αυτό που έκανα.	Προσοχή
3. Η ποικιλία του υλικού στη δραστηριότητα αυτή (συζήτηση, φύλλο με ερωτήσεις, κλπ.) με βοήθησαν να κρατήσω την προσοχή μου στο μάθημα.	Προσοχή
4. Μου είναι ξεκάθαρο το πώς συνδέεται το περιεχόμενο της δραστηριότητας που έκανα με γνώσεις που έχω ήδη.	Συνάφεια
Το περιεχόμενο και η παρουσίαση αυτού του μαθήματος μου έδωσαν την εντύπωση ότι είναι σημαντικό να το καταλάβω και να το μάθω.	Συνάφεια
6. Το περιεχόμενο αυτού του μαθήματος πιστεύω ότι θα μου είναι χρήσιμο.	Συνάφεια
7. Καθώς ασχολούμουν με τη δραστηριότητα αυτή ήμουν βέβαιη/βέβαιος ότι θα κατάφερα να μάθω το περιεχόμενο.	Αυτοπεποίθηση
8. Αφού δούλεψα σε αυτή τη δραστηριότητα για λίγο, ήμουν σίγουρη/σίγουρος ότι θα μπορούσα να περάσω ένα τεστ σε αυτό το μάθημα.	Αυτοπεποίθηση
9. Η καλή οργάνωση του περιεχομένου της δραστηριότητας που έκανα με έκανε να νιώθω σίγουρη ότι θα κατάφερα να καταλάβω αυτό το μάθημα.	Αυτοπεποίθηση
10. Ευχαριστήθηκα τόσο πολύ το μάθημα αυτό που θα ήθελα να μάθω και άλλα για το νόμο του Coulomb και τις ηλεκτρικές δυνάμεις.	Ικανοποίηση
11. Πραγματικά ευχαριστήθηκα αυτό το μάθημα.	Ικανοποίηση
12. Ήταν μεγάλη η ευχαρίστηση μου να δουλέψω σε ένα τόσο καλά σχεδιασμένο μάθημα.	Ικανοποίηση

Προκειμένου να απαντηθούν το δεύτερο και το τρίτο ερευνητικό ερώτημα αναπτύχθηκε ένα απλό ερωτηματολόγιο, το ερωτηματολόγιο «δυσκολίας/ευχαρίστησης» (παράρτημα II). Το ερωτηματολόγιο αυτό αποτελείται από δώδεκα στοιχεία με απλή διατύπωση και επίσης χρησιμοποιεί κλίμακα Likert για τις πιθανές απαντήσεις. Το ερωτηματολόγιο «δυσκολίας/ευχαρίστησης» επιχειρεί να στοχεύσει σε ορισμένες πτυχές της παρούσας διδακτικής προσέγγισης σε σχέση με το βαθμό δυσκολίας και απόλαυσης που βίωσαν οι μαθητές κατά τη διάρκεια της παρέμβασης, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 9.2. Το

ερωτηματολόγιο αυτό, προκειμένου να αποτιμήσει τα στοιχεία εκείνα της διδακτικής προσέγγισης που ευχαρίστησαν και δυσκόλεψαν τους μαθητές αποτελείται από δύο μικρότερες δομές, μια δομή «δυσκολίας» και μια δομή «ευκολίας» αποτελούμενες αντίστοιχα από 8 και 4 στοιχεία. Οι τιμές σχετικά με τη δομή «δυσκολίας» κλιμακώθηκαν από 1 έως 5 ως εξής: 5-καμία δυσκολία, 4 = μικρή δυσκολία, 3 = μέτρια δυσκολία, 2 = αρκετή δυσκολία, 1 = μεγάλη δυσκολία. Οι τιμές σχετικά με την δομή «ευχαρίστησης» κλιμακώθηκαν επίσης από 1 ως 5 ως εξής: 1-καμμία ευχαρίστηση, 2 = μικρή ευχαρίστηση, 3 = μέτρια ευχαρίστηση, 4 = αρκετή ευχαρίστηση, 5 = μεγάλη ευχαρίστηση. Για την αποτίμηση του βαθμού «δυσκολίας/ευχαρίστησης» των μαθητών υπολογίστηκε η μέση βαθμολογία ανά στοιχείο του ερωτηματολογίου.

Πίνακας 9.3: Τα στοιχεία του ερωτηματολογίου «δυσκολίας/ευχαρίστησης» αναφορικά με το βαθμό δυσκολίας (8 στοιχεία)και ευχαρίστησης (4 στοιχεία) που βίωσαν οι μαθητές κατά τη διάρκεια της παρέμβασης.

Στοιχείο	Βαθμός δυσκολίας των μαθητών αναφορικά με:
1	Τη χρήση της κινητής συσκευής
2	Τη συνεργασία με τα άλλα μέλη της ομάδας
3	Το χειρισμό του μενού της εφαρμογής
4	Το χειρισμό των χαρτιών- «στόχων» της εφαρμογής
5	Την αποκωδικοποίηση των ψηφιακών δεδομένων που εμφανίζονταν πάνω στα χαρτάκια-«στόχους»
6	Την αλλαγή των τιμών και του είδους των ηλεκτρικών φορτίων
7	Την διάκριση μεταξύ πραγματικής και ψηφιακής πληροφορίας επί της οθόνης
8	Την κατανόηση των δεδομένων της οθόνης (φορτία, βελάκια-δυνάμεις

Στοιχείο	Βαθμός ευχαρίστησης των μαθητών αναφορικά με:
1	Τη χρήση της κινητής συσκευής
2	Τη συνεργασία με τα άλλα μέλη της ομάδας
3	Το χειρισμό των μενού της εφαρμογής
4	Το χειρισμό των χαρτιών- «στόχων» της εφαρμογής

Τέλος, προκειμένου να ληφθεί μια ένδειξη μόνο για πιθανά μαθησιακά οφέλη από τη χρήση της διδακτικής προσέγγισης χρησιμοποιήθηκε μια απλή ολιγόλεπτη γραπτή δοκιμασία. Η δοκιμασία αυτή είχε ως σκοπό να εκτιμηθεί η ικανότητα των μαθητών να σχεδιάζουν σωστά τις δυνάμεις coulomb μετά τον πειραματισμό τους στο περιβάλλον ΕΠ. Οι μαθητές κλήθηκαν απλώς να σχεδιάσουν τις δυνάμεις μεταξύ α) δύο ομόσημων και β) δύο ετερόσημων ηλεκτρικών φορτίων τόσο πριν όσο και αμέσως μετά την προσέγγιση, προκειμένου να ελέγξουν την πρόοδο της μάθησης σε σχέση με τέσσερις μαθησιακούς στόχους, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.4.

Πίνακας 9.4: Μετρούμενοι μαθησιακοί στόχοι πριν και μετά την διδακτική παρέμβαση.

Στοιχείο	Μετρούμενος μαθησιακός στόχος
1	Η ικανότητα των μαθητών να σχεδιάζουν τις δυνάμεις Coulomb ως διανύσματα όσον αφορά την κατεύθυνση των δυνάμεων ανάμεσα σε δύο ετερόσημα ηλεκτρικά φορτία.
2	Η ικανότητα των μαθητών να σχεδιάζουν τις δυνάμεις Coulomb ως διανύσματα όσον αφορά το σημείο εφαρμογής των δυνάμεων ανάμεσα σε δύο ετερόσημα ηλεκτρικά φορτία.
3	Η ικανότητα των μαθητών να σχεδιάζουν τις δυνάμεις Coulomb ως διανύσματα όσον αφορά την κατεύθυνση των δυνάμεων ανάμεσα σε δύο ομόσημα ηλεκτρικά φορτία.
4	Η ικανότητα των μαθητών να σχεδιάζουν τις δυνάμεις Coulomb ως διανύσματα όσον αφορά το σημείο εφαρμογής των δυνάμεων ανάμεσα σε δύο ομόσημα ηλεκτρικά φορτία.

9.3 Ανάλυση των αποτελεσμάτων

Βάσει των αποτελεσμάτων του ερωτηματολογίου RIMMS, διεξήχθη μια δοκιμή αξιοπιστίας κλίμακας για την αξιοπιστία εσωτερικής συνέπειας του εργαλείου RIMMS. Η συνολική αξιοπιστία κάθε κλίμακας με βάση το δείκτη Άλφα του Cronbach (Cronbach Alpha) συνοψίζεται στον Πίνακα 9.5. Τα δεδομένα υποδηλώνουν καλή αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Αν και η τιμή Cronbach Alpha για την διάσταση της Ικανοποίησης (S) είναι σημαντικά χαμηλότερη σε σύγκριση με τις τιμές των άλλων τεσσάρων διαστάσεων, μπορεί ακόμα να θεωρηθεί αποδεκτή (George & Mallery, 2003).

Αναφορικά με τα επίπεδα κινητοποίησης των μαθητών, τα αποτελέσματα με βάση τη μέση βαθμολογία σε κάθε μία από τις τέσσερις επιμέρους κλίμακες του εργαλείου RIMMS συνοψίζονται στον Πίνακα 9.6.

Πίνακας 9.5: Αξιοπιστία του εργαλείου RIMMS (n=12).

Διάσταση	Σταθερά α του Cronbach
Προσοχή	0.94
Συνάφεια	0.92
Αυτοπεποίθηση	0.94
Ικανοποίηση	0.75
Σύνολο	0.97

Πίνακας 9.6: Οι μέσες βαθμολογίες των μαθητών για κάθε μια από τις τέσσερις υποκλίμακες του εργαλείου RIMMS (n=12).

Διάσταση	Ελάχιστη βαθμολογία	Μέγιστη βαθμολογία	Μέση βαθμολογία
Προσοχή	3.75	4.33	4.03
Συνάφεια	3.75	4.58	4.11
Αυτοπεποίθηση	3.33	4.08	3.72
Ικανοποίηση	4.25	4.92	4.61
Σύνολο	3.33	4.92	4.14

Στη διάσταση της προσοχής, η συνολική μέση βαθμολογία ήταν 4,03, υποδεικνύοντας ανώτερα επίπεδα προσοχής. Στη διάσταση της συνάφειας, η συνολική μέση βαθμολογία ήταν 4,11, γεγονός που δηλώνει ότι οι μαθητές ήταν αρκετά σίγουροι ότι το μαθησιακό υλικό ήταν συναφές με το τί ενδιαφέρονταν να μάθουν, σε σχέση με το μαθησιακό αντικείμενο. Στη διάσταση εμπιστοσύνης, η συνολική μέση βαθμολογία ήταν 3,72, φανερώνοντας ένα επίπεδο εμπιστοσύνης αρκετά πάνω από το μέσο όρο. Τέλος, με βάση τη μέση βαθμολογία στη διάσταση ικανοποίησης ($M = 4,61$) μπορούμε να υποθέσουμε ότι οι μαθητές βίωσαν μια υψηλότερη αίσθηση ικανοποίησης κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας.

Με βάση τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου «δυσκολίας/ευχαρίστησης» πραγματοποιήθηκε και πάλι δοκιμή αξιοπιστίας κλίμακας για τον έλεγχο αξιοπιστίας της εσωτερικής συνέπειας του ερωτηματολογίου. Η αξιοπιστία και των δύο ομάδων ερωτήσεων με βάση τη σταθερά α του Cronbach δίνεται στον Πίνακα 9.6, και φανερώνει καλή εσωτερική συνέπεια και για τις δύο δομές του ερωτηματολογίου.

Με βάση τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου «δυσκολίας/ευχαρίστησης», φάνηκε ότι οι μαθητές βρήκαν αρκετά απλό το χειρισμό του περιβάλλοντος ΕΠ. Συγκεκριμένα, οι μαθητές δεν αντιμετώπισαν σχεδόν καμία δυσκολία στη χρήση των κινητών συσκευών κατά τη διάρκεια της προσέγγισης ($M = 4.75$). Χειρίστηκαν ομαλά τόσο τα χαρτάκια-στόχους ($M = 4,58$) όσο και τα μενού της εφαρμογής ($M = 4,25$), διακρίνοντας με σχετική ευκολία μεταξύ πραγματικών και επαυξημένων δεδομένων ($M = 4,08$) και αποκωδικοποιώντας τα ψηφιακά δεδομένα στα χαρτάκια-στόχους καταβάλλοντας μικρή προσπάθεια = 4.17). Επιπλέον, συνεργάστηκαν χωρίς προβλήματα με τους συμμαθητές τους ($M = 4,25$). Τέλος, οι μαθητές αντιμετώπισαν κάποια δυσκολία όσον αφορά την εισαγωγή ή την τροποποίηση δεδομένων στη διεπαφή ($M = 3,75$), όπως κατά τη μεταβολή των μεγεθών των ηλεκτρικών φορτίων. Από την άλλη πλευρά, οι

μαθητές φάνηκαν να βίωσαν υψηλά επίπεδα απόλαυσης όσον αφορά τη χρήση των κινητών συσκευών ($M = 4,75$) και ευχαριστήθηκαν ιδιαίτερα από τη συνεργασία με τους συμμαθητές τους ($M = 4,17$). Παράλληλα, έδειξαν αρκετά ικανοποιημένοι από τον χειρισμό των στόχων ($M = 4.00$) και των μενού της διεπαφής ($M = 4.00$).

Πίνακας 9.7: Αξιοπιστία του εργαλείου «δυσκολίας/ευχαρίστησης» ($n=12$).

Δομή	Σταθερά alpha του Cronbach
Δυσκολία (8 στοιχεία)	0.97
Ευχαρίστηση (4 στοιχεία)	0.93

Πίνακας 9.8: Οι μέσες βαθμολογίες των μαθητών στις δύο δομές του εργαλείου «δυσκολίας/ευχαρίστησης» .

Στοιχείο	Βαθμός δυσκολίας σε σχέση με:	Μέση βαθμολογία
1	τη χρήση της κινητής συσκευής	4.75
2	τη συνεργασία με τα άλλα μέλη της ομάδας	4.25
3	το χειρισμό του μενού της εφαρμογής	4.25
4	το χειρισμό των χαρτιών-«στόχων» της εφαρμογής	4.58
5	την αποκωδικοποίηση των ψηφιακών δεδομένων που εμφανίζονταν πάνω στα χαρτάκια-«στόχους»	4.17
6	την αλλαγή των τιμών και του είδους των ηλεκτρικών φορτίων	3.75
7	τη διάκριση μεταξύ πραγματικής και ψηφιακής πληροφορίας επί της οθόνης	4.08
8	την αποκωδικοποίηση της πληροφορίας επί της οθόνης	4.17
Στοιχείο	Βαθμός ευχαρίστησης σε σχέση με:	Μέση βαθμολογία
1	η χρήση της κινητής συσκευής	4.75
2	η συνεργασία με τα άλλα μέλη της ομάδας	4.17
3	ο χειρισμός του μενού της εφαρμογής	4.00
4	ο χειρισμός των χαρτιών-«στόχων» της εφαρμογής	4.00

Όσον αφορά τα δυνητικά μαθησιακά οφέλη, προκειμένου να εκτιμηθεί, μετά τον πειραματισμό των μαθητών στο περιβάλλον ΕΠ, αν ανιχνεύεται βελτίωση της

ικανότητας τους να σχεδιάζουν σωστά τις ηλεκτρικές δυνάμεις Coulomb αναφορικά με την κατεύθυνση και το σημείο εκκίνησης των ηλεκτρικών δυνάμεων και μεταξύ α) ετερόσημων και β) ομόσημων ηλεκτρικών φορτίων, χρησιμοποιήθηκε η μονόπλευρη δοκιμασία McNemar. Οι τιμές P για τη δοκιμασία McNemar για κάθε ένα από τα τέσσερα στοιχεία του γνωστικού τεστ παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.8.

Σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα, μπορούμε να υποθέσουμε ότι για το στοιχείο 3 δεν μπορούμε να απορρίψουμε τη μηδενική υπόθεση, συνεπώς δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για να υποθέσουμε ότι υπάρχει βελτίωση αναφορικά με την ικανότητα των μαθητών να σχεδιάζουν τις δυνάμεις Coulomb ως διανύσματα όσον αφορά την κατεύθυνση των δυνάμεων ανάμεσα σε δύο ομόσημα ηλεκτρικά φορτία. Για τα στοιχεία 1, 2 και 4 τα δεδομένα δείχνουν ότι μπορούμε να υποθέσουμε μια βελτίωση στην ικανότητα των μαθητών να σχεδιάζουν τις δυνάμεις Coulomb ως διανύσματα όσον αφορά το σημείο εφαρμογής των δυνάμεων, τόσο ανάμεσα σε δύο ετερόσημα ηλεκτρικά φορτία (στοιχείο 2) όσο και ανάμεσα σε δύο ομόσημα ηλεκτρικά φορτία (στοιχείο 4), καθώς και να σχεδιάζουν σωστά την κατεύθυνση των δυνάμεων ανάμεσα σε δύο ετερόσημα ηλεκτρικά φορτία (στοιχείο 1).

Στο σημείο αυτό πρέπει να διευκρινιστεί ότι τα θετικά μαθησιακά αποτελέσματα που προέκυψαν κατά τα ανωτέρω δεν επαρκούν για να βεβαιώσουν πραγματική βελτίωση της γνώσης των σπουδαστών με βάση την παρούσα διδακτική προσέγγιση. Στόχος ήταν να υπάρξει μόνο μια ένδειξη ότι η προσέγγιση ΕΠ είναι δυνητικά ικανή να επηρεάσει θετικά τη γνώση των μαθητών και δεν προκαλεί αποπροσανατολισμό ή σύγχυση λόγω παραμέτρων που εισάγονται από το ίδιο το περιβάλλον (για παράδειγμα, η χρήση κινητών συσκευών στην τάξη ή ο ταυτόχρονος χειρισμός φυσικών και επαυξημένων συνιστωσών) που θα είχαν πιθανώς οδηγήσει σε αντίθετα αποτελέσματα. Ως εκ τούτου, αυτή η γνωστική αξιολόγηση δεν αποδεικνύει ότι η προσέγγιση ΕΠ βελτιώνει τη γνώση των μαθητών. Δείχνει απλώς ότι διαθέτει το δυναμικό προς την κατεύθυνση αυτή πετυχαίνοντας την περαιτέρω ενθάρρυνση και εμπλοκή των μαθητών στη διαδικασία μάθησης χωρίς να αποπροσανατολίζονται αυτοί σημαντικά από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ΕΠ ή από τη χρήση των κινητών συσκευών. Επιπλέον, λόγω του μικρού δείγματος των μαθητών, της έλλειψης ομάδας ελέγχου και του περιορισμένου αριθμού των αντικειμένων στο τεστ γνωστικού ελέγχου, αυτά τα αποτελέσματα εννοούνται μόνο ως μια προκαταρκτική εκτίμηση των επιπτώσεων της παρουσιαζόμενης προσέγγισης στη μάθηση των μαθητών. Επομένως,

πρέπει να χρησιμοποιηθούν επιπρόσθετα πειραματικά σχέδια για την παροχή αξιόπιστων αποδείξεων προς αυτήν την κατεύθυνση.

Πίνακας 9.9: Μονόπλευρη δοκιμασία McNemar.

Στοιχείο	Μετρούμενος μαθησιακός στόχος	Τιμή p (επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας $\alpha=.05$)
1	Η ικανότητα των μαθητών να σχεδιάζουν τις δυνάμεις Coulomb ως διανύσματα όσον αφορά την κατεύθυνση των δυνάμεων ανάμεσα σε δύο ετερόσημα ηλεκτρικά φορτία.	0.0067
2	Η ικανότητα των μαθητών να σχεδιάζουν τις δυνάμεις Coulomb ως διανύσματα όσον αφορά το σημείο εφαρμογής των δυνάμεων ανάμεσα σε δύο ετερόσημα ηλεκτρικά φορτία.	0.0038
3	Η ικανότητα των μαθητών να σχεδιάζουν τις δυνάμεις Coulomb ως διανύσματα όσον αφορά την κατεύθυνση των δυνάμεων ανάμεσα σε δύο ομόσημα ηλεκτρικά φορτία.	0.2398
4	Η ικανότητα των μαθητών να σχεδιάζουν τις δυνάμεις Coulomb ως διανύσματα όσον αφορά το σημείο εφαρμογής των δυνάμεων ανάμεσα σε δύο ομόσημα ηλεκτρικά φορτία.	0.0067

9.4 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων

Σχετικά με την στάση των μαθητών απέναντι στη συγκεκριμένη διδακτική προσέγγιση, μπορούμε να υποστηρίξουμε ότι ανταποκρίθηκαν με ενθουσιασμό, ακολούθησαν εύκολα τις οδηγίες και φάνηκαν πολύ άνετοι με τη χρήση των κινητών συσκευών ως μαθησιακών εργαλείων. Οι μαθητές προσαρμόστηκαν γρήγορα στις νέες συνθήκες και ακολούθησαν τις οδηγίες χωρίς να αποπροσανατολίζονται ούτε από τη χρήση της κινητής συσκευής ούτε από το χειρισμό των χαρτιών-στόχων.

Πιο συγκεκριμένα, με βάση τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου RIMMS μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η δραστηριότητα ΕΠ κατάφερε να εμπλέξει ισχυρά τους μαθητές στη μαθησιακή διαδικασία και να κρατήσει την προσοχή τους, να τους πείσει για τη σπουδαιότητα του μαθησιακού αντικειμένου και να τους προσφέρει υψηλά επίπεδα ικανοποίησης. Επιπλέον, οι μαθητές φάνηκαν αρκετά σίγουροι ότι η διδακτική προσέγγιση θα είναι αποτελεσματική ως προς τη διδασκαλία του γνωστικού αντικειμένου. Αξίζει ωστόσο να σημειωθεί ότι τόσο η μέση βαθμολογία ανά διάσταση, με βάση τις απαντήσεις στο ερωτηματολόγιο RIMMS, όσο και η μεμονωμένη μελέτη των ερωτηματολογίων φανερώνουν τις χαμηλότερες βαθμολογίες στις ερωτήσεις που αναφέρονταν στη διάσταση της αυτοπεποίθησης. Αν αναλογιστούμε ότι πρόκειται για

μία διδακτική προσέγγιση που εισάγει εντελώς νέες συνθήκες μάθησης μέσα στην σχολική τάξη είναι μάλλον λογικό οι μαθητές να εμφανίζουν μια σχετική επιφύλαξη για την αποτελεσματικότητα της σε σχέση με το βαθμό κατάκτησης της υποκείμενης γνώσης.

Τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου «Δυσκολίας/Ευχαρίστησης» επιβεβαιώνουν ότι οι συνθήκες εργασίας μέσα στη σχολική τάξη, όπως διαμορφώθηκαν από τον ομαδοσυνεργατικό πειραματισμό με χρήση των κινητών συσκευών, όχι μόνο δεν δυσκόλεψαν αλλά άρεσαν πάρα πολύ στους μαθητές. Αναφορικά με τον τεχνικό σχεδιασμό των περιβαλλόντων ΕΠ οι μαθητές όχι μόνο δεν δυσκολεύτηκαν κατά τη διαχείριση των στοιχείων που εισήγαγε η χρήση της τεχνολογίας ΕΠ, αλλά αποτέλεσαν αυτά και στοιχεία ευχαρίστησης, όπως ο χειρισμός των χαρτιών-«στόχων». Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση των στοιχείων της διεπαφής ΕΠ, σε συμφωνία με τις σχεδιαστικές αρχές που διαμορφώθηκαν και υιοθετήθηκαν, δεν εισήγαγε δυσκολίες στη διαδικασία μάθησης, αφού οι μαθητές δεν εξέφρασαν δυσκολία αναφορικά με τη διάκριση των πραγματικών και των επανυξημένων στοιχείων επί της οθόνης των κινητών συσκευών τους και μπόρεσαν εύκολα να αποκωδικοποιήσουν τα δεδομένα επί της οθόνης. Στοιχείο σχετικής δυσκολίας φάνηκε να αποτελεί η αλληλεπίδραση των μαθητών με τη διεπαφή ΕΠ σε επίπεδο εισαγωγής και αλλαγής τιμών μεταβλητών όπως ήταν το είδος και το μέγεθος των ηλεκτρικών φορτίων. Στο σημείο αυτό, το ερωτηματολόγιο «δυσκολίας/ευχαρίστησης» δεν κατάφερε να αναδείξει αν η αδυναμία οφείλονταν σε ανεπαρκείς οδηγίες από το φύλλο εργασίας ή σε δυσκολία των μαθητών να χειριστούν τα στοιχεία της διεπαφής ΕΠ ώστε να προβούν στις ζητούμενες ενέργειες. Επιπλέον, ως προς τη χρηστικότητα της διεπαφής ΕΠ, η καταγραφή των παρατηρήσεων ανέδειξε το ζήτημα του μεγέθους των κουμπιών και των γραμμάτων στα μενού. Καθώς σε κάποιες συσκευές, με μικρότερο μέγεθος οθόνης, τα γράμματα στα μενού ήταν πολύ μικρά, φάνηκε η ανάγκη για χρήση κλίμακας προσαρμοζόμενης στις διαστάσεις οθόνης κάθε συσκευής κατά τον προγραμματισμό των εφαρμογών ΕΠ.

Με βάση την παρατήρηση των μαθητών κατά τη διάρκεια χρήσης της διεπαφής ΕΠ αλλά και από την μελέτη των φύλλων εργασίας που ακολούθησαν οι μαθητές, προέκυψε επίσης ότι αυτοί αντιμετώπισαν ελάχιστες ή καθόλου δυσκολίες στο να αντιληφθούν την οπτική αναπαράσταση των δυνάμεων με επανυξημένα βέλη μεταβλητού μεγέθους πάνω στα επανυξημένα ηλεκτρικά φορτία. Οι κινητές συσκευές ως μέσο μάθησης επέτρεψαν την ελεύθερη κίνηση των μαθητών στο χώρο, οι οποίοι μετακινούνταν γύρω από τα χαρτάκια-στόχους προκειμένου να επιτύχουν τη βέλτιστη

απεικόνιση του επαυξημένου χώρου. Αυτή η ελευθερία κινήσεων φάνηκε να τους καθιστά αφενός πιο θετικούς απέναντι στη μαθησιακή διαδικασία αφετέρου πιο ενεργητικούς και εφευρετικούς σε σχέση με τις δραστηριότητες στις οποίες εμπλέκονταν. Έτσι, στην εικόνα 9.4 μια μαθήτρια ανεβαίνει πάνω στο θρανίο της προκειμένου να διευρύνει τον επαυξημένο χώρο που απεικονίζεται στην οθόνη του κινητού της ώστε να έχει μεγαλύτερο πεδίο κίνησης των ηλεκτρικών φορτίων.



Εικόνα 9.4: Η μαθήτρια ανεβαίνει πάνω στην καρέκλα της προκειμένου να διευρύνει τον επαυξημένο χώρο.

Επιπλέον, με βάση τις απαντήσεις των μαθητών στα φύλλα εργασίας, διαπιστώθηκε ότι το γεγονός αυτό διευκόλυνε την κατανόηση της ποιοτικής σχέσης του μεγέθους των ηλεκτρικών δυνάμεων από το είδος, το μέγεθος και την απόσταση μεταξύ των ηλεκτρικών φορτίων. Ωστόσο, η ποσοτική σχέση των παραπάνω μεγεθών με βάση τα αριθμητικά δεδομένα στην οθόνη της διεπαφής φάνηκε να είναι λιγότερο ξεκάθαρη. Παρόλο που οι μαθητές φαίνονταν να αντιλαμβάνονται την ποιοτική εξάρτηση των δυνάμεων από το μέγεθος των ηλεκτρικών φορτίων με βάση την παρατήρηση των δυνάμεων ως βελών μεταβλητού μεγέθους, εντούτοις εμφάνισαν δυσκολίες στην αξιοποίηση των αντίστοιχων αριθμητικών δεδομένων πάνω στην οθόνη για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Η διαπίστωση αυτή προέκυψε κυρίως από την συζήτηση με τους μαθητές κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος αλλά και με βάση την συμπλήρωση των αντίστοιχων βημάτων στα φύλλα εργασίας.

Η παρατήρηση των μαθητών κατά τη διάρκεια του πειραματισμού στο περιβάλλον ΕΠ έδειξε ότι αυτοί τείνουν γενικά να δίνουν μεγαλύτερη προσοχή στη χρονική εξέλιξη των επαυξημένων στοιχείων υπό μορφή γραφικών παρά στις αριθμητικά δεδομένα που εμφανίζονται στην οθόνη της συσκευής.

Τέλος, παρατηρήθηκε ότι κάποιες φορές οι πιο δυνατοί μαθητές αναλάμβαναν δράση ενώ ο πιο αδύναμος μαθητής της ομάδας περιοριζόταν στο ρόλο αυτού που κρατούσε τη συσκευή.

9.5 Συμπεράσματα

Η παραπάνω ανάλυση των αποτελεσμάτων επικύρωσε, εν γένει, τις σχεδιαστικές επιλογές που υιοθετήθηκαν κατά τη φάση σχεδιασμού της δραστηριότητας ΕΠ. Ταυτόχρονα, αναδείχθηκαν κάποια θέματα τα οποία υπέδειξαν την ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση. Υπό αυτό το πρίσμα, κατά το σχεδιασμό και την υλοποίηση της Β' ερευνητικής φάσης έμφαση δόθηκε έμφαση στα παρακάτω σημεία:

Αναφορικά με το σχεδιασμό των περιβαλλόντων ΕΠ:

1. Ανάγκη για προσαρμογή των κουμπιών και των γραμμάτων των μενού στις διαστάσεις οθόνης κάθε συσκευής κατά τον προγραμματισμό των εφαρμογών ΕΠ.
2. Προσοχή στον τρόπο ενσωμάτωσης των αριθμητικών δεδομένων στη διεπαφή της μαθησιακής εφαρμογής ΕΠ ώστε αυτά να μην παραβλέπονται προς χάριν των γραφικών στοιχείων.

Αναφορικά με την οργάνωση της μαθησιακής εμπειρίας με αξιοποίηση των περιβαλλόντων ΕΠ:

1. Περαιτέρω ενίσχυση της εμπιστοσύνης των μαθητών στη μαθησιακή διαδικασία μέσω της ενσωμάτωσης περισσότερων μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ στη διδασκαλία της σχολικής Φυσικής.
2. Ανάδειξη των δυσκολιών, όπου αυτές υπάρχουν, κατά την εισαγωγή και τη μεταβολή παραμέτρων στη διεπαφή ΕΠ από τους μαθητές και εντοπισμός των αιτιών των δυσκολιών αυτών.
3. Κατάλληλος εμπλουτισμός του ερωτηματολογίου «δυσκολίας/ευχαρίστησης» ώστε να μπορεί αυτό να αναδείξει τις αιτίες της παραπάνω δυσκολίας.

4. Περαιτέρω δραστηριοποίηση και ενεργότερη εμπλοκή των πιο αδύναμων μαθητών.
5. Καταγραφή των ιδιαιτεροτήτων και των δυσκολιών κατά την ενσωμάτωση των περιβαλλόντων ΕΠ στο περιβάλλον της σχολικής τάξης.

Συνολικά, τα αποτελέσματα της παρέμβασης ήταν πολύ ενθαρρυντικά, κάτι το οποίο φαίνεται να ενισχύει το επιχείρημα ότι η Επαυξημένη Πραγματικότητα και η κινητή τεχνολογία μπορούν να αξιοποιηθούν για εκπαιδευτικούς σκοπούς στα αναλυτικά προγράμματα Φυσικής, προκειμένου τα τελευταία να συγχρονιστούν με τα σημερινά ενδιαφέροντα των μαθητών και τους σύγχρονους τρόπους μάθησης και επικοινωνίας. Αυτός ο τύπος εμπειριών μάθησης ΕΠ, που δεν απαιτεί ειδικό εξοπλισμό ή φυσική μεταφορά των μαθητών σε άλλο χώρο, αναδεικνύεται, με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, ως κατάλληλος για να ενσωματωθεί στο πρόγραμμα σπουδών της Φυσικής στο πλαίσιο της σχολικής εκπαίδευσης.

Μέρος Δ':

Β' φάση της πειραματικής έρευνας

Κεφάλαιο 10

Σχεδιασμός και Ανάπτυξη Μαθησιακού Περιβάλλοντος ΕΠ για την Κίνηση και τη Δύναμη

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται η διαδικασία σχεδιασμού των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ για την διδασκαλία θεμελιωδών εννοιών της Φυσικής από το πεδίο της Μηχανικής. Τα περιβάλλοντα ΕΠ αναπτύχθηκαν κατά τη Β' φάση της πειραματικής έρευνας, σε συμφωνία με τις των σχεδιαστικές αρχές που διαμορφώθηκαν και με βάση το μοντέλο Ισορροπημένου Σχεδιασμού (Balanced Design Model) το οποίο αποτέλεσε το μεθοδολογικό πλαίσιο σχεδιασμού των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ, όπως συζητήθηκε στο κεφάλαιο 6. Κατά το σχεδιασμό τους έγινε προσπάθεια να αξιοποιηθούν τα ερευνητικά αποτελέσματα της Α' φάσης της πειραματικής έρευνας.

10.1 Τα περιβάλλοντα μάθησης ΕΠ για την κίνηση και τη δύναμη

Οι μαθησιακές εμπειρίες ΕΠ που σχεδιάστηκαν ως κύρια περιβάλλοντα μάθησης της παρούσας εργασίας στοχεύουν στην κατανόηση θεμελιωδών εννοιών από το πεδίο της Κλασικής Μηχανικής. Σύμφωνα και με όσα συζητήθηκαν στο κεφάλαιο 5, η κατανόηση των παραπάνω εννοιών κατέχει κεντρικό ρόλο στην γνωστική πρόοδο των μαθητών. Κάτω από αυτό το πρίσμα, για την ανάπτυξη των περιγραφόμενων δραστηριοτήτων, επιλέχθηκαν ως μαθησιακά αντικείμενα οι ενότητες της Κίνησης και της Δύναμης όπως αυτές εισάγονται στους μαθητές της Β' τάξης Γυμνασίου, με βάση το επίσημο Αναλυτικό Πρόγραμμα. Επιπλέον, οι μαθητές της Β' τάξης του Γυμνασίου προσφέρονται ως ερευνητικό δείγμα από την άποψη ότι έχουν την απαιτούμενη ωριμότητα και εξοικείωση που απαιτείται για την οργάνωση και το συντονισμό της έρευνας σε σχέση με τους μικρότερους μαθητές της Α' τάξης του Γυμνασίου.

Συνολικά, αναπτύχθηκαν τέσσερα περιβάλλοντα ΕΠ. Το πρώτο στοχεύει στην έννοια της Θέσης, το δεύτερο στην έννοια της Μετατόπισης, το τρίτο έχει ως αντικείμενο τη στιγμιαία Ταχύτητα και την έννοια της τροχιάς και το τέταρτο αφορά στην έννοια της Δύναμης. Ο τέσσερις αυτές δραστηριότητες ΕΠ στοχεύουν σε θεμελιώδεις έννοιες της Κλασικής Μηχανικής, όπως αυτές εισάγονται στους μαθητές της Β' τάξης του Γυμνασίου με βάση το ισχύον Ελληνικό Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών.

Αν και η είσοδος του μαθητή και στις τέσσερις δραστηριότητες ΕΠ γίνεται μέσα από μια κοινή διεπαφή χρήστη (εικόνα 10.1), στην πράξη οι τρεις πρώτες σχετίζονται με την

Κίνηση, και ως εκ τούτου αντιμετωπίζονται ως ενιαία ενότητα, ενώ η τέταρτη δραστηριότητα που σχετίζεται με τη Δύναμη αποτέλεσε μια αυτόνομη διδακτική ενότητα.

Η αντιμετώπιση των πρότερων ιδεών των μαθητών σε σχέση με την Κίνηση και τη Δύναμη όπως αυτές αναδείχθηκαν στο κεφάλαιο 4 της παρούσας εργασίας έπαιξε ρόλο καθοριστικό, τόσο κατά το σχεδιασμό του μαθησιακού περιβάλλοντος ΕΠ όσο και της διδακτικής παρέμβασης που πραγματοποιήθηκε ώστε να δοκιμαστούν οι δραστηριότητες ΕΠ στους μαθητές μέσα στην τάξη. Η διερεύνηση των πρότερων ιδεών των μαθητών σε σχέση με την Κίνηση και τη Δύναμη, όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 5 αυτής της εργασίας, φανερώνει ότι οι μαθητές πολύ συχνά δεν κατανοούν τα διανυσματικά χαρακτηριστικά των φυσικών μεγεθών που σχετίζονται με τις παραπάνω έννοιες και τείνουν να αγνοούν την κατεύθυνση τους, όπως για παράδειγμα είδαμε ότι συμβαίνει στην περίπτωση της Ταχύτητας. Ως εκ τούτου, κατά την ανάπτυξη όλων των δραστηριοτήτων ΕΠ δόθηκε έμφαση στην οπτικοποίηση των περιγραφόμενων φυσικών μεγεθών με τρισδιάστατα διανύσματα-βέλη. Τα βέλη-διανύσματα επαυξάνουν το φυσικό αντικείμενο-στόχο που χειρίζονται οι μαθητές και ενσωματώνονται στον πραγματικό 3Δ χώρο, ακολουθούν το φυσικό αντικείμενο κατά την κίνησή του και μεταβάλλονται ανάλογα (εικόνα 10.2). Βασικός σκοπός αυτής της προσέγγισης είναι οι μαθητές, ολοκληρώνοντας τις δραστηριότητες ΕΠ, να έχουν συγχρόνως κατανοήσει τον διανυσματικό χαρακτήρα ενός φυσικού μεγέθους καθώς και το τί εκφράζει ή συνεπάγεται η μεταβολή αυτού του διανύσματος.

Μια ακόμη σημαντική παράμετρος, όπως αυτή προέκυψε με βάση τη βιβλιογραφική έρευνα του κεφαλαίου 5, κατά το σχεδιασμό των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ ήταν τα σύμβολα τα οποία χρησιμοποιούμε για να «ονομάζουμε» τα φυσικά μεγέθη, τα οποία σύμβολα αποτελούν κατά μία έννοια το λεξιλόγιο της Φυσικής. Καθώς οι μαθητές συχνά μπερδεύουν τα σύμβολα που αντιστοιχούν στα διάφορα φυσικά μεγέθη χρησιμοποιήθηκαν όπου κρίθηκε εφικτό «ταμπελάκια» με τα σύμβολα πάνω από τα βέλη-διανύσματα ώστε οι μαθητές, καθώς πειραματίζονται, να κάνουν και τη νοητική σύνδεση μεταξύ συμβόλου-φυσικού μεγέθους. Αυτό ενίσχυσε περαιτέρω και τη σχεδιαστική επιλογή να υπάρχει το ελάχιστο δυνατό κείμενο επί της οθόνης, ώστε οι μαθητές να είναι σε θέση να εστιάζουν την προσοχή τους στα σημεία-κλειδιά για την κατάκτηση των στόχων.



Εικόνα 10.1: Το κοινό μενού εισόδου στις τέσσερις δραστηριότητες ΕΠ για την κίνηση και τη δύναμη.



Εικόνα 10.2: Το βέλος της ταχύτητας επαυξάνει το φυσικό αντικείμενο και ακολουθώντας το στην κίνησή του μεταβάλλει ανάλογα το μήκος του και την κατεύθυνσή του.

10.2 Σχεδιασμός του περιβάλλοντος ΕΠ για την κατανόηση εννοιών της Κίνησης

Το περιγραφόμενο περιβάλλον ΕΠ σχεδιάστηκε με στόχο να εμπλέξει τους μαθητές της Β' τάξης του Γυμνασίου στην μαθησιακή διαδικασία για την κατανόηση των διανυσματικών μεγεθών της θέσης, της μετατόπισης της ταχύτητας καθώς και της έννοιας της τροχιάς.

10.2.1 Υλοποίηση του Μοντέλου Περιεχομένου

Αναφορικά με το Μοντέλο Περιεχομένου, οι μαθησιακοί στόχοι του περιβάλλοντος ΕΠ καθορίστηκαν με βάση το αναλυτικό πρόγραμμα για τη διδασκαλία της ενότητας

«Κινήσεις» στο μάθημα της Φυσικής της Β' τάξης γυμνασίου όπως φαίνεται στον Πίνακα 10.1:

Πίνακας 10.1: Οι μαθησιακοί στόχοι του περιβάλλοντος ΕΠ για την κατανόηση εννοιών της κίνησης και οι δραστηριότητες που τις υλοποιούν.

ΜΑΘΗΣΙΑΚΟΣ ΣΤΟΧΟΣ	Δραστηριότητα ΕΠ
1. Να προσδιορίζουν τα διανυσματικά χαρακτηριστικά της Θέσης	1η δραστηριότητα ΕΠ, «ΘΕΣΗ»
2. Να προσδιορίζουν τη θέση ενός αντικειμένου σε σχέση με ένα σημείο αναφοράς	
3. Να προσδιορίζουν τα διανυσματικά χαρακτηριστικά της Μετατόπισης	2η δραστηριότητα ΕΠ, «ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ»
4. Να υπολογίζουν τη μετατόπιση κινητού που κινείται	
5. Να σχεδιάζουν την τροχιά ενός κινητού	3η δραστηριότητα ΕΠ, «ΤΑΧΥΤΗΤΑ-ΤΡΟΧΙΑ»
6. Να προσδιορίζουν τα διανυσματικά χαρακτηριστικά της ταχύτητας	
7. Να ορίζουν ποιοτικά την έννοια της ταχύτητας	
8. Να κατανοήσουν πότε μια κίνηση είναι Ευθύγραμμη και Ομαλή	

Δεδομένων και των αποτελεσμάτων της πιλοτικής δραστηριότητας ΕΠ για την ηλεκτρική δύναμη, με βάση τα οποία η ενσωμάτωση αριθμητικών δεδομένων φάνηκε να αποτελεί στοιχείο σύγχυσης για τους μαθητές, έγινε προσπάθεια να περιοριστούν κατά το δυνατό τα αριθμητικά δεδομένα επί της οθόνης όπου ήταν εφικτό και να δοθεί έμφαση στα διανυσματικά χαρακτηριστικά των μεγεθών.

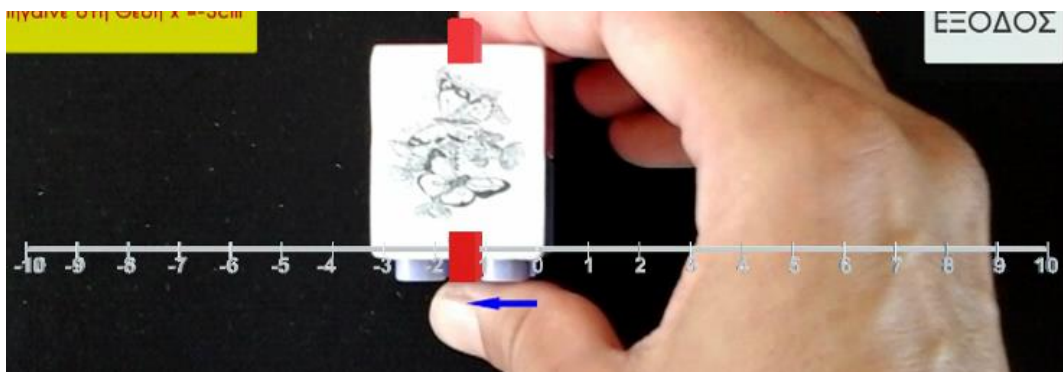
10.2.2 Υλοποίηση του Μοντέλου Τεκμηρίων Γνώσης

Για να επιτευχθεί η καθοδηγούμενη διερεύνηση κατά τη διάρκεια της AR εμπειρίας, συντάχθηκαν φύλλα εργασίας (παράρτημα V). Τα φύλλα εργασίας σχεδιάστηκαν ώστε να δίνουν πληροφορίες για τα στοιχεία της διεπαφής ΕΠ και να βοηθούν τους μαθητές να χειριστούν το περιβάλλον ΕΠ, δεδομένου ότι δεν συμπεριλαμβάνονται οδηγίες στη διεπαφή χρήστη. Επιπλέον και αναφορικά με τους διδακτικούς στόχους που τέθηκαν

στο Μοντέλο Περιεχομένου τα βήματα που προτείνονται στα φύλλα εργασίας καθοδηγούν τους μαθητές στην εξερεύνηση και την κατάκτηση των τιθέμενων μαθησιακών στόχων. Σύμφωνα με τα παραπάνω, τα βήματα στο φύλλο εργασίας οργανώνονται σε τρεις υποομάδες με τίτλο: Θέση, Μετατόπιση, Ταχύτητα-Τροχιά.

1η δραστηριότητα ΕΠ, «ΘΕΣΗ»

Υλοποιεί τους δύο πρώτους μαθησιακούς στόχους ,δηλαδή να εξοικειωθούν οι μαθητές με τα διανυσματικά χαρακτηριστικά της Θέσης και να μπορέσουν να προσδιορίζουν τη θέση ενός αντικειμένου σε σχέση με ένα σημείο αναφοράς. Οι μαθητές καθοδηγούνται από το φύλλο εργασίας για να πειραματιστούν μετακινώντας τον κύβο τους πάνω σε μία ευθεία αναφοράς η οποία αποτελεί επαυξημένο ψηφιακό στοιχείο του περιβάλλοντος ΕΠ (εικόνα 10.3). Οι μαθητές καλούνται να τοποθετήσουν το κυβάκι τους σε συγκεκριμένη κάθε φορά ζητούμενη από τη διεπαφή θέση πάνω στην ευθεία αναφοράς. Κατ' αυτό τον τρόπο έχουν την ευκαιρία να παρατηρήσουν τα χαρακτηριστικά του διανύσματος της θέσης, το οποίο αισθητοποιείται ως βέλος με αρχή το σημείο αναφοράς και τέλος τη θέση του κύβου, καθώς αυτός μετακινείται πάνω στην ευθεία αναφοράς. Οι μαθητές καλούνται να πετύχουν τουλάχιστον δέκα σωστές τοποθετήσεις του κύβου τους στις ζητούμενες θέσεις.



Εικόνα 10.3: Οι μαθητές μετακινούν τον κύβο τους πάνω σε μια ψηφιακή ευθεία αναφοράς που αποτελεί στοιχείο επαύξησης του πραγματικού κόσμου..

Κατ' αυτό τον τρόπο μέσα από την επανάληψη της δραστηριότητας οδηγούνται στην κατανόηση της θετικής και αρνητικής κατεύθυνσης του διανύσματος της Θέσης ανάλογα με τη θέση του κύβου πάνω στην ευθεία αναφοράς και σε σχέση με το σημείο αναφοράς. Αυτό εξασφαλίζει σε ένα βαθμό την κατάκτηση των στόχων αφετέρου αποτελεί στοιχείο παιγνιοποίησης κατά το σχεδιασμό της δραστηριότητας. Προκειμένου να ελεγχθεί περαιτέρω η κατάκτηση του δεύτερου στόχου, οι μαθητές καλούνται τελικά

να σχεδιάσουν το διάνυσμα της Θέσης για σώμα που βρίσκεται σε συγκεκριμένες θέση πάνω στην ευθεία αναφοράς.

2^η δραστηριότητα ΕΠ, «ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ»

Αφότου οι μαθητές κατανοήσουν την έννοια της θέσης και τα διανυσματικά της χαρακτηριστικά, καλούνται να προχωρήσουν στην επόμενη δραστηριότητα ΕΠ, ώστε να διερευνήσουν την έννοια της μετατόπισης. Το αντίστοιχο φύλλο εργασίας σχεδιάστηκε για να υλοποιεί το 3^ο και τον 4^ο στόχο του μοντέλου περιεχομένου, δηλαδή τον προσδιορισμό των διανυσματικών χαρακτηριστικών του μεγέθους της Μετατόπισης και τον υπολογισμό της Μετατόπισης ενός κινητού. Οι μαθητές καθοδηγούνται σε μια σειρά ενεργειών ώστε, μετακινώντας κατάλληλα το κυβάκι τους επί της ευθείας αναφοράς, όπως και στην προηγούμενη δραστηριότητα ΕΠ, να μπορέσουν να προβλέψουν την ζητούμενη τελική θέση του κύβου τους πάνω στην ευθεία, όταν γνωρίζουν την αρχική θέση του κύβου επί της ευθείας και τη ζητούμενη μετατόπιση. Επιπλέον, με κάθε σωστή πρόβλεψη οι μαθητές είναι σε θέση να «δουν» και τα διανυσματικά χαρακτηριστικά της Μετατόπισης όπως αυτά αισθητοποιούνται και πάλι ως βέλη του επαυξημένου πραγματικού χώρου. Οι μαθητές καλούνται και στο στάδιο αυτό από το φύλλο εργασίας, να πετύχουν τουλάχιστον δέκα σωστές τοποθετήσεις του κύβου τους στις ζητούμενες τελικές θέσεις, για τους λόγους που εξηγήθηκαν παραπάνω. Για να υπάρξει ανατροφοδότηση αναφορικά με την κατάκτηση της σχετικής γνώσης, οι μαθητές παροτρύνονται στο τέλος της δραστηριότητας να σχεδιάσουν την μετατόπιση ως διάνυσμα και να υποδείξουν την τελική θέση πάνω σε ευθεία αναφοράς με δεδομένη την αρχική θέση και η μετατόπιση του αντικειμένου.

3^η δραστηριότητα ΕΠ, «ΤΑΧΥΤΗΤΑ-ΤΡΟΧΙΑ»

Το παρόν φύλλο εργασίας σχεδιάστηκε για την υλοποίηση των στόχων 5-8, όπως αυτοί περιγράφονται στον Πίνακα 10.1. Βασική σκέψη αποτέλεσε η αντιμετώπιση των πρότερων αντιλήψεων των μαθητών για την έννοια της ταχύτητας και το πώς αυτή μεταβάλλεται ως διάνυσμα κατά την κίνηση ενός κινητού, όπως αυτές αναδείχθηκαν στο Κεφάλαιο 5 της παρούσας εργασίας. Συγκεκριμένα, η περιγραφόμενη δραστηριότητα ΕΠ επιχειρεί να αντιμετωπίσει τις ακόλουθες πρότερες ιδέες :

- i. Η ταχύτητα σχετίζεται με την κατεύθυνση κίνησης ενός κινητού.
- ii. Η ταχύτητα ταυτίζεται μόνο με την γρήγορη κίνηση.
- iii. Δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ μικρής και μεγάλης ταχύτητας (απόρροια του ii).

iv. Δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ σταθερής και μεταβλητής ταχύτητας.

Όπως θα συζητηθεί λεπτομερέστερα κατά την περιγραφή του μοντέλου δραστηριοτήτων, η δραστηριότητα αυτή υλοποιεί την οπτικοποίηση της τροχιάς ενός κινητού υπό τύπο χρωματιστής γραμμής που αφήνει πίσω του το κινητό ως το σύνολο των σημείων από τα οποία έχει διέλθει. Επιπλέον, οπτικοποιείται και η ταχύτητα του κινητού, ως διάνυσμα – βέλος το οποίο εμφανίζεται πάνω από το κινητό και το συνοδεύει κατά την κίνησή του. Το διάνυσμα-βέλος μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά του (μήκος βέλους και κατεύθυνση βέλους), ανάλογα με την κατεύθυνση κίνησης αλλά και με το πόσο γρήγορα κινεί ο μαθητής το σώμα. Μέσω αυτών των δυνατοτήτων αντιμετωπίζονται οι παραπάνω ιδέες. Αφενός, οι μαθητές έρχονται αντιμέτωποι με την κατεύθυνση της ταχύτητας και βλέπουν πώς αυτή μεταβάλλεται καθώς κινούν οι ίδιοι το φυσικό αντικείμενο που κρατούν, με όποιο τρόπο θέλουν. Επιπλέον, η δραστηριότητα αυτή τα βοηθά να αντιληφθούν ότι η ταχύτητα μεταβάλλει το μέτρο της ανάλογα με το πόσο γρήγορα ή αργά οι μαθητές κινούν τον κύβο καθώς αυτά παρατηρούν το μήκος του βέλους να αλλάζει. Επιπλέον, οι μαθητές διαπιστώνουν έμμεσα ότι η απουσία ταχύτητας ισοδυναμεί πάντοτε με απουσία κίνησης. Μέσω των παραπάνω ενεργειών, υλοποιούνται οι διδακτικοί στόχοι 5-7. Για να ελεγχθεί η κατάκτηση των στόχων οι μαθητές καλούνται να κινήσουν αργά και στη συνέχεια πιο γρήγορα το κυβάκι τους, αρχικά σε ευθεία γραμμή και έπειτα σε κύκλο και να απαντήσουν γραπτά, για κάθε περίπτωση, αν αλλάζει κάτι και τί στο βέλος της ταχύτητας και καλούνται να επιχειρήσουν ένα γενικό συμπέρασμα με βάση τις παρατηρήσεις τους. Τέλος, το φύλλο εργασίας παροτρύνει τους μαθητές να κινήσουν το κυβάκι τους σε ευθεία γραμμή διατηρώντας όσο μπορούν σταθερό το μήκος του βέλους που αναπαριστά την ταχύτητα, ώστε να αντιληφθούν βιωματικά τί σημαίνει ευθύγραμμη ομαλή κίνηση καθώς και ότι, κατά την κίνηση αυτή, τα διανυσματικά χαρακτηριστικά της ταχύτητας δεν μεταβάλλονται, κατακτώντας έτσι και τον τελευταίο στόχο της δραστηριότητας.

10.2.3 Υλοποίηση του Μοντέλου Δραστηριοτήτων

Για όλες τις δραστηριότητες ΕΠ που υλοποιήθηκαν χρησιμοποιήθηκαν ως φυσικά αντικείμενα-στόχοι μικρά τουβλάκια τύπου lego, τα οποία φέρουν κολλημένο εκτυπωμένο γραφικό ασπρόμαυρο εικονίδιο (Image Target, IT) (εικόνα 10.4). Η αναγνώριση του γραφικού στοιχείου πάνω στο αντικείμενο από την κάμερα της φορητής συσκευής καθώς αυτή «στοχεύει» το φυσικό αντικείμενο επιτρέπει τον εμπλουτισμό των πραγματικών στοιχείων του περιβάλλοντος με τα κατάλληλα επαυξημένα ψηφιακά

δεδομένα. Το αρχικό σενάριο ήταν να χρησιμοποιηθούν μικρά φυσικά αντικείμενα που είτε τα ίδια τα παιδιά θα έπρεπε να φέρουν στην τάξη είτε θα δίνονταν σε αυτά κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας. Αν και η αναγνώριση φυσικών αντικειμένων που δεν φέρουν αναγνωρίσιμο γραφικό στοιχείο είναι τεχνολογικά εφικτή, ωστόσο όταν υλοποιούνταν η συγκεκριμένη δραστηριότητα ΕΠ, η προσέγγιση αυτή προϋπέθετε μια διαδικασία σκαναρίσματος του αντικειμένου προς επαύξηση η οποία ήταν αρκετά χρονοβόρα και απαιτούσε εμπειρία που οι μαθητές δεν διέθεταν. Επιπλέον, ήταν πιθανό το ίδιο το αντικείμενο να λειτουργούσε ως στοιχείο διάσπασης της προσοχής από τη μαθησιακή διαδικασία. Έτσι για την οικονομία του διδακτικού χρόνου και για τη διευκόλυνση των μαθητών, προτιμήθηκε να έχουν οι μαθητές ίδιου τύπου αντικείμενα προς επαύξηση με αυτοκόλλητες εικόνες-στόχους.



Εικόνα 10.4: Τα κυβάκια τύπου Lego που χρησιμοποιήθηκαν ως φυσικά αντικείμενα- στόχοι των δραστηριοτήτων ΕΠ με κολλημένο ασπρόμαυρο γραφικό εικονίδιο.

Για όλες τις δραστηριότητες ΕΠ ακολουθήθηκαν και πάλι οι βασικές σχεδιαστικές επιλογές που υιοθετήθηκαν κατά το σχεδιασμό της πιλοτικής δραστηριότητας για τις ηλεκτρικές δυνάμεις και τις οποίες φάνηκε να δικαιώσει η εκπαιδευτική έρευνα που ακολούθησε, σύμφωνα με τα όσα περιγράφηκαν στο κεφάλαιο. Επιπλέον, δόθηκε προσοχή στα σημεία που ανέδειξε η παραπάνω έρευνα ως δυσμενή για τους μαθητές. Συγκεκριμένα, ο προγραμματισμός των διεπαφών ΕΠ έγινε κατά τρόπο τέτοιο ώστε το μέγεθος των μενού να προσαρμόζεται στις διαστάσεις οθόνης. Παράλληλα, η ενσωμάτωση των αριθμητικών δεδομένων στη διεπαφή της μαθησιακής εφαρμογής ΕΠ, όπου αυτά ήταν αναγκαία, έγινε κατά τρόπο ώστε αυτά να μην παραβλέπονται προς

χάριν των γραφικών στοιχείων, αφού η αλληλεπίδραση του μαθητή-χρήστη με το περιβάλλον πειραματισμού προϋποθέτει την κατανόηση και αξιοποίηση των αριθμητικών δεδομένων για την ολοκλήρωση των δραστηριοτήτων.

Στη συνέχεια περιγράφονται τα μοντέλα Δραστηριοτήτων, όπως αυτά σχεδιάστηκαν για κάθε μία από τις δραστηριότητες ΕΠ για τη διδασκαλία των κινήσεων.

1^η δραστηριότητα ΕΠ, «ΘΕΣΗ»:

Σύμφωνα με τα παραπάνω στάδια σχεδιασμού, η δραστηριότητα "ΘΕΣΗ" σχεδιάστηκε ώστε να υλοποιεί :

1. την οπτικοποίηση του διανύσματος της Θέσης ως επαυξημένο 3D αντικείμενο που ακολουθεί το κυβάκι κατά την κίνηση του πάνω στην ευθεία αναφοράς, η οποία επίσης αποτελεί επαυξημένο γραφικό στοιχείο του περιβάλλοντος. Η ευθεία αναφοράς είναι βαθμολογημένος άξονας από -10 cm έως +10 cm με κέντρο το μηδέν (0), ως σημείο αναφοράς και αρχή του διανύσματος –βέλους της Θέσης (εικόνα 10.3).
2. την αλληλεπίδραση των μαθητών με τα πραγματικά και εικονικά στοιχεία του περιβάλλοντος προκειμένου να παρατηρηθεί πώς μεταβάλλονται τα χαρακτηριστικά του διανύσματος της θέσης, μέγεθος και κατεύθυνση, κατά την κίνηση του φυσικού αντικειμένου πάνω στην ευθεία αναφοράς.

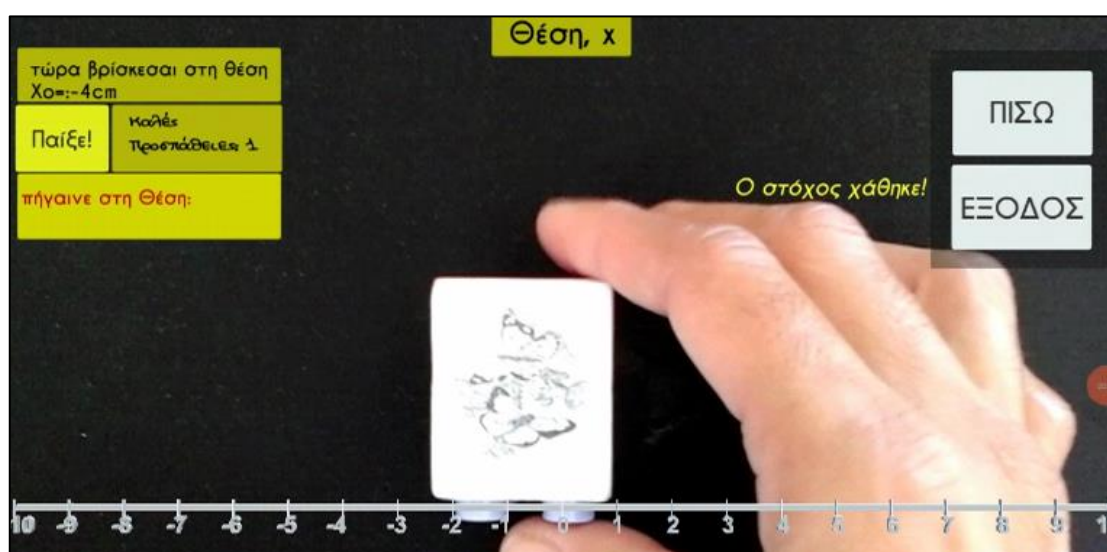


Εικόνα 10.5: Γραφικές ενδείξεις ανίχνευσης του στόχου ΕΠ.

Ο μαθητής επιλέγει από την αρχική διεπαφή το κουμπί «Θέση» και οδηγείται στο περιβάλλον της δραστηριότητας «ΘΕΣΗ». Δεδομένου ότι αρχικά η φορητή συσκευή δεν στοχεύει το κυβάκι, ο «στόχος» δεν είναι ανιχνεύσιμος και έτσι η διεπαφή χρήστη δεν περιλαμβάνει επαυξημένα ψηφιακά δεδομένα. Η ένδειξη «Ο στόχος χάθηκε» εμφανίζεται επί της οθόνης. Μόλις ο μαθητής που χειρίζεται τη συσκευή στοχεύσει το κυβάκι αυτός ειδοποιείται ότι το κυβάκι ανιχνεύτηκε, καθώς εμφανίζεται στην οθόνη η

ένδειξη «Ο στόχος βρέθηκε». Μια κόκκινη γραμμή εμφανίζεται πάνω στον κύβο ως γραφική ένδειξη ότι το κυβάκι-στόχος έχει ανιχνευθεί (εικόνα 10.5).

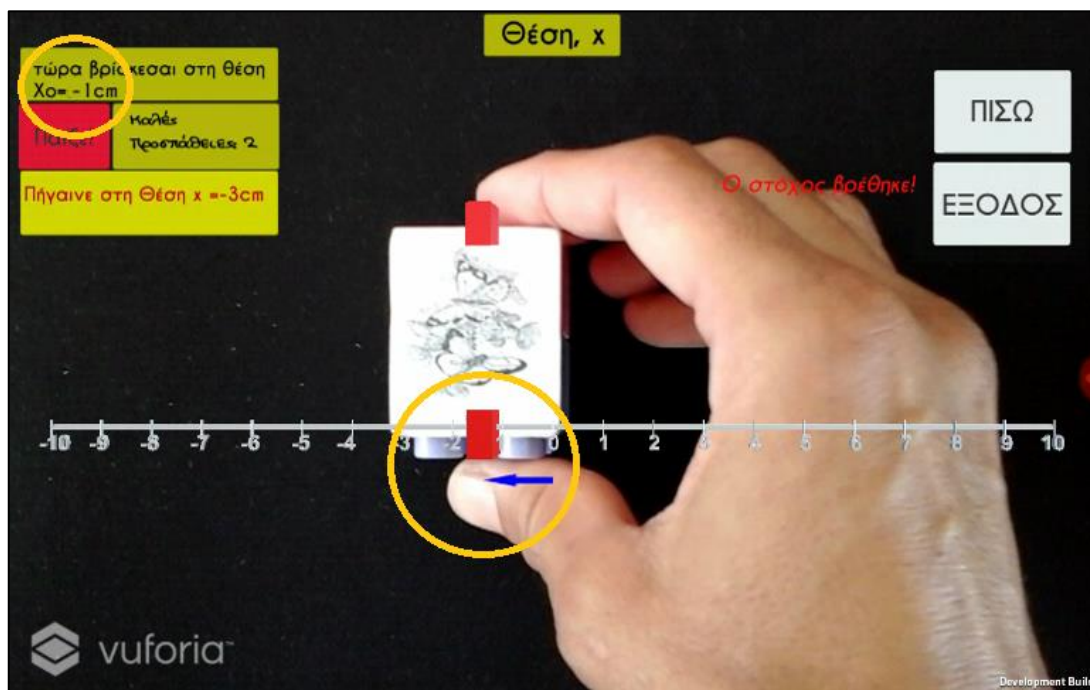
Στην οθόνη, εκτός από τον πραγματικό χώρο που ανιχνεύει η κάμερα, εμφανίζεται ένα βασικό μενού το οποίο ενσωματώνεται σε όλες τις δραστηριότητες ΕΠ. Το μενού αυτό φέρει δύο κουμπιά, το κουμπί «ΠΙΣΩ» που δίνει στον μαθητή τη δυνατότητα να επιστρέψει στο κεντρικό μενού και το κουμπί «ΕΞΟΔΟΣ». Στο αριστερό μέρος της οθόνης εμφανίζεται το μενού που περιλαμβάνει τα ψηφιακά στοιχεία αλληλεπίδρασης (εικόνα 10.6).



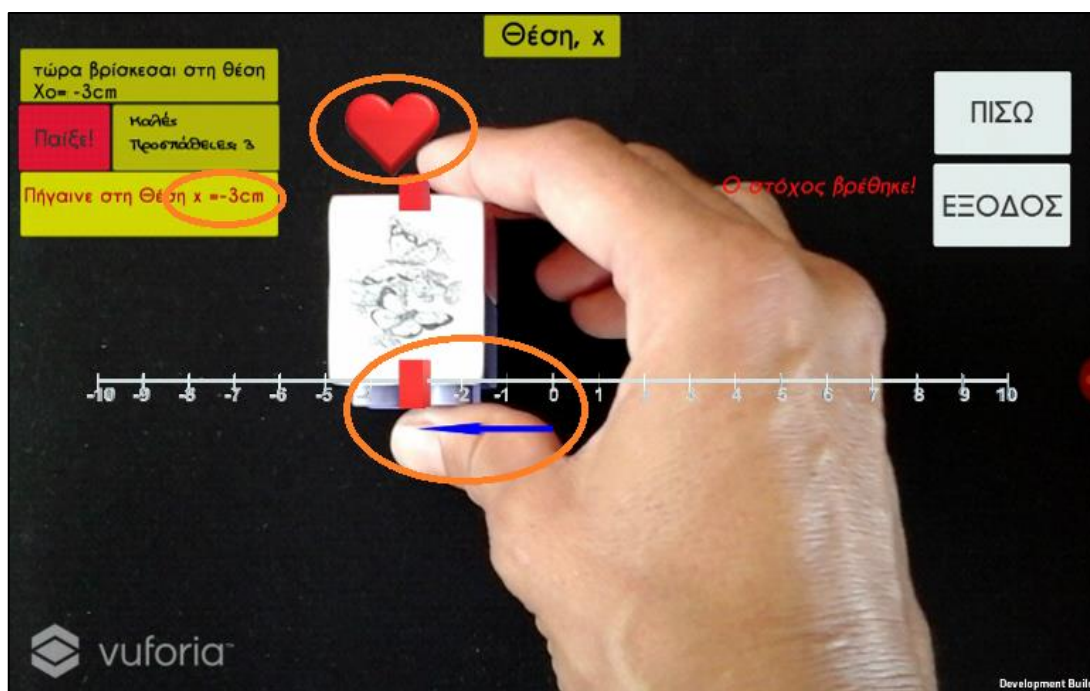
Εικόνα 10.6: Η διεπαφή της δραστηριότητας «ΘΕΣΗ» με τα μενού αλληλεπίδρασης με τα ψηφιακά στοιχεία της εφαρμογής ΕΠ.

Καθώς ο μαθητής μετακινεί το κυβάκι του πάνω στην ευθεία αναφοράς ένα βέλος επαυξάνει το φυσικό χώρο, το οποίο αποτελεί τη γραφική αναπαράσταση του διανύσματος της θέσης. Το βέλος αυτό έχει ως αρχή το σημείο αναφοράς (0) της ευθείας, και τέλος την τρέχουσα θέση του κύβου. Ταυτόχρονα, μια ταμπέλα πληροφορεί τον χρήστη για την τρέχουσα τιμή της θέσης του κύβου. Έτσι, ο μαθητής έχει στη διάθεση του όλα τα στοιχεία του διανυσματικού μεγέθους της θέσης και μπορεί να τα παρατηρεί καθώς πειραματίζεται μετακινώντας ελεύθερα τον κύβο σε διάφορες θέσεις πάνω στην ευθεία αναφοράς (εικόνα 10.7). Η διεπαφή χρήστη έχει ένα στοιχείο αλληλεπίδρασης, το κουμπί «παίξε!». Προκειμένου να τους δοθεί νέα θέση στην οποία θα πρέπει να μεταφέρουν το κυβάκι τους μετακινώντας το πάνω στην ευθεία αναφοράς, οι μαθητές πρέπει να πατήσουν το κουμπί «παίξε!», οπότε στην αντίστοιχη ταμπέλα εμφανίζεται η θέση όπου πρέπει να μετακινηθεί ο κύβος: «πήγαινε στη θέση $x=....cm$ ». Η εφαρμογή κρατάει σε ένα μετρητή τον αριθμό των επιτυχημένων προσπαθειών και

τον εμφανίζει στην οθόνη ως «καλές προσπάθειες». Επιπλέον, μετά από κάθε επιτυχημένη προσπάθεια μια τρισδιάστατη, κόκκινη καρδιά εμφανίζεται πάνω στο κυβάκι ως στοιχείο επιβράβευσης των μαθητών (εικόνα 10.8)



Εικόνα 10.7: Καθώς ο μαθητής μετακινεί το κυβάκι του πάνω στην ευθεία αναφοράς ένα βέλος επαυξάνει το φυσικό χώρο, το οποίο αποτελεί τη γραφική αναπαράσταση του διανύσματος της θέσης.



Εικόνα 10.8: Τα στοιχεία ανατροφοδότησης και επιβράβευσης για κάθε επιτυχημένη προσπάθεια.

Τόσο η επιβράβευση με την επαυξημένη καρδιά, όσο και η καταγραφή του σκορ αποτελούν δομικό στοιχείο παιγνιοποίησης του περιβάλλοντος ΕΠ. Επιπλέον, η επανάληψη της δραστηριότητας για τουλάχιστον δέκα επιτυχημένες προσπάθειες εξυπηρετεί την καλύτερη κατανόηση της θετικής και αρνητικής κατεύθυνσης του διανύσματος της Θέσης από τους μαθητές, ανάλογα με τη θέση προς την οποία μετακινούν τον κύβο πάνω στην ευθεία αναφοράς, σε σχέση με το σημείο αναφοράς.

Παράλληλα, η παρούσα διδακτική προσέγγιση υλοποιεί τόσο το στοιχείο της έκπληξης λόγω της εμφάνισης των επαυξημένων δεδομένων που συνοδεύουν το κυβάκι κατά την κίνησή του, όσο και το στοιχείο της ανάδρασης καθώς ο μαθητής βλέπει την αλλαγή στο διάνυσμα - βέλος της θέσης ως άμεση ανάδραση των ενεργειών του. Ακόμη, υλοποιείται το στοιχείο της πρόκλησης με την ανάθεση της δοκιμασίας των δέκα επιτυχημένων επαναλήψεων αλλά και η δυνατότητα επανάληψης της δραστηριότητας ΕΠ όσες φορές χρειάζεται μέχρι να πετύχει ο μαθητής το επιθυμητό αποτέλεσμα. Και εδώ μέσω της δόμησης του φύλλου εργασίας και της ανοικτής, μη γραμμικής δομής του περιβάλλοντος ΕΠ επιτρέπεται η εξατομίκευση και η αναπροσαρμογή των ζητούμενων δοκιμασιών ανάλογα με το επίπεδο γνώσεων του μαθητή.

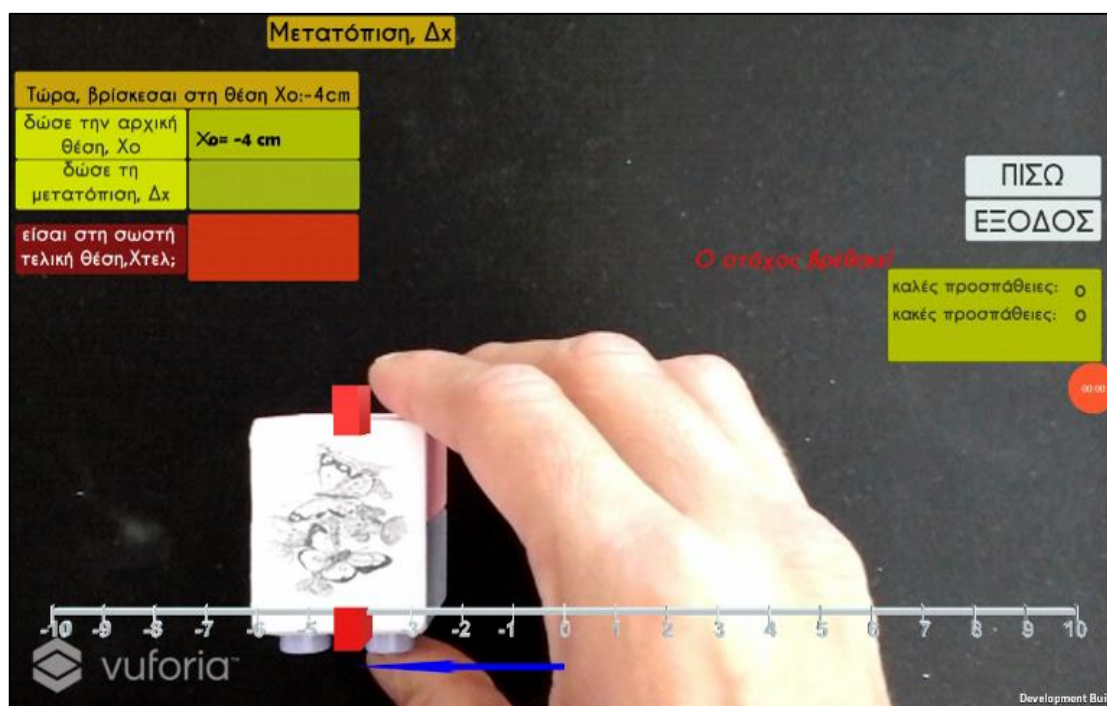
2^η δραστηριότητα ΕΠ, «ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ»

Η δραστηριότητα «ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ» σχεδιάστηκε ώστε να υλοποιεί:

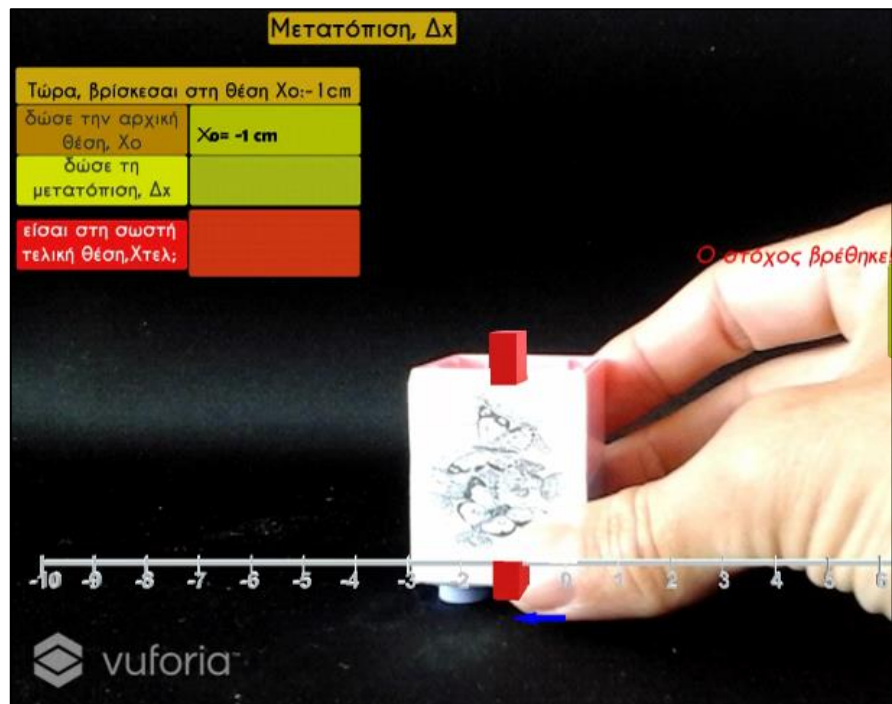
1. την οπτικοποίηση του διανύσματος της μετατόπισης ως επαυξημένο 3Δ διάνυσμα-βέλος πάνω στην ευθεία αναφοράς κατά την κίνηση του φυσικού αντικειμένου (κύβου) μεταξύ δύο διαδοχικών θέσεων πάνω στην ευθεία αναφοράς. Η ευθεία αναφοράς είναι και πάλι βαθμολογημένος άξονας από -10 cm έως +10 cm με κέντρο το μηδέν (0), ως σημείο αναφοράς και αρχή του διανύσματος –βέλους της Θέσης.
2. την αλληλεπίδραση των μαθητών με τα πραγματικά και εικονικά στοιχεία του περιβάλλοντος προκειμένου να πώς μεταβάλλονται τα χαρακτηριστικά του διανύσματος της μετατόπισης, μέγεθος και κατεύθυνση, κατά την κίνηση του φυσικού αντικειμένου πάνω στην ευθεία αναφοράς.
3. τον υπολογισμό της μετατόπισης Δx μεταξύ δύο διαδοχικών θέσεων x_0 και x_1 της ευθείας αναφοράς.

Ο μαθητής επιλέγει από την αρχική διεπαφή το κουμπί «ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ» και οδηγείται στο περιβάλλον της δραστηριότητας «ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ» (εικόνα 10.9). Δεδομένου ότι

αρχικά η φορητή συσκευή δεν στοχεύει το κυβάκι ο «στόχος» δεν είναι ανιχνεύσιμος και έτσι η διεπαφή χρήστη δεν περιλαμβάνει επαυξημένα ψηφιακά δεδομένα. Στην οθόνη εκτός από τον πραγματικό χώρο που ανιχνεύει η κάμερα, εμφανίζεται και πάλι το βασικό μενού που φέρει τα κουμπιά «ΠΙΣΩ» και «ΕΞΟΔΟΣ». Η ένδειξη «Ο στόχος δεν ανιχνεύεται» εμφανίζεται επί της οθόνης. Μόλις ο μαθητής που χειρίζεται τη συσκευή στοχεύσει το κυβάκι αυτός ειδοποιείται ότι το κυβάκι ανιχνεύτηκε, καθώς εμφανίζεται στην οθόνη η ένδειξη «Ο στόχος βρέθηκε». Μια κόκκινη γραμμή εμφανίζεται πάνω στον κύβο ως γραφική ένδειξη ότι το κυβάκι-στόχος έχει ανιχνευθεί. Καθώς ο μαθητής μετακινεί το κυβάκι του πάνω στην ευθεία αναφοράς ένα βέλος επαυξάνει τον κύβο, το οποίο αποτελεί τη γραφική αναπαράσταση του διανύσματος της θέσης. Το βέλος αυτό έχει ως αρχή το σημείο αναφοράς (0) της ευθείας, και τέλος την τρέχουσα θέση του κύβου.

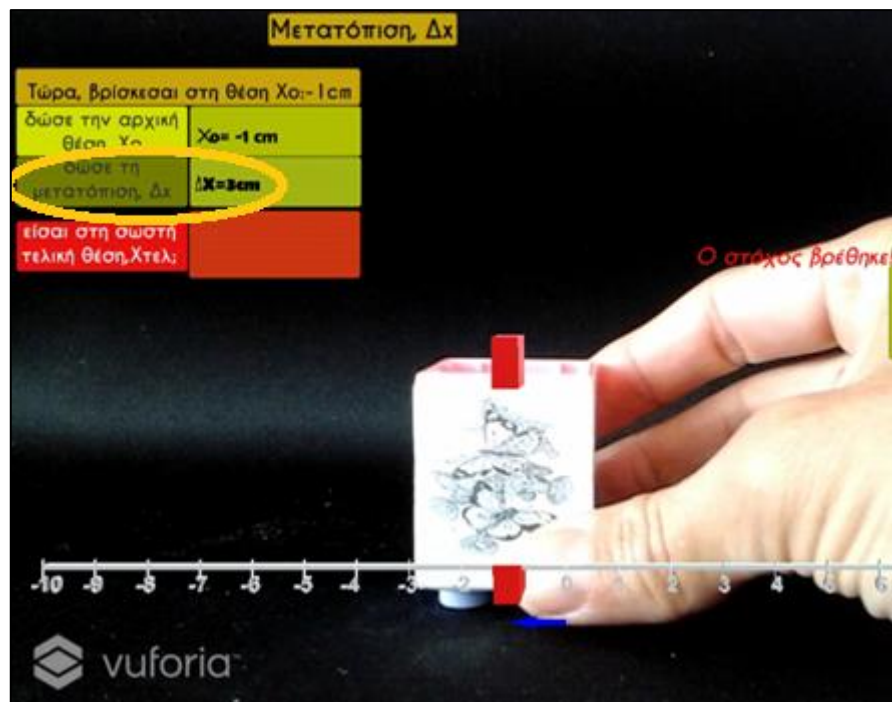


Εικόνα 10.9: Η διεπαφή της δραστηριότητας ΕΠ «ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ» με τα μενού διάδρασης στο αριστερό μέρος της οθόνης .

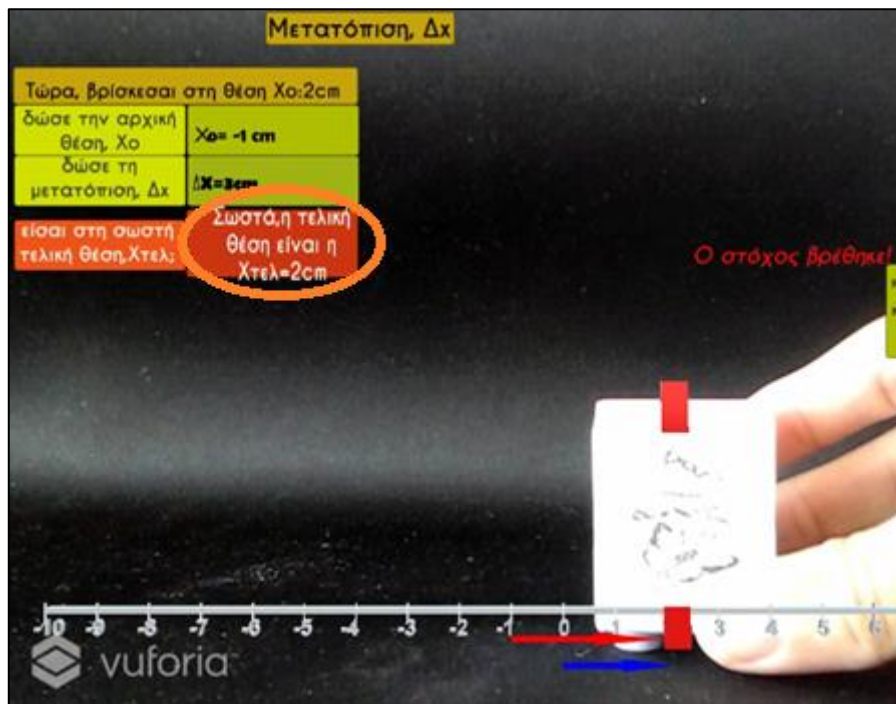


Εικόνα 10.10: Η αλληλεπίδραση του μαθητή με τα στοιχεία του περιβάλλοντος ΕΠ.

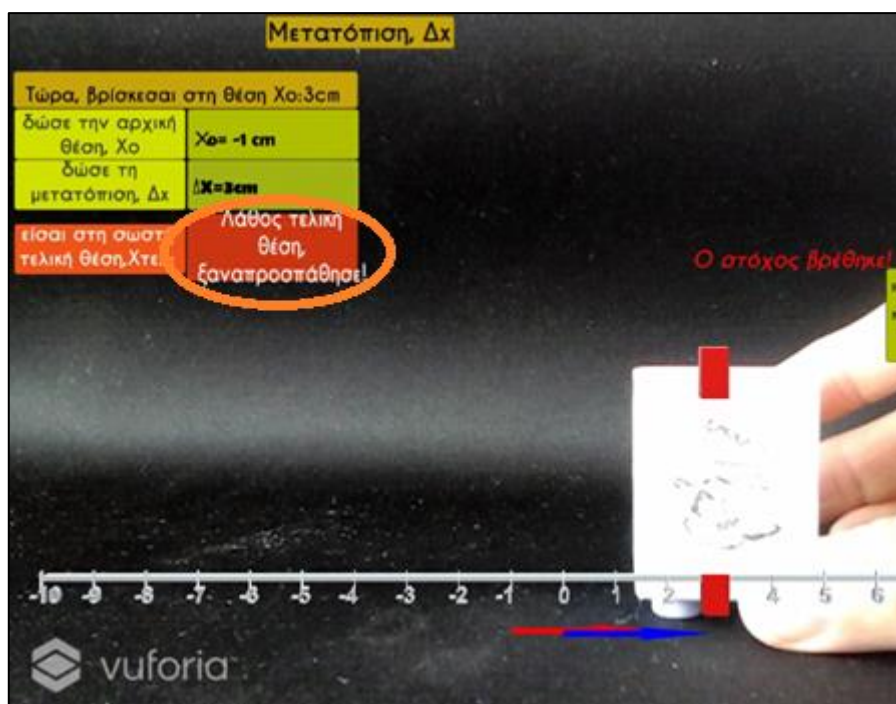
10.10(α): Μόλις πατηθεί το κουμπί «δώσε την αρχική θέση, x_0 » δίνεται η αρχική θέση όπου πρέπει ο μαθητής να οδηγήσει τον κύβο-στόχο.



10.10 (β): Μόλις ο μαθητής οδηγήσει τον κύβο-στόχο στη σωστή αρχική θέση, x_0 ενεργοποιείται το κουμπί «Δώσε τη μετατόπιση, Δx » και όταν ο μαθητής το επιλέξει του δίνεται η επιθυμητή μετατόπιση.



Εικόνα 10.10 (γ): Μόλις ο μαθητής οδηγήσει τον κύβο-στόχο στην σωστή τελική θέση, πατώντας το κουμπί «είσαι στη σωστή τελική θέση, χτελ.», λαμβάνει ανατροφοδότηση.



Εικόνα 10.10 (δ): Στην περίπτωση που ο μαθητής οδηγήσει τον κύβο-στόχο σε λανθασμένη τελική θέση, πατώντας το κουμπί «είσαι στη σωστή τελική θέση, χτελ.», λαμβάνει ανατροφοδότηση για το λάθος του.

Πατώντας το κουμπί «Δώσε Αρχική θέση, x_0 » το περιβάλλον δίνει στο χρήστη μια αρχική θέση πάνω στην ευθεία αναφοράς όπου καλείται ο μαθητής να τοποθετήσει το κυβάκι του (εικόνα 10.10(α)). Μόλις η εφαρμογή ανιχνεύσει τον κύβο στη σωστή θέση,

ενεργοποιείται το κουμπί «Δώσε την μετατόπιση, Δx », οπότε πατώντας το ο χρήστης λαμβάνει την τιμή της μετατόπισης που του υπαγορεύει κάθε φορά η εφαρμογή (εικόνα 10.10(β)). Έτσι, με βάση τη ζητούμενη μετατόπιση, ο μαθητής καλείται να υπολογίσει την τελική θέση x_f του κύβου, σύμφωνα με τη σχέση $x_f = x_o + \Delta x$, δηλαδή : Τελική Θέση = Αρχική Θέση + Μετατόπιση. Αν ο μαθητής καταφέρει να μετακινήσει το κυβάκι του στη σωστή τελική θέση κάνοντας χρήση της παραπάνω μαθηματικής σχέσης τότε το περιβάλλον τον επιβραβεύει λεκτικά επιβεβαιώνοντας ότι η θέση είναι η σωστή (εικόνα 10.10(γ)). Στην περίπτωση λάθους από τον μαθητή εμφανίζεται στην οθόνη το μήνυμα «Προσπάθησε Ξανά!» ειδοποιώντας τον μαθητή για το λάθος του (εικόνα 10.10(δ)). Επιπλέον η εφαρμογή εμφανίζει ως επαυξημένο στοιχείο πάνω στην ευθεία αναφοράς το διάνυσμα-βέλος της μετατόπισης, όπως αυτό σχεδιάζεται από την αρχική προς την τελική θέση κίνησης. Η διεπαφή ΕΠ της δραστηριότητας κρατά και πάλι το σκορ των επιτυχημένων προσπαθειών για τους λόγους που εξηγήθηκαν και κατά την περιγραφή της προηγούμενης δραστηριότητας, «ΘΕΣΗ». Και στην δραστηριότητα αυτή υλοποιήθηκαν τα στοιχεία παιγνιοποίησης που χρησιμοποιήθηκαν κατά το σχεδιασμό της προηγούμενης δραστηριότητας «ΘΕΣΗ».

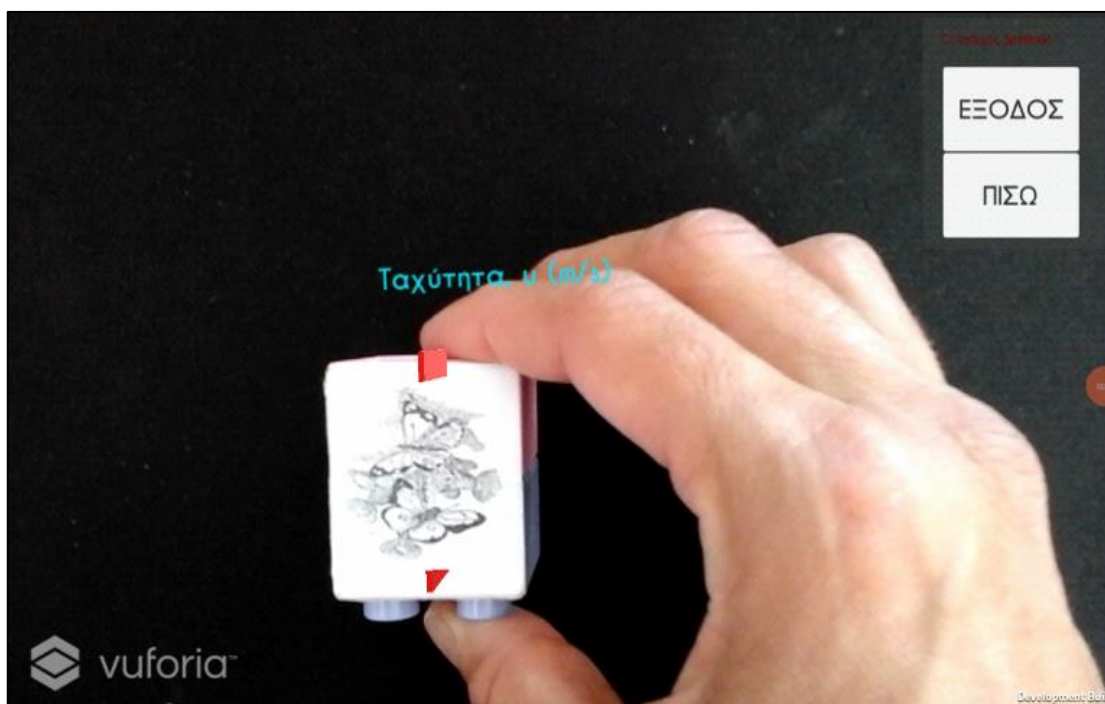
3^η δραστηριότητα ΕΠ, «ΤΑΧΥΤΗΤΑ-ΤΡΟΧΙΑ»

Η δραστηριότητα "ΤΡΟΧΙΑ" σχεδιάστηκε ώστε να υλοποιεί:

1. την οπτικοποίηση της τροχιάς ως επαυξημένο στοιχείο-χρωματιστή γραμμή που ακολουθεί την πραγματική κίνηση του φυσικού αντικείμενου (κύβου) στο χώρο ως το σύνολο των σημείων από τα οποία έχει διέλθει το φυσικό αντικείμενο,
2. την οπτικοποίηση της ταχύτητας ως διάνυσμα-βέλος που ακολουθεί το φυσικό αντικείμενο (κύβο) κατά την κίνηση του και μεταβάλλει τα διανυσματικά του χαρακτηριστικά, μέγεθος και κατεύθυνση, ανάλογα με την πραγματική κίνηση του φυσικού αντικείμενου.

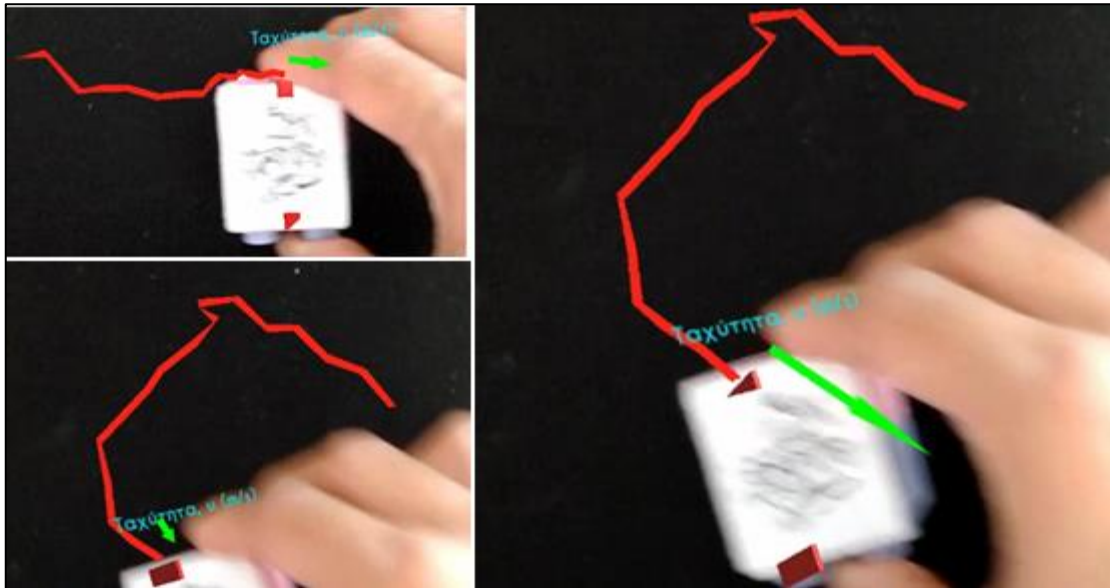
Ο μαθητής επιλέγει από την αρχική διεπαφή το κουμπί «ΤΑΧΥΤΗΤΑ-ΤΡΟΧΙΑ» και οδηγείται στο περιβάλλον της δραστηριότητας «ΤΑΧΥΤΗΤΑ-ΤΡΟΧΙΑ» (εικόνα 10.11). Δεδομένου ότι αρχικά η φορητή συσκευή δεν στοχεύει το κυβάκι, ο «στόχος» δεν είναι ανιχνεύσιμος και έτσι η διεπαφή χρήστη δεν περιλαμβάνει επαυξημένα ψηφιακά δεδομένα. Στην οθόνη, εκτός από τον πραγματικό χώρο που ανιχνεύει η κάμερα, εμφανίζεται και πάλι το βασικό μενού που φέρει τα κουμπιά «ΠΙΣΩ» και «ΕΞΟΔΟΣ». Η ένδειξη «Ο στόχος δεν ανιχνεύεται» εμφανίζεται επί της οθόνης. Μόλις ο μαθητής που χειρίζεται τη συσκευή στοχεύσει το κυβάκι αυτός ειδοποιείται ότι το κυβάκι ανιχνεύτηκε,

καθώς εμφανίζεται στην οθόνη η ένδειξη «Ο στόχος βρέθηκε». Όπως και στις προηγούμενες δραστηριότητες, μια κόκκινη γραμμή εμφανίζεται πάνω στον κύβο ως γραφική ένδειξη ότι το κυβάκι-στόχος έχει ανιχνευθεί.



Εικόνα 10.11: Η διεπαφή της δραστηριότητας ΕΠ «ΤΑΧΥΤΗΤΑ-ΤΡΟΧΙΑ». Σε αυτό το στιγμιότυπο το αντικείμενο-στόχος είναι ακίνητο κ επομένως η ταχύτητά του μηδενική.

Καθώς ο μαθητής μετακινεί το κυβάκι του και διαγράφει μια τροχιά στον πραγματικό χώρο η τροχιά αυτή οπτικοποιείται από μια χρωματιστή γραμμή, η οποία αποτελεί ψηφιακό δεδομένο που επαυξάνει το φυσικό αντικείμενο κατά την κίνησή του (εικόνα 10.12). Η ενέργεια αυτή αποτελεί το βασικό στοιχείο διάδρασης του μαθητή με το περιβάλλον της εφαρμογής καθώς η διεπαφή χρήστη δεν περιλαμβάνει κουμπιά αλληλεπίδρασης πέρα από το βασικό μενού με τα κουμπιά «ΕΞΟΔΟΣ» και «ΠΙΣΩ». Η γραμμή-τροχιά δεν περιλαμβάνει όλα τα σημεία από τα οποία έχει διέλθει το κυβάκι του μαθητή καθώς αυτός το κινεί, αλλά μόνο τα σημεία από τα οποία έχει διέλθει τα τελευταία είκοσι δευτερόλεπτα. Η επιλογή αυτή έγινε ώστε να μην υπερφορτώνεται η διεπαφή με ψηφιακά δεδομένα που μπορεί να προκαλέσουν σύγχυση στον χρήστη.



Εικόνα 10.12: Ο μαθητής κινεί τον κύβο-στόχο ακολουθώντας διάφορες διαδρομές.



Εικόνα 10.13: Ο μαθητής κινεί τον κύβο-στόχο σε ευθεία γραμμή ακολουθώντας μια άσπρη αυτοκόλλητη ταινία.

Επιπλέον, το κυβάκι κατά την κίνηση του επαυξάνεται με το διάνυσμα-βέλος της ταχύτητας του, το οποίο εμφανίζεται ακριβώς πάνω από τον κινούμενο κύβο μεταβάλλεται συνεχώς κατά μέτρο και κατεύθυνση, ανάλογα με την πραγματική κίνηση του φυσικού αντικειμένου από τον μαθητή. Με αυτό τον τρόπο ο μαθητής όχι μόνο αντιλαμβάνεται πειραματιζόμενος με διαφορετικές τροχιές και κινήσεις την έννοια της κατεύθυνσης της ταχύτητας αλλά συνδέει τον τρόπο που αυτά τα χαρακτηριστικά

μεταβάλλονται ανάλογα με τα διαφορετικά είδη κίνησης τα οποία ο ίδιος δοκιμάζει είτε κατά βούληση είτε καθοδηγούμενος από τα βήματα στο φύλλο εργασίας. Στην εικόνα 10.12 ο μαθητής κινεί τον κύβο-στόχο ακολουθώντας διάφορες διαδρομές, προκειμένου να κατανοήσει βιωματικά την έννοια της τροχιάς και την μεταβολή των διανυσματικών χαρακτηριστικών της. Στην εικόνα 10.13 ο μαθητής κινεί τον κύβο-στόχο σε ευθεία γραμμή ακολουθώντας μια άσπρη αυτοκόλλητη ταινία προσπαθώντας να διατηρήσει το μήκος του βέλους της ταχύτητας σταθερό, προκειμένου να κατανοήσει τα χαρακτηριστικά της ευθύγραμμης ομαλής κίνησης με τρόπο βιωματικό.

10.3 Σχεδιασμός του περιβάλλοντος ΕΠ για την κατανόηση της Δύναμης

Καθώς η διδασκαλία του κεφαλαίου της Δύναμης στη σχολική τάξη διαρκεί περίπου τρεισήμισι μήνες, ο σχεδιασμός της διδακτικής προσέγγισης με βάση τα μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ στόχευσε ακριβώς στην ενσωμάτωση των δραστηριοτήτων μέσα στη ροή του μαθήματος όπου αυτό θα κρινόταν σκόπιμο.

Το περιγραφόμενο περιβάλλον ΕΠ σχεδιάστηκε με στόχο να εμπλέξει τους μαθητές της Β' τάξης του Γυμνασίου στην μαθησιακή διαδικασία για την κατανόηση της έννοιας της Δύναμης, του 1^{ου} Νόμου του Νεύτωνα και τη συνθήκη ισορροπίας.

10.3.1 Υλοποίηση του Μοντέλου Περιεχομένου

Συγκεκριμένα, οι μαθησιακοί στόχοι του περιβάλλοντος ΕΠ καθορίστηκαν με βάση το αναλυτικό πρόγραμμα για τη διδασκαλία του Κεφαλαίου «Δύναμη» στο μάθημα της Φυσικής της Β' τάξης γυμνασίου και οι διδακτικοί στόχοι που τέθηκαν κατά το σχεδιασμό του Μοντέλου Περιεχομένου ήταν οι μαθητές :

1. να αναφέρουν παραδείγματα δυνάμεων που ασκούνται με επαφή και από απόσταση (τριβή, τάση του νήματος, κάθετη αντίδραση, βάρος).
2. να αναγνωρίζουν και να σχεδιάζουν τις δυνάμεις που ασκούνται πάνω σε ένα σώμα σε διάφορες περιπτώσεις.
3. να συνδέουν τη μηδενική συνισταμένη με την ηρεμία του υλικού σημείου ή την κίνησή του με σταθερή ταχύτητα.
4. να προβλέπουν την κίνηση ή την ακινησία ενός υλικού σημείου από τις δυνάμεις που ασκούνται σε αυτό.
5. Να εξηγούν ποιοτικά το μέγεθος της συνισταμένης δύναμης στο σώμα σε σχέση με τη μεταβολή της ταχύτητας.

Βασική σκέψη αποτέλεσε η αντιμετώπιση των πρότερων αντιλήψεων των μαθητών για την έννοια της Δύναμης καθώς και για τη σχέση Δύναμης και Κίνησης, όπως αυτές αναδείχθηκαν στο Κεφάλαιο 3 της παρούσας εργασίας. Συγκεκριμένα, η περιγραφόμενη δραστηριότητα ΕΠ επιχειρεί να αντιμετωπίσει τις ακόλουθες πρότερες ιδέες:

- i. Η δύναμη περιέχεται μέσα στα σώματα, αποτελεί ιδιότητα των σωμάτων και όχι αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης με άλλα σώματα.
- ii. Αν ένα σώμα δεν κινείται, τότε δεν ασκούνται σε αυτό δυνάμεις.
- iii. Αν ένα σώμα κινείται πάντοτε ασκείται πάνω του κάποια δύναμη.

Με βάση τα παραπάνω, το συγκεκριμένο περιβάλλον ΕΠ δίνει τις ακόλουθες δυνατότητες πειραματισμού στους μαθητές: α) Να παρατηρήσουν τις δυνάμεις που ασκούνται κατά τον κατακόρυφο άξονα ενός φυσικού αντικείμενου το οποίο βρίσκεται σε οριζόντιο επίπεδο, β) να παρατηρήσουν τις δυνάμεις που ασκούνται κατά τον οριζόντιο άξονα σε ένα πραγματικό αντικείμενο το οποίο κινείται σε οριζόντιο επίπεδο, γ) να παρατηρήσουν πώς αλλάζει ο προσανατολισμός των παραπάνω επαυξημένων δυνάμεων, όταν στρέφουν το φυσικό αντικείμενο στο χώρο σαν αυτό να βρίσκεται σε επίπεδο με κλίση. Η επιλογή να διαχωριστούν οι δυνάμεις ανά άξονα έγινε καταρχάς για να μην έρχεται ο μαθητής αντιμέτωπος ταυτόχρονα με πάρα πολλά επαυξημένα δεδομένα, κάτι που όπως εξηγήθηκε σε προηγούμενο σημείο της εργασίας μπορεί να τον αποπροσανατολίσει και να επιφέρει σύγχυση. Επιπλέον, ο διαχωρισμός των δυνάμεων ανά άξονα δίνει την ευκαιρία στο μαθητή να παρατηρήσει ξεχωριστά την αλλαγή στην κατεύθυνση των κατακόρυφων δυνάμεων όταν το φυσικό αντικείμενο στραφεί σαν να βρίσκεται σε κεκλιμένο επίπεδο, κάτι που δεν παρατηρείται με τις δυνάμεις του οριζόντιου άξονα. Τέλος, όπως είναι γνωστό, συνηθίζεται στις μεγαλύτερες σχολικές βαθμίδες η επίλυση των ασκήσεων να γίνεται με εφαρμογή των σχέσεων που περιγράφουν την κίνηση σε κάθε άξονα ξεχωριστά. Έτσι η προσέγγιση αυτή δύναται να προετοιμάσει το μαθητή να δεχτεί ευκολότερα αυτή τη λογική επίλυσης στο Λύκειο.

10.3.2 Υλοποίηση του Μοντέλου Τεκμηρίων Γνώσης

Με στόχο την καθοδηγούμενη διερεύνηση κατά την αλληλεπίδραση των μαθητών με το περιβάλλον ΕΠ καθώς και τον έλεγχο της απόκρισης των μαθητών κατά τη διάρκεια αυτής συντάχθηκαν και πάλι φύλλα εργασίας (παράρτημα VI).

Οι δύο πρώτες ενέργειες στο φύλλο εργασίας στοχεύουν στην κατάκτηση των στόχων 1 και 2 αντιμετωπίζοντας ταυτόχρονα και την αντίληψη ότι η δύναμη είναι κάτι που

περιέχεται στα σώματα και δεν αναγνωρίζεται ως αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης που γίνεται αντιληπτό ως σπρώξιμο ή τράβηγμα. Το πρώτο βήμα στο φύλλο εργασίας προτρέπει τους μαθητές να αναγνωρίσουν τις επαυξημένες δυνάμεις τις οποίες δέχεται κατά τον κατακόρυφο άξονα το κυβάκι που χειρίζονται όταν αυτό ηρεμεί πάνω σε (επαυξημένο) οριζόντιο έδαφος και να προσδιορίσουν την προέλευση τους. Στη συνέχεια οι μαθητές κινούν τον κύβο σε οριζόντιο έδαφος και καθοδηγούνται ώστε να αναγνωρίσουν ποιες είναι και από πού προέρχονται οι δυνάμεις που εμφανίζονται στον κύβο κατά τον οριζόντιο άξονα της κίνησης.

Στην επόμενη ενέργεια με βάση το φύλλο εργασίας, οι μαθητές παροτρύνονται να πειραματιστούν ελεύθερα με επιφάνειες διαφορετικών κλίσεων και να διαπιστώσουν πώς αλλάζει κάθε φορά ο προσανατολισμός των βελών που αναπαριστούν τις κατακόρυφες δυνάμεις, επιχειρώντας να διατυπώσουν ένα γενικότερο συμπέρασμα για την κατεύθυνση τους, τόσο προφορικά όσο και γραπτά. Και για τις δύο παραπάνω περιπτώσεις οι μαθητές καλούνται να σχεδιάσουν, να ονομάσουν και να συμβολίσουν κατάλληλα πάνω στο φύλλο εργασίας τις δυνάμεις που αναγνώρισαν και μελέτησαν στα προηγούμενα βήματα Διαμορφώνοντας τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά τους γραπτά, ο στόχος είναι και πάλι να θεμελιώσουν περαιτέρω την εννοιολογική τους πρόοδο και ταυτόχρονα να ελεγχθεί άμεσα ο βαθμός απόκρισής τους αναφορικά με τους δύο πρώτους στόχους.

Το τρίτο βήμα στο φύλλο εργασίας αντιμετωπίζει τον 3^ο διδακτικό στόχο και τον 4^ο διδακτικό στόχο που τέθηκε κατά την ανάπτυξη του μοντέλου περιεχομένου, στοχεύοντας ταυτόχρονα στην αντιμετώπιση της ιδέας ότι αν ένα σώμα δεν κινείται, τότε δεν ασκούνται σε αυτό δυνάμεις. Οι μαθητές καλούνται να παρατηρήσουν αυτή τη φορά το μήκος βέλους των επαυξημένων δυνάμεων στον κατακόρυφο άξονα και βάση αυτού να επιχειρήσουν να ερμηνεύσουν την ακινησία του σώματος σε αυτό τον άξονα, προφορικά και γραπτά. Τέλος, σε αυτή τη δραστηριότητα οι μαθητές παροτρύνονται να προσπαθήσουν να κινήσουν τον κύβο σε οριζόντια επιφάνεια, διατηρώντας σταθερό το μήκος του βέλους της ταχύτητας. Οι μαθητές καθοδηγούνται να παρατηρήσουν τα βέλη που αναπαριστούν τις δυνάμεις και να εκτιμήσουν το μέγεθος της συνισταμένης δύναμης στο κινούμενο με σταθερή ταχύτητα σώμα. Με αυτό τον τρόπο καθοδηγούνται στην επαλήθευση του πρώτου νόμου του Νεύτωνα για σώμα κινούμενο με σταθερή ταχύτητα, καθώς και στην αντιμετώπιση της πρότερης ιδέας ότι ένα κινούμενο σώμα δεν μπορεί να δέχεται μηδενική συνισταμένη δύναμη.

Ακολούθως, η δραστηριότητα εστιάζει στον οριζόντιο άξονα, ο οποίος αποτελεί και τον άξονα της κίνησης. Τα επόμενα δύο βήματα υλοποιούν τον 4^ο διδακτικό στόχο του μοντέλου περιεχομένου. Αρχικά, ζητείται από τους μαθητές να μετακινήσουν το κυβάκι τους τόσο προς τη μία κατεύθυνση όσο και προς την άλλη ώστε να παρατηρήσουν την αλλαγή τόσο στην κατεύθυνση της δύναμης που ασκεί το χέρι τους όσο και στην κατεύθυνση του βέλους που αντιπροσωπεύει την τριβή ολίσθησης. Οι μαθητές παροτρύνονται να παρατηρήσουν επιπλέον ποια δύναμη είναι κάθε φορά μεγαλύτερη ανάλογα με την κατεύθυνση της κίνησης και να ερμηνεύσουν βάση αυτής της παρατήρησης την κατάσταση κίνησης του κύβου. Οι μαθητές καλούνται και εδώ να προβληματιστούν σχετικά με το ποια συνέπεια έχει στην κίνηση η μη μηδενική συνισταμένη δύναμη κατά τον άξονα της κίνησης, παρατηρώντας καθώς κινούν τον κύβο όλο και πιο γρήγορα, πώς μεγαλώνει το βέλος της ταχύτητας: *ποιες επιπτώσεις έχει στην κίνηση του σώματος η μη μηδενική συνισταμένη δύναμη;* Οι μαθητές καθοδηγούνται να συζητήσουν και να διατυπώσουν γραπτά τις παρατηρήσεις τους επιχειρώντας μία πρώτη γνωριμία με τον δεύτερο νόμο του Νεύτωνα, αφού η ποσοτική περιγραφή του νόμου αυτού εισάγεται στη σχολική Φυσική στις ανώτερες βαθμίδες της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

10.3.3 Υλοποίηση του Μοντέλου Δραστηριοτήτων

Σύμφωνα με τα παραπάνω στάδια σχεδιασμού, η δραστηριότητα "ΔΥΝΑΜΗ" σχεδιάστηκε ώστε να υλοποιεί :

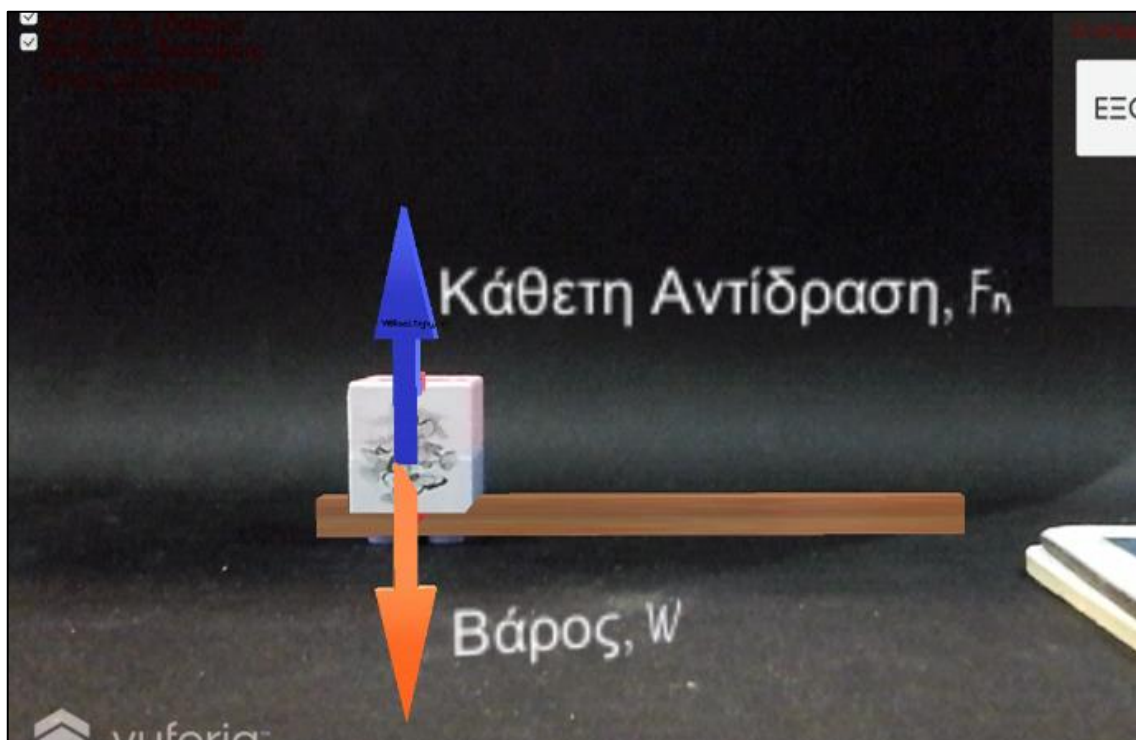
1. την οπτικοποίηση των διανυσμάτων του βάρους και της κάθετης αντίδρασης του δαπέδου που δέχεται ένα σώμα που βρίσκεται πάνω σε δάπεδο. Τόσο οι δυνάμεις όσο και το δάπεδο αποτελούν επαυξημένα 3Δ στοιχεία του περιβάλλοντος ΕΠ.
2. την οπτικοποίηση των διανυσμάτων της δύναμης τριβής και της δύναμης από το χέρι του μαθητή πάνω στο σώμα που κινείται πάνω σε δάπεδο. Και πάλι οι δυνάμεις και το δάπεδο αποτελούν επαυξημένα 3Δ στοιχεία του περιβάλλοντος ΕΠ.

Ο μαθητής οδηγείται στο περιβάλλον της δραστηριότητας αυτής επιλέγοντας το κουμπί «ΔΥΝΑΜΗ» από το κεντρικό μενού. Η διεπαφή χρήστη εκτός από τα βασικά κουμπιά «ΠΙΣΩ» και «ΕΞΟΔΟΣ» περιλαμβάνει δύο ακόμη κουμπιά «Δείξε τις δυνάμεις στον ψ-άξονα» και « δείξε το έδαφος» (εικόνα 10.14). Όπως και στις προηγούμενες δραστηριότητες, μόλις ο μαθητής στρέψει το κινητό του προς το κυβάκι του και αυτό

ανιχνευθεί από την κάμερα, η κόκκινη γραμμή εμφανίζεται πάνω στον κύβο ως γραφική ένδειξη ότι το κυβάκι-στόχος έχει ανιχνευθεί και εμφανίζεται στην οθόνη η ένδειξη «Ο στόχος βρέθηκε».

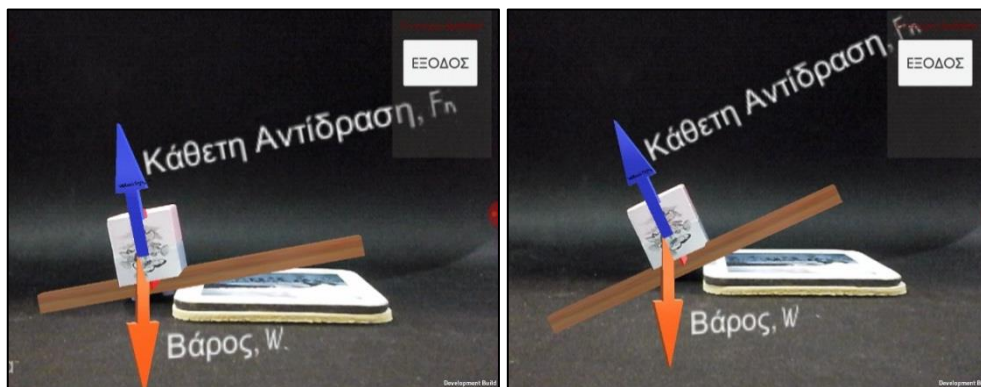


Εικόνα 10.14: Η διεπαφή της δραστηριότητας ΕΠ «ΔΥΝΑΜΗ». Σε αυτό το στιγμιότυπο το αντικείμενο-στόχος είναι ακίνητο και επομένως η ταχύτητά του μηδενική.



Εικόνα 10.15: Ο κύβος-στόχος επαυξάνεται με τις κατακόρυφες δυνάμεις που δέχεται ενώ ηρεμεί σε οριζόντιο έδαφος.

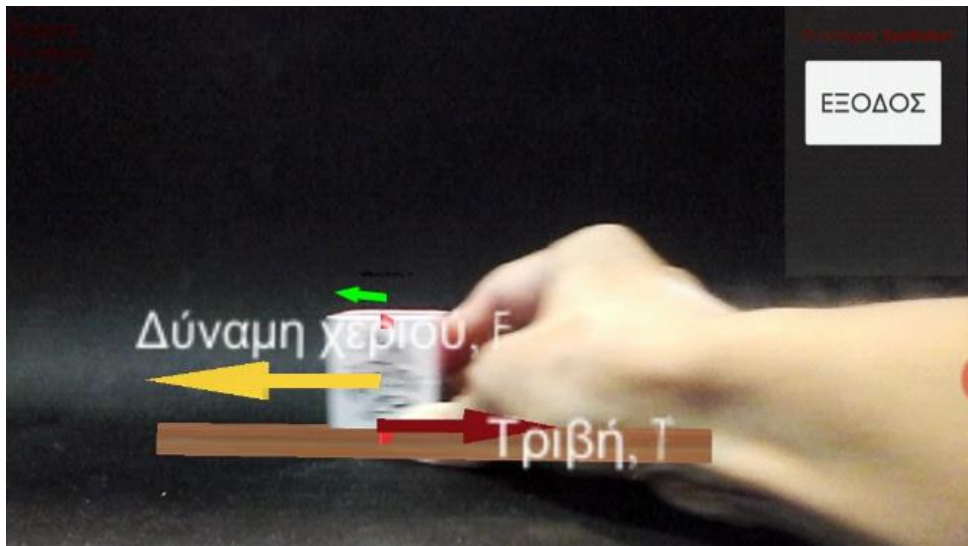
Όταν ο μαθητής επιλέγει το κουμπί «Δείξε τις δυνάμεις στον ψ-άξονα» το κυβάκι επαυξάνεται με το βέλος-διάνυσμα της δύναμης του βάρους που φέρει την ταμπέλα «B, βάρος» και με το βέλος-διάνυσμα της κάθετης αντίδρασης, N που φέρει την ταμπέλα «N, κάθετη αντίδραση» (εικόνα 10.15).



Εικόνα 10.16: Ο κύβος-στόχος επαυξάνεται με τις κατακόρυφες δυνάμεις που δέχεται ενώ ηρεμεί σε εικονικά επίπεδα διαφορετικών κλίσεων.

Η τελευταία είναι η δύναμη στήριξης η οποία ασκείται στο φυσικό αντικείμενο, είτε από το χέρι του μαθητή όταν αυτός κρατά ή κινεί το κυβάκι στον αέρα, είτε από το έδαφος, όταν ο μαθητής ακουμπά ή κινεί το κυβάκι πάνω στο θρανίο. Οι επαυξημένες δυνάμεις ακολουθούν το πραγματικό αντικείμενο κατά την κίνησή του από τους μαθητές και αλλάζουν την κατεύθυνσή τους ανάλογα με τον προσανατολισμό του κύβου στο χώρο. Ταυτόχρονα, ένα βέλος που αισθητοποιεί την ταχύτητα του κύβου επαυξάνει το πραγματικό αντικείμενο. Κατά την κίνησή του κύβου, το επαυξημένο βέλος της ταχύτητας μεταβάλλει και αυτό την κατεύθυνση του και το μήκος του ανάλογα με την κατεύθυνση κίνησης και το πόσο γρήγορα κινεί ο μαθητής το φυσικό αντικείμενο.

Όταν ο μαθητής που χειρίζεται τη διεπαφή επιλέξει το κουμπί «δείξε το έδαφος» τότε η διεπαφή εμφανίζει ως επαυξημένο στοιχείο του ΕΠ περιβάλλοντος μια επιφάνεια ακριβώς κάτω από τον κύβο ώστε, είτε ο μαθητής κρατά το κυβάκι στον αέρα είτε πάνω στο θρανίο του να δημιουργείται η εντύπωση ότι πλέον η κίνηση γίνεται πάνω σε κάποια επιφάνεια, η οποία εμφανίζει τριβή με το πραγματικό αντικείμενο. Όταν ο μαθητής κινεί το κυβάκι του πάνω στο επαυξημένο έδαφος τότε το κυβάκι επαυξάνεται με το εικονικό βέλος-διάνυσμα της δύναμης από το χέρι του μαθητή, που φέρει την ταμπέλα «F, Δύναμη χεριού», καθώς και από το εικονικό βέλος-διάνυσμα της δύναμης τριβής που φέρει την ταμπέλα «T, Τριβή».



Εικόνα 10.17: Ο κύβος-στόχος επαυξάνεται με τις οριζόντιες δυνάμεις που δέχεται ενώ κινείται προς τα αριστερά.

Καθώς ο μαθητής μεταβάλλει τη φορά της κίνησης σπρώχνοντας το κυβάκι άλλοτε προς τα αριστερά και άλλοτε προς τα δεξιά, οι δύο δυνάμεις αλλάζουν κατεύθυνση έτσι ώστε η δύναμη χεριού να έχει πάντα την κατεύθυνση της κίνησης του κύβου, ή δε Τριβή να αντιτίθεται πάντοτε στην κίνηση του κύβου (εικόνα 10.17). Όταν ο μαθητής σταματά να σπρώχνει το κυβάκι του οι οριζόντιες επαυξημένες δυνάμεις καταργούνται (ταυτόχρονα καταργείται και το επαυξημένο βέλος της ταχύτητας του κύβου) ενώ οι κατακόρυφες δυνάμεις παραμένουν, εφόσον η επιλογή «δείξε τις δυνάμεις στον ψ-άξονα» διατηρείται ενεργοποιημένη.

Κεφάλαιο 11

Σχεδιασμός Εκπαιδευτικής Έρευνας για τη Διδασκαλία της Κίνησης και της Δύναμης

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφεί ο πειραματικός σχεδιασμός της Β' φάσης της έρευνας με αντικείμενο τη διδασκαλία εννοιών και φαινομένων σε σχέση με τις διδακτικές ενότητες των κινήσεων και των δυνάμεων, αξιοποιώντας τα περιβάλλοντα ΕΠ τα οποία σχεδιάστηκαν και αναπτύχθηκαν για αυτό το σκοπό.

11.1 Πειραματικός σχεδιασμός της εκπαιδευτικής έρευνας

Βασική επιδίωξη της παρούσας ερευνητικής φάσης αποτέλεσε η περαιτέρω διερεύνηση της στάσης των μαθητών απέναντι στην διδασκαλία η οποία ενσωματώνει την τεχνολογία ΕΠ για την παροχή τρισδιάστατων περιβαλλόντων συνεργατικής διερευνητικής μάθησης με χρήση απλού και τοπικά διαθέσιμου εξοπλισμού. Συγκεκριμένα, η παρούσα ερευνητική φάση επιχειρεί να επεκτείνει την προσέγγιση της Α' ερευνητικής φάσης, υπό την έννοια ότι δεν περιορίζεται στην διδασκαλία μιας αυτόνομης διδακτικής ενότητας κατά την οποία γίνεται χρήση μιας μεμονωμένης δραστηριότητας ΕΠ αλλά επιχειρεί να ενσωματώσει τα μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ μέσα στην καθημερινή διδακτική πρακτική. Κάτω από αυτή τη λογική, η παρούσα φάση της έρευνας επιχειρεί μεταξύ άλλων να διερευνήσει κατά πόσο και κάτω από ποιες προϋποθέσεις είναι τελικά εφικτή η ενσωμάτωση τέτοιων περιβαλλόντων μάθησης που αξιοποιούν την τεχνολογία της ΕΠ, στο σχολικό πρόγραμμα σπουδών για το μάθημα της Φυσικής. Επιχειρείται επομένως στο σημείο αυτό η ενσωμάτωση των περιβαλλόντων ΕΠ στην καθημερινή διδακτική ρουτίνα, όποτε κρίνεται αυτό απαραίτητο με βάση το σχεδιασμό της διδασκαλίας, χωρίς να διαταράσσεται η ομαλή ροή του μαθήματος.

Παράλληλα, η παρούσα φάση της έρευνας επιχειρεί να αντιμετωπίσει και τα ζητήματα που αναδύθηκαν από την Α' ερευνητική φάση, όπως αυτά τέθηκαν κατά την περιγραφή της Α' ερευνητικής φάσης. Έτσι:

- Η ενσωμάτωση περισσότερων δραστηριοτήτων ΕΠ κατά την διδασκαλία των εννοιών «Κινήσεις» και «Δυνάμεις» και η αξιοποίηση αυτών κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου στοχεύει επιπλέον στην εξοικείωση των μαθητών με τη

νέα αυτή διδακτική προσέγγιση και ως εκ τούτου στην σταδιακή ενίσχυση της εμπιστοσύνης τους στη μαθησιακή διαδικασία.

- Για την ανάδειξη των δυσκολιών κατά τη μεταβολή παραμέτρων στη διεπαφή ΕΠ από τους μαθητές κρίθηκε σκόπιμη η πιο συστηματική παρατήρηση των μαθητών κατά τον πειραματισμό τους στα περιβάλλοντα ΕΠ.
- Το ερωτηματολόγιο «δυσκολίας/ευχαρίστησης» τροποποιήθηκε και εμπλουτίστηκε ώστε να αναδεικνύει τις δυσκολίες των μαθητών κατά την αλληλεπίδραση τους με τα περιβάλλοντα ΕΠ.
- Οι μαθητές οργανώθηκαν σε ομάδες των δύο προκειμένου να δραστηριοποιούνται όλοι μέσα στα περιβάλλοντα ΕΠ και να μην απαιτείται μεγάλη αναδιοργάνωση της τάξης.

Παράλληλα, η παρατήρηση των μαθητών κατά τον πειραματισμό τους στα περιβάλλοντα ΕΠ καθώς και η λήψη συνεντεύξεων με κάποιους από αυτούς είχε ως στόχο εκτός των προαναφερθέντων και την καταγραφή των ιδιομορφιών και των δυσκολιών της ενσωμάτωσης των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ στην καθημερινή διδασκαλία της Φυσικής μέσα στο περιβάλλον της σχολικής τάξης.

11.2 Μεθοδολογία της έρευνας

Ο πίνακας 11.1 συνοψίζει τις μεθόδους συλλογής και ανάλυσης των δεδομένων, όπως αντιστοιχούν σε κάθε ερευνητικό ερώτημα για την Β' φάση της πειραματικής έρευνας.

11.2.1 Το δείγμα της έρευνας

Στην Β' φάση της έρευνας πήραν μέρος 18 μαθητές της Β' τάξης του Γυμνασίου Κουβαρά. Όλοι οι μαθητές ήταν εξοικειωμένοι με τη χρήση κινητών συσκευών. Οι μαθητές δεν είχαν λάβει διδασκαλία του διδακτικού αντικειμένου πριν από την εισαγωγή των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ στην τάξη τους.

Πίνακας 11.1: οι μέθοδοι συλλογής και ανάλυσης των δεδομένων, όπως αντιστοιχούν σε κάθε ερευνητικό ερώτημα για την Β' φάση της πειραματικής έρευνας.

Ερευνητικό ερώτημα	Μέθοδος Συλλογής Δεδομένων	Ανάλυση Δεδομένων
Ποια είναι η στάση των μαθητών απέναντι στη διαδικασία μάθησης με ενσωμάτωση των περιβαλλόντων ΕΠ μέσω κινητών	Ερωτηματολόγιο RIMMS Συμμετοχικές παρατηρήσεις μαθητών κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας με αξιοποίηση των	Εμπειρική μελέτη Ποιοτική ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων

<p>συσκευών στην καθημερινή διδακτική πρακτική της σχολικής τάξης για το μάθημα της Φυσικής;</p>	<p>περιβαλλόντων ΕΠ (καταγραφή συμπεριφορών και αντιδράσεων των παιδιών από την ερευνητρια-εκπαιδευτικό) για την εκτίμηση της εμπλοκής τους</p> <p>Άτυπες ατομικές συνεντεύξεις των μαθητών</p>	<p>παρατήρησης</p> <p>Συνδυαστική ερμηνεία των παραπάνω και εξαγωγή συμπερασμάτων</p>
<p>Είναι λειτουργικός ο τεχνικός σχεδιασμός των περιβαλλόντων ΕΠ για τη διδασκαλία θεμελιωδών εννοιών της Φυσικής;</p>	<p>Ερωτηματολόγιο «δυσκολίας/ευχαρίστησης»</p> <p>Συμμετοχικές παρατηρήσεις μαθητών κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας με αξιοποίηση των περιβαλλόντων ΕΠ (καταγραφή συμπεριφορών και αντιδράσεων των παιδιών από την ερευνητρια-εκπαιδευτικό) για την εκτίμηση της εμπλοκής τους</p> <p>Άτυπες ατομικές συνεντεύξεις των μαθητών</p>	
<p>Ποια χαρακτηριστικά της διδακτικής προσέγγισης με αξιοποίηση των περιβαλλόντων ΕΠ αναδύονται ως ευνοϊκά και ποια ως δυσμενή για τους μαθητές κατά τη διεξαγωγή των μαθησιακών εμπειριών ΕΠ μέσα στο περιβάλλον της σχολικής τάξης;</p>		
<p>Ποιες είναι οι ιδιαιτερότητες και οι δυσκολίες που προέκυψαν κατά την οργάνωση, τον συντονισμό και τη διεξαγωγή των μαθησιακών εμπειριών ΕΠ κατά την ενσωμάτωση τους στη διδακτική πρακτική μέσα στο περιβάλλον της σχολικής τάξης;</p>	<p>Συμμετοχικές παρατηρήσεις μαθητών κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας με αξιοποίηση των περιβαλλόντων ΕΠ (καταγραφή συμπεριφορών και αντιδράσεων των παιδιών από την ερευνητρια-εκπαιδευτικό) για την εκτίμηση της εμπλοκής τους</p> <p>Άτυπες ατομικές συνεντεύξεις των μαθητών</p>	<p>Ποιοτική ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων παρατήρησης</p>
<p>Ποιες αρχές τεχνικού σχεδιασμού διαμορφώνονται για την ανάπτυξη μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ με στόχο τη διδασκαλία εννοιών της Φυσικής;</p>	<p>Βιβλιογραφική ανασκόπηση σχεδιαστικής μεθοδολογίας και σύγχρονων διδακτικών προσεγγίσεων στη σχολική Φυσική</p> <p>Συνολική αξιολόγηση της χρήσης τους</p>	<p>Συνδυαστική ερμηνεία των παραπάνω αποτελεσμάτων και εξαγωγή συμπερασμάτων</p>

11.2.2 Εκπαιδευτικός σχεδιασμός της έρευνας

Σε αντίθεση με την Α' πειραματική φάση κατά την οποία οι μαθητές αξιοποίησαν το σχετικό μαθησιακό περιβάλλον ΕΠ για μια συγκεκριμένη διδακτική ενότητα, η Β' φάση της πειραματικής έρευνας επιχείρησε να ενσωματώσει τα μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ μέσα στην μαθησιακή διαδικασία περισσότερο, παρά να αποτελέσει αυτή μια αυτόνομη διδακτική παρέμβαση. Αυτός άλλωστε είναι και ένας από τους στόχους της παρούσας έρευνας, να διερευνηθεί η δυνατότητα ενσωμάτωσης των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ μέσα στην καθημερινή μαθησιακή διαδικασία. Κάτω από αυτή τη λογική, στην παρούσα προσέγγιση επιχειρήθηκε οι δραστηριότητες ΕΠ να συμπληρώνουν και να εμπλουτίζουν τη μαθησιακή διαδικασία όπου κρίνεται χρήσιμο αναφορικά με τους διδακτικούς στόχους κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ενισχύεται η μάθηση χωρίς να διαταράσσεται η ροή του μαθήματος και να δαπανάται πολύτιμος διδακτικός χρόνος.

Η διδασκαλία της Φυσικής Β' τάξης γυμνασίου ορίζεται στις 2 ώρες ανά εβδομάδα και ξεκινά από τη δεύτερη περίπου εβδομάδα, με το 2^ο κεφάλαιο του σχολικού βιβλίου που είναι το κεφάλαιο της Κίνησης. Το 1^ο κεφάλαιο του σχολικού βιβλίου αποτελεί την εισαγωγή και η διδασκαλία της ολοκληρώνεται σε 2 περίπου εβδομάδες, συμπεριλαμβανομένης και μιας επανάληψης για σύνδεση με την προηγούμενη γνώση. Μάλιστα, η διδασκαλία των εννοιών της θέσης και της μετατόπισης προτείνεται να γίνει μέσω πειραματικών δραστηριοτήτων. Έτσι, σε σύντομο χρόνο από την έναρξη της σχολικής χρονιάς οι 18 μαθητές που αποτέλεσαν το δείγμα της έρευνας έπρεπε να ενημερωθούν για την ενσωμάτωση των περιβαλλόντων ΕΠ κατά τη διδασκαλία του μαθήματος της Φυσικής για την τρέχουσα σχολική χρονιά. Χρειάστηκαν συνολικά τρεις διδακτικές ώρες προκειμένου:

1. Να γίνει μια άτυπη συνέντευξη των μαθητών προκειμένου να αναγνωριστεί ο βαθμός εξοικείωσής τους με τις κινητές συσκευές.
2. Να μοιραστούν υπεύθυνες δηλώσεις για να ληφθεί γραπτή άδεια από τους κηδεμόνες ώστε οι μαθητές να μπορούν να φέρνουν μαζί τους και να χρησιμοποιούν τις κινητές συσκευές για τις ανάγκες του μαθήματος.
3. Να καταγραφούν οι κινητές συσκευές των μαθητών.
4. Να δοκιμαστούν όλες οι συσκευές των μαθητών με λογισμικό android οι οποίες ήταν συμβατές με το λογισμικό προς εγκατάσταση και να επιλεγούν οι

καταλληλότερες βάση συμβατότητας και χαρακτηριστικών (ταχύτητα, μέγεθος, ανάλυση οθόνης).

5. Να γίνει συζήτηση με τους μαθητές σχετικά με την τεχνολογία Επαυξημένης Πραγματικότητας και να εξηγηθεί ο τρόπος με τον οποίο επρόκειτο να χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία αυτή κατά την μαθησιακή διαδικασία.
6. Να μοιραστούν τα φυσικά αντικείμενα-κύβοι στους μαθητές καθώς και οι αυτοκόλλητες ετικέτες ώστε να προετοιμάσουν οι ίδιοι τα αντικείμενα-στόχους και να εξοικειωθούν με αυτά.
7. Να γίνει μια επίδειξη μέσω βιντεοπροβολέα της επαύξησης ενός φυσικού αντικειμένου και του τρόπου χρήσης της διεπαφής ΕΠ.
8. Να χωριστούν οι μαθητές σε ομάδες.

Ως αποτέλεσμα ολοκλήρωσης της παραπάνω διαδικασίας, οι μαθητές έδειξαν απόλυτα εξοικειωμένοι με τη χρήση των κινητών συσκευών, αναφέροντας ότι χρησιμοποιούν κινητά σε καθημερινή βάση. Επιπλέον, όλοι οι κηδεμόνες συναίνεσαν γραπτώς για τη χρήση των κινητών. Αρχικά, η καταγραφή οδήγησε σε μία λίστα εννιά συσκευών android, ωστόσο η δοκιμαστική εγκατάσταση της πρώτης δραστηριότητας ΕΠ σε αυτές ανέδειξε διάφορα προβλήματα συμβατότητας, με κυριότερο την μη αναγνώριση των αντικειμένων-στόχων λόγω ανεπαρκούς ανάλυσης οθόνης. Έτσι, προέκυψαν τελικά 4 διαθέσιμες συσκευές με λειτουργικό σύστημα Android, κατάλληλες για χρήση: Samsung Galaxy J3 2016 (2 συσκευές) και Xiaomi Redmi 5 Plus (2 συσκευές) Αυτό έθεσε έναν επιπλέον βαθμό δυσκολίας κατά τη διεξαγωγή της έρευνας, δεδομένου ότι δεν ήταν δυνατό όλοι οι μαθητές να εργαστούν ταυτόχρονα στην εφαρμογή, κάτι το οποίο επιβάρυνε επιπλέον τη διαχείριση του διαθέσιμου διδακτικού χρόνου. Οι μαθητές χωρίστηκαν σε ομάδες με βάση τις σχέσεις φιλίας μεταξύ τους αφού αυτό φάνηκε να αποδίδει σε επίπεδο συνεργασίας κατά την Α΄ φάση της πειραματικής έρευνας. Έτσι, οι μαθητές χωρίστηκαν σε 6 ομάδες των τριών. Κατά την επόμενη 4^η διδακτική ώρα οι μαθητές που διέθεταν τις τέσσερις αυτές συσκευές τις έφεραν στην τάξη έχοντας προεγκαταστήσει την εφαρμογή από ιστότοπο του διαδικτύου στον οποίο είχε προηγουμένως «ανέβει» το αντίστοιχο λογισμικό από την ερευνήτρια. Δεδομένου ότι οι συσκευές δεν επαρκούσαν να καλύψουν όλες τις ομάδες ταυτόχρονα χρειάστηκε να χωριστούν οι μαθητές σε δύο μεγαλύτερες ομάδες ώστε να δουλεύουν εναλλάξ στις συσκευές.

Το πείραμα διεξήχθη εξ ολοκλήρου μέσα στη σχολική τάξη. Αρχικά, εισάχθηκε η έννοια της θέσης με μορφή διάλεξης και συζητήθηκε με τους μαθητές η ανάγκη προσδιορισμού της σχετικής θέσης καθώς και παραδείγματα, έγινε αναφορά στο διανυσματικό χαρακτήρα του μεγέθους και παρουσιάστηκαν τα συνήθη σύμβολα του και οι μονάδες μέτρησης. Στη συνέχεια, οι μαθητές σχημάτισαν τις ομάδες και κάθισαν στα ανάλογα θρανία αλλάζοντας θέσεις όπως τους υποδείχθηκε με βάση το πλάνο που είχε ήδη δημιουργηθεί από την ερευνήτρια, λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους, τις σχέσεις φιλίας αλλά και με στόχο την μικρότερη δυνατή διατάραξη της ροής του μαθήματος. Κατόπιν, μοιράστηκαν τα φύλλα εργασίας, οι μαθητές κλήθηκαν να ανοίξουν τις συσκευές και να επιλέξουν την πρώτη δραστηριότητα ΕΠ με τίτλο «ΘΕΣΗ». Χρειάστηκαν συνολικά 2 διδακτικές ώρες για να ολοκληρωθεί η 1^η δραστηριότητα ΕΠ «ΘΕΣΗ», κατά τη διάρκεια των οποίων οι μαθητές πειραματίστηκαν με το μαθησιακό περιβάλλον ΕΠ ακολουθώντας τα βήματα του φύλλου εργασίας (εικόνα 11.1). Ως μέλος της ομάδας, ο κάθε μαθητής είχε αναλάβει και πάλι ένα ρόλο: είτε να χειρίζεται την κινητή συσκευή στοχεύοντας τη κατάλληλα πάνω στα κυβάρια-στόχους, είτε να κινεί κατάλληλα τα κυβάρια-στόχους στο θρανίο είτε να διαβάζει δυνατά τις οδηγίες στο φύλλο εργασίας και να συμπληρώνει τις ερωτήσεις στο φύλλο εργασίας που κατευθύνει τη διαδικασία.



Εικόνα 11.1: Οι μαθητές πειραματίζονται μέσα στο περιβάλλον της δραστηριότητας ΕΠ για τη Θέση σε ομάδες των τριών, εναλλάσσοντας ρόλους μέσα στην ομάδα.

Οι μαθητές άλλαζαν ρόλους ώστε εκ περιτροπής να πραγματοποιήσουν όλοι τις ενέργειες-βήματα του φύλλου εργασίας. Καθ' όλη τη διάρκεια της εμπειρίας η διδάσκουσα-ερευνήτρια παρακολουθούσε και συζητούσε με τους μαθητές τόσο για τον

έλεγχο κατάκτησης των τιθέμενων στόχων της δραστηριότητας ΕΠ όσο και για τυχόν δυσκολίες, ήλεγχε το βαθμό επίτευξης των δραστηριοτήτων με βάση τα φύλλα εργασίας, έδινε διευκρινίσεις όπου απαιτούνταν και συμπλήρωνε το ημερολόγιο παρατήρησης.

Στο ίδιο πνεύμα κατά τις επόμενες δύο διδακτικές ώρες εισάχθηκε στους μαθητές και η επόμενη δραστηριότητα ΕΠ με τίτλο «ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ», αφού προηγήθηκε και πάλι εισαγωγική διδασκαλία της έννοιας της μετατόπισης στον πίνακα και παρουσιάστηκαν τα συνήθη σύμβολα του μεγέθους και οι μονάδες μέτρησης. Οι μαθητές χρησιμοποίησαν τα διαθέσιμα κινητά προκειμένου να πειραματιστούν μέσα στο μαθησιακό περιβάλλον «ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ» ακολουθώντας και συμπληρώνοντας τα βήματα στο σχετικό φύλλο εργασίας (εικόνα 11.2).

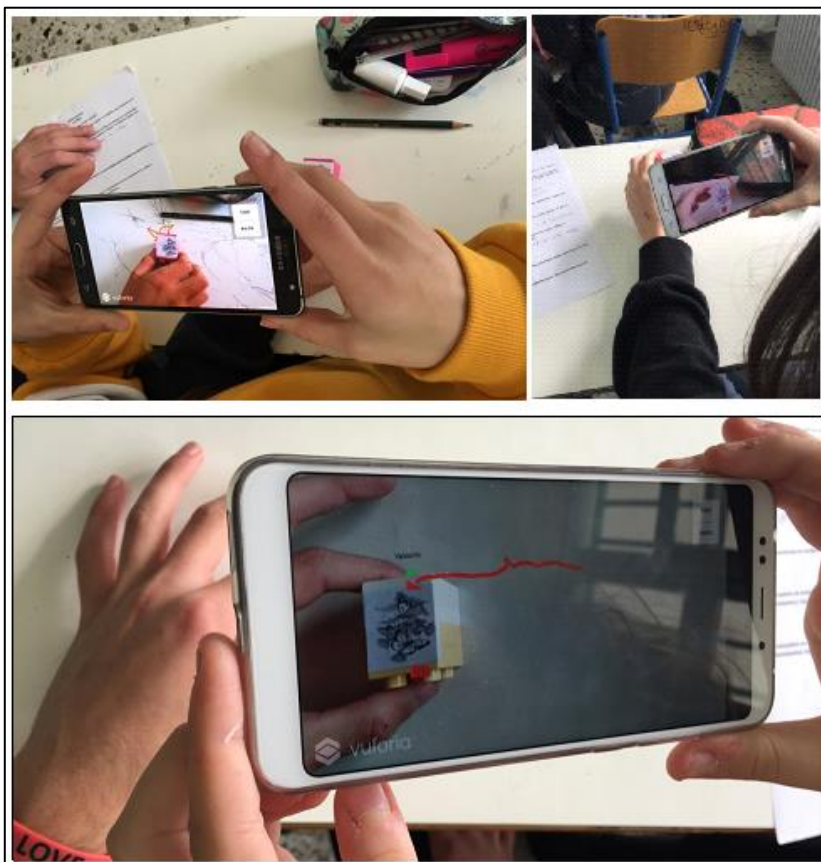


Εικόνα 11.2: Οι μαθητές καθώς αλληλεπιδρούν σε τριάδες με το περιβάλλον της εφαρμογής ΕΠ για τη Μετατόπιση, ακολουθώντας τα βήματα του φύλλου εργασίας.

Η επόμενη διδακτική ώρα αφιερώθηκε ολόκληρη αρχικά για την εισαγωγή της έννοιας του χρονικού διαστήματος και έπειτα για την έννοια της ταχύτητας. Η διδασκαλία βασίστηκε στη διάλεξη και την συζήτηση με τους μαθητές. Συγκεκριμένα, συζητήθηκε το πώς ορίζεται η ταχύτητα και τί εκφράζει ο διανυσματικός της χαρακτήρας, παρουσιάστηκε το σύμβολο του φυσικού μεγέθους και οι μονάδες μέτρησης.

Για να αντιμετωπιστεί η κατά περίπτωση μειωμένη ενεργοποίηση των πιο αδύνατων μαθησιακά παιδιών όπως αυτή προέκυψε από τα αποτελέσματα της Α΄ φάσης της εκπαιδευτικής έρευνας, κατά την ενσωμάτωση των επόμενων δραστηριοτήτων ΕΠ μέσα στην τάξη οι μαθητές δούλεψαν σε ομάδες των δύο χωρίς να σηκώνονται από τα θρανία

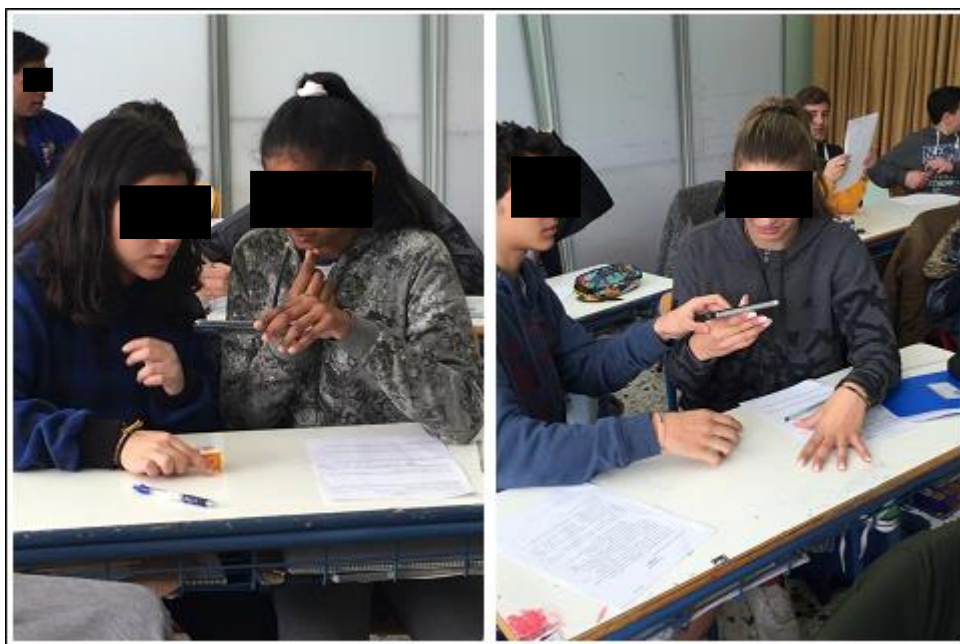
τους. Αυτό εξάλλου βοήθησε στο να μην απαιτείται κάθε φορά η ολική αναδιοργάνωση της τάξης κατά τον πειραματισμό στα περιβάλλοντα ΕΠ (εικόνα 11.3).



Εικόνα 11.3: Οι μαθητές αλληλεπιδρούν με τα πραγματικά και τα ψηφιακά στοιχεία του μαθησιακού περιβάλλοντος ΕΠ για την Τροχιά και την Ταχύτητα.

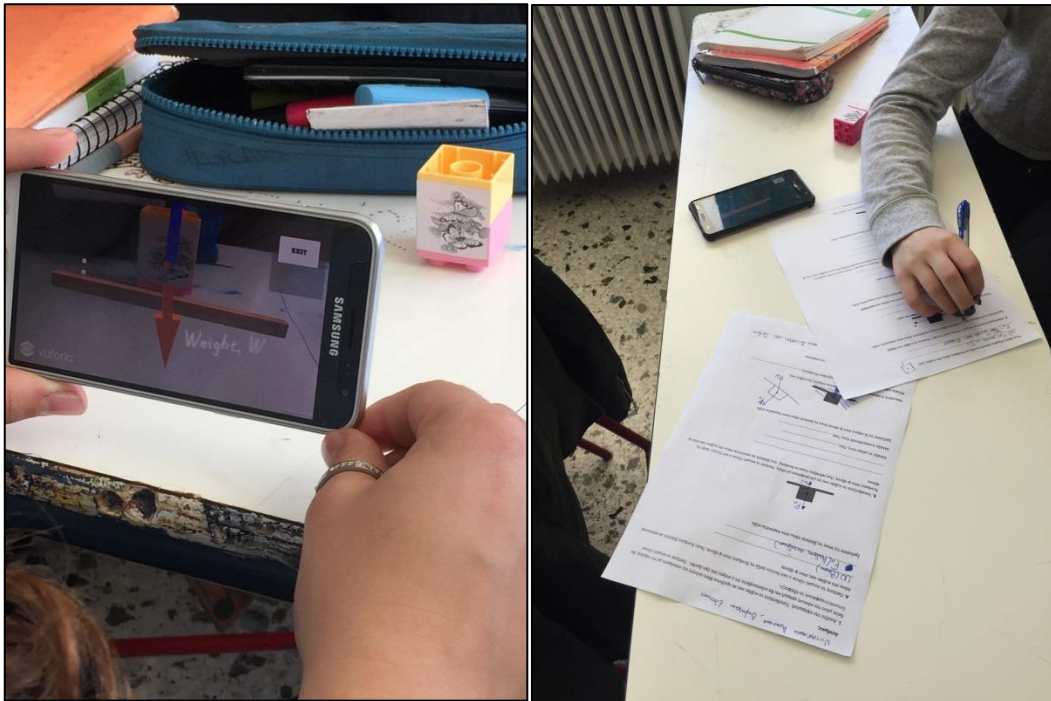
Αντί αυτού, τέσσερις δυάδες πειραματίζονταν ταυτόχρονα στο περιβάλλον της εφαρμογής για περίπου είκοσι λεπτά η κάθε ομάδα (εικόνα 11.4) ενώ οι υπόλοιποι μαθητές εργάζονταν πάνω σε φύλλα εργασίας με ερωτήσεις κατανόησης και ασκήσεις πάνω στις ήδη διδαχθείσες έννοιες. Έτσι, χρειάστηκαν άλλες δύο διδακτικές ώρες για να ολοκληρώσουν οι μαθητές την 3^η δραστηριότητα ΕΠ «ΤΡΟΧΙΑ-ΤΑΧΥΤΗΤΑ».

Άλλη μια διδακτική ώρα παραδοσιακής διδασκαλίας αφιερώθηκε για την ολοκλήρωση της διδασκαλίας του κεφαλαίου «Κίνηση» με βάση την προβλεπόμενη ύλη και σύμφωνα με το αναλυτικό πρόγραμμα.



Εικόνα 11.4: Οι μαθητές πειραματίζονται μέσα στο περιβάλλον της δραστηριότητας ΕΠ για την Τροχιά και την Ταχύτητα, σε ομάδες των δύο όπως κάθονται συνήθως στα θρανία τους.

Κατά τις επόμενες δεκατέσσερις διδακτικές ώρες πραγματοποιήθηκε η διδασκαλία του 2^{ου} κεφαλαίου, «ΔΥΝΑΜΗ». Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία, ωστόσο αυτή τη φορά μοιράστηκε ένα μόνο φύλλο εργασίας και ανάλογα με το μάθημα της ημέρας οι μαθητές καλούνταν να το χρησιμοποιήσουν μαζί με τα κινητά τους πραγματοποιώντας μόνο τα βήματα που αντιστοιχούσαν στους μαθησιακούς στόχους της συγκεκριμένης διδακτικής ώρας, σύμφωνα με την περιγραφή του σχεδιασμού των δραστηριοτήτων ΕΠ. Και πάλι λόγω περιορισμένου αριθμού κινητών συσκευών οι μαθητές χρειάστηκε να εργαστούν κυκλικά σε δυάδες ανά δέκα περίπου λεπτά ενώ οι υπόλοιποι εργάζονταν και πάλι με εργασίες εμπέδωσης. Καθώς όμως οι δραστηριότητες ΕΠ αναφορικά με την έννοια της δύναμης αφορούσαν σε ένα, το πολύ δύο βήματα τη φορά ενώ παράλληλα οι μαθητές είχαν πλέον εξοικειωθεί πλήρως με τις νέες συνθήκες μάθησης, τα περιβάλλοντα ΕΠ ενσωματώνονταν κάθε φορά στη διδασκαλία χωρίς να διαταράσσεται η μαθησιακή διαδικασία. Αρχικά, συζητήθηκε η έννοια της δύναμης, έγινε σύνδεση με τις έννοιες της κίνησης και της αλληλεπίδρασης και αναζητήθηκαν παραδείγματα και είδη δυνάμεων (2 διδακτικές ώρες). Στη συνέχεια, εξηγήθηκε ο τρόπος μέτρησης των δυνάμεων μέσω της παραμόρφωσης που αυτές προκαλούν, συζητήθηκε ο διανυσματικός χαρακτήρας της δύναμης και παρουσιάστηκαν τα συνήθη σύμβολα για τα διάφορα είδη δυνάμεων, οι μονάδες μέτρησης και ο τρόπος σχεδιασμού τους (2 διδακτικές ώρες).



Εικόνα 11.5: Οι μαθητές παρατηρούν τις δυνάμεις κατά τον κατακόρυφο άξονα πάνω στον κύβο και συμπληρώνουν τα σχετικά ερωτήματα του φύλλου εργασίας.

Κατά τη διάρκεια της 5^{ης} διδακτικής ώρας και μετά την ολοκλήρωση των παραπάνω έγινε ιδιαίτερη αναφορά στη βαρυτική δύναμη και στην κάθετη αντίδραση και αμέσως μετά ζητήθηκε από τους μαθητές να κάνουν χρήση των κινητών και να πραγματοποιήσουν το βήματα 1 και 2 της δραστηριότητας «Δυνάμεις» (εικόνα 11.5) όπως αυτά περιγράφονται κατά την περιγραφή του Μοντέλου Τεκμηρίων Γνώσης, με στόχο την αναγνώριση και τον σχεδιασμό δυνάμεων που ασκούνται με επαφή και από απόσταση (κάθετη αντίδραση, βάρος, τριβή, δύναμη χεριού) σε διάφορες περιπτώσεις (παράγραφος 10.2.2).

Ακολούθησαν δύο διδακτικές ώρες κατά τις οποίες οι μαθητές διδάχθηκαν την έννοια της συνισταμένης δύναμης θεωρητικά αλλά και μέσω ασκήσεων εμπέδωσης, όπου δεν έγινε χρήση των περιβαλλόντων ΕΠ. Κατά την επόμενη διδακτική ώρα παρουσιάστηκε μέσω παραδειγμάτων και συζήτησης ο 1^{ος} νόμος του Νεύτωνα και εξηγήθηκε βάσει αυτού η συνθήκη ισορροπίας με βάση τη συνισταμένη δύναμη αλλά και για κάθε άξονα ξεχωριστά. Τα παιδιά κλήθηκαν και πάλι στο σημείο αυτό να χρησιμοποιήσουν τα κινητά τους για να πραγματοποιήσουν το 3^ο βήμα του φύλλου εργασίας με στόχο να συνδέσουν την μηδενική συνισταμένη δύναμη κατά τον κατακόρυφο άξονα με την απουσία κίνησης στον άξονα αυτό. Κατά την τελευταία διδακτική ώρα που αφιερώθηκε στη διδασκαλία των δυνάμεων με αξιοποίηση των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ, εξηγήθηκε πώς συνδέεται η συνισταμένη δύναμη που δέχεται ένα σώμα με τη μεταβολή

στην ταχύτητα του και συζητήθηκαν παραδείγματα από την καθημερινή ζωή κάνοντας ουσιαστικά ποιοτική μόνο αναφορά στο δεύτερο νόμο του Νεύτωνα: «όσο μεγαλύτερη είναι η συνισταμένη δύναμη που ασκείται σ' ένα σώμα, τόσο πιο γρήγορα αυξάνεται η ταχύτητα του». Στη συνέχεια, ζητήθηκε από τους μαθητές να πραγματοποιήσουν το 4^ο βήμα του φύλλου εργασίας με στόχο την πρόβλεψη της κίνησης ή της ακινησίας ενός υλικού σημείου με βάση τις δυνάμεις που ασκούνται σε αυτό το σώμα.

Κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων διδακτικών ενοτήτων και οι 18 μαθητές απάντησαν στις ερωτήσεις του εργαλείου RIMMS και οι 17 από τους 18 απάντησαν στις ερωτήσεις του ερωτηματολογίου «δυσκολίας/ευχαρίστησης» (ο ένας μαθητής απουσίαζε την ώρα της συμπλήρωσης των εργαλείων). Η ολοκλήρωση της ενότητας «Δύναμη» πραγματοποιήθηκε κατά τις επόμενες δύο διδακτικές ώρες με την παραδοσιακή διδασκαλία του 3^{ου} Νόμου του Νεύτωνα όπου δεν χρησιμοποιήθηκαν μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ.

11.2.3 Εργαλεία της έρευνας

Τα αποτελέσματα της Α' φάσης της έρευνας έδειξαν μεταξύ άλλων ότι τόσο το εργαλείο RIMMS όσο και το ερωτηματολόγιο «δυσκολίας/ευχαρίστησης» λειτούργησαν ικανοποιητικά, αφενός μεν γιατί οι μαθητές εύκολα κατανόησαν τις ερωτήσεις και μπόρεσαν να απαντήσουν χωρίς δυσκολία, αφετέρου γιατί η επεξεργασία των αποτελεσμάτων έδειξε καλή αξιοπιστία του εργαλείου και κατάφερε να αναδείξει τη στάση των μαθητών απέναντι στην συγκεκριμένη μαθησιακή προσέγγιση. Επιπλέον η έκταση των ερωτηματολογίων ήταν τέτοια ώστε οι μαθητές να είναι σε θέση να απαντήσουν μέσα σε λογικό χρόνο.

Παράλληλα και προκειμένου να αναδειχθούν όλες οι πτυχές των αντιδράσεων των μαθητών στη νέα αυτή μαθησιακή προσέγγιση χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον ως μέθοδοι συλλογής δεδομένων η συμμετοχική παρατήρηση και η λήψη μεμονωμένων συνεντεύξεων ώστε να διερευνηθεί περαιτέρω το πώς αντιδρούν τα παιδιά στην όλη διαδικασία, τί πιστεύουν και τι αισθάνονται. Πιο συγκεκριμένα, ως μέσο καταγραφής των παρατηρήσεων χρησιμοποιήθηκαν οι σημειώσεις της ερευνήτριας. Δεδομένου ότι η ερευνήτρια είχε ταυτόχρονα και το ρόλο της διδάσκουσας και δεν υπήρχε η δυνατότητα να υπάρχει κάποιος άλλος μέσα στη σχολική τάξη κατά τον πειραματισμό των μαθητών με τα περιβάλλοντα ΕΠ, οι σημειώσεις δεν λαμβάνονταν σε συγκεκριμένο χρόνο, προκειμένου να μην λειτουργήσει αυτό εις βάρος του συντονιστικού και βοηθητικού ρόλου της κατά την μαθησιακή διαδικασία αλλά και για να μην χαθούν πολύτιμα

στοιχεία, όπως στιγμές, αντιδράσεις, εκφράσεις, επικοινωνιακές εντάσεις ή συναισθηματικές πλευρές. Πιο συγκεκριμένα, οι σημειώσεις παρατήρησης αφορούσαν σε τρεις κύριες κατηγορίες (Κεδράκα, 2008):

- Περιγραφικές σημειώσεις, που αφορούσαν την περιγραφή των αντιδράσεων και της στάσης των μαθητών σε διάφορες φάσεις της μαθησιακής διαδικασίας, με την καταγραφή λεκτικών και μη λεκτικών συμπεριφορών και αντιδράσεων.
- Θεωρητικές σημειώσεις, που ερμήνευαν και επιχειρούσαν να αποδώσουν νόημα σε κάποια από τα καταγεγραμμένα περιγραφικά στοιχεία δίνοντας μια πρώτη εξήγηση ή ερμηνεία καθώς και ανοιχτά ερωτήματα της ερευνήτριας.
- Μεθοδολογικές σημειώσεις, που αφορούσαν πληροφορίες στα προβλήματα που ανέκυπταν κατά τη διάρκεια της έρευνας καθώς και στην εκτίμησή σχετικά με την καταλληλότητα των μεθοδολογικών επιλογών και τις επιπτώσεις όλων των ζητημάτων αυτών στα αποτελέσματα της έρευνας.

Για τις ανάγκες της μη-δομημένης συμμετοχικής παρατήρησης των μαθητών συντάχθηκε ένα φύλλο παρατήρησης με βάση το φύλλο εργασίας παρατήρησης και τους κύριους άξονες της παρατήρησης που προτείνονται από την Παναγοπούλου (2015), κατάλληλα προσαρμοσμένα για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας (παράρτημα VII). Ένα ξεχωριστό φύλλο παρατήρησης χρησιμοποιήθηκε για κάθε διδακτική ενότητα που ενσωμάτωνε διδασκαλία με αξιοποίηση κάποιας δραστηριότητας ΕΠ.

Οι απόψεις των παιδιών για την αξιοποίηση των δραστηριοτήτων επαυξημένης πραγματικότητας, διερευνήθηκαν μέσω της πραγματοποίησης άτυπης ημιδομημένης διδασκαλίας (Cohen κ.ά, 2007). Οι συζητήσεις έγιναν σε δύο κύριους άξονες χωρίς ωστόσο να περιορίζεται η συζήτηση αυστηρά στα παρακάτω σημεία. Πιο συγκεκριμένα:

α) αναφορικά με την παιδαγωγική αξιολόγηση της εφαρμογής όπου τέθηκαν δύο κύριες ερωτήσεις στους μαθητές:

- Προτιμάς αυτό το είδος διδασκαλίας έναντι του παραδοσιακού μαθήματος;
- Θα ήθελες να χρησιμοποιηθεί αυτό το είδος διδασκαλίας και στις υπόλοιπες διδακτικές ενότητες;

β) αναφορικά με την τεχνική και λειτουργική αξιολόγηση του περιβάλλοντος ΕΠ όπου τέθηκαν οι ακόλουθες δύο ερωτήσεις στους μαθητές:

- Τί προβλήματα είχες κατά την διαδικασία μάθησης αξιοποιώντας τις δραστηριότητες ΕΠ;

- Τί θα πρότεινες να αλλάξει στη διαδικασία για να γίνει καλύτερη;

Πίνακας 11.2: Τα στοιχεία του εργαλείου RIMMS.

Στοιχείο	Διάσταση
1. Η ποιότητα της εφαρμογής με βοήθησε να κρατήσω την προσοχή μου στο διδακτικό αντικείμενο.	Προσοχή
2. Ο τρόπος που παρουσιάστηκε η πληροφορία από την δραστηριότητα με βοήθησε να είμαι συγκεντρωμένη/μένος σε αυτό που έκανα.	Προσοχή
3. Η ποικιλία του υλικού στη δραστηριότητα αυτή (συζήτηση, φύλλο με ερωτήσεις, κλπ.) με βοήθησαν να κρατήσω την προσοχή μου στο μάθημα..	Προσοχή
4. Μου είναι ξεκάθαρο το πώς συνδέεται το περιεχόμενο της δραστηριότητας που έκανα με γνώσεις που έχω ήδη.	Συνάφεια
5. Το περιεχόμενο και η παρουσίαση αυτού του μαθήματος μου έδωσαν την εντύπωση ότι είναι σημαντικό να το καταλάβω και να το μάθω.	Συνάφεια
6. Το περιεχόμενο αυτού του μαθήματος πιστεύω ότι θα μου είναι χρήσιμο.	Συνάφεια
7. Καθώς ασχολούμουν με τη δραστηριότητα αυτή ήμουν βέβαιη/βέβαιος ότι θα κατάφερα να μάθω το περιεχόμενο.	Αυτοπεποίθηση
8. Αφού δούλεψα σε αυτή τη δραστηριότητα για λίγο, ήμουν σίγουρη/σίγουρος ότι θα μπορούσα να περάσω ένα τεστ σε αυτό το μάθημα.	Αυτοπεποίθηση
9. Η καλή οργάνωση του περιεχομένου της δραστηριότητας που έκανα με έκανε να νιώθω σίγουρη ότι θα κατάφερα να καταλάβω αυτό το μάθημα.	Αυτοπεποίθηση
10. Ευχαριστήθηκα τόσο πολύ το μάθημα αυτό που θα ήθελα να μάθω και άλλα για την Κίνηση και τις Δυνάμεις μεταξύ των σωμάτων.	Ικανοποίηση
11. Πραγματικά ευχαριστήθηκα αυτό το μάθημα.	Ικανοποίηση
12. Ήταν μεγάλη η ευχαρίστηση μου να δουλέψω σε ένα τόσο καλά σχεδιασμένο μάθημα.	Ικανοποίηση

Για την καταγραφή των συζητήσεων με τα παιδιά χρησιμοποιήθηκε μαγνητοφώνηση σε ορισμένες περιπτώσεις ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις έγινε χειρόγραφη καταγραφή των απαντήσεων των μαθητών.

Προκειμένου να εκτιμηθεί η στάση των μαθητών απέναντι στη διαδικασία μάθησης με ενσωμάτωση των δραστηριοτήτων ΕΠ μέσω κινητών συσκευών στην καθημερινή διδακτική πρακτική της σχολικής τάξης για το μάθημα της Φυσικής, χρησιμοποιήθηκε και εδώ, όπως και κατά την Α' πειραματική φάση, η συνεπτυγμένη έκδοση του ερωτηματολογίου Keller (Reduced Keller's Instruction Motivation Survey Motivation Survey, IMMS) (Keller, 2015, 2010, 1987), RIMMS (Παράρτημα III). Τα κίνητρα μετρήθηκαν και πάλι με βάση τη μέση βαθμολογία των μαθητών σε κάθε μία από τις τέσσερις υποκλίμακες, προσοχή (A), συνάφεια (R), αυτοπεποίθηση (C) και ικανοποίηση (S). Οι παρακάτω τιμές χρησιμοποιήθηκαν για να υποδείξουν την απάντηση των μαθητών σε κάθε στοιχείο του εργαλείου: 1 - αληθές, 2 = λίγο αληθές, 3

= μέτρια αληθές, 4 = ως επί το πλείστον αληθές, 5 = πολύ αληθές. Κάθε υποκλίμακα απαρτίζεται από 3 στοιχεία του ερωτηματολογίου, όπως φαίνεται στον Πίνακα 11.2.

Αναφορικά με την λειτουργικότητα των περιβαλλόντων ΕΠ αλλά και την ανάδειξη των στοιχείων που δυσκόλεψαν και αυτών που ικανοποίησαν τους μαθητές χρησιμοποιήθηκε και πάλι το ερωτηματολόγιο «δυσκολίας/ευχαρίστησης» (Παράρτημα III). Το ερωτηματολόγιο «δυσκολίας/ευχαρίστησης» που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη φάση της εκπαιδευτικής έρευνας τροποποιήθηκε κατάλληλα ώστε οι ερωτήσεις να αναφέρονται πλέον στα φυσικά αντικείμενα-κύβους που αποτέλεσαν εδώ τους «στόχους» των δραστηριοτήτων ΕΠ έναντι των χαρτιών-«στόχων» που χρησιμοποιήθηκαν στην Α' φάση, αλλά και στα στοιχεία οθόνης των συγκεκριμένων περιβαλλόντων ΕΠ που αξιοποιήθηκαν σε αυτή τη φάση. Επιπλέον, μία ερώτηση τροποποιήθηκε και προστέθηκαν δύο επιπλέον ερωτήσεις σε μια προσπάθεια να εντοπισθούν οι αιτίες των δυσκολιών των μαθητών κατά τη μαθησιακή διαδικασία με αξιοποίηση των περιβαλλόντων ΕΠ.

Έτσι το ερωτηματολόγιο «δυσκολίας/ευχαρίστησης», προκειμένου να αποτιμήσει τα στοιχεία εκείνα της διδακτικής προσέγγισης που ευχαρίστησαν και δυσκόλεψαν τους μαθητές αποτελείται και πάλι από τις δύο μικρότερες δομές, τη δομή «δυσκολίας» και τη δομή «ευκολίας» αποτελούμενες εδώ αντίστοιχα από 10 και 4 στοιχεία. Οι τιμές σχετικά με τη δομή «δυσκολίας» κλιμακώθηκαν και πάλι από 1 έως 5 ως εξής: 5-καμία δυσκολία, 4 = μικρή δυσκολία, 3 = μέτρια δυσκολία, 2 = αρκετή δυσκολία, 1 = μεγάλη δυσκολία. Οι τιμές σχετικά με την δομή «ευχαρίστησης» κλιμακώθηκαν επίσης από 1 ως 5 ως εξής: 1-καμμία ευχαρίστηση, 2 = μικρή ευχαρίστηση, 3 = μέτρια ευχαρίστηση, 4 = αρκετή ευχαρίστηση, 5 = μεγάλη ευχαρίστηση. Για την αποτίμηση του βαθμού «δυσκολίας/ευχαρίστησης» των μαθητών υπολογίστηκε η μέση βαθμολογία ανά στοιχείο του ερωτηματολογίου.

Έτσι, η ερώτηση από το ερωτηματολόγιο «δυσκολίας/ευχαρίστησης» της Α' φάσης:

- (Τί σε δυσκόλεψε στην εφαρμογή;) Το να αποκωδικοποιήσεις τα δεδομένα που εμφανίζονταν πάνω στα χαρτάκια-«στόχους»; (φορτία, δυνάμεις)
- αντικαταστάθηκε εδώ από την ερώτηση :
- (Τί σε δυσκόλεψε στην εφαρμογή;) Το να αποκωδικοποιήσεις τα δεδομένα που εμφανίζονταν πάνω στα κυβάρια - «στόχους»; (ονόματα φυσικών μεγεθών, βελάκια για τη θέση, την ταχύτητα, τη δύναμη, κλπ.).

- Με ανάλογο τρόπο η ερώτηση:
- (Τί σε δυσκόλεψε στην εφαρμογή;) Το να διαχειριστείς τα χαρτάκια-«στόχους» της εφαρμογής;
- αντικαταστάθηκε από την ερώτηση:
- (Τί σε δυσκόλεψε στην εφαρμογή;) Το να διαχειριστείς τα κυβάρια-«στόχους» της εφαρμογής
- Επιπλέον η ερώτηση:
- (Τί σε δυσκόλεψε περισσότερο στην εφαρμογή;) Το να καταλάβεις τι σημαίνουν τα δεδομένα της οθόνης (φορτία , βελάκια, δυνάμεις);
- αντικαταστάθηκε από την ερώτηση:
- (Τί σε δυσκόλεψε περισσότερο στην εφαρμογή;) Το να καταλάβεις τα αριθμητικά δεδομένα της οθόνης (π.χ. θέση, μετατόπιση σε cm) ;»
- Η τροποποίηση αυτής της ερώτησης έγκειται στο γεγονός ότι η αποτίμηση του βαθμού δυσκολίας αναφορικά με τα επαυξημένα στοιχεία καλύπτεται ήδη από την τροποποιημένη ερώτηση:
- (Τί σε δυσκόλεψε στην εφαρμογή;) Το να αποκωδικοποιήσεις τα δεδομένα που εμφανίζονταν πάνω στα κυβάρια-«στόχους» (ονόματα φυσικών μεγεθών, βελάκια για τη θέση, την ταχύτητα, τη δύναμη, κλπ.).

Ως εκ τούτου, προτιμήθηκε να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στον βαθμό δυσκολίας που εισάγουν τα αριθμητικά δεδομένα της διεπαφής ΕΠ τα οποία αφενός είναι εδώ περισσότερα, αφετέρου η Α΄ φάση της έρευνας ανέδειξε ότι αποτελούν ιδιαίτερο στοιχείο δυσκολίας για τους μαθητές. Τέλος, για να εντοπισθεί από που πηγάζουν οι δυσκολίες των μαθητών προστέθηκαν οι ακόλουθες δύο ερωτήσεις:

- (Τί σε δυσκόλεψε περισσότερο;) Το να καταλάβεις τις οδηγίες στα φύλλα εργασίας και το τί πρέπει να κάνεις σε κάθε βήμα της διαδικασίας;) »,
- (Τί σε δυσκόλεψε περισσότερο;) Το να καταλάβεις αν έχεις κάνει κάποια σωστή ή κάποια λανθασμένη ενέργεια;»
- Επιπλέον, για τον ίδιο σκοπό, η ερώτηση:
- (Τί σε δυσκόλεψε περισσότερο;) Το να αλλάξεις τις τιμές και το είδος των φορτίων ;»

- αντικαταστάθηκε από την ερώτηση:
- (Τί σε δυσκόλεψε περισσότερο;) Το να αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον των εφαρμογών ΕΠ ώστε να εκτελέσεις τις ενέργειες με βάση τις οδηγίες στα φύλλα εργασίας;».
- Αναφορικά με την δομή ευχαρίστησης του ερωτηματολογίου, οι τρεις πρώτες ερωτήσεις παρέμειναν ίδιες ενώ η 4^η και τελευταία ερώτηση:
- (Τι σου άρεσε περισσότερο στην εφαρμογή;) Το ότι χειριζόσουν τα χαρτάκια-«στόχους» σαν αληθινά φορτία;
- αντικαταστάθηκε από την ερώτηση :
- (Τι σου άρεσε περισσότερο στην εφαρμογή;) Το ότι μπορούσες να βλέπεις τα αόρατα φυσικά μεγέθη (θέση, μετατόπιση, ταχύτητα) να εμφανίζονται και να αλλάζουν σύμφωνα με το πώς κινούσες τα κυβάρια - «στόχους»;

Τελικά, μετά από τις παραπάνω τροποποιήσεις, τα στοιχεία του ερωτηματολογίου «δυσκολίας/ευχαρίστησης» αναφορικά με το βαθμό δυσκολίας (10 στοιχεία) και ευχαρίστησης (4 στοιχεία) που βίωσαν οι μαθητές κατά τη διάρκεια της παρέμβασης διαμορφώθηκαν όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 11.3.

Πίνακας 11.3: Τα στοιχεία του ερωτηματολογίου «δυσκολίας/ευχαρίστησης» αναφορικά με το βαθμό δυσκολίας (10 στοιχεία) και ευχαρίστησης (4 στοιχεία) που βίωσαν οι μαθητές κατά τη διάρκεια της παρέμβασης.

Στοιχείο	Βαθμός δυσκολίας των μαθητών αναφορικά με:
1	Τη χρήση της κινητής συσκευής
2	Τη συνεργασία με τα άλλα μέλη της ομάδας
3	Το χειρισμό του μενού της εφαρμογής
4	Το χειρισμό των φυσικών αντικειμένων - «στόχων» της εφαρμογής
5	Την αποκωδικοποίηση των ψηφιακών δεδομένων πάνω στα κυβάρια - «στόχους»
6	Την κατανόηση των οδηγιών, όπου αυτές παρουσιάζονται στα φύλλα εργασίας.
7	Την εκτέλεση των οδηγιών μέσα στο περιβάλλον της εφαρμογής με βάση τις οδηγίες
8	Την λήψη ανατροφοδότησης από το περιβάλλον της εφαρμογής ΕΠ για σωστή ή λανθασμένη εκτέλεση ενέργειας
9	Τη διάκριση μεταξύ πραγματικής και ψηφιακής πληροφορίας επί της οθόνης
10	Την κατανόηση των αριθμητικών δεδομένων της οθόνης (π.χ. θέση, μετατόπιση σε cm)

Στοιχείο	Βαθμός ευχαρίστησης των μαθητών αναφορικά με:
1	Τη χρήση της κινητής συσκευής
2	Τη συνεργασία με τα άλλα μέλη της ομάδας
3	Το χειρισμό των μενού της εφαρμογής
4	Την οπτικοποίηση των φυσικών μεγεθών κατά την κίνηση των κύβων - «στόχων»

11.3 Ανάλυση των αποτελεσμάτων

Βάσει των αποτελεσμάτων του ερωτηματολογίου RIMMS, διεξήχθη μια δοκιμή αξιοπιστίας κλίμακας για την αξιοπιστία εσωτερικής συνέπειας του εργαλείου RIMMS. Η συνολική αξιοπιστία κάθε κλίμακας με βάση το δείκτη Άλφα του Cronbach (Cronbach Alpha) συνοψίζεται στον Πίνακα 11.4. Τα δεδομένα υποδηλώνουν καλή αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Αν και η τιμή της σταθεράς α του Cronbach για την διάσταση της Προσοχής (A) και της ικανοποίησης (S) είναι κάπως χαμηλότερες σε σύγκριση με τις τιμές των άλλων τεσσάρων διαστάσεων, θεωρούνται αποδεκτές (George & Mallery 2003).

Πίνακας 11.4: Αξιοπιστία του εργαλείου RIMMS (n=18).

Διάσταση	Σταθερά α του Cronbach
Προσοχή	0.77
Συνάφεια	0.82
Αυτοπεποίθηση	0.81
Ικανοποίηση	0.79
Σύνολο	0.88

Αναφορικά με τα επίπεδα κινητοποίησης των μαθητών, τα αποτελέσματα με βάση τη μέση βαθμολογία σε κάθε μία από τις τέσσερις επιμέρους κλίμακες του εργαλείου RIMMS συνοψίζονται στον Πίνακα 11.5.

Στη διάσταση της προσοχής, η συνολική μέση βαθμολογία ήταν 3.76, υποδεικνύοντας ανώτερα επίπεδα προσοχής. Στη διάσταση της συνάφειας, η συνολική μέση βαθμολογία ήταν 3.94, γεγονός που δηλώνει ότι οι μαθητές αισθάνθηκαν αρκετά σίγουροι ότι το μαθησιακό υλικό ήταν συναφές με το τί ενδιαφέρονταν να μάθουν, σε σχέση με το μαθησιακό αντικείμενο. Στη διάσταση αυτοπεποίθησης η συνολική μέση βαθμολογία ήταν 3,83 δείχνοντας ένα επίπεδο εμπιστοσύνης αρκετά πάνω από το μέσο όρο. Τέλος, με βάση τη μέση βαθμολογία στη διάσταση ικανοποίησης ($M = 4,09$)

μπορούμε να υποθέσουμε ότι οι μαθητές βίωσαν μια υψηλή αίσθηση ικανοποίησης κατά τη διάρκεια της διδακτικής προσέγγισης με αξιοποίηση των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ.

Πίνακας 11.5: Οι μέσες βαθμολογίες των μαθητών για κάθε μια από τις τέσσερις υποκλίμακες του εργαλείου RIMMS και επί του συνόλου των ερωτήσεων (n=18).

Υποκλίμακα	Ελάχιστη βαθμολογία	Μέγιστη βαθμολογία	Μέση βαθμολογία
Προσοχή	3.72	4.83	3.76
Συνάφεια	3,89	4,06	3,94
Αυτοπεποίθηση	3.67	4.11	3.83
Ικανοποίηση	3.78	4.33	4.09
Συνολικά	3.67	4.83	3.91

Με βάση τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου «δυσκολίας/ευχαρίστησης», πραγματοποιήθηκε και πάλι δοκιμή αξιοπιστίας κλίμακας για τον έλεγχο αξιοπιστίας της εσωτερικής συνέπειας του ερωτηματολογίου. Η αξιοπιστία και των δύο ομάδων ερωτήσεων με βάση τη σταθερά α του Cronbach στον Πίνακα 11.6 υποδεικνύει καλή εσωτερική συνέπεια του ερωτηματολογίου.

Πίνακας 11.6: Αξιοπιστία του εργαλείου «δυσκολίας/ευχαρίστησης».

Κλίμακα	Σταθερά alpha του Cronbach
Βαθμός Δυσκολίας (8 στοιχεία)	0.92 (n=18)
Βαθμός ευχαρίστησης (4 στοιχεία)	0.83 (n=17)

Αναφορικά με τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου «δυσκολίας/ευχαρίστησης», προέκυψε ότι συνολικά, οι μαθητές δεν δυσκολεύτηκαν ιδιαίτερα κατά το χειρισμό των περιβαλλόντων ΕΠ. Συγκεκριμένα, οι μαθητές δεν αντιμετώπισαν σχεδόν καμία δυσκολία στη χρήση των κινητών συσκευών κατά τη διάρκεια της προσέγγισης ($M = 4.17$) και συνεργάστηκαν χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα με τους συμμαθητές τους ($M = 3,94$). Παράλληλα, οι μαθητές χειρίστηκαν με ιδιαίτερη ευκολία τα κυβάρια-στόχους ($M = 4,22$). Η διαχείριση των μενού των εφαρμογών ΕΠ επίσης δεν εισήγαγε σημαντικές δυσκολίες για τους μαθητές ($M = 3,94$). Επιπλέον, οι μαθητές δεν δυσκολεύονταν σημαντικά στο να διακρίνουν μεταξύ πραγματικών και επαυξημένων δεδομένων ($M = 3,72$) ενώ κατάφερναν να κατανοήσουν το τί συμβόλιζαν κάθε φορά τα ψηφιακά δεδομένα πάνω στα κυβάρια-στόχους με μικρή, γενικά, προσπάθεια ($M=3.61$).

Παράλληλα, αντιμετώπισαν μικρή δυσκολία σε σχέση με την κατανόηση/ερμηνεία των αριθμητικών δεδομένων στο περιβάλλον των δραστηριοτήτων ΕΠ (M = 3,94), όπως οι τιμές για τη θέση και τη μετατόπιση.

Πίνακας 11.7: Οι μέσες βαθμολογίες των μαθητών στις δύο δομές του εργαλείου «δυσκολίας/ευχαρίστησης» .

Στοιχείο	Βαθμός δυσκολίας σε σχέση με:	Μέση βαθμολογία
1	τη χρήση της κινητής συσκευής	4.17
2	τη συνεργασία με τα άλλα μέλη της ομάδας	3.94
3	το χειρισμό του μενού της εφαρμογής	3.94
4	το χειρισμό των κύβων-«στόχων» της εφαρμογής	4.22
5	τη διάκριση μεταξύ πραγματικής και ψηφιακής πληροφορίας επί της οθόνης	3.72
6	τη κατανόηση των οδηγιών σχετικά με το τί πρέπει να γίνει μέσα στο περιβάλλον των δραστηριοτήτων ΕΠ	3.94
7	η εκτέλεση των υποδεικνυόμενων ενεργειών σύμφωνα με τις οδηγίες, μέσα στο περιβάλλον των δραστηριοτήτων ΕΠ	3.83
8	η κατανόηση για το αν έχει εκτελεστεί σωστά κάποια ενέργεια, μέσα στο περιβάλλον των δραστηριοτήτων ΕΠ	3.89
9	η κατανόηση των αριθμητικών δεδομένων επί της οθόνης	3.94
10	Την αποκωδικοποίηση των ψηφιακών δεδομένων πάνω στα κυβάρια - «στόχους»	3,61

Στοιχείο	Βαθμός ευχαρίστησης σε σχέση με:	Μέση βαθμολογία
1	η χρήση της κινητής συσκευής	4.12
2	η συνεργασία με τα άλλα μέλη της ομάδας	3.88
3	ο χειρισμός του μενού της εφαρμογής	3.94
4	Την οπτικοποίηση των φυσικών μεγεθών κατά την κίνηση των κύβων - «στόχων»	4.24

Τέλος, μικρή δυσκολία σημειώθηκε, γενικά, κατά την κατανόηση των οδηγιών με βάση τα φύλλα εργασίας (M=3,94) αλλά και κατά την εκτέλεση των ζητούμενων ενεργειών μέσα στο περιβάλλον των δραστηριοτήτων ΕΠ (M=3,83). Συνολικά, υπήρξε ικανοποιητική ανατροφοδότηση από τα περιβάλλοντα ΕΠ για το αν οι ενέργειες των μαθητών μέσα στα περιβάλλοντα ΕΠ ήταν οι σωστές (M=3,89).

Από την άλλη πλευρά, οι μαθητές φάνηκαν να βίωσαν υψηλά επίπεδα απόλαυσης όσον αφορά τη χρήση των κινητών συσκευών ($M = 3,94$) και ευχαριστήθηκαν ιδιαίτερα από τη συνεργασία με τους συμμαθητές τους ($M = 3,53$). Παράλληλα, έδειξαν αρκετά ικανοποιημένοι από τον χειρισμό των στόχων ($M = 3.98$) και των μενού της διεπαφής ($M = 3.53$). Τέλος, η προσέγγιση της οπτικοποίησης των φυσικών μεγεθών πάνω στα φυσικά αντικείμενα που χειρίζονταν οι ίδιοι οι μαθητές αποτέλεσε ισχυρό στοιχείο ικανοποίησης ($M=4.24$).

Αναλύοντας τις συνεντεύξεις των μαθητών, προέκυψε ότι όλοι ανεξαιρέτως οι μαθητές – προτιμούν αυτό το είδος διδασκαλίας έναντι του παραδοσιακού καθώς και ότι επιθυμούν την ενσωμάτωσή τέτοιων δραστηριοτήτων σε όλες της διδακτικές ενότητες της Φυσικής. Επιπλέον, πολλοί από τους μαθητές είπαν ότι θα επιθυμούσαν τέτοιες δραστηριότητες να ενσωματώνονται και στα υπόλοιπα μαθήματα. Αναφορικά με την τεχνική και λειτουργική αξιολόγηση του περιβάλλοντος ΕΠ, οι περισσότεροι μαθητές δήλωσαν ότι δεν είχαν κανένα πρόβλημα κατά τη μαθησιακή διαδικασία μέσω των δραστηριοτήτων ΕΠ και δεν επιθυμούσαν ή δεν θεώρησαν απαραίτητο να γίνει κάποια αλλαγή. Τρεις από τους δεκαοκτώ μαθητές σχολίασαν ότι δυσκολεύτηκαν να πατήσουν τα κουμπιά στην οθόνη λόγω μεγέθους και θα επιθυμούσαν να ήταν αυτά μεγαλύτερα. Μία μαθήτρια είπε ότι θα ήθελε να γίνεται πιο εύκολα η αναγνώριση του κύβου-«στόχου» από την κάμερα της κινητής συσκευής. Παράλληλα, τρεις μαθητές εξέφρασαν μια μικρή δυσκολία στο να καταλαβαίνουν τί εκφράζουν σε κάθε περιβάλλον ΕΠ τα διανύσματα-βέλη. Τέλος, ένας από τους μαθητές, υψηλών μαθησιακών επιδόσεων, είπε ότι βρήκε τη γενική ιδέα της δημιουργίας των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ *πολύ καλή και πολύ εκπαιδευτική*. Επιπλέον, ο ίδιος μαθητής πρότεινε οι εφαρμογές ΕΠ να γίνουν πιο αναλυτικές, με περισσότερα δεδομένα, και όπως είπε χαρακτηριστικά: *να τραβάνε περισσότερο την προσοχή να μοιάζουν περισσότερο με παιχνίδι*.

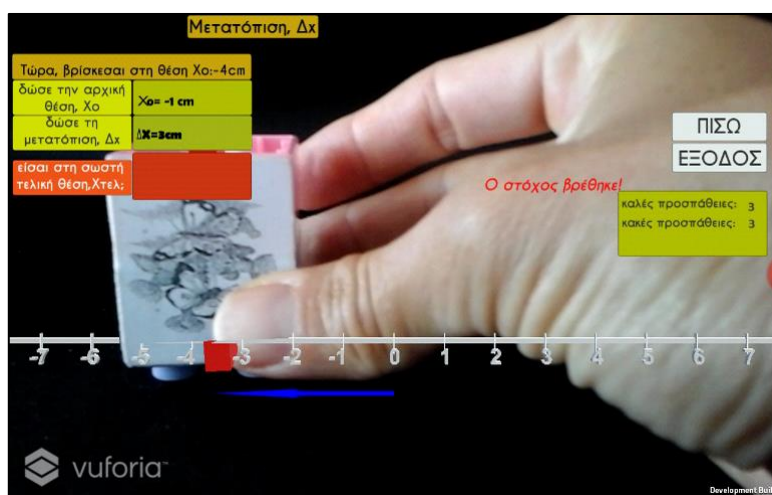
Με βάση την ανάλυση των σημειώσεων παρατήρησης (συνολικά 5 φύλλα, ένα φύλλο για κάθε διδακτική ενότητα), προέκυψαν αρκετά συμπεράσματα.

Στην αρχή οι μαθητές φάνηκαν ενθουσιασμένοι με την ιδέα της χρήσης κινητών κατά τη διάρκεια του μαθήματος. Ήταν ωστόσο διστακτικοί στο πώς να χειριστούν τα φυσικά αντικείμενα και στο πώς να ερμηνεύσουν την ανάδραση από το περιβάλλον ΕΠ. Ως αποτέλεσμα, ζητούσαν συχνά βοήθεια και διευκρινίσεις τόσο σε σχέση με τα στοιχεία των περιβαλλόντων ΕΠ όσο και με τις ενέργειες στα φύλλα εργασίας. Δεδομένου ότι μέσα στην τάξη δεν υπήρχε η δυνατότητα να υπάρχει δεύτερο άτομο είτε για το ρόλο του διδάσκοντα-συντονιστή είτε για το ρόλο του παρατηρητή, οι πρώτες δύο συνεδρίες

πειραματισμού των μαθητών στο περιβάλλον ΕΠ ήταν αρκετά δύσκολες σε επίπεδο διαχείρισης, κυρίως λόγω των πολλαπλών ταυτόχρονων απαιτήσεων για τη διδάσκουσα-ερευνήτρια. Η διδάσκουσα έπρεπε να επιλύει σειριακά όλα τα ζητήματα που προέκυπταν και ταυτόχρονα να παρατηρεί και να σημειώνει ότι έκρινε σημαντικό. Έτσι, οι μαθητές χρειάζονταν να περιμένουν συχνά αρκετό χρόνο μέχρι να έρθει η σειρά μιας ομάδας και αυτό επαναλαμβανόταν σε κάθε σχεδόν βήμα της διαδικασίας. Ωστόσο, αυτό δεν μείωσε καθόλου τον ενθουσιασμό τους και επέδειξαν ιδιαίτερη υπομονή, χωρίς να διαμαρτύρονται ή να δυσανασχετούν.

Παράλληλα, η ιδιαιτερότητα της διεπαφής ΕΠ των μαθησιακών περιβαλλόντων φάνηκε να εισάγει και κάποια τεχνικά ζητήματα με κυρίαρχο την ανάγκη σταθεροποίησης της κινητής συσκευής σε σχέση με τον κινούμενο στόχο. Επίσης ένα ανάλογο θέμα ήταν η τοποθέτηση του κύβου-στόχου κατά τέτοιο τρόπο κάθε φορά ώστε να είναι μεν αρκετά κοντά στην κάμερα του κινητού για να είναι ανιχνεύσιμος αλλά να βρίσκεται και σε τέτοια απόσταση από το κινητό ώστε να μπορεί η κάμερα να καλύψει ταυτόχρονα και ένα αρκετά ευρύ πεδίο γύρω από τον κύβο-στόχο ο οποίος θα αποτελούσε το πεδίο κίνησης του, σε όλες τις περιπτώσεις κίνησης. Το περιορισμένο πεδίο κάλυψης του πραγματικού χώρου από την κάμερα της κινητής συσκευής σε συνδυασμό με τα ψηφιακά στοιχεία της διεπαφής ΕΠ επιβάλλουν περιορισμό στο πεδίο κίνησης του αντικείμενου-στόχου σε σχέση με την κάμερα. Έτσι, τόσο ο κύβος-στόχος όσο και το πεδίο κίνησης του δεν έπρεπε να καλύπτονται από το σταθερό μενού της διεπαφής μέσα στα περιβάλλοντα ΕΠ (εικόνα 11.6). Επιπλέον, το αντικείμενο-στόχος δεν έπρεπε να κινείται πολύ γρήγορα γιατί η κάμερα της συσκευής αδυνατούσε να το παρακολουθήσει και ταυτόχρονα να το επαυξήσει σε πραγματικό χρόνο. Η διαχείριση αυτών των περιορισμών που οφείλονταν στην ιδιαιτερότητα της διεπαφής ΕΠ σε συνδυασμό με τον αρχικό ενθουσιασμό των παιδιών για τη χρήση του κινητού ως μαθησιακό μέσο, αρχικά διεκδίκησαν ένα μέρος της προσοχής τους εις βάρος της προσέγγισης των μαθησιακών στόχων. Καθώς συνήθιζαν σταδιακά στη διαδικασία, και εξοικειώνονταν με τον τρόπο κωδικοποίησης της επαυξημένης πληροφορίας στο περιβάλλον της διεπαφής, οι μαθητές γρήγορα φάνηκαν όλο και πιο συγκεντρωμένοι στους στόχους της διαδικασίας και γίνονταν όλο και πιο επινοητικοί σε σχέση με τα τεχνικά θέματα που προέκυπταν κατά τον χειρισμό των κύβων-στόχων. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει και η συγκεντρωτική μελέτη των συμπληρωμένων φύλλων εργασίας. Παράλληλα, με βάση την ανάδραση των παιδιών και τις σχετικές μεθοδολογικές σημειώσεις της ερευνήτριας κατά τις δύο πρώτες συνεδρίες με μαθησιακά αντικείμενα

τις έννοιες της Θέσης και την έννοια της Μετατόπισης, προέκυψαν κάποια ζητήματα που αφορούσαν στον σχεδιασμό των περιβαλλόντων ΕΠ και των φύλλων εργασίας. Συγκεκριμένα, κάποιοι μαθητές εξέφρασαν δυσκολία στο να καταλάβουν τί ακριβώς αντιπροσώπευε κάθε βέλος-διάνυσμα. Παράλληλα, ορισμένα παιδιά ζήτησαν να γίνουν λίγο μεγαλύτερα κάποια κουμπιά καθώς και τα γράμματα, όπου υπήρχαν. Επίσης, ορισμένοι μαθητές τοποθετούσαν ανάποδα το κυβάκι με αποτέλεσμα κάποιες φορές να μην εμφανίζονται τα επαυξημένα δεδομένα σωστά προσανατολισμένα πάνω στα φυσικά αντικείμενα. Για να αντιμετωπιστούν τα παραπάνω ζητήματα στα περιβάλλοντα ΕΠ που χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για τη διδασκαλία των εννοιών «ΤΡΟΧΙΑΤΑΧΥΤΗΤΑ» και «ΔΥΝΑΜΕΙΣ» προστέθηκαν ετικέτες με το όνομα των φυσικών μεγεθών και το σύμβολό τους ακριβώς πάνω στο βέλος που αντιπροσωπεύει το φυσικό μέγεθος. Έτσι, για παράδειγμα, πάνω από το μεταβλητό βέλος της ταχύτητας προστέθηκε η ετικέτα «ταχύτητα, u ». Επιπλέον, προστέθηκε ένα διακριτικό σημάδι πάνω στα κυβάκια ώστε να γνωρίζουν οι μαθητές πώς ακριβώς θα πρέπει να το κρατούν προσανατολισμένο σε σχέση με την κάμερα της κινητής συσκευής τους. Τέλος, έγιναν κάποιες αλλαγές στα φύλλα εργασίας ώστε να είναι πιο επεξηγηματικές οι οδηγίες.



Εικόνα 11.6: Το πεδίο κάλυψης του πραγματικού χώρου από την κάμερα της κινητής συσκευής είναι περιορισμένο.

Οι παραπάνω αλλαγές σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι μαθητές κατά τις επόμενες δραστηριότητες άρχισαν να πειραματίζονται στα περιβάλλοντα ΕΠ ανά δύο στα θρανία τους χωρίς να μετακινούνται προκειμένου να σχηματίσουν ομάδες των τριών, αλλά και η βαθμιαία εξοικείωση τους στις νέες συνθήκες μάθησης, βελτίωσαν σε μεγάλο βαθμό τις συνθήκες μάθησης μέσα στην τάξη και ομαλοποιήθηκε ο συντονισμός και η οργάνωση των μαθητών.

Τέλος, δεδομένου ότι οι μαθητές σπάνια έχουν την ευκαιρία να φέρουν κινητά στο σχολείο και ακόμη σπανιότερα να τα χρησιμοποιήσουν μέσα στην τάξη, χρειάστηκε επιπλέον προσοχή ώστε να διασφαλίζεται διαρκώς ότι κανένας μαθητής δεν θα κάνει παράτυπη χρήση της κινητής του συσκευής. Αρχικά, κάποιες ομάδες σε αναμονή δοκίμασαν να ανοίξουν κάποιες άλλες εφαρμογές αλλά αμέσως συμμορφώθηκαν στις παρατηρήσεις και κανένας δεν επιχείρησε ξανά να δοκιμάσει κάτι ανάλογο.

Με βάση την παρακολούθηση των μαθητών κατά τις επόμενες διδακτικές συνεδρίες που έγιναν με πειραματισμό των παιδιών στα περιβάλλοντα ΕΠ προέκυψαν τρεις σημαντικές παρατηρήσεις. Πρώτον, οι μαθητές έδειξαν να εμπλέκονται πιο ενεργά στη διαδικασία μάθησης, δηλαδή φάνηκε να αποκτά για αυτούς ολοένα και περισσότερη σημασία το να εκτελούν σωστά τα βήματα των φύλλων εργασίας ακόμη και για τις δραστηριότητες στις οποίες δεν απαιτούνταν η συγκέντρωση βαθμών, όπως με την περίπτωση του περιβάλλοντος ΕΠ για τη διδασκαλία των Δυνάμεων. Επιπλέον, οι μαθητές εργάζονταν χαρούμενοι μέσα στα μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ γεγονός το οποίο επιβεβαιώνουν και οι φωτογραφίες που απεικονίζουν τους μαθητές εν ώρα πειραματισμού (εικόνα 11.7). Τέλος, οι περισσότεροι από τους πιο αδύναμους μαθητές έδειξαν αυξημένη προθυμία να ακολουθήσουν τη μαθησιακή διαδικασία γεγονός όχι αναμενόμενο αφού υπήρχε ο φόβος να αποθαρρυνθούν ακόμη περισσότερο κρίνοντας ότι τα μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ πιθανώς να αποτελούσαν από μόνα τους δυσκολότερες μαθησιακές συνθήκες. Αντίθετα, αυτοί φάνηκαν να θεωρούν ότι ο συγκεκριμένος τρόπος μάθησης εξίσωνε με κάποιο τρόπο τους μαθητές σε γνωστικό επίπεδο και προσέφερε σε όλους τις ίδιες δυνατότητες μάθησης και εμπλοκής. Κάτι τέτοιο μπορεί να οφείλεται σε ένα βαθμό στο ότι η σωστή εκτέλεση των βημάτων απαιτούσε και άλλου τύπου ενέργειες πέρα από το να δοθεί απλά η ορθή απάντηση όπως για παράδειγμα η μετακίνηση του κύβου-στόχου σε συγκεκριμένη τροχιά, ευθεία ή κυκλική, ή η σωστή τοποθέτηση της κινητής συσκευής σε σχέση με το αντικείμενο και άλλες αντίστοιχες ενέργειες οι οποίες πολλές φορές εκτελούνταν πιο επιτυχημένα από τους αδύναμους μαθητές. Έτσι με βάση την τελευταία αυτή παρατήρηση, προκύπτει ότι η ενσωματωμένη εμπλοκή των μαθητών σε ανάλογες μαθησιακές εμπειρίες ΕΠ επιδρά θετικά και εντείνει την κινητοποίηση και την εμπλοκή των μαθητών.



Εικόνα 11.7: Οι μαθητές εργάζονται συγκεντρωμένοι, μέσα σε κλίμα συνεργασίας και καλής διάθεσης.

11.4 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων

Με βάση τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου RIMMS αλλά και την παρατήρηση των μαθητών, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο ομαδοσυνεργατικός πειραματισμός στα μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ με χρήση των κινητών συσκευών κατά τη χρονική διάρκεια διδασκαλίας των ενότητων «ΚΙΝΗΣΕΙΣ» και «ΔΥΝΑΜΕΙΣ» ικανοποίησε και κινητοποίησε ισχυρά τους μαθητές, κατάφερε να τους εμπλέξει στη μαθησιακή διαδικασία αλλά και να κρατήσει την προσοχή τους σε όλη τη διάρκεια των τριών περίπου μηνών που διήρκησε η διδασκαλία με χρήση των περιβαλλόντων ΕΠ. Σταδιακά, η αυτοπεποίθηση των μαθητών ενισχύθηκε και έτσι συνολικά, με την ολοκλήρωση της διδασκαλίας, εξέφρασαν υψηλό βαθμό αυτοπεποίθησης σε σχέση με τις ικανότητες και τις γνώσεις που αποκτούσαν από την συγκεκριμένη μαθησιακή διαδικασία. Τα σχόλια των μαθητών επί της διαδικασίας έδειξαν ότι αυτοί όχι μόνο δεν αισθάνθηκαν πλήξη αλλά εξέφρασαν την επιθυμία να διδαχθούν όλες τις διδακτικές ενότητες του Αναλυτικού Προγράμματος για το μάθημα της Φυσικής συμμετέχοντας σε ανάλογες εμπειρίες.

Τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου «Δυσκολίας/Ευχαρίστησης» επίσης έδειξαν ότι οι νέες συνθήκες μάθησης μέσω πειραματισμού στα περιβάλλοντα ΕΠ δεν έθεσαν σημαντικές δυσκολίες αλλά εισήγαγαν χαρακτηριστικά μάθησης που άρεσαν ιδιαίτερα στους μαθητές. Συγκεκριμένα, τόσο με βάση την παρατήρηση αλλά και την ανάλυση

των αποτελεσμάτων στο ερωτηματολόγιο «δυσκολίας/ευχαρίστησης» οι μαθητές έδειξαν από την αρχή μεγάλη ευχέρεια αλλά και ικανοποίηση με τη χρήση των κινητών συσκευών ως μαθησιακών εργαλείων και στη συνέχεια έγιναν πολλές φορές επινοητικοί αναφορικά με το βέλτιστο χειρισμό των κινητών συσκευών σε σχέση με τον εντοπισμό και την επαύξηση των κύβων-στόχων. Άλλωστε, δεν φάνηκαν να δυσκολεύονται καθόλου κατά το χειρισμό των κύβων-στόχων, αντίθετα αυτό αποτέλεσε ισχυρό στοιχείο ικανοποίησης και ευχαρίστησης. Παράλληλα, το κυρίαρχο στοιχείο της οπτικοποίησης των φυσικών μεγεθών και της εμφάνισής τους πάνω στα φυσικά αντικείμενα που οι ίδιοι χειρίζονταν ικανοποίησε πολύ τα παιδιά. Αρχικά, οι μαθητές έδειξαν ενθουσιασμένοι με τις νέες συνθήκες μάθησης. Σταδιακά, και καθώς συνήθιζαν σε αυτές, μεγάλωνε ο βαθμός συγκέντρωσης τους στους μαθησιακούς στόχους που έθεταν τα φύλλα εργασίας και η εμπλοκή τους στα περιβάλλοντα πειραματισμού ΕΠ.

Αναφορικά με τις παραμέτρους που εισήγαγαν τα περιβάλλοντα πειραματισμού ΕΠ μπορούμε να πούμε ότι ούτε εκεί οι μαθητές εμφάνισαν σημαντικές δυσκολίες. Τα παιδιά αντιμετώπισαν αποτελεσματικά τους περιορισμούς που εισήγαγε η διεπαφή ΕΠ, χειρίστηκαν όλα τα μενού των διεπαφών ΕΠ με άνεση και συνάντησαν μικρές μόνο δυσκολίες στην κατανόηση των οδηγιών στα φύλλα εργασίας, ζητώντας κάποιες φορές επεξηγήσεις. Το τροποποιημένο ερωτηματολόγιο «δυσκολίας/ευχαρίστησης» ανέδειξε επίσης ως αιτία σχετικής δυσκολίας την εκτέλεση των αντίστοιχων ενεργειών με βάση τις οδηγίες, μέσα στα περιβάλλοντα ΕΠ. Κάποιες φορές επίσης οι μαθητές χρειάζονταν διευκρινίσεις σχετικά με το τί ακριβώς αναπαριστά η επαυξημένη ψηφιακή πληροφορία πάνω στο φυσικό αντικείμενο. Κάτι τέτοιο ήταν αναμενόμενο και οι παραπάνω δυσκολίες αντιμετωπίστηκαν συχνά και ξεπεράστηκαν εύκολα με συζήτηση μεταξύ της διδάσκουσας και των μαθητών σε επίπεδο τάξης. Επιπλέον, η επιλογή να εμφανίζονται περιορισμένα αριθμητικά δεδομένα κάθε φορά στη διεπαφή των περιβαλλόντων ΕΠ, πάντοτε σε σχέση με ένα φυσικό μέγεθος, φάνηκε να διευκολύνει τους μαθητές. Η συνεργασία μεταξύ των μαθητών έδειξε να λειτουργεί πολύ θετικά και να αποτελεί στοιχείο ενισχυτικό για την περιγραφόμενη μαθησιακή διαδικασία, το ίδιο και ο χειρισμός των φυσικών αντικειμένων-στόχων, γεγονός που επιβεβαιώνει την θετική επίδραση της σωματοποιημένης μάθησης κατά τη διδασκαλία εννοιών και φαινομένων της Φυσικής. Επιπλέον, με βάση την παρατήρηση των μαθητών προέκυψε ότι οι πιο αδύναμοι μαθητές μπόρεσαν να εμπλακούν ενεργότερα στη μαθησιακή διαδικασία όταν οι ομάδες εργασίας διαμορφώθηκαν ανά θρανίο σε ομάδες των δύο μαθητών. Αυτό οφείλεται κατά ένα μέρος στη μεγαλύτερη εξοικείωση των μαθητών με τον «διπλανό» τους στο θρανίο

αλλά και στο γεγονός ότι, όπως σημειώθηκε και κατά την ανάλυση των δεδομένων παρατήρησης, οι μαθητές αυτοί μπόρεσαν σταδιακά να επιδείξουν και άλλες δεξιότητες και να «αυτοσχεδιάσουν» σε σχέση με τον χειρισμό της κινητής συσκευής και των αντικειμένων-στόχων (εικόνα 11.8), γεγονός που ενθάρρυνε την περαιτέρω εμπλοκή τους στη μαθησιακή διαδικασία καθώς αυτή εξελίσσονταν χρονικά.



Εικόνα 11.8: Οι μαθητές «αυτοσχεδιάζουν» με τα πραγματικά στοιχεία της διεπαφής ΕΠ προκειμένου να πραγματοποιήσουν τα βήματα του φύλλου εργασίας .

Σε σχέση, τέλος, με την οργάνωση και το συντονισμό της διδακτικής προσέγγισης που επιχείρησε την ενσωμάτωση των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ στην καθημερινή διδασκαλία των κινήσεων και των δυνάμεων, υπήρξαν κάποιες ιδιαιτερότητες αλλά και δυσκολίες. Ως πιο σημαντική από αυτές αναδύθηκε ο συντονισμός της μαθησιακής διαδικασίας και η ταυτόχρονη παρακολούθηση της γνωστικής προόδου των μαθητών με βάση τα φύλλα εργασίας από ένα μόνο διδάσκοντα. Συγκεκριμένα, η διδάσκουσα ήταν επιφορτισμένη με πολλά παράλληλα καθήκοντα: επίλυση αποριών και υποστήριξης αναφορικά με την χρηστικότητα της διεπαφής ΕΠ, παροχή βοήθειας σε σχέση με την εκτέλεση των βημάτων στα φύλλα εργασίας, παρακολούθηση της συμπλήρωσης των φύλλων εργασίας για τον έλεγχο της επίτευξης των στόχων και ταυτόχρονα την αλίευση των γνωστικών εμποδίων και την αξιοποίησή τους για προβληματισμό μέσα στην κάθε

ομάδα και την αναπροσαρμογή της διαδικασίας πειραματισμού όπου ήταν απαραίτητο, καταγραφή σημειώσεων για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα κάποιες φορές να δημιουργείται επιπλέον καθυστέρηση αφού έπρεπε οι παραπάνω εργασίες να εκτελούνται με σειριακό τρόπο. Ευτυχώς οι μαθητές επέδειξαν υπομονή και διατήρησαν το ενδιαφέρον τους στη διαδικασία γεγονός ιδιαίτερα ενθαρρυντικό αναφορικά με την ικανότητα του περιβάλλοντος ΕΠ να τους εμπλέξει στη μαθησιακή διαδικασία. Κατά την παρούσα έρευνα ο βαθμός δυσκολίας αυξήθηκε ακόμη περισσότερο λόγω του μη επαρκούς αριθμού κινητών συσκευών ώστε όλες οι ομάδες να πειραματίζονται ταυτόχρονα μέσα στα περιβάλλοντα ΕΠ και να μην χρειάζεται να συντονίζονται οι μισοί μαθητές ξεχωριστά σε άλλο αντικείμενο.

Παράλληλα, είναι σημαντικό να τονιστεί η εξάρτηση της επιτυχίας αξιοποίησης των περιβαλλόντων ΕΠ από τον σωστό σχεδιασμό των φύλλων εργασίας αναφορικά με τις δραστηριότητες ΕΠ. Τα βήματα στα φύλλα εργασίας θα πρέπει να είναι έτσι δομημένα ώστε να βοηθούν και να διευκολύνουν τους μαθητές να κάνουν τις σωστές ενέργειες μέσα στα περιβάλλοντα ΕΠ και στη συνέχεια η ανατροφοδότηση την οποία λαμβάνουν από την πραγματοποίηση των ενεργειών αυτών να ειδοποιεί τους μαθητές με τρόπο άμεσο και κατανοητό για το αποτέλεσμα των ενεργειών τους σε σχέση με τους διδακτικούς στόχους. Από το σωστό σχεδιασμό των φύλλων εργασίας κρίνεται σε μεγάλο βαθμό η επιτυχία της παρούσας διδακτικής προσέγγισης καθώς θα πρέπει, αφενός τα βήματα που προτείνει να ανταποκρίνονται με ακρίβεια στους μαθησιακούς στόχους και αφετέρου οι ερωτήσεις αποτίμησης του βαθμού επίτευξης των στόχων να είναι τέτοιες ώστε να μπορούν να απαντηθούν σύντομα αλλά ταυτόχρονα να μαρτυρούν και το βαθμό κατάκτησης της υποκείμενης γνώσης από τους μαθητές. Όπως ήδη αναφέρθηκε, δεν ήταν δυνατό να αποτιμηθεί ποσοτικά η αποτελεσματικότητα της παρούσας διδακτικής προσέγγισης αναφορικά με την μαθησιακή πρόοδο των μαθητών μέσα στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας. Ωστόσο, η συνεχής παρακολούθηση της συμπλήρωσης των φύλλων εργασίας κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας αλλά και η συγκεντρωτική μελέτη τους με το πέρας των διδακτικών παρεμβάσεων έδειξαν ότι οι μαθητές ανταποκρίθηκαν στις μαθησιακές απαιτήσεις συμπληρώνοντας σωστά τα βήματα των φύλλων εργασίας και ολοκληρώνοντας τις δραστηριότητες στα περιβάλλοντα ΕΠ μέσα στο διαθέσιμο χρόνο.

Επιπρόσθετα, ως μια ακόμη πολύ σημαντική παράμετρος αναδείχθηκε η εκ των προτέρων ανάπτυξη κλίματος εμπιστοσύνης μέσα στη σχολική τάξη. Το σημείο αυτό φάνηκε ότι κρίνει σε μεγάλο βαθμό την ομαλή διεξαγωγή της διδακτικής προσέγγισης

κατά την οποία θα πρέπει αφενός οι μαθητές να αντιμετωπίσουν με σοβαρότητα το νέο τρόπο μάθησης και αφετέρου, ο διδάσκοντας να μπορεί να εμπιστευτεί τους μαθητές του για την ορθή χρήση των κινητών διασφαλίζοντας ότι αυτά δεν θα αποτελέσουν σε καμία περίπτωση στοιχεία διάσπασης της προσοχής.

Παράλληλα, η παρούσα διδακτική προσέγγιση δύναται να πραγματοποιηθεί κάτω από την προϋπόθεση ότι θα μπορεί να εξασφαλιστεί η συνεχής διαθεσιμότητα επαρκούς αριθμού κινητών συσκευών. Κάτι τέτοιο θα ήταν καλό να παρέχεται από την υλικοτεχνική υποδομή της ίδιας της σχολικής μονάδας αλλά στην συνήθη περίπτωση που η απαίτηση αυτή δεν μπορεί να ικανοποιηθεί θα πρέπει να μπορεί εξαρχής να εξασφαλιστεί η συνεχής διαθεσιμότητα των κινητών συσκευών των ίδιων των μαθητών. Επιπλέον, είναι απαραίτητο να εξασφαλίζεται η γραπτή συναίνεση των κηδεμόνων για τη χρήση των κινητών των μαθητών μέσα στη σχολική αίθουσα, εφόσον πρόκειται για τα κινητά τηλέφωνα των ίδιων των μαθητών.

Τέλος, καθίσταται φανερό με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις, ότι η επιτυχημένη υλοποίηση μιας τέτοιας μαθησιακής προσέγγισης με αξιοποίηση της κινητής μάθησης σε περιβάλλοντα ΕΠ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ικανότητα του διδάσκοντα να χειριστεί όλες της παραμέτρους μιας τέτοιας εμπειρίας και να την εισάγει σωστά μέσα στην σχολική τάξη (O' Shea, Dede & Cherian, 2009).

Μέρος Ε΄:

Συμπεράσματα και Συζήτηση

Κεφάλαιο 12

Συμπεράσματα, περιορισμοί και προοπτικές της έρευνας

Το κεφάλαιο αυτό συνοψίζει τα κύρια ευρήματα και συζητά τους περιορισμούς που τέθηκαν κατά τη διάρκεια της κύριας ερευνητικής διαδικασίας της Β΄ φάσης. Τέλος, με βάση την κριτική προσέγγιση των αποτελεσμάτων της έρευνας, τα νέα ερωτήματα που αναδύθηκαν κατά τη διάρκεια της έρευνας και αντιμετωπίζοντας τις συναντώμενες δυσκολίες, διαμορφώνονται και προτείνονται κάποιες κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα.

12.1 Συμπεράσματα

Ο πίνακας 12.1 συνοψίζει τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας αναφορικά με τα κύρια ερευνητικά ερωτήματα.

Με βάση την ερμηνεία των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων τα οποία συλλέχθηκαν, επιχειρείται, στο σημείο αυτό, η προσέγγιση των κύριων ερευνητικών ερωτημάτων που τέθηκαν στην αρχή της έρευνας για την Β΄ ερευνητική φάση.

Πίνακας 12.1: Τα αποτελέσματα της έρευνας αναφορικά με τα κύρια ερευνητικά ερωτήματα.

Ερευνητικό ερώτημα	Μέθοδος Συλλογής Δεδομένων	Αποτελέσματα
Ποια είναι η στάση των μαθητών απέναντι στη διαδικασία μάθησης με ενσωμάτωση των περιβαλλόντων ΕΠ μέσω κινητών συσκευών στην καθημερινή διδακτική πρακτική της σχολικής τάξης για το μάθημα της Φυσικής;	Ερωτηματολόγιο RIMMS Συμμετοχικές παρατηρήσεις μαθητών κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας με αξιοποίηση των περιβαλλόντων ΕΠ (καταγραφή συμπεριφορών και αντιδράσεων των παιδιών από την ερευνήτρια-εκπαιδευτικό) για την εκτίμηση της εμπλοκής τους Άτυπες ατομικές συνεντεύξεις των μαθητών	Υψηλό αίσθημα ικανοποίησης και ενεργός εμπλοκή στη μαθησιακή διαδικασία

<p>Είναι λειτουργικός ο τεχνικός σχεδιασμός των περιβαλλόντων ΕΠ για τη διδασκαλία θεμελιωδών εννοιών της Φυσικής;</p>	<p>Ερωτηματολόγιο «δυσκολίας/ευχαρίστησης»</p> <p>Συμμετοχικές παρατηρήσεις μαθητών κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας με αξιοποίηση των περιβαλλόντων ΕΠ (καταγραφή συμπεριφορών και αντιδράσεων των παιδιών από την ερευνήτρια-εκπαιδευτικό) για την εκτίμηση της εμπλοκής τους</p> <p>Άτυπες ατομικές συνεντεύξεις των μαθητών</p>	<p>Ο τεχνικός σχεδιασμός των περιβαλλόντων ΕΠ αποδείχθηκε λειτουργικός και μπόρεσε να εξυπηρετήσει επαρκώς την υιοθετούμενη μαθησιακή διαδικασία.</p>
<p>Ποια χαρακτηριστικά της διδακτικής προσέγγισης με αξιοποίηση των περιβαλλόντων ΕΠ αναδύονται ως ευνοϊκά και ποια ως δυσμενή για τους μαθητές κατά τη διεξαγωγή των μαθησιακών εμπειριών ΕΠ μέσα στο περιβάλλον της σχολικής τάξης;</p>	<p>Ευνοϊκά στοιχεία:</p> <p>η χρήση των κινητών συσκευών ως μέσων μάθησης</p> <p>Η αισθητοποίηση του «αόρατου»</p> <p>Η βιωματική, ενσωματωμένη μάθηση</p> <p>η ομαδοσυνεργατική μάθηση</p> <p>ο ενεργός πειραματισμός και η μάθηση μέσω ανακάλυψης</p> <p>ο κεντρικός ρόλος του μαθητή στη δόμηση της γνώσης του</p> <p>Δυσμενή στοιχεία:</p> <p>χρόνος αναμονής των ομάδων</p>	<p>Ευνοϊκά στοιχεία:</p> <p>η χρήση των κινητών συσκευών ως μέσων μάθησης</p> <p>Η αισθητοποίηση του «αόρατου»</p> <p>Η βιωματική, ενσωματωμένη μάθηση</p> <p>η ομαδοσυνεργατική μάθηση</p> <p>ο ενεργός πειραματισμός και η μάθηση μέσω ανακάλυψης</p> <p>ο κεντρικός ρόλος του μαθητή στη δόμηση της γνώσης του</p> <p>Δυσμενή στοιχεία:</p> <p>χρόνος αναμονής των ομάδων</p>
<p>Ποιες είναι οι ιδιαιτερότητες και οι δυσκολίες που προέκυψαν κατά την οργάνωση, τον συντονισμό και τη διεξαγωγή των μαθησιακών εμπειριών ΕΠ κατά την ενσωμάτωσή τους στη διδακτική πρακτική μέσα στο περιβάλλον της σχολικής τάξης;</p>	<p>Συμμετοχικές παρατηρήσεις μαθητών κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας με αξιοποίηση των περιβαλλόντων ΕΠ (καταγραφή συμπεριφορών και αντιδράσεων των παιδιών από την ερευνήτρια-εκπαιδευτικό) για την εκτίμηση της εμπλοκής τους</p> <p>Άτυπες ατομικές συνεντεύξεις των μαθητών</p>	<p>Ο συντονισμός της μαθησιακής διαδικασίας από ένα μόνο διδάσκοντα</p> <p>Η κρισιμότητα του σωστού σχεδιασμού των φύλλων εργασίας</p> <p>Η αναγκαία προϋπόθεση διαμόρφωσης κλίματος εμπιστοσύνης</p> <p>Η διαθεσιμότητα των κινητών συσκευών</p> <p>Η γραπτή συναίνεση των κηδεμόνων και του σχολείου για τη χρήση των κινητών συσκευών</p> <p>Ο αριθμός των μαθητών της τάξης</p> <p>Η υποστηρικτική υλικοτεχνική υποδομή (υπολογιστής, βιντεοπροβολέας)</p>

<p>Ποιες αρχές τεχνικού σχεδιασμού διαμορφώνονται για την ανάπτυξη μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ με στόχο τη διδασκαλία εννοιών της Φυσικής;</p>	<p>Βιβλιογραφική ανασκόπηση Ανάλυση των αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας</p>	<p>Αξιοποίηση έξυπνων κινητών συσκευών ως μέσων μάθησης Αξιοποίηση φύλλων εργασίας Σχεδιαστική ανοικτότητα των δραστηριοτήτων ΕΠ Απουσία στοιχείων που θέτουν χρονικούς περιορισμούς Ελαχιστοποίηση των μεταβλητών της διεπαφής ΕΠ που πρέπει ταυτόχρονα να διαχειρίζονται οι μαθητές Άμεση ανάδραση των ενεργειών του μαθητή Έμφαση στην οπτική αναπαράσταση των διανυσματικών φυσικών μεγεθών και της μεταβολής τους Ελαχιστοποίηση των ενσωματωμένων υπό μορφή κειμένου οδηγιών στη διεπαφή ΕΠ Περιορισμός των στοιχείων κειμένου στην διεπαφή των περιβαλλόντων ΕΠ Προσοχή στον τρόπο ενσωμάτωσης των αριθμητικών δεδομένων στη διεπαφή των περιβαλλόντων ΕΠ Προσοχή στο μέγεθος των μενού Χρησιμοποίηση μικρών φυσικών αντικειμένων-στόχων</p>
--	--	---

12.1.1 Η στάση των μαθητών απέναντι στη μάθηση μέσα από τις εμπειρίες ΕΠ

Αρχικά, η αξιοποίηση των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ με χρήση κινητών συσκευών στην καθημερινή διδακτική πρακτική της σχολικής τάξης κατάφερε αφενός να κινήσει το ενδιαφέρον των μαθητών και αφετέρου να διατηρήσει αυτό το ενδιαφέρον και να τους εμπλέξει ενεργά και με θετική στάση απέναντι στη μαθησιακή διαδικασία, για ένα σημαντικό χρονικό διάστημα. Οι μαθητές υιοθέτησαν εξ αρχής θετική στάση απέναντι

στις μαθησιακές εμπειρίες ΕΠ και εργάστηκαν συγκεντρωμένοι, μέσα σε κλίμα καλής διάθεσης. Επιπλέον, οι συνθήκες επιτυχίας και αποδοχής καθώς και η ικανοποίηση που εξασφάλισαν τα περιβάλλοντα ΕΠ προκάλεσαν σταδιακά και την ενίσχυση της εμπιστοσύνης στον εαυτό τους, πιστεύοντας ότι μπορούν «να τα καταφέρουν». Αυτό το συναίσθημα ανατροφοδότησε την εμπλοκή τους στο μάθημα και τα παρακίνησε περαιτέρω να συμμετέχουν ενεργά στη μαθησιακή διαδικασία. Με αυτό τον τρόπο φάνηκαν να διαμορφώνονται ιδανικές συνθήκες ώστε να μπορέσουν οι μαθητές να σημειώσουν γνωστική πρόοδο σε σχέση με τους επιδιωκόμενους μαθησιακούς στόχους.

Τα παραπάνω αποτελέσματα ενισχύουν την άποψη ότι η Επαυξημένη Πραγματικότητα και η κινητή τεχνολογία μπορούν να αξιοποιηθούν για εκπαιδευτικούς σκοπούς στα αναλυτικά προγράμματα Φυσικής, προκειμένου τα τελευταία να συγχρονιστούν με τα σημερινά ενδιαφέροντα των μαθητών και τους σύγχρονους τρόπους μάθησης και επικοινωνίας. Το συμπέρασμα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, αν αναλογιστούμε πόσο δύσκολο είναι να διαμορφωθεί θετική στάση απέναντι στη μαθησιακή διαδικασία μέσα στις σύγχρονες σχολικές τάξεις όπου ο παραδοσιακός τρόπος διδασκαλίας, ακόμη και αν εμπλουτίζεται με κάποια τεχνολογικά μέσα, ωστόσο δεν εναρμονίζεται με τις προσλαμβάνουσες των σύγχρονων μαθητών. Κάτω από αυτή τη λογική, αυτός ο τύπος εμπειριών μάθησης ΕΠ που, επιπλέον, δεν απαιτεί ειδικό εξοπλισμό ή φυσική μεταφορά των μαθητών σε άλλο χώρο και μπορεί εύκολα να ενσωματωθεί στο πρόγραμμα σπουδών ίσως δύναται να συνεισφέρει στο μετασχηματισμό της συνολικής μαθησιακής διαδικασίας για το μάθημα της Φυσικής, παρέχοντας στους μαθητές περισσότερο ενδιαφέρουσες, ευχάριστες και επομένως πιο αποτελεσματικές μαθησιακές εμπειρίες.

12.1.2 Η λειτουργικότητα των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ

Αναφορικά με τον τεχνικό σχεδιασμό των περιβαλλόντων ΕΠ, φαίνεται ότι τα αποτελέσματα δικαίωσαν τις αντίστοιχες σχεδιαστικές επιλογές, αφού οι μαθητές δεν ανέφεραν σημαντικές δυσκολίες καθώς πειραματίζονταν μέσα σε αυτά και οι περισσότεροι δήλωσαν πολύ ικανοποιημένοι κατά τον χειρισμό τους.

Παράλληλα, ο μεθοδολογικός σχεδιασμός των περιβαλλόντων ΕΠ επέτρεψε τον συνεχή έλεγχο της γνωστικής προόδου για κάθε ομάδα μαθητών ξεχωριστά, αναφορικά με τους τιθέμενους μαθησιακούς στόχους για κάθε διδακτική ενότητα. Ο σχεδιασμός των φύλλων εργασίας αναφορικά με τους μαθησιακούς στόχους επίσης αποδείχθηκε αποτελεσματικός, αφού οι μαθητές μπόρεσαν, με μικρές μόνο δυσκολίες, να

κατανοήσουν τα βήματα, να πραγματοποιήσουν τις αντίστοιχες ενέργειες μέσα στα περιβάλλοντα ΕΠ και στη συνέχεια να συμπληρώσουν κατάλληλα τις ερωτήσεις στα φύλλα εργασίας έχοντας λάβει την ανατροφοδότηση των ενεργειών τους. Επιπλέον, η ανοικτότητα των περιβαλλόντων ΕΠ διευκόλυνε σημαντικά την προσαρμογή της διδασκαλίας στον μαθητή ανάλογα με τις δυσκολίες που αντιμετώπιζε η κάθε ομάδα, επιτρέποντας την επανάληψη μιας ενέργειας χωρίς να επιβάλλονται χρονικοί περιορισμοί για την ολοκλήρωση της, ή την κατά περίπτωση αλλαγή στην εκτέλεση των βημάτων του φύλλου εργασίας, όποτε κάτι τέτοιο διευκόλυνε τη μαθησιακή διαδικασία για κάποιους μαθητές. Με αυτό τον τρόπο επιτεύχθηκε η διαφοροποιημένη εκπαίδευση των μαθητών ανάλογα με τις ανάγκες τους. Η επιλογή της ενσωμάτωσης λίγων γραφικών στοιχείων στη διεπαφή χρήστη των περιβαλλόντων ΕΠ φάνηκε να λειτουργεί βοηθητικά για τους μαθητές. Ενδεχομένως, η εξοικείωση των μαθητών με τη χρήση τέτοιων περιβαλλόντων μάθησης να μπορούσε βαθμιαία να επιτρέψει τον εμπλουτισμό τους με περισσότερα γραφικά και αριθμητικά δεδομένα. Ωστόσο, αυτή η υπόθεση δεν ήταν δυνατό να ελεγχθεί μέσα στα χρονικά πλαίσια της παρούσας έρευνας.

12.1.3 Τα κύρια χαρακτηριστικά της ενσωμάτωσης των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ στην καθημερινή διδασκαλία της Φυσικής

Τα χαρακτηριστικά της ενσωμάτωσης των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ στην καθημερινή διδασκαλία της Φυσικής τα οποία αναδείχθηκαν ως ευνοϊκά για τη διαδικασία μάθησης ήταν τα ακόλουθα:

- Η χρήση των κινητών τηλεφώνων ως μαθησιακών εργαλείων.
- Η συνεργατική μάθηση και ο συνεχής διάλογος μεταξύ των μαθητών για τα αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης τους με τα περιβάλλοντα ΕΠ, μέσα στο πλαίσιο της διδασκαλίας.
- Ο ενεργός πειραματισμός και ο ανακαλυπτικός τύπος μάθησης που μεταφέρει τον κεντρικό ρόλο της διαδικασίας μάθησης από τον διδάσκοντα στον μαθητή έχοντας έτσι την αίσθηση ότι ο ίδιος δομεί τη γνώση του.
- Η ενσωματωμένη μάθηση μέσω του χειρισμού των φυσικών αντικειμένων-στόχων.
- Η αισθητοποίηση του «αόρατου» δηλαδή η οπτικοποίηση των φυσικών μεγεθών και της μεταβολής τους πάνω στα φυσικά αντικείμενα-στόχους.

- Το στοιχείο της έκπληξης που υπήρχε στα περιβάλλοντα ΕΠ είτε από την εμφάνιση των επαυξημένων δεδομένων είτε από την εμφάνιση των στοιχείων επιβράβευσης.

Σημαντικές δυσκολίες σε σχέση με τα στοιχεία των περιβαλλόντων ΕΠ για τους μαθητές δεν εντοπίστηκαν. Αρχικά, χρειάστηκε κάποιος χρόνος ώστε αυτοί να συνηθίσουν στον συνδυασμό πραγματικής και επαυξημένης πληροφορίας πάνω στην οθόνη της κινητής συσκευής καθώς και στον τρόπο κωδικοποίησης των επαυξημένων δεδομένων επί της οθόνης, κάτι που ήταν απολύτως αναμενόμενο αφού οι εμπειρίες ΕΠ εισήγαγαν εντελώς νέες συνθήκες μάθησης. Το μόνο στοιχείο που δυσκόλεψε κάποιες φορές τους μαθητές ήταν:

- ο χρόνος αναμονής και η ενασχόληση με ασκήσεις εμπέδωσης μέχρι να έρθει η σειρά μιας ομάδας να πειραματιστεί με το κινητό μέσα στα περιβάλλοντα ΕΠ, λόγω της έλλειψης επαρκούς αριθμού κινητών συσκευών.

12.1.4 Ιδιαιτερότητες και δυσκολίες κατά την οργάνωση των μαθησιακών εμπειριών ΕΠ

Ταυτόχρονα, η οργάνωση, ο συντονισμός και η διεξαγωγή της ενσωμάτωσης των περιβαλλόντων ΕΠ στην καθημερινή διδασκαλία μέσα στη σχολική τάξη ανέδειξε και κάποιες ιδιαιτερότητες αλλά και δυσκολίες οι οποίες συνοψίζονται στα παρακάτω σημεία:

- Ο συντονισμός της μαθησιακής διαδικασίας και η ταυτόχρονη παρακολούθηση της γνωστικής προόδου των μαθητών με βάση τα φύλλα εργασίας από ένα μόνο διδάσκοντα.
- Η κρισιμότητα του σωστού σχεδιασμού των φύλλων εργασίας.
- Η ανάγκη διαμόρφωσης κλίματος εμπιστοσύνης.
- Η διαθεσιμότητα των κινητών συσκευών.
- Η γραπτή συναίνεση των κηδεμόνων και του σχολείου για τη χρήση των κινητών συσκευών.
- Ο αριθμός των μαθητών της τάξης.
- Η διαθέσιμη υποστηρικτική υλικοτεχνική υποδομή του σχολείου.

Παράλληλα, τα εγγενή χαρακτηριστικά της τεχνολογίας ΕΠ με χρήση κινητών συσκευών εισήγαγαν κάποιους περιορισμούς στη μαθησιακή διαδικασία. Μια τεχνική δυσκολία κατά την αλληλεπίδραση των μαθητών με τη διεπαφή ΕΠ αποτέλεσε η ανάγκη

σταθεροποίησης της κινητής συσκευής κατά την παρακολούθηση της κίνησης του αντικειμένου-στόχου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η διεπαφή δεν είναι σε θέση να διακρίνει αν κινείται η κάμερα ως προς το αντικείμενο ή το αντικείμενο ως προς την κάμερα. Έτσι, η κίνηση της ίδιας της συσκευής ως προς το ακίνητο αντικείμενο εκλαμβάνεται από την εφαρμογή της ΕΠ και πάλι ως κίνηση του αντικειμένου-στόχου με αποτέλεσμα να δυσκολεύει την διάδραση με τα στοιχεία της διεπαφής ΕΠ. Αυτή η δυσκολία δεν φάνηκε να δημιουργεί πρόβλημα στους μαθητές, απλώς έθεσε τον περιορισμό ότι ένας μαθητής έπρεπε πάντα να κρατάει την συσκευή σταθερή κλειδώνοντας το αντικείμενο-στόχο ενώ κάποιος άλλος το μετακινεί.

Ένας επιπλέον τεχνικός περιορισμός που προέκυψε αφορούσε στις απαιτήσεις φωτισμού, καθώς φάνηκε ότι η επαύξηση των αντικειμένων-στόχων γίνεται βέλτιστη όταν υπάρχει επαρκής διάχυτος φωτισμός ενώ γίνεται δύσκολη στο σκοτάδι αλλά και στην απευθείας έκθεση του αντικειμένου-στόχου στο ηλιακό φως. Αυτός ο περιορισμός δεν αποτέλεσε πρόβλημα καθώς η σχολική τάξη στην οποία υλοποιήθηκε η διδακτική προσέγγιση καθώς και οι περισσότερες σχολικές τάξεις, ικανοποιούν την παραπάνω συνθήκη. Οι συνθήκες εντοπισμού των στόχων από την κάμερα της κινητής συσκευής γίνονται γενικά δυσκολότερες τις συννεφιασμένες ημέρες.

Επιπλέον, το πεδίο κίνησης για το κινούμενο αντικείμενο-στόχο περιορίζεται από το εύρος κάλυψης της κάμερας της κινητής συσκευής αφού κατά τον πειραματισμό με τα περιβάλλοντα ΕΠ η κάμερα, πρέπει όπως σημειώθηκε παραπάνω, να διατηρείται σταθερή καθώς κινείται το αντικείμενο στόχος. Αυτό το στοιχείο θέτει κάποιους περιορισμούς κατά την υλοποίηση των περιβαλλόντων ΕΠ σε σχέση με τους διδακτικούς στόχους, δεδομένου ότι η παρούσα υλοποίηση επιτρέπει επαυξήσεις των πραγματικών δεδομένων για μικρές μόνο κινήσεις των αντικειμένων-στόχων.

Παράλληλα, από την παρατήρηση των μαθητών κατά την αλληλεπίδρασή τους με τη διεπαφή ΕΠ φάνηκε ότι υπήρχε κάποιο ζήτημα με το κλείδωμα του αντικειμένου-στόχου όταν ο στόχος κινούνταν κάπως γρήγορα. Το πρόβλημα που εντοπίστηκε ήταν ότι η κάμερα αδυνατούσε να παρακολουθήσει το ταχέως κινούμενο αντικείμενο στόχο και ταυτόχρονα να το επαυξήσει με τα συνεχώς μεταβαλλόμενα δεδομένα πραγματικού χρόνου της κίνησής του. Αυτές οι δύο τελευταίες τεχνικές δυσκολίες επίσης θέτουν ένα περιορισμό σε σχέση με την υλοποίηση εφαρμογών ΕΠ που θα επιχειρούσαν την ακριβή αναπαράσταση της ποσοτικής σχέσης της μεταβολής της ταχύτητας ή των υπόλοιπων δεδομένων κίνησης (επιτάχυνση, συνισταμένη δύναμη) του κινούμενου αντικειμένου-στόχου.

Τέλος, ένα άλλο τεχνικό ζήτημα που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την υλοποίηση μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ για τη διδασκαλία της Φυσικής είναι το ακόλουθο. Τα ταχέως μεταβαλλόμενα επαυξημένα δεδομένα, όπως τα βέλη που αναπαριστούν στην παρούσα εργασία την ταχύτητα ή τις δυνάμεις, μεταβάλλονται συχνά πολύ γρήγορα ακολουθώντας την κίνηση του φυσικού αντικείμενου με αποτέλεσμα να καθίστανται τελικά μη παρατηρήσιμα. Έτσι, κατά την κίνηση ενός αντικείμενου με μεταβαλλόμενη ταχύτητα δεν είναι δυνατή η ταυτόχρονη παρατήρηση τόσο του βέλους της ταχύτητας όσο και των βελών που αναπαριστούν τις δυνάμεις ώστε να διερευνηθεί μέσω της στιγμιαίας σχέσης τους ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα. Μια πιθανή λύση θα μπορούσε να είναι η ταυτόχρονη διαγραμματική απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο των παραπάνω μεγεθών ώστε να είναι δυνατή η μελέτη τους σε δεύτερο χρόνο για την εξαγωγή συμπερασμάτων ωστόσο η υλοποίηση αυτή δεν κατέστη δυνατή μέσα στα χρονικά πλαίσια της παρούσας έρευνας.

Όλοι οι παραπάνω περιορισμοί που τίθενται από τη χρήση των κινητών συσκευών ως μέσων μάθησης στα περιβάλλοντα ΕΠ στην πράξη δεν αποτέλεσαν σημαντικά εμπόδια κατά τη μαθησιακή διαδικασία. Οι μαθητές προσαρμόστηκαν γρήγορα και συχνά επινόησαν τρόπους να αντιμετωπίσουν τις παραπάνω τεχνικές δυσκολίες. Καθώς η τεχνολογία ΕΠ εξελίσσεται ραγδαία πιθανώς να μπορέσει σύντομα να προσφέρει επαρκέστερες λύσεις στα παραπάνω ζητήματα μέσω βελτιωμένων λειτουργιών και διεπαφών οθόνης.

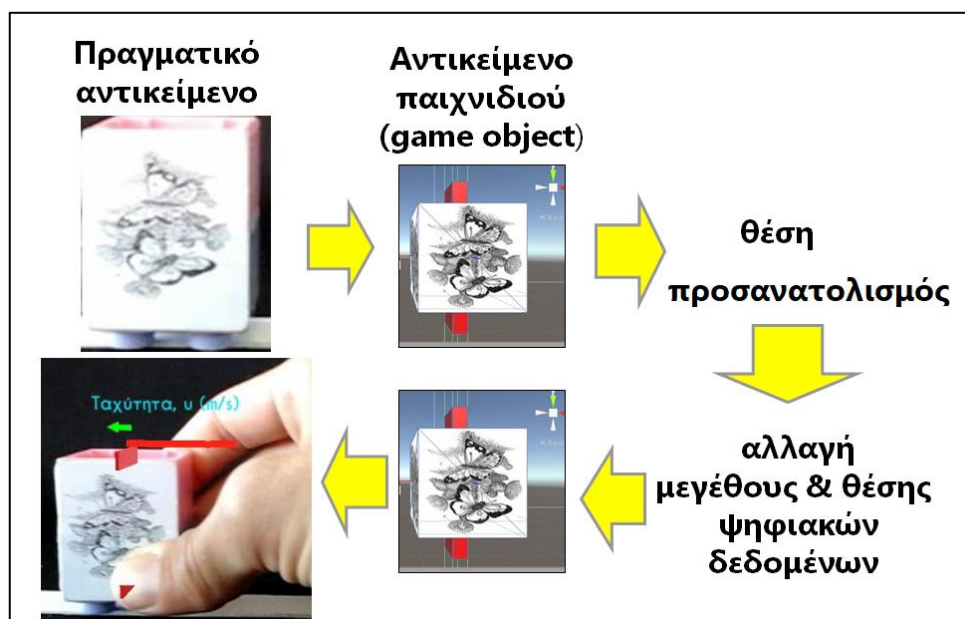
12.1.5 Πρωτοτυπία τεχνικού σχεδιασμού

Από τεχνικής άποψης, η σημαντικότερη δυσκολία που αντιμετωπίστηκε κατά το σχεδιασμό των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ ήταν η δυνατότητα της συνεχούς επαύξησης των κινούμενων αντικειμένων-στόχων με δυναμικά μεταβαλλόμενα δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, τα διανύσματα βέλη τα οποία επαυξάνουν κατάλληλα τα πραγματικά αντικείμενα – στόχους ήταν αναγκαίο να μεταβάλλονται συνεχώς και κατάλληλα, αντιδρώντας στις ενέργειες των παικτών, σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η προϋπόθεση έθεσε μια σημαντική διαφοροποίηση σε σχέση με τις συχνότερα συναντώμενες στη βιβλιογραφία υλοποιήσεις μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ (Majeed & Huda, 2020), σε σχέση με τα παρακάτω κυρίως σημεία:

- i. Το αντικείμενο-στόχος κινείται και μάλιστα με τρόπο τυχαίο και όχι προκαθορισμένο.

- ii. Η απόδοση των ψηφιακών δεδομένων ως 3D γραφικά που επαυξάνουν το αντικείμενο-στόχο εξαρτάται και καθορίζεται από την παραπάνω κίνηση.
- iii. Η απόδοση των ψηφιακών δεδομένων γίνεται με τρόπο συνεχή και αδιάλειπτο.

Δεδομένου ότι η υλοποίηση έπρεπε να περιορίζεται σε μέσα χαμηλού κόστους, εύκολα διαθέσιμα στο σχολικό περιβάλλον, αποκλείσθηκε η δυνατότητα ενσωμάτωσης αισθητήρων στα αντικείμενα για την καταγραφή και μετάδοση των δεδομένων της κίνησης.



Εικόνα 12.1: Τεχνική υλοποίηση της επαύξησης των κινούμενων αντικειμένων με κατάλληλα μεταβαλλόμενα δεδομένα επαύξησης σε πραγματικό χρόνο.

Τελικά, το πρόβλημα προσεγγίστηκε αξιοποιώντας κατάλληλα τη Μηχανή Φυσικής της πλατφόρμας ανάπτυξης unity3D σε συνδυασμό με τις δυνατότητες του πρόσθετου (addin) αναγνώρισης εικόνας Vuforia 3D. Η εικόνα 12.1 αποδίδει διαγραμματικά τον τρόπο υλοποίησης της επαύξησης των κινούμενων αντικειμένων με κατάλληλα μεταβαλλόμενα δεδομένα επαύξησης σε πραγματικό χρόνο. Το πραγματικό αντικείμενο προβάλλεται κατάλληλα σε ένα ψηφιακό αντικείμενο. Στη συνέχεια, εξάγονται από αυτό οι ιδιότητες που ενδιαφέρουν (στιγμιαία θέση, προσανατολισμός) και με βάση αυτές μετασχηματίζονται κατάλληλα τα τρισδιάστατα βέλη αλλά και όλα τα ψηφιακά στοιχεία που ακολουθούν την κίνηση του αντικειμένου-στόχου. Στη συνέχεια, τα δεδομένα αυτά αποδίδονται και πάλι στο ψηφιακό αντικείμενο το οποίο προβάλλεται τώρα στο πραγματικό αντικείμενο μαζί με τα τροποποιημένα δεδομένα επαύξησης. Προκειμένου η όλη διαδικασία να είναι διαφανής στο χρήστη, θα πρέπει να επαναλαμβάνεται περίπου κάθε 0.02s. Με τον τρόπο αυτό καθίσταται εφικτή η συνεχής επαύξηση του κινούμενου

φυσικού αντικειμένου-στόχου με συνεχώς μεταβαλλόμενα ψηφιακά δεδομένα, των οποίων η θέση, το μέγεθος και ο προσανατολισμός εξαρτώνται χρονικά από την κίνηση του φυσικού αντικειμένου-στόχου.

12.1.6 Αρχές τεχνικού σχεδιασμού για μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ

Με βάση τα ερευνητικά αποτελέσματα της θεωρητικής πλαισίωσης της έρευνας, στο πρώτο μέρος της παρούσας ερευνητικής εργασίας διαμορφώθηκαν κάποιες σχεδιαστικές αρχές πάνω στις οποίες βασίστηκε, όπως περιγράφηκε, ο σχεδιασμός των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ που αναπτύχθηκαν για τους σκοπούς της παρούσας έρευνας. Οι αρχές αυτές αποδείχθηκαν στο σύνολό τους ευδόκιμες με βάση τα αποτελέσματα της πειραματικής έρευνας. Στο σημείο αυτό παρατίθενται οι παρακάτω αρχές τεχνικού σχεδιασμού για οποιονδήποτε ενδιαφέρεται να αναπτύξει αντίστοιχες δραστηριότητες ΕΠ μαθησιακού περιεχομένου για τη διδασκαλία εννοιών και φαινομένων από το πεδίο της Φυσικής με στόχο την ενσωμάτωση τους στην καθημερινή διδασκαλία μέσα στη σχολική τάξη με χρήση κινητών συσκευών ως μέσων μάθησης:

1. *Αξιοποίηση έξυπνων κινητών συσκευών ως μέσων μάθησης.* Τα αποτελέσματα της έρευνας ανέδειξαν τα κινητά ως ισχυρό κίνητρο μάθησης το οποίο δημιουργεί ιδανικές συνθήκες συνεργασίας μεταξύ των μαθητών. Επιπλέον, η επί τόπου διαθεσιμότητά τους και η ευκολία στον χειρισμό τους δίνουν στους μαθητές μεγαλύτερη ευελιξία και επινοητικότητα κατά το χειρισμό της διεπαφής ΕΠ.
2. *Αξιοποίηση Φύλλων εργασίας, για έλεγχο κατάκτησης των στόχων και καθοδήγηση τη διερεύνησης.* Τα φύλλα εργασίας επιτρέπουν την προσαρμογή της μαθησιακής διαδικασίας με βάση τους διδακτικούς στόχους και διευκολύνουν την εξατομικευμένη μάθηση αφού μπορούν να αναπροσαρμοστούν εύκολα αξιοποιώντας κατάλληλα τα διαθέσιμα μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ αλλά και με βάση το μαθησιακό επίπεδο της τάξης.
3. *Έμφαση στην οπτική αναπαράσταση των διανυσματικών φυσικών μεγεθών και της μεταβολής τους, με διανύσματα-βέλη μεταβλητού μήκους.* Τα στοιχεία αυτό βοηθά σημαντικά τους μαθητές να κατανοήσουν τί ακριβώς αντιπροσωπεύουν τα διανυσματικά χαρακτηριστικά των φυσικών μεγεθών καθώς και τί εκφράζει η μεταβολή τους. Ξεπερνώντας αυτή την αδυναμία κατανόησης της διανυσματικής αναπαράστασης των φυσικών μεγεθών ενισχύεται σταδιακά η περαιτέρω εμπλοκή των μαθητών στη διαδικασία.

4. *Σχεδιαστική ανοικτότητα.* Επιτρέπει την αποφυγή γραμμική δομής κατά την εκτέλεση των δραστηριοτήτων που απαρτίζουν τα περιβάλλοντα ΕΠ. Οι μαθητές αφήνονται ελεύθεροι να μεταφερθούν από τη μία δραστηριότητα στην άλλη με μη γραμμικό τρόπο. Έτσι, έχουν τη δυνατότητα να διερευνήσουν τη σχέση μεταξύ των στοιχείων της εφαρμογής όντας σε θέση να επαναλάβουν προηγούμενα βήματα των ενεργειών τους μέσα στην εφαρμογή, εφόσον και για όσες φορές το επιθυμούν. Τα στοιχεία αυτό ενισχύει την εξατομικευμένη ανακαλυπτική μάθηση και αποτελεί στοιχείο παιγνιοποίησης των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ.
5. *Άμεση ανάδραση των ενεργειών του μαθητή.* Το περιβάλλον ΕΠ πρέπει να ειδοποιεί τον μαθητή ώστε να γνωρίζει αυτός το αποτέλεσμα των ενεργειών του.
6. *Απουσία στοιχείων που θέτουν χρονικούς περιορισμούς.* Για παράδειγμα, χρονομετρητές ή μέγιστος διαθέσιμος χρόνος για την ολοκλήρωση μιας δραστηριότητας. Ο μαθητής είναι ελεύθερος να επαναλάβει την ίδια ενέργεια με τον δικό του προσωπικό ρυθμό για όσο χρόνο χρειάζεται προκειμένου να κατακτήσει τον συγκεκριμένο μαθησιακό στόχο.
7. *Προσοχή στο μέγεθος των μενού αλλά και όλων των στοιχείων υπό μορφή κειμένου και αριθμητικών δεδομένων.* Τα στοιχεία αυτά πρέπει να είναι αρκετά μεγάλα ώστε να μπορεί ο μαθητής να τα αναγνώσει και να αλληλεπιδράσει αλλά όχι τόσο μεγάλα ώστε να καλύπτουν το πεδίο του πραγματικού κόσμου που μπορεί να απεικονίσει η κινητή συσκευή.
8. *Περιορισμός των στοιχείων κειμένου στην διεπαφή των περιβαλλόντων ΕΠ* Το σημείο αυτό έχει σημασία, προκειμένου η πληροφορία που δίνεται με την μορφή κειμένου να μην αποσπά την προσοχή των μαθητών. Ενσωματώνοντας στη διεπαφή ΕΠ μόνο τις λέξεις ή τα σύμβολα-κλειδιά, που αποτελούν την λεκτική αναπαράσταση των αντίστοιχων εννοιών της Φυσικής οι μαθητές δύνανται να συγκρατήσουν πιο εύκολα αυτά τα στοιχεία, και να πραγματοποιήσουν την νοητική σύνδεση τους με τα φυσικά μεγέθη που αισθητοποιούνται από τα περιβάλλοντα ΕΠ ως επαυξημένα στοιχεία.
9. *Λογική χρήση των αριθμητικών δεδομένων στα περιβάλλοντα ΕΠ.* Οποτεδήποτε προβάλλονται αριθμητικά δεδομένα όπως στη συνήθη περίπτωση που αυτά εκφράζουν το μέτρο ενός φυσικού μεγέθους, πχ την στιγμιαία τιμή της θέσης του φυσικού αντικείμενου, αυτά θα πρέπει να συνοδεύονται από την κατάλληλη μονάδα μέτρησης και να συνδέονται άμεσα με το επαυξημένο στοιχείο που

αναπαριστά το φυσικό μέγεθος. Έτσι, γίνεται πιο ξεκάθαρη για το μαθητή η σημασία των αριθμητικών δεδομένων, τα οποία η παρούσα έρευνα έδειξε ότι οι μαθητές τείνουν να αγνοούν, προς χάρη των γραφικών στοιχείων.

10. *Ελαχιστοποίηση των μεταβλητών της διεπαφής ΕΠ που πρέπει ταυτόχρονα να διαχειρίζονται οι μαθητές.* Αν τα στοιχεία αυτά, εικονικά και πραγματικά, μέσα στα περιβάλλοντα ΕΠ είναι πολλά υπάρχει κίνδυνος να μετατίθεται η προσοχή των μαθητών από το αντικείμενο και τη διαδικασία μάθησης στη διαχείριση των στοιχείων της διεπαφής ΕΠ.
11. *Χρησιμοποίηση μικρών φυσικών αντικειμένων-στόχων.* Είναι σημαντικό το μέγεθος των φυσικών αντικειμένων-στόχων να είναι αρκετά μικρό ώστε μην καταλαμβάνουν μεγάλο χώρο της οθόνης του κινητού και να διευκολύνεται έτσι η επαύξησή τους. Επιπλέον επιθυμητό είναι να μη φέρουν αυτά στοιχεία διάσπασης της προσοχής των μαθητών.
12. *Ελαχιστοποίηση των ενσωματωμένων υπό μορφή κειμένου οδηγιών στη διεπαφή ΕΠ.* Προτιμητέο είναι οι οδηγίες να συμπεριλαμβάνονται στα φύλλα εργασίας ώστε να τροποποιούνται κάθε φορά ανάλογα με τις ανάγκες διδασκαλίας και τις ανάγκες των μαθητών.
13. *Ενσωμάτωση στοιχείων παιγνιοποίησης.* Επιδιώκεται ο μαθητής να βρίσκεται όσο το δυνατόν σε διαρκή κατάσταση ροής.

12.2 Περιορισμοί της έρευνας

Το χρονικό πλαίσιο ολοκλήρωσης της παρούσας διδακτορικής έρευνας έθεσε, όπως ήταν φυσικό, κάποιους περιορισμούς. Η παρούσα έρευνα επιχείρησε την ανάπτυξη σχεδιαστικών αρχών και την, βάσει αυτών, υλοποίηση κατάλληλων μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ για τη διδασκαλία θεμελιωδών εννοιών της Φυσικής. Επιπλέον, έγινε προσπάθεια να διερευνηθεί η ανταπόκριση μιας τάξης μαθητών στην ενσωμάτωση των παραπάνω περιβαλλόντων ΕΠ στην καθημερινή διδασκαλία της Φυσικής μέσα στο περιβάλλον της σχολικής τάξης χρησιμοποιώντας ως μέσο μάθησης έξυπνες κινητές συσκευές. Αφενός, ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη των περιβαλλόντων ΕΠ αποδείχθηκαν χρονοβόρες διαδικασίες, λόγω των τεχνικών δυσκολιών που ανέκυψαν κατά τη διαδικασία υλοποίησής τους. Σε αυτό συνετέλεσε και η έλλειψη καταγεγραμμένης εμπειρίας σχεδιασμού και υλοποίησης αντίστοιχων περιβαλλόντων ΕΠ για διδακτικούς σκοπούς, τα οποία θα μπορούσαν να αποτελέσουν αναφορές κατά

το σχεδιασμό και την υλοποίηση των συγκεκριμένων μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ. Έτσι, λόγω κυρίως των χρονικών περιορισμών που τέθηκαν από το πλαίσιο υλοποίησης της παρούσας διδακτορικής διατριβής δεν κατέστη δυνατό να διερευνηθεί επιπλέον η αποτελεσματικότητα των παραπάνω περιβαλλόντων ΕΠ σε σχέση με τη γνωστική πρόοδο των μαθητών αναφορικά με το διδακτικό αντικείμενο.

Επιπλέον, τα ψηφιακά προγράμματα που είναι κατάλληλα για την ανάπτυξη εφαρμογών ΕΠ αποτελούν εμπορικά προϊόντα σημαντικού κόστους, το ίδιο και ο ειδικός εξοπλισμός ΕΠ. Ως εκ τούτου, κάποιες δυνατότητες των περιβαλλόντων ΕΠ αναφορικά με τους στόχους της έρευνας δεν μπόρεσαν να υλοποιηθούν, όπως η απευθείας επαύξηση των φυσικών αντικειμένων-στόχων μέσω της τεχνολογίας αναγνώρισης τρισδιάστατων αντικειμένων (3D object recognition) τα οποία δε φέρουν κατάλληλες εικόνες-στόχους. Κάτω από την ίδια λογική, δεν υπήρξε η δυνατότητα διερεύνησης της επίδρασης των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ στους μαθητές, αξιοποιώντας την τεχνολογία των γυαλιών επαυξημένης πραγματικότητας. Τέλος, για τον ίδιο λόγο χρειάστηκε συχνά να διατεθεί πολύτιμος χρόνος προκειμένου να υλοποιηθεί κάποιο στοιχείο των περιβαλλόντων ΕΠ το οποίο ήταν διαθέσιμο στην εμπορική έκδοση των προγραμματιστικών εργαλείων, όπως τα γραφικά στοιχεία που επαυξάνουν τα φυσικά αντικείμενα.

Παράλληλα, ο σχεδιασμός της Β' ερευνητικής φάσης υπαγόρευε την ενσωμάτωση των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ στη ροή της διδασκαλίας και επομένως έπρεπε να γίνει σε συγκεκριμένο χρόνο μέσα στο σχολικό έτος 2018-2019. Επιπλέον, για τους παραπάνω λόγους δεν κατέστη εφικτή η εφαρμογή της διδακτικής προσέγγισης σε μαθητές άλλου σχολείου μέσα στο ίδιο σχολικό έτος.

Επιπρόσθετα, ο μικρός αριθμός διαθέσιμων κινητών συσκευών έθεσε περιορισμούς στη διαχείριση του χρόνου και δυσκόλεψε το συντονισμό της τάξης λόγω της αδυναμίας ταυτόχρονου πειραματισμού όλων των μαθητών στα περιβάλλοντα ΕΠ.

Η οργάνωση, η διεξαγωγή και ο συντονισμός όλης της διδακτικής διαδικασίας από ένα μόνο άτομο περιόρισε ως ένα βαθμό τη δυνατότητα παρατήρησης και λήψης αναλυτικών και διαρκών σημειώσεων σε σχέση με τις αντιδράσεις των μαθητών κατά τη διάρκεια πειραματισμού τους μέσα στα μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ.

Τέλος, θα ήταν επιθυμητό να υπήρχε διαθέσιμο μεγαλύτερο ερευνητικό δείγμα. Ωστόσο, λόγω του μικρού δυναμικού του Γυμνασίου Κουβαρά στο οποίο δίδασκε η ερευνήτρια κατά τα έτη 2017-2018 και 2018-2019, δεν υπήρχε η δυνατότητα να εφαρμοστεί η

συγκεκριμένη διδακτική προσέγγιση σε περισσότερους μαθητές. Η ιδέα της εφαρμογής της σε μαθητές άλλου σχολείου απορρίφθηκε, καθώς κρίθηκε ότι αυτό θα απαιτούσε την συνεχή παρουσία της ερευνήτριας λόγω κυρίως των ιδιαίτερων συνθηκών μάθησης, κάτι το οποίο δεν ήταν εφικτό για ευνόητους λόγους.

12.3 Προτάσεις μελλοντικής έρευνας

Λαμβάνοντας υπόψη τους παραπάνω περιορισμούς της έρευνας καθώς και τα ερευνητικά ερωτήματα που προέκυψαν κατά την εξέλιξη της παρούσας ερευνητικής δραστηριότητας, διαμορφώνονται ορισμένες προτάσεις για την υλοποίηση μελλοντικών ερευνών οι οποίες περιγράφονται στη συνέχεια.

12.3.1 Περαιτέρω διερεύνηση κινητοποίησης και γνωστικής προόδου

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας και την υψηλή αίσθηση ικανοποίησης που σημειώθηκε από τους μαθητές κατά την αξιοποίηση των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ διαφαίνεται η δυναμική της τεχνολογίας ΕΠ με χρήση κινητών συσκευών στην διδασκαλία της Φυσικής. Ωστόσο, δεδομένου και του πολύ περιορισμένου αριθμού αντίστοιχων μελετών με βάση τη βιβλιογραφία, περαιτέρω έρευνα απαιτείται προκειμένου:

- να χρησιμοποιηθούν τα μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ σε μεγαλύτερο δείγμα μαθητών με την οργάνωση και συνεργασία ενός δικτύου εμπλεκόμενων εκπαιδευτικών-ερευνητών, οι οποίοι θα τα ενσωματώσουν στη σχολική διδασκαλία της Φυσικής, ώστε να επιδιωχθεί μεγαλύτερη εγκυρότητα και αξιοπιστία των αποτελεσμάτων με συνδυασμό ποσοτικών και ποιοτικών μετρήσεων.
- να διερευνηθεί η αποτελεσματικότητα των περιβαλλόντων ΕΠ αναφορικά με τη γνωστική πρόοδο των μαθητών σε σχέση με τους επιδιωκόμενους μαθησιακούς στόχους και σε σύγκριση με άλλες διδακτικές προσεγγίσεις όπως είναι η χρήση υπολογιστικών προσομοιώσεων ή η παραδοσιακή διδασκαλία.

Η πρώτη πρόταση θα μπορέσει να αναδείξει ιδιαίτερες πτυχές αυτού του τρόπου μάθησης σε σχέση με τις ιδιαίτερες συνθήκες κάθε σχολικής μονάδας αλλά και με το μαθητικό δυναμικό, κάτι το οποίο προφανώς δεν ήταν δυνατό να καλυφθεί μέσα στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας. Επιπλέον, με αυτό τον τρόπο, θα μπορέσουν να συγκεντρωθούν περισσότερα στοιχεία σχετικά με το τί θα πρέπει να επιδιώκεται αλλά και τί ενδεχομένως να αποφεύγεται κατά την ένταξη μαθησιακών δραστηριοτήτων ΕΠ

στη σχολική τάξη. Τέτοια δεδομένα έχουν αξία, καθώς είναι σημαντικό ο διδάσκοντας να έχει στο μυαλό του τί θα πρέπει να αποφεύγει ώστε να κερδίζει πολύτιμο διδακτικό χρόνο κατά την διεξαγωγή μιας μαθησιακής εμπειρίας ΕΠ.

Το δεύτερο σημείο αφορά στην κατάλληλη οργάνωση μαθησιακών παρεμβάσεων οι οποίες θα αξιοποιούν τα μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ μέσα στη σχολική αίθουσα με τρόπο κατάλληλο ώστε να προκύψουν αποδείξεις και σε σχέση με τα μαθησιακά αποτελέσματα που δύνανται αυτά να επιφέρουν, αναφορικά με τις έννοιες που πραγματεύονται. Κάτω από αυτή τη λογική, θα είχε αξία να οργανωθεί διδακτική προσέγγιση η οποία θα βασίζεται σε κοινά φύλλα εργασίας και θα αντιπαραβάλλει τα μαθησιακά αποτελέσματα που προκύπτουν σε σχέση με δεύτερη διδακτική προσέγγιση που θα βασίζεται σε παραδοσιακού τύπου 2Δ προσομοιώσεις σε υπολογιστή. Κάτι τέτοιο θα μπορέσει να προσφέρει περισσότερα στοιχεία αναφορικά με το εάν και το πώς διαφοροποιείται, εν τέλει, η κατάκτηση της γνώσης όταν:

1. το αντικείμενο μάθησης είναι ένα πραγματικό αντικείμενο και η μεταβολή που καταγράφεται και οπτικοποιείται από τα δεδομένα επαύξησης προκύπτει ως αποτέλεσμα της απευθείας αλληλεπίδρασης του μαθητή με το αντικείμενο.
2. το αντικείμενο μάθησης εντάσσεται απευθείας μέσα στο φυσικό περιβάλλον και αντιπαραβάλλεται διαρκώς με τα πραγματικά αντικείμενα αυτού του περιβάλλοντος.

12.3.2 Καταγραφή και αξιοποίηση αριθμητικών δεδομένων κίνησης

Μια ενδιαφέρουσα προοπτική για την περαιτέρω αξιοποίηση της τεχνολογίας ΕΠ στην καθημερινή διδακτική πρακτική του μαθήματος της Φυσικής αποτελεί η επέκταση των περιβαλλόντων ΕΠ που αναπτύχθηκαν για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας κατά τρόπο τέτοιο ώστε να πραγματοποιείται επαύξηση των φυσικών αντικειμένων κατά την κίνησή τους με πραγματικά αριθμητικά δεδομένα τα οποία θα αφορούν στην στιγμιαία τιμή των περιγραφόμενων ή και άλλων φυσικών μεγεθών όπως αυτά μεταβάλλονται ανάλογα με την κίνηση των αντικειμένων-στόχων. Έτσι, για παράδειγμα, καθώς το αντικείμενο-στόχος παρακολουθείται από την κάμερα του κινητού κατά την κίνησή του, θα μπορούσε να επαυξάνεται και με τη στιγμιαία τιμή της ταχύτητας ή και της επιτάχυνσης του. Μια τέτοια υλοποίηση θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί με την ενσωμάτωση αισθητήρων ή και μικροελεγκτών επάνω στα φυσικά αντικείμενα, οι οποίοι θα καταγράφουν τα σχετικά δεδομένα και θα τα μεταδίδουν κατάλληλα ώστε αυτά να αστικοποιούνται και να επαυξάνουν σε πραγματικό χρόνο το κινούμενο φυσικό

αντικείμενο. Αν και κατά την ανάπτυξη των περιβαλλόντων ΕΠ της παρούσας έρευνας έγινε προσπάθεια ενσωμάτωσης του μικροελεγκτή microbit προκειμένου να λαμβάνονται τέτοιου τύπου δεδομένα πραγματικού χρόνου για τα μεγέθη της μετατόπισης και της ταχύτητας των αντικειμένων-στόχων ωστόσο τα προβλήματα που αναδύθηκαν σε σχέση με τα πρωτόκολλα επικοινωνίας μεταξύ των διαφορετικών προγραμματιστικών περιβαλλόντων έθεταν το συγκεκριμένο εγχείρημα εκτός του χρονικού πλαισίου της παρούσας έρευνας.

Επιπρόσθετα, οι σχεδιαστικές επιλογές υπαγόρευαν την ελαχιστοποίηση των αριθμητικών δεδομένων προς όφελος μιας περισσότερο ποιοτικής παρά ποσοτικής αναπαράστασης της μεταβολής των φυσικών μεγεθών αναφορικά και με το μαθησιακό επίπεδο του δείγματος της έρευνας. Ωστόσο, μια τέτοια υλοποίηση θα είχε νόημα για μαθητές μεγαλύτερων σχολικών τάξεων και συγκεκριμένα για μαθητές της Α' τάξης του Γενικού Λυκείου. Συγκεκριμένα, με βάση και το ισχύον αναλυτικό πρόγραμμα, οι μαθητές της Α' τάξης του Γενικού Λυκείου διδάσκονται και πάλι τις Κινήσεις και τις Δυνάμεις αλλά με έμφαση αυτή τη φορά στην ποσοτική μεταβολή και τις σχέσεις μεταξύ των φυσικών μεγεθών, με βάση κυρίως τις εξισώσεις κίνησης των σωμάτων αλλά και τη μαθηματική περιγραφή των νόμων του Νεύτωνα. Υπό αυτό το πρίσμα, η προοπτική αυτή θα μπορούσε να αποτελέσει αυτόνομο αντικείμενο μελλοντικής έρευνας.

12.3.3 Δημιουργία βιβλιοθήκης γραφικών στοιχείων επαύξησης

Η παρούσα ερευνητική εργασία προτείνει ένα μεθοδολογικό πλαίσιο και διαμορφώνει ορισμένες σχεδιαστικές αρχές για την ανάπτυξη μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ. Επιπλέον, το κείμενο της παρούσας ερευνητικής εργασίας συνοδεύεται και από την σουίτα των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ που σχεδιάστηκαν για τους σκοπούς της παρούσας έρευνας. Η σχεδιαστική ανοικτότητα αυτών των περιβαλλόντων ΕΠ επιτρέπει την τροποποίηση των προτεινόμενων φύλλων εργασίας και την κατάλληλη διαμόρφωση τους για πειραματισμό των μαθητών μέσα σε αυτά τα περιβάλλοντα σύμφωνα με τους στόχους που θέτει κάθε φορά ο διδάσκοντας, αναφορικά με τις συγκεκριμένες έννοιες της Φυσικής και σε σχέση με το δυναμικό της τάξης. Ωστόσο, η επέκταση αυτών των περιβαλλόντων ΕΠ και η δημιουργία νέων δραστηριοτήτων ΕΠ για τη διδασκαλία και άλλων εννοιών και γνωστικών αντικειμένων από το πεδίο της Φυσικής απαιτεί προγραμματιστικές γνώσεις και χρήση τεχνικών εργαλείων που συνήθως οι εκπαιδευτικοί δεν διαθέτουν. Θα είχε επομένως έννοια η ανάπτυξη μιας διεπαφής χρήστη όπου τα επαυξημένα δεδομένα θα διατίθενται ως γραφικά στοιχεία (graphic

elements) και τα οποία ο χρήστης-διδάσκοντας θα μπορεί να διαμορφώσει και να χειριστεί κατάλληλα μέσα από μια διεπαφή με γραφικά μόνο στοιχεία, προκειμένου να επαυξησει στη συνέχεια με αυτά κάποια φυσικά αντικείμενα-στόχους. Η ύπαρξη ενός τέτοιου περιβάλλοντος που δεν απαιτεί ιδιαίτερες τεχνικές γνώσεις θα μπορούσε να επιτρέψει την εύκολη υλοποίηση περιβαλλόντων επαυξημένης πραγματικότητας για το μάθημα της Φυσικής και την αυθόρμητη χρησιμοποίηση τους κατά τη διάρκεια του μαθήματος προκειμένου οι μαθητές να κινητοποιούνται και να εμπλέκονται ενεργότερα στη διαδικασία μάθησης σε μια μόνιμη βάση, μετασχηματίζοντας ουσιαστικά με τον τρόπο αυτό ολόκληρη τη διδακτική διαδικασία.

12.3.4 Αξιοποίηση προηγμένης τεχνολογίας

Επιπλέον, θα είχε ενδιαφέρον να υλοποιηθεί η ανάπτυξη των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ αξιοποιώντας την τεχνολογία των γυαλιών επαυξημένης πραγματικότητας. Μια τέτοια υλοποίηση ίσως να υπηρετήσει αποτελεσματικότερα κάποια σημεία της παρούσας έρευνας καθιστώντας ακόμη πιο «διαφανή» για τον μαθητή-χρήστη την επαύξηση των πραγματικών αντικειμένων με τα ψηφιακά δεδομένα. Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία να εξυπηρετεί το σκοπό της προσέγγισης, που είναι η χρήση εξοπλισμού χαμηλού κόστους και εύκολα διαθέσιμου στους μαθητές μιας σχολικής τάξης. Επομένως, είναι επιθυμητό τα τεχνολογικά μέσα που θα αξιοποιηθούν να «βρίσκονται εκεί» ανά πάσα στιγμή και επιπλέον να επιτρέπουν την ταυτόχρονη και ομαδική παρατήρηση των φαινομένων που μελετώνται.

12.3.5 Μαθησιακά σενάρια για μεγαλύτερη ανακαλυπτικότητα

Ακόμη, η παρούσα διατριβή προτείνει μια σειρά φύλλων εργασίας, όπως αυτά σχεδιάστηκαν για την ένταξη των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ στη σχολική τάξη, προκειμένου να διδαχθούν οι σχετικές έννοιες της Φυσικής για τις ανάγκες της διατριβής. Με βάση και με τα ευρήματα της παρούσας έρευνας, ο σχεδιασμός των φύλλων εργασίας αλλά και το υιοθετούμενο διδακτικό σενάριο φαίνονται να έχουν μεγάλη σημασία σε σχέση με την εμπλοκή των μαθητών στη μαθησιακή διαδικασία. Προφανώς, αυτά τα μαθησιακά σενάρια που υλοποιήθηκαν αποτελούν μία μόνο από τις πολυάριθμες διδακτικές προσεγγίσεις που δύνανται να σχεδιαστούν με βάση τα μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ.

Πιο συγκεκριμένα, η αξιοποίηση των φύλλων εργασίας στις προσφερόμενες εμπειρίες ΕΠ συνεπάγεται μια μεγάλη ελευθερία σε σχέση με τη διαδρομή που θα ακολουθήσει ο διδάσκοντας με τους μαθητές καθώς αξιοποιεί τα μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ για να διδάξει τις σχετικές έννοιες της Φυσικής. Με βάση και τη σχετική βιβλιογραφία, υπάρχει σήμερα πολύ μικρή καταγεγραμμένη εμπειρία αναφορικά με την ενσωμάτωση της τεχνολογίας ΕΠ και ιδιαίτερα μέσω κινητών συσκευών, στη σχολική διδασκαλία της Φυσικής. Ως εκ των ανωτέρω, μια πληθώρα δυνατών μαθησιακών σεναρίων είναι δυνατό να υλοποιηθούν και σημαντικά συμπεράσματα μπορούν να προκύψουν από την περαιτέρω διερεύνηση των τρόπων ένταξης των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ στη σχολική διδασκαλία. Ανάλογες προσεγγίσεις θα μπορούσαν να ρίξουν περισσότερο φως στις δυνατότητες που προκύπτουν από την αξιοποίηση της ΕΠ στη μάθηση εννοιών της Φυσικής αλλά και να αναδείξουν λεπτομέρειες που σχετίζονται κυρίως με τις ιδιαίτερες συνθήκες μάθησης που τίθενται από το νέο αυτό τεχνολογικό μέσο, σε συνδυασμό και με την αξιοποίηση των κινητών συσκευών ως μέσο μάθησης.

Δίνοντας έμφαση στη διάσταση της ανακάλυψης της γνώσης, πιθανές προσεγγίσεις αξιοποίησης των περιβαλλόντων ΕΠ θα μπορούσαν να θέσουν τους ίδιους τους μαθητές στο ρόλο ενορχηστρωτών των εμπειριών ΕΠ. Κάτω από αυτό το πνεύμα, οι ίδιοι οι μαθητές μπορούν, μεταξύ και άλλων προσεγγίσεων, να κληθούν να πειραματιστούν ελεύθερα με τα μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ, χωρίς καμία καθοδήγηση από φύλλα εργασίας. Μια τέτοια υλοποίηση θα επέτρεπε να μελετηθούν οι συμπεριφορές τους, το πώς αντιδρούν στην πληροφορία που τους παρέχεται αλλά και με ποιους τρόπους πιθανώς αξιοποιούν τα περιβάλλοντα ΕΠ για να στηρίξουν τις υποθέσεις τους στο δρόμο για την κατάκτηση της σχετικής γνώσης. Η ύπαρξη βιβλιοθήκης γραφικών στοιχείων επαύξησης και κατάλληλης διεπαφής που θα δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να πραγματοποιήσει την επαύξηση των αντικειμένων-στόχων χωρίς τεχνικές γνώσεις, σύμφωνα με όσα συζητήθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, θα μπορέσει να δώσει στους μαθητές περισσότερη ελευθερία για πειραματισμό και ανακάλυψη.

Στο ίδιο πνεύμα, μια ακόμη πιθανή προσέγγιση που θα είχε αξία να διερευνηθεί είναι ο μαθησιακός σχεδιασμός για την αξιοποίηση των περιβαλλόντων ΕΠ σε εμπειρίες ανεστραμμένης τάξης (flipped classroom). Με βάση τα ερευνητικά αποτελέσματα της παρούσας διατριβής, το στοιχείο της συνεργασίας μεταξύ των μαθητών φάνηκε να ενισχύει σημαντικά την κινητοποίηση και την εμπλοκή τους στις μαθησιακές εμπειρίες επαυξημένης πραγματικότητας. Το δεδομένο αυτό θα μπορούσε να αξιοποιηθεί

περαιτέρω με κατάλληλες συνεργατικές δραστηριότητες που θα βασίζονται περισσότερο στη συν-δόμηση της γνώσης με πειραματισμό, αφού τα στοιχεία παραδοσιακής διδασκαλίας θα έχουν δοθεί ασύγχρονα στους μαθητές, είτε ως σημειώσεις είτε ως οπτικοακουστικό υλικό για μελέτη στο σπίτι.

Τέλος, ελκυστική φαντάζει και η προοπτική της ένταξης των μαθησιακών περιβαλλόντων ΕΠ σε πλαίσια εξ αποστάσεως διδασκαλίας, τόσο σύγχρονης όσο και ασύγχρονης, για το μάθημα της Φυσικής. Οι μαθητές μπορούν εύκολα να έχουν στη διάθεση τους, μέσα από μια ιστοσελίδα ή ένα αποθετήριο εκπαιδευτικού υλικού, τόσο τα μαθησιακά περιβάλλοντα όσο και τα γραφικά στοιχεία που επικολλώνται πάνω στα φυσικά αντικείμενα για την υλοποίηση της λειτουργίας αναγνώρισης των φυσικών αντικειμένων. Στη συνέχεια, οι μαθητές με μία μικρή καθοδήγηση (σε μορφή βίντεο ή και με γραπτές οδηγίες) μπορούν να κατεβάσουν τα περιβάλλοντα ΕΠ ως εφαρμογές στις κινητές τους συσκευές καθώς και να εκτυπώσουν και να επικολλήσουν τα γραφικά στοιχεία σε μικρά, συμμετρικά αντικείμενα μικρών διαστάσεων (για παράδειγμα, κύβους από χαρτόνι, διαστάσεων περίπου 3cmx3cm). Τα αντικείμενα θα είναι πλέον αναγνωρίσιμα από την κινητή συσκευή και οι μαθητές θα μπορούν ελεύθερα να τα χειριστούν, σύμφωνα με τους μαθησιακούς στόχους που επιδιώκονται κατά περίπτωση. Σε ένα τέτοιο πλαίσιο λιγότερο τυπικής μάθησης και με την απουσία χρονικών περιορισμών, όπως αυτοί τίθενται κατά τη σχολική διδασκαλία, πιθανώς οι μαθητές να μπορέσουν να πειραματιστούν περαιτέρω και με περισσότερα φυσικά αντικείμενα, καταφέροντας τελικά να «δουν» τις αόρατες έννοιες της Φυσικής πάνω σε αντικείμενα της καθημερινής τους ζωής.

12.4 Επίλογος

Η παρούσα ερευνητική εργασία επιχείρησε να παρουσιάσει μία καινοτόμο μαθησιακή προσέγγιση η οποία αξιοποιεί την τεχνολογία ΕΠ για να παρέχει στους μαθητές ένα βιωματικό πλαίσιο συνεργατικής, διερευνητικής μάθησης μέσα στο περιβάλλον της σχολικής τάξης. Για το σκοπό αυτό σχεδιάστηκαν και αναπτύχθηκαν μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ με στόχο να επιτρέψουν στους μαθητές να «δουν» στο φυσικό χώρο των τριών διαστάσεων αόρατες, θεμελιώδεις έννοιες της Φυσικής. Τα μαθησιακά περιβάλλοντα ΕΠ βασίστηκαν σε φθινό, τοπικά διαθέσιμο εξοπλισμό και ενσωματώθηκαν χωρίς ιδιαίτερες δυσκολίες στην καθημερινή διδακτική πρακτική της Φυσικής. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η παρούσα διδακτική προσέγγιση ευθυγραμμίζεται με τα ενδιαφέροντα και τους σύγχρονους τρόπους πρόσληψης

πληροφοριών από τα παιδιά και αποτελεί ισχυρό κίνητρο για την εμπλοκή τους στη μαθησιακή διαδικασία. Κάτω από αυτό το πρίσμα, διαφαίνεται ότι ο συγκεκριμένος τρόπος μάθησης εισάγει μια νέα προοπτική στη διαδικασία δόμησης της επιστημονικής γνώσης σε σχέση με τις Φυσικές Επιστήμες. Επιπλέον, τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας αναδεικνύουν την ανάγκη αναζήτησης περισσότερων τρόπων για την αξιοποίηση αυτών των δυνατοτήτων με στόχο τον σχεδιασμό εμπειριών που θα επιτρέπουν στους μαθητές να παρακολουθούν στον πραγματικό τους κόσμο να εκτυλίσσεται η επιστημονική ερμηνεία των υποκείμενων φυσικών φαινομένων, σε μια προσπάθεια να γεφυρωθεί το χάσμα μεταξύ επιστημονικής γνώσης και καθημερινής εμπειρίας.

Ξενόγλωσσες Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Arvanitis, T. N., Petrou, A., Knight, J. F., Savas, S., Sotiriou, S., Gargalakos, M., et al. (2007). Human factors and qualitative pedagogical evaluation of a mobile augmented reality system for science education used by learners with physical disabilities. *Personal and Ubiquitous Computing*, 13(3), 243–250. <http://dx.doi.org/10.1007/s00779-007-0187-7>.
- Atasoy, Ş., Küçük, M., & Akdeniz, A. R. (2011). Remedying science student teachers' misconceptions of force and motion using worksheets based on constructivist learning theory. *Energy Education Science and Technology Part B: Social and Educational Studies*, 3(4), 519–534.
- Azuma, R. (1997). A survey of augmented reality. *Presence*, 6(4), 355-385.
- Barfield, W. & Furness, T. (1995). *Virtual environments and advance interface design*. New York: Oxford University Press.
- Benford, S., Rowland, D., Flintham, M., Hull, R., Reid, J., Morrison, J., Facer, K., Clayton, B. (2004). Savannah: Designing a location-based game simulating lion behaviour. *International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*.
- Bentley, D. & Watts, M. (1992). *Communicating in School Science: Groups, tasks and problem-solving*, London: Falmer.
- Birchfield, D., & Megowan -Romanowicz, C. (2009). Earth science learning in SMALLab: a design experiment for mixed reality. *International Journal of Computer-supported Collaborative Learning*, 4(4), 403–421. <http://dx.doi.org/10.1007/s11412-009-9074-8>.
- Bozzi, P. (1990). *Fisica ingenua*. Milan: Garzanti.
- Boletsis C., McCallum S. (2013) Table Mystery: An Augmented Reality Collaborative Game for Chemistry Education. In: Ma M., Oliveira M.F., Petersen S., Hauge J.B. (Eds.), *Serious Games Development and Applications, SGDA 2013. Lecture Notes in Computer Science*, vol 8101. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Borges, S. D. S., Durelli, V. H. S., Reis, H. M., & Isotani, S. (2014). A systematic mapping on gamification applied to education. In Proceedings of the 29th Annual ACM Symposium on Applied Computing (SAC '14), 216-222.
- Borys, M., & Laskowski, M. (2013). Implementing game elements into didactic process: a case study. In *Management, Knowledge and Learning International Conference*. Zadar, Croatia, 19-21 June 2013.
- Bronack, S. C. (2011). The role of immersive media in online education. *Journal of Continuing Higher Education*, 59(2), 113–117. <http://dx.doi.org/10.1080/07377363.2011.583186>.
- Brown, D., & Clement, J. (1989). Overcoming misconceptions via analogical reasoning: Abstract transfer versus explanatory model construction. *Instructional Science*, 18: 237–261.
- Brown, D., & Hammer, D. (2008). Conceptual change in physics. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 127-154). New York: Routledge.
- Brown, E. (2010). Introduction to location-based mobile learning. In E. Brown (Ed.), *Education in*

the wild: contextual and location-based mobile learning in action, University of Nottingham: Learning Sciences Research Institute.

- Brousseau, G. (1997). *Theory of Didactical Situations in Mathematics 1970-1990*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Brown, J. S., Collis, A., & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18(1),32-42.
- Brown, M. (2010). Transfer: Outdoor adventure education's Achilles heel? Changing participation as a viable option. *Australian Journal of Outdoor Education* 14 (1), 13–22.
- Bruner J., (1996), *Towards a theory of instruction*. New York: WW Norton.
- Bruun, J., & Christiansen, F. V. (2016). Kinaesthetic activities in physics instruction: Image schematic justification and design based on didactic situations. *NorDiNa*, 12(1), 56-72.
- Cai, S., Chiang, F. K., & Wang, X. (2013). Using the augmented reality 3D technique for a convex imaging experiment in a physics course. *International Journal of Engineering Education*, 29(4), 856-865.
- Cai, S., Wang, X., & Chiang, F. K. (2014). A case study of augmented reality simulation system application in a chemistry course. *Computers in Human Behavior*, 37, 31-40.
- Carson, R., Rowlands, S. (2005). Mechanics as the logical point of entry for the enculturation into scientific thinking. *Science & Education*, 14, 473–493.
- Champagne, A. B., Klopfer, L. E. & Anderson, J. H. (1980). Factors influencing the learning of classical mechanics. *American Journal of Physics*, 48(12), 1074-1079.
- Clement, J. (1982). Student's preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50(1), 66-71.
- Cook, W. (2013). Five reasons you can't ignore gamification. *Chief Learning Officer Magazine*, 5(8). Ανακτήθηκε από: <http://www.clomedia.com/2013/05/08/five-reasons-you-cant-ignore-gamification/> στις 18-9-2019.
- Crawford, B. A. (2007). Learning to teach science as inquiry in the rough and tumble of practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 44, 613-642.
- Deterding S., Dixon D., Khaled R., & Nacke L. (2011). From game design elements to gamefulness: Defining "gamification". *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference*. (pp. 9-15). New York, USA: ACM Press.
- Demirci, N. (2005). A Study about Students' Misconceptions in Force and Motion Concepts by Incorporating a Web-Assisted Physics Program. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 4, 40-49.
- De Souza e Silva, A. & Gordon, E. (2011). *Net-Locality: Why Location Matters in a NetworkedWorld*. Malden, MA and Oxford: Wiley-Blackwell.
- DiSessa, A. A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10 (2-3), 105–225.
- Driver, R., & Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5, 61-84.

- Driver, R., Guesne, E. & Tiberghien, A. (1985). *Children's ideas in science*. Milton Keynes, UK: Open University Press.
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P. & Wood-Robinson, V. (1994). *Making sense of secondary science—research into children's ideas*. London: Routledge.
- Duit, R., Treagust, D., & Widodo, A. (2008). Teaching science for conceptual change: Theory and practice. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp.629–646). New York: Routledge.
- Duit, R., Niedderer, H., & Schecker, H. (2007). Teaching Physics. In S.K. Abell & N.G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 599-629). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Dunleavy, M., Dede, C., & Mitchell, R. (2009). Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning. *Journal of Science Education and Technology*, 18 (1), 7-22.
- Dunleavy, M. & Simmons, B. (2011). Assessing learning and identity in augmented reality science games. In L. Annetta & S. Bronack (Eds.), *Serious educational games assessment* (pp. 221-240). Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers
- Dunleavy, M. & Simmons, B. (2014). Augmented reality teaching and learning. In J.M. Spector, M. D Merrill, J. Elen, & M.J. Bishop (Eds.), *The Handbook of Research for Educational Communications and Technology* (4th ed.) Chapter 67, Augmented Reality. New York: Springer.
- Dykstra, D., Boyle, C. & Monarch, I. (1992). Studying conceptual change in learning physics. *Science Education* 76 (6), 615–652.
- Enyedy, N., Danish, J. A., Delacruz, G., & Kumar, M. (2012). Learning physics through play in an augmented reality environment. *International Journal of Computer-supported Collaborative Learning* 7(3), 347–378.
- Erickson, G., & Hobbs, E. (1978). The developmental study of student beliefs about force concepts. Paper presented to *The annual convention of the Canadian Society for the Study of Education*. Ontario, Canada (June 2).
- Galili, I. (1995). Mechanics Background Influences Students' Conceptions in Electromagnetism. *International Journal of Science Education*, 17(3), 371-387.
- Galili, I. (2001). Weight versus gravitational force: historical and educational perspectives. *International Journal of Science Education*, 23(10), 1073-1093.
- George, D., & Mallery, P. (2003). *SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference*. 11.0 update (4th ed.). Boston: Allyn & Bacon.
- Gibson, J.J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates
- Gilbert, J. K., Watts, D. M., & Osborne, R. (1982). Students' conceptions of ideas in mechanics. *Physics Education*, 17(2), 62–66.
- Gönen, S. (2008). A Study on Student Teachers' Misconceptions and Scientifically Acceptable Conceptions About Mass and Gravity. *Journal of Science Education and Technology*, 17, 70-81.

- Groff, J., Clarke-Midura, J., Owen, V.E., Rosenheck, L., & Beall, M. (2015). *Better Learning in Games: A Balanced Design Lens for a New Generation of Learning Games* [white paper]. Cambridge, MA: MIT Education Arcade and Learning Games Network. Ανακτήθηκε από: <https://education.mit.edu/wp-content/uploads/2018/10/BalancedDesignGuide2015.pdf> ΣΤΙΣ 22/7/2019.
- Gunstone, R., & Watts., D. (1985). *Force and motion. In Children's ideas in science*, ed. R. Driver, E. Guesne, and A. Tiberghien (pp.85–104). Milton Keynes, UK: Open University Press.
- Halim, L., Yong, T. and Meerah, T. (2014). Overcoming Students' Misconceptions on Forces in Equilibrium: An Action Research Study. *Creative Education*, 5, 1032-1042.
- Halloun, I., & Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53, 1056-1065.
- Harteveld, C. (2010) Triadic Game Evaluation: A Framework for Assessing Games with a Serious Purpose. Workshop of the ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems 2010, Germany, Berlin.
- Hatzikraniotis, E., Theodorakakos, A., Spyrtou, A. & Kariotoglou, P. (2005). Newton-3: A Software for Teaching Dynamic Interactions. In Michaelides, P.G., Margetousaki, A., *Proceedings of the 2nd International Conference on Hands on Science, HSci*, July 13-16, Rethimno, 96-102.
- Hecht, H. & Bertamini, M. (2000). Understanding projectile acceleration. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26, 730-746.
- Hecht, H. & Proffitt, D.R. (1995). The price of expertise: effects of experience on the water level task. *Psychological Science*, 6, 90-95.
- Hestenes, D. (1992). Modeling games in the Newtonian world. *American Journal of Physics*, 60, 732-748.doi:10.1119/1.17080
- Hestenes, D. & Halloun, I. (1992). Interpreting the FCI. *The Physics Teacher*. 33, 502-506.
- Hestenes, D. & Wells, M. (1992). A Mechanics Baseline Test. *The Physics Teacher*, 30, 159-165.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141–158.
- Hevner, A., March, S., Park, J. & Ram, S. (2004). Design Science in Information Systems Research, *MIS Quarterly*, 28 (1), pp. 75-105.
- Hewson, P.W. (1985). Diagnosis and remediation of an alternative conception of velocity using a microcomputer program. *American Journal of Physics*. 53,684-690.
- Holding, B. (1987). *Investigation of school children's understanding of the process of dissolving with special reference to the conservation of mass and the development of atomistic ideas*, unpublished Ph.D. thesis, University of Leeds. Ανακτήθηκε από: <http://etheses.whiterose.ac.uk/421/> ΣΤΙΣ 22/9/2019.
- Huotari, K. & Hamari, J (2012). Defining Gamification - A Service Marketing Perspective. *Proceedings of the 16th International Academic MindTrek Conference*, ACM Press, New York, USA, 17-22
- Inter-American Network of Academies of Sciences (2017). Inquiry Based Science Education:

Promoting changes in science teaching in the Americas, IANAS, Mexico. Ανακτήθηκε από: <http://www.interacademies.org/42440/Inquiry-Based-Science-Education-Promoting-changes-in-scienceteaching-in-the-Americas> στις 18/9/2019.

- Ibáñez, M. B., Di Serio, Á., Villarán, D. & Delgado Kloos, C. (2014). Experimenting with electromagnetism using augmented reality: Impact on flow student experience and educational effectiveness. *Computers & Education*, 71, 1–13.
- Jadhao, V.G. & Parida, B.K. (2013). The Concept of force, Homi Bhabha Centre for Science Education. Ανακτήθηκε από: <http://www.hbcse.tifr.res.in/> στις 18/9/2019.
- Jimoyiannis A., & Komis V. (2003). Investigating Greek students' ideas about forces and motion. *Research in Science Education*, 33, 375–392.
- Jimoyiannis, A., Mikropoulos, T.A., & Ravanis, K. (2000). Student's performance towards computer simulations on kinematics. *Themes in Science Education*, 1(4), 357–372.
- Johnson, L. F., Levine, A., Smith, R. S., & Haywood, K. (2010a). Key emerging technologies for elementary and secondary education. *Education Digest*, 76(1), 36–40.
- Johnson, L., Smith, R., Willis, H., Levine, A., and Haywood, K., (2011). *The 2011 Horizon Report*. Austin, Texas: The New Media Consortium.
- Jonassen, D.H. (1991) Objectivism versus constructivism: do we need a new philosophical paradigm? *Journal of Education Research*, 39 (3), 5-14.
- Kaiser, M. K. Jonides, J. & Alexander, J. (1986). Intuitive reasoning about abstract and familiar physics problems. *Memory and Cognition*, 14, 308-312.
- Kaiser, M. K. Proffitt, D. R. & McCloskey, M. (1985). The development of beliefs about falling objects. *Perception and Psychophysics*, 38, 533-539.
- Kamarainen, A.M., Metcalf, S., Grotzer, T., Browne, A., Mazzuca, D., Tutwiler, M.S., & Dede, C. (2013). EcoMobile: Integrating augmented reality and probeware with environmental education field trips. *Computers & Education*, 68, 545-556.
- Kariotoglou, P., Spyrtou, A. & Tselfes, V. (2009). How student – teachers understand distance force interactions in different contexts. *Journal of Science and Mathematics Education*, 7, 851-873.
- Keeley, P., & Harrington, R. (2010). *Uncovering student ideas in physical science (Volume 1): 45 new force and motion assessment probes*. Arlington, VA: NSTA Press.
- Keller, J.M. (2015). Motivation Survey (IMMS) in a self-directed instructional setting aimed at working with technology. *British journal of educational technology*, 46(1), 204-218.
- Keller, J.M. (2010). *Motivational Design for Learning and Performance: The ARCS Model Approach*. New York: Springer.
- Keller, J.M. (1987). Development and use of the ARCS model of instructional design. *Journal of Instructional Development*, 10(3), 2–10.
- Kerawalla, L., Luckin, R., Seljeflot, S., & Woolard, A. (2006). “Making it real”: exploring the potential of augmented reality for teaching primary school science. *Virtual Reality*, 10(3), 163–174.
- Kim, J.H., Park, S.T. Lee, H., & Lee, H. (2005). Correcting misconception using unrealistic virtual

- reality simulation in physics education. In A. Mendez-Vilas, B. Gonzalez-Pereira, J. Mesa Gonzalez & J.A. Mesa Gonzalez (Eds.), *Recent Research Developments in Learning Technologies* (pp. 1065-1069). Badajoz, Spain: FORMATEX.
- Kokkotas, P. (2003). *Didactics of Science Education (Part II) - Contemporary Trends for Teaching Science: Constructivism in Science Teaching and Learning*. Athens (in Greek language).
- Klopfer, E. (2008). *Augmented learning*. Cambridge, MA: MIT press.
- Klopfer, E., & Squire, K. (2008). Environmental Detectives - the development of an augmented reality platform for environmental simulations. *Educational Technology Research and Development*, 56 (2), 203-228.
- Koleva, B., Benford, S. & Greenhalgh, C. (1999): 'The Properties of Mixed Reality Boundaries', in S. Bodker, M. Kyng, K. Schmidt, K. (eds.): *Proc. of the Sixth European Conf. on Computer-Supported Cooperative Work ECSCW'99* (pp. 119- 137). Kluwer: Dordrecht.
- Kocakulah, M. S. (2010). Development and application of a rubric for evaluating students' performance on Newton's laws of motion. *Journal of Science Education and Technology*, 19(2), 146–164.
- Kulas, C., Sandor, C. & Klinker, G. (2004). Towards a Development Methodology for Augmented Reality User Interfaces. *Proc. Int'l Workshop Exploring the Design and Eng. of Mixed Reality Systems*. MIXER 2004.
- Lee H.S., & Park J. (2013). Deductive reasoning to teach Newton's law of motion. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 11, 1391-1414.
- Liu, T.-Y., Tan, T.-H., & Chu, Y.-L. (2009). Outdoor natural science learning with an RFID-supported immersive ubiquitous learning environment. *Educational Technology & Society*, 12(4), 161–175.
- Loorbach, N., Peters, O., Karreman, J., & Steehouder, M. (2016). Validation of the Instructional Materials Motivation Survey IMMS in a self-directed instructional setting aimed at working with technology. *British Journal of Educational Technology*, 46(1), 204-218.
- Majeed, H. Z., & Ali, H. A. (2020). A review of augmented reality in educational applications. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration*, Vol 7(62). <http://dx.doi.org/10.19101/IJATEE.2019.650068>
- Malone, T. W., & Lepper, M. R. (1987). Making learning fun: A taxonomy of intrinsic motivations for learning. In R. E. Snow & M. J. Farr (Eds.), *Aptitude, learning, and instruction: Vol. 3. Cognitive and affective process analysis* (pp. 223-253). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- McKittrick, B., Mulhall, P., & Gunstone, R. (1999). Improving understanding in physics: An effective teaching procedure. *Australian Science Teachers' Journal*, 45(3), 27–33.
- Mathews, J. M. (2010). Using a studio-based pedagogy to engage students in the design of mobile-based media. *English Teaching: Practice and Critique*, 9(1), 87–102.
- Mikropoulos, T.A., & Natsis, A. (2011). Educational virtual environments: A ten-year review of empirical research (1999–2009). *Computers & Education*, 56(3), 769–780.
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12), 1321–1329.

- Minstrell, J. (1989). Teaching science for understanding. In (Eds.) L. Resnick and L. Klopfer, *Toward the thinking curriculum: Current cognitive research* (pp. 129–149). Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Minstrel, J. (1982). Explaining the "at rest" condition of an object. *The Physics Teacher*, 20(1), 10-14.
- Mislevy, R. J., Almond, R. G. & Lukas, J. F. (2003). A brief introduction to evidence-centred design. *Research Report RR-03-16*. Princeton, NJ: Educational Testing Service
- Mitchell, R. (2011). Alien Contact! Exploring teacher implementation of an augmented reality curricular unit. *Journal of computers in Math and Science Teaching*, 30 (3). 271-302.
- Morrone, A. S., Gosney, J., & Enge, S. (2012). *Empowering Students and Instructors: Reflections on the Effectiveness of iPads for Teaching and Learning*. Educause Review
- Nabilah, F.A., Marlina A., Lilia, E.M. (2013). The Level of Misconceptions on Force and Motion among Physics Pre-Services Teachers in UPSI. *2nd International Seminar on Quality and Affordable Education (ISQAE 2013)*. Ανακτήθηκε από: <http://educ.utm.my/wp-content/uploads/2013/11/191.pdf> στις 18/1/2019.
- National Research Council. (1996). National science education standards. Washington, D.C.: National Academy Press.
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the national science education standards*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Nieminen, P., Savinainen, A., & Viiri, J. (2012). Relations between representational consistency, conceptual understanding of the force concept, and scientific reasoning. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 8(1), 010123. Ανακτήθηκε από: <https://journals.aps.org/prper/pdf/10.1103/PhysRevSTPER.8.010123> στις 19/9/2018.
- Nix, J. (2005). The development of mobile learning for smartphones. *Proceedings of IADIS International Conference Applied Computing, Algarve, 22-25 February 2005*.
- Novak, J.D., Gowin, D.B. & Johansen, G.T. (1983). The Use of Concept Mapping and Knowledge Vee Mapping With Junior High Science Students. *Science Education*, 67(5), 625-645.
- Oblinger, D. G. (2004). The Next Generation of Educational Engagement. *Journal of Interactive Media in Education*, 8(8), 1-18.
- Osborne, R. (1985). Building on children's intuitive ideas. In R. Osborne & P. Freyberg (Eds.), *Learning in Science* (pp. 41-50). Auckland, New Zealand: Heinemann.
- Osborne, R. (1980). *Force*, LISP Working Paper 16. Hamilton, New Zealand: Science Education Research Unit, University of Waikato.
- Osborne, R.J., & Gilbert, J.K. (1980). A technique for exploring students' views of the world. *Physics Education*, 15, 376–379.
- O'Shea, P., Dede, C., & Cherian, M. (2011). The results of formatively evaluating an augmented reality curriculum based on modified design principles. *International Journal of Gaming and Computer-mediated Simulations* 3, 2 (April-June), 57-66.
- Pachler, N., Bachmair, B. and Cook, J. (2010). *Mobile learning: Structures, agency, practices*. New York: Springer.

- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. New York: Basic Books, pp. 859-882.
- Park, J., & Han, S. (2002). Using deductive reasoning to promote the change of students' conceptions about force and motion. *International Journal of Science Education*, 24(6), 593–609.
- Peluso, D. (2012). The fast-paced iPad revolution: Can educators stay up to date and relevant about these ubiquitous devices? *British Journal of Educational Technology*, 43, E125-E127.
- Pfundt, H., & Duit, R. (2000). *Bibliography: Student's alternative frameworks and science education (5th ed.)*. Kiel, Germany: University of Kiel.
- Piaget, J. (1961). *La psychologie de l' intelligence*. Paris: Armand Colin. Ανακτήθηκε από: <http://sunsite.berkeley.edu/cgi-bin/ebind2html/psycholo> στις 20-5-1019.
- Piaget, J. (1973). *To Understand is to Invent*. New York: Grossman.
- Pope, M., & Gilbert, J. (1983). Personal experience and the construction of knowledge in science. *Science Education*, 67(2), 193-203.
- Prensky, M. (2001). *Digital game-based learning*. McGraw Hill, New York.
- Proffitt, D.R. (1999). Naïve physics. In Wilson, R.A. and Keil F.C. (Eds.) *The MIT encyclopedia of the cognitive sciences*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Raymer, R. (2011). Gamification: Using Game Mechanics to Enhance eLearning. *eLearn Magazine*. Ανακτήθηκε από: <http://elearnmag.acm.org/featured.cfm?aid=2031772> στις 5/5/2019.
- Rosenbaum, E., Klopfer, E., & Perry, J. (2007). On location learning: Authentic applied science with networked augmented realities. *Journal of Science Education and Technology*, 16 (1), 31-45.
- Rowlands, S., Graham, T., Berry J. & McWilliam, P. (2007). Conceptual changes through the lens of Newtonian mechanics. *Science & Education*, 16, 21–42.
- Ruggiero, S., Cartielli, A., Dupre, F. & Vincentini-Missoni, M. (1985). Weight, gravity, and air pressure: Mental representations by Italian middle-school pupils. *European Journal of Science Education* 7 (2): 181–194.
- Shanon, B. (1976). Aristotelianism, Newtonianism and the physics of the layman. *Perception*, 5, 241-243.
- Shevlin, J. (1989). Children's prior conceptions of force aged 5–11 and their relevance to attainment target 10 of the national curriculum of science. M.Ed. thesis, University of Leeds, UK.
- Shunk, H. D. (2010). *Θεωρίες Μάθησης: Μια εκπαιδευτική προσέγγιση*. Αθήνα: Μεταίχμιο
- Sotiriou, S., & Bogner, F. X. (2008). Visualizing the invisible: augmented reality as an innovative science education scheme. *Advanced Science Letters*, 1, 114–122.
- Squire, K., & Jan, M. (2007). Mad city mystery: Developing scientific argumentation skills with a place-based augmented reality game on handheld computers. *Journal of Science Education and Technology*, 16 (1), 5-29.

- Squire, K., & Klopfer, E. (2007). Augmented reality simulations on handheld computers. *Journal of the Learning Sciences*, 16(3), 371–413.
- Smith, B. & Casati, R. (1994). Naïve physics. *Philosophical Psychology*, 7, 227-247.
- White, B.Y. (1983). Sources of difficulty in understanding newtonian dynamics. *Cognitive science*, 7, 41-65S.
- Sotiriou, S., & Bogner, F. X. (2008), Visualizing the invisible: augmented reality as an innovative science education scheme. *Advanced Science Letters*, 1, 114–122.
- Stamenkovski, S., & Zajkov, O. (2014). Seventh grade students' qualitative understanding of the concept of mass influenced by real experiments and virtual experiments. *European journal of physics education*, 5(2), 20-30. Ανακτήθηκε από: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1051500.pdf> στις 25/9/2019.
- Stavey, R., & Tirosh, D. (2000). *How students (mis-)understand science and mathematics: Intuitive rules*. New York: Teachers College Press.
- Stylos, G. (2008). Misconceptions on Classical Mechanics by Freshman University Students: A case study in a Physics Department in Greece. *Themes in Science and Technology Education*, 1, 157-177.
- Tao, P.K. (1997). Confronting students' alternative conceptions in mechanics with the Force and Motion Microworld. *Computers in Physics*, 11, 199–207.
- Tao, P.K., & Gunstone, R.F. (1997). The process of conceptual change in “force and motion”. Paper presented at the *Annual Meeting of the American Educational Research Association*, Chicago, IL.
- Teemu, H.L. (2018). Mobile Educational Augmented Reality Games: A Systematic Literature Review and Two Case Studies. *Computers*, 2018, 7(1), 19.
- Thornton, R.K., & Sokoloff, D.R. (1990). Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools. *American Journal of Physics*, 58(9), 858–867.
- Thornton, R.K., & Sokoloff, D.R. (1998). Assessing student learning of Newton's laws: The force and motion concept evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture. *American Journal of Physics*, 66(4), 338–351.
- Tiberghien, A., Vince, J., & Gaidioz, P. (2009). Design-based research: Case of a teaching sequence on mechanics. *International Journal of Science Education*, 31(17), 2275–2314.
- Tomara, M., Tselfes, V., & Gouscos, D. (2017). Instructional strategies to promote conceptual change about force and motion: A review of the literature. *Themes in Science and Technology Education*, 10(1), 1-16.
- Tomara, M., & Gouscos, D (2014). Using augmented reality for the reformation of learners' misconceptions in science education: Issues and prospects. *eLearning Papers*, 39, 26-33. Ανακτήθηκε από: http://www.eunis.org/wp-content/uploads/2014/11/Learning-in-cyber-physical-worlds_Issue39.pdf στις 25/9/2019.
- Trindade, J., Fiolhais, C., & Almeida, L. (2002). Science learning in virtual environments: a descriptive study. *British Journal of Educational Technology*, 33(4), 471-488.

- Trowbridge, D., & McDermott, L. (1981). Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension. *American Journal of Physics*, 49(2), 242–253.
- Trowbridge, D., & McDermott, L. (1980). Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. *American Journal of Physics* 48 (12), 1020–1028.
- Uematsu, Y., & Saito, H. (2008). Visual Enhancement for Sports Entertainment by Vision-Based Augmented Reality. *Advances in Human-Computer Interaction*, Vol. 2008, no. 2008, 1-14.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. (1992). Mental models of the earth: A study of the conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.
- Vosniadou, S. (2002). Mental models in conceptual development. In L. Magnani & N. Nersessian (Eds.), *Model-based reasoning: Science, technology, values*. New York: Kluwer Academic Press.
- Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics, *European Journal of Science Education*, Vol. 1, no. 2, pp. 205-221.
- Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A., & Papademitriou, E. (2001). Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and Instruction*, 11(4), 381–419.
- Vosniadou, S., Vamvakoussi, X., & Skopeliti, I. (2008). The Framework Theory Approach to the Problem of Conceptual Change. In S. Vosniadou (Ed.). *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York: Routledge.
- Vygotsky, L. (1925), Consciousness as a problem in the psychology of behavior, *European Studies in the History of Science and Ideas*, 8, 251-281. Ανακτήθηκε από: <http://www.marxists.org/archive/vygotsky/works/1925/consciousness.htm> στις 5/5/2019.
- Watkins, A. (2011). *Creating games with Unity and Maya: how to develop fun and marketable 3D games*. USA: Focal Press.
- Watts, D.M., & Zylbersztajn, A. (1981). A survey of some children's ideas about force. *Physics Education* 6(16), 360–365.
- White, R., & Gunstone, R.F. (2008). The conceptual change approach and the teaching of science. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 619-628). New York: Routledge.
- Wu, H., & Huang, Y. (2007). Ninth-grade student engagement in teacher-centered and student centered technology-enhanced learning environments. *Science Education*, 91(5), 727-749.
- Wu, H.K., Lee, S.W., Chang, H.Y., Liang, J.C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education*, 62(3), 41-49.
- Zichermann, G., & Cunningham, C. (2011). *Gamification by Design: Implementing Game Mechanics in Web and Mobile Apps*. Sebastopol: O'Reilly Media.

Ελληνόγλωσσες βιβλιογραφικές Αναφορές

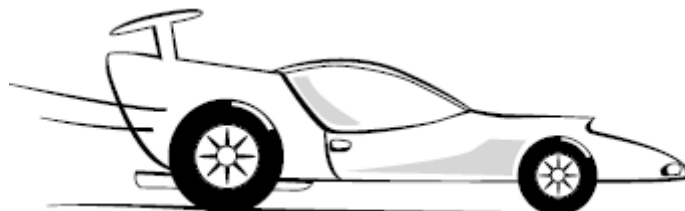
- Αλιμήσης, Δ. (1993). Η σύγχρονη έρευνα για τις δυσκολίες των μαθητών στη Φυσική. *Πρακτικά Επιμορφωτικού Σεμιναρίου Καθηγητών Φυσικών*, Καλαμάτα – Σπάρτη.
- Αναστασάκη, Ε.& Πρεβεζάνου, Ο. (2008). *Εφαρμογές της επαυξημένης πραγματικότητας με τη χρήση κινητών συσκευών*. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Κεδράκα, Κ. (2008). *Μεθοδολογία Παρατήρησης*. Ανακτήθηκε από: <https://docplayer.gr/33695953-Kedraka-k-2008-methodologia-paratirisis-sto-methodologia-paratirisis.html> στις 12/12/2019.
- Κόκκοτας, Π. (2002). Διδακτική των Φυσικών Επιστημών ΙΙ. *Σύγχρονες προσεγγίσεις στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών*, 3η έκδοση. Αθήνα: εκδ. Γρηγόρη.
- Κόμης, Ι. Β. (2004). *Εισαγωγή στις εκπαιδευτικές εφαρμογές των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και των επικοινωνιών*. Αθήνα: Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών.
- Κοσσυβάκη, Φ. (2005). *Εναλλακτική Διδακτική. Προτάσεις για μετάβαση από την διδακτική του αντικειμένου στην διδακτική του ενεργού αντικειμένου*. Αθήνα, Μεταίχμιο.
- Κουλαϊδής, Β. & Ρογκάκος, Δ. (1999), Αρχές Ανάπτυξη Λογισμικού για την Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, στο Αθ. Τζιμογιάννης (επ.): *Πρακτικά του 1ου Πανελληνίου Συνεδρίου 'Πληροφορική και Εκπαίδευση'*, Ιωάννινα: Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, σελ. 81-95.
- Κώσης, Κ. & Μπασιάκος, Γ. (2009). Οι στάσεις των εκπαιδευτικών της Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης στη χρήση πειραμάτων για τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, στο *Οι πολλαπλές προσεγγίσεις της διδασκαλίας και της μάθησης των Φυσικών Επιστημών*, Καριώτογλου, Π., Σπύρτου, Α. και Ζουπίδης, Α. (επ.), Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση, 479-486.
- Λουκά, Α., Καραγεώργος, Δ., Πατάπης, Σ., & Κυνηγός, Χ., (2003). Η αναδόμηση προϋπάρχουσων αντιλήψεων των μαθητών/τριών της Γ΄ Γυμν. στο νόμο της αδράνειας με τη χρήση ειδικά σχεδιασμένων προσομοιώσεων. Πρακτικά 3ου Συνεδρίου Διδακτικής Φυσικών Επιστημών και Νέας Τεχνολογίας.
- Μακράκης, Β. (2000). *Υπερμέσα Στην Εκπαίδευση: Μια κοινωνικο-εποικοδομιστική προσέγγιση*. Αθήνα: Εκδόσεις Μεταίχμιο.
- Παναγοπούλου, Π. (2016). *Ένα παιδί μετράει τα άστρα. Αξιοποίηση της Επαυξημένης Πραγματικότητας στο σχολικό βιβλίο για μαθητές με Μαθησιακές Δυσκολίες*. Πτυχιακή εργασία. Σχολή Επιστημών του Ανθρώπου. Παιδαγωγικό Τμήμα Ειδικής Αγωγής. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Σολομνίδου, Χ. (2006), Νέες τάσεις στην εκπαιδευτική τεχνολογία - Εποικοδομητισμός και σύγχρονα περιβάλλοντα μάθησης. Μεταίχμιο, Επιστήμες της Αγωγής.
- Τομαρά, Μ., & Γκούσκος, Δ. (2014). Η αξιοποίηση ψηφιακών μέσων επαυξημένης πραγματικότητας για την εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες. *Διαδικτυακό Περιοδικό i-Teacher*, τεύχος 8, Μάιος 2014, σελ. 190-198. Ανακτήθηκε από: http://i-teacher.gr/files/8o_teychos_i_teacher_5_2014.pdf στις 20/12/2019.
- Τομαρά, Μ. (2010). «Το ηλεκτρο-δωμάτιο: ένα διαδραστικό εκπαιδευτικό παιχνίδι για το μάθημα της Φυσικής Ε' τάξης Δημοτικού, ενότητα "Ηλεκτρισμός" του σχολικού βιβλίου "Φυσικά Δημοτικού, Ερευνώ και Ανακαλύπτω"», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, ΕΚΠΑ.

Παράρτημα Ι: Διερευνητικά φύλλα για την ανάδειξη ιδεών

Τα διερευνητικά φύλλα για την ανάδειξη ιδεών των μαθητών σε σχέση με τις έννοιες *Δύναμη, επιτάχυνση, ταχύτητα, μάζα, βάρος*.

Ταχύτητα, 1^ο διερευνητικό φύλλο:

Αγώνες ταχύτητας



Η Παυλίνα και οι φίλοι της διαβάζουν ένα άρθρο για αγώνες ταχύτητας αυτοκινήτων στα αθλητικά μιας εφημερίδας. Η Παυλίνα βλέπει τη λέξη *ταχύτητα* να αναφέρεται πολλές φορές. Αναρωτιέται τι σημαίνει. Ρωτάει τους φίλους της:

Κατερίνα: “Νομίζω σημαίνει ότι κάτι κινείται πολύ γρήγορα”

Λουκάς: “Πιστεύω ότι ταχύτητα και επιτάχυνση είναι το ίδιο.”

Κική: “Νομίζω ότι περιγράφει το πόσο γρήγορα κινείται ένα σώμα και προς τα πού (την κατεύθυνση προς την οποία κινείται).”

Γιώργος: “Είναι ο ρυθμός με τον οποίο αλλάζει η ταχύτητα ενός κινούμενου σώματος”

Ποιος πιστεύεις ότι δίνει την καλύτερη ερμηνεία; Γιατί συμφωνείς μαζί του;

Ταχύτητα, 2^ο διερευνητικό φύλλο:

Ακολουθώντας το Δημήτρη



Η Μαριλένα και ο Δημήτρης προχωρούν δίπλα-δίπλα, τρώγοντας παγωτό χωνάκι. Η Μαριλένα σταματά για να μιλήσει σε ένα φίλο. Καθώς εκείνη συζητά, Το παγωτό του Δημήτρη αρχίζει να λιώνει με σταθερό ρυθμό, καθώς εκείνος απομακρύνεται, συνεχίζοντας να περπατά. Όταν η Μαριλένα τελειώνει τη συζήτηση, και καταλαβαίνει ότι ο Δημήτρης δεν είναι πλέον δίπλα της κοιτάζει κάτω και παρατηρεί τις σταγόνες από το παγωτό του Δημήτρη στο έδαφος:



Η Μαριλένα χρειάζεται βοήθεια για να καταλάβει πως κινούνταν (περπατούσε) ο Δημήτρης όση ώρα εκείνη συζητούσε. Αν η Μαριλένα ακολουθήσει τις σταγόνες, τι πληροφορίες θα τις δώσουν για την κίνηση του Δημήτρη; Επιλέξτε την απάντηση που κατά τη γνώμη σας περιγράφει καλύτερα το πώς κινήθηκε (περπάτησε) ο Δημήτρης ενώ εκείνη συζητούσε με το φίλο της.

A. Οι σταγόνες δείχνουν ότι ο Δημήτρης άρχισε να περπατά πολύ αργά και μετά κινήθηκε όλο και πιο γρήγορα.

B. Οι σταγόνες δείχνουν ότι ο Δημήτρης άρχισε να περπατά πολύ γρήγορα και μετά κινήθηκε όλο και πιο αργά.

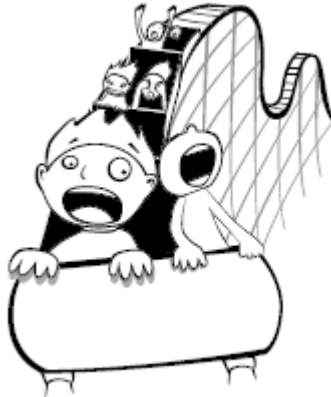
Γ. Οι σταγόνες δείχνουν ότι ο Δημήτρης άρχισε να περπατά αργά, μετά κινήθηκε πιο γρήγορα και συνέχισε να περπατά με αυτή την ίδια, σταθερή ταχύτητα

Δ. Οι σταγόνες δείχνουν ότι ο Δημήτρης άρχισε να περπατά γρήγορα, μετά κινήθηκε πιο αργά και συνέχισε να περπατά με αυτή την ίδια, σταθερή ταχύτητα

Επιχειρήστε να εξηγήσετε πώς σκεφτήκατε.

Επιτάχυνση, διερευνητικό φύλλο:

Βόλτα με το τρενάκι



Η Λουκία είναι στο τρενάκι του Λούνα Παρκ με τους φίλους της. Ένας από αυτούς φωνάζει: Πωπω τεράστια επιτάχυνσηηη!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

Μετά τη βόλτα, η Λουκία αναρωτιέται τι σημαίνει *επιτάχυνση*. Βάλε ένα Χ μπροστά από τις παρακάτω κινήσεις που πιστεύεις ότι είναι παραδείγματα επιτάχυνσης:

___ Όταν κάτι κινείται πολύ γρήγορα

___ Όταν κάτι κινείται πολύ αργά

___ Όταν κινείσαι και στρίβεις σε μία γωνία πολύ γρήγορα

___ Όταν κινείσαι σε μία κατεύθυνση, γυρνάς και συνεχίζεις προς την αντίθετη κατεύθυνση

___ Πηγαίνεις αργά και μετά γρηγορότερα

___ Πηγαίνεις γρήγορα και μετά πιο αργά.

Μπορείς να δώσεις λόγους για τους οποίους θεωρείς ότι οι παραπάνω κινήσεις που διάλεξες σημαίνουν επιτάχυνση;

Για σένα τι σημαίνει *επιτάχυνση*;

Μάζα και Βάρος, διερευνητικό φύλλο:

Ζυμάρι Πίτσας



Η Χρυσάνθη φτιάχνει πίτσες στην κουζίνα της πιτσαρίας. Ξεκινά με μια μπάλα ζύμης. Την απλώνει με το χέρι. Μετά πετάει ψηλά την ανοιγμένη ζύμη, μέχρι που αυτή τεντώνεται και παίρνει σχήμα μεγάλου κύκλου.

Ποια πρόταση περιγράφει καλύτερα το τί συμβαίνει στο **βάρος** της ζύμης αφότου αυτή απλώνει και γίνεται μεγάλος κύκλος;

Κυκλώστε τη σωστή απάντηση

A Το βάρος της ζύμης αυξάνεται όταν αυτή τεντώνεται.

B Το βάρος της ζύμης μειώνεται όταν αυτή τεντώνεται.

Γ Το βάρος της ζύμης μένει το ίδιο όταν αυτή τεντώνεται

Part 2: Ποια πρόταση περιγράφει καλύτερα το τι συμβαίνει στη **μάζα** της ζύμης αφότου αυτή απλώνει και γίνεται μεγάλος κύκλος;

A Η μάζα της ζύμης αυξάνεται όταν αυτή τεντώνεται.

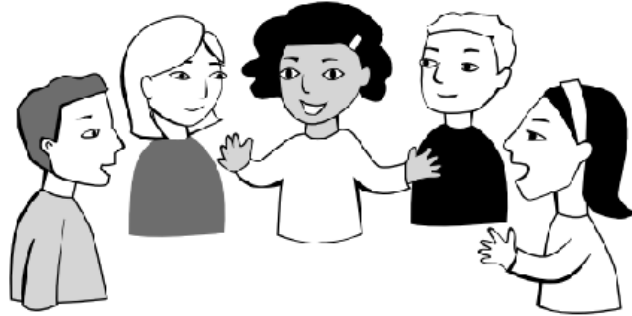
B Η μάζα της ζύμης μειώνεται όταν αυτή τεντώνεται.

Γ Η μάζα της ζύμης μένει ίδια όταν αυτή τεντώνεται..

Μπορείς να πεις πώς το σκέφτεσαι;

Δυνάμεις, 1^ο διερευνητικό φύλλο:

Μιλώντας για δυνάμεις



Πέντε φίλοι μιλούν για δυνάμεις:

Παντελής: "Νομίζω ότι το σπρώξιμο είναι μία δύναμη και το τράβηγμα είναι κάτι διαφορετικό"

Γιώργος: "Νομίζω ότι το τράβηγμα είναι μία δύναμη και το σπρωξιμο είναι κάτι διαφορετικό"

Μαρία: "Νομίζω ότι μια δύναμη είναι είτε ένα σπρώξιμο είτε ένα τράβηγμα"

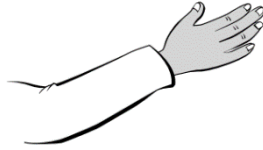
Αλίκη: "Νομίζω ότι το σπρώξιμο και το τράβηγμα είναι δυνάμεις αλλά υπάρχει και ένα άλλο είδος δύναμης το οποίο απλά συγκρατεί τα αντικείμενα στη θέση τους"

Σοφία: "Νομίζω ότι το σπρώξιμο και το τράβηγμα δεν είναι δυνάμεις. Είναι κάτι άλλο"

Με ποιο μαθητή συμφωνείς περισσότερο; Εξήγησε το σκεπτικό σου. Τι πιστεύεις ότι είναι μία δύναμη;

Δυνάμεις, 2^ο διερευνητικό φύλλο:

Πρέπει να ακουμπάει;



Δύο φίλοι συζητούν για δυνάμεις. Διαφωνούν σχετικά με το αν πρέπει να αγγίζεται ένα αντικείμενο ώστε να δράσει επάνω του μια δύναμη:

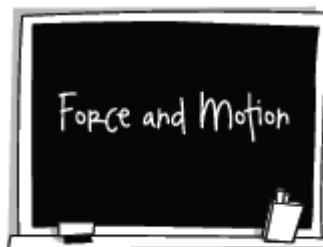
Κατερίνα: "Πιστεύω ότι δύο αντικείμενα πρέπει να ακουμπούν μεταξύ τους ώστε να υπάρξει και δύναμη μεταξύ τους"

Λουκάς: "Δεν πιστεύω ότι δύο αντικείμενα πρέπει να ακουμπούν μεταξύ τους ώστε να υπάρξει και δύναμη μεταξύ τους"

Με ποιο παιδί συμφωνείτε περισσότερο; Επιχειρήστε να δώσετε παραδείγματα που ενισχύουν τις ιδέες σας.

Ιδέες για τη δύναμη και την κίνηση

Οι μαθητές της κυρίας Παπαδοπούλου μοιράζονται τις ιδέες τους σχετικά με τις δυνάμεις και τις κινήσεις. Ακούστε μερικές από τις ιδέες τους. Βάλτε ένα X δίπλα σε κάθε ιδέα με την οποία συμφωνείτε.



- ___ 1 Αν ένα σώμα κινείται τότε ασκείται πάνω του κάποια δύναμη.
- ___ 2 Αν ένα σώμα είναι ακίνητο (απουσία κίνησης) τότε δεν ασκείται πάνω του καμία δύναμη
- ___ 3 Δεν μπορεί να υπάρχει δύναμη χωρίς κίνηση.
- ___ 4 Τα σώματα μπορούν να συνεχίζουν να κινούνται σε ευθεία γραμμή χωρίς να τους ασκούμε κάποια δύναμη.
- ___ 5 Όταν ένα σώμα κινείται, πάντα ασκείται πάνω του μια δύναμη στην κατεύθυνση στην οποία κινείται.
- ___ 6 Τα σώματα που κινούνται σταματούν όταν η δύναμη τους εξαντλείται (τελειώνει).
- ___ 7 Δυνάμεις ασκούνται στα σώματα και όταν αυτά είναι ακίνητα.
- ___ 8 Όσο μεγαλύτερη η δύναμη που δέχεται ένα σώμα, τόσο γρηγορότερα κινείται ένα σώμα.
- ___ 9 Η σταθερή ταχύτητα είναι αποτέλεσμα σταθερής δύναμης.
- ___ 10 Μία δύναμη είναι απαραίτητη ώστε ένα σώμα να αλλάξει την κατεύθυνση της κίνησης του.
- ___ 11 Οι δυνάμεις κάνουν τα σώματα να ξεκινούν και όταν η ενέργεια τους εξαντληθεί, σταματούν.
- ___ 12 Η δύναμη μπορεί να μεταφερθεί από ένα σώμα σε ένα άλλο κατά τη διάρκεια της κίνησης

Εσύ πως πιστεύεις ότι σχετίζονται οι δυνάμεις με την κίνηση των σωμάτων;

Παράρτημα II: Αξιολόγηση της Μαθησιακής Εμπειρίας ΕΠ για την Ηλεκτρική Δύναμη

1. Ερωτηματολόγιο RIMMS

Δείξτε το βαθμό που συμφωνείτε ή διαφωνείτε με τις παρακάτω προτάσεις, βάζοντας βαθμούς από 1 μέχρι 5 σύμφωνα με την παρακάτω κλίμακα:

1. Διαφωνώ, δεν ισχύει αυτό για μένα.
2. Συμφωνώ ελάχιστα μόνο με αυτή την πρόταση.
3. Συμφωνώ έτσι και έτσι με αυτή την πρόταση.
4. Κυρίως συμφωνώ με αυτή την πρόταση.
5. Συμφωνώ απόλυτα με αυτή την πρόταση.

1. Μου είναι ξεκάθαρο το πώς συνδέεται το περιεχόμενο της δραστηριότητας που έκανα με γνώσεις που έχω ήδη.
2. Η ποιότητα της δραστηριότητας με βοήθησε να κρατήσω την προσοχή μου.
3. Καθώς ασχολούμουν με τη δραστηριότητα αυτή ήμουν βέβαιη/βέβαιος ότι θα κατάφερα να μάθω το περιεχόμενο.
4. Ευχαριστήθηκα τόσο πολύ το μάθημα αυτό που θα ήθελα να μάθω και άλλα για το νόμο του Coulomb και τις ηλεκτρικές δυνάμεις.
5. Ο τρόπος που παρουσιάστηκε η πληροφορία από την δραστηριότητα με βοήθησε να είμαι συγκεντρωμένη/μένος σε αυτό που έκανα.
6. Πραγματικά ευχαριστήθηκα αυτό το μάθημα.
7. Το περιεχόμενο και η παρουσίαση αυτού του μαθήματος μου έδωσαν την εντύπωση ότι είναι σημαντικό να το καταλάβω και να το μάθω.
8. Αφού δούλεψα σε αυτή τη δραστηριότητα για λίγο, ήμουν σίγουρη/σίγουρος ότι θα μπορούσα να περάσω ένα τεστ σε αυτό το μάθημα.
9. Η ποικιλία του υλικού στη δραστηριότητα αυτή (συζήτηση, φύλλο με ερωτήσεις, κλπ.) με βοήθησαν να κρατήσω την προσοχή μου στο μάθημα.
10. Το περιεχόμενο αυτού του μαθήματος πιστεύω ότι θα μου είναι χρήσιμο.
11. Η καλή οργάνωση του περιεχομένου της δραστηριότητας που έκανα με έκανε να νιώθω σίγουρη ότι θα κατάφερα να καταλάβω αυτό το μάθημα.

12. Ήταν μεγάλη η ευχαρίστηση μου να δουλέψω σε ένα τόσο καλά σχεδιασμένο μάθημα.

2. Ερωτηματολόγιο «δυσκολίας/ευχαρίστησης»

Τι σε δυσκόλεψε στην εφαρμογή ;

Η χρήση του κινητού;

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Η συνεργασία με τα άλλα μέλη της ομάδας;

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Το μενού της εφαρμογής;

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Το να διαχειριστείς τα χαρτάκια- «στόχους» της εφαρμογής;

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Το να καταλάβεις τα δεδομένα που εμφανίζονταν πάνω στα χαρτάκια-«στόχους»; (φορτία, δυνάμεις)

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Το να αλλάξεις τις τιμές και το είδος των φορτίων ;

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Το να καταλάβεις ποια πληροφορία είναι πραγματική και ποια όχι ;

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Το να καταλάβεις τι σημαίνουν τα δεδομένα της οθόνης (φορτία, βελάκια-δυνάμεις) ;

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Κάτι άλλο; Τι;.....

Τι σου άρεσε περισσότερο στην εφαρμογή ;

Η χρήση του κινητού;

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Η συνεργασία με τα άλλα μέλη της ομάδας;

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Το μενού της εφαρμογής;

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Το ότι χειριζόσουν τα χαρτάκια- «στόχους» σαν αληθινά φορτία;

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Κάτι άλλο; Τι;.....

Τι θα πρότεινες να αλλάξει στην εφαρμογή για να γίνει καλύτερη; Γράψε ότι πρόταση έχεις για να βελτιωθεί η εφαρμογή.

Παράρτημα III: Αξιολόγηση των Μαθησιακών Εμπειριών ΕΠ για την Κίνηση και τη Δύναμη

1. Ερωτηματολόγιο RIMMS

Δείξτε το βαθμό που συμφωνείτε ή διαφωνείτε με τις παρακάτω προτάσεις, βάζοντας βαθμούς από 1 μέχρι 5 σύμφωνα με την παρακάτω κλίμακα:

1. Διαφωνώ, δεν ισχύει αυτό για μένα.
2. Συμφωνώ ελάχιστα μόνο με αυτή την πρόταση.
3. Συμφωνώ έτσι και έτσι με αυτή την πρόταση.
4. Κυρίως συμφωνώ με αυτή την πρόταση.
5. Συμφωνώ απόλυτα με αυτή την πρόταση.

1. Μου είναι ξεκάθαρο το πώς συνδέεται το περιεχόμενο της δραστηριότητας που έκανα με γνώσεις που έχω ήδη.
2. Η ποιότητα της δραστηριότητας με βοήθησε να κρατήσω την προσοχή μου.
3. Καθώς ασχολούμουν με τη δραστηριότητα αυτή ήμουν βέβαιη/βέβαιος ότι θα κατάφερα να μάθω το περιεχόμενο.
4. Ευχαριστήθηκα τόσο πολύ το μάθημα αυτό που θα ήθελα να μάθω και άλλα για τις κινήσεις και τις δυνάμεις μεταξύ των σωμάτων
5. Ο τρόπος που παρουσιάστηκε η πληροφορία από την δραστηριότητα με βοήθησε να είμαι συγκεντρωμένη/μένος σε αυτό που έκανα.
6. Πραγματικά ευχαριστήθηκα αυτό το μάθημα.
7. Το περιεχόμενο και η παρουσίαση αυτού του μαθήματος μου έδωσαν την εντύπωση ότι είναι σημαντικό να το καταλάβω και να το μάθω.
8. Αφού δούλεψα σε αυτή τη δραστηριότητα για λίγο, ήμουν σίγουρη/σίγουρος ότι θα μπορούσα να περάσω ένα τεστ σε αυτό το μάθημα.
9. Η ποικιλία του υλικού στη δραστηριότητα αυτή (συζήτηση, φύλλο με ερωτήσεις, κλπ.) με βοήθησαν να κρατήσω την προσοχή μου στο μάθημα.
10. Το περιεχόμενο αυτού του μαθήματος πιστεύω ότι θα μου είναι χρήσιμο.
11. Η καλή οργάνωση του περιεχομένου της δραστηριότητας που έκανα με έκανε να νιώθω σίγουρη ότι θα κατάφερα να καταλάβω αυτό το μάθημα.

12. Ήταν μεγάλη η ευχαρίστηση μου να δουλέψω σε ένα τόσο καλά σχεδιασμένο μάθημα.

2. Ερωτηματολόγιο «δυσκολίας/ευχαρίστησης»

Τι σε δυσκόλεψε στην εφαρμογή ;

Η χρήση του κινητού;

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Η συνεργασία με τα άλλα μέλη της ομάδας;

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Το μενού της εφαρμογής;

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Το να διαχειριστείς τα κυβάρια - «στόχους» της εφαρμογής;

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Το να καταλάβεις ποια πληροφορία είναι πραγματική και ποια όχι ;

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Το να καταλάβεις τις οδηγίες, όπου υπήρχαν, καθώς και το τί έπρεπε να κάνεις σε κάθε εφαρμογή)

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Το να καταλάβεις ποια ενέργεια πώς πρέπει να κάνεις μία ενέργεια με βάση τις οδηγίες σε κάθε φάση της εφαρμογής;

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Το να καταλάβεις αν έχεις κάνει κάποια σωστή ή κάποια λανθασμένη ενέργεια;

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Το να καταλάβεις τα δεδομένα που εμφανίζονταν πάνω στα κυβάρια - «στόχους»; (ονόματα φυσικών μεγεθών, βελάκια για τη θέση, την ταχύτητα, τη δύναμη, κλπ.)

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Το να καταλάβεις τα αριθμητικά δεδομένα της οθόνης (θέση, μετατόπιση σε cm) ;

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Κάτι άλλο; Τι;.....

Τι σου άρεσε περισσότερο στην εφαρμογή ;

Η χρήση του κινητού;

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Η συνεργασία με τα άλλα μέλη της ομάδας;

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Το μενού της εφαρμογής;

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Το ότι μπορούσες να βλέπεις τα αόρατα φυσικά μεγέθη θέση, μετατόπιση, ταχύτητα να εμφανίζονται και να αλλάζουν σύμφωνα με το πώς κινούσες τα κυβάκια - «στόχους»;

πάρα πολύ πολύ έτσι κ έτσι λίγο καθόλου

Κάτι άλλο; Τι;.....

Τι θα πρότεινες να αλλάξει στην εφαρμογή για να γίνει καλύτερη; Γράψε ότι πρόταση έχεις για να βελτιωθεί η εφαρμογή

Παράρτημα IV: Φύλλο εργασίας για την Ηλεκτρική Δύναμη

Ηλεκτρική Δύναμη μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων (ΝΟΜΟΣ COULOMB)

Σκοπός μας είναι να **εξερευνήσουμε** τον τρόπο που αλληλεπιδρούν δύο ακίνητα φορτία και να διερευνήσουμε την σχέση που δίνει την τιμή της ηλεκτρικής (ηλεκτροστατικής) δύναμης που ασκεί το ένα στο άλλο.

Διάβασε τις οδηγίες, πραγματοποιήσε τις δραστηριότητες που περιγράφονται και γράψε τις παρατηρήσεις σου.

Υπόμνημα θεωρίας

- Δύο φορτισμένα σωματίδια **Q1** και **Q2** ασκούν **ηλεκτρική δύναμη** το ένα στο άλλο.
- **Η δύναμη** είναι διανυσματικό μέγεθος, σχεδιάζεται χρησιμοποιώντας **βελάκια**.
- Τα χαρακτηριστικά της δύναμης (και επομένως του βέλους) είναι **η φορά** και **η διεύθυνση**.
- **Φορά:** καθορίζει **προς τα που κατευθύνεται** το βέλος (διάνυσμα).
- **Διεύθυνση:** **η ευθεία** που ορίζουν τα άκρα του βέλους (διανύσματος).
- Δύο μεγέθη είναι **ανάλογα**, στην περίπτωση που η μεταβολή τους είναι τέτοια, ώστε: όταν το ένα μέγεθος **πολλαπλασιάζεται επί έναν αριθμό**, το άλλο **πολλαπλασιάζεται με τον ίδιο αριθμό**.
- Δύο μεγέθη είναι **αντιστρόφως ανάλογα**, στην περίπτωση, που η μεταβολή τους είναι τέτοια, ώστε: όταν το ένα μέγεθος **πολλαπλασιάζεται επί έναν αριθμό**, το άλλο **διαιρείται με τον ίδιο αριθμό**.

A. Τα χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής δύναμης

1.α. Χωρίς να επιλέξετε κάτι στην οθόνη, τοποθετήστε τα φορτία το ένα δίπλα στο άλλο σε απόσταση περίπου **15 εκατοστών**.

<p>Παρατηρείστε τη δύναμη μεταξύ των φορτίων. Σχεδιάστε τα φορτία, σημειώστε από πάνω το είδος τους με +/- και σχεδιάστε τις δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ τους .</p>	
--	--

1.β. Τοποθετήστε τα φορτία **το ένα κάτω από το άλλο** σε απόσταση περίπου **15 εκατοστών**.

Παρατηρείστε τη δύναμη μεταξύ των φορτίων. Σχεδιάστε τα φορτία, σημειώστε το είδος τους με +/- και σχεδιάστε τις δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ τους .	
--	--

1.γ. Μετακινείστε τα φορτία **σε τυχαίες** θέσεις, στην ίδια απόσταση μεταξύ τους (περίπου στα 15 εκατοστά). Παρατηρείστε τη φορά και τη διεύθυνση της δύναμης μεταξύ των φορτίων.

Τι συμπεραίνετε για τη **διεύθυνση** της δύναμης;

.....
.....

2.α. Επιλέξτε το κουμπί: **Q1 θετικό, Q2 θετικό** .

Παρατηρείστε τη δύναμη μεταξύ των φορτίων. Σχεδιάστε τα φορτία, σημειώστε το είδος τους με +/- και σχεδιάστε τις δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ τους .	
--	--

2.β. Τοποθετείστε τα φορτία σε απόσταση περίπου **15 εκατοστών**. Αλλάξτε τα είδη των ηλεκτρικών φορτίων, επιλέγοντας διαδοχικά και τα αντίστοιχα τρία κουμπιά στην οθόνη.

Μετακινείστε τα φορτία **σε τυχαίες θέσεις**, στην ίδια απόσταση μεταξύ τους (περίπου 15 εκατοστά) και ταυτόχρονα αλλάξτε τα είδη των ηλεκτρικών φορτίων από τα αντίστοιχα κουμπιά στην οθόνη. Παρατηρείστε, κάθε φορά που αλλάζετε το είδος των φορτίων, τη φορά της δύναμης.

Τι συμπεραίνετε για τη **φορά** της δύναμης;

.....

.....

.....

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ (συμπλήρωσε):

Οι ηλεκτρικές δυνάμεις δρουν από

Τα ετερόνυμα φορτία ενώ τα ομώνυμα φορτία

Στην περίπτωση i) οι δυνάμεις είναι(ελκτικές/απωστικές).

Στην περίπτωση ii) οι δυνάμεις είναι..... (ελκτικές/απωστικές).

Και στις δύο περιπτώσεις οι δυνάμεις είναι(ίσες/αντίθετες).

B. Το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης

1.α. Κρατήστε την απόσταση μεταξύ των φορτίων και την τιμή του ενός φορτίου σταθερά (ενδεικτικά, στα 15 περίπου εκατοστά), και αλλάξτε την τιμή του 2^{ου} φορτίου Q_2 όπως δείχνει ο πίνακας. Συμπληρώστε τις τιμές για την δύναμη στην 3η στήλη.

Q_1	Q_2	F
1	1	Τι παρατηρείτε: Όταν η τιμή του ενός φορτίου διπλασιάζεται, τότε η τιμή της δύναμης
1	2
1	3
1	4	Όταν η τιμή του ενός φορτίου τριπλασιάζεται τότε
1	5	Όταν η τιμή του ενός φορτίου.....

1.β.Επαναλάβετε την προηγούμενη διαδικασία μεταβάλλοντας ταυτόχρονα την τιμή και των δύο φορτίων όπως δείχνει ο πίνακας. Συμπληρώστε την 3η στήλη και 4^η στήλη.

Q_1 (Cb)	Q_2 (Cb)	$Q_1 \cdot Q_2$	F (N)	Τι παρατηρείτε: Όταν η τιμή του γινομένου των φορτίων διπλασιάστηκε η τιμή της δύναμης Όταν η τιμή του γινομένου των φορτίων τετραπλασιάστηκε..... Όταν η τιμή του γινομένου των φορτίων εξαπλασιάστηκε.....
1	1			
2	1			
2	2			
5	1			
5	5			

1γ. Δώστε στο πρώτο και το δεύτερο φορτίο τιμές 2μC, τοποθετήστε τα σε απόσταση περίπου **15** εκατοστών (**cm**) και σημειώστε την τιμή της δύναμης. Αλλάξτε την απόσταση σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα και συμπληρώστε την 3η στήλη με τον υπολογισμό του R^2 και την 4^η στήλη με τις τιμές της δύναμης.

R (cm)	R^2 (cm ²)	F (N)	Τι παρατηρείτε: Όταν η απόσταση μεταξύ των φορτίων διπλασιάστηκε η τιμή της δύναμης Όταν η απόσταση μεταξύ των φορτίων τριπλασιάστηκε η τιμή της δύναμης.....
8			
16			
24			
32			

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης **F** με την οποία αλληλεπιδρούν δύο σημειακά φορτία Q_1 και Q_2 είναιμε το γινόμενο των

φορτίων, $Q_1 \cdot Q_2$ καιΤΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΟΥ ΤΗΣ
μεταξύ τους απόστασης, r^2 .

Η **μαθηματική διατύπωση** των προηγούμενων εμπειρικών συμπερασμάτων είναι ο ακόλουθος τύπος:

NOMOS COULOMB

$$F = K \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Όπου q_1, q_2 οι τιμές των ηλεκτρικών φορτίων σε C (Κουλόμπ), r η απόσταση μεταξύ τους σε m και K είναι μια σταθερά αναλογίας η τιμή της οποίας εξαρτάται από το υλικό στο οποίο βρίσκονται τα φορτία και τις μονάδες που χρησιμοποιούμε. Εδώ (δηλαδή στο κενό και κατά προσέγγιση στον αέρα): $K=9 \cdot 10^9 \text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$.

Άσκηση: Δύο σημειακά σφαιρίδια φέρουν φορτία $-2 \mu\text{C}$ και $+3 \mu\text{C}$ αντιστοίχως και απέχουν κατά $2 \cdot 10^{-2} \text{m}$. **α)** Να σχεδιάσεις τα δυο σφαιρίδια και τη δύναμη που ασκείται σε καθένα από αυτά. **β)** Ποια η είναι η τιμή της δύναμης αυτής;

Παράρτημα V: Φύλλο Εργασίας για την Κίνηση

A. ΤΑΧΥΤΗΤΑ-ΤΡΟΧΙΑ

Ξεκινήστε την εφαρμογή. Από την κεντρική οθόνη πατήστε «ΤΑΧΥΤΗΤΑ-ΤΡΟΧΙΑ»

Αρχικά θα πρέπει η κάμερα να «δει» το τουβλάκι σας. Όταν η κάμερα «χάνει» το τουβλάκι, σας ειδοποιεί με το μήνυμα «Ο στόχος έχει χαθεί!».

1. Μόλις η κάμερα «δει» το τουβλάκι σας, μπορείτε, κινώντας το τουβλάκι να δείτε μια γραμμή να το ακολουθεί, καθώς αυτό κινείται. Αναγνωρίζετε τι είναι αυτή η γραμμή; Αναγνωρίζετε τι δείχνει το πράσινο βελάκι που ακολουθεί τη γραμμή;

2. Μετακινώντας το τουβλάκι σας άλλοτε γρήγορα και άλλοτε πιο αργά αλλάζει κάτι στο βελάκι της ταχύτητας;

3. Δοκιμάστε να κινήσετε το τουβλάκι σας σε ευθεία γραμμή, Τι παρατηρείτε για την κατεύθυνση του βέλους (διανύσματος) της ταχύτητας; Μπορείτε να σχεδιάσετε αυτό που βλέπετε;

4. Δοκιμάστε να κινήσετε το τουβλάκι σας σε κύκλο. Τι παρατηρείτε για την κατεύθυνση του βέλους (διανύσματος) της ταχύτητας; Μπορείτε να σχεδιάσετε αυτό που βλέπετε;

5. Από τα παραπάνω, μπορούμε να συμπεράνουμε κάτι για το μέγεθος του βέλους (διανύσματος) της ταχύτητας;

6. Από τα παραπάνω, μπορούμε να συμπεράνουμε κάτι για την κατεύθυνση του βέλους (διανύσματος) της ταχύτητας;

Β. ΘΕΣΗ

Από την κεντρική οθόνη πατήστε «ΘΕΣΗ»

Αρχικά θα πρέπει η κάμερα να «δει» το τουβλάκι σας. Όταν η κάμερα «χάνει» το τουβλάκι, σας ειδοποιεί με το μήνυμα «το αντικείμενο έχει χαθεί!»

1. Μόλις η κάμερα «δει» το τουβλάκι σας, βλέπετε ότι αυτό μπορεί να κινείται πάνω στην ευθεία αναφοράς μεταξύ των θέσεων $x=-10\text{cm}$ και $x=+10\text{cm}$. Προσανατολίστε τη συσκευή οριζόντια για να χωράει όλη η ευθεία αναφοράς.

Η εφαρμογή σας ενημερώνει με μήνυμα μέσα σε πλαίσιο για την θέση στην οποία βρίσκεται το τουβλάκι κάθε στιγμή, πάνω στην ευθεία αναφοράς: «τώρα, βρίσκεσαι στη θέση $x=....\text{cm}$ ».

Πιέστε το κουμπί (Παίξε!) και μετακινήστε το τουβλάκι στη θέση που σας λέει η εφαρμογή: «Πήγαινε στη θέση $x=...cm$ ».

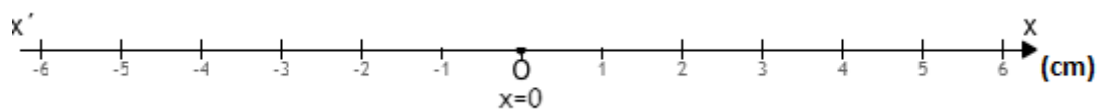
Μετά από κάθε επιτυχημένη προσπάθεια αυξάνεται ο αριθμός των επιτυχιών στο κίτρινο πλαίσιο (« Καλές προσπάθειες:..») και εμφανίζεται μια κόκκινη καρδούλα μέχρι να ξαναπατήσετε το κουμπί «Παίξε!» για νέα προσπάθεια.

2. Προσπαθήστε να κάνετε δέκα (10) επιτυχημένες δοκιμές.

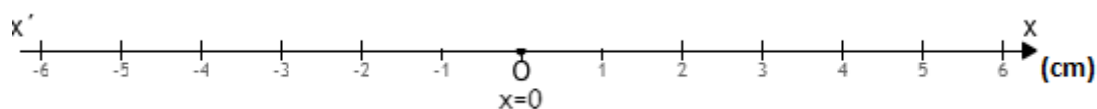
Πώς σχεδιάζουμε το βελάκι της θέσης του αντικειμένου πάνω στην ευθεία αναφοράς, δηλαδή ποια είναι η αρχή του και ποιο είναι το τέλος του;

3. Σχεδιάστε στο παρακάτω σχήμα τη Θέση του πιγκουΐνου, όταν αυτό βρίσκεται:

A) στο $x=7\text{ cm}$



B) στο $x=-4\text{ cm}$



Γ. ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ

Από την κεντρική οθόνη πατήστε «ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ»

Μόλις η κάμερα «δει» το τουβλάκι σας, βλέπετε ότι αυτό μπορεί να κινείται πάνω στην ευθεία αναφοράς.

Η εφαρμογή σας ενημερώνει με μήνυμα για την θέση στην οποία βρίσκεται το τουβλάκι κάθε στιγμή, πάνω στην ευθεία αναφοράς (τώρα βρίσκεσαι στη θέση $x_0 = \dots \text{cm}$).

Πατήστε το κουμπί «δώσε την αρχική θέση, x_0 » για να σας δοθεί η αρχική θέση όπου πρέπει να βάλετε το τουβλάκι σας.

Μόλις βάλετε το τουβλάκι σας στη σωστή αρχική θέση x_0 θα ενεργοποιηθεί και το κουμπί «δώσε τη μετατόπιση, Δx ».

Το πατάτε και η εφαρμογή σας δίνει τη ζητούμενη μετατόπιση ΔX .

Μετακινήστε το τουβλάκι σας στην τελική θέση X_f ώστε να ισχύει:

$$X_f - X_0 = \Delta X.$$

Όταν βάλετε το τουβλάκι σας στη σωστή τελική θέση πατήστε το κουμπί «Είσαι στη σωστή τελική θέση, X_f ; » για να ελέγξετε αν έχετε βάλει τον κύβο σας στη σωστή θέση. Αν η τελική θέση είναι η σωστή εμφανίζεται μήνυμα « Μπράβο η θέση $X_f = \dots \text{cm}$ είναι η σωστή!». Διαφορετικά εμφανίζεται το μήνυμα «Προσπάθησε ξανά!». Μόλις ολοκληρώσετε μια επιτυχημένη προσπάθεια πατήστε πάλι το κουμπί «δώσε την αρχική θέση, x_0 » για να σας δοθεί νέα αρχική θέση.

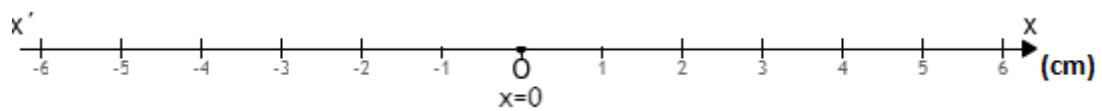
Προσπαθήστε να κάνετε δέκα (10) επιτυχημένες δοκιμές. Η εφαρμογή σας ενημερώνει για τις επιτυχημένες προσπάθειες (καλές προσπάθειες) αλλά και για τις αποτυχημένες προσπάθειες (κακές προσπάθειες) στο δεξί πάνω μέρος της οθόνης.

Πώς σχεδιάζουμε με βελάκι την μετατόπιση που έκανε το τουβλάκι μας; Πως σχεδιάζουμε την μετατόπιση μεταξύ αρχικής θέσης και τελικής θέσης; Ποια είναι η αρχή του βέλους της μετατόπισης και ποιο είναι το τέλος του;

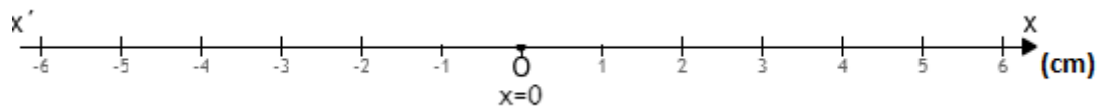
3. Να σχεδιάσετε στο παρακάτω σχήμα την Μετατόπιση του πιγκουΐνου όταν αυτός:

A) ξεκινά από την αρχική θέση $x = 2 \text{ cm}$ και μετατοπίζεται κατά $\Delta X = 3 \text{ cm}$.

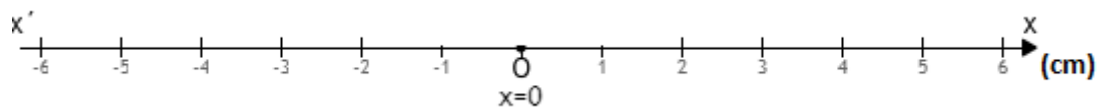




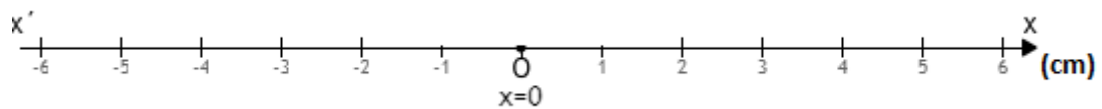
Β) ξεκινά από την αρχική θέση $x=2$ cm και μετατοπίζεται κατά $\Delta X=3$ cm.



Γ) ξεκινά από την αρχική θέση $x=-2$ cm και μετατοπίζεται κατά $\Delta X=-1$ cm.



Γ) ξεκινά από την αρχική θέση $x=-2$ cm και μετατοπίζεται κατά $\Delta X=-1$ cm.



Παράρτημα VI: Φύλλο Εργασίας για τη Δύναμη

1. Ανοίξτε την εφαρμογή. Από την κεντρική οθόνη πατήστε «ΔΥΝΑΜΗ».

Τοποθετήστε το κυβάκι σας σε οριζόντια θέση ακίνητο και σκανάρετε με την κάμερα. Θα δείτε μόνο την κόκκινη γραμμή και θα ειδοποιηθείτε ότι ο στόχος σας έχει βρεθεί. Πατήστε το κουμπί «εμφάνισε το έδαφος».

A. Πατήστε το κουμπί «Δείξε τις δυνάμεις στον κατακόρυφο άξονα». Ποιες δυνάμεις βλέπετε να ασκούνται πάνω στο κυβάκι σας στον κατακόρυφο άξονα; Ποια άλλα σώματα ασκούν αυτές τις δυνάμεις;

.....
.....

Σχεδιάστε, ονομάστε και συμβολίστε αυτές τις δυνάμεις, όπως τις βλέπετε, πάνω στον παρακάτω κύβο.



B. Απενεργοποιήστε το κουμπί «Δείξε τις δυνάμεις στον κατακόρυφο άξονα». Κινείστε το κυβάκι σας **δεξιά και αριστερά**. Ποιες δυνάμεις βλέπετε να ασκούνται πάνω στο κυβάκι σας στον οριζόντιο άξονα; Ποια άλλα σώματα ασκούν αυτές τις δυνάμεις;

.....
.....

Σχεδιάστε, ονομάστε και συμβολίστε αυτές τις δυνάμεις, όπως τις βλέπετε, πάνω στον παρακάτω κύβο.



Γ. Τοποθετήστε το κυβάκι σας σε μια επιφάνεια με κλίση. Πατήστε και πάλι το κουμπί «Δείξε τις δυνάμεις στον κατακόρυφο άξονα». Πως αλλάζουν τώρα οι δυνάμεις που βλέπετε να ασκούνται πάνω στο κυβάκι σας στον κατακόρυφο άξονα;

.....
.....

Αλλάζει το μέτρο τους; Πώς;

Αλλάζει η κατεύθυνσή τους; Πώς;.....

Σχεδιάστε τις δυνάμεις στον κατακόρυφο άξονα όπως τις βλέπετε πάνω στον παρακάτω κύβο.



Δοκιμάστε διάφορες κλίσεις για την επιφάνεια στήριξης του κύβου σας.

Αλλάζει κάτι στην κατεύθυνση των δύο κατακόρυφων δυνάμεων; Τι αλλάζει;

.....
.....
.....
.....

Τι μπορούμε να συμπεράνουμε γενικά για την κατεύθυνση της κάθε δύναμης καθώς αλλάζει η κλίση του επιπέδου κίνησης;

Δ. Τοποθετήστε και πάλι το κυβάκι σας σε μια επιφάνεια οριζόντια. Πατήστε το κουμπί «Δείξε τις δυνάμεις στον κατακόρυφο άξονα. Υπάρχει κάποια σχέση μεταξύ του μήκους των βελών που αντιπροσωπεύουν αυτές τις δυνάμεις; Πώς εξηγείτε την ακινησία του κύβου κατά τον κατακόρυφο άξονα βάση της σχέσης αυτής;

.....
.....

2. Α. Τοποθετήστε το κυβάκι σας πάνω σε μια οριζόντια επιφάνεια.

Δοκιμάστε να κινήσετε το κυβάκι σας **δεξιά και αριστερά**.

Β. Απενεργοποιήστε το κουμπί «Δείξε τις δυνάμεις στον κατακόρυφο άξονα». Κινείστε το κυβάκι σας **δεξιά**.

Σχεδιάστε τις δυνάμεις στον οριζόντιο άξονα όπως τις βλέπετε πάνω στον παρακάτω κύβο.



Ποια από τις δύο οριζόντιες δυνάμεις είναι **μεγαλύτερη** και γιατί;

.....

.....

.....

.....

.....

Γ. Απενεργοποιήστε το κουμπί «Δείξε τις δυνάμεις στον κατακόρυφο άξονα». Κινείστε το κυβάκι σας **αριστερά**.

Σχεδιάστε τις δυνάμεις στον οριζόντιο άξονα όπως τις βλέπετε πάνω στον παρακάτω κύβο.



Ποια από τις δύο οριζόντιες δυνάμεις είναι **μεγαλύτερη** και γιατί;

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Παράρτημα VII: Φύλλο Παρατήρησης Μαθητή μέσα στην Ομάδα

Τάξη:
Παρατήρησης Ελεύθερης Καταγραφής

Αριθμός ομάδας – «Ονόματα Μαθητών»

Διαδικασία: Ο παρατηρητής καταγράφει γεγονότα ή συμπεριφορές με αφηγηματικό τρόπο καθώς και πιθανά συναισθήματα, κίνητρα ή ερμηνείες που συνοδεύουν ή προκαλούν τις συμπεριφορές.

Άξονες παρατήρησης

- Αυθόρμητες λεκτικές εκφράσεις και συνομιλίες παιδιών
- Αλληλεπιδράσεις μεταξύ μαθητών της ομάδας

- Εκφράσεις προσώπου
- Στάση σώματος
- Διάρκεια και ένταση προσοχής
- Πρόκληση και εκδήλωση ενδιαφέροντος
- Ενεργός συμμετοχή του μαθητή
- Εμπλοκή μαθητή στις δραστηριότητες
- Χρήση των κινητών συσκευών
- Χρηστικότητα ψηφιακού περιεχομένου
- Γνωστικά αποτελέσματα (πχ το παιδί κατανοεί τα ερωτήματα και τις οδηγίες, μπορεί να απαντήσει στις ερωτήσεις του φύλλου εργασίας, να κάνει χρήση του επιστημονικού λεξιλογίου),
- Σχεδιασμός/δόμηση διδασκαλίας και ροή,
- Διάδραση εκπαιδευτικού-μαθητή.