



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΑΓΩΓΗΣ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ
«ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΑΘΗΣΗΣ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Διερεύνηση του επιπέδου κατανόησης εννοιών της Φυσικής του
Einstein από μαθητές της Α/βάθμιας και Β/βάθμιας εκπαίδευσης

ΒΑΚΑΡΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΩΤΣΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Π.Τ.Δ.Ε.
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Ιωάννινα, Ιούνιος 2023

Copyright © [Βακάρου Γεωργία]

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΑΓΩΓΗΣ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ
«ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΑΘΗΣΗΣ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ»

Διερεύνηση του επιπέδου κατανόησης εννοιών της Φυσικής του
Einstein από μαθητές της Α/βάθμιας και Β/βάθμιας εκπαίδευσης

ΒΑΚΑΡΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ

Επιβλέπων Καθηγητής:
ΚΩΤΣΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ,
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Π.Τ.Δ.Ε.
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

1. Κώτσης Κωνσταντίνος, Καθηγητής,
Π.Τ.Δ.Ε., Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
2. Μαυρίδης Δημήτριος, Αναπληρωτής
Καθηγητής, Π.Τ.Δ.Ε., Πανεπιστήμιο
Ιωαννίνων
3. Στύλος Γεώργιος, Μέλος ΕΔΙΠ,
Π.Τ.Δ.Ε., Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Ιωάννινα, Ιούνιος 2023

Ευχαριστίες

Για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής διατριβής θα ήθελα να ευχαριστήσω εγκάρδια τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κώτση Κωνσταντίνο, Καθηγητή του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, για την αμέριστη στήριξή του, την πολύτιμη καθοδήγησή του, την εμπιστοσύνη καθώς και την εκτίμηση που μου έδειξε σε όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας.

Η επίτευξη της μεταπτυχιακής αυτής εργασίας θα ήταν αδύνατη χωρίς την καταλυτική βοήθεια, την προθυμία και τις εύστοχες παρατηρήσεις του κ. Στύλου Γιώργου, μέλος ΕΔΙΠ του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Εκφράζονται βαθιές ευχαριστίες για το ενδιαφέρον και τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε για να με στηρίξει και να μου παρέχει εξηγήσεις πάνω σε θέματα της έρευνας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και όλους τους καθηγητές του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Διδακτική και τεχνολογίες μάθησης Φυσικών Επιστημών», του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

Ιδιαίτερο ευχαριστώ οφείλω στη συμφοιτήτριά μου, Μαρία, η οποία με ενθάρρυνε με αγάπη και μου προσέφερε ανιδιοτελώς τη βοήθειά της σε πρακτικά σημεία της έρευνας. Τέλος, θα ήθελα να επισημάνω την ευγνωμοσύνη που νιώθω για την οικογένειά μου, η οποία πάντοτε υπήρξε το στήριγμά μου και τους οφείλω όλη τη διαδρομή των σπουδών μου μέχρι σήμερα.

*Βακάρου Γεωργία, Διερεύνηση του επιπέδου κατανόησης εννοιών της Φυσικής του Einstein από μαθητές της
Α/βάθμιας και Β/βάθμιας εκπαίδευσης*

Στους γονείς μου, Μιχάλη και Περσεφόνη

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια αναγνωρίζεται διεθνώς η ανάγκη αναδιαμόρφωσης των προγραμμάτων σπουδών και η εισαγωγή εννοιών της Σύγχρονης Φυσικής στα σχολεία. Ωστόσο, οι έρευνες που πραγματοποιούνται το παραπάνω ζήτημα είναι ελάχιστες. Η παρούσα έρευνα στοχεύει στην αξιολόγηση μιας σύντομης διδασκαλίας αναφορικά με τη Φυσική του Einstein και στον προσδιορισμό της σχολικής βαθμίδας στην οποία οι έννοιες της Μετακλασικής Φυσικής γίνονται περισσότερο κατανοητές. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε διδακτική παρέμβαση σε συνολικά 325 μαθητές/τριες Δημοτικού, Γυμνασίου και Λυκείου, οι οποίοι συμπλήρωσαν ερωτηματολόγια γνώσεων, στάσεων και ενδιαφέροντος προς τις Φυσικές Επιστήμες, πριν και μετά τη διδασκαλία του μαθήματος. Από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψε ότι οι επιδόσεις των υποκειμένων, σχετικά με την κατανόηση της Φυσικής του Einstein, βελτιώθηκαν σημαντικά. Παρά την εννοιολογική αλλαγή που επήλθε για την πλειοψηφία των μαθητών/τριων όλων των βαθμίδων, φάνηκε ότι οι μαθητές/τριες του Λυκείου είχαν καλύτερες επιδόσεις στις ερωτήσεις γνώσεων. Επίσης, στο σύνολο των συμμετεχόντων, οι επιδόσεις των κοριτσιών ήταν υψηλότερες από εκείνες των αγοριών. Οι συμμετέχοντες στην έρευνα είχαν θετική στάση απέναντι στις Φυσικές Επιστήμες και ειδικότερα στη Φυσική του Einstein πριν τη διδακτική παρέμβαση, γεγονός που παρέμεινε σε υψηλά επίπεδα και μετά το πέρας αυτής. Όσον αφορά το ενδιαφέρον των μαθητών/τριων, προκύπτει ότι αυτό μειώνεται όσο αυξάνεται η σχολική βαθμίδα, με τους μαθητές/τριες Δημοτικού να σημειώνουν τις υψηλότερες βαθμολογίες ενδιαφέροντος. Συγκεντρωτικά, η έρευνα αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για τη μελέτη εισαγωγής της Σύγχρονης Φυσικής στα σχολεία.

Λέξεις – Κλειδιά

Φυσική του Einstein, Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, Φύση του φωτός, Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, Διδασκαλία της Σύγχρονης Φυσικής

Probing students' understanding of Einsteinian Physics concepts:

A study in Primary and Secondary Greek schools

VAKAROU GEORGIA

Abstract

In recent years, the need to introduce concepts of modern physics into the educational system has been recognized internationally. However, there is little research about the optimum way to do so. The present research aims to evaluate a short intervention on Einsteinian Physics and determine the optimum student age for teaching modern physics. For this reason, a teaching intervention was carried out to a total of 325 primary, lower secondary and upper secondary students, who completed conceptual, attitudinal questionnaires and questionnaires about interest in Science, before and after the teaching of the course. Data analysis showed that the subjects' performance regarding their understanding of Einstein's Physics improved significantly. Despite the conceptual change that occurred for most of the students, of all grades, it appeared that upper secondary students performed better on conceptual questions. Also, on average, the performance of girls was higher than that of boys. Participants in the study had a positive attitude towards Science and especially Einstein's physics before the teaching intervention, which remained at a high level after it. In terms of students' interest, it appears that this decreases as the school grade increases, with primary students scoring the highest interest scores. The present research is a useful tool for studying the introduction of Modern Physics into the school curriculum.

Keywords

Einsteinian Physics, General Relativity Theory, Nature of light, Photoelectric effect, Modern Physics teaching

Περιεχόμενα

Περίληψη	vi
Abstract	vii
Κατάλογος Εικόνων /Γραφημάτων/ Σχημάτων	ix
Κατάλογος Πινάκων	xi
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια	xiii
Εισαγωγή	1
1. Σύγχρονη Φυσική	3
1.1 Albert Einstein.....	3
1.2 Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο – Προς τη Θεμελίωση της Κβαντικής Φυσικής.....	4
1.3 Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας	7
1.4 Γενική Θεωρία της Σχετικότητας	8
2. Διδασκαλία της Σύγχρονης Φυσικής στα Σχολεία	11
2.1 Η Σύγχρονη Φυσική στα Ελληνικά Σχολικά Εγχειρίδια	11
2.2 Εναλλακτικές Ιδέες για Βαρύτητα και Φως	13
2.3 Η Φυσική του Einstein στα Σχολεία.....	16
2.4 Στρατηγικές – Τεχνικές Διδασκαλίας.....	18
2.4.1 Το Πείραμα στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών	19
2.4.2 Ο Ρόλος των Μοντέλων και των Αναλογιών.....	20
2.4.3 Νοητικά Πειράματα	21
2.4.4 Εικονικά Περιβάλλοντα Μάθησης.....	22
3. Στάσεις και Ενδιαφέρον Μαθητών απέναντι τις Φυσικές Επιστήμες	23
3.1 Στάσεις	23
3.2 Ενδιαφέρον	24
4. Πλαίσιο έρευνας	26
4.1 Σκοπός της έρευνας.....	26
4.2 Ερευνητικά ερωτήματα	26
4.3 Πλήθος, δειγματοληψία και τελικό δείγμα.....	27
5. Μεθοδολογία	29
5.1 Ερευνητική Διαδικασία	29
5.2 Ερευνητικά Εργαλεία	30
5.2.1 Ερωτηματολόγιο Γνώσεων	30
5.2.2 Ερωτηματολόγιο Στάσεων – Ενδιαφέροντος απέναντι στις Φυσικές Επιστήμες	32
5.3 Πειραματική Διάταξη	32
5.4 Αξιοπιστία Έρευνας	37
5.5 Ανάλυση Δεδομένων.....	38
6. Αποτελέσματα – Συζήτηση.....	39
6.1 Περιγραφική Στατιστική	39
6.1.1 Περιγραφική Ανάλυση Ερωτηματολογίου Γνώσεων.....	39
6.1.2 Περιγραφική Ανάλυση Ερωτηματολογίου Στάσεων	71
6.1.3 Περιγραφική Ανάλυση Ερωτηματολογίου Ενδιαφέροντος	73
6.2 Στατιστική Ανάλυση	73
6.2.1 Στατιστική Ανάλυση Ερωτηματολογίου Γνώσεων	73
6.2.2 Στατιστική Ανάλυση Ερωτηματολογίου Στάσεων.....	79
6.2.3 Στατιστική Ανάλυση Ερωτηματολογίου Ενδιαφέροντος.....	83
7. Συμπεράσματα	89
7.1 Σύνοψη Αποτελεσμάτων για τις Γνώσεις των Μαθητών/τριων (ΕΕ.1, ΕΕ.2, ΕΕ.3, ΕΕ.4)...	89
7.2 Σύνοψη Αποτελεσμάτων για Στάσεις και Ενδιαφέρον των Μαθητών/τριων (ΕΕ.5)	91
8. Περιορισμοί – Προτάσεις Μελλοντικής Έρευνας	93
Βιβλιογραφικές Αναφορές.....	94
Παράρτημα Α: Έντυπα ενημέρωσης και συναίνεσης για συμμετοχή στην έρευνα.....	109
Παράρτημα Β: Ερωτηματολόγιο Έρευνας	111

Κατάλογος Εικόνων /Γραφημάτων/ Σχημάτων

Εικόνα 1: (α) Υλικά της πειραματικής διάταξης του <i>προσομοιωτή του χωροχρόνου</i> που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα, (β) Κατασκευή πειραματικής διάταξης του <i>προσομοιωτή του χωροχρόνου</i>	34
Εικόνα 2: Φωτογραφίες από την εκτέλεση του πειράματος του <i>προσομοιωτή του χωροχρόνου</i> στα σχολεία. (α) Παρουσίαση του πειράματος στους μαθητές/τριες, (β) Μελέτη κίνησης ενός σώματος στον καμπυλωμένο χωροχρόνο, (γ) Μελέτη κίνησης δύο σωμάτων στον καμπυλωμένο χωροχρόνο, (δ-ε) Οι μαθητές/τριες Λυκείου ερμηνεύουν τις κινήσεις διαφόρων σωμάτων στον καμπυλωμένο χωροχρόνο, (στ) Οι μαθητές/τριες Γυμνασίου παρατηρούν την κίνηση ενός σώματος μικρής μάζας γύρω από ένα σώμα πολύ μεγαλύτερης μάζας, (ζ) Οι μαθητές/τριες Δημοτικού στην πρώτη τους επαφή με την καμπύλωση του χωροχρόνου	35
Εικόνα 3: Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα για τον πειραματισμό με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.....	36
Εικόνα 4: Πειραματισμός με το <i>ανάλογο των φωτονίων</i> . (α) Εκτέλεση του πειράματος από μαθητή Γυμνασίου, (β) Εκτέλεση του πειράματος από μαθήτρια Λυκείου, (γ) Το αποτέλεσμα της εκτόξευσης «ηλεκτρονίων» , (δ) Εκτέλεση του πειράματος από μαθητές/τριες δημοτικού	37
Εικόνα 5: Ένας άνθρωπος στέκεται πάνω στην επιφάνεια της Γης.....	112
Εικόνα 6: Ένας άνθρωπος πέφτει από ένα αεροπλάνο	112
Εικόνα 7: Ένας αστροναύτης στέκεται στο φεγγάρι	112
Εικόνα 8: Ένας αστροναύτης κοντά σε δορυφόρο	112
Εικόνα 9: Ένας άνθρωπος που κολυμπάει κάτω από την επιφάνεια του νερού	113
Σχήμα 1: Κατανομή μαθητών/τριων ως προς τη σχολική βαθμίδα	39
Σχήμα 2: Κατανομή μαθητών/τριων ως προς το φύλο, σε κάθε σχολική βαθμίδα	40
Σχήμα 3: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου, (γ) Λυκείου, ως προς την ορθότητα των απαντήσεων στην ερώτηση: "Τι είναι η βαρύτητα;" πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση	42
Σχήμα 4: Ποσοστιαία κατανομή απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου, (γ) Λυκείου, στην ερώτηση "Τι είναι η βαρύτητα;" πριν και μετά την παρέμβαση, ανάλογα με την επιστημονική (ή μη) θεωρία στην οποία ανήκαν.....	44
Σχήμα 5: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου, (γ) Λυκείου για την ερώτηση "τι είναι η βαρύτητα;" πριν και μετά την παρέμβαση, ανάλογα με το είδος της απάντησης	45
Σχήμα 6: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου, (γ) Λυκείου, ως προς την ορθότητα των απαντήσεων στην ερώτηση «Τι είναι ο χωροχρόνος;», πριν και μετά την παρέμβαση.	47
Σχήμα 7: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου, (γ) Λυκείου για την ερώτηση «Τι είναι ο χωροχρόνος;», πριν και μετά την παρέμβαση, ανάλογα με το είδος της απάντησης	48
Σχήμα 8: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου, (γ) Λυκείου, ως προς την ορθότητα των απαντήσεων στην ερώτηση «Τι είναι το φως;» πριν και μετά την παρέμβαση.	50
Σχήμα 9: Η ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου, (γ) Λυκείου για την ερώτηση «τι είναι το φως;» πριν και μετά την παρέμβαση, ανάλογα με το είδος της απάντησης.....	52
Σχήμα 10: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου, (γ) Λυκείου για την ερώτηση «Αν ρίξουμε ταυτόχρονα ένα σφυρί και ένα φτερό, ποιο θα φτάσει πρώτο στο έδαφος; Μπορείς να αιτιολογήσεις την απάντησή σου;», πριν και μετά την παρέμβαση, ανάλογα με την ορθότητα των απαντήσεων.....	54
Σχήμα 11: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου, (γ) Λυκείου για την ερώτηση «Οι παράλληλες γραμμές μπορούν να συναντηθούν;	

Μπορείς να αιτιολογήσεις την απάντησή σου;», πριν και μετά την παρέμβαση, ανάλογα με την ορθότητα των απαντήσεων.....	56
Σχήμα 12: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου και (γ) Λυκείου στην ερώτηση 8: «Πιστεύεις ότι υπάρχει βαρύτητα όταν στέκεσαι πάνω στη Γη;».....	57
Σχήμα 13: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου και (γ) Λυκείου στην ερώτηση 9: «Αν κάποιος πέσει από ένα αεροπλάνο, υπάρχει βαρύτητα;».....	59
Σχήμα 14: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου και (γ) Λυκείου στην ερώτηση 10: «Αν κάποιος στέκεται στο φεγγάρι, υπάρχει βαρύτητα;».....	60
Σχήμα 15: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου και (γ) Λυκείου στην ερώτηση 11: «Υπάρχει ένας δορυφόρος ο οποίος κινείται γύρω από τη Γη. Υπάρχει καθόλου βαρύτητα εκεί πάνω που βρίσκεται ο αστροναύτης;».....	62
Σχήμα 16: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου και (γ) Λυκείου στην ερώτηση 12: «Υπάρχει βαρύτητα όταν ένας άνθρωπος κολυμπάει κάτω από το νερό;».....	63
Σχήμα 17: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου και (γ) Λυκείου στην ερώτηση 13: «Τι είναι ο χωροχρόνος;».....	64
Σχήμα 18: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου και (γ) Λυκείου στην ερώτηση 14: «Τι πιστεύεις ότι μπορεί να καμπυλώσει τον χωροχρόνο;».....	66
Σχήμα 19: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου και (γ) Λυκείου στην ερώτηση 15: «Ποια από τις ακόλουθες προτάσεις εξηγεί καλύτερα τη συμπεριφορά του φωτός σε ένα πείραμα;».....	67
Σχήμα 20: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου και (γ) Λυκείου όσον αφορά την ένωση των ερωτήσεων 16-17-18 του ερωτηματολογίου γνώσεων.....	71

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Το δείγμα των μαθητών/τριων και η σχολική βαθμίδα στην οποία ανήκαν	27
Πίνακας 2: Ο συντελεστής Cronbach α για όλα τα ερωτηματολόγια που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα.....	38
Πίνακας 3: Συσχέτιση του ποσοστού των μαθητών/τριων κάθε σχολικής βαθμίδας πριν την παρέμβαση, με τις πιθανές απαντήσεις της ερώτησης 16: «Πώς θα περιέγραφες το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο;»	68
Πίνακας 4: Συσχέτιση του ποσοστού των μαθητών/τριων κάθε σχολικής βαθμίδας μετά την παρέμβαση, με τις πιθανές απαντήσεις της ερώτησης 16: «Πώς θα περιέγραφες το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο;»	68
Πίνακας 5: Συσχέτιση του ποσοστού των μαθητών/τριων κάθε σχολικής βαθμίδας πριν την παρέμβαση, με τις πιθανές απαντήσεις της ερώτησης 17: «Ποιος από τους παρακάτω ήταν ο λόγος που επέλεξες την απάντησή σου στην ερώτηση (16);»	69
Πίνακας 6: Συσχέτιση του ποσοστού των μαθητών/τριων κάθε σχολικής βαθμίδας μετά την παρέμβαση, με τις πιθανές απαντήσεις της ερώτησης 17: «Ποιος από τους παρακάτω ήταν ο λόγος που επέλεξες την απάντησή σου στην ερώτηση (16);»	69
Πίνακας 7: Υπολογισμός μέσου όρου (mean) των στάσεων απέναντι στις ΦΕ μαθητών/τριων Δημοτικού, Γυμνασίου και Λυκείου.....	72
Πίνακας 8: Υπολογισμός μέσου όρου (mean) του ενδιαφέροντος απέναντι στις ΦΕ για μαθητές/τριες Δημοτικού, Γυμνασίου και Λυκείου.....	73
Πίνακας 9: Έλεγχοι κανονικότητας για τη μέση βαθμολογία των μαθητών/τριων, πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση	74
Πίνακας 10: Περιγραφική ανάλυση βαθμολογιών των μαθητών/τριων Δημοτικού για το ερωτηματολόγιο γνώσεων	75
Πίνακας 11: Αποτελέσματα Wilcoxon test για τις βαθμολογίες μαθητών/τριων Δημοτικού στο ερωτηματολόγιο γνώσεων	75
Πίνακας 12: Περιγραφική ανάλυση βαθμολογιών των μαθητών/τριων Γυμνασίου για το ερωτηματολόγιο γνώσεων	76
Πίνακας 13: Αποτελέσματα Wilcoxon test για τις βαθμολογίες μαθητών Γυμνασίου στο ερωτηματολόγιο γνώσεων	76
Πίνακας 14: Περιγραφική ανάλυση βαθμολογιών των μαθητών/τριων Λυκείου για το ερωτηματολόγιο γνώσεων	76
Πίνακας 15: Αποτελέσματα Wilcoxon test για τις βαθμολογίες μαθητών/τριων Λυκείου στο ερωτηματολόγιο γνώσεων	77
Πίνακας 16: Σύγκριση βαθμολογιών γνώσεων πριν την παρέμβαση, ανά δύο σχολικές βαθμίδες. 78	
Πίνακας 17: Σύγκριση βαθμολογιών γνώσεων μετά την παρέμβαση, ανά δύο σχολικές βαθμίδες 78	
Πίνακας 18: Περιγραφική ανάλυση βαθμολογιών των μαθητών/τριων Δημοτικού για το ερωτηματολόγιο στάσεων.....	80
Πίνακας 19: Αποτελέσματα Wilcoxon test για τις βαθμολογίες μαθητών/τριων Δημοτικού στο ερωτηματολόγιο στάσεων.....	80
Πίνακας 20: Περιγραφική ανάλυση βαθμολογιών των μαθητών/τριων Γυμνασίου για το ερωτηματολόγιο στάσεων.....	81
Πίνακας 21: Αποτελέσματα Wilcoxon test για τις βαθμολογίες μαθητών/τριων Γυμνασίου στο ερωτηματολόγιο στάσεων.....	81
Πίνακας 22: Περιγραφική ανάλυση βαθμολογιών των μαθητών/τριων Λυκείου για το ερωτηματολόγιο στάσεων.....	82
Πίνακας 23: Αποτελέσματα Wilcoxon test για τις βαθμολογίες μαθητών/τριων Λυκείου στο ερωτηματολόγιο στάσεων.....	82
Πίνακας 24: Σύγκριση βαθμολογιών στάσεων μετά την παρέμβαση, ανά δύο σχολικές βαθμίδες 83	
Πίνακας 25: Περιγραφικά στοιχεία μέσου όρου βαθμολογίας ενδιαφέροντος μαθητών/τριων Δημοτικού.....	84

Πίνακας 26: Αποτελέσματα ελέγχου paired t – test για το ενδιαφέρον των μαθητών/τριων Δημοτικού για τις ΦΕ.....	85
Πίνακας 27: Περιγραφικά στοιχεία μέσου όρου βαθμολογίας ενδιαφέροντος μαθητών/τριων Γυμνασίου.....	85
Πίνακας 28: Αποτελέσματα ελέγχου paired t – test για το ενδιαφέρον των μαθητών/τριων Γυμνασίου για τις ΦΕ.....	85
Πίνακας 29: Περιγραφικά στοιχεία μέσου όρου βαθμολογίας ενδιαφέροντος μαθητών/τριων Λυκείου.....	86
Πίνακας 30: Αποτελέσματα ελέγχου paired t – test για το ενδιαφέρον των μαθητών/τριων Λυκείου για τις ΦΕ.....	86
Πίνακας 31: Αποτελέσματα ελέγχου Anova για το ενδιαφέρον των μαθητών/τριων πριν την παρέμβαση.....	87
Πίνακας 32: Αποτελέσματα πολλαπλών συγκρίσεων ελέγχου Anova για το ενδιαφέρον των μαθητών/τριων μεταξύ των σχολικών βαθμίδων πριν την παρέμβαση.....	87
Πίνακας 33: Αποτελέσματα ελέγχου Anova για το ενδιαφέρον των μαθητών/τριων πριν την παρέμβαση.....	87
Πίνακας 34: Αποτελέσματα πολλαπλών συγκρίσεων ελέγχου Anova για το ενδιαφέρον των μαθητών/τριων μεταξύ των σχολικών βαθμίδων μετά την παρέμβαση.....	87

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

QED	Κβαντική Ηλεκτροδυναμική
GRT	Γενικής θεωρίας της Σχετικότητας – General Relativity Theory
ΦΕ	Φυσικές Επιστήμες
ΕΕ	Ερευνητικά Ερωτήματα
Pre – test	Πριν την διδακτική παρέμβαση
Post – test	Μετά την διδακτική παρέμβαση

Εισαγωγή

Ο 20^{ος} αιώνας αποτελεί σταθμό για την επιστήμη της Φυσικής, αφού στη διάρκεια του διατυπώθηκαν μερικές από τις σημαντικότερες θεωρίες, μεταβάλλοντας τον τρόπο θέασης του φυσικού κόσμου. Οι παροχές της τεχνολογίας στη ζωή του σύγχρονου ανθρώπου οφείλονται στην αξιοποίηση των ανωτέρω θεωριών, με τα αποτελέσματά τους να οδηγούν στην εξέλιξη ευρύτερων επιστημονικών κλάδων. Καθοριστικό ρόλο στην εννοιολογική αναδόμηση του κλασικού οικοδομήματος της Φυσικής διαδραμάτισε ο Albert Einstein. Η Φυσική του Einstein, όπως διακρίνεται πλέον από πολλούς ερευνητές, αποτελεί ένα από τα θεμέλια της Σύγχρονης Φυσικής. Ο όρος *Φυσική του Einstein* περιλαμβάνει τη *Θεωρία της Σχετικότητας* και τις θέσεις του που εμπίπτουν στην θεωρία της Κβαντικής Φυσικής (Kaur, Blair, Moschilla, Stannard & Zadnik, 2017 · Choudhary et al, 2020).

Στις αρχές της δεκαετίας του 1980, ξεκίνησε να αναπτύσσεται ταχέως το πεδίο της έρευνας στη Διδακτική της Φυσικής. Σε παγκόσμια κλίμακα, αρκετές μελέτες διεξάγονται ώστε να διερευνηθούν, σε πρώτο στάδιο, οι αντιλήψεις μαθητών/τριων και σπουδαστών γύρω από φυσικά φαινόμενα. Παρά τις νέες επιστημονικές θεωρίες, που έχουν αποδειχτεί σχεδόν έναν αιώνα πριν, η Σύγχρονη Φυσική θεωρείται πεδίο για το οποίο έχουν διεξαχθεί ελάχιστες έρευνες σχετικά με την ένταξή της στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών (εφεξής, ΦΕ) (Levrini, 2014 · Pitts et al., 2014 · Kersting & Steier, 2018). Ως εκ τούτου, επικρατεί άγνοια από τη σχολική πραγματικότητα σχετικά με τις νεότερες θεωρίες, με την πλειοψηφία των μαθητών/τριων, μάλιστα, να εισέρχονται στην τριτοβάθμια εκπαίδευση χωρίς ουδεμία σχετική γνώση περί της προόδου και εξέλιξης των ΦΕ (Kaur et al., 2017a · Adams, Dattatri, Kaur & Blair, 2021). Το προαναφερόμενο συμπέρασμα βρίσκεται σε αντίθεση με τον γενικό σκοπό της διδασκαλίας των ΦΕ που είναι να δημιουργήσει ενημερωμένους και επιστημονικά εγγράμματους πολίτες (Lederman, 2007 · Forpoli et al., 2019).

Ωστόσο, η έρευνα στη διδασκαλία της Φυσικής του Einstein, ειδικότερα στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο καθιστώντας αναγκαία τη συστηματικότερη ενασχόληση με αυτόν τον τομέα, καταγράφοντας ελλείψεις, αποτελέσματα και συμπεράσματα καθώς και διατυπώνοντας προτάσεις έτσι ώστε να καθοδηγηθούν οι μελλοντικές έρευνες αλλά και οι ίδιοι οι εκπαιδευτικοί (Alstein, Krijtenburg-Lewerissa, & van Joolingen, 2020 · Kaur et al., 2020b). Η εκμάθηση και η σύγκριση της Κλασικής Φυσικής με τη Σύγχρονη Φυσική προσδίδουν κίνητρο και

ενδιαφέρον στους μαθητές/τριες όσων αφορά τις ΦΕ, ενώ ταυτόχρονα, βελτιώνουν την κατανόησή τους, γεγονός που αναγνωρίζεται ολοένα και περισσότερο. Σαφώς, επειδή ο εκπαιδευτικός στόχος είναι η γνωριμία και η κατανόηση της Φυσικής, πέραν της μαθηματικής προσέγγισης, προτείνεται η διδασκαλία να ακολουθεί μια ποιοτική μορφή με τη βοήθεια των αναλογιών ή/και των *νοητικών πειραμάτων* (Alstein et al., 2020).

Στον πυρήνα της παρούσας έρευνας βρίσκεται η Φυσική του Einstein και τα αποτελέσματα διδασκαλίας της στα ελληνικά σχολεία. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια συνοπτική αναφορά στο πρόσωπο του Einstein, στην ιστορική εξέλιξη και τον καθοριστικό ρόλο του φωτοηλεκτρικού φαινομένου για την Κβαντική Φυσική, καθώς επίσης στις κύριες έννοιες που πραγματεύεται η Θεωρία της Σχετικότητας. Το δεύτερο κεφάλαιο μελετά τη θέαση της Σύγχρονης Φυσικής από την πλευρά της εκπαίδευσης. Ειδικότερα, παρουσιάζονται οι ισχύουσες συνθήκες διδασκαλίας εννοιών της Σύγχρονης Φυσικής στα ελληνικά σχολεία, οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών/τριων σχετικά με τις έννοιες της βαρύτητας και του φωτός αλλά και διάφορες τεχνικές διδασκαλίας ως εργαλεία διδασκαλίας σύγχρονων θεωριών. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται λόγος για τις στάσεις και το ενδιαφέρον των μαθητών προς τις Φυσικές Επιστήμες, ενώ στο τέταρτο κεφάλαιο, αιτιολογείται η επιλογή του θέματος της παρούσας έρευνας. Το πέμπτο κεφάλαιο αναλύει λεπτομερώς την ερευνητική διαδικασία που ακολουθήθηκε στο σύνολό της. Το έκτο κεφάλαιο παραθέτει τα αποτελέσματα και την ανάλυση αυτών, οδηγώντας στον απώτερο στόχο της διεξαγωγής συμπερασμάτων του έβδομου κεφαλαίου. Τέλος, το όγδοο κεφάλαιο αναδύει προτάσεις που ενδέχεται να αποτελέσουν εφελκτήριο περαιτέρω έρευνας.

1. Σύγχρονη Φυσική

1.1 Albert Einstein

Ο Albert Einstein (1879 – 1955) είναι ένας από τους σπουδαιότερους επιστήμονες του εικοστού (20^{ου}) αιώνα. Οι ιδέες και οι θέσεις του ενδυνάμωσαν την αναδιαμόρφωση του οικοδομήματος της Φυσικής Επιστήμης, όπως τούτη είχε διαμορφωθεί στις αρχές του περασμένου αιώνα. Γεννημένος στην Γερμανία, μετακόμισε με τους γονείς του στην Ιταλία το 1894, απαρνήθηκε την γερμανική υπηκοότητά του καθώς και κάθε είδους δογματισμό, αποφασίζοντας να εγκατασταθεί στην Ελβετία όπου και απέκτησε εκ νέου υπηκοότητα (1901). Ενδιαφέρον αποτελεί το γεγονός ότι ενώ αποφοίτησε ως καθηγητής φυσικής και μαθηματικών, ασχολήθηκε ελάχιστα με το επάγγελμα αυτό καθώς θεωρούσε πως το εκπαιδευτικό σύστημα κατέστρεφε τη φυσική περιέργεια των μαθητών/τριων. Χαρακτηριστική είναι η φράση που διατύπωσε ο ίδιος: «Imagination is more important than knowledge». Στην πορεία της ζωής του παντρεύτηκε και απέκτησε τρία παιδιά, ενώ επαγγελματικά στράφηκε προς την έρευνα και κατάφερε να καταξιωθεί χωρίς ουσιαστικές ακαδημαϊκές διασυνδέσεις (Hewitt, 2002 · Ferraro, 2007 · Serway, Moses & Moyer, 2018).

Το έτος 1905 αποτέλεσε τη χρονιά που ο Einstein δημοσίευσε τρεις από τις σημαντικότερες εργασίες του και επιπλέον απέκτησε διδακτορικό δίπλωμα στη Φυσική. Οι εργασίες αυτές επικεντρώνονταν στην σωματιδιακή φύση του φωτός, τη μελέτη με τη βοήθεια της στατιστικής της μοριακής θεωρίας και της κίνησης Brown και την ειδική σχετικότητα. Η κβαντική θεώρηση του φωτός (βλ. ενότητα 1.2) και η διατύπωση ολοκληρωμένης της θεωρίας της σχετικότητας (βλ. ενότητα 1.3 – 1.4) είναι τα έργα του Einstein που έθεσαν τα θεμέλια στην εξέλιξη της Σύγχρονης Φυσικής (Ferraro, 2007 · Serway, Moses & Moyer, 2018). Το έτος 1921 τιμήθηκε με το βραβείο Nobel Φυσικής για την συμβολή του στην εξήγηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου (Hewitt, 2002).

Από ανθρωπιστικής πλευράς, ο Einstein υπήρξε βαθιά φιλειρηνιστής, τάσσονταν εναντίων των πολέμων και της βίας, ενώ ταυτόχρονα εξέφραζε βαθύτατη μεταμέλεια ως προς την ανακάλυψη της πυρηνικής βόμβας, όταν αντιλήφθηκε ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αφανίσει ανθρώπινες ζωές (Ferraro, 2007).

1.2 Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο – Προς τη Θεμελίωση της Κβαντικής Φυσικής

Έως την εκπονή του 19^{ου} αιώνα, η επιστημονική κοινότητα θεωρούσε ότι είχαν ανακαλυφθεί όλοι εκείνοι οι νόμοι που διέπουν τον φυσικό κόσμο και η Κλασική Φυσική (τρέχουσα ονομασία) μπορούσε να εξηγήσει όλα τα επιστημονικά ζητήματα βάσει του λογικο-μαθηματικού οικοδομήματος που είχε δημιουργηθεί (Alvarez – Alvarado, Mora & Cevallos – Reyes, 2019 · Δημόπουλος, 2005). Σταθμός στην εξέλιξη της Επιστήμης της Φυσικής αποτελεί η γέννηση της Κβαντικής Μηχανικής. Ο όρος *κβάντο* εκφράζει μια διακριτή ποσότητα ενέργειας, φορτίου ή άλλης φυσικής ιδιότητας. Τα παρατηρήσιμα αυτά μεγέθη μπορούν να λάβουν τιμές μόνο από ένα διακριτό σύνολο τιμών, οι οποίες είναι πολλαπλάσια ενός ελάχιστου ποσού που ονομάζεται *κβάντο*. Οι νόμοι της Κβαντικής Μηχανικής – Κβαντομηχανικής – βρίσκουν εφαρμογή στον μικρόκοσμο, κατά αντιστοιχία με την Μηχανική που μελετά την κίνηση των σωμάτων στον μακρόκοσμο (Britannica, 2022). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι οι ιδέες που θεμελίωσαν την Κβαντική Φυσική αναπτύχθηκαν μόλις τον 20^ο αιώνα, με την πλειοψηφία των επιστημόνων να ισχυρίζονται ότι ο Albert Einstein ήταν εκείνος που συνέβαλε καθοριστικά προς αυτή την εξέλιξη, με τη δημοσίευση του περί της κβαντικής φύσης του φωτός (Hewitt, 2002).

Μια πρώτη γνωριμία με τον επιστημονικό κλάδο της κβαντομηχανικής και συγκεκριμένα με την επιστημονική πρόταση του Einstein για τη φύση του φωτός, μπορεί να γίνει με τη μελέτη του επονομαζόμενου *φωτοηλεκτρικού φαινομένου*, όπως, άλλωστε, ισχύει και στα περισσότερα ακαδημαϊκά εγχειρίδια που μελετούν την Κβαντική Φυσική. Το *φωτοηλεκτρικό φαινόμενο* είναι ένα πείραμα το οποίο απασχόλησε την επιστημονική κοινότητα από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα και συγκεκριμένα από το έτος 1886 και έπειτα, όταν ο καθηγητής Heinrich Hertz συνέλαβε κάποιες τυχαίες παρατηρήσεις, ενώ ταυτόχρονα μελετούσε τα πλέον γνωστά ραδιοκύματα. Αναμφισβήτητα, με τα πειράματά του ο Hertz κατάφερε να επιβεβαιώσει τη θεωρία του σπουδαίου επιστήμονα Maxwell σχετικά με τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα και να αποδείξει την κυματική φύση του φωτός (Serway et al., 2018 · Galili, 2014 · Rablau, Ramabadran, Book & Cunningham, 2019). Η πειραματική διάταξη για τη μελέτη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου βασίζονταν σε εκείνη του Hertz για τα ραδιοκύματα αλλά απλοποιήθηκε κατά πολύ από τον μαθητή του Wilhelm Hallwachs. Ο τελευταίος χρησιμοποίησε απομονωμένες, αρνητικά φορτισμένες, ουδέτερες ή θετικά φορτισμένες πλάκες από καθαρό ψευδάργυρο και ένα ηλεκτροσκόπιο από φύλλο χρυσού

έτσι ώστε να παρατηρήσει την άμεση επίδραση του υπεριώδους φωτός στα παραπάνω πειραματικά εργαλεία. Το συμπέρασμα που προέκυψε ήταν το εξής: από τη μία, όταν το ηλεκτροσκόπιο φορτιζόταν αρνητικά, τότε αυτό το φορτίο (τα ηλεκτρόνια δεν είχαν ακόμα ανακαλυφθεί σαν επιστημονικός όρος), υπό την επίδραση μόνο του υπεριώδους φωτός, διαχέονταν αμέσως στην πλάκα ψευδαργύρου, και από την άλλη, όταν το ηλεκτροσκόπιο φορτιζόταν θετικά, τότε αυτό το φορτίο διαχεόταν πολύ αργά. (Klassen, 2011 · Rablau et al, 2019 · Spagnolo, Postiglione & Angelis, 2020)

Το παραπάνω πείραμα επιδιώχθηκε να εξηγηθεί θεωρητικά από διάφορους επιστήμονες στα χρόνια που ακολούθησαν, με τον Γερμανό φυσικό Philipp von Lenard να διαπιστώνει πως η ένταση του φωτός επηρεάζει τον αριθμό των ηλεκτρονίων αλλά όχι την ενέργειά τους, ενώ η τελευταία εξαρτάται από το μήκος κύματος του φωτός. Οι εξηγήσεις που διατυπώθηκαν μέχρι την αυγή του 20^{ου} αιώνα ήταν αρκετά λογικές δεδομένου ότι δεν είχε ανακαλυφθεί ακόμα η δομή του ατόμου. (Klassen, 2011 · Önder, 2016 · Rablau et al, 2019 · Spagnolo et al., 2020)

Η «επανάσταση» επήλθε από τον Einstein, στις 17 Μαρτίου 1905, με το άρθρο του με τίτλο: «On a Heuristic Point of View Concerning the Production and Transformation of Light», που δημοσιεύθηκε στο περιοδικό Annalen der Physik. Συγκεκριμένα, ο Einstein αιτιολόγησε με έμμεσο τρόπο τις παρατηρήσεις του Lenard, υποστηρίζοντας πως η φωτεινή ακτίνα αποτελούνταν από έναν πεπερασμένο αριθμό «πακέτων» ενέργειας ή αλλιώς κβάντα φωτός. Από τις διατυπώσεις του στη δημοσίευση, διακρίνεται ότι ο Einstein θεωρούσε τα σωματίδια του φωτός ως πραγματικά αντικείμενα. Εκ προοιμίου, η δημοσίευσή του δεν στόχευε στην εξήγηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Η κβαντική θεώρηση του φωτός υποστήριξε και εξέλιξε την υπόθεση του φυσικού Max Planck ότι η ακτινοβολία μέλανος σώματος εκπέμπεται και απορροφάται σε διακριτές δεσμίδες ενέργειας σύμφωνα με τη σχέση (Stuewer, 2005 · Klassen, 2011 · Galili, 2014 · Zeilinger, 2017 · Hentschel, 2018 · Serway et al., 2018 · Rablau et al, 2019 · Spagnolo et al., 2020 · Passon, 2022)

$$\Delta E = h\nu \quad (1)$$

όπου ν : η συχνότητα της ακτινοβολίας και h : η σταθερά του Planck. Δηλαδή, η ακτινοβολία συμπεριφέρεται σαν να αποτελείται από σωματίδια των οποίων η ενέργεια είναι ανάλογη της ακτινοβολίας. Ο Einstein, στη δημοσίευσή του, ανέφερε ουσιαστικά ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι εν γένει κβαντωμένη. Δόθηκε, έτσι, ερμηνεία και στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο με τη θεώρηση ότι ένα κβάντο φωτός, το οποίο είναι πλέον γνωστό ως *φωτόνιο*, απορροφάται εξ ολοκλήρου ως μονάδα από ένα ηλεκτρόνιο της

μεταλλικής επιφάνειας του πειράματος που μας απασχολεί (Stuewer, 2000 · Önder, 2016 · Zeidler, 2016 · Rablau et al, 2019). Ο Einstein μελετώντας (1909) την ενέργεια και την ορμή της ακτινοβολίας μέλανου σώματος, εισήγαγε τη διττή φύση του φωτός, θεωρώντας τελικά ότι το φως έχει και κυματική και σωματιδιακή φύση (Stuewer, 2000 · Stuewer, 2005 · Passon, 2022). Η σωματιδιακή φύση του φωτός οδήγησε στη δημιουργία της εξίσωσης του Einstein για την ερμηνεία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου (Klassen, 2011· Serway et al., 2018 · Rablau et al, 2019)

$$eV_0 = h\nu - W \quad (2)$$

όπου e : το φορτίο της μεταλλικής επιφάνειας, V_0 : τάση αποκοπής ή αλλιώς το δυναμικό το οποίο δεν επιτρέπει στα ηλεκτρόνια να αποκοπούν και να μετακινηθούν από την μεταλλική επιφάνεια, ν : η συχνότητα της του ηλεκτρομαγνητικού κύματος της φωτεινής δέσμης, h : η σταθερά του Planck και W : το έργο που απαιτείται για την εκτίναξη ενός ηλεκτρονίου από την μεταλλική επιφάνεια.

Ωστόσο, η επιστημονική κοινότητα αντιμετώπισε με δυσπιστία και σκεπτικισμό τα παραπάνω διότι τα πειραματικά δεδομένα της εποχής αδυνατούσαν να επιβεβαιώσουν ή/και να απορρίψουν την ριζοσπαστική άποψη του Einstein περί της σωματιδιακής φύσης του φωτός. Άλλωστε, οι περισσότεροι Φυσικοί της εποχής θεωρούσαν ότι η αποδοχή της σωματιδιακής φύσης του φωτός θα σήμαινε την απόρριψη της κυματικής του φύσης και αυτό δεν ήταν θεμιτό (Stuewer, 2000 · Stuewer, 2005 · Hentschel, 2018 · Passon, 2022). Μάλιστα, ο Planck, ο οποίος ήταν και εκδότης του περιοδικού στο οποίο δημοσιεύτηκαν οι προτάσεις του Einstein, επέδειξε ουσιώδη επιφυλακτικότητα ως προς την ορθότητά τους (Pyenson, 2008). Επιπροσθέτως, ο φυσικός Robert Andrews Millikan, διαμέσου σειράς πειραμάτων, επιδίωκε επί χρόνια να αποδείξει ότι το φως είχε μόνο κυματική φύση – κυματικές ιδιότητες, εωσότου δημοσίευσε τα αποτελέσματα των ερευνών του (1916) τα οποία επιβεβαίωναν εξ ολοκλήρου την κβάντωση του φωτός. Οι δύο προαναφερθέντες επιστήμονες τιμήθηκαν με το Νόμπελ Φυσικής το 1921 αλλά ακόμα η επιστημονική αποδοχή σχετικά την ύπαρξη των φωτονίων ήταν ελλιπής. Η τελική αποδοχή ήρθε όταν ο Arthur Compton το 1923, με το πλέον διάσημο πείραμα κβαντικής ηλεκτροδυναμικής (QED) που αφορούσε τη σκέδαση των ακτινών X όταν περνούν μέσα από την ύλη, επιβεβαίωσε πειραματικά την ύπαρξη του φωτονίου. Αξιοσημείωτο είναι ότι ο Compton έκανε ευρέως γνωστό στην επιστημονική κοινότητα, τον όρο *φωτόνιο* ο οποίος είναι χαρακτηριστικό ότι δεν αναφέρεται πουθενά στη δημοσίευση του Einstein. Παρόλα αυτά, ο Compton, δια δημοσιεύσεων, τόνιζε πως το φως συμπεριφερόταν είτε σαν κύμα είτε σαν

σωματίδια. (Stuewer, 2000 · Stuewer, 2005 · Klassen, 2011 · Hentschel, 2018 · Rablau et al, 2019 · Henriksen, 2022 · Passon, 2022)

Η Κβαντική Φυσική αποτελεί τη μόνη θεωρία της Φυσικής που έχει ελεγχθεί με τόσο αυστηρούς πειραματικούς ελέγχους (Greca & Freire, 2014). Έπειτα από τις πρώτες δεκαετίες του 20^{ου} αιώνα, αυτός ο νέος κλάδος γνώρισε μεγάλη άνθιση με το επόμενο βήμα να είναι η μελέτη της κυματικής φύσης της ύλης. Η αναζήτηση απαντήσεων για τον κόσμο με τη συμβολή της Κβαντικής Φυσικής είχε μόλις ξεκινήσει, δίνοντας το έναυσμα στον Γερμανοαυστριακό Φυσικό Erwin Schrödinger να διατυπώσει, έπειτα από λίγα χρόνια, τη σπουδαιότερη κυματική εξίσωση της Κβαντομηχανικής μέχρι σήμερα (Stuewer, 2000 · Klassen, 2011 · Zeilinger, 2017). Εισέτι, η Κβαντική Φυσική θεωρείται περίεργη και δύσκολη επιστήμη, κυρίως επειδή τα εννοιολογικά της θεμέλια είναι υπό συζήτηση, παρόλο που το λογικομαθηματικό της οικοδόμημα αλλά και οι προγνώσεις της είναι σωστές (Greca & Freire, 2014).

1.3 Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας

Το έτος 1905, ο Einstein δημοσίευσε στο ίδιο τεύχος του περιοδικού Annalen der Physik, μία επιπρόσθετη εργασία του περί της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας, προτείνοντας ρηξικέλευθες απόψεις σχετικά με τις έννοιες του χώρου και του χρόνου. Η θεωρία αυτή βασίζεται σε δύο απλά αξιώματα. Το πρώτο αξίωμα αναφέρει ότι σε όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς, οι νόμοι της Φυσικής πρέπει να παραμένουν ίδιοι, και το δεύτερο αξίωμα δηλώνει ότι το μέτρο της ταχύτητας του φωτός στο κενό είναι το ίδιο σε όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς (Hawking, 2014 · Levirini, 2014 · Zeidler, 2016 · Serway et al., 2018 · Kersting et al., 2020). Συνέπεια του πρώτου αξιώματος αποτελεί η θέση του Einstein ότι είναι αδύνατον ένας παρατηρητής που βρίσκεται σε ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς να προβλέψει αν το σύστημα κινείται με σταθερή ταχύτητα ή είναι ακίνητο (Alstein et al., 2020).

Ειδικότερα, κάθε θεωρία της Φυσικής πρέπει να συνοδεύεται από τις μαθηματικές εξισώσεις που τη διέπουν καθώς και το αδρανειακό σύστημα αναφοράς στο οποίο μελετάται ένα γεγονός και στο οποίο ισχύουν αυτές οι μαθηματικές εξισώσεις. Ταυτόχρονα, χρειάζεται να είναι σαφής και ο τρόπος μετασχηματισμού αυτών των εξισώσεων από ένα αδρανειακό σύστημα σε ένα άλλο (Zeidler, 2016). Ο Einstein, με τα παραπάνω αξιώματα διατύπωσε την άποψη πως ο χώρος και ο χρόνος ενώνονται, δημιουργώντας μια συμπαγή

τετραδιάστατη πολύπτυχη οντότητα που ονομάζεται χωροχρόνος. Υποστήριξε πως ο χώρος που θεωρούνταν ομογενής, ισοτροπικός και ικανοποιούσε την ευκλείδεια γεωμετρία αλλά και ο χρόνος που ήταν ανεξάρτητος του χώρου, δεν είναι απόλυτες και ξεχωριστές έννοιες, ανεξάρτητες από το σύστημα αναφοράς. Ως αποτέλεσμα, οι συντεταγμένες του Γαλιλαίου ως προς ένα σύστημα αναφοράς, έπρεπε να μετασχηματιστούν παίρνοντας μια πιο σχετικιστική μορφή. Στη Νευτώνεια Μηχανική, ο μετασχηματισμός των συντεταγμένων από ένα καρτεσιανό αδρανειακό σύστημα αναφοράς σε ένα άλλο είχε ως εξής: (Ferraro, 2007 · Young & Freedman, 2012 · Hawking, 2014 · Zeidler, 2016 · Serway et al., 2018)

$$x' = x - vt, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = t \quad (3)$$

όπου x, y, z οι συντεταγμένες των τριών διαστάσεων του χώρου στο αρχικό σύστημα αναφοράς, v η ταχύτητα και t ο χρόνος. Επειδή, λοιπόν, οι τρεις συντεταγμένες του χώρου και η μία επιπλέον διάσταση του χρόνου ενός γεγονότος σε ένα σύστημα αναφοράς εξαρτώνται από τις ίδιες συντεταγμένες ως προς ένα άλλο σύστημα αναφοράς, δημιουργήθηκαν οι μετασχηματισμοί Lorentz (σχέση 4) που αφορούν τις χωροχρονικές πλέον συντεταγμένες (x, y, z, t) στις οποίες ο χρόνος ενώνεται με το χώρο και εξαρτάται από το σύστημα αναφοράς που επιλέγει ο παρατηρητής. (Ferraro, 2007 · Young & Freedman, 2012 · Hawking, 2014 · Zeidler, 2016 · Serway et al., 2018 · Günther & Müller, 2020)

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (4)$$

όπου c : η ταχύτητα του φωτός στο κενό

Οι παραπάνω προτάσεις επηρέασαν σημαντικά όλους τους κλάδους της Φυσικής. Παρόλο που την εποχή που διατυπώθηκαν ήταν αντίθετες με την κοινή λογική και τους νόμους των κινήσεων των σωμάτων, που είχαν διατυπωθεί μέχρι τότε, οι απόψεις για τη σχετικότητα ελέγχθηκαν εκτενώς και η θεωρία συμφωνούσε με το πείραμα κάθε φορά, οπότε και θεμελιώθηκαν στην επιστημονική κοινότητα (Young & Freedman, 2012 · Hawking, 2014 · Zeidler, 2016).

1.4 Γενική Θεωρία της Σχετικότητας

Αναφορικά με τη σχετικότητα που διέπει τον φυσικό κόσμο, το έργο του Einstein ολοκληρώθηκε με τη διατύπωση της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας – General Relativity Theory (GRT). Η ίδια αποτελεί μια νέα θεωρία της βαρύτητας που ισχύει και σε επιταχυνόμενα συστήματα και αποτελεί θεμέλιο λίθο για τον μακρόκοσμο, την κοσμολογία

αλλά και άλλους τομείς της Φυσικής. Η θεωρία του Einstein για τη βαρύτητα είναι μια φυσική γενίκευση της θεωρίας της βαρύτητας του Νεύτωνα (Cherepashchuk & Chernin, 2008 · Kersting & Steier, 2018 · Kersting et al., 2020). Ο Νεύτωνας υποστήριξε πως η βαρύτητα είναι μια δύναμη η οποία εμφανίζεται εξαιτίας της αλληλεπίδρασης δύο σωμάτων με μάζες M, m αντίστοιχα. Με βάση τη θεωρία αυτή, τα βαρυτικά αποτελέσματα διαδίδονταν με άπειρη ταχύτητα, κάτι που παραβιάζει το δεύτερο αξίωμα του Einstein. (Kavanagh & Sneider, 2006 · Zeidler, 2016 · Choudhary et al, 2020 · Günther & Müller, 2020)

Ο τελευταίος προσπάθησε από το 1905 και για μια δεκαετία να αναδιατυπώσει τη θεωρία της βαρύτητας του Νεύτωνα ώστε να αποδείξει ότι τα βαρυτικά αποτελέσματα διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός στο κενό. Το 1915, λοιπόν, δημοσίευσε την υπόθεση ότι η βαρύτητα έχει γεωμετρική προσέγγιση αφού είναι η καμπύλωση του τετραδιάστατου οικοδομήματος του χωροχρόνου εξαιτίας της παρουσίας μαζών στο σύμπαν. Σύμφωνα με τη Νευτώνεια Μηχανική, η εξήγηση του ηλιακού συστήματος και των κινήσεων των πλανητών προέκυπτε από τη θεώρηση ότι αυτές συμβαίνουν πάνω σε ένα επίπεδο. Αντιθέτως, στη Γενική θεωρία της Σχετικότητας, η συμμετρία της Ευκλείδειας γεωμετρίας δεν υφίσταται. Επιπλέον, με αυτή τη νέα θεωρία, μπορεί να εξηγηθεί η ύπαρξη των μαύρων τρυπών, το Big Bang και η διαστολή του σύμπαντος. (Kavanagh & Sneider, 2006 · Cherepashchuk & Chernin, 2008 · Zeidler, 2016 · Choudhary et al., 2018 · Dua, Blair, Kaur & Choudhary, 2020 · Günther & Müller, 2020 · Postiglione & Angelis, 2021)

Στη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, η κατασκευή του χωροχρόνου είναι δυναμική και εξαρτάται από τα φυσικά γεγονότα που διαδραματίζονται. Με άλλα λόγια, το κατασκεύασμα του χωροχρόνου δεν περιέχει κάποια φυσική σημασία εκτός και αν πάνω σε αυτό δημιουργούνται πεδία. Ως συνέπεια, οι κανόνες της ευκλείδειας γεωμετρίας δεν εφαρμόζονται σε αντικείμενα που βρίσκονται σε ισχυρά βαρυτικά πεδία καθώς ο χώρος καμπυλώνεται και οι ευθείες γραμμές μετατρέπονται στις λεγόμενες γεωδαιτικές γραμμές. Επομένως, οι κινήσεις των σωμάτων, ακόμα και του φωτός, ακολουθούν τις γεωδαιτικές γραμμές. Ουσιαστικά, αυτή η μελέτη του Einstein ενώνει τη γεωμετρία, τη μέτρηση του χρόνου, τη βαρύτητα και την αδράνεια, ενώ ταυτόχρονα, στο επίκεντρο της συζήτησης βρίσκεται η έννοια της μάζας που προκαλεί την βαρύτητα. (Ehlers, 2007 · Müller, Soffel & Klioner, 2008 · Choudhary et al., 2018 · Kersting et al., 2020)

Τον τελευταίο αιώνα, η μελέτη και η εξέλιξη της Σύγχρονης Φυσικής αποτελεί έναν πολύ ενεργό κλάδο διότι μέσω των νέων θεωριών άλλαξε ριζικά ο τρόπος θέασης του

σύμπαντος (Kamphorst, Vollebregt, Savelsbergh & van Joolingen, 2023). Οι επιστήμονες στοχεύουν να ανακαλύψουν τα μυστικά του σύμπαντος – τα οποία φαίνεται να μπορούν να εξηγηθούν μόνο με βάση τη *Φυσική του Einstein* – αλλά και να προσδιορίσουν τους περιορισμούς που ενέχει η Σύγχρονη Φυσική (Ehlers, 2007 · Müller et al, 2008 · Greca & Freire, 2014 · Choudhary et al, 2020).

2. Διδασκαλία της Σύγχρονης Φυσικής στα Σχολεία

Η εξέλιξη των επιστημών και της τεχνολογίας, όπως και η βέλτιστη κατανόηση του σύμπαντος έως σήμερα, οφείλονται στο μεγαλύτερο μέρος τους στη Φυσική του Einstein. Οι απόψεις του ίδιου αποτελούν ακρογωνιαίο λίθο για την πορεία των ΦΕ. Ως εκ τούτου, καθίσταται αναγκαία η ουσιαστική διδασκαλία των εννοιών της Μετακλασικής Φυσικής, όπως τις εισήγαγε ο Einstein, στα σύγχρονα σχολεία, με στόχο οι μαθητές/τριες να έρχονται σε επαφή με τη νέα γνώση αλλά και τις τελευταίες εξελίξεις στη Φυσική (Levrini, 2014 · Choudhary et al, 2020 · Dua et al., 2020 · Postiglione & Angelis, 2021). Πλήθος ερευνητών της Διδασκαλίας των ΦΕ αλλά και Φυσικοί έχουν προσπαθήσει να ελέγξουν αν η Φυσική του Einstein μπορεί να εισαχθεί σε νέους μαθητές/τριες, χωρίς το απαραίτητο μαθηματικό υπόβαθρο (Dua et al., 2020). Μέχρι την παρούσα χρονική στιγμή, η πλειοψηφία των ερευνητών δίνει αρκετά διαφορετικές απαντήσεις, κυρίως συσχετιζόμενες με τον βέλτιστο τρόπο διδασκαλίας της Σύγχρονης Φυσικής. Ταυτόχρονα, δεν υπάρχει σαφής τρόπος επιλογής μιας μεθόδου διδασκαλίας, εξαιτίας του ότι ελάχιστες ερευνητικές προτάσεις έχουν ελεγχθεί πειραματικά (Greca & Freire, 2014 · Kaur et al., 2017a).

2.1 Η Σύγχρονη Φυσική στα Ελληνικά Σχολικά Εγχειρίδια

Ο σημαντικός ρόλος της Φυσικής του 20^{ου} αιώνα (Κβαντική Φυσική και Θεωρία της Σχετικότητας) οδηγεί αβίαστα στην πεποίθηση ότι οι θεωρίες αυτές θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στη διδακτέα ύλη του μαθήματος της Φυσικής. Έρευνες σχετικές με τον τρόπο κατά τον οποίο θα εισαχθεί η Σύγχρονη Φυσική στα σχολεία, διεξάγονται από το 1990, στοχεύοντας στην αναβάθμιση των σχολικών προτύπων (Olsen, 2002 · Levrini, 2014). Ωστόσο, ο τρόπος εισαγωγής αυτής της νέας γνώσης στο εκπαιδευτικό σύστημα δεν έχει μελετηθεί εκτενώς, ιδιαιτέρως στην Ελλάδα. Ως αποτέλεσμα επιλέγεται είτε η Σύγχρονη Φυσική να μην διδάσκεται καθόλου, είτε να γίνεται μια σύντομη αναφορά σε αυτή, λίγο πριν την εισαγωγή στην τριτοβάθμια εκπαίδευση και αφού οι κλασικές απόψεις έχουν ριζώσει στη συνείδηση των μαθητών/τριων (Velentzas & Halkia, 2013 · Kaur et al., 2017c · Choudhary et al, 2020 · Gkiolmas et al., 2021). Σε περίπτωση που οι οδηγίες διδασκαλίας συμπεριλάβουν ορισμένες έννοιες της Σύγχρονης Φυσικής, είναι δεδομένο πως οι καθηγητές τείνουν στο να ακολουθήσουν πιστά και άκριτα το σχολικό βιβλίο για τη διεξαγωγή του μαθήματός τους (Arriasecq & Greca, 2007). Στην πλειοψηφία των περιπτώσεως, όμως, τα σχολικά εγχειρίδια δεν έχουν την κατάλληλη δομή και οργάνωση

ώστε να προσεγγιστεί με σαφήνεια η Φυσική του Einstein, εξαιτίας της μη καταγραφής πολλών βασικών αρχών της Σχετικότητας ή της Κβαντομηχανικής, αφού οι ίδιοι οι συγγραφείς δεν τις έχουν κατανοήσει (Griffiths, 2014 · Levirini, 2014 · Kamphorst et al., 2023). Συγκεκριμένα, η αναζήτηση εννοιών της Σύγχρονης Φυσικής στα ελληνικά σχολικά εγχειρίδια είναι κατά βάση ελλιπής (Δημόπουλος, 2005). Εξαιρέσεις αποτελούν τα εξής:

- Βιβλίο «Φυσικά Δημοτικού: Ερευνώ και Ανακαλύπτω» της Ε' (πέμπτης) Δημοτικού, Κεφάλαιο 7: «Φως», Υποενότητα: «Διάδοση του φωτός» (Αποστολάκης κ.α, χ.η.). Στο σημείο αυτό γίνεται μια σύντομη παράθεση της διττής φύσης του φωτός χωρίς να προτείνεται ιδιαίτερη εμβάθυνση στην κατανόησή της από τους μαθητές/τριες.
- Βιβλίο «Φυσική Γ Γυμνασίου», Κεφάλαιο 6: «Φύση και Διάδοση του Φωτός» (Αντωνίου, Δημητριάδης, Καμπούρης, Παπαμιχάλης & Παπατσιμπα, 2016). Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο οι μαθητές/τριες έρχονται σε επαφή με τον ορισμό «φωτόνιο». Ελλιπής είναι δε η ουσιαστική γνωριμία με τη φυσική του σημασία.
- Βιβλίο «Φυσική Γενικής Παιδείας» της Β' (δεύτερης) τάξης Γενικού Λυκείου (Αλεξάκης κ.α., 2013). Διδάσκει τη σωματιδιακή και την κυματική φύση του φωτός καθώς και ορισμένα στοιχεία ατομικής φυσικής.
- Βιβλίο «Φυσική Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης» της Γ' (τρίτης) τάξης Γενικού Λυκείου (Ιωάννου, Ντάνος, Πήττας & Ράπτης, 1999). Σε αυτό το τεύχος, τα δύο τελευταία κεφάλαια αφορούν στη θεωρία της σχετικότητας και στην κβαντομηχανική. Υπογραμμίζεται ότι για αρκετά σχολικά έτη, κανένα από τα δύο κεφάλαια δεν αποτελούσε μέρος της διδακτέας ύλης. Ένα εξελεγκτικό βήμα προς μια πρώτη γνωριμία των μαθητών/τριων με εισαγωγικές έννοιες της Κβαντικής Φυσικής, λαμβάνει χώρα τα δύο τελευταία χρόνια, βάσει αποφάσεων του Υπουργείου Παιδείας και Θρησκευμάτων.

Παρόλη τη σύντομη αναφορά των ελληνικών σχολικών εγχειριδίων στη Σύγχρονη Φυσική, αποδεικνύεται ότι οι μαθητές/τριες δεν έρχονται σε ουσιαστική επαφή με τη νέα αυτή γνώση. Οι περισσότεροι εκπαιδευτικοί θεωρούν ότι οι νόμοι της Φυσικής θα πρέπει να διδάσκονται χρονολογικά (Choudhary et al, 2020). Ως εκ τούτου προτείνουν την εις βάθος διδασκαλία της Νευτώνειας Φυσικής, με αποτέλεσμα η γνωριμία των μαθητών/τριων με τη Φυσική του Einstein να επέρχεται σε επίπεδο τριτοβάθμιας, κυρίως, εκπαίδευσης και να παραλείπεται στις χαμηλότερες εκπαιδευτικές βαθμίδες (Choudhary et al, 2020 ·

Postiglione & Angelis, 2021). Στον αντίποδα, έρευνες υποστηρίζουν ότι η χρονολογική διδασκαλία ενδέχεται να αμβλύνει το χάσμα μεταξύ της Κλασικής και της Σύγχρονης Φυσικής στο μυαλό των μαθητών/τριων, οπότε να προκύψει ένα αντιπαιδαγωγικό αποτέλεσμα (Greca & Freire, 2014). Επίσης, αποφεύγεται η εισαγωγή σε θέματα Νεότερης Φυσικής διότι θεωρείται ότι η πληθώρα των μαθητών/τριων δεν έχει το κατάλληλο μαθηματικό υπόβαθρο ώστε να κατανοήσει τις δύσκολες έννοιες της Φυσικής του Einstein (Kaur et al., 2017a · Dua et al., 2020 · Adams et al., 2021).

Όπως αναφέρουν οι Velentzas και Halkia (2013), οι λόγοι για τους οποίους δεν διδάσκονται ουσιαστικά οι έννοιες της νεότερης Φυσικής ποικίλουν. Ένας εξ αυτών παρατηρείται ότι είναι οι ελλείψεις στην κατανόηση αυτών των θεωριών από τους ίδιους τους καθηγητές, έχοντας ως αποτέλεσμα την αδυναμία διδασκαλίας τους. Οι έρευνες αποδεικνύουν ότι πληθώρα εκπαιδευτικών νιώθει χαμηλή εμπιστοσύνη όταν διδάσκει Φυσική, με συνέπεια να μην ενθαρρύνεται η συζήτηση απέναντι σε «δύσκολες θεωρίες» αλλά να επιδιώκονται απλές πρακτικές διδασκαλίας (Στύλος & Κώτσης, 2016). Επιπλέον, από τους καθηγητές, υπάρχει η τάση εμβάθυνσης σε θεωρίες μόνο όταν αυτές απαντούν σε κρίσιμα κατά τους ίδιους προβλήματα. Επίσης, διαφαίνεται δυσκολία στον τρόπο οπτικοποίησης κβαντικών φαινομένων ή θεωριών της σχετικότητας. Πέραν ότι οι νέες θεωρίες δεν συμπεριλαμβάνονται στα σχολικά βιβλία ή/ και ότι οι οδηγίες διδασκαλίας διαφοροποιούνται από χρονιά σε χρονιά, επικρατεί η πεποίθηση ότι η κατανόηση της Φυσικής του Einstein από τους μαθητές/τριες, προϋποθέτει την εγκατάλειψη των ιδεών του Αριστοτέλη και του Νεύτωνα, καθώς και την ολική μεταστροφή εναντίων της Κλασικής Φυσικής, γεγονός που δεν επιφέρει πνευματική ικανοποίηση για τους εκπαιδευτικούς. Τέλος, η υποτιθέμενη δυσκολία που ενέχει η Σύγχρονη Φυσική αποτελεί τροχοπέδη στην ένταξη της στα προγράμματα σπουδών (Mannila et al., 2002 · Velentzas & Halkia, 2013 · Levtrini, 2014 · Alvarez – Alvarado et al., 2019 · Kersting, 2019 · Pitts et al., 2014 · Dua et al., 2020 · Kotsis & Panagou, 2022).

2.2 Εναλλακτικές Ιδέες για Βαρύτητα και Φως

Παρά τις εξελίξεις στην πληροφόρηση και στην τεχνολογία, οι μαθητές/τριες τείνουν να δημιουργούν λανθασμένες αντιλήψεις σχετικά με διάφορες έννοιες της Φυσικής. Σε ένα γενικότερο πλαίσιο, οι περισσότεροι άνθρωποι «μεταφράζουν» τον κόσμο γύρω τους με τη βοήθεια των αισθήσεών τους και επικεντρώνονται σε γεγονότα που παρατηρούν

σχεδόν καθημερινά, οπότε έχει δοθεί ήδη κάποια ερμηνεία από τους ίδιους. Γεγονός είναι ότι τόσο η βαρύτητα όσο και το φως αποτελούν έννοιες – πυλώνες για τις ΦΕ, οπότε η διδασκαλία τους απαιτεί ακρίβεια, κατανόηση και εν γένει να καθίσταται ενδιαφέρουσα. Η διδασκαλία, άλλωστε, είναι μια διαδικασία συνεχούς αναδιαμόρφωσης των προσωπικών αντιλήψεων με στόχο την κατάκτηση των επιστημονικά ορθών γνώσεων. Ωστόσο, τόσο στη διεθνή όσο και στην εγχώρια βιβλιογραφία, εντοπίζεται πληθώρα λανθασμένων απόψεων, οι οποίες ονομάζονται *εναλλακτικές ιδέες* ή *misconceptions* και αναδιαμορφώνονται με μεγάλη δυσκολία ακόμα και κατόπιν τυπικών μαθημάτων. Οι ιδέες αυτές αναγεννώνται είτε από τον τρόπο με τον οποίο τα παιδιά έχουν διδαχθεί κάποιες θεωρίες, είτε από την προσωπική καθημερινή εμπειρία των μαθητών/τριων. Οι ίδιοι δεν εισέρχονται σε μια σχολική τάξη σαν ‘άγραφοι πίνακες’ αλλά συνοδεύονται από τις απόψεις και τις αντιλήψεις τους, με το δεύτερο σενάριο, μάλιστα, να είναι το πιο σύνηθες. Οι μαθητές/τριες χρειάζεται να έχουν σημεία αναφοράς όσον αφορά τον κόσμο στον οποίο ζουν, οπότε προσπαθούν να τον εξηγήσουν με τη φαντασία και την ικανότητα αντίληψής τους από την πρώιμη παιδική ηλικία. Ενδέχεται, ακόμη, από το περιβάλλον τους να έχουν συλλάβει μια ιδέα ή να έχουν παρακολουθήσει ένα βίντεο το οποίο τους παροτρύνει να υιοθετήσουν στάσεις και αντιλήψεις απέναντι σε διάφορα ζητήματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν ορισμένες έρευνες που αποδεικνύουν ότι στην περίπτωση που ένα θέμα δεν συνδυάζεται με κάποια πρότερη εμπειρία των μαθητών, ώστε να το συνδέσουν στη μνήμη τους, τότε η νέα γνώση που τους διδάσκουν οι δάσκαλοι, ξεχνιέται πολύ εύκολα ή απορρίπτεται εξ αρχής. (Sneider & Ohadi, 1998 · Olsen, 2002 · Baldy, 2007 · Gönen, 2008 · Levirini, 2014 · Nik Daud, Abd Karim, Wan Hassan & Rahman, 2015 · Taslidere, 2016 · Widiyatmoko & Shimizu, 2018 · Alvarez – Alvarado et al., 2019 · Syuhendri, 2019)

Συνάδει, λοιπόν, απόλυτα ότι πολλές από τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών/τριων αφορούν στη Βαρύτητα και την Οπτική Φυσική. Η επιμονή στη διδασκαλία της Νευτώνειας Μηχανικής και της Κλασικής Φυσικής, δεν βοηθάει τα παιδιά να γνωρίσουν τις νεότερες εξελίξεις στη Φυσική και τις περισσότερες φορές δυσχεραίνει την κατανόησή τους. Αναφορικά με τη βαρύτητα, ορισμένες από τις εναλλακτικές ιδέες που συναντώνται είναι οι εξής: (Κασσέτας, 2004 · Kavanagh & Sneider, 2006 · Baldy, 2007 · Gönen, 2008 · Pablico, 2010 · Williamson & Willoughby, 2012 · Nik Daud et. al., 2015 · Syuhendri, 2019)

- Η βαρύτητα είναι μια δύναμη που μας πιέζει / Οφείλεται στον αέρα που πιέζει τα αντικείμενα
- Η βαρύτητα χρειάζεται αέρα για να υπάρχει

- Η βαρύτητα προκαλείται μόνο σε βαριά αντικείμενα
- Ο αέρας είναι αβαρής
- Η βαρύτητα επηρεάζεται από τη θερμοκρασία
- Η βαρύτητα δρα κατ' επιλογή. Δηλαδή, επιλέγει σε ποια σώματα θα δράσει και πότε.
- Η βαρύτητα είναι μαγνητική δύναμη
- Η βαρύτητα είναι μεγαλύτερη σε μεγάλες αποστάσεις
- Η βαρύτητα ταυτίζεται με την έννοια της μάζας
- Η βαρύτητα επιδρά στα σώματα μόνο όταν πέφτουν προς τα κάτω και όχι όταν κινούνται προς τα πάνω
- Τα βαρύτερα σώματα πέφτουν πιο γρήγορα
- Στο κενό, άρα και στο διάστημα, δεν υπάρχει βαρύτητα
- Στο φεγγάρι δεν υπάρχει βαρύτητα
- Οι νόμοι για τα ουράνια σώματα δεν είναι οι ίδιοι με τους νόμους για τα επίγεια
- Για να βρίσκεται ένα σώμα σε τροχιά χρειάζεται να του ασκείται συνεχώς κάποια δύναμη

Αναφορικά με τον τομέα της Οπτικής Φυσικής, λόγω του γεγονότος ότι το φως συναντάται στην καθημερινότητα των παιδιών, τα ίδια έχουν αναπτύξει από μικρή ηλικία εναλλακτικές ιδέες όπως οι παρακάτω (Fetherstonhaugh, Happs & Treagust, 1987 · Önder, 2016 · Taslidere, 2016 · Widiyatmoko & Shimizu, 2018). Επιπλέον, γνωστικές συγκρούσεις λόγω των ιδεών των μαθητών/τριων εντοπίζονται και σε πιο συγκεκριμένα ζητήματα της Σύγχρονης Φυσικής, παραδείγματος χάρη το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, δια του οποίου τα παιδιά δημιουργούν τις δικές τους εντυπώσεις, με ορισμένες από αυτές να αναφέρονται στη συνέχεια (Sokolowski, 2013).

- Το φως δεν προέρχεται από κάπου, απλά υπάρχει
- Το φως δεν αλληλεπιδρά με την ύλη
- Το σκοτάδι είναι οντότητα
- Το φως είναι η πηγή του ή το αποτέλεσμα του
- Το φωτόνιο είναι ένα σωματίδιο που ταξιδεύει στο διάστημα
- Το φωτόνιο είναι φορτισμένο αντικείμενο
- Το φως είναι ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα που ταξιδεύει με άπειρη ταχύτητα
- Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο προκύπτει από τον ιονισμό των ατόμων μέσω της αλληλεπίδρασης με το φως
- Στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, η διαφορά δυναμικού είναι αναγκαία και ικανή να παράγει φωτοηλεκτρικό ρεύμα

Εξέχουσας σημασίας αποτελεί το γεγονός ότι μέσω της εκπαίδευσης, οι μαθητές/τριες θα πρέπει να αναδιαμορφώσουν στο μέγιστο δυνατό βαθμό τις εναλλακτικές ιδέες τους, ερχόμενοι σε ουσιαστική επαφή με την επιστημονική γνώση. Παράλληλα, οι εκπαιδευτικοί οφείλουν να διδάσκουν τη Φυσική όπως αυτή εξελίσσεται και διαμορφώνεται τα τελευταία χρόνια, ούτως ώστε να ελαχιστοποιούνται οι διαφορές που μπορεί να δημιουργούν σύγχυση στο μυαλό των παιδιών.

2.3 Η Φυσική του Einstein στα Σχολεία

Το ενδιαφέρον της εκπαιδευτικής και επιστημονικής κοινότητας στρέφεται προς τη Φυσική του Einstein και την σταδιακή εγκατάλειψη της εις βάθος διδασκαλίας της Νευτώνειας Φυσικής (Adams et al., 2021). Στόχος των εκπαιδευτικών, ή τουλάχιστον ένας από αυτούς, ο προσδιορισμός του τρόπου καθώς και της καλύτερης ηλικίας των μαθητών/τριων κατά την οποία μπορούν να γίνουν κατανοητές έννοιες της Σύγχρονης Φυσικής (Hubber, 2006 · Alstein et al., 2020 · Kaur et al., 2020b · Postiglione & Angelis, 2021). Επί παραδείγματι, οι Kavanagh & Sneider (2006) παραθέτουν την κατευθυντήρια οδηγία των National Science Education Standards (NRC 1996) και Benchmarks for Science Literacy (AAAS 1993), να μην διδάσκονται βαρυντικά φαινόμενα σε μαθητές/τριες Δημοτικού γιατί είναι αρκετά αφηρημένα. Σε νεότερη έρευνα των Forpoli et al. (2019), οι συγγραφείς αναφέρουν ότι πολλοί από τους εκπαιδευτικούς που συμμετείχαν στην έρευνά τους, θεωρούν ότι η Σύγχρονη Φυσική θα μπορούσε να διδαχθεί από την ηλικία των 8-9 ετών (grade 3) και πάνω, καθώς και ότι τόσο οι γονείς όσο και οι μαθητές/τριες έχουν θετική στάση απέναντι στη διδασκαλία αυτών των νέων εννοιών.

Προφανώς, από τη διδασκαλία της Φυσικής του Einstein, είτε αυτή εφαρμοστεί στην πρωτοβάθμια είτε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, απαραίτητο είναι να απουσιάζουν οι δύσκολες μαθηματικές εξισώσεις που συνοδεύουν τη θεωρία της Σχετικότητας και ορισμένα σημεία της Κβαντικής Φυσικής. Ο λόγος είναι ότι στις εν λόγω εκπαιδευτικές βαθμίδες, οι μαθητές/τριες δεν έχουν τελειοποιήσει τις μαθηματικές τους δεξιότητες. Προτείνεται, λοιπόν, μία περισσότερο ποιοτική εισαγωγή της γνώσης (Fischler & Lichtfeldt, 1992 · Olsen, 2002 · Velentzas & Halkia, 2013 · Alstein et al., 2020 · Kersting et al., 2020 · Postiglione & Angelis, 2021). Χαρακτηριστικά, για τη διδασκαλία της Κβαντομηχανικής, διακεκριμένοι επιστήμονες προτείνουν τις εικονογραφημένες αναπαραστάσεις των υπό μελέτη φαινομένων (Greca & Freire, 2014). Επιπλέον, σύμφωνα

με τον Önder (2016), είναι σημαντική η διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου για την κατανόηση της έννοιας του φωτονίου. Σύγχρονες μελέτες υποστηρίζουν ότι τα νεαρά άτομα μπορούν να κατανοήσουν με ευκολία τη Φυσική του Einstein, ενώ πολλές φορές τα αποτελέσματα βελτιώνονται εφόσον οι νεότερες θεωρίες εισαχθούν πριν τη διδασκαλία της Νευτώνειας Μηχανικής. Επίσης, η Φυσική του Einstein έχει εφαρμογές στους ημιαγωγούς, τις κάμερες, τα GPS, τα κινητά τηλέφωνα, τα laser κ.α. οπότε είναι αυξημένες οι πιθανότητες να έλξει το ενδιαφέρον των μαθητών/τριων (Greca & Freire, 2014 · Choudhary et al., 2018 · Choudhary et al., 2020 · Kaur et al., 2020b).

Στα σύγχρονα σχολεία, οι νόμοι της Φυσικής και των Μαθηματικών παρουσιάζονται σαν αυταπόδεικτες αλήθειες. Κατά αυτόν τον τρόπο, οι μαθητές/τριες θεωρούν πως ο χώρος στον οποίο ζουν είναι επίπεδος και υπακούει στην Ευκλείδεια γεωμετρία, ο χρόνος στον οποίο αναφέρονται οι επιστήμονες είναι η ίδια έννοια με αυτή που χρησιμοποιούμε στην καθημερινή ζωή, για αυτό και είναι ανεξάρτητος από οποιοδήποτε άλλο φυσικό μέγεθος, ή ακόμα και ότι τα σώματα κατέχουν μια πολύ συγκεκριμένη θέση στο χώρο. Η διατύπωση και η κατανόηση, λοιπόν, απόψεων όπως είναι η καμπύλωση του χωροχρόνου ή το γεγονός ότι οι γεωδαιτικές γραμμές αποτελούν τη συντομότερη διαδρομή που μπορεί να ακολουθήσει ένα σώμα, συνθέτουν ένα μεγάλο στοίχημα για τους εκπαιδευτικούς (Bandyopadhyay & Kumar, 2010 · Pablico, 2010 · Levrini, 2014 · Kersting & Steier, 2018 · Kersting, 2019 · Choudhary et al., 2020 · Kersting et al., 2020). Επί παραδείγματι, τα βαρυτικά κύματα από τις μαύρες τρύπες που έχουν ανιχνευτεί, είναι αδύνατο να εξηγηθούν στους μαθητές/τριες με βάση το μοντέλο του Νεύτωνα για επίπεδες επιφάνειες όπως το διάστημα, επομένως η διδασκαλία τέτοιων ζητημάτων απορρίπτεται εντελώς (Kersting & Steier, 2018 · Adams et al., 2021). Ταυτόχρονα, περίπλοκο έργο αποτελεί και η εισαγωγή στην Κβαντομηχανική, καθώς τα παιδιά μαθαίνουν από μικρή ηλικία ότι οι έννοιες του κύματος και του σωματιδίου είναι εκ διαμέτρου αντίθετες. Δυσχεραίνεται, έτσι, η διδασκαλία διότι, τελικά, έρχεται να ανατρέψει αντιλήψεις που οι μαθητές/τριες διαμόρφωσαν μέσα από το ίδιο εκπαιδευτικό σύστημα, το οποίο αργότερα προσπαθεί να τους τις αναιρέσει (Fischler & Lichtfeldt, 1992 · Olsen, 2002 · Bandyopadhyay & Kumar, 2010 · Pablico, 2010 · Velentzas & Halkia, 2013 · Galili, 2014 · Choudhary et al., 2020 · Kaur et al., 2020b · Gkiolmas et al., 2021). Σε γενικές γραμμές, η αναθεώρηση των βασικών γνώσεων των μαθητών/τριων και η απαίτηση κατάκτησης ενός νέου τρόπου θεώρησης των γεγονότων ενέχει μεγάλο βαθμό δυσκολίας και συχνά οδηγεί σε παρανοήσεις (Kamphorst et al., 2023).

Ειδικότερα, αναφορικά με τις έννοιες της βαρύτητας και του φωτός που πραγματεύεται η παρούσα εργασία, καθίσταται γνωστό ότι οι μαθητές/τριες διδάσκονται ότι η βαρύτητα είναι μια δύναμη που προέρχεται από τη Γη, έλκει όλα τα σώματα σε ελεύθερη πτώση και δρα με άπειρη ταχύτητα, ενώ για το φως γνωρίζουν ότι ταξιδεύει σαν κύμα και θεωρούν ότι αποτελείται από τις φωτεινές ακτίνες (Hubber, 2006 · Choudhary et al., 2018 · Choudhary et al, 2020 · Kersting et al., 2020). Οι παραπάνω θέσεις ικανοποιούν την Νευτώνεια Φυσική. Παρόλα αυτά, ο ίδιος ο Νεύτωνας δεν μπορούσε να εξηγήσει τι είναι ‘η δύναμη από την έλξη της Γης’ και σαφώς ούτε τα παιδιά κατανοούν εύκολα την έννοια της δύναμης (Baldy, 2007). Αντιθέτως, η Φυσική του Einstein υποστηρίζει ότι η βαρύτητα είναι ένα γεωμετρικό φαινόμενο που εμφανίζεται με την καμπύλωση του χωροχρόνου εξαιτίας κάποιας μάζας αλλά και ότι το φως ταξιδεύει σαν δέσμη φωτονίων που έχουν διττή φύση (Choudhary et al., 2018 · Kersting, 2019 · Choudhary et al, 2020 · Kersting et al., 2020). Επίσης, οι φωτεινές ακτίνες είναι απλώς ένας γεωμετρικός τρόπος οπτικοποίησης της διάδοσης του φωτός και δεν αποτελούν συστατικά στοιχεία του τελευταίου, κάτι που οι περισσότεροι μαθητές/τριες αδυνατούν να συλλάβουν (Hubber, 2006).

Ο Baldy (2007) υποστηρίζει ότι οι θεωρίες που διδάσκονται οι μαθητές/τριες στο σχολικό περιβάλλον, θα πρέπει να εξαλείψουν τις εναλλακτικές ιδέες τους, γεγονός που η Νευτώνεια Μηχανική δεν επιτρέπει σε μεγάλο βαθμό. Για παράδειγμα, ο ίδιος συγγραφέας αναφέρει ότι όσον αφορά τη βαρύτητα, θετικό θα ήταν να μην υπάρχει αυτός ο διαχωρισμός των φαινομένων εξ αρχής όταν συμβαίνουν στη Γη ή σε κάποιο διαφορετικό μέρος του Σύμπαντος, δηλαδή η βαρύτητα να διδάσκεται ως φαινόμενο που εμφανίζεται σε όλο το Σύμπαν. Επίσης, στην Κβαντική Φυσική είναι ωφέλιμο το βάρος να αποδίδεται αυστηρά σε φαινόμενα του μικρόκοσμου έτσι ώστε οι μαθητές/τριες να μην δημιουργούν λανθασμένες συσχετίσεις με την Κλασική Φυσική (Fischler & Lichtfeldt, 1992 · Greca & Freire, 2014).

2.4 Στρατηγικές – Τεχνικές Διδασκαλίας

Η Φυσική του Einstein πραγματεύεται έννοιες που δεν μπορούν να γίνουν αντιληπτές με τις αισθήσεις στην καθημερινή ζωή, ενώ ταυτόχρονα, υπάρχει μεγάλη έλλειψη στα επιστημονικά όργανα που μπορούν να οπτικοποιήσουν κβαντικά φαινόμενα. Επομένως, προβάλλεται η ανάγκη αξιοποίησης διδακτικών στρατηγικών και τεχνικών, οι οποίες διευκολύνουν σε σημαντικό βαθμό την κατανόηση της Φυσικής από τους μαθητές/τριες, όπως λ.χ. η διδασκαλία μέσω δραστηριοτήτων (activity – based learning),

τα νοητικά πειράματα, οι προσομοιώσεις, οι αναλογίες κ.α. Το δε πείραμα στη διδασκαλία της Φυσικής και ειδικά στη διδασκαλία των παραπάνω θεωριών, δε δύναται να παραλειφθεί από την όλη διαδικασία. Σημαντικό ρόλο, επίσης, διαδραματίζει η κοινωνική αλληλεπίδραση των μαθητών/τριων, αφού χωρίς αυτήν η μάθηση επιτυγχάνεται αρκετά δύσκολα (Mannila et al., 2002 · Abed, 2016 · Choudhary et al., 2020 · Dua et al., 2020), καθώς και η ιστορική αναφορά στην εξέλιξη των επιστημών και στην διατύπωση των θεωριών του Einstein (Greca & Freire, 2014 · Kamphorst et al., 2023).

2.4.1 Το Πείραμα στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών

Το πείραμα είναι κύριο χαρακτηριστικό για τη μάθηση, ειδικά των Φυσικών Επιστημών, όπου η επαλήθευση των επιστημονικών θεωριών και η αφομοίωση τους αποτελεί βασικό στόχο (Raviv, Cohen & Aflalo, 2019 · Spagnolo et al., 2020). Σύμφωνα με έρευνες, η εκτέλεση πειραμάτων προκαλεί την ενεργή συμμετοχή των μαθητών/τριων, τους παρακινεί να ασχοληθούν με τις επιστήμες, βελτιώνοντας την στάση τους απέναντι σε αυτές, ενώ ταυτόχρονα καλλιεργεί διαφορετικά είδη νοημοσύνης. Για την υλοποίηση ενός πειράματος οι μαθητές/τριες μπορούν να εργάζονται είτε ατομικά είτε σε μικρές ομάδες δύο έως έξι ατόμων (Raviv et al., 2019 · Kaur et al., 2020b). Τα εκπαιδευτικά πειράματα που διεξάγονται πρέπει να είναι εύληπτα και ουσιώδη, ειδικά όταν αφορούν σύνθετες θεωρίες όπως αυτές του Einstein (Spagnolo et al., 2020). Σε αυτή την περίπτωση, οι μαθητές/τριες διαφαίνεται ότι είναι σε θέση να κατανοήσουν με μεγαλύτερη ευκολία έννοιες, όπως, για παράδειγμα η καμπύλωση του χωροχρόνου, παρόλο που αναγνωρίζουν ότι αρκετές από αυτές είναι αρκετά δύσκολες (Kersting, 2019).

Επιπλέον θετικά πρόσημα της πειραματικής ενασχόλησης αποτελούν η ιδιαίτερη χαρά των μαθητών/τριων όταν συμμετέχουν στην πειραματική διαδικασία, η γνωριμία με νέες έννοιες με τη χρήση επιστημονικών οργάνων, η δυνατότητα επικοινωνίας και συνεργασίας αλλά ταυτόχρονα και η ανάληψη ευθυνών καθώς και η ανάκτηση αυτοπεποίθησης. Συγκεντρωτικά, αναπτύσσονται οι δεξιότητες που απαιτείται να έχουν τα άτομα στον 21^ο αιώνα (Raviv et al., 2019 · Στύλος & Κώτσης, 2016). Επομένως, η εισαγωγή σε οποιοδήποτε επιστημονικό θέμα μπορεί να γίνει μια ευχάριστη διαδικασία δια του πειράματος. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι Gkiolmas et al. (2021) στην έρευνας τους παρατήρησαν ότι φοιτητές – μελλοντικοί δάσκαλοι που δεν είχαν φυσικομαθηματικό υπόβαθρο και συμμετείχαν σε πειραματικές διαδικασίες σχετικά με τη κυματοσωματιδιακή φύση του φωτός, δήλωσαν πως ήταν ωφέλιμο να ενημερωθούν για το συγκεκριμένο θέμα.

2.4.2 Ο Ρόλος των Μοντέλων και των Αναλογιών

Τα τελευταία χρόνια, οι έρευνες αναδεικνύουν όλο και περισσότερο την αξία της χρήσης μοντέλων ή/και αναλογιών για τη διδασκαλία ορισμένων αφηρημένων εννοιών των ΦΕ. Οι λόγοι υποστηρίζουν ότι προάγεται η ενεργή συμμετοχή των μαθητών/τριων και βελτιώνεται το γνωστικό τους επίπεδο, αφού η οπτικοποίηση μιας εικόνας τείνει να συγκρατείται πιο εύκολα στο μυαλό (Coll, France & Taylor, 2005 · Passmore, Gouvea & Giere, 2014 · Abed, 2016 · Kersting & Steier, 2018 · Choudhary et al., 2020 · Dua et al., 2020 · Kaur et al., 2020b). Επομένως, για αρχή οι μαθητές/τριες έρχονται σε επαφή με αρκετά απλά παραδείγματα μοντέλων/αναλογιών, έτσι ώστε να γνωρίσουν βασικές έννοιες του υπο μελέτη θέματος και να αυξηθεί το ενδιαφέρον τους (Greca & Freire, 2014 · Kaur et al., 2017a). Τα μοντέλα χαρακτηρίζονται ως αναπαραστάσεις μιας πτυχής ενός φαινομένου ή μιας ιδέας. Όταν δημιουργούνται επιδιώκεται η επίτευξη ενός συγκεκριμένου στόχου. Τα ίδια αποτελούν έναν συνδετικό κρίκο μεταξύ της καθημερινότητας και του επιστημονικού κόσμου, παρέχοντας έναν τρόπο κατανόησης της επιστημονικής διαδικασίας και των στόχων αυτής (Gilbert, 1999 · Coll et al., 2005 · Hubber, 2006 · Passmore et al., 2014). Κατά τη διάρκεια ενός μαθήματος, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στα νοητικά μοντέλα που έχουν δημιουργήσει ήδη οι μαθητές/τριες σχετικά με ένα συγκεκριμένο ζήτημα (Hubber, 2006 · Özcan, 2015). Επιπλέον, όταν ζητείται από τους μαθητές/τριες να σχεδιάσουν οι ίδιοι ένα μοντέλο που αφορά σε μια επιστημονική θεωρία, θα πρέπει ο στόχος της διαδικασίας να γίνεται εξ αρχής γνωστός και κατανοητός σε όλους (Gilbert, 1999 · Passmore et al., 2014 · Kersting & Steier, 2018). Οι αναλογίες θεωρούνται υποσύνολο των μοντέλων αφού συγκρίνουν δύο πράγματα τα οποία παρουσιάζουν ορισμένα κοινά στοιχεία, εκ των οποίων το ένα αποτελεί αρκετά αφηρημένη έννοια (Coll et al., 2005).

Τα μοντέλα που αναπαριστούν ένα φυσικό σύστημα και προσπαθούν να εξηγήσουν το σύμπαν, είναι μια εξιδανίκευση της πραγματικότητας διότι περιλαμβάνουν ορισμένες παραμέτρους και απορρίπτουν άλλες. Επομένως, κάθε μοντέλο πρέπει να αξιολογείται ώστε να εντοπίζονται οι περιορισμοί του (Gilbert, 1999 · Coll et al., 2005 · Ellis, 2014). Επιπλέον, οι αναλογίες μπορούν να οδηγήσουν σε ασάφειες ή λανθασμένη κατανόηση από τους μαθητές/τριες καθώς ενέχουν περιορισμούς. Οι τελευταίοι σε ορισμένες περιπτώσεις δεν διευκρινίζονται εξ αρχής, έχοντας ως αποτέλεσμα οι μαθητές/τριες να θεωρούν δεδομένο πως ό,τι βλέπουν είναι αληθές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το ανάλογο του

ελαστικού σεντονιού που χρησιμοποιείται για τη διδασκαλία της βαρύτητας κατά τον Einstein ή/και το ανάλογο του μαξιλαριού όπου διάφορες μπίλιες αναπαριστούν τις μάζες στο διάστημα. Σε αυτά τα ανάλογα, περιορισμοί όπως οι τριβές από το υλικό μπορούν να μπερδέψουν τους μαθητές/τριες (Baldy, 2007 · Choudhary et al., 2020). Σημαντικό, λοιπόν, είναι να δίνεται έμφαση στις διαφορές μεταξύ του ανάλογου συστήματος και του πραγματικού κόσμου (Kaur et al., 2017a).

2.4.3 Νοητικά Πειράματα

Πέραν των φυσικών πειραμάτων με επιστημονικά όργανα, δίνεται η δυνατότητα αξιοποίησης νοητικών πειραμάτων, τα οποία είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι της επιστημονικής μεθοδολογίας για αυτό και έχουν χρησιμοποιηθεί από τους σπουδαιότερους επιστήμονες όπως ο Γαλιλαίος, ο Νεύτωνας ή ο Einstein κατά τη διάρκεια ανακάλυψης των θεωριών τους. Άλλωστε, η ανάπτυξη της Θεωρίας της Σχετικότητας και της Κβαντικής Φυσικής δεν θα ήταν εφικτό να συμβεί χωρίς την αξιοποίηση των νοητικών πειραμάτων (Asikainen & Hirvonen, 2014 · Kersting & Steier, 2018). Οι Velentzas και Halkia (2013) αναφέρουν πως τα νοητικά πειράματα αποτελούν μια διαδικασία κατά την οποία το άτομο φτιάχνει ένα πείραμα στο μυαλό του για να ελέγξει νοητικά μια υπόθεσή του και στη συνέχεια αφήνει την πειραματική διαδικασία να εξελιχθεί, παρατηρώντας τι θα μπορούσε να συμβεί. Τα νοητικά πειράματα αποτελούν δυναμικές καταστάσεις μέσα από τις οποίες ο επιστήμονας εξετάζει μια σειρά γεγονότων και αποτελεσμάτων. Τις περισσότερες φορές δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν ως φυσικά πειράματα διότι τα δεδομένα δεν αναπαρίστανται με ευκολία (Velentzas & Halkia, 2013 · Asikainen & Hirvonen, 2014 · Alstein et al., 2020).

Όσον αφορά στους μαθητές/τριες, η χρήση των νοητικών πειραμάτων είναι σκόπιμο να πραγματοποιείται μέσα σε ένα οικείο πλαίσιο για τους ίδιους/ίδιες, με κυριότερο στοιχείο ο πειραματισμός να γίνεται μέσα στη σχολική τάξη (Matthews, 1988). Αδιαμφισβήτητα, αυτή η πειραματική διαδικασία καλλιεργεί τη φαντασία και την κριτική σκέψη των μαθητών/τριων, ενισχύει την έκφραση των ιδεών τους, προάγει την ενεργή συμμετοχή, φέρνει σε επαφή το παιδί με την επιστημονική σκέψη και γεφυρώνει το κενό μεταξύ των εννοιών και την παρουσία τους στην καθημερινή ζωή. Επιπρόσθετα, οι μαθητές/τριες μαθαίνουν να διακρίνουν τις επιλύσιμες ή μη καταστάσεις, πολλές φορές εκτιμούν σε μεγαλύτερο βαθμό τα φυσικά πειράματα, εφόσον προηγουμένως έχουν ασχοληθεί με κάποιο νοητικό πείραμα, ενώ και ο καθηγητής αντιλαμβάνεται καλύτερα τον τρόπο σκέψης

των μαθητών/τριων του. Παρόλα αυτά, οι βαθιά ριζωμένες απόψεις που έχουν οι περισσότεροι μαθητές/τριες και οι οποίες στηρίζονται στην Κλασική Φυσική μπορεί να αποτελέσουν τροχοπέδη για την επιτυχή έκβαση των νοητικών πειραμάτων. (Velentzas & Halkia, 2013 · Asikainen & Hirvonen, 2014 · Alstein et al., 2020 · Kamphorst et al., 2023)

2.4.4 Εικονικά Περιβάλλοντα Μάθησης

Η ακριβής αναπαράσταση των γεγονότων που πραγματεύεται η Θεωρία της Σχετικότητας και η Κβαντομηχανική, είναι αδύνατη στα πλαίσια ενός καθημερινού φαινομένου. Για παράδειγμα, είναι αρκετά δύσκολο να οπτικοποιηθεί η διττή φύση του φωτός και να επιλεγεί ένα αποτελεσματικό μοντέλο διδασκαλίας για αυτή (Voudoukis, 2018). Ανά τα χρόνια έχουν σχεδιαστεί πολλά εικονικά περιβάλλοντα μάθησης στα οποία οι μαθητές/τριες παρατηρούν φαινόμενα που πλησιάζουν την ταχύτητα του φωτός και φαινόμενα Κβαντομηχανικής. Σε αυτά τα περιβάλλοντα μπορούν να γίνουν αντιληπτά τα αποτελέσματα της Σχετικότητας, όπως είναι η διαστολή του χρόνου ή η συστολή του μήκους, αλλά και η λειτουργία του μικρόκοσμου, μέσα από έναν διασκεδαστικό τρόπο μάθησης. (McGrath, Savage, Williamson, Wegener & McIntyre, 2008 · Alstein et al., 2020)

Οι εφαρμογές αυτές αφορούν τόσο παιχνίδια στα οποία ο εκπαιδευόμενος συμμετέχει ενεργά, όσο και παρουσιάσεις που συγκεντρώνουν όλη την απαραίτητη πληροφορία. Επιπλέον, υπάρχουν και ορισμένα περιβάλλοντα προσομοιώσεων αλλά και εφαρμογές όπου οι μαθητές/τριες μπορούν να αναπαραστήσουν τα νοητικά πειράματά τους. Για παράδειγμα υπάρχει η προσομοίωση εικονικής πραγματικότητας Real Time Relativity στην οποία οι εκπαιδευόμενοι μελετούν φαινόμενα που εκτυλίσσονται με την ταχύτητα του φωτός (Alstein et al., 2020). Βεβαίως, υπάρχουν και αρκετές προσομοιώσεις και πολυμεσικές εφαρμογές που αφορούν και στην Κβαντική Φυσική και προϋδεάζουν τους μαθητές/τριες για τις βασικές αρχές αυτής της θεωρίας, μέσω των αναπαραστάσεων της συμβολής των κυμάτων, των κυματοσυναρτήσεων, των πιθανοτήτων, των ενεργειών στα άτομα, της συμβολής και της πόλωσης του φωτός κ.α. Αρκετά διαδεδομένο είναι το δωρεάν περιβάλλον προσομοιώσεων του PhET Interactive Simulations Project at Colorado University (Greca & Freire, 2014 · Sokolowski, 2013 · Voudoukis, 2018). Ο συγκεκριμένος τρόπος εκμάθησης έχει επιφέρει θετικά αποτελέσματα τόσο ως προς την κατάκτηση της γνώσης, όσο και προς τη θετική στάση των μαθητών/τριων απέναντι στην Επιστήμη (McGrath et al., 2008 · Alstein et al., 2020).

3. Στάσεις και Ενδιαφέρον Μαθητών απέναντι τις Φυσικές Επιστήμες

3.1 Στάσεις

Τα τελευταία σχεδόν σαράντα (40) χρόνια, η καταγραφή των στάσεων (attitudes) των μαθητών/τριων απέναντι στα μαθήματα των ΦΕ αποτελεί ένα σημαντικό τμήμα της εκπαιδευτικής έρευνας (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2011). Σύμφωνα με τους Osborne, Simon & Collins (2003) οι στάσεις απέναντι στις ΦΕ είναι τα συναισθήματα, οι προτιμήσεις, οι πεποιθήσεις και οι αξίες σχετικά με κάποιο επιστημονικό εγχείρημα, ή το μάθημα των ΦΕ ή/και τις επιδράσεις της Επιστήμης στην καθημερινότητα. Οι Koballa και Glynn (2007) αναφέρουν ότι οι στάσεις δηλώνουν την θετική ή αρνητική διάθεση ως προς την εκμάθηση της Επιστήμης και εκφράζουν ένα συναίσθημα. Με βάση το συναίσθημα αυτό είναι δυνατή η πρόβλεψη της συμπεριφοράς του ατόμου. Μάλιστα, οι ίδιοι συγγραφείς υποστηρίζουν ότι πολλές φορές οι στάσεις δεν διαχωρίζονται από τις πεποιθήσεις, τις απόψεις και εν γένει την περιέργεια του ατόμου. Δεδομένων των αλλαγών που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της ζωής ενός ανθρώπου, οι στάσεις είναι δυνατόν να μεταβληθούν σημαντικά, ανάλογα την κατάσταση (Aguilera & Perales-Palacios, 2020).

Η διδασκαλία των ΦΕ δεν συμβαδίζει με τις εκπαιδευτικές και συναισθηματικές ανάγκες των παιδιών, επομένως οι μαθητές/τριες αρνούνται να καταβάλλουν προσπάθεια κατανόησης των επιστημονικών εννοιών (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2011). Κατά συνέπεια, η αρνητική αυτή στάση επηρεάζει τη διδασκαλία του μαθήματος της Φυσικής αλλά και τις μελλοντικές επιλογές των νέων περί επαγγελματικής ενασχόλησης. Η έντονη απόρριψη των ΦΕ από σύγχρονους μαθητές/τριες, γεννά ερωτήματα τόσο σε επιστημονικό όσο και σε κοινωνικό επίπεδο (Osborne et al, 2003). Γεγονός αποτελεί ότι η μετάβαση των παιδιών από την πρωτοβάθμια στη δευτεροβάθμια και αργότερα στην τριτοβάθμια εκπαίδευση επιδρά αρνητικά στις στάσεις τους (Aguilera & Perales-Palacios, 2020 · Στύλος, 2014). Η παρατήρηση αυτή εντοπίζεται σε μεγάλο βαθμό, ειδικότερα στο γυναικείο φύλο (Jones, Howe & Rua, 2000 · Osborne et al, 2003). Ωστόσο, τα κορίτσια, παρά την αρνητικότερη στάση τους προς τις ΦΕ, έχουν υψηλότερες ακαδημαϊκές επιδόσεις σε σύγκριση με τα αγόρια (Agranovich & Assaraf, 2013). Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι θετικές στάσεις των μαθητών/τριων προς τις ΦΕ οφείλονται σημαντικά στις εφαρμοζόμενες τεχνικές διδασκαλίας, το ενδιαφέρον του εκπαιδευτικού και την

εμπλοκή των ίδιων στη διαδικασία της μάθησης (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2011 · Agranovich & Assaraf, 2013).

Ο πολυδιάστατος ορισμός των στάσεων προς τις ΦΕ δεν επιτρέπει την απευθείας αξιολόγησή τους, επομένως χρησιμοποιείται ποικιλία επιστημονικών εργαλείων για την μέτρηση αυτών. Σύμφωνα με μία έμμεση μέθοδο, η μέτρηση βασίζεται σε απαντήσεις των ατόμων σχετικά με την επιλογή σχολικών μαθημάτων. Διαφορετική μέθοδο αποτελεί η διεξαγωγή προσωπικών συνεντεύξεων (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2011). Ωστόσο, συνήθως, αξιοποιούνται επιστημονικά ερωτηματολόγια βασισμένα στην κλίμακα Likert, στα οποία οι μαθητές/τριες καλούνται να δηλώσουν τον βαθμό στον οποίο συμφωνούν ή διαφωνούν σχετικά με μία πρόταση. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την κλίμακα αυτή αποτελούν χρήσιμο ερευνητικό υλικό διότι προσδιορίζουν σημαντικά στάσεις και πεποιθήσεις, καθώς και αποτελούν εφαλτήριο για αλλαγή στη συμπεριφορά των νέων μετά από στοχευμένες δράσεις (Osborne et al, 2003 · Στύλος, 2014). Στη βιβλιογραφία εντοπίζονται και άλλες κλίμακες μέτρησης των στάσεων, όπως η κλίμακα Thurstone, η κλίμακα Guttman και οι κλίμακες σημασιολογικής διαφοροποίησης (Στύλος, 2014). Εκτός αυτών, υπάρχουν επιστημονικά εργαλεία που στοχεύουν στον ποσοτικό προσδιορισμό των στάσεων των μαθητών/τριων προς τις ΦΕ. Τα ίδια, συνήθως, προσφέρουν μόνο επιφανειακά και προφανή συμπεράσματα σχετικά με ένα συγκεκριμένο αντικείμενο της Φυσικής κάθε φορά. Επιπλέον, μπορούν να εντοπίσουν ένα πρόβλημα στις στάσεις, αλλά δεν δίνουν περιθώρια κατανόησης και αντιμετώπισής του (Osborne et al, 2003).

3.2 Ενδιαφέρον

Η διερεύνηση του ενδιαφέροντος των μαθητών/τριων για τις ΦΕ αποτελεί ένα ακόμη κύριο ερευνητικό θέμα για την εκπαιδευτική κοινότητα. Η ανάγκη ύπαρξης επιστημονικού ενδιαφέροντος από τους νέους είναι μεγάλη, καθώς ο γραμματισμός των πολιτών αλλά και η οικονομία μιας χώρας, βασίζονται στην Επιστήμη και την Τεχνολογία (Swarat, Ortony & Revelle, 2012). Σύμφωνα με τους Blankenburg, Hoffler & Parchmann (2015) το ενδιαφέρον είναι μια δυναμική διαδικασία μεταξύ ενός ατόμου και ενός αντικειμένου, θέματος, δραστηριότητας ή ιδέας. Οι ίδιοι συγγραφείς αναφέρουν ότι οι μαθητές/τριες του σήμερα δεν επιδιώκουν την ενασχόληση με τις ΦΕ και την τεχνολογία, γεγονός που δύναται να επιφέρει σημαντικά προβλήματα στην αγορά εργασίας. Το ενδιαφέρον σχετίζεται άμεσα με την επιτυχία και την προσήλωση σε έναν στόχο. Η διαδικασία της μάθησης επιτυγχάνεται όταν ο μαθητής/τρια έχει ουσιαστική επαφή με τη

γνώση καθώς και τον απαραίτητο χρόνο για να γνωρίσει κάθε έννοια, γεγονός που είναι αδύνατο να συμβεί αν εκλείπει το ενδιαφέρον (Baram-Tsabari & Yarden, 2009).

Αναμφίβολα, το εκπαιδευτικό σύστημα επηρεάζει το ενδιαφέρον των μαθητών/τριων προς τις ΦΕ. Όπως αναφέρουν οι van Griethuijsen et al. (2015), οι μαθητές/τριες μέχρι την ηλικία των δέκα (10) ετών παρουσιάζουν ουσιαστικό επιστημονικό ενδιαφέρον. Κρίσιμο είναι το μεσοδιάστημα μεταξύ των ηλικιών δέκα (10) και δεκατέσσερα (14) κατά το οποίο το ενδιαφέρον είτε παραμένει υψηλό είτε ελαττώνεται σημαντικά, έως ότου τελικά το παιδί κατασταλάξει στις απόψεις του περί της Επιστήμης. Στις μικρές ηλικίες, τα παιδιά ενδιαφέρονται περισσότερο για τομείς όπως η ζωολογία και η αστροφυσική. Όσο αυξάνεται η σχολική βαθμίδα, ο μαθητής/τρια διδάσκεται περισσότερο αφηρημένες έννοιες των ΦΕ που συνοδεύονται από ανώτερα μαθηματικά, οπότε το ενδιαφέρον για αυτές, εκλείπει σταδιακά (Baram-Tsabari & Yarden, 2009).

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί αυτό το ζήτημα, επιλέγονται σύγχρονες στρατηγικές διδασκαλίας, όπως η διερευνητική μάθηση, οι μαθητές συμμετέχουν σε επιστημονικές εκδηλώσεις ή/και εκδρομές, ενώ, επιπλέον, γίνεται μια συνεχής προσπάθεια σύνδεσης των επιστημονικών εννοιών με την καθημερινή ζωή (Swarat et al., 2012 · Blankenburg et al., 2015). Στόχος είναι οι μαθητές/τριες να αναλαμβάνουν ρόλους ανάλογους με αυτούς των επιστημόνων ώστε να αντιλαμβάνονται τη χρησιμότητα της Επιστήμης (Blankenburg et al., 2015). Η μέτρηση του ενδιαφέροντος γίνεται με παρόμοιες μεθόδους όπως και στην περίπτωση των στάσεων απέναντι στις ΦΕ (βλ. 3.1).

4. Πλαίσιο έρευνας

4.1 Σκοπός της έρευνας

Ο σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν η διερεύνηση του επιπέδου κατανόησης εννοιών της Σύγχρονης Φυσικής από μαθητές/τριες της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Ειδικότερα, ο σκοπός αφορά σε τρεις υποκατηγορίες που είναι οι εξής:

- α) Αξιολόγηση της επίδρασης μιας διδακτικής παρέμβασης σχετικά με τη Φυσική του Einstein, σε μαθητές/τριες Δημοτικού, Γυμνασίου και Λυκείου αντίστοιχα, όσον αφορά το επίπεδο κατανόησης σύγχρονων φυσικών εννοιών.
- β) Παρατήρηση αλλαγών στις στάσεις ή/και στο ενδιαφέρον των συμμετεχόντων στην έρευνα, απέναντι στις ΦΕ.
- γ) Σύγκριση του επιπέδου κατανόησης των μαθητών/τριων μεταξύ διαφορετικών σχολικών βαθμίδων, καθώς και προσδιορισμός της σχολικής βαθμίδας στην οποία θα ήταν περισσότερο ωφέλιμο να εισαχθεί η Φυσική του Einstein.

Τα παραπάνω διερευνώνται στα πλαίσια μιας διπλωματικής εργασίας, τα αποτελέσματα της οποίας μπορούν να συμβάλλουν στις αποφάσεις της επιστημονικής εκπαιδευτικής κοινότητας σχετικά με την ένταξη εννοιών της Σύγχρονης Φυσικής στα νέα αναλυτικά προγράμματα σπουδών των ελληνικών σχολείων.

4.2 Ερευνητικά ερωτήματα

Τα κύρια ερευνητικά ερωτήματα (ΕΕ) που τέθηκαν ώστε να καθοδηγηθεί η έρευνα ήταν:

- ΕΕ.1) Ποιο είναι το επίπεδο εννοιολογικής κατανόησης των μαθητών/τριων σχετικά με έννοιες της Φυσικής του Einstein, πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση;
- ΕΕ.2) Υφίσταται διαφορά στο επίπεδο κατανόησης των εννοιών της Φυσικής του Einstein, ανάλογα με τη σχολική βαθμίδα των μαθητών/τριων;
- ΕΕ.3) Σε ποιο είδος σχολικής βαθμίδας κατανοούνται σε μεγαλύτερο βαθμό οι έννοιες της Σύγχρονης Φυσικής;
- ΕΕ.4) Διαφέρουν τα αποτελέσματα της διδασκαλίας εννοιών της Φυσικής του Einstein βάση του φύλου των μαθητών/τριων;
- ΕΕ.5) Επηρεάζει η διδασκαλία της Σύγχρονης Φυσικής τις στάσεις και το ενδιαφέρον των μαθητών/τριων προς τις ΦΕ;

4.3 Πλήθος, δειγματοληψία και τελικό δείγμα

Ως γενικότερο πλήθος μελέτης για την έρευνα θεωρήθηκαν οι μαθητές/τριες της έκτης (Στ') Δημοτικού, οι μαθητές/τριες της τρίτης (Γ') Γυμνασίου και οι μαθητές/τριες της δευτέρας (Β') Λυκείου που παρακολουθούν το υποχρεωτικό μάθημα «Φυσική Γενικής Παιδείας» κατά το σχολικό έτος 2022 – 2023. Το σύνολο των προαναφερόμενων μαθητών/τριων φοιτούν σε ελληνικά σχολεία που υπάγονται στο Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων από όπου και λαμβάνουν οδηγίες.

Στην έρευνα συμμετείχαν σχολεία του Νομού Ιωαννίνων (Περιφέρεια Ηπείρου, Ελλάδα). Εξαιτίας ειδικών συνθηκών, λ.χ. περιορισμένη δυνατότητα πρόσβασης σε σχολεία άλλων περιοχών, το δείγμα της έρευνας συγκεντρώθηκε μέσω βολικής δειγματοληπτικής διαδικασίας. Συγκεκριμένα, οι συμμετέχοντες προήλθαν από τρεις (3) σχολικές μονάδες του Δημοτικού, τρεις (3) σχολικές μονάδες του Γυμνασίου και δύο (2) σχολικές μονάδες του Λυκείου. Βασική αρχή της έρευνας αποτέλεσε το δικαίωμα συμμετοχής σε όλους τους μαθητές/τριες που φοιτούσαν στις τάξεις ενδιαφέροντος της έρευνας, χωρίς διακρίσεις ως προς το θρήσκευμα, την εθνικότητα ή τα μαθησιακά τους χαρακτηριστικά (αγαπημένο μάθημα, επίδοση στο μάθημα της Φυσικής, μέσος όρος βαθμολογίας κ.ά.) διότι αυτές εκλαμβάνονται ως ανεξάρτητες μεταβλητές, εκτός του ερευνητικού ενδιαφέροντος της μελέτης. Η στρατηγική δειγματοληψίας ήταν η βολική (ευκαιριακή), κυρίως για λόγους διαθεσιμότητας των συμμετεχόντων (Singh, 2007: 107).

Το δείγμα που προέκυψε ήταν συνολικά 325 μαθητές/τριες από τους οποίους οι 178 ήταν αγόρια και οι 147 κορίτσια. Ειδικότερα, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1, οι συμμετέχουσες μαθήτριες Δημοτικού ήταν 38, Γυμνασίου 46 και Λυκείου 63. Τα αγόρια που συμμετείχαν στην έρευνα ήταν 45 μαθητές Δημοτικού, 80 μαθητές Γυμνασίου και 53 μαθητές Λυκείου.

Πίνακας 1: Το δείγμα των μαθητών/τριων και η σχολική βαθμίδα στην οποία ανήκαν

	Σχολική Βαθμίδα			
	Δημοτικό	Γυμνάσιο	Λύκειο	Σύνολο
Κορίτσια	38	46	63	147
Αγόρια	45	80	53	178
Σύνολο	83	126	116	325

Οι περισσότεροι μαθητές/τριες δεν είχαν διδαχθεί ξανά έννοιες σύμφωνα με τη Σύγχρονη Φυσική και τον Einstein, επομένως οι γνώσεις τους περιορίζονταν σε πληροφορίες που πιθανόν να είχαν συλλάβει από τον κοινωνικό τους περίγυρο ή το

διαδίκτυο. Το σύνολο των παραπάνω μαθητών/τριών συμπλήρωσαν γραπτά ερωτηματολόγια που απαιτούνταν για την έρευνα, με το ποσοστό απόκρισης (response rate) να είναι 100%. Ο αριθμός του δείγματος επέτρεψε τελικά τη διεξαγωγή επαγωγικών αναλύσεων.

5. Μεθοδολογία

5.1 Ερευνητική Διαδικασία

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε κατά το σχολικό έτος 2022 – 2023 με δια ζώσης διδακτική παρέμβαση σε διάφορες σχολικές μονάδες της πόλης των Ιωαννίνων. Σε πρώτο στάδιο, μετά από βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με έννοιες της Φυσικής του Einstein, επιλέχθηκαν τα ερευνητικά εργαλεία – ερωτηματολόγια – για τα οποία γίνεται λόγος στην ενότητα 5.2. Η σύσταση των ερωτηματολογίων της παρούσης έρευνας βασίστηκε στα ερωτηματολόγια των ερευνών των Choudhary et al (2020), Özcan (2015), Pablico (2010), Postiglione & Angelis (2020) και Taslidere (2016). Μελετώντας τις εννοιολογικές περιοχές με τις οποίες απασχολήθηκε ο Einstein, αλλά και λαμβάνοντας υπόψιν τα σχολικά προγράμματα σπουδών στην Ελλάδα, αποφασίστηκε στα πλαίσια της έρευνας, να διδαχθεί η έννοια του χωροχρόνου, η βαρύτητα κατά τον Einstein, καθώς και η διττή φύση του φωτός μέσω της παρουσίασης του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.

Ένα άλλο στάδιο της ερευνητικής διαδικασίας ήταν ο διαμοιρασμός και η συμπλήρωση από τους μαθητές/τριες αρχικών γραπτών ερωτηματολογίων (pre – test) που αφορούσαν τόσο σε γνώσεις σχετικά με τις έννοιες που αναφέρθηκαν προηγουμένως, όσο και στην στάση και το ενδιαφέρον των παιδιών απέναντι στις ΦΕ. Ως συνέχεια της συλλογής αυτών των ερωτηματολογίων, ακολούθησε διδακτική παρέμβαση με πειραματική διδασκαλία σε κάθε τμήμα που συμμετείχε στην έρευνα. Η πραγματοποίηση της διδασκαλίας βασίστηκε στην καθοδηγούμενη διερευνητική μάθηση (Kavanagh & Sneider, 2006) κατά την οποία η ενεργή συμμετοχή των μαθητών/τριων και η διεξαγωγή δραστηριοτήτων αποτελούν αναγκαία βήματα ώστε να επέλθει η εννοιολογική αλλαγή. Η διδακτική προσέγγιση ήταν ποιοτική και κάθε στάδιο του μαθήματος ήταν οργανωμένο με απλό τρόπο ώστε να ταυτίζεται με τις διαφορετικές ανάγκες των παιδιών. Στην παρέμβαση χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάσεις power point, εκπαιδευτικά videos και πειραματικές δραστηριότητες για τους μαθητές/τριες. Τα δε πειράματα βασίστηκαν σε μοντέλα και αναλογίες της διεθνούς βιβλιογραφίας (Kaur et al., 2017a · Kaur et al., 2017b · Choudhary et al., 2020 · Postiglione & Angelis, 2020).

Αναλυτικότερα, έγινε μια αρχική παρουσίαση στους μαθητές/τριες ώστε να γνωρίσουν τις νέες έννοιες και να προσεγγιστεί το ενδιαφέρον τους και στη συνέχεια διεξήχθησαν πειράματα στα οποία συμμετείχαν όλοι, ανά μικρές ομάδες των 4 – 6 ατόμων.

Η διδασκαλία έλαβε χώρα στις σχολικές αίθουσες του εκάστοτε σχολείου που συμμετείχε στην έρευνα, με τη σύμφωνη παρουσία του υπεύθυνου διδάσκοντα στο μάθημα της Φυσικής. Η διάρκεια της διδακτικής παρέμβασης ήταν τρεις (3) διδακτικές ώρες, ήτοι τρία μαθήματα, σε κάθε τμήμα μαθητών/τριων και διεξήχθη από τον Δεκέμβριο του 2022 μέχρι και τον Φεβρουάριο του 2023.

Με το πέρας της παρέμβασης και παρέλευσης δύο (2) εβδομάδων περίπου, διαμοιράστηκαν εκ νέου στους μαθητές/τριες, γραπτά ερωτηματολόγια (post – test). Απώτερος στόχος αυτών ήταν η καταγραφή γνωστικών αλλαγών σε σύγκριση με πριν τη διδασκαλία, καθώς και αλλαγές στις στάσεις και το ενδιαφέρον των παιδιών για τις ΦΕ.

5.2 Ερευνητικά Εργαλεία

Ως ερευνητικά εργαλεία χρησιμοποιήθηκαν γραπτά ερωτηματολόγια γνώσεων, στάσεων και ενδιαφέροντος προς τις ΦΕ τα οποία παρατίθενται αναλυτικά στο Παράρτημα Β. Στην αρχή του συγκεντρωτικού ερωτηματολογίου, που διαμοιράστηκε στους μαθητές/τριες, συμπεριλήφθηκαν δύο (2) προσωπικές – δημογραφικές ερωτήσεις όσον αφορά το φύλο του κάθε μαθητή/τριας και τη σχολική βαθμίδα στην οποία φοιτούν.

5.2.1 Ερωτηματολόγιο Γνώσεων

Το ερωτηματολόγιο γνώσεων των μαθητών/τριων αποτελούνταν από δεκαέξι (16) ερωτήσεις – πέντε (5) ανοιχτού τύπου και εννέα (9) κλειστού τύπου (πολλαπλής επιλογής). Η παρούσα μελέτη επιχειρεί την ανάδειξη των πλεονεκτημάτων τόσο της ποσοτικής όσο και της ποιοτικής προσέγγισης, ώστε η μικτή μέθοδος να θεωρηθεί η βέλτιστη για τη διεξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων (Clark & Creswell, 2008 · Mertens, 2014). Το ερωτηματολόγιο σχεδιάστηκε για να διερευνήσει διάφορα εννοιολογικά θέματα που αφορούσαν στη βαρύτητα, στο χωροχρόνο, στη φύση του φωτός και στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Στόχο δεν αποτελεί η παρατήρηση της εις βάθος κατανόησης των νέων εννοιών από τους μαθητές/τριες, αλλά η μελέτη των εγγενών δυσκολιών που πιθανόν παρουσιάζονται στην αντίληψη ορισμένων εννοιών (Kaur et al., 2020b). Η σύνθεση του ερωτηματολογίου προέκυψε από την επιλογή ορισμένων ερωτήσεων από αντίστοιχα ερωτηματολόγια, τα οποία έχουν ήδη εφαρμοστεί και εντοπίστηκαν στη διεθνή βιβλιογραφία (Choudhary et al, 2020 · Özcan, 2015 · Pablico, 2010 · Postiglione & Angelis, 2020 · Taslidere, 2016). Οι ερωτήσεις που αξιοποιήθηκαν από κάθε ερωτηματολόγιο, επιλέχθηκαν με βάση τη συσχέτισή τους με τις έννοιες που στοχεύει να μελετήσει η

παρούσα έρευνα. Επομένως, έγινε μετάφραση της εκάστοτε ερώτησης στην ελληνική γλώσσα και προσαρμογή στις ανάγκες της έρευνας. Το τελικό ερωτηματολόγιο αποτελούνταν από την ένωση των επιλεχθέντων ερωτήσεων και δόθηκε προς έγκριση και αξιολόγηση σε δύο έμπειρους και καταξιωμένους ερευνητές της Διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών, τον κύριο Κώστη Κωνσταντίνο και τον κύριο Στύλο Γιώργο. Κάθε ερώτηση συζητήθηκε, αξιολογήθηκε συγκριτικά με μία μεγάλη βάση δεδομένων και βελτιώθηκε. Κατόπιν ορισμένων διορθώσεων, οι ίδιοι έκριναν ότι αποτελεί ένα ικανό εργαλείο έρευνας προς χρήση.

Πριν τη χρήση του συγκεκριμένου ερωτηματολογίου στην παρούσα έρευνα, έγινε μια πιλοτική έρευνα. Στόχος αυτής αποτέλεσε η διαμόρφωση της τελικής μορφής του γραπτού ερωτηματολογίου, ο εντοπισμός των δυσκολιών που αντιμετώπισαν οι συμμετέχοντες και τους οδήγησαν σε παρερμηνείες, η πιθανή τροποποίηση των ερωτήσεων στις οποίες διαφαίνονταν σχετική ασάφεια από τους μαθητές/τριες, καθώς και μια γενική διαπίστωση των αντιδράσεων των υποκειμένων. Η προαναφερόμενη έρευνα πραγματοποιήθηκε στα τέλη Νοεμβρίου του έτους 2022. Το δείγμα που επιλέχθηκε για αυτή τη διαδικασία ήταν 5 μαθητές/τριες έκτης (Στ') Δημοτικού (2 αγόρια και 3 κορίτσια), 4 μαθητές/τριες της τρίτης (Γ') Γυμνασίου (2 αγόρια και 2 κορίτσια) και 5 μαθητές/τριες της δευτέρας (Β') Λυκείου (1 αγόρι και 4 κορίτσια). Η συγκεκριμένη επιλογή βασίστηκε σε αποκλειστικούς λόγους δυνατότητας επικοινωνίας. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, δεν ενδείκνυται συγκεκριμένος αριθμός δείγματος που συμμετέχει σε πιλοτικές έρευνες, οπότε θεωρείται ότι τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τον παραπάνω αριθμό υποκειμένων είναι ασφαλή (Stopher, 2012). Στο σημείο αυτό θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι οι μαθητές/τριες που συμμετείχαν στην πιλοτική έρευνα δε συμπεριλήφθηκαν στους τελικούς συμμετέχοντες, όπως, άλλωστε, προτείνεται σε σχετική βιβλιογραφία (Thomas & Brubaker, 2001: 74). Η αξιοπιστία του ερωτηματολογίου ελέγχθηκε με τον συντελεστή αξιοπιστίας Cronbach (Brown, 2002). Στη συνέχεια, το ερωτηματολόγιο γνώσεων διαμοιράστηκε στους μαθητές/τριες πριν και μετά το τέλος της διδακτικής παρέμβασης. Στόχος ήταν να συγκριθούν οι απαντήσεις των παιδιών στις ίδιες ακριβώς ερωτήσεις ώστε να καταγραφούν τυχόν εννοιολογικές αλλαγές.

Στα ερωτηματολόγια γνώσεων (pre – test, post – test), οι απαντήσεις κρίθηκαν ως σωστές ή λανθασμένες ανάλογα με το αν συμφωνούσαν με τη Φυσική του Einstein. Κατά συνέπεια, οι σωστές απαντήσεις βαθμολογήθηκαν με 1 μονάδα, ενώ οι λανθασμένες με 0 βαθμούς. Εν προκειμένω, ως σωστές θεωρήθηκαν οι απαντήσεις που περιέγραφαν τη

βαρύτητα ως ‘την καμπύλωση του χωροχρόνου εξαιτίας κάποιας μάζας’ και το φως ως ‘δέσμη φωτονίων που έχουν και σωματιδιακή και κυματική φύση – κυματοσωματίδιο’ (Foppoli et al., 2019).

5.2.2 Ερωτηματολόγιο Στάσεων – Ενδιαφέροντος απέναντι στις Φυσικές Επιστήμες

Ο έλεγχος των στάσεων των μαθητών/τριων προς τις ΦΕ έγινε με ένα ερωτηματολόγιο έντεκα (11) συνολικά ερωτήσεων το οποίο εντοπίστηκε σε παρεμφερή έρευνα που αφορά στη Φυσική του Einstein και διαμορφώθηκε από τους Choudhary et al., 2020. Στο εν λόγω ερωτηματολόγιο έγινε μια ελάχιστη τροποποίηση, καθώς η πρώτη ερώτηση, όπως την είχαν διαμορφώσει οι συγγραφείς, διαχωρίστηκε σε δύο επιμέρους ερωτήσεις, ώστε η βαρύτητα και το φως να μελετηθούν ξεχωριστά (βλ. Παράρτημα Β).

Επιπλέον, οι μαθητές/τριες κλήθηκαν να συμπληρώσουν και ένα επιπρόσθετο ερωτηματολόγιο ενδιαφέροντος για τις ΦΕ, το οποίο αποτελούνταν από οχτώ (8) ερωτήσεις. Οι ερωτήσεις είχαν αξιοποιηθεί και σε προηγούμενες μελέτες (Deci, Eghrari, Patrick & Leone, 1994 · Koka & Hein, 2003 · Çetinkaya & Tas, 2015 · Chen, Tutwiler, Metcalf, Kamarainen, Grotzer & Dede, 2016 · Novak & Wisdom, 2018 · Pantazis, Stylos, Kotsis & Georgopoulos, 2021), με αποτέλεσμα το εργαλείο αυτό να αξιολογηθεί ως χρήσιμο για την παρούσα έρευνα, από τους Κώτσης και Στύλος, 2022.

Τόσο το ερωτηματολόγιο των στάσεων όσο και αυτό του ενδιαφέροντος αποτελούνταν από προτάσεις – δηλώσεις σε πεντάβαθμη (5-βαθμη) κλίμακα τύπου Likert όπου υπήρχαν οι εξής δυνατότητες επιλογής: 1= «διαφωνώ πολύ», 2= «διαφωνώ», 3= «ουδέτερος - αβέβαιος», 4= «συμφωνώ», 5= «συμφωνώ πολύ».

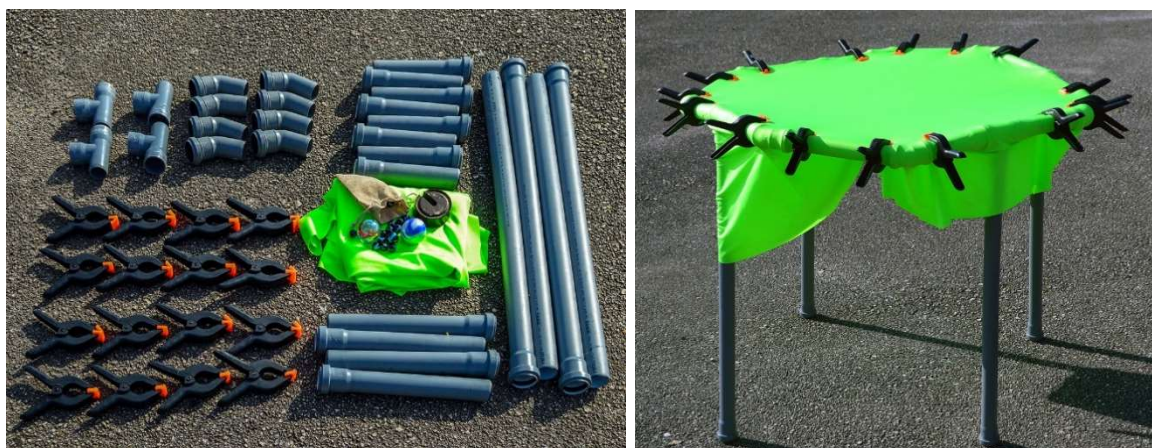
5.3 Πειραματική Διάταξη

Η πιο γνωστή φράση που περιγράφει τη βαρύτητα σύμφωνα με τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας είναι αυτή που διατύπωσε ο J. Wheeler: ‘Η ύλη λέει στο χωροχρόνο πως να καμπυλωθεί. Ο χωροχρόνος λέει στην ύλη πώς να κινηθεί’ (Kaur et al., 2017a · Kersting, 2019). Με βάση την παραπάνω πρόταση, έχει διαμορφωθεί ένα μοντέλο διδασκαλίας της ‘Βαρύτητας του Einstein’, το οποίο βρίσκει ευρέως εφαρμογή, όπως έχει εντοπιστεί στη διεθνή βιβλιογραφία. Το μοντέλο είναι γνωστό ως ο *προσομοιωτής του χωροχρόνου* και χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα με στόχο να προσελκύσει το ενδιαφέρον των μαθητών/τριων (Kersting & Steier, 2018 · Foppoli et al., 2019 · Kaur et al., 2017a). Η βασική ιδέα του μοντέλου είναι ότι η βαρύτητα είναι ένα καθαρά γεωμετρικό φαινόμενο. Η

αξία του ίδιου έγκειται στο γεγονός ότι τα φαινόμενα της Σχετικότητας και η καμπύλωση του χωροχρόνου δεν μπορούν να γίνουν αντιληπτά στην καθημερινή ζωή, οπότε με το συγκεκριμένο μοντέλο, οι μαθητές/τριες κατανοούν σε μεγαλύτερο βαθμό τη Φυσική. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα σύγκρισης της Φυσικής του Einstein με τη Νευτώνεια Φυσική, σχετικά με το πως οι θεωρίες αυτές περιγράφουν το ίδιο φυσικό φαινόμενο (Kersting, 2019).

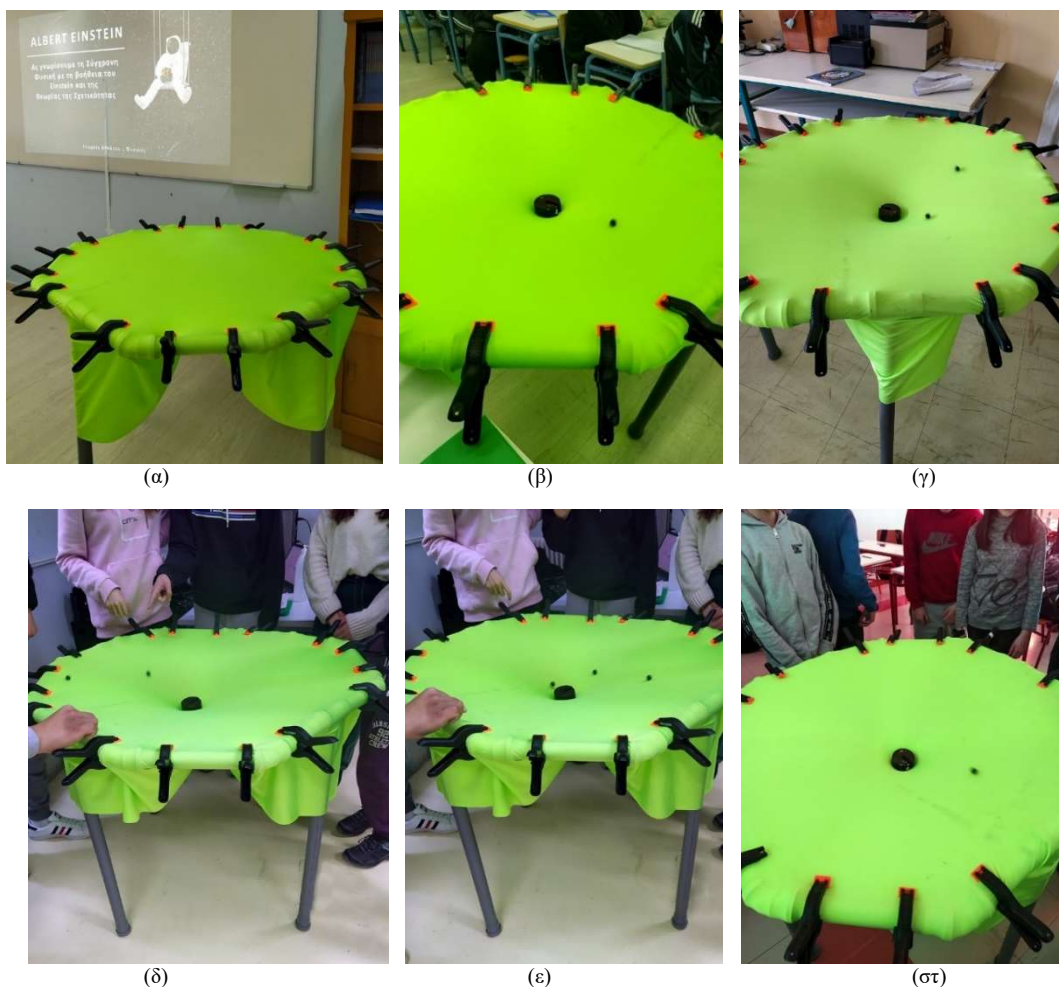
Η κατασκευή ενός προσομοιωτή του χωροχρόνου μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Η πειραματική διάταξή του αποτελείται, συνήθως, από ένα ελαστικό ύφασμα – μεμβράνη, η οποία αναπαριστά το σύμπαν και από μπίλιες (βόλους) διαφόρων μαζών, έτσι ώστε να αναπαρασταθούν οι κινήσεις των αντικειμένων στον χωροχρόνο (Kaur et al., 2017a · Kersting & Steier, 2018 · Foppoli et al., 2019 · Dua et al., 2020 · Kersting et al., 2020). Για παράδειγμα, μία μπίλια με μεγάλη μάζα μπορεί να αναπαριστά τον Ήλιο και οι μικρότερες μπίλιες, τις κινήσεις των πλανητών γύρω του. Το υλικό της μεμβράνης προτείνεται να είναι spandex ή lycra. Στο κέντρο του σεντονιού τοποθετείται ένα σώμα με μεγάλη μάζα ώστε να προκαλέσει παραμόρφωση στη μεμβράνη και να επηρεάσει τις κινήσεις των βόλων πάνω σε αυτή (Foppoli et al., 2019 · Kersting, 2019). Κατά αυτόν τον τρόπο, δεν χρειάζεται να εισαχθεί η έννοια της δύναμης που δρα εξ αποστάσεως και συνήθως μπερδεύει τους μαθητές/τριες (Kersting & Steier, 2018).

Στην παρούσα έρευνα επιλέχθηκε ένα ελαστικό σεντόνι από υλικό lycra διαστάσεων 1.5 m x 1.5 m. Η βάση στην οποία θα τοποθετούνταν τεντωμένο το σεντόνι επιλέχθηκε να είναι ένα οχτάγωνο «τραπέζι» που κατασκευάστηκε από pvc σωλήνες. Πιο συγκεκριμένα, για το πλαίσιο στήριξης του σεντονιού χρησιμοποιήθηκαν 8 pvc valsir σωλήνες Φ4 20 cm, 4 pvc valsir σωλήνες Φ4 30 cm, 4 ενώσεις ταφ και 8 γωνίες $\frac{3}{4}$ (135°). Για τα πόδια στήριξης της κατασκευής χρησιμοποιήθηκαν 4 pvc valsir σωλήνες Φ4 80 cm που ενώθηκαν με τα ταφ, και για την στερέωση του σεντονιού πάνω στο «τραπέζι» χρειάστηκαν 16 σφιγκτήρες ελατηρίου Harden. Οι μπίλιες που χρειάστηκαν για την αναπαράσταση των κινήσεων των σωμάτων στον χωροχρόνο, ήταν διαφορετικών διαστάσεων και μαζών, ενώ χρησιμοποιήθηκε και ένα βαρίδι.



(α) (β)
Εικόνα 1: (α) Υλικά της πειραματικής διάταξης του προσομοιωτή του χωροχρόνου που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα, (β) Κατασκευή πειραματικής διάταξης του προσομοιωτή του χωροχρόνου

Με την υλοποίηση αυτού του πειράματος, οι μαθητές/τριες φάνηκε να συναρπάζονται, συμμετέχοντας στην πειραματική διαδικασία, ενώ εξέφρασαν ποικίλες αυθόρμητες ερωτήσεις επιστημονικού περιεχομένου.





(ζ)

Εικόνα 2: Φωτογραφίες από την εκτέλεση του πειράματος του προσομοιωτή του χωροχρόνου στα σχολεία. (α) Παρουσίαση του πειράματος στους μαθητές/τριες, (β) Μελέτη κίνησης ενός σώματος στον καμπυλωμένο χωροχρόνο, (γ) Μελέτη κίνησης δύο σωμάτων στον καμπυλωμένο χωροχρόνο, (δ-ε) Οι μαθητές/τριες Λυκείου ερμηνεύουν τις κινήσεις διαφόρων σωμάτων στον καμπυλωμένο χωροχρόνο, (στ) Οι μαθητές/τριες Γυμνασίου παρατηρούν την κίνηση ενός σώματος μικρής μάζας γύρω από ένα σώμα πολύ μεγαλύτερης μάζας, (ζ) Οι μαθητές/τριες Δημοτικού στην πρώτη τους επαφή με την καμπύλωση του χωροχρόνου

Ωστόσο, σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι το μοντέλο αυτό συνοδεύεται από περιορισμούς που πρέπει να αναφερθούν στους μαθητές/τριες κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας για να αποφευχθούν τυχόν παρανοήσεις. Αρχικά, τα αποτελέσματα του μοντέλου, παρόλο που το ίδιο αφορά στη Φυσική του Einstein, οφείλονται στη Νευτώνεια Μηχανική. Επίσης, η κατασκευή του γίνεται στις δύο (2) διαστάσεις, ενώ η βαρύτητα είναι η καμπύλωση του τετραδιάστατου χωροχρόνου. Ακόμα, η καμπύλωση του χωροχρόνου μπορεί να εντοπιστεί στο διάστημα και να γίνει αντιληπτή στην εκτροπή του φωτός αλλά δεν έχει κάποιο αποτέλεσμα για τη βαρύτητα στη Γη. Συγκεκριμένα, η μάζα της Γης δεν είναι ικανή να στρεβλώσει αισθητά τον περιβάλλοντα χωροχρόνο, με αποτέλεσμα αυτός να θεωρείται ουσιαστικά επίπεδος. (Hewitt, 2002 · Kaur et al., 2017a · Kersting, 2019)

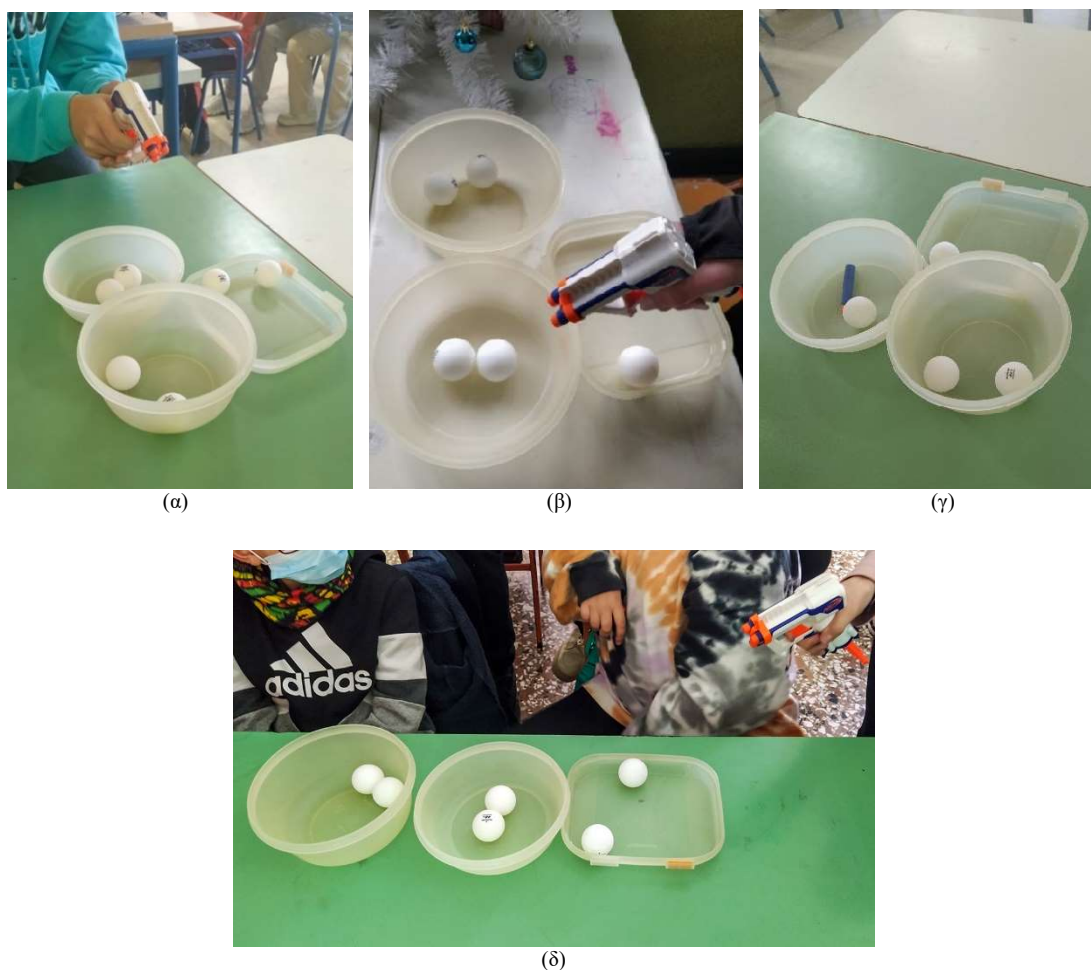
Όσον αφορά τη διδασκαλία της Κβαντικής Φυσικής, στα πλαίσια της έρευνας επιλέχθηκε η προσέγγιση με τη συμβολή δραστηριοτήτων ενεργής συμμετοχής. Στόχος ήταν να κατανοήσουν οι μαθητές/τριες ‘τι είναι το φως’ μέσω της γνωριμίας τους με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο (Forpoli et al., 2019). Για την αναπαράσταση των φωτονίων χρησιμοποιήθηκαν μικρά βλήματα τα οποία προέρχονταν από όπλα παιχνιδιών που ονομάζονται Nerf, αξιοποιώντας έτσι το *ανάλογο των φωτονίων*. Τα βλήματα, δηλαδή, αναπαριστούν τα φωτόνια και είναι ακίνδυνα για τους μαθητές/τριες κατά την εκτόξευσή τους, αφού είναι κατασκευασμένα από αφρώδες υλικό για να αποφεύγονται οι τραυματισμοί. Με τη βοήθεια αυτού του ανάλογου μπορούν να μελετηθούν και άλλα φαινόμενα όπως η σκέδαση του φωτός και η αρχή της αβεβαιότητας (Kaur, Blair, Moschilla & Zadnik, 2017b). Επίσης, το ανάλογο αυτό μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις ηλικιακές

βαθμίδες αφού είναι ένας ευχάριστος και ξεκούραστος τρόπος μάθησης. Στα πλαίσια της παρούσας έρευνας, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για αυτό το πείραμα είναι όπλα Nerf, σφαίρες μικρής διαμέτρου, πανομοιότυπα μπαλάκια του ring pong και μπόλ διαφορετικού βάθους. Υπενθυμίζεται, εδώ, ότι σύμφωνα με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, ηλεκτρόνια εκτοξεύονται από την επιφάνεια ενός μετάλλου όταν σε αυτή προσπίπτει φως. Κατά το ανάλογο, λοιπόν, τα μπαλάκια του ring pong αναπαριστούν τα ηλεκτρόνια στη μεταλλική επιφάνεια, που θεωρείται ότι είναι τα μπόλ. Η δραστηριότητα λαμβάνει χώρα όταν οι μαθητές/τριες πυροβολούν με τα Nerf τα μπαλάκια του ring pong παρατηρώντας αν τα τελευταία θα εκτοξευθούν έξω από τα μπόλ. Η συζήτηση που μπορεί να προκύψει από αυτό το πείραμα είναι πολύπλευρη. Ανάλογα με το επίπεδο και την στάση των μαθητών/τριων, ο εκπαιδευτικός δύναται να περιγράψει με λεπτομέρειες το φαινόμενο, εισάγοντας τις έννοιες της συχνότητας του φωτός, της έντασης, της ενέργειας, τα πηγάδια κατωφλίου κ.α. Παρόλα αυτά, η εισαγωγική γνώση ως προς τη φύση του φωτός επιτυγχάνεται ασφαλώς σε όλες τις σχολικές βαθμίδες, χωρίς την ανάγκη διδασκαλίας σύνθετων εννοιών.



Εικόνα 3: Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα για τον πειραματισμό με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Στη συνέχεια παρουσιάζονται φωτογραφίες από την υλοποίηση του πειράματος σε διαφορετικές σχολικές μονάδες.



Εικόνα 4: Πειραματισμός με το ανάλογο των φωτονίων. (α) Εκτέλεση του πειράματος από μαθητή Γυμνασίου, (β) Εκτέλεση του πειράματος από μαθήτρια Λυκείου, (γ) Το αποτέλεσμα της εκτόξευσης «ηλεκτρονίων», (δ) Εκτέλεση του πειράματος από μαθητές/τριες δημοτικού

5.4 Αξιοπιστία Έρευνας

Για τις ερωτήσεις των ερωτηματολογίων, χρησιμοποιήθηκε η εσωτερική συνέπεια ως μέτρο αξιοπιστίας. Η διερεύνηση της εσωτερικής συνέπειας, έγινε με τον υπολογισμό του δείκτη άλφα του Cronbach (Cronbach α) στο ερωτηματολόγιο γνώσεων αλλά και σε αυτά των στάσεων και ενδιαφέροντος. Τονίζεται ότι στο ερωτηματολόγιο στάσεων το οποίο αξιοποιήθηκε στην έρευνα (βλ. 5.2.2), η στατιστική ανάλυση αξιοπιστίας κατέληγε αρχικά σε συντελεστή Cronbach α ίσο με 0.621. Ωστόσο, με την εξαίρεση της πρότασης 19.6 ‘Προτιμώ να μαθαίνω για την επιστήμη, διεκπεραιώνοντας δραστηριότητες μαζί με άλλους μαθητές’ (Παράρτημα Β), η τιμή α του Cronbach αυξήθηκε πάνω από 0.7, γεγονός που προσέδωσε μεγαλύτερη αξιοπιστία στην τελική μελέτη. Τα γενικότερα αποτελέσματα αξιοπιστίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Ο συντελεστής Cronbach α για όλα τα ερωτηματολόγια που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα

<i>Ερωτηματολόγιο</i>	<i>Cronbach α</i>
Γνώσεων	0.704
Στάσεων	0.709
Ενδιαφέροντος	0.897

5.5 Ανάλυση Δεδομένων

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με το στατιστικό πακέτο IBM SPSS v.21, ενώ αξιοποιήθηκε και το λογισμικό Microsoft Office Excel 365. Το SPSS είναι ένα πακέτο στατιστικής ανάλυσης που προσφέρει πολλαπλές δυνατότητες ανάλυσης και εξαγωγής αποτελεσμάτων. Όσον αφορά την περιγραφική ανάλυση των ερωτηματολογίων, έγιναν συγκρίσεις μεταξύ των σχολικών βαθμίδων και των επιδόσεων των μαθητών/τριων, υπολογίστηκαν συγκεκριμένοι στατιστικοί δείκτες (μέσος όρος, ποσοστά κ.α.) και δημιουργήθηκαν τα κατάλληλα διαγράμματα και πίνακες για την οπτική απεικόνιση των μεταβλητών. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε έλεγχος στατιστικής σημαντικότητας μεταξύ των μέσων όρων των μαθητών/τριων ώστε να ελεγχθεί η διαφορά της βαθμολογίας (score) των απαντήσεων πριν και μετά την παρέμβαση. Συγκεκριμένα, ελέγχθηκε η ύπαρξη ή μη διαφορών στη διάμεσο της εξαρτημένης μεταβλητής (π.χ. score) μεταξύ αρχικής (pre) και τελικής μέτρησης (post).

Για την ανάλυση των απαντήσεων στο ερωτηματολόγιο των στάσεων ήταν αναγκαία η επανακωδικοποίηση ορισμένων προτάσεων που αποτελούν «προτάσεις - δικλίδες ασφαλείας» για τον ερευνητή. Πιο συγκεκριμένα, κάποιες από τις προτάσεις του ερωτηματολογίου είναι διατυπωμένες με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μπορούν να εντοπιστούν τυχόν σφάλματα ή/και μη λογικές ακολουθίες στις απαντήσεις των μαθητών/τριων. Στην ενότητα των αποτελεσμάτων αναφέρονται αναλυτικά οι δηλώσεις του ερωτηματολογίου που επανακωδικοποιήθηκαν.

Στα πλαίσια της στατιστικής ανάλυσης των αποτελεσμάτων γενικότερα, αξιοποιήθηκαν τα Kolmogorov-Smirnov και Shapiro-Wilk tests για τον έλεγχο της κανονικότητας των προς μελέτη μεταβλητών. Οι μεταβλητές ορισμένων ελέγχων δεν ακολουθούσαν την κανονική κατανομή οπότε εφαρμόστηκαν μη παραμετρικά tests, όπως το Wilcoxon signed ranks test και το Kruskal-Wallis test, έτσι ώστε να συγκριθεί η επίδοση και οι στάσεις των μαθητών/τριων στις τρεις σχολικές βαθμίδες. Ωστόσο, οι έλεγχοι που αφορούσαν στο ερωτηματολόγιο ενδιαφέροντος έγιναν με Paired Samples t – test και One way Anova test.

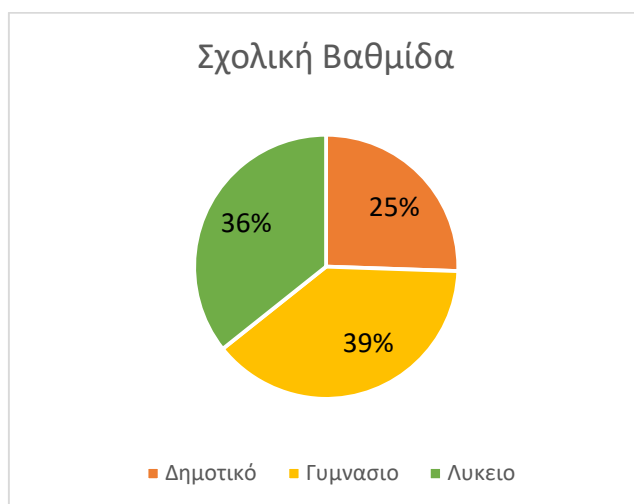
6. Αποτελέσματα – Συζήτηση

6.1 Περιγραφική Στατιστική

6.1.1 Περιγραφική Ανάλυση Ερωτηματολογίου Γνώσεων

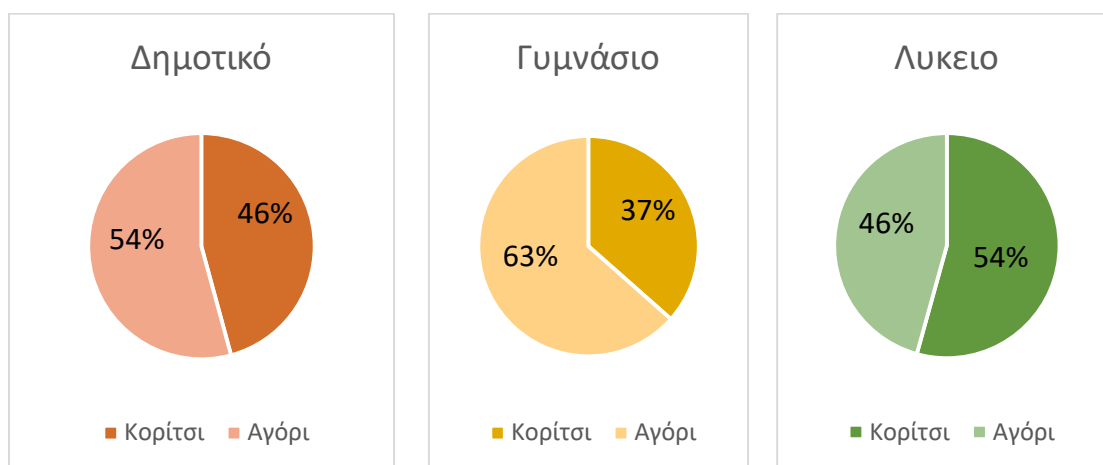
Στην περιγραφική ανάλυση υπολογίστηκαν συγκεκριμένοι στατιστικοί δείκτες και δημιουργήθηκαν κατάλληλα διαγράμματα και πίνακες για την οπτικοποίηση των μεταβλητών. Ειδικότερα, στην ενότητα αυτή, παρουσιάζονται τα περιγραφικά χαρακτηριστικά των υποκειμένων σε σχέση με το φύλο και τη σχολική βαθμίδα στην οποία φοιτούσαν. Παράλληλα, αναλύονται σε διαγράμματα οι απαντήσεις των μαθητών/τριων στο ερωτηματολόγιο των γνώσεων πριν και μετά την παρέμβαση.

Στην έρευνα συμμετείχαν συνολικά 325 μαθητές/τριες. Το 25% αυτών ήταν μαθητές/τριες Δημοτικού, το 39% αυτών ήταν μαθητές/τριες Γυμνασίου και το 36% αυτών ήταν μαθητές/τριες Λυκείου, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 1. Τα παραπάνω δεδομένα προέκυψαν από την πρώτη ενότητα του τελικού ερωτηματολογίου που συμπλήρωσαν οι μαθητές/τριες. Επιπλέον, στα κυκλικά διαγράμματα του Σχήματος 2 παρουσιάζεται η κατανομή σε κάθε σχολική βαθμίδα ανάλογα με το φύλο.



Σχήμα 1: Κατανομή μαθητών/τριων ως προς τη σχολική βαθμίδα

Το 99% διάστημα εμπιστοσύνης για το ποσοστό των μαθητών Δημοτικού είναι το 19.3% έως 31.8%. Αντίστοιχα, για το ποσοστό των μαθητών Γυμνασίου είναι από 31.7% έως 45.7% και των μαθητών Λυκείου είναι από 28.8% έως 42.5%. Το εύρος των διαστημάτων επικαλύπτεται οπότε παρατηρείται μια σχετική ισορροπία στην αντιπροσώπευση των μαθητών/τριων ως προς τη σχολική βαθμίδα.



Σχήμα 2: Κατανομή μαθητών/τριων ως προς το φύλο, σε κάθε σχολική βαθμίδα

Το 95% διάστημα εμπιστοσύνης του ποσοστού των κοριτσιών στο Δημοτικό είναι από 35.1% έως 56.5% και του ποσοστού των αγοριών από 43.5% έως 64.9% οπότε υπήρχε ισάξια αντιπροσώπευση και για τα δύο φύλα. Για τους μαθητές Γυμνασίου προκύπτει ότι το ποσοστό των κοριτσιών είχε 95% διάστημα εμπιστοσύνης από 28.1% έως 44.9% , ενώ το ποσοστό των αγοριών από 55.1% έως 71.9%. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα πως τα αγόρια υπερεκπροσωπήθηκαν. Όσον αφορά τα αντίστοιχα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα ποσοστά των φύλων στο Λύκειο, υπολογίστηκε ότι το ποσοστό των κοριτσιών είχε διάστημα εμπιστοσύνης 95% από 45.2% έως 63.4% και των αγοριών από 36.6% έως 54.8%. Η αντιπροσώπευση, δηλαδή, ήταν περίπου η ίδια.

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενες ενότητες, οι μαθητές/τριες συμπλήρωσαν το ίδιο ερωτηματολόγιο γνώσεων πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση. Στη συνέχεια της ενότητας αυτής παρουσιάζονται τα περιγραφικά αποτελέσματα όπως προέκυψαν από τις απαντήσεις των μαθητών/τριων. Τα αποτελέσματα διακρίνονται βάσει της σχολικής βαθμίδας φοίτησης. Ειδικότερα, το ερωτηματολόγιο γνώσεων αποτελούνταν, αρχικά, από ερωτήσεις ανοιχτού τύπου που στόχο είχαν την ολοκληρωμένη καταγραφή των αντιλήψεων των μαθητών/τριων. Τα αποτελέσματα των απαντήσεων σε αυτές τις ερωτήσεις, παρουσιάζονται παρακάτω:

Ερώτηση 3: «Τι είναι η βαρύτητα;»

Στο Σχήμα 3 φαίνεται ο τρόπος αξιολόγησης των απαντήσεων στην ανοιχτή ερώτηση: «Τι είναι η βαρύτητα;». Η αξιολόγηση έγινε με κριτήριο κατά πόσο οι απαντήσεις συμφωνούσαν με τις θεωρίες της Σύγχρονης Φυσικής. Ως λανθασμένες θεωρήθηκαν απαντήσεις όπως: «Είναι η δύναμη με την οποία η Γη μας έλκει προς το κέντρο της» ή « Η βαρύτητα είναι κάτι σαν πίεση που ασκεί το ένα σώμα στο άλλο». Δηλαδή, ακόμα και οι

απαντήσεις που ικανοποιούσαν τη Νευτώνεια Μηχανική κατατάχθηκαν ως λανθασμένες. Ως σχεδόν σωστές χαρακτηρίστηκαν απαντήσεις όπως: «Η βαρύτητα μας έλκει στο έδαφος. Χωρίς αυτή θα χανόμασταν στο διάστημα. Υπάρχει βαρύτητα σε όλα τα ουράνια σώματα, στο βυθό της θάλασσας αλλά και στον ουρανό. Αυτό συμβαίνει λόγω του χωροχρόνου» ή «Είναι η λακούβα που δημιουργείται στο ελαστικό σεντόνι που λέμε χωροχρόνο, εξαιτίας κάποιου σώματος». Ως σωστές διακρίθηκαν οι απαντήσεις που περιέγραφαν τη βαρύτητα σαν την καμπύλωση του χωροχρόνου. Ως παράδειγμα παρατίθεται το εξής: «Βαρύτητα είναι η καμπύλωση του χωροχρόνου λόγω της ύπαρξης μαζών».

Στη συγκεκριμένη ερώτηση, πριν την παρέμβαση, το μεγαλύτερο ποσοστό των μαθητών/τριων έδωσε «λανθασμένη» απάντηση, όπου στο Δημοτικό το ποσοστό αυτό άγγιξε το 71.1%, στο Γυμνάσιο το 61.9% και στο Λύκειο το 69.8%. Αντίθετα, οι σωστές απαντήσεις αντιστοιχούσαν σε σχεδόν μηδενικά ποσοστά και στις τρεις σχολικές βαθμίδες. Μετά την παρέμβαση, καταγράφεται κάποια βελτίωση στις θέσεις των μαθητών/τριων, αφού πλέον οι απαντήσεις τους συμπεριλάμβαναν σε μεγαλύτερο βαθμό τη Φυσική του Einstein. Συγκεκριμένα, το 31.3% των μαθητών/τριων του Δημοτικού περιέγραψε τη βαρύτητα με βάση τον Einstein και όσον αφορά το ποσοστό αυτό στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο ήταν 10.3% και 43.1%, αντίστοιχα.



(α)



(β)

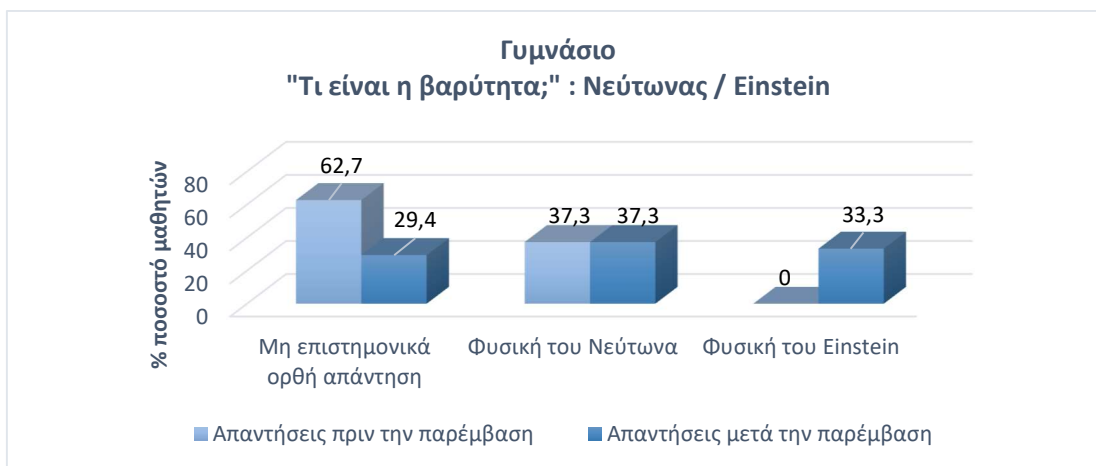
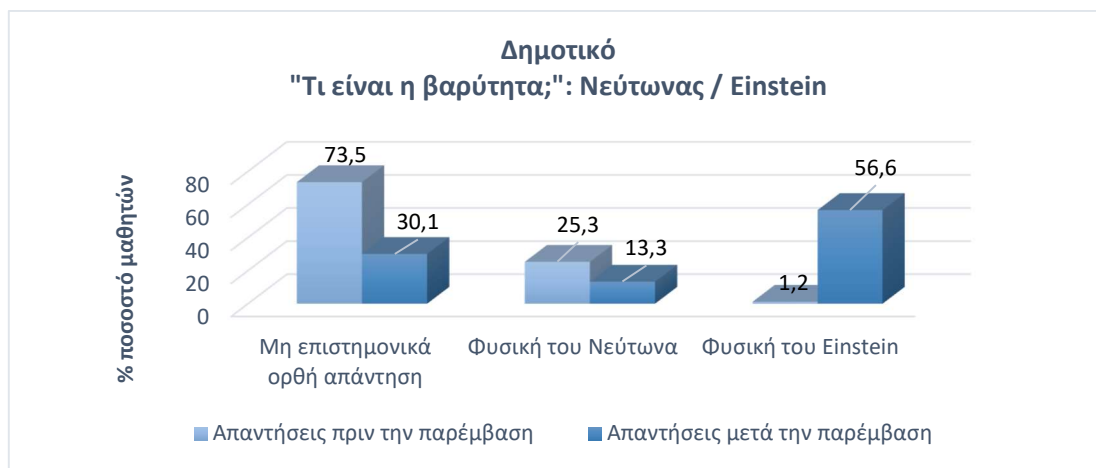


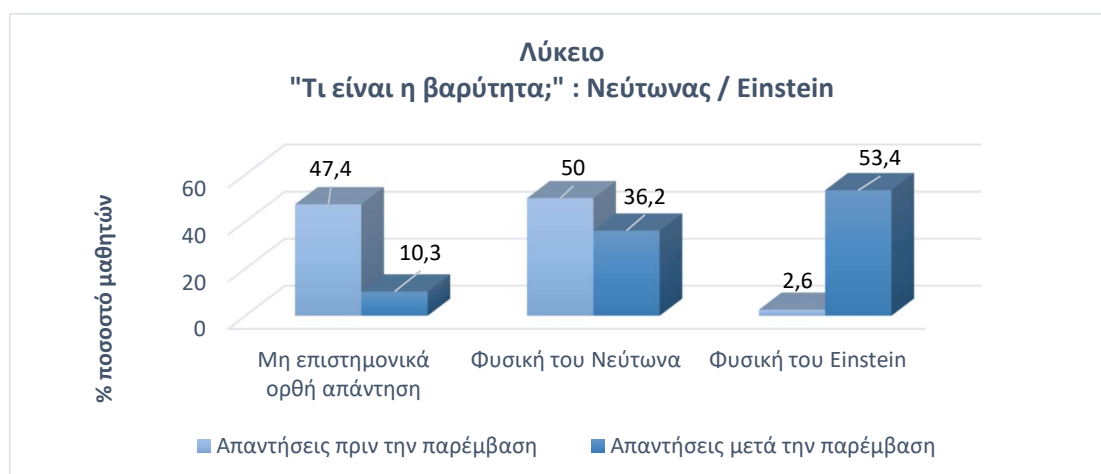
(γ)

Σχήμα 3: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου, (γ) Λυκείου, ως προς την ορθότητα των απαντήσεων στην ερώτηση: "Τι είναι η βαρύτητα;" πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση

Εκτός της παραπάνω κατηγοριοποίησης, οι απαντήσεις στην ερώτηση «Τι είναι η βαρύτητα;» διαχωρίστηκαν και ως προς τη θεωρία της Φυσικής στην οποία υποτάσσονται, δηλαδή τη θεωρία του Νεύτωνα ή του Einstein. Οι απαντήσεις που δεν περιέγραφαν τη βαρύτητα με λέξεις κλειδιά όπως *δύναμη* ή *καμπύλωση του χωροχρόνου* και αδυνατούσαν να καταταχθούν εννοιολογικά στη Κλασική ή Νεότερη Φυσική, χαρακτηρίστηκαν ως «μη επιστημονικά ορθές». Σε αυτήν την κατηγορία συμπεριλήφθηκαν και οι απαντήσεις: «Δεν γνωρίζω/Δεν θυμάμαι». Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 4. Όπως φαίνεται, πριν την παρέμβαση στο Δημοτικό (73.5%) και στο Γυμνάσιο (62.7%) η πλειοψηφία των παιδιών δεν μπορεί να περιγράψει τη βαρύτητα με βάση κάποια επιστημονική θεωρία, ενώ

στο Λύκειο το ποσοστό είναι σχεδόν ισόποσο (50.0%) μεταξύ της Νευτώνειας Μηχανικής και της μη γνώσης της έννοιας της βαρύτητας. Τα αποτελέσματα μετά την παρέμβαση διαφέρουν. Οι μαθητές/τριες του Δημοτικού φαίνεται να κατανόησαν σε μεγάλο βαθμό την έννοια της βαρύτητας στη Σύγχρονη Φυσική, αφού το 56,6% αυτών περιέγραψε, πλέον, τη βαρύτητα με βάση τη θεωρία του Einstein. Αντίθετα, στο Γυμνάσιο το ποσοστό κατανόησης δεν είχε τόσο μεγάλη άνοδο (33.3%), με τους μαθητές/τριες να είναι αρκετά διαμοιρασμένοι στις απόψεις τους. Στο Λύκειο, το 53.4% των παιδιών μετέβαλαν τις απαντήσεις τους με την πλειοψηφία αυτών να είναι παιδιά τα οποία στο πρώτο στάδιο δεν μπορούσαν να περιγράψουν «τι είναι η βαρύτητα». Το 36.2% των μαθητών/τριων Λυκείου επέμεινε στη Φυσική του Νεύτωνα.





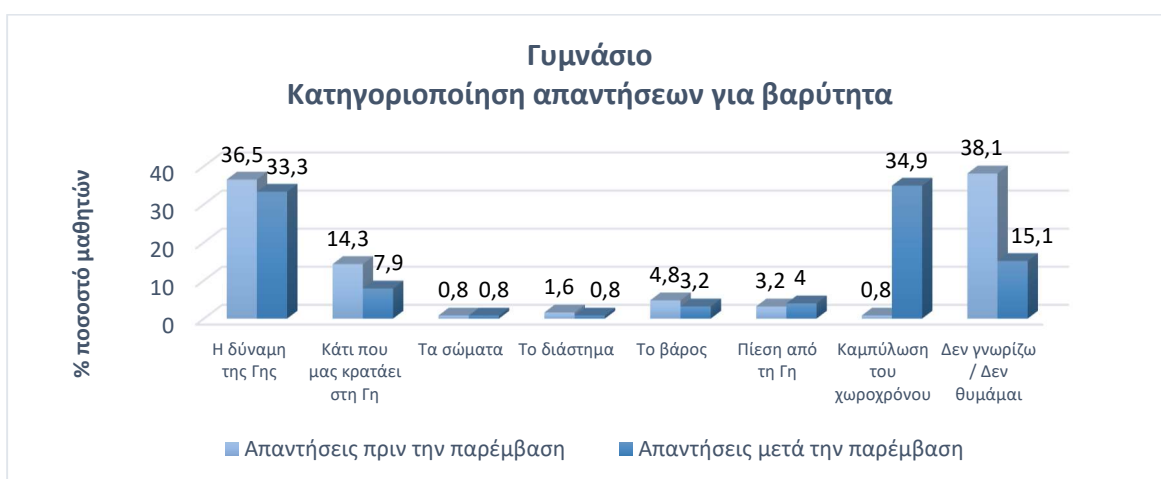
(γ)

Σχήμα 4: Ποσοστιαία κατανομή απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου, (γ) Λυκείου, στην ερώτηση "Τι είναι η βαρύτητα;" πριν και μετά την παρέμβαση, ανάλογα με την επιστημονική (ή μη) θεωρία στην οποία ανήκαν

Περαιτέρω, ερευνητικό ενδιαφέρον αποκτά η κατηγοριοποίηση και η μελέτη των απαντήσεων ως προς το περιεχόμενο της απάντησης. Η παραπάνω ανάλυση έγινε με στόχο να απαντηθεί και το πρώτο ερευνητικό ερώτημα (ΕΕ.1) της παρούσας έρευνας. Ειδικότερα, οι μαθητές/τριες φαίνεται να απάντησαν με παρόμοιο τρόπο τόσο στο Δημοτικό όσο και στο Γυμνάσιο και το Λύκειο, συντελώντας στη δημιουργία κατηγοριών του Σχήματος 5 σχετικά με το τί θεωρούν τα παιδιά πως είναι η βαρύτητα. Χαρακτηριστικό είναι πως οι απαντήσεις πριν την παρέμβαση αφορούν κυρίως την έννοια της δύναμης και τα ποσοστά αυξάνονται όπως και οι σχολικές βαθμίδες. Δηλαδή, την έννοια της δύναμης στο Δημοτικό την κατέγραψε ένα ποσοστό 25.3% των παιδιών, στο Γυμνάσιο το 36.5% και στο Λύκειο το 47.4%. Μετά την παρέμβαση, τα ποσοστά αυξάνονται τόσο στο Δημοτικό (51.8%) όσο και στο Λύκειο (51.7%). Περισσότεροι από τους μισούς μαθητές/τριες φαίνεται να έχουν υιοθετήσει τη Φυσική του Einstein, ενώ τα αποτελέσματα στο Γυμνάσιο εμφανίζουν μια βελτίωση 34.9% ως προς την «σωστή» απάντηση, αλλά πολλοί μαθητές/τριες είναι προφανές πως συγκράτησαν τη θεωρία του Νεύτωνα (33.3%).



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 5: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου, (γ) Λυκείου για την ερώτηση "τι είναι η βαρύτητα;" πριν και μετά την παρέμβαση, ανάλογα με το είδος της απάντησης

Ερώτηση 4: «Τι είναι ο χωροχρόνος;»

Στην ανοιχτή ερώτηση που αφορούσε στον χωροχρόνο, οι απαντήσεις που κρίθηκαν ως λανθασμένες, έδιναν στον χωροχρόνο διάφορες ερμηνείες ανάλογα με τη φαντασία των παιδιών. Ενδεικτικά παραδείγματα αποτελούν τα εξής: «Ο χωροχρόνος είναι το ταξίδι στο παρελθόν» ή «Είναι μία νέα διάσταση που δεν έχει ανακαλυφθεί». Σχεδόν σωστές θεωρήθηκαν οι απαντήσεις οι οποίες δεν περιέγραφαν με επιστημονικούς όρους το χωροχρόνο, αλλά οι μαθητές/τριες τον παρομοίαζαν με το ανάλογο του ελαστικού σεντονιού, με το οποίο είχαν πειραματιστεί. Επί παραδείγματι, δύο διαφορετικοί μαθητές/τριες ανέφεραν ότι: «Είναι το ελαστικό πλέγμα πάνω στο οποίο κινούνται τα σώματα» και «Είναι κάτι σαν ελαστικό σεντόνι που όταν κάποιο σώμα βρεθεί πάνω του, αυτό πάει της τα κάτω». Οι σωστές απαντήσεις έμοιαζαν με τις παρακάτω: «Οι επιστήμονες σκέφτονται το χωροχρόνο ως ένα πλέγμα. Οι πλανήτες δημιουργούν μια μεγάλη λακκούβα στον χωροχρόνο και εκεί βρίσκεται η βαρύτητα. Ο χωροχρόνος έχει 4 διαστάσεις, το ύψος, το μήκος, το πλάτος και τον χρόνο» ή «Χωροχρόνος είναι μια τετραδιάστατη οντότητα που προκύπτει από τη γενική θεωρία της σχετικότητας του Αϊνστάιν όπου ενώνει το χώρο με τον χρόνο σε ένα συνεχές. Δηλαδή, προσθέτει στον ήδη γνωστό σε εμάς Ευκλείδειο χώρο των τριών διαστάσεων, τον χρόνο δημιουργώντας αυτή την τετραδιάστατη οντότητα». Στο Σχήμα 6 παρουσιάζονται τα ποσοστιαία αποτελέσματα αυτής της περιγραφικής ανάλυσης. Πριν την παρέμβαση, η πλειοψηφία των μαθητών/τριων δεν ήταν οικείοι με την έννοια του χωροχρόνου (Δημοτικό: 79.5%, Γυμνάσιο: 72.2%, Λύκειο: 63.8%). Μετά την παρέμβαση οι απαντήσεις βελτιώθηκαν με το 55.4% των μαθητών/τριων του Δημοτικού να απαντάνε σωστά, και αντίστοιχα το 35.7% των μαθητών/τριων του Γυμνασίου και το 66.4% των μαθητών/τριων του Λυκείου.



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 6: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου, (γ) Λυκείου, ως της την ορθότητα των απαντήσεων στην ερώτηση «Τι είναι ο χωροχρόνος;», πριν και μετά την παρέμβαση.

Τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης των απαντήσεων ανάλογα με το είδος της απάντησης των μαθητών/τριων στην ερώτηση 2, παρουσιάζονται στο Σχήμα 7. Στις εν λόγω κατηγορίες, οι απαντήσεις εκείνες που πειρείχαν μια συναφή απάντηση με το γεγονός ότι ο χωροχρόνος είναι η ένωση του χώρου με τον χρόνο, συμπεριλήφθηκαν σε μία κατηγορία. Είναι ολοφάνερη, δε, η καταγραφή επιστημονικά ορθών απαντήσεων μετά την παρέμβαση, με το ποσοστό των μαθητών/τριων που απάντησαν ορθά στο Δημοτικό να είναι συνολικά 73.5%, στο Γυμνάσιο 53.2% και στο Λύκειο 73.3%.



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 7: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου, (γ) Λυκείου για την ερώτηση «Τι είναι ο χωροχρόνος;», πριν και μετά την παρέμβαση, ανάλογα με το είδος της απάντησης

Ερώτηση 5: «Τι είναι το φως;»

Στην ανοιχτή ερώτηση που αφορούσε στη φύση του φωτός σύμφωνα με την Κβαντική Φυσική, οι απαντήσεις των μαθητών/τριων υπέδειξαν συγκεκριμένο τρόπο σκέψης της πλειοψηφίας των μαθητών/τριων. Οι απαντήσεις αξιολογήθηκαν ως προς την ορθότητά τους και παρουσιάζονται στο Σχήμα 8. Παραδείγματα λανθασμένων απαντήσεων ήταν τα εξής: «Το φως είναι μια πηγή ενέργειας που αποτελείται από φωτεινότητα και θερμότητα», «Το φως είναι μια δύναμη που μας βοηθάει να βλέπουμε στο σκοτάδι», «Το φως είναι αυτό που φωτίζει κάθε μέρα, για παράδειγμα ο Ήλιος» κ.α. Ως σχεδόν σωστές θεωρήθηκαν ορισμένες απαντήσεις που ανέφεραν μόνο τη μία εκ των φύσεων του φωτός όπως: «Το φως είναι η ακτινοβολία που μεταφέρεται σαν κύματα» ή «Το φως φεύγει από τις φωτεινές πηγές και ταξιδεύει σαν κύμα». Οι σωστές απαντήσεις εμπεριείχαν τις λέξεις κλειδιά «κυματοσωματίδιο» ή/και «φωτόνια». Κάποιες από τις απαντήσεις ήταν οι εξής: «Είναι κυματοσωματίδιο. Δηλαδή, τα φωτόνια συμπεριφέρονται είτε σαν κύμα είτε σαν σωματίδιο», «Το φως είναι κυματοδοματίδιο και αλληλεπιδρά με την ύλη», «Είναι σωματίδια που συμπεριφέρονται και σαν κύματα όποτε θέλουν και προέρχονται από μία πηγή» κ.α. Από το Σχήμα 8, λοιπόν, παρατηρείται ότι πριν την παρέμβαση στο Δημοτικό τα παιδιά προσπάθησαν να εξηγήσουν το φως αλλά το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών (73.5%) δεν είχε επιστημονικά ορθή άποψη. Στο Γυμνάσιο το 48.4% δεν γνώριζε τι είναι το φως και το 45.2% έδωσε λάθος απαντήσεις, ενώ στο Λύκειο τα αντίστοιχα ποσοστά ήταν 42.2% και 46.6%. Μετά τη διδακτική παρέμβαση, στο Δημοτικό το 32.5% των μαθητών/τριων απάντησε ολόσωστα στην ερώτηση για τη φύση του φωτός, στο Γυμνάσιο ποσοστό 38.1% των μαθητών/τριων και στο Λύκειο το ποσοστό άγγιξε το 69%.



(α)



(β)



Σχήμα 8: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου, (γ) Λυκείου, ως της την ορθότητα των απαντήσεων στην ερώτηση «Τι είναι το φως;» πριν και μετά την παρέμβαση.

Επιπλέον, οι απαντήσεις στην παραπάνω ερώτηση ταξινομήθηκαν σε κατηγορίες ως προς το νόημα των απαντήσεων, αφού οι μαθητές/τριες φάνηκε να έχουν κοινές τοποθετήσεις. Πιο συγκεκριμένα, στο Σχήμα 9 παρουσιάζονται τα ποσοστά των μαθητών/τριων ανάλογα με το είδος της απάντησης που έδωσαν. Οι μαθητές/τριες Δημοτικού πριν την παρέμβαση θεωρούσαν σε ποσοστό 39.8% ότι το φως είναι μια φωτεινή ενέργεια ή ανέφεραν κάποιο παράδειγμα φωτεινής πηγής, π.χ. ήλιος, λάμπα κ.α., σε ποσοστό 20.8%. Το 20.5% αυτών δεν γνώριζε ή/και αδυνατούσε να περιγράψει το φως σαν έννοια. Αναφορικά με τους μαθητές/τριες Γυμνασίου φάνηκε ότι πριν τη διδασκαλία το 50.8% των παιδιών δεν γνώριζε ή/και δεν μπορούσε να περιγράψει το φως, ενώ το 15.9% θεωρούσε πως είναι φωτεινή ενέργεια και το 12.7% κατέγραψε πως το φως είναι η εκάστοτε πηγή του. Τα αντίστοιχα ποσοστά των μαθητών/τριων Λυκείου πριν την παρέμβαση ήταν

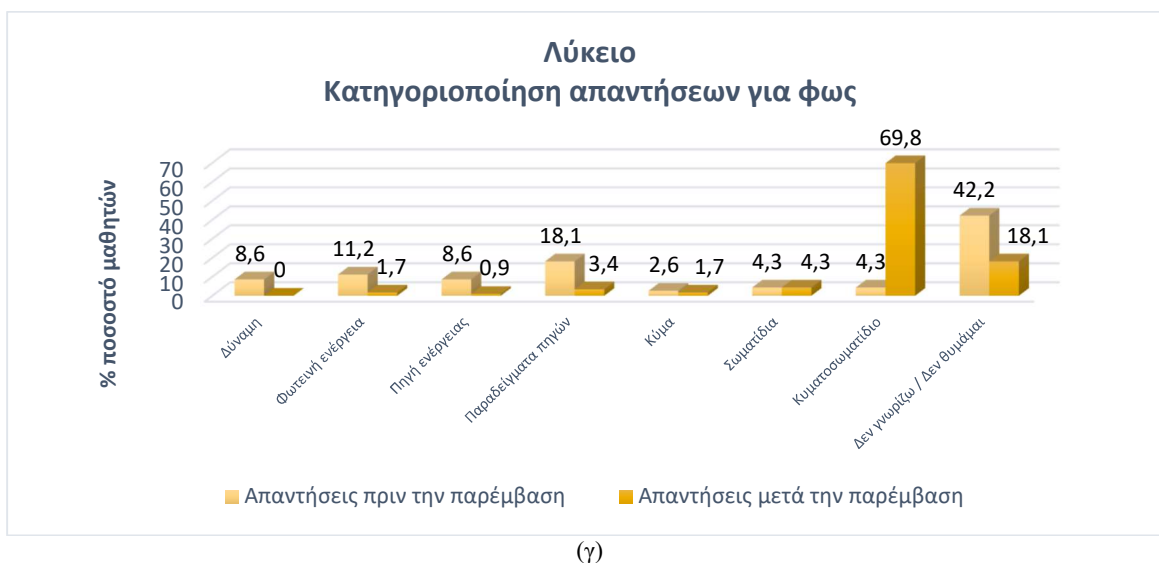
42.2% , 11.2% και 18.1%, αντίστοιχα. Μετά την παρέμβαση, οι μαθητές/τριες Δημοτικού θυμόνταν την ορθή έννοια του κυματοσωματιδίου για τη φύση του φωτός σε ποσοστό 36.1%, ενώ το δεύτερο μεγαλύτερο ποσοστό (19.3%) παρέμεινε στην άποψη περί φωτεινής ενέργειας. Στο Γυμνάσιο, μετά την παρέμβαση, το 39.7% απάντησε σωστά αναφέροντας τον κυματοσωματιδιακό δυισμό, ενώ το 19.8% φαίνεται να μην συγκράτησε τις έννοιες που διδάχθηκε. Στο Λύκειο, τα αντίστοιχα ποσοστά ήταν 69.8% και 18.1%. Χαρακτηριστικό είναι ότι ένα, έστω μικρό, ποσοστό των μαθητών/τριων ανέφερε τουλάχιστον μία από τις δύο φύσεις του φωτός, τόσο πριν όσο και μετά την παρέμβαση.



(α)



(β)

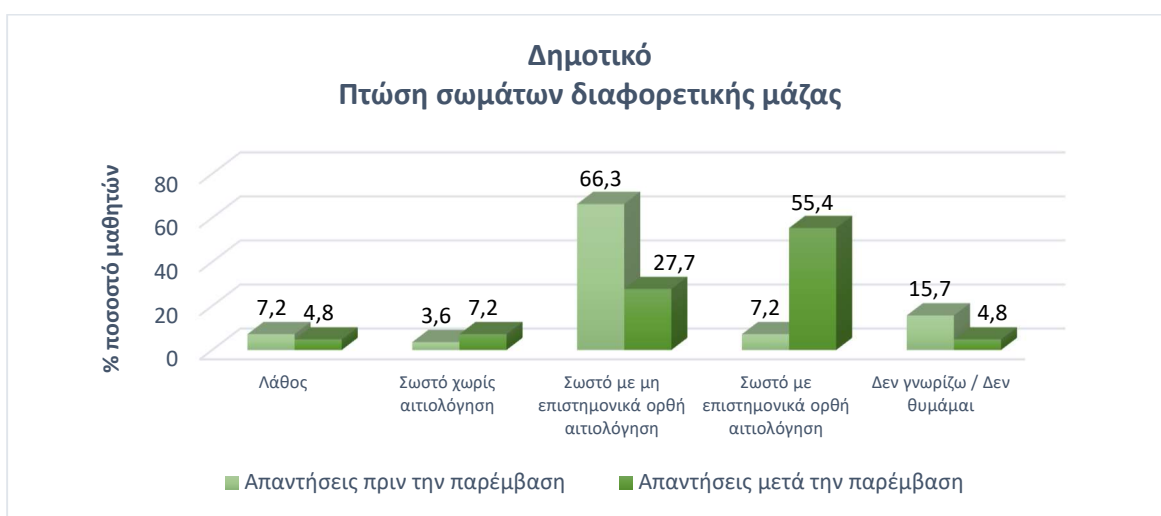


Σχήμα 9: Η ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου, (γ) Λυκείου για την ερώτηση «τι είναι το φως;» πριν και μετά την παρέμβαση, ανάλογα με το είδος της απάντησης

Ερώτηση 6: «Αν ρίξουμε ταυτόχρονα ένα σφυρί και ένα φτερό, ποιο θα φτάσει πρώτο στο έδαφος; Μπορείς να αιτιολογήσεις την απάντησή σου;»

Στην ερώτηση αυτή, δόθηκε προφορική κατευθυντήρια οδηγία στους μαθητές/τριες, να θεωρήσουν ότι το πείραμα γίνεται και στη Γη και στη Σελήνη. Ο τρόπος διεξαγωγής του πειράματος δεν συμπεριλήφθηκε στη γραπτή ερώτηση έτσι ώστε να μην περιοριστεί ο τρόπος σκέψης των μαθητών/τριων και να αιτιολογήσουν τις απαντήσεις τους ελεύθερα. Η κατηγοριοποίηση των απαντήσεων ήταν η εξής: «Λάθος», «Σωστό χωρίς αιτιολόγηση», «Σωστό με μη επιστημονικά ορθή αιτιολόγηση», «Σωστό με επιστημονικά ορθή αιτιολόγηση» και «Δεν γνωρίζω / Δεν θυμάμαι». Στις λάθος απαντήσεις εμπίπτουν εκείνες που δήλωναν ότι πρώτο πέφτει το φτερό. Σωστές χωρίς αιτιολόγηση ήταν εκείνες που ανέφεραν ότι η πτώση των δύο σωμάτων θα γίνει ταυτόχρονα. Επιπλέον, από τη μία, σωστές με μη επιστημονικά ορθή αιτιολόγηση ήταν απαντήσεις όπως: «Το σφυρί γιατί είναι βαρύτερο στη Γη», «Το σφυρί γιατί είναι πιο βαρύ και θα το τραβήξει πιο γρήγορα η βαρύτητα της Γης» ή «Αν κάνουμε το πείραμα τώρα στην τάξη θα πέσει το σφυρί γιατί το πούπουλο είναι πολύ πιο ελαφρύ». Από την άλλη, παραδείγματα απαντήσεων στην κατηγορία «σωστές με επιστημονικά ορθή αιτιολόγηση» ήταν τα εξής: «Αν υπάρχει κενό αέρος και τα δύο θα φτάσουν την ίδια στιγμή στο έδαφος γιατί δεν θα υπάρχουν τριβές του αέρα. Αν υπάρχει αέρας, πρώτα θα φτάσει το σφυρί γιατί η αντίσταση του αέρα εμποδίζει το φτερό (πιο ελαφρύ σώμα) για περισσότερο ώρα», «Εξαρτάται από το πού βρισκόμαστε. Αν είμαστε στη Γη, η αντίσταση του αέρα θα κάνει το σφυρί να πέσει πρώτο. Αν είμαστε στη Σελήνη, θα φτάσουν στο έδαφος ταυτόχρονα λόγω της έλλειψης του αέρα», «Εξαρτάται

αν δουλεύουμε σε χώρο με κενό αέρος ή όχι. Αν δουλεύουμε στο κενό θα φτάσουν στον ίδιο χρόνο καθώς επηρεάζεται μόνο από την επιτάχυνση της βαρύτητας. Σε ένα φυσιολογικό περιβάλλον, όπως η επιφάνεια της Γης θα φτάσει πρώτο το σώμα με τη μεγαλύτερη μάζα». Οι συγκρίσεις που παρουσιάζονται στο Σχήμα 10 επιδεικνύουν ότι πριν την παρέμβαση το 66.3% των μαθητών/τριων Δημοτικού απάντησε σωστά, χωρίς, όμως, να αιτιολογήσει με ορθότητα την απάντησή του, ενώ μετά την παρέμβαση το 55.4% ήταν σε θέση να απαντήσει σωστά, αιτιολογώντας κάθε συνθήκη. Στο Γυμνάσιο, τα αντίστοιχα ποσοστά ήταν πριν την παρέμβαση 50.0% και μετά 50.8%. Τέλος, στο Λύκειο αρχικά το 44.8% δεν αιτιολόγησε σωστά την απάντησή του αλλά στο post – test το 87.9% κατανόησε το νοητικό πείραμα.



(α)



(β)



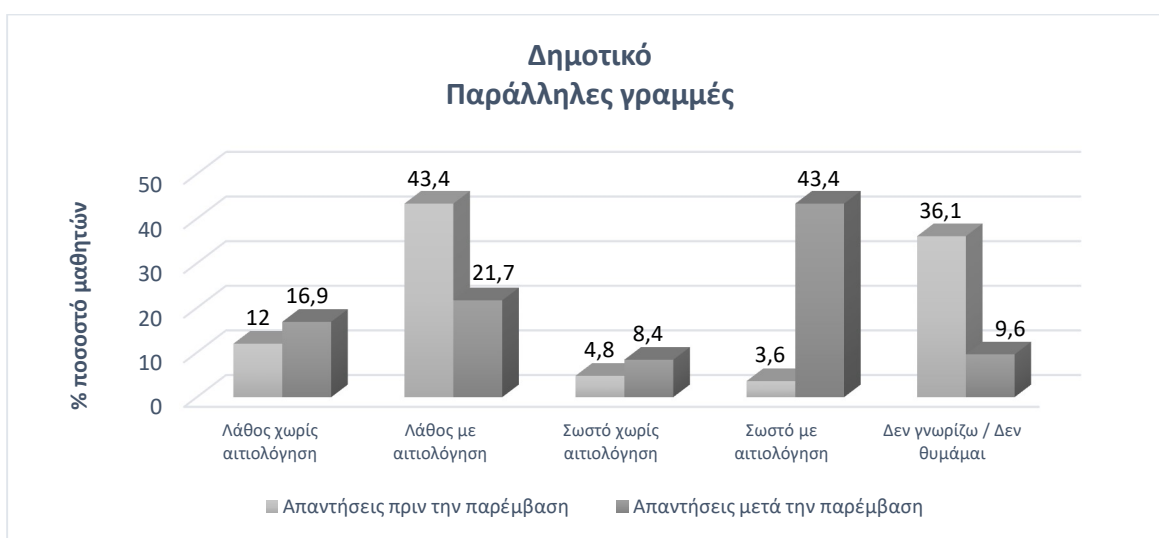
(γ)

Σχήμα 10: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου, (γ) Λυκείου για την ερώτηση «Αν ρίξουμε ταυτόχρονα ένα σφυρί και ένα φτερό, ποιο θα φτάσει πρώτο στο έδαφος; Μπορείς να αιτιολογήσεις την απάντησή σου;», πριν και μετά την παρέμβαση, ανάλογα με την ορθότητα των απαντήσεων

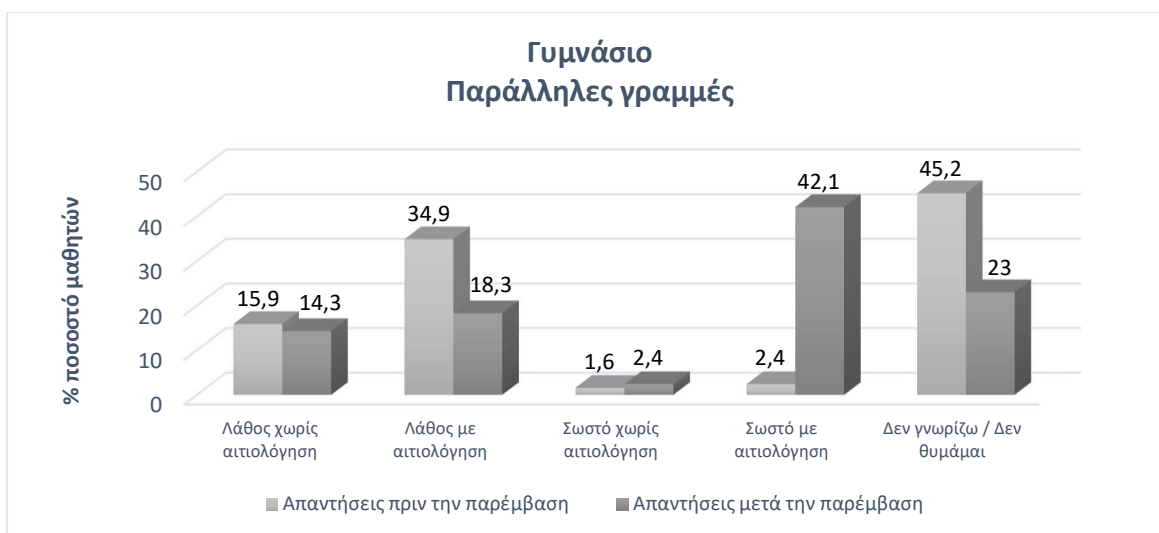
Ερώτηση 7: «Οι παράλληλες γραμμές μπορούν να συναντηθούν; Μπορείς να αιτιολογήσεις την απάντησή σου;»

Αποτελεί την τελευταία ερώτηση ανοιχτού τύπου στην οποία κλήθηκαν να απαντήσουν οι μαθητές/τριες. Η κατηγοριοποίηση των απαντήσεων έγινε ως εξής: «Λάθος χωρίς αιτιολόγηση», «Λάθος με αιτιολόγηση», «Σωστό χωρίς αιτιολόγηση», «Σωστό με αιτιολόγηση» και «Δεν γνωρίζω / Δεν θυμάμαι». Ως «λάθος χωρίς αιτιολόγηση» θεωρήθηκαν οι απαντήσεις που ανέφεραν, απλώς, ότι οι παράλληλες γραμμές δεν θα συναντηθούν ποτέ. Λάθος αλλά με αιτιολόγηση ήταν απαντήσεις σαν τις ακόλουθες: «Πιστεύω πως όχι γιατί ισχύει ότι όσο συνεχίζουν δεν θα βρεθούν ποτέ», «Όχι γιατί από τα μαθηματικά ο ορισμός τους λέει ότι όσο κι αν τις μεγαλώσουμε δεν θα βρεθούν σε κανένα σημείο» κ.α. Ως «σωστές χωρίς αιτιολόγηση» χαρακτηρίστηκαν οι απαντήσεις που υποστήριζαν ότι οι παράλληλες γραμμές μπορεί και να συναντηθούν κάποια στιγμή. Τέλος, «σωστές με αιτιολόγηση» ήταν οι απαντήσεις σαν τις παρακάτω: «Στον Ευκλείδειο χώρο δεν μπορούν να συναντηθούν γιατί δεν υπάρχουν καμπυλώσεις. Στο χωροχρόνο υπάρχει περίπτωση να συναντηθούν γιατί εκεί δημιουργούνται καμπυλώσεις», «Οι παράλληλες γραμμές δεν μπορούν να συναντηθούν σε ένα επίπεδο. Ενώ αν οι παράλληλες γραμμές είναι στο χωροχρόνο υπάρχει πιθανότητα να συναντηθούν λόγω της καμπυλότητας που δημιουργείται κάποιες φορές.», «Εξαρτάται αν μιλάμε για το χωροχρόνο ή ένα μέρος πάνω στη Γη. Στη Γη δεν θα συναντηθούν με βάση τα μαθηματικά που ξέρουμε. Στο χωροχρόνο υπάρχει περίπτωση να συναντηθούν γιατί εμφανίζονται λαγκούβες.» κ.α. Από το Σχήμα 11,

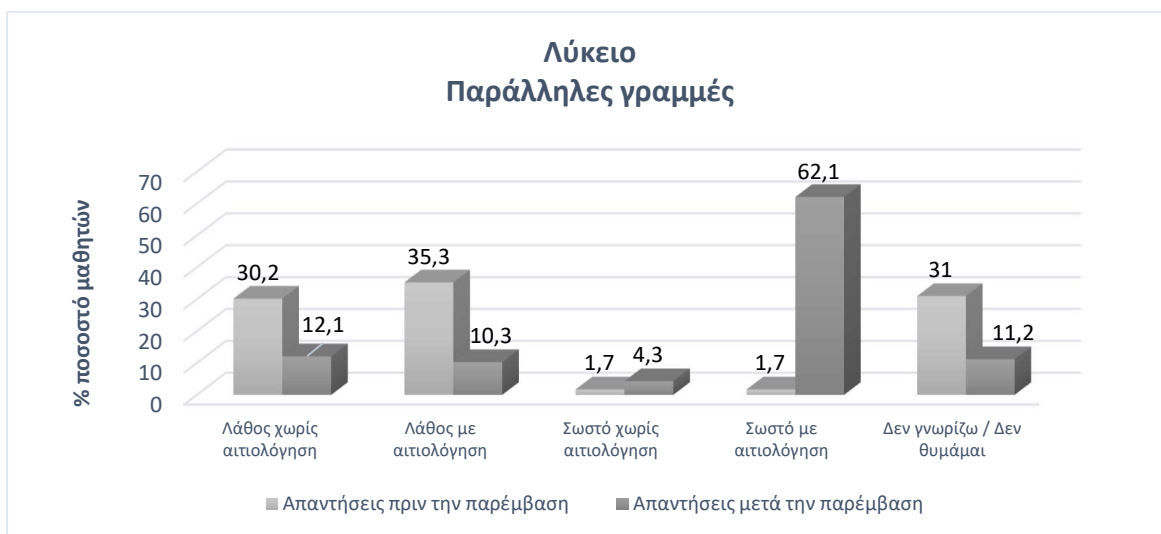
λοιπόν, προκύπτει ότι πριν την παρέμβαση, η πλειοψηφία των μαθητών/τριων του Δημοτικού (43.4%) δεν απάντησε σωστά αλλά εξήγησε την κάθε απάντηση που δόθηκε, το μεγαλύτερο ποσοστό των μαθητών/τριων του Γυμνασίου (45.2%) δεν γνώριζε την απάντηση και το 35.3% των μαθητών/τριων του Λυκείου απάντησε λανθασμένα αιτιολογώντας την απάντησή του. Μετά την παρέμβαση, τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά. Οι σωστές απαντήσεις που συνοδεύονταν με αιτιολόγηση αντιστοιχούσαν σε ποσοστά 43.4% στο Δημοτικό, 42.1% στο Γυμνάσιο και 62.1% στο Λύκειο.



(α)



(β)



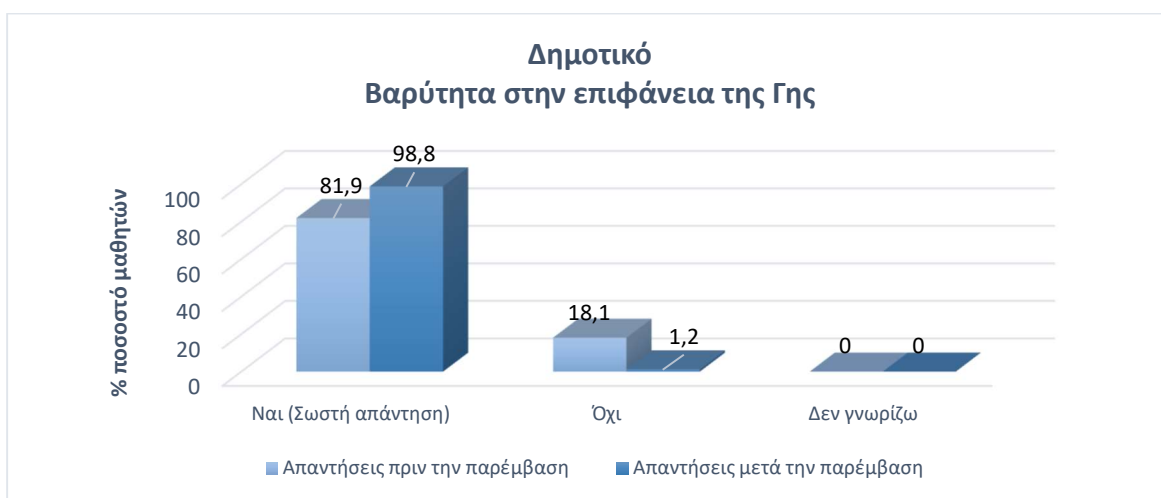
(γ)

Σχήμα 11: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου, (γ) Λυκείου για την ερώτηση «Οι παράλληλες γραμμές μπορούν να συναντηθούν; Μπορείς να αιτιολογήσεις την απάντησή σου;», πριν και μετά την παρέμβαση, ανάλογα με την ορθότητα των απαντήσεων

Εν συνεχεία, ακολουθούν οι απαντήσεις που αποτέλεσαν την τρίτη ενότητα του ερωτηματολογίου και σχετίζονται με ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής.

Ερώτηση 8: «Πιστεύεις ότι υπάρχει βαρύτητα όταν στέκεσαι πάνω στη Γη;»

Όπως διαφαίνεται από τα ιστογράμματα του Σχήματος 12, πριν την παρέμβαση η πλειοψηφία των μαθητών/τριων γνώριζε την σωστή απάντηση στην ερώτηση 8, αλλά ακόμα και με αυτά τα δεδομένα, υπήρξε μια βελτίωση σε όλες τις σχολικές βαθμίδες. Πιο συγκεκριμένα, τα παιδιά του Δημοτικού απάντησαν σωστά σε ποσοστό 81.9% πριν τη διδασκαλία και σε ποσοστό 98.8% μετά από αυτήν. Αντίστοιχα, οι μαθητές/τριες του Γυμνασίου επέλεξαν τη σωστή απάντηση σε ποσοστά 88.1% και 99.2% πριν και μετά την παρέμβαση. Τέλος, στο Λύκειο τα ποσοστά αυτά άγγιξαν το 87.1% και 98.3%, αντίστοιχα.



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 12: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου και (γ) Λυκείου στην ερώτηση 8: «Πιστεύεις ότι υπάρχει βαρύτητα όταν στέκεσαι πάνω στη Γη;»

Ερώτηση 9: «Αν κάποιος πέσει από ένα αεροπλάνο, υπάρχει βαρύτητα;»

Οι απαντήσεις βασίστηκαν στις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών/τριων και τα αποτελέσματα επιλογής της κάθε μίας εκ των τεσσάρων επιλογών φαίνονται στο Σχήμα 13. Από τα γραφήματα προκύπτει ότι στο Δημοτικό, πριν την παρέμβαση το μεγαλύτερο ποσοστό μαθητών/τριων (32.5%) θεωρούσε ότι υπάρχει βαρύτητα αλλά πολύ λιγότερη από ότι στο έδαφος, ενώ μετά την παρέμβαση το 54.2% των μαθητών/τριων επέλεξε τη σωστή απάντηση, δηλαδή ότι η βαρύτητα είναι περίπου ίση με το έδαφος. Επίσης, στο Γυμνάσιο πριν την παρέμβαση το μεγαλύτερο ποσοστό (34.9%) των μαθητών/τριων επέλεξε την ίδια απάντηση με τους μαθητές/τριες του Δημοτικού, όμως μετά την παρέμβαση το 41.3% στράφηκε προς τη σωστή απάντηση. Αρνητικό αποτελεί το γεγονός ότι ένα ποσοστό 42.3% μαθητών/τριων Γυμνασίου επέλεξε και πάλι την απάντηση «πολύ λιγότερη βαρύτητα στον αέρα». Στην τελευταία σχολική βαθμίδα, του Λυκείου, οι μαθητές/τριες αρχικά

εμφανίστηκαν διαμοιρασμένοι ως προς το αν η βαρύτητα είναι λιγότερη ή περισσότερη σε σχέση με το έδαφος (ποσοστό 31.9% και στις δύο περιπτώσεις). Μετά την παρέμβαση πάνω από τους μισούς μαθητές/τριες που συμμετείχαν στην έρευνα (53.4%) απάντησε σωστά.



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 13: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου και (γ) Λυκείου στην ερώτηση 9: «Αν κάποιος πέσει από ένα αεροπλάνο, υπάρχει βαρύτητα;»

Ερώτηση 10: «Αν κάποιος στέκεται στο φεγγάρι, υπάρχει βαρύτητα;»

Στην υπό εξέταση ερώτηση, οι μαθητές/τριες κλήθηκαν να απαντήσουν σχετικά με τη βαρύτητα στη Σελήνη. Κοινή άποψη αποτελεί το γεγονός ότι οι μαθητές/τριες θεωρούν πως η βαρύτητα σχετίζεται μόνο με τον πλανήτη Γη. Η άποψη αυτή επιβεβαιώθηκε εν μέρει από τους μαθητές/τριες του Δημοτικού και του Γυμνασίου, οι οποίοι πριν τη διδακτική παρέμβαση επέλεξαν την απάντηση «όχι δεν υπάρχει βαρύτητα» σε ποσοστά 59.0% και 47.6%, αντίστοιχα. Οι μαθητές/τριες Λυκείου αρχικά σε ποσοστό 47.4% επέλεξαν τη σωστή απάντηση ύπαρξης λιγότερης βαρύτητας και το 44% επέλεξε ότι δεν υπάρχει βαρύτητα. Μετά το πέρας της διδασκαλίας, 68.7% των μαθητών/τριων Δημοτικού, 82.5% των μαθητών/τριων Γυμνασίου και 91.4% των μαθητών/τριων Λυκείου φάνηκε να κατανόησε τη βαρύτητα και σε άλλους πλανήτες επιλέγοντας, πλέον, τη σωστή απάντηση.



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 14: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου και (γ) Λυκείου στην ερώτηση 10: «Αν κάποιος στέκεται στο φεγγάρι, υπάρχει βαρύτητα;»

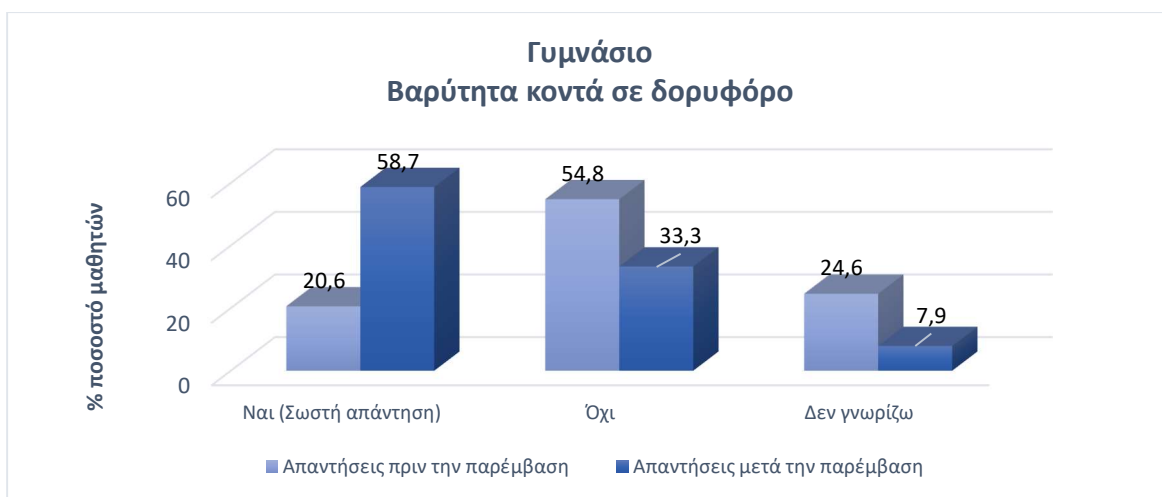
Ερώτηση 11: «Υπάρχει ένας δορυφόρος ο οποίος κινείται γύρω από τη Γη. Υπάρχει καθόλου βαρύτητα εκεί πάνω που βρίσκεται ο αστροναύτης;»

Ως βοήθεια στους μαθητές/τριες, τόσο η συγκεκριμένη όσο και οι προηγούμενες τρεις ερωτήσεις συνοδεύονταν από εικόνες (βλ. Παράρτημα Β). Επισημαίνεται ότι τα αποτελέσματα από τις απαντήσεις δεν είναι τόσο ενθαρρυντικά όσο αναμενόταν, τροφοδοτώντας σκέψεις περαιτέρω έρευνας. Παρατηρείται ότι το ποσοστό των μαθητών/τριων που ξεπέρασαν την εναλλακτική ιδέα ότι «στο διάστημα δεν υπάρχει βαρύτητα» δεν ήταν τόσο υψηλό όπως σε άλλες ερωτήσεις του ερωτηματολογίου. Ειδικότερα, πριν την παρέμβαση στο Δημοτικό, το 50.6% των παιδιών δήλωσε ότι δεν θα υπάρχει βαρύτητα στο διάστημα, στο Γυμνάσιο το ποσοστό διαμορφώνεται στο 54.8% ενώ

στο Λύκειο στο 54.3%. Μετά την παρέμβαση, τη σωστή απάντηση την επέλεξε 39.8% των μαθητών/τριων Δημοτικού (το μεγαλύτερο ποσοστό 49.4% επέμεινε στην απάντηση «όχι»), 58.7% των μαθητών/τριων Γυμνασίου και 55.2% των μαθητών/τριων Λυκείου.



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 15: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου και (γ) Λυκείου στην ερώτηση 11: «Υπάρχει ένας δορυφόρος ο οποίος κινείται γύρω από τη Γη. Υπάρχει καθόλου βαρύτητα εκεί πάνω που βρίσκεται ο αστροναύτης;»

Ερώτηση 12: «Υπάρχει βαρύτητα όταν ένας άνθρωπος κολυμπάει κάτω από νερό;»

Όπως αναπαριστάται στο Σχήμα 16, το μεγαλύτερο ποσοστό των μαθητών/τριων Δημοτικού (38.6%) θεωρούσε, αρχικά, ότι η βαρύτητα εξαρτάται από την κατακόρυφη κίνηση του κολυμβητή. Στο Γυμνάσιο, 42.1% των παιδιών είχε επιλέξει εξ αρχής τη σωστή απάντηση αλλά και εκεί το 34.9% έκρινε πως η βαρύτητα εξαρτάται από την κίνηση του κολυμβητή. Στο Λύκειο, περίπου οι μισοί μαθητές/τριες (46.6%) γνώριζε τη σωστή απάντηση. Τα αποτελέσματα της διδασκαλίας, όμως, αποδεικνύουν ότι οι μαθητές/τριες κατανόησαν σε μεγάλο βαθμό τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η βαρύτητα, επιλέγοντας τη σωστή απάντηση σε ποσοστό 71.1% των μαθητών/τριων Δημοτικού, 84.9% μαθητών/τριων Γυμνασίου και 76.7% μαθητών/τριων Λυκείου.



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 16: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου και (γ) Λυκείου στην ερώτηση 12: «Υπάρχει βαρύτητα όταν ένας άνθρωπος κολυμπάει κάτω από το νερό;»

Ερώτηση 13: «Τι είναι ο χωροχρόνος;»

Εκτός της ίδιας ερώτησης ανοιχτού τύπου, την οποία συμπλήρωσαν σε προγενέστερο στάδιο τα παιδιά, συμπεριλήφθηκε στο ερωτηματολόγιο και αυτή η ερώτηση κλειστού τύπου για τον προσδιορισμό του χωροχρόνου. Από αυτήν προκύπτει ότι στο Δημοτικό, αρχικά, ποσοστό 66.3% δεν γνώριζε την έννοια του χωροχρόνου, με σημαντική βελτίωση μετά τη διδασκαλία αφού πλέον 72.3% των μαθητών/τριων κύκλωσε τη σωστή απάντηση. Επίσης, οι μαθητές/τριες του Γυμνασίου σε ποσοστό 46.0% και οι μαθητές/τριες Λυκείου σε ποσοστό 44% δεν γνώριζαν την απάντηση, αλλά μετά το μάθημα το 77.0% και το 80.2% αντίστοιχα, ήταν σε θέση να απαντήσει ορθά.



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 17: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου και (γ) Λυκείου στην ερώτηση 13: «Τι είναι ο χωροχρόνος;»

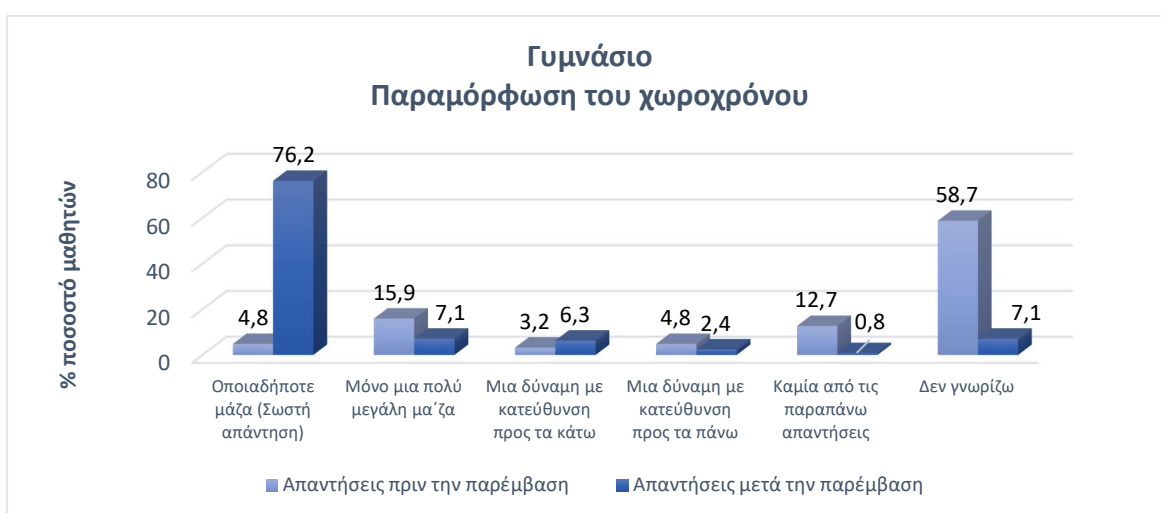
Αναφορικά, σε παρόμοια έρευνα των Postiglione & Angelis (2021) παρουσιάστηκε ότι οι μαθητές Λυκείου της Ιταλίας γνώριζαν σε ποσοστό 46% τι είναι ο χωροχρόνος πριν την παρέμβαση, με το ποσοστό αυτό να αυξάνεται σε 91% μετά από αυτήν. Εμφανώς, τα ποσοστά διαφέρουν σημαντικά από τα δεδομένα που προέκυψαν στην παρούσα έρευνα.

Ερώτηση 14: «Τι πιστεύεις ότι μπορεί να παραμορφώσει τον χωροχρόνο;»

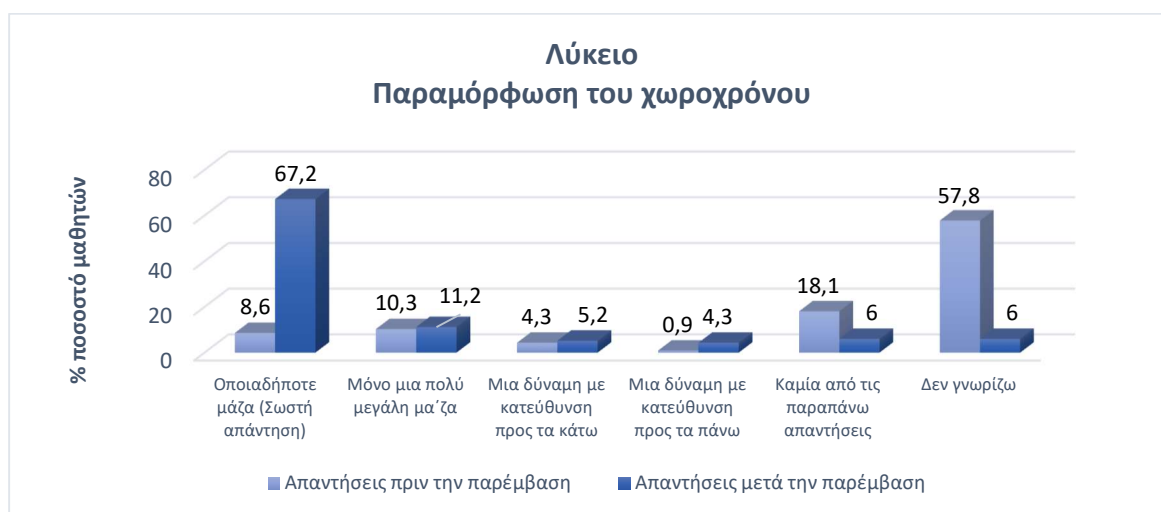
Πριν την παρέμβαση, το 71.1% μαθητών/τριων Δημοτικού δεν γνώριζε την απάντηση αλλά μετά την παρέμβαση το 63.9% θυμόταν ότι η σωστή απάντηση είναι «οποιαδήποτε μάζα». Στο Γυμνάσιο, το 58.7% δεν γνώριζε την απάντηση πριν την παρέμβαση αλλά μετά το 76.2% των μαθητών/τριων επέλεξε τη σωστή πρόταση. Τέλος, στο Λύκειο τα αντίστοιχα ποσοστά ήταν 57.8% και 67.2% πριν και μετά την παρέμβαση.



(α)



(β)



(γ)

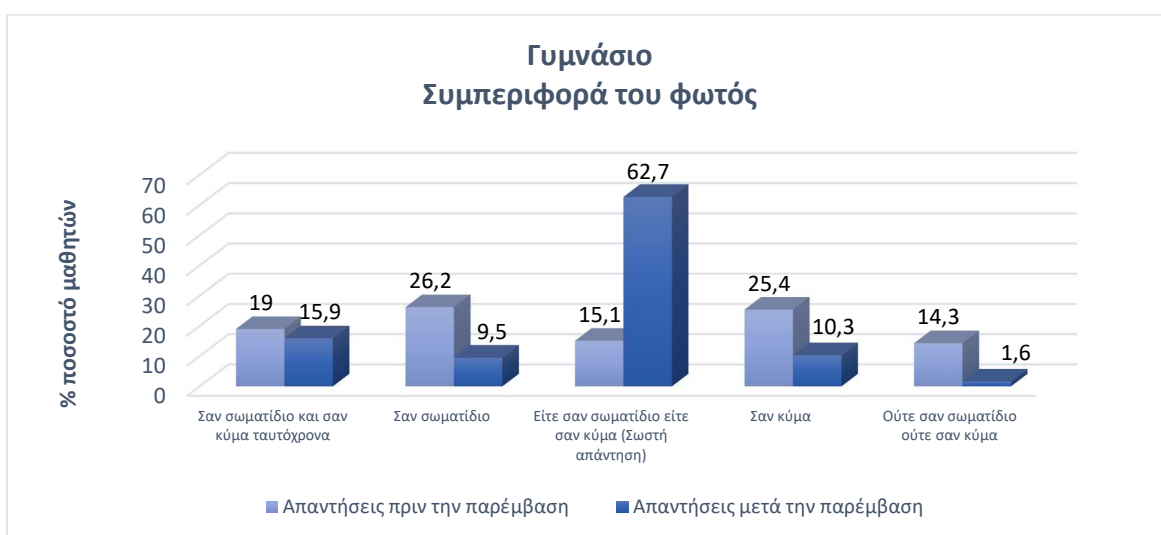
Σχήμα 18: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου και (γ) Λυκείου στην ερώτηση 14: «Τι πιστεύεις ότι μπορεί να καμπυλώσει τον χωροχρόνο;»

Συγκριτικά με την έρευνα των Postiglione & Angelis (2021), οι μαθητές Λυκείου της Ιταλίας απάντησαν αρχικά ότι δεν γνωρίζουν τί μπορεί να παραμορφώσει το χωροχρόνο σε ποσοστό 58%, ενώ μετά την παρέμβαση το 60% των παιδιών επισήμανε τη σωστή απάντηση. Οι τιμές αυτές φαίνεται να μην παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση από τα ποσοστά που προέκυψαν στο Σχήμα 18 (γ).

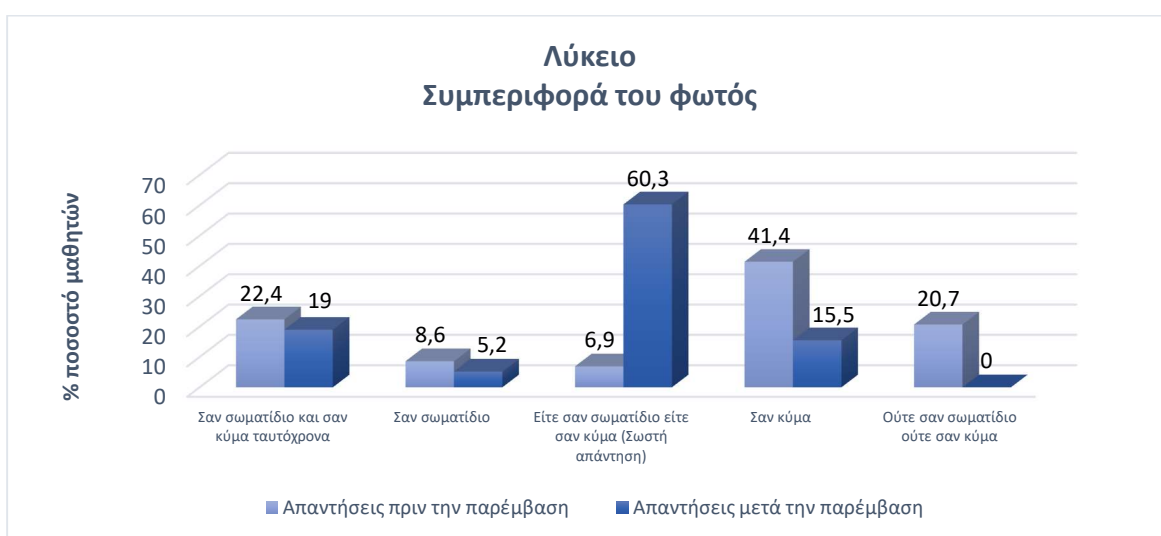
Η τέταρτη ενότητα του ερωτηματολογίου αφορούσε ερωτήσεις σχετικές με το φως και το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Στην ερώτηση 15: «Ποια από τις ακόλουθες προτάσεις εξηγεί καλύτερα τη συμπεριφορά του φωτός σε ένα πείραμα;» πριν την παρέμβαση οι απαντήσεις των μαθητών/τριων ήταν αρκετά διαχωρισμένες. Το μεγαλύτερο ποσοστό (30.1%) στο Δημοτικό επέλεξε ότι το φως συμπεριφέρεται σαν κύμα, στο Γυμνάσιο το 26.2% επέλεξε «σαν σωματίδιο» και στο Λύκειο το 41.4% «σαν κύμα». Μετά τη διδασκαλία σε όλες τις βαθμίδες οι περισσότεροι μαθητές/τριες επέλεξαν τη σωστή απάντηση (Δημοτικό: 39.8% , Γυμνάσιο: 62.7% , Λύκειο: 60.3%), δηλαδή ότι το φως συμπεριφέρεται είτε σαν σωματίδιο είτε σαν κύμα.



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 19: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου και (γ) Λυκείου στην ερώτηση 15: «Ποια από τις ακόλουθες προτάσεις εξηγεί καλύτερα τη συμπεριφορά του φωτός σε ένα πείραμα;»

Οι επόμενες τρεις ερωτήσεις του ερωτηματολογίου (16-17-18) συνδέονται μεταξύ τους, αποσκοπώντας στην εξαγωγή πληρέστερων συμπερασμάτων σχετικά με την κατανόηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου από τους μαθητές/τριες. Εντοπίζεται, δε, η αυτοπεποίθηση που νιώθουν τα παιδιά σχετικά με την επιλογή των απαντήσεών τους. Στους παρακάτω Πίνακες 3,5 παρουσιάζεται η περιγραφική ανάλυση των αποτελεσμάτων για τις ερωτήσεις 16 και 17 για κάθε σχολική βαθμίδα πριν την παρέμβαση, ενώ στους Πίνακες 4,6 φαίνονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα μετά την παρέμβαση. Όπως παρατηρείται, στην ερώτηση 16 πριν την παρέμβαση το μεγαλύτερο ποσοστό μαθητών/τριων κάθε σχολικής βαθμίδας επέλεξε την απάντηση περί παραγωγής φωτοηλεκτρικού ρεύματος (Δημοτικό: 54.2%, Γυμνάσιο: 59.5%, Λύκειο: 58.6%), ενώ μετά την παρέμβαση η πλειοψηφία στράφηκε προς την σωστή απάντηση που ήταν η εκτίναξη των ηλεκτρονίων εξαιτίας του φωτός που προσπίπτει σε μια μεταλλική επιφάνεια (Δημοτικό: 61.4%, Γυμνάσιο: 72.2%, Λύκειο: 69.0%).

Πίνακας 3: Συσχέτιση του ποσοστού των μαθητών/τριων κάθε σχολικής βαθμίδας πριν την παρέμβαση, με τις πιθανές απαντήσεις της ερώτησης 16: «Πώς θα περιέγραφες το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο;»

		Σχολική Βαθμίδα			
		Δημοτικό	Γυμνάσιο	Λύκειο	Σύνολο
	"Εκτίναξη" ηλεκτρονίων από φωτοευαίσθητη μεταλλική επιφάνεια εξαιτίας της μπαταρίας	20.5%	21.4%	19.0%	20.4%
Πριν την παρέμβαση:	Παραγωγή φωτοηλεκτρικού ρεύματος εξαιτίας της ανάκλασης του φωτός στην μεταλλική επιφάνεια στην οποία προσπίπτει	54.2%	59.5%	58.6%	57.8%
Πώς θα περιέγραφες το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο;	"Εκτίναξη" ηλεκτρονίων από τη φωτοευαίσθητη μεταλλική επιφάνεια εξαιτίας του φωτός που προσπίπτει σε αυτή	25.3%	19.1%	22.4%	21.8%
	Σύνολο	100%	100%	100%	100%

Πίνακας 4: Συσχέτιση του ποσοστού των μαθητών/τριων κάθε σχολικής βαθμίδας μετά την παρέμβαση, με τις πιθανές απαντήσεις της ερώτησης 16: «Πώς θα περιέγραφες το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο;»

		Σχολική Βαθμίδα			
		Δημοτικό	Γυμνάσιο	Λύκειο	Σύνολο
	"Εκτίναξη" ηλεκτρονίων από φωτοευαίσθητη μεταλλική επιφάνεια εξαιτίας της μπαταρίας	16.9%	9.5%	11.2%	12.0%
Μετά την παρέμβαση:	Παραγωγή φωτοηλεκτρικού ρεύματος εξαιτίας της ανάκλασης του φωτός στην μεταλλική επιφάνεια στην οποία προσπίπτει	21.7%	18.3%	19.8%	19.7%
Πώς θα περιέγραφες το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο;	"Εκτίναξη" ηλεκτρονίων από τη φωτοευαίσθητη μεταλλική επιφάνεια εξαιτίας του φωτός που προσπίπτει σε αυτή	61.4%	72.2%	69.0%	68.3%
	Σύνολο	100%	100%	100%	100%

Στην ερώτηση 17 πριν την παρέμβαση, οι μαθητές/τριες επέλεξαν τις λανθασμένες απαντήσεις με τα χαμηλότερα ποσοστά να σημειώνονται στην σωστή απάντηση που ήταν ότι τα φωτόνια απορροφούνται από τα ηλεκτρόνια (Δημοτικό: 18.0%, Γυμνάσιο: 23.8%, Λύκειο: 12.9%). Μετά την παρέμβαση περισσότεροι από τους μισούς μαθητές/τριες Δημοτικού και Γυμνασίου στράφηκαν προς τη σωστή απάντηση, καθώς και η πλειοψηφία των μαθητών/τριων Λυκείου (Δημοτικό: 51.8%, Γυμνάσιο: 57.9%, Λύκειο: 46.6%). Ωστόσο, ένα ποσοστό 43.1% μαθητών/τριων Λυκείου επέλεξε απάντηση που αφορούσε στην παραγωγή φωτοηλεκτρικού ρεύματος.

Πίνακας 5: Συσχέτιση του ποσοστού των μαθητών/τριων κάθε σχολικής βαθμίδας πριν την παρέμβαση, με τις πιθανές απαντήσεις της ερώτησης 17: «Ποιος από τους παρακάτω ήταν ο λόγος που επέλεξε την απάντησή σου στην ερώτηση (16);»

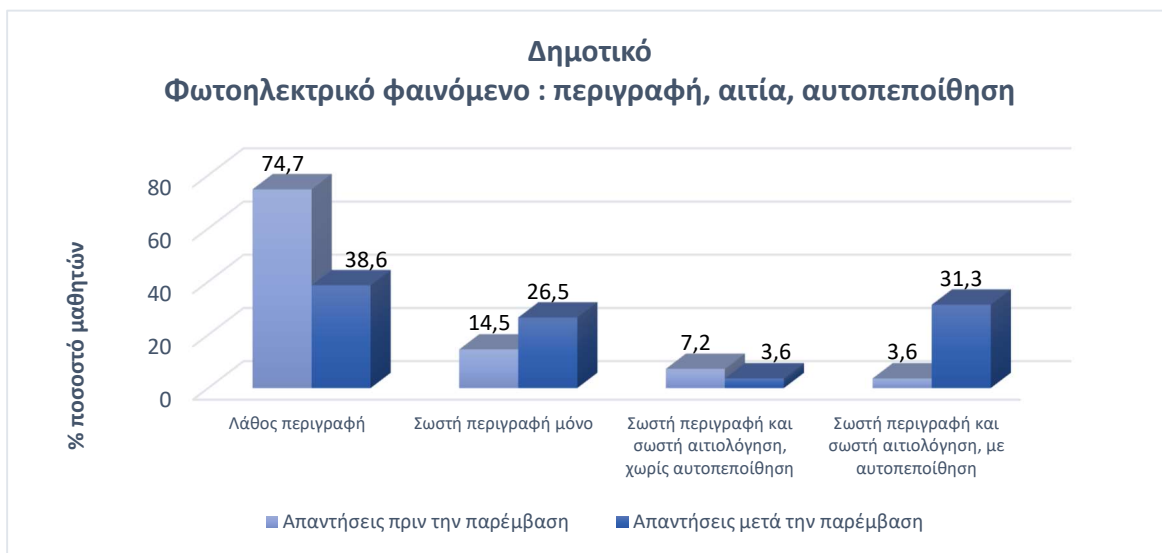
		Σχολική Βαθμίδα			
		Δημοτικό	Γυμνάσιο	Λύκειο	Σύνολο
	Η μπαταρία παρέχει διαφορά δυναμικού μεταξύ των πλακών και τα ηλεκτρόνια "ελευθερώνονται" από τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος	41.0%	41.3%	33.6%	38.5%
Πριν την παρέμβαση:	Τα φωτόνια απορροφούνται από τα ηλεκτρόνια	18.0%	23.8%	12.9%	18.5%
Αιτία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου	Η ανάκλαση των φορτισμένων φωτονίων από τη μία μεταλλική επιφάνεια προς την απέναντι πλάκα παράγει φωτοηλεκτρικό ρεύμα και τα ηλεκτρόνια "ελευθερώνονται" από τη ροή του ρεύματος αυτού	41.0%	34.9%	53.4%	43.0%
Σύνολο		100%	100%	100%	100%

Πίνακας 6: Συσχέτιση του ποσοστού των μαθητών/τριων κάθε σχολικής βαθμίδας μετά την παρέμβαση, με τις πιθανές απαντήσεις της ερώτησης 17: «Ποιος από τους παρακάτω ήταν ο λόγος που επέλεξε την απάντησή σου στην ερώτηση (16);»

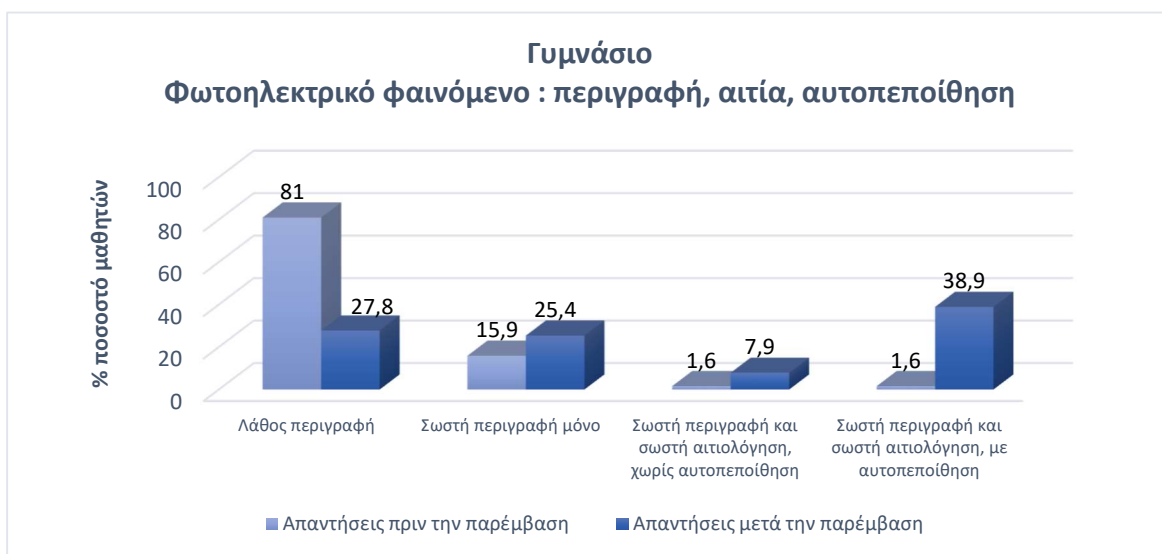
		Σχολική Βαθμίδα			
		Δημοτικό	Γυμνάσιο	Λύκειο	Σύνολο
	Η μπαταρία παρέχει διαφορά δυναμικού μεταξύ των πλακών και τα ηλεκτρόνια "ελευθερώνονται" από τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος	12.0%	15.9%	10.3%	12.9%
Μετά την παρέμβαση:	Τα φωτόνια απορροφούνται από τα ηλεκτρόνια	51.8%	57.9%	46.6%	52.3%
Αιτία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου	Η ανάκλαση των φορτισμένων φωτονίων από τη μία μεταλλική επιφάνεια προς την απέναντι πλάκα παράγει φωτοηλεκτρικό ρεύμα και τα ηλεκτρόνια "ελευθερώνονται" από τη ροή του ρεύματος αυτού	36.2%	26.2%	43.1%	34.8%
Σύνολο		100%	100%	100%	100%

Ιδιαίτερα σημαντικό επιστημονικό ενδιαφέρον ενέχει η μεταβλητή που δημιουργήθηκε στο SPSS με την ένωση των τριών ερωτήσεων (16-17-18). Η ίδια συσχετίζει τις απαντήσεις για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Οι τιμές τις μεταβλητής ήταν

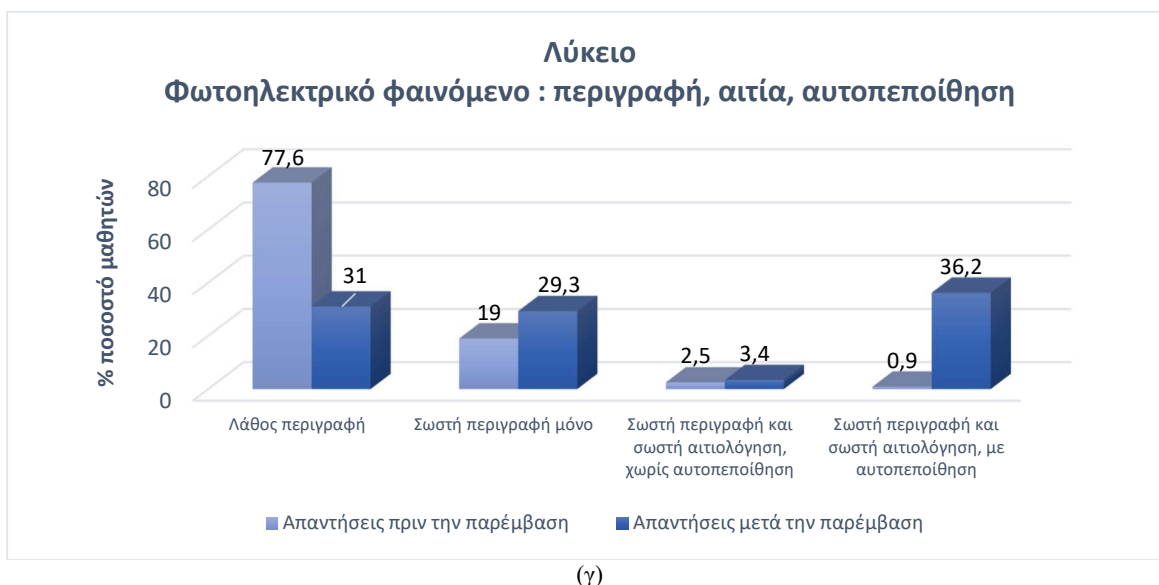
«Λάθος περιγραφή», «Σωστή περιγραφή μόνο», «Σωστή περιγραφή και σωστή αιτιολόγηση, χωρίς αυτοπεποίθηση» και «Σωστή περιγραφή και σωστή αιτιολόγηση, με αυτοπεποίθηση». Τα αποτελέσματα για το Δημοτικό, Γυμνάσιο και Λύκειο παρουσιάζονται στο Σχήμα 20.



(α)



(β)



Σχήμα 20: Ποσοστιαία κατανομή των απαντήσεων των μαθητών/τριων (α) Δημοτικού, (β) Γυμνασίου και (γ) Λυκείου όσον αφορά την ένωση των ερωτήσεων 16-17-18 του ερωτηματολογίου γνώσεων.

Όπως προκύπτει από τα γραφήματα, οι μαθητές/τριες του Δημοτικού σε ποσοστό 74.7% έδωσαν λάθος απάντηση πριν την παρέμβαση. Μετά από την ίδια, το 38.6% εξακολουθούσε να απαντάει λανθασμένα, με μόλις το 31.3% να εξηγεί ορθά το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο έχοντας αυτοπεποίθηση. Στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση φαίνεται πως, από τη μία, οι μαθητές/τριες του Γυμνασίου στο 81% απάντησαν αρχικά λανθασμένα, ενώ μετά την παρέμβαση το 38.9% αυτών κατανόησε το φαινόμενο και υποστήριξε τις επιλογές του. Από την άλλη, οι μαθητές/τριες Λυκείου στην πλειοψηφία τους (77.6%) έδειξαν να μην γνωρίζουν τι είναι το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο αλλά και μετά τη διδασκαλία μόλις για το 36.2% των μαθητών/τριων επιτεύχθηκε πλήρης εννοιολογική κατανόηση, δηλαδή ικανοποιούνταν και οι τρεις παράγοντες – σωστή περιγραφή και αιτιολόγηση αλλά και αυτοπεποίθηση (Taslidere, 2016). Συμπερασματικά, διακρίνεται ότι οι μαθητές/τριες αντιμετώπιζαν δυσκολία στην ουσιαστική κατανόηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, δεδομένου ότι το ποσοστό αυτών που ένιωθε και αυτοπεποίθηση για τις απαντήσεις του, είναι σχετικά χαμηλό.

6.1.2 Περιγραφική Ανάλυση Ερωτηματολογίου Στάσεων

Για την περιγραφική ανάλυση του ερωτηματολογίου των στάσεων των μαθητών/τριων απέναντι στις ΦΕ (ερωτήσεις 19.1 – 19.11), προσδιορίζεται ως αρκετά σημαντικός ο υπολογισμός του μέσου όρου βαθμολογίας των μαθητών/τριων στην εκάστοτε ερώτηση ενδιαφέροντος. Τα αποτελέσματα υπολογισμού του μέσου όρου

βαθμολογίας πριν και μετά την παρέμβαση, ανάλογα με τη σχολική βαθμίδα, σε κάθε ερώτηση του ερωτηματολογίου φαίνονται στον Πίνακα 7.

Πίνακας 7: Υπολογισμός μέσου όρου (mean) των στάσεων απέναντι στις ΦΕ μαθητών/τριων Δημοτικού, Γυμνασίου και Λυκείου

Προτάσεις - Δηλώσεις	Πριν την παρέμβαση			Μετά την παρέμβαση		
	Δημοτικό	Γυμνάσιο	Λύκειο	Δημοτικό	Γυμνάσιο	Λύκειο
1. Νομίζω ότι η βαρύτητα είναι ενδιαφέρον θέμα	3.75	3.63	3.90	4.05	3.83	4.16
2. Νομίζω ότι το φως είναι ενδιαφέρον θέμα	3.36	3.60	3.84	3.86	3.73	4.03
3. Νομίζω ότι τα πράγματα που ανακάλυψε ο Einstein είναι σημαντικά για τη νέα τεχνολογία	4.11	3.99	4.19	4.41	4.02	4.32
4. Χαίρομαι να μαθαίνω νέες έννοιες και ιδέες	3.70	3.81	3.96	3.89	3.92	3.95
5. Προτιμώ να μαθαίνω για την επιστήμη, διεκπεραιώνοντας δραστηριότητες μαζί με άλλους μαθητές	4.18	3.33	3.66	3.94	3.67	3.90
6. Δεν χαίρομαι όταν κάνω πειράματα Φυσικής	3.89	3.74	3.76	4.10	3.77	3.75
7. Θα μου άρεσε να σπουδάσω Φυσική στο Πανεπιστήμιο	2.41	2.33	2.26	3.13	3.01	3.01
8. Θα προτιμούσα να μαθαίνω Φυσική από άλλους ανθρώπους, παρά να κάνω εγώ ο ίδιος πειράματα για να ανακαλύψω τη θεωρία	3.52	2.96	3.22	3.28	2.97	3.19
9. Η Φυσική που μαθαίνω στο σχολείο δεν είναι πολύ σχετική με την καθημερινή μου ζωή	3.43	3.33	3.01	3.33	2.98	2.91
10. Η Φυσική είναι μόνο για τους έξυπνους ανθρώπους	4.24	3.83	3.78	4.29	3.69	4.07
11. Δεν έχω μεγάλο ενδιαφέρον για τη Φυσική	3.67	3.17	2.96	3.86	3.37	3.16

Η αξιολόγηση των παραπάνω αποτελεσμάτων βασίζεται στην βιβλιογραφία (Sözen & Güven, 2019) κατά την οποία αν ο μέσος όρος είναι μεταξύ 1 – 1.80 σημαίνει «Διαφωνώ απόλυτα». Αν είναι στο εύρος τιμών 1.81 – 2.60 σημαίνει «Διαφωνώ», στο εύρος τιμών 2.61 – 3.40 σημαίνει «Είμαι ουδέτερος», στο εύρος τιμών 3.41 – 4.20 σημαίνει «Συμφωνώ» και στο εύρος τιμών 4.21 – 5.00 σημαίνει «Συμφωνώ απόλυτα». Επί παραδείγματι, στην δεύτερη πρόταση του Πίνακα 7, ο μέσος όρος των μαθητών/τριων Δημοτικού πριν την παρέμβαση είναι 3.36 που σημαίνει ότι η πλειοψηφία των μαθητών/τριων είναι ουδέτερη για το αν το φως είναι ενδιαφέρον θέμα. Μετά την παρέμβαση, η πλειοψηφία «συμφωνεί» ως προς την πρόταση αυτή, αφού ο μέσος όρος αυξάνεται σε 3.86. Με όμοιο τρόπο μπορούν να μελετηθούν και οι υπόλοιπες ερωτήσεις για κάθε σχολική βαθμίδα ξεχωριστά.

6.1.3 Περιγραφική Ανάλυση Ερωτηματολογίου Ενδιαφέροντος

Το τελευταίο τμήμα του συνολικού ερωτηματολογίου που διαμοιράστηκε στους μαθητές/τριες (Παράρτημα Β) αποτελούνταν από το ερωτηματολόγιο ενδιαφέροντος (ερωτήσεις 19.12 – 19.19). Ο υπολογισμός του μέσου όρου βαθμολογίας σχετικά με το ενδιαφέρον των μαθητών/τριων για κάθε σχολική βαθμίδα παρουσιάζεται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8: Υπολογισμός μέσου όρου (mean) του ενδιαφέροντος απέναντι στις ΦΕ για μαθητές/τριες Δημοτικού, Γυμνασίου και Λυκείου

Προτάσεις - Δηλώσεις	Πριν την παρέμβαση			Μετά την παρέμβαση		
	Δημοτικό	Γυμνάσιο	Λύκειο	Δημοτικό	Γυμνάσιο	Λύκειο
12. Κάνω με ευχαρίστηση τα μαθήματα των ΦΕ στο σπίτι, χωρίς να βαριέμαι	3.14	2.65	2.52	3.18	2.81	2.70
13. Η Φυσική είναι ένα από τα μαθήματα που μου αρέσουν	3.37	3.02	2.79	3.54	3.18	3.07
14. Νιώθω άνετα στο μάθημα της Φυσικής	3.49	3.16	3.28	3.66	3.33	3.40
15. Λατρεύω τη μελέτη και τις δραστηριότητες της Φυσικής κατά τη διάρκεια του μαθήματος	3.23	2.94	2.98	3.42	3.08	2.97
16. Θέλω να αυξηθούν οι ώρες που κάνουμε ΦΕ	2.80	2.28	2.35	2.84	2.56	2.55
17. Βρίσκω τα πάντα ενδιαφέροντα στις ΦΕ	2.99	2.65	2.56	3.17	2.82	2.72
18. Μου αρέσει να διαβάζω βιβλία για τις ΦΕ	2.69	2.50	2.46	2.70	2.75	2.53
19. Αισθάνομαι σημαντικός όταν χειρίζομαι επιστημονικά εργαλεία	3.18	3.05	3.22	4.11	3.75	3.84

Η αξιολόγηση αυτών των αποτελεσμάτων συντελείται αντίστοιχα του ερωτηματολογίου στάσεων (βλ. ενότητα 5.1.2). Χαρακτηριστικά αναφέρεται η περίπτωση της πρότασης – δήλωσης «13» του Πίνακα 8, στην οποία η πλειοψηφία των μαθητών/τριων Δημοτικού πριν την παρέμβαση εμφανίζονται ως ουδέτεροι (3.37), ενώ μετά την παρέμβαση οι περισσότεροι «συμφώνησαν» με αυτή την πρόταση (3.54), δείχνοντας πώς η συγκεκριμένη διδασκαλία άλλαξε την αρέσκειά τους απέναντι στο μάθημα της Φυσικής.

6.2 Στατιστική Ανάλυση

Για όλους του ελέγχους που έγιναν στην παρούσα έρευνα, το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε στο 5% (ή .05).

6.2.1 Στατιστική Ανάλυση Ερωτηματολογίου Γνώσεων

Στα πλαίσια των στατιστικών ελέγχων υποθέσεων και με στόχο να απαντηθούν τα ερευνητικά ερωτήματα ΕΕ.2, ΕΕ.3 και ΕΕ.4, υπολογίστηκε η μέση βαθμολογία (score) που

συγκέντρωσε κάθε συμμετέχων στο ερωτηματολόγιο γνώσεων τόσο πριν όσο και μετά την παρέμβαση. Η μέση βαθμολογία προέκυψε από την επανακωδικοποίηση των αρχικών μεταβλητών του ερωτηματολογίου γνώσεων κατά τρόπο όπου οι σωστές απαντήσεις έλαβαν την τιμή 1, ενώ οι λανθασμένες απαντήσεις και οι απαντήσεις «Δεν γνωρίζω/Δεν θυμάμαι» έλαβαν την τιμή 0. Από τον υπολογισμό της βαθμολογίας αυτής εξαιρέθηκε η ερώτηση 18 του ερωτηματολογίου γνώσεων. Στη συνέχεια, η μέση βαθμολογία υπολογίστηκε σαν ποσοστό % οπότε, τελικά, έγινε σύγκριση των ποσοστών της μέσης βαθμολογίας επίδοσης ως προς τη σχολική βαθμίδα και ως προς το φύλο των μαθητών.

Αρχικά, ως μηδενική υπόθεση ελέγχου H_0 θεωρήθηκε ότι μέση βαθμολογία γνώσεων των μαθητών/τριων Δημοτικού πριν την διδακτική παρέμβαση ήταν ίση με τη μέση βαθμολογία γνώσεων των μαθητών/τριων Δημοτικού μετά την διδακτική παρέμβαση. Η ίδια υπόθεση ελέγχθηκε και για μαθητές/τριες Γυμνασίου και Λυκείου. Η εναλλακτική υπόθεση H_1 ήταν πως η μέση βαθμολογία γνώσεων μετά την διδακτική παρέμβαση θα ήταν μεγαλύτερη από εκείνη πριν την διδακτική παρέμβαση.

Για την επιλογή των κατάλληλων στατιστικών ελέγχων έγινε, αρχικά, έλεγχος κανονικότητας των μεταβλητών οι οποίες ήταν συνεχής και εξαρτημένες. Ο έλεγχος έγινε με τη δημιουργία ιστογραμμάτων στο SPSS αλλά και με τα test Kolmogorov-Smirnov και Shapiro-Wilk test. Από τα αποτελέσματα των test προκύπτει ότι και οι δύο μεταβλητές δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή ($p < .05$), όπως φαίνεται στον Πίνακα 9.

Πίνακας 9: Έλεγχοι κανονικότητας για τη μέση βαθμολογία των μαθητών/τριων, πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση

Tests of Normality							
	Εκπαιδευτική βαθμίδα	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Μέση βαθμολογία μαθητή πριν την παρέμβαση (%)	Δημοτικό	,219	83	,000	,897	83	,000
	Γυμνάσιο	,153	126	,000	,904	126	,000
	Λύκειο	,166	116	,000	,910	116	,000
Μέση βαθμολογία μαθητή μετά την παρέμβαση (%)	Δημοτικό	,121	83	,004	,971	83	,041
	Γυμνάσιο	,109	126	,001	,968	126	,004
	Λύκειο	,219	116	,000	,899	116	,000

a. Lilliefors Significance Correction

Κατά συνέπεια, χρησιμοποιήθηκε το μη παραμετρικό Wilcoxon signed ranks test για να διερευνηθεί αν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στις βαθμολογίες. Ειδικότερα, στο Δημοτικό παρατηρείται ότι ο μέσος όρος της βαθμολογίας έχει σημαντική αύξηση μετά την παρέμβαση ($M = 59.36\%$, $SD = 20.92$) σε σχέση με πριν ($M = 16.95\%$, $SD = 11.03$). Από το Wilcoxon test προκύπτει, επίσης, ότι η τιμή του κριτηρίου ελέγχου είναι $Z = -7.817$ και η τιμή p – value του δίπλευρου ελέγχου είναι $p = .000$. Η τιμή p των

μονόπλευρων ελέγχων των αρχικών υποθέσεων, που χρειάστηκε να γίνουν για κάθε σχολική βαθμίδα σε αυτή την έρευνα, προκύπτει ως εξής:

$$p_{1-tailed} = p_{2-tailed} / 2 \quad (5)$$

Άρα υπολογίζεται ότι $p_{1-tailed} < .05$. Επομένως υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά και η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται αφού παρατηρείται βελτίωση στη μέση βαθμολογία των μαθητών/τριων μετά την παρέμβαση κατά 42.41 βαθμούς.

Πίνακας 10: Περιγραφική ανάλυση βαθμολογιών των μαθητών/τριων Δημοτικού για το ερωτηματολόγιο γνώσεων

Descriptive Statistics					
	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Μέση βαθμολογία μαθητή πριν την παρέμβαση (%)	83	16,95	11,033	0	53
Μέση βαθμολογία μαθητή μετά την παρέμβαση (%)	83	59,36	20,917	13	100

Πίνακας 11: Αποτελέσματα Wilcoxon test για τις βαθμολογίες μαθητών/τριων Δημοτικού στο ερωτηματολόγιο γνώσεων

Ranks				
		N	Mean Rank	Sum of Ranks
Μέση βαθμολογία μαθητή μετά την παρέμβαση (%) - Μέση βαθμολογία μαθητή πριν την παρέμβαση (%)	Negative Ranks	1 ^a	2,50	2,50
	Positive Ranks	80 ^b	41,48	3318,50
	Ties	2 ^c		
	Total	83		

a. Μέση βαθμολογία μαθητή μετά την παρέμβαση (%) < Μέση βαθμολογία μαθητή πριν την παρέμβαση (%)

b. Μέση βαθμολογία μαθητή μετά την παρέμβαση (%) > Μέση βαθμολογία μαθητή πριν την παρέμβαση (%)

c. Μέση βαθμολογία μαθητή μετά την παρέμβαση (%) = Μέση βαθμολογία μαθητή πριν την παρέμβαση (%)

Test Statistics ^a	
	Μέση βαθμολογία μαθητή μετά την παρέμβαση (%) - Μέση βαθμολογία μαθητή πριν την παρέμβαση (%)
Z	-7,817 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on negative ranks.

Με παρόμοια διαδικασία προέκυψαν και τα αποτελέσματα που αφορούν της μαθητές/τριες του Γυμνασίου. Ο μέσος όρος της βαθμολογίας πριν την παρέμβαση ήταν 18.73% (SD = 11.05) ενώ μετά την παρέμβαση αυξήθηκε κατά 44.44 μονάδες και πλέον ήταν 63.17% (SD = 21.72). Από το Wilcoxon test συμπεραίνεται ότι η διαφορά στο score είναι στατιστικά σημαντική, $Z = -9.451$, $p_{1-tailed} < .05$ άρα υφίσταται σημαντική βελτίωση.

Πίνακας 12: Περιγραφική ανάλυση βαθμολογιών των μαθητών/τριων Γυμνασίου για το ερωτηματολόγιο γνώσεων

Descriptive Statistics					
	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Μέση βαθμολογία μαθητή πριν την παρέμβαση (%)	126	18,73	11,050	0	60
Μέση βαθμολογία μαθητή μετά την παρέμβαση (%)	126	63,17	21,725	7	100

Πίνακας 13: Αποτελέσματα Wilcoxon test για τις βαθμολογίες μαθητών Γυμνασίου στο ερωτηματολόγιο γνώσεων

Ranks				
		N	Mean Rank	Sum of Ranks
Μέση βαθμολογία μαθητή μετά την παρέμβαση (%) - Μέση βαθμολογία μαθητή πριν την παρέμβαση (%)	Negative Ranks	3 ^a	3,50	10,50
	Positive Ranks	116 ^b	61,46	7129,50
	Ties	7 ^c		
	Total	126		

a. Μέση βαθμολογία μαθητή μετά την παρέμβαση (%) < Μέση βαθμολογία μαθητή πριν την παρέμβαση (%)

b. Μέση βαθμολογία μαθητή μετά την παρέμβαση (%) > Μέση βαθμολογία μαθητή πριν την παρέμβαση (%)

c. Μέση βαθμολογία μαθητή μετά την παρέμβαση (%) = Μέση βαθμολογία μαθητή πριν την παρέμβαση (%)

Test Statistics ^a	
	Μέση βαθμολογία μαθητή μετά την παρέμβαση (%) - Μέση βαθμολογία μαθητή πριν την παρέμβαση (%)
Z	-9,451 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on negative ranks.

Στατιστικά σημαντική βελτίωση, επίσης, εμφάνισε η μέση βαθμολογία των μαθητών/τριων του Λυκείου. Πριν την παρέμβαση ο μέσος όρος της βαθμολογίας των μαθητών/τριων ήταν 22.53% (SD = 15.94) και μετά την παρέμβαση ήταν 69.83% (SD = 21.14). Η βελτίωση ήταν κατά 47.30 μονάδες και σύμφωνα με το Wilcoxon test, $Z = -9.281$, $p_{1\text{-tailed}} < .05$, η διαφορά είναι στατιστικά σημαντική.

Πίνακας 14: Περιγραφική ανάλυση βαθμολογιών των μαθητών/τριων Λυκείου για το ερωτηματολόγιο γνώσεων

Descriptive Statistics					
	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Μέση βαθμολογία μαθητή πριν την παρέμβαση (%)	116	22,53	15,938	0	93
Μέση βαθμολογία μαθητή μετά την παρέμβαση (%)	116	69,83	21,145	7	100

Πίνακας 15: Αποτελέσματα Wilcoxon test για τις βαθμολογίες μαθητών/τριων Λυκείου στο ερωτηματολόγιο γνώσεων

Ranks				
		N	Mean Rank	Sum of Ranks
Μέση βαθμολογία μαθητή μετά την παρέμβαση (%) - Μέση βαθμολογία μαθητή πριν την παρέμβαση (%)	Negative Ranks	2 ^a	6,50	13,00
	Positive Ranks	113 ^b	58,91	6657,00
	Ties	1 ^c		
	Total	116		

a. Μέση βαθμολογία μαθητή μετά την παρέμβαση (%) < Μέση βαθμολογία μαθητή πριν την παρέμβαση (%)
b. Μέση βαθμολογία μαθητή μετά την παρέμβαση (%) > Μέση βαθμολογία μαθητή πριν την παρέμβαση (%)
c. Μέση βαθμολογία μαθητή μετά την παρέμβαση (%) = Μέση βαθμολογία μαθητή πριν την παρέμβαση (%)

Test Statistics ^a	
	Μέση βαθμολογία μαθητή μετά την παρέμβαση (%) - Μέση βαθμολογία μαθητή πριν την παρέμβαση (%)
Z	-9,281 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on negative ranks.

Το μη παραμετρικό Wilcoxon signed ranks test εφαρμόστηκε και στο σύνολο των μαθητών/τριων συγκρίνοντας τις επιδόσεις τους πριν ($M = 19.63\%$, $SD = 13.16$) και μετά την παρέμβαση ($M = 64.57\%$, $SD = 21.66$). Από αυτή την ανάλυση προέκυψε στατιστικά σημαντική διαφορά, $Z = -15.358$, $p < .05$. Είναι, επομένως, φανερό ότι η διδακτική παρέμβαση ήταν αποτελεσματική και βελτίωσε τις επιδόσεις των μαθητών/τριων σε όλες τις σχολικές βαθμίδες.

Πέραν τούτων, διεξήχθη μη παραμετρικός έλεγχος Kruskal-Wallis test έτσι ώστε να ελεγχθεί η μηδενική υπόθεση H_0 κατά την οποία η μέση βαθμολογία των μαθητών/τριων πριν την παρέμβαση ήταν παρόμοια σε όλες τις σχολικές βαθμίδες. Η εναλλακτική υπόθεση H_1 ήταν ότι υπήρχε στατιστική διαφορά στη μέση βαθμολογία μεταξύ κάποιων σχολικών βαθμίδων. Σύμφωνα με το Kruskal-Wallis test υπήρξε οριακά στατιστικά σημαντική διαφορά, $\chi^2 = 6.012$, $p = .049$ και έτσι το τεστ απέρριψε τη μηδενική υπόθεση. Ωστόσο, όπως φαίνεται στον Πίνακα 16, προέκυψε ότι η μόνη μηδενική υπόθεση H_0 που απορρίπτεται ($p < .05$) είναι ότι η μέση βαθμολογία των μαθητών/τριων του Δημοτικού πριν την παρέμβαση είναι ίση με τη μέση βαθμολογία των μαθητών/τριων του Λυκείου πριν την παρέμβαση. Οι υπόλοιπες συγκρίσεις μεταξύ των σχολικών βαθμίδων οδηγούν στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει διαφορά στις μέσες βαθμολογίες των μαθητών/τριων.

Πίνακας 16: Σύγκριση βαθμολογιών γνώσεων πριν την παρέμβαση, ανά δύο σχολικές βαθμίδες

Sample1-Sample2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj.Sig.
Δημοτικό-Γυμνάσιο	-16,368	13,063	-1,253	,210	,631
Δημοτικό-Λύκειο	-32,416	13,285	-2,440	,015	,044
Γυμνάσιο-Λύκειο	-16,048	11,890	-1,350	,177	,531

Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .05.

Επιπλέον, με το Kruskal-Wallis test, ελέγχθηκε η μηδενική υπόθεση H_0'' της οποίας η διατύπωση ήταν ότι η μέση βαθμολογία των μαθητών/τριων μετά την παρέμβαση δεν διέφερε ανάλογα με την σχολική βαθμίδα. Η εναλλακτική υπόθεση H_1'' ήταν πως υπήρχε διαφορά μεταξύ κάποιων σχολικών βαθμίδων. Το Kruskal-Wallis test έδειξε πως υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στη μέση βαθμολογία μετά την παρέμβαση μεταξύ των σχολικών βαθμίδων, $\chi^2 = 15.294$, $p = .000$, οπότε απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση. Ειδικότερα, σύμφωνα με τον Πίνακα 17, οι επιδόσεις που διαφέρουν μεταξύ τους είναι των μαθητών/τριων Λυκείου τόσο με εκείνους του Γυμνασίου όσο και με του Δημοτικού, ενώ οι επιδόσεις των μαθητών/τριων Δημοτικού και Γυμνασίου, αντίστοιχα, δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά ($p > .05$).

Πίνακας 17: Σύγκριση βαθμολογιών γνώσεων μετά την παρέμβαση, ανά δύο σχολικές βαθμίδες

Sample1-Sample2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj.Sig.
Δημοτικό-Γυμνάσιο	-17,845	13,218	-1,350	,177	,531
Γυμνάσιο-Λύκειο	-32,647	12,031	-2,714	,007	,020
Δημοτικό-Λύκειο	-50,491	13,442	-3,756	,000	,001

Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .05.

Όσον αφορά τον στατιστικό έλεγχο μεταξύ της μέσης βαθμολογίας των μαθητών/τριων πριν την παρέμβαση και του φύλου του μαθητή/τριας, χρησιμοποιήθηκε το Mann – Whitney test. Ως μηδενική υπόθεση H_0''' θεωρήθηκε ότι η μέση βαθμολογία πριν την παρέμβαση δεν διαφέρει ανάλογα με το φύλο των μαθητών/τριων. Η εναλλακτική υπόθεση H_1''' ήταν ότι η μέση βαθμολογία πριν την παρέμβαση διαφέρει ανάλογα με το φύλο. Εκ του αποτελέσματος, δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά, $U = 13123.000$, $p = .962$, οπότε δεν απορρίφθηκε η μηδενική υπόθεση ($p > .05$). Το ίδιο test

πραγματοποιήθηκε και για κάθε σχολική βαθμίδα ξεχωριστά με τα αποτελέσματα να υποδεικνύουν ότι σε καμία βαθμίδα δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάλογα με το φύλο των μαθητών/τριων (Δημοτικό: $U = 905.500$, $p = .635$ – Γυμνάσιο: $U = 1987.000$, $p = .447$ – Λύκειο: $U = 1575.000$, $p = .596$).

Μετά την παρέμβαση, ελέγχθηκε με το ίδιο test, η μηδενική υπόθεση H_0'''' ότι η μέση βαθμολογία μετά την παρέμβαση δεν διαφέρει ανάλογα με το φύλο των μαθητών/τριων. Η εναλλακτική υπόθεση H_1'''' ήταν ότι η μέση βαθμολογία μετά την παρέμβαση διαφέρει ανάλογα με το φύλο των μαθητών/τριων. Ο έλεγχος είχε ως αποτέλεσμα τη διαπίστωση στατιστικά σημαντικής διαφοράς $U = 9539.500$, $p = .000$, οπότε απορρίφθηκε η μηδενική υπόθεση ($p < .05$) και θεωρήθηκε πως υπήρξε διαφορά μεταξύ των δύο φύλων ως προς την επίδοση. Συγκεκριμένα, στο σύνολο τα κορίτσια είχαν ελάχιστα υψηλότερη επίδοση από τα αγόρια. Ο έλεγχος αυτός έγινε και για κάθε σχολική βαθμίδα ξεχωριστά. Στο Δημοτικό από τα αποτελέσματα του ελέγχου ($U = 554.500$, $p = .006$) προέκυψε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά οπότε η επίδοση διαφέρει ανάλογα με το φύλο των μαθητών, με τα κορίτσια να σημειώνουν υψηλότερα score από ότι τα αγόρια. Το ίδιο φάνηκε να ισχύει και για το Γυμνάσιο, $U = 1396.000$, $p = .024$. Αντίθετα όμως, στο Λύκειο φαίνεται ότι το φύλο των μαθητών δεν σχετίζεται με την επίδοσή τους ($U = 1406.000$, $p = .140$), δηλαδή δεν απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση.

6.2.2 Στατιστική Ανάλυση Ερωτηματολογίου Στάσεων

Εκτός των παραπάνω αναλύσεων, μελετήθηκαν εκτενώς και οι απαντήσεις των μαθητών/τριων στο ερωτηματολόγιο των στάσεων τους απέναντι στις ΦΕ. Αφού, έγινε η κωδικοποίηση της πενταβάθμιας κλίμακας Likert ως εξής: 1 = Διαφωνώ πολύ, 2 = Διαφωνώ, 3 = Ουδέτερος - Αβέβαιος, 4 = Συμφωνώ, 5 = Συμφωνώ πολύ, οι αρνητικά διατυπωμένες ερωτήσεις (19.6, 19.8, 19.9, 19.10, 19.11) επανακωδικοποιήθηκαν σε θετικές, μέσω αναστροφής της πολικότητας (1=5, 2=4, 3=3, 4=2, 5=1). Έπειτα, υπολογίστηκε το score που σημείωσε κάθε μαθητής/τρια πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση. Όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα 4.5, από την βαθμολογία (score) εξαιρέθηκε η ερώτηση 19.5 του ερωτηματολογίου ώστε να είναι ικανοποιητικός ο δείκτης αξιοπιστίας του εργαλείου. Για την διευκρίνιση των στατιστικών ελέγχων που μπορούσαν να πραγματοποιηθούν, έγινε έλεγχος κανονικότητας των μεταβλητών των βαθμολογιών. Ο έλεγχος έγινε τόσο με την παρατήρηση ιστογραμμάτων στο SPSS αλλά και με τα test Kolmogorov-Smirnov και Shapiro-Wilk test. Τελικά, προέκυψε ότι και η μεταβλητή «μέση

βαθμολογία μαθητή στο ερωτηματολόγιο στάσεων πριν την παρέμβαση» αλλά και η μεταβλητή «μέση βαθμολογία μαθητή στο ερωτηματολόγιο στάσεων μετά την παρέμβαση» δεν ακολουθούσαν την κανονική κατανομή ($p < .05$). Η διερεύνηση έγινε για κάθε σχολική βαθμίδα ξεχωριστά όπως και στο ερωτηματολόγιο γνώσεων. Διευκρινίζεται ότι στις περιπτώσεις που τα δύο στατιστικά test δεν συμφωνούσαν για την κανονικότητα ή μη των μεταβλητών, η επιλογή κρίθηκε με βάση τα εκάστοτε ιστογράμματα. Προφανώς, σε αυτά δεν παρατηρούνταν κανονικότητα στις τιμές. Επομένως, χρησιμοποιήθηκαν μη παραμετρικά test στατιστικής ανάλυσης.

Συγκεκριμένα, αξιοποιήθηκε εκ νέου το μη παραμετρικό Wilcoxon signed ranks test για να διερευνηθεί αν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στις στάσεις πριν και μετά την παρέμβαση, σε κάθε βαθμίδα. Ειδικότερα, στο Δημοτικό παρατηρήθηκε ότι ο μέσος όρος της βαθμολογίας των στάσεων αυξάνεται μετά την παρέμβαση ($M = 3.8181$, $SD = .5980$) σε σχέση με πριν ($M = 3.6084$, $SD = .6139$). Από το Wilcoxon test προκύπτει ότι η τιμή του κριτηρίου ελέγχου είναι $Z = -2.790$ και η τιμή p – value του δίπλευρου ελέγχου είναι $p = .005$ άρα του μονόπλευρου $p < .05$. Επομένως, υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά.

Πίνακας 18: Περιγραφική ανάλυση βαθμολογιών των μαθητών/τριων Δημοτικού για το ερωτηματολόγιο στάσεων

Descriptive Statistics					
	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Στάσεις: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση	83	3,6084	,61390	1,20	4,80
Στάσεις Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση	83	3,8181	,59799	2,30	4,90

Πίνακας 19: Αποτελέσματα Wilcoxon test για τις βαθμολογίες μαθητών/τριων Δημοτικού στο ερωτηματολόγιο στάσεων

Ranks				
		N	Mean Rank	Sum of Ranks
Στάσεις Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση - Στάσεις: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση	Negative Ranks	26 ^a	34,52	897,50
	Positive Ranks	49 ^b	39,85	1952,50
	Ties	8 ^c		
	Total	83		

a. Στάσεις Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση < Στάσεις: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση

b. Στάσεις Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση > Στάσεις: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση

c. Στάσεις Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση = Στάσεις: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση

Test Statistics ^a	
Στάσεις Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση - Στάσεις: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση	
Z	-2,790 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	,005

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on negative ranks.

Στο Γυμνάσιο, ο μέσος όρος της βαθμολογίας των στάσεων πριν την παρέμβαση ήταν $M = 3.4413$ ($SD = .5257$) ενώ μετά την παρέμβαση $M = 3.5278$, ($SD = .6421$). Από το Wilcoxon test προκύπτει ότι η τιμή του κριτηρίου ελέγχου είναι $Z = -1.585$ και η τιμή p – value του δίπλευρου ελέγχου είναι $p = .113$ άρα του μονόπλευρου $p > .05$. Επομένως, δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά, δηλαδή οι στάσεις των μαθητών/τριων Γυμνασίου δεν μεταβλήθηκαν σημαντικά πριν και μετά την παρέμβαση.

Πίνακας 20: Περιγραφική ανάλυση βαθμολογιών των μαθητών/τριων Γυμνασίου για το ερωτηματολόγιο στάσεων

Descriptive Statistics					
	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Στάσεις: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση	126	3,4413	,52570	1,80	4,50
Στάσεις Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση	126	3,5278	,64208	1,20	4,90

Πίνακας 21: Αποτελέσματα Wilcoxon test για τις βαθμολογίες μαθητών/τριων Γυμνασίου στο ερωτηματολόγιο στάσεων

Ranks				
		N	Mean Rank	Sum of Ranks
Στάσεις Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση - Στάσεις: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση	Negative Ranks	53 ^a	54,14	2869,50
	Positive Ranks	64 ^b	63,02	4033,50
	Ties	9 ^c		
	Total	126		

a. Στάσεις Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση < Στάσεις: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση

b. Στάσεις Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση > Στάσεις: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση

c. Στάσεις Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση = Στάσεις: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση

Test Statistics ^a	
Στάσεις Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση - Στάσεις: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση	
Z	-1,585 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	,113

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on negative ranks.

Στο Λύκειο, ο μέσος όρος της βαθμολογίας των στάσεων πριν την παρέμβαση ήταν $M = 3.4853$ ($SD = .6578$) ενώ μετά την παρέμβαση $M = 3.6543$ ($SD = .5580$). Από το Wilcoxon test προκύπτει ότι η τιμή του κριτηρίου ελέγχου είναι $Z = -2.776$ και η τιμή p – value του δίπλευρου ελέγχου είναι $p = .006$ άρα του μονόπλευρου $p < .05$. Επομένως, υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά ως προς την θετική αλλαγή των στάσεων.

Πίνακας 22: Περιγραφική ανάλυση βαθμολογιών των μαθητών/τριων Λυκείου για το ερωτηματολόγιο στάσεων

Descriptive Statistics					
	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Στάσεις: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση	116	3,4853	,65783	1,60	4,70
Στάσεις Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση	116	3,6543	,55079	1,70	5,00

Πίνακας 23: Αποτελέσματα Wilcoxon test για τις βαθμολογίες μαθητών/τριων Λυκείου στο ερωτηματολόγιο στάσεων

Ranks				
		N	Mean Rank	Sum of Ranks
Στάσεις Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση - Στάσεις: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση	Negative Ranks	45 ^a	47,20	2124,00
	Positive Ranks	65 ^b	61,25	3981,00
	Ties	6 ^c		
	Total	116		

a. Στάσεις Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση < Στάσεις: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση

b. Στάσεις Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση > Στάσεις: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση

c. Στάσεις Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση = Στάσεις: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση

Test Statistics ^a	
	Στάσεις Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση - Στάσεις: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση
Z	-2,776 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	,006

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on negative ranks.

Συγκεντρωτικά, για το σύνολο των μαθητών/τριων, παρατηρήθηκε μια βελτίωση στις στάσεις τους αφού πριν την παρέμβαση είχαν μέσο όρο $M = 3.4997$ ($SD = .6000$) ενώ μετά την παρέμβαση $M = 3.6471$, ($SD = .6085$). Από το Wilcoxon test προκύπτει ότι η τιμή του κριτηρίου ελέγχου είναι $Z = -4.80$ και η τιμή p – value του δίπλευρου ελέγχου είναι $p = .000$ άρα του μονόπλευρου $p < .05$, οπότε φαίνεται να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά.

Επιπλέον, έγινε μη παραμετρικός έλεγχος Kruskal-Wallis test έτσι ώστε να ελεγχθεί η μηδενική υπόθεση $\tilde{H}_0$ κατά την οποία η μέση βαθμολογία των μαθητών/τριων πριν την παρέμβαση στο ερωτηματολόγιο των στάσεων, ήταν παρόμοια σε όλες τις σχολικές βαθμίδες. Η εναλλακτική υπόθεση $\tilde{H}_1$ ήταν ότι υπήρχε διαφορά στη μέση βαθμολογία στο ερωτηματολόγιο στάσεων, μεταξύ κάποιων σχολικών βαθμίδων. Σύμφωνα με το Kruskal-Wallis test δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά, $\chi^2 = 5.196$, $p = .074$ οπότε δεν απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση.

Ακόμα, με το Kruskal-Wallis test, ελέγχθηκε η μηδενική υπόθεση $\tilde{H}_0$ της οποίας η διατύπωση ήταν ότι η μέση βαθμολογία των μαθητών/τριων στο ερωτηματολόγιο στάσεων μετά την παρέμβαση ήταν παρόμοια σε όλες τις σχολικές βαθμίδες. Η εναλλακτική υπόθεση $\tilde{H}_1$ ήταν πως υπήρχε διαφορά μεταξύ κάποιων σχολικών βαθμίδων.

Πίνακας 24: Σύγκριση βαθμολογιών στάσεων μετά την παρέμβαση, ανά δύο σχολικές βαθμίδες

Each node shows the sample average rank of Εκπαιδευτική βαθμίδα.

Sample1-Sample2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj.Sig.
Γυμνάσιο-Λύκειο	-15,418	12,072	-1,277	,202	,605
Γυμνάσιο-Δημοτικό	42,672	13,263	3,217	,001	,004
Λύκειο-Δημοτικό	27,254	13,488	2,021	,043	,130

Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is ,05.

Το Kruskal-Wallis test έδειξε πως υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά, $\chi^2 = 10.371$, $p = .006$ και έτσι απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στον Πίνακα 24, οι ομάδες που διαφέρουν μεταξύ τους είναι το Δημοτικό με το Γυμνάσιο ενώ οι υπόλοιποι «συνδυασμοί» δεν έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους ($p > .05$).

6.2.3 Στατιστική Ανάλυση Ερωτηματολογίου Ενδιαφέροντος

Οι τελευταίες στατιστικές αναλύσεις αφορούν στο ερωτηματολόγιο του ενδιαφέροντος που φαίνεται να έχουν οι μαθητές/τριες προς τις ΦΕ. Η κωδικοποίηση των απαντήσεων έγινε και σε αυτό το ερωτηματολόγιο σε πενταβάθμια κλίμακα Likert ως: 1 = Διαφωνώ πολύ, 2 = Διαφωνώ, 3 = Ουδέτερος - Αβέβαιος, 4 = Συμφωνώ, 5 = Συμφωνώ πολύ. Επίσης, υπολογίστηκε το score που σημείωσε κάθε μαθητής/τρια σε αυτές τις

προτάσεις – δηλώσεις, πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση. Στη συνέχεια, έγινε έλεγχος κανονικότητας των μεταβλητών οι οποίες ήταν συνεχής και εξαρτημένες. Ο έλεγχος έγινε τόσο με την παρατήρηση των αντίστοιχων ιστογραμμάτων στο SPSS αλλά και με τα test Kolmogorov-Smirnov και Shapiro-Wilk. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα, συμπεραίνεται ότι τόσο η μεταβλητή «μέση βαθμολογία μαθητή στο ερωτηματολόγιο ενδιαφέροντος πριν την παρέμβαση», όσο και η μεταβλητή «μέση βαθμολογία μαθητή στο ερωτηματολόγιο ενδιαφέροντος μετά την παρέμβαση», ακολουθούσαν την κανονική κατανομή ($p > .05$). Επιπλέον, δημιουργήθηκε μια νέα μεταβλητή «difference.interest» η οποία υπολογίστηκε ως η διαφορά μεταξύ της μέσης βαθμολογίας ενδιαφέροντος πριν την παρέμβαση και της μέσης βαθμολογίας ενδιαφέροντος μετά την παρέμβαση. Και σε αυτήν την μεταβλητή έγινε Kolmogorov-Smirnov test για κάθε βαθμίδα, οπότε και προέκυψε ότι σε όλες τις βαθμίδες, η μεταβλητή ακολουθεί την κανονική κατανομή ($p < .05$). Κατά συνέπεια, χρησιμοποιήθηκαν παραμετρικά test στατιστικής ανάλυσης (Εμβαλωτής, 2023).

Το παραμετρικό test που επιλέχθηκε ήταν το Paired Samples t – test για να διερευνηθεί αν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στο ενδιαφέρον πριν και μετά την παρέμβαση, σε κάθε σχολική βαθμίδα ξεχωριστά. Η μηδενική υπόθεση H_0 είναι ότι δεν υπάρχει διαφορά στο μέσο όρο ενδιαφέροντος των μαθητών/τριων Δημοτικού (ή αντίστοιχα Γυμνασίου ή Λυκείου) πριν και μετά την παρέμβαση. Η εναλλακτική υπόθεση H_1 είναι ότι ο μέσος όρος ενδιαφέροντος των μαθητών/τριων μετά την παρέμβαση έχει αυξηθεί.

Στο Δημοτικό παρατηρείται ότι ο μέσος όρος ενδιαφέροντος των μαθητών/τριων αυξάνεται μετά την παρέμβαση ($M = 3.3283$, $SD = .8242$) σε σχέση με πριν ($M = 3.1114$, $SD = .9163$). Η τιμή του κριτηρίου ελέγχου είναι $t = -2.063$ και η τιμή p – value του δίπλευρου ελέγχου είναι $p = .042$ άρα η τιμή του μονόπλευρου $p < .05$ σύμφωνα με τη σχέση (5). Επομένως, υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά, δηλαδή αύξηση του ενδιαφέροντος των μαθητών/τριων Δημοτικού προς τις ΦΕ.

Πίνακας 25: Περιγραφικά στοιχεία μέσου όρου βαθμολογίας ενδιαφέροντος μαθητών/τριων Δημοτικού

Paired Samples Statistics					
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Ενδιαφέρον: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση	3,1114	83	,91628	,10057
	Ενδιαφέρον: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση	3,3283	83	,82425	,09047

Πίνακας 26: Αποτελέσματα ελέγχου paired t – test για το ενδιαφέρον των μαθητών/τριων Δημοτικού για τις ΦΕ

	Paired Samples Test						t	df	Sig. (2-tailed)
	Paired Differences								
	Mean	Std. Dev.	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Ενδιαφέρον: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση - Ενδιαφέρον: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση	-,21687	,95778	,10513	-,42600	-,00773	-2,063	82	,042	

Όμοια, στο Γυμνάσιο παρατηρείται ότι ο μέσος όρος ενδιαφέροντος των μαθητών/τριων αυξάνεται μετά την παρέμβαση ($M = 3.0337$, $SD = .8815$) σε σχέση με πριν ($M = 2.7808$, $SD = .9214$). Η τιμή του κριτηρίου ελέγχου είναι $t = -2.783$ και η τιμή p – value του δίπλευρου ελέγχου είναι $p = .006$ άρα η τιμή του μονόπλευρου $p < .05$ σύμφωνα με τη σχέση (5). Επομένως, υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά, δηλαδή αύξηση του ενδιαφέροντος των μαθητών/τριων Γυμνασίου προς τις ΦΕ.

Πίνακας 27: Περιγραφικά στοιχεία μέσου όρου βαθμολογίας ενδιαφέροντος μαθητών/τριων Γυμνασίου

Paired Samples Statistics					
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Ενδιαφέρον: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση	2,7808	126	,92137	,08208
	Ενδιαφέρον: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση	3,0337	126	,88153	,07853

Πίνακας 28: Αποτελέσματα ελέγχου paired t – test για το ενδιαφέρον των μαθητών/τριων Γυμνασίου για τις ΦΕ

	Paired Samples Test					t	df	Sig. (2- tailed)
	Paired Differences							
	Mean	Std. Dev.	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Ενδιαφέρον: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση - Ενδιαφέρον: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση	-,25298	1,02035	,09090	-,43288	-,07307	-2,783	125	,006

Τέλος, στο Λύκειο παρατηρείται ότι ο μέσος όρος ενδιαφέροντος των μαθητών/τριων αυξάνεται μετά την παρέμβαση ($M = 2.9720$, $SD = .7828$) σε σχέση με πριν ($M = 2.7694$, $SD = .8756$). Η τιμή του κριτηρίου ελέγχου είναι $t = -2.823$ και η τιμή p –

value του δίπλευρου ελέγχου είναι $p = .006$ άρα η τιμή του μονόπλευρου $p < .05$ σύμφωνα με τη σχέση (5). Επομένως, υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά, δηλαδή αύξηση του ενδιαφέροντος των μαθητών/τριων Λυκείου προς τις ΦΕ.

Πίνακας 29: Περιγραφικά στοιχεία μέσου όρου βαθμολογίας ενδιαφέροντος μαθητών/τριων Λυκείου

Paired Samples Statistics					
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Ενδιαφέρον: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση	2,7694	116	,87564	,08130
	Ενδιαφέρον: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση	2,9720	116	,78281	,07268

Πίνακας 30: Αποτελέσματα ελέγχου paired t – test για το ενδιαφέρον των μαθητών/τριων Λυκείου για τις ΦΕ

Paired Samples Test							
	Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Dev.	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference			
				Lower Upper			
Ενδιαφέρον: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση - Ενδιαφέρον: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση	-,20259	,77278	,07175	-,34471 -,06046	-2,823	115	,006

Συγκεντρωτικά, φαίνεται πως το ενδιαφέρον των μαθητών/τριων αυξήθηκε μετά την παρέμβαση σε κάθε σχολική βαθμίδα. Το αποτέλεσμα του συνολικού μέσου όρου στο Δημοτικό, Γυμνάσιο και Λύκειο, δηλώνει πως η πλειοψηφία των μαθητών/τριων «είναι ουδέτερη» ως προς το ενδιαφέρον της για τις ΦΕ.

Ακόμα, για τις βαθμολογίες ενδιαφέροντος των μαθητών/τριων πριν την παρέμβαση, έγινε One way Anova test από το οποίο προέκυψε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ κάποιων σχολικών βαθμίδων όσον αφορά το ενδιαφέρον των παιδιών προς τις ΦΕ, $F(2, 322) = 4.277$, $p = .015$. Συγκεκριμένα, από τον Πίνακα 32 στον οποίο καταγράφονται οι πολλαπλές συγκρίσεις του ελέγχου, φαίνεται ότι η σύγκριση των σχολικών βαθμίδων ανά ζεύγη δίνει σε κάθε περίπτωση στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα – δηλαδή το ενδιαφέρον των μαθητών/τριων διαφέρει μεταξύ των βαθμίδων – εκτός από την σύγκριση μεταξύ Γυμνασίου και Λυκείου όπου εκεί δεν υπάρχει στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα ($p > .05$).

Πίνακας 31: Αποτελέσματα ελέγχου Ανονα για το ενδιαφέρον των μαθητών/τριων πριν την παρέμβαση

ANOVA					
Ενδιαφέρον: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6,991	2	3,495	4,277	,015
Within Groups	263,134	322	,817		
Total	270,125	324			

Πίνακας 32: Αποτελέσματα πολλαπλών συγκρίσεων ελέγχου Ανονα για το ενδιαφέρον των μαθητών/τριων μεταξύ των σχολικών βαθμίδων πριν την παρέμβαση

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Ενδιαφέρον: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή πριν την παρέμβαση						
Tukey HSD						
(I) Εκπαιδευτική βαθμίδα	(J) Εκπαιδευτική βαθμίδα	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Δημοτικό	Γυμνάσιο	,33069*	,12779	,027	,0298	,6316
	Λύκειο	,34205*	,12996	,024	,0360	,6481
Γυμνάσιο	Δημοτικό	-,33069*	,12779	,027	-,6316	-,0298
	Λύκειο	,01136	,11632	,995	-,2625	,2852
Λύκειο	Δημοτικό	-,34205*	,12996	,024	-,6481	-,0360
	Γυμνάσιο	-,01136	,11632	,995	-,2852	,2625

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Ο έλεγχος Ανονα επαναλήφθηκε μετά την παρέμβαση για την σύγκριση του ενδιαφέροντος των μαθητών/τριων, ανάλογα με τη σχολική βαθμίδα τους. Σε αυτόν τον έλεγχο προέκυψε, όπως και πριν την παρέμβαση, στατιστικά σημαντική διαφορά $F(2, 322) = 4.849, p = .008$. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 33.

Πίνακας 33: Αποτελέσματα ελέγχου Ανονα για το ενδιαφέρον των μαθητών/τριων πριν την παρέμβαση

ANOVA					
Ενδιαφέρον: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6,725	2	3,363	4,849	,008
Within Groups	223,319	322	,694		
Total	230,044	324			

Πίνακας 34: Αποτελέσματα πολλαπλών συγκρίσεων ελέγχου Ανονα για το ενδιαφέρον των μαθητών/τριων μεταξύ των σχολικών βαθμίδων μετά την παρέμβαση

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Ενδιαφέρον: Μέσος όρος βαθμολογίας κάθε μαθητή μετά την παρέμβαση						
Tukey HSD						
(I) Εκπαιδευτική βαθμίδα	(J) Εκπαιδευτική βαθμίδα	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Δημοτικό	Γυμνάσιο	,29458*	,11773	,034	,0174	,5718
	Λύκειο	,35633*	,11973	,009	,0744	,6382
Γυμνάσιο	Δημοτικό	-,29458*	,11773	,034	-,5718	-,0174
	Λύκειο	,06175	,10716	,833	-,1906	,3141
Λύκειο	Δημοτικό	-,35633*	,11973	,009	-,6382	-,0744
	Γυμνάσιο	-,06175	,10716	,833	-,3141	,1906

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Από τις πολλαπλές συγκρίσεις του Πίνακα 34 προκύπτουν παρόμοια αποτελέσματα με εκείνα πριν την παρέμβαση. Είναι προφανές ότι η σύγκριση των σχολικών βαθμίδων ανά ζεύγη παράγει σε κάθε περίπτωση στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα. Με άλλα λόγια, το ενδιαφέρον των μαθητών/τριων διαφέρει μεταξύ των βαθμίδων, εκτός από την σύγκριση μεταξύ Γυμνασίου και Λυκείου όπου εκεί δεν υπάρχει στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα ($p > .05$).

7. Συμπεράσματα

Στην παρούσα έρευνα επιδιώχθηκε ο προσδιορισμός της σχολικής βαθμίδας στην οποία γίνονται περισσότερο κατανοητές έννοιες της Σύγχρονης Φυσικής, καθώς και η μελέτη αλλαγών στη στάση ή/και το ενδιαφέρον των μαθητών/τριων, διαμέσω μιας στοχευμένης διδακτικής παρέμβασης. Τα συμπεράσματα που καταγράφονται στη συνέχεια, στοχεύουν στην διατύπωση απαντήσεων σχετικά με τα ερευνητικά ερωτήματα της εργασίας.

7.1 Σύνοψη Αποτελεσμάτων για τις Γνώσεις των Μαθητών/τριων (ΕΕ.1, ΕΕ.2, ΕΕ.3, ΕΕ.4)

Σε γενικά πλαίσια, το σύνολο των υποκειμένων που συμμετείχαν στην παρούσα έρευνα φαίνεται να είχε χαμηλά έως μηδενικά επίπεδα γνώσεων σχετικά με τη Σύγχρονη Φυσική, πριν τη διδακτική παρέμβαση, γεγονός που συμφωνεί με τα αποτελέσματα των Kaur et al. (2017c). Βάσει των γραπτών απαντήσεων των μαθητών/τριων, προκύπτει ότι μεγάλο ποσοστό αυτών, σε κάθε σχολική βαθμίδα, αδυνατούσε να περιγράψει με επιστημονικό τρόπο τις έννοιες της *βαρύτητας* και του *φωτός*, ή στρεφόταν προς την Κλασική Φυσική και τη Νευτώνεια Μηχανική. Από τις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου του ερωτηματολογίου γνώσεων, επιτεύχθηκε ουσιαστική καταγραφή των απόψεων των παιδιών, αναδεικνύοντας ένα ευρύ φάσμα από εναλλακτικές ιδέες σχετικά με τις υπό εξέταση έννοιες (Σχήματα 5,9,10,11). Οι εναλλακτικές ιδέες επιβεβαιώθηκαν και στις περισσότερες ερωτήσεις κλειστού τύπου, αφού οι μαθητές/τριες προσπάθησαν να δώσουν μια απάντηση αποφεύγοντας σε μεγάλο βαθμό την επιλογή «Δεν γνωρίζω», ακόμα και πριν τη διδακτική παρέμβαση. Ενδεικτικά, η πλειοψηφία των συμμετεχόντων θεωρεί ότι δεν υπάρχει βαρύτητα στο διάστημα ή ότι το φως σαν έννοια ταυτίζεται με την πηγή του. Τα αποτελέσματα των απαντήσεων στο ερωτηματολόγιο γνώσεων πριν την παρέμβαση θεωρούνται – εν μέρει – αναμενόμενα διότι, κατά κοινή αποδοχή, οι μαθητές/τριες δεν διδάσκονται Σύγχρονη Φυσική, οπότε ερμηνεύουν τον κόσμο βάσει κλασικών αντιλήψεων, οι οποίες είναι συχνά λανθασμένες.

Στον αντίποδα, μετά τη διδασκαλία στα πλαίσια της έρευνας και την ενεργή συμμετοχή των μαθητών/τριων όλων των βαθμίδων σε πειραματικές διαδικασίες, διαπιστώθηκε ότι η πλειοψηφία των υποκειμένων κατανόησε σε ικανοποιητικό βαθμό τις θεωρίες της Νεότερης Φυσικής και μπορούσε με βάση αυτές να εξηγήσει καταστάσεις του κόσμου που μας περιβάλλει, όπως διαπιστώθηκε και σε παρόμοια έρευνα από τους Kaur et.

al. (2017c & 2020b). Οι εναλλακτικές ιδέες των συμμετεχόντων δεν εξαλείφθηκαν εντελώς αλλά υπήρξε στατιστικά σημαντική βελτίωση στις επιδόσεις τους. Ειδικότερα, σε κάθε σχολική βαθμίδα η σύγκριση των επιδόσεων των μαθητών/τριων πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση κατέληγε σε στατιστικά σημαντική διαφορά, σύμφωνα με την οποία η μέση βαθμολογία των υποκειμένων αυξήθηκε κατά μεγάλο βαθμό (Πίνακες 10,12,14). Επομένως, η διδακτική παρέμβαση είχε ως αποτέλεσμα την εννοιολογική αλλαγή και εκλαμβάνεται ως επιτυχημένη.

Πέραν των παραπάνω, έγινε σύγκριση των επιδόσεων των μαθητών/τριων μεταξύ των σχολικών βαθμίδων κατά την οποία προέκυψε ότι μετά την διδακτική παρέμβαση, οι βαθμολογίες στο Δημοτικό και το Γυμνάσιο δεν διέφεραν σημαντικά. Αντιθέτως, οι βαθμολογίες μεταξύ Δημοτικού - Λυκείου αλλά και Γυμνασίου - Λυκείου είχαν στατιστικά σημαντική διαφορά με τα υποκείμενα του Λυκείου να σημειώνουν μεγαλύτερη επίδοση (Πίνακας 17). Προβάλλεται, έτσι, ότι η εις βάθος διδασκαλία εννοιών της Φυσικής του Einstein θα ήταν πιο ωφέλιμο να εφαρμοστεί σε μαθητές/τριες Λυκείου. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα στις βαθμολογίες των νεότερων μαθητών/τριων υποδεικνύουν ότι ορισμένες βασικές ιδέες δύναται να εισαχθούν σε προγενέστερο στάδιο, ώστε τα παιδιά να αποκτήσουν μια εικόνα της Σύγχρονης Φυσικής. Παράλληλα, η θεμελίωση ενός σύγχρονου εννοιολογικού υποβάθρου δίνει τη δυνατότητα οι μαθητές/τριες να κατανοήσουν με μεγαλύτερη ευκολία το σύνολο των σύγχρονων εννοιών, μελλοντικά. Η τελευταία τοποθέτηση συνάδει και με τους Choudhary et al. (2020).

Επιπλέον, μελετήθηκε κατά πόσο οι επιδόσεις των μαθητών σχετίζονται με το φύλο, με τα αποτελέσματα να αποδεικνύουν ότι πριν την παρέμβαση δεν διακρίνεται σχετική διαφορά, ενώ μετά από αυτήν, παρατηρείται ότι τα κορίτσια κατανόησαν τις έννοιες της Νεότερης Φυσικής σε μεγαλύτερο βαθμό. Το αποτέλεσμα αυτό αντιτίθεται στην γενικότερη επικρατούσα άποψη ότι τα αγόρια έχουν μεγαλύτερη κλίση προς τις ΦΕ σε σύγκριση με τα κορίτσια. Η παρατήρηση αφορά κυρίως στο Δημοτικό και το Γυμνάσιο, με τα αποτελέσματα να συνάδουν με άλλες έρευνες της διεθνούς βιβλιογραφίας (Choudhary et al., 2018 · Choudhary et al., 2020 · Dua et al., 2020 · Kaur et al., 2020a). Σύμφωνα με τους Kaur et al. (2020a), τα αίτια της υψηλότερης επίδοσης των κοριτσιών σε σχέση με των αγοριών δεν είναι σαφή. Οι ίδιοι συγγραφείς αναφέρουν ότι η επιλογή των συγκεκριμένων μοντέλων και αναλογιών στα πλαίσια της διερευνητικής μάθησης αλλά και η διατύπωση των ερωτήσεων στο ερωτηματολόγιο γνώσεων, μπορεί να ήταν οι αιτίες που επέφεραν το

συγκεκριμένο αποτέλεσμα. Αντίθετα, οι συμμετέχοντες/ουσες μαθητές/τριες Λυκείου κατείχαν παρόμοιες βαθμολογίες.

7.2 Σύνοψη Αποτελεσμάτων για Στάσεις και Ενδιαφέρον των Μαθητών/τριων (ΕΕ.5)

Τα ερωτηματολόγια των στάσεων και του ενδιαφέροντος αποτελούνταν από προτάσεις σε πεντάβαθμη κλίμακα (Likert). Όσων αφορά τις στάσεις των μαθητών/τριων ενώπιον ζητημάτων που εξετάζονται στην παρούσα έρευνα, τα αποτελέσματα υπέδειξαν ότι πριν την παρέμβαση, η πλειοψηφία είχε θετική στάση. Σε κάθε σχολική βαθμίδα, η μέση βαθμολογία κατατάσσεται στην κατηγορία «Συμφωνώ», δηλαδή τα παιδιά παρουσιάζονται ως θετικά απέναντι στις δηλώσεις του ερωτηματολογίου (Πίνακες 18,20,22). Μετά την παρέμβαση, σημειώθηκε στατιστικά σημαντική βελτίωση των στάσεων μαθητών/τριων Δημοτικού και Λυκείου και μια χαμηλή βελτίωση στις στάσεις των μαθητών/τριων του Γυμνασίου. Τα score που σημειώθηκαν πριν την παρέμβαση ήταν αρκετά υψηλά και ο λόγος είναι ότι τα παιδιά φαίνεται να αναγνωρίζουν την αξία της Φυσικής του Einstein και της διερευνητικής μάθησης, χωρίς απαραίτητα να τα διδάσκονται στο πρόγραμμα σπουδών τους (Kaur et al., 2017c · Kaur et al., 2020b). Επιπλέον, αναδύεται ότι μετά την παρέμβαση, οι στάσεις των μαθητών/τριων ήταν παρόμοιες μεταξύ Δημοτικού – Λυκείου και Γυμνασίου – Λυκείου, αλλά στο Γυμνάσιο σημειώθηκαν υψηλότερα score σε σχέση με το Δημοτικό.

Στο δε ερωτηματολόγιο περί ενδιαφέροντος, παρατηρείται ότι οι μαθητές/τριες είναι ουδέτεροι, αλλά η βελτίωση μετά τη διδακτική παρέμβαση είναι στατιστικά σημαντική, ήτοι η διδασκαλία επηρέασε θετικά το ενδιαφέρον των παιδιών προς τις ΦΕ. Επιπλέον, φαίνεται ότι η «σχολική βαθμίδα» και το «ενδιαφέρον» συμπεριφέρονται αντιστρόφως ανάλογα τόσο πριν όσο και μετά την παρέμβαση. Καταγράφεται, λοιπόν, ότι η συγκέντρωση ενδιαφέροντος στο Δημοτικό είναι μεγαλύτερη από εκείνη του Γυμνασίου, με τελική κατάταξη σε score από μαθητές/τριες Λυκείου (Πίνακας 34). Το εύρημα αυτό συνάδει με τη μελέτη των Osborne et al. (2003), Hasni & Potvin (2015) και van Griethuijsen et al. (2015). Η προοδευτική έλλειψη ενδιαφέροντος μπορεί πιθανόν να οφείλεται στα προγράμματα σπουδών αλλά και τις εφαρμοζόμενες εκπαιδευτικές μεθόδους.

Εν κατακλείδι, στα πλαίσια της παρούσης μεταπτυχιακής εργασίας, η διεξαγωγή έρευνα προτίθεται να υποστηρίξει τους μαθητές/τριες στην επαφή τους με τη Σύγχρονη Φυσική, να εντείνει το ενδιαφέρον τους και να «ζωντανέψει» τις θεωρίες του Einstein. Προς την εκπλήρωση του σκοπού, έγινε μία προσπάθεια προσαρμογής των νέων θεωριών για τη *βαρύτητα* και το *φως*, σε παιδαγωγικά εργαλεία που είναι δυνατόν να γίνουν κατανοητά από

τους μαθητές/τριες. Άλλωστε, όπως απεδείχθη, με τη χρήση μοντέλων και αναλογιών, η διδασκαλία της Σύγχρονης Φυσικής δεν υστερεί σε καμία περίπτωση συγκριτικά με αυτήν της Κλασικής Φυσικής. Οι σύγχρονες έννοιες μπορούν να γίνουν κατανοητές από μαθητές/τριες όλων των ηλικιών, με αποτέλεσμα το μάθημα της Φυσικής να είναι δυνατόν να προσαρμοστεί σε πιο εκσυγχρονισμένο πλαίσιο. Τα συμπεράσματα, όπως προκύπτουν, ενισχύουν τις απόψεις άλλων ερευνητών όσων αφορά τη διδασκαλία της Σύγχρονης Φυσικής (Kersting & Steier, 2018 · Choudhary et al., 2020 · Dua et al., 2020 · Kaur et al., 2020b · Adams et al., 2021).

8. Περιορισμοί – Προτάσεις Μελλοντικής Έρευνας

Στα πλαίσια της μεταπτυχιακής εργασίας, η έρευνα συνοδεύεται από εγγενείς περιορισμούς, ορισμένοι από τους οποίους αναλύθηκαν σε προηγούμενες ενότητες. Αρχικά, τα μοντέλα και οι αναλογίες που αξιοποιήθηκαν περιείχαν κάποιες παραδοχές – σφάλματα που ενδέχεται να δημιουργήσαν προβλήματα στην κατανόηση των εννοιών από τους μαθητές/τριες. Επιπλέον, το δείγμα των μαθητών/τριων επιλέχθηκε με βάση την δυνατότητα συνεργασίας και όχι με την ακριβή τυχαιότητα που διακρίνει την ερευνητική διαδικασία της δειγματοληψίας. Το γεγονός ότι όλοι οι μαθητές προέρχονταν από σχολεία του Νομού Ιωαννίνων και μόνον, ενδέχεται να αποτελέσει ανασταλτικό παράγοντα για τις συγκρίσεις των τελικών αποτελεσμάτων.

Με βάση τα παραπάνω, προτείνεται οι επερχόμενες έρευνες να προσπαθήσουν να εξαλείψουν ορισμένους, τουλάχιστον, από τους παραπάνω περιορισμούς, επιλέγοντας μεγαλύτερο δείγμα μαθητών/τριων, από διάφορες πόλεις της Ελλάδας. Επιπροσθέτως, ωφέλιμο θα ήταν αν η διδακτική παρέμβαση εφαρμοζόταν και στις υπόλοιπες τάξεις της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης για πληρέστερες συγκρίσεις μεταξύ των σχολικών βαθμίδων. Ακρογωνιαίο λίθο αποτελεί η εξέλιξη της διδασχής με την εισαγωγή επιπλέον ζητημάτων της Νεότερης Φυσικής. Ο χρόνος διδασκαλίας σε κάθε διδακτική ενότητα προτείνεται να αυξηθεί, σε σχέση με αυτόν της παρούσας έρευνας, ώστε να δοθεί χρονικό περιθώριο στους μαθητές/τριες για να αφομοιώσουν τη γνώση και να αξιολογήσουν τη Σύγχρονη Φυσική. Η παραπάνω πρόταση καθίσταται επιτακτική για τους μαθητές/τριες του Δημοτικού και Γυμνασίου. Επίσης, πρόκληση αποτελεί η έρευνα και η μελέτη των μαθηματικών όρων και εξισώσεων που θα ήταν δυνατόν να διδαχθούν οι μαθητές/τριες σε κάθε τάξη που φοιτούν. Τέλος, ερευνητικό ενδιαφέρον ενέχει η μελέτης πιλοτικής ένταξης τουλάχιστον ενός θέματος της Σύγχρονης Φυσικής στο πρόγραμμα σπουδών χαμηλών σχολικών βαθμίδων (π.χ. Στ' Δημοτικού ή Α' Γυμνασίου), με στόχο την καταγραφή ολοκληρωμένων συμπερασμάτων.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Abed, O.H. (2016). Drama-Based Science Teaching and Its Effect on Students' Understanding of Scientific Concepts and Their Attitudes towards Science Learning. *International Education Studies*, 9(10), 163–173. Doi: 10.5539/ies.v9n10p163
- Adams, K., Dattatri, R., Kaur, T. & Blair, D. (2021). Long-term impact of a primary school intervention on aspects of Einsteinian physics. *Physics Education*, 56, 055031. Doi: 10.1088/1361-6552/ac12a9
- Agranovich, S. & Assaraf, O. B-Z. (2013). What Makes Children Like Learning Science? An Examination of the Attitudes of Primary School Students towards Science Lessons. *Journal of Education and Learning*, 2(1), 55 – 69. Doi: 10.5539/jel.v2n1p55
- Aguilera, D. & Perales-Palacios, F. G. (2020). What Effects Do Didactic Interventions Have on Students' Attitudes Towards Science? A Meta-Analysis. *Research in Science Education*, 50, 573 – 597. Doi: 10.1007/s11165-018-9702-2
- Alstein, P., Krijtenburg-Lewerissa, K., & van Joolingen, W.R. (2020). Teaching and learning special relativity theory in secondary and lower undergraduate education: A literature review. *Physical Review Physics Education Research*, 17, 023101. Doi: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.023101
- Alvarez – Alvarado, M.S., Mora, C. & Cevallos – Reyes, C.B. (2019). Peer instruction to address alternative conceptions in Einstein's special relativity. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 41(4), e20190008. Doi: 10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0008

- Arriasecq, I. & Greca, I.M. (2007). Approaches to the Teaching of Special Relativity Theory in High School and University Textbooks of Argentina. *Science Education*, 16, 65–86. Doi: 10.1007/s11191-005-5387-9
- Asikainen, M.A. & Hirvonen, P.E. (2014). Thought Experiments in Science and in Science Education. In M.R. Matthews (Eds.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 1235 – 1256). Dordrecht: Springer. Doi: 10.1007/978-94-007-7654-8_38
- Baldy, E. (2007). A New Educational Perspective for Teaching Gravity. *International Journal of Science Education*, 29(14), 1767-1788. Doi: 10.1080/09500690601083367
- Bandyopadhyay, A. & Kumar, A. (2010). Probing students' understanding of some conceptual themes in general relativity. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 6(2), 020104. Doi: 10.1103/PhysRevSTPER.6.020104
- Baram-Tsabari, A. & Yarden, A. (2009). Identifying Meta-Clusters of Students' Interest in Science and Their Change with Age. *Journal Of Research In Science Teaching*, 46(9), 999–1022. Doi: 10.1002/tea.20294
- Blankenburg, J. S., Hoffler, T. N. & Parchmann, I. (2015). Fostering Today What is Needed Tomorrow: Investigating Students' Interest in Science. *Science Education*, 100, 364-391. Doi: 10.1002/sce.21204
- Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2022, December 21). *quantum*. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/quantum>
- Brown, J. D. (2002). The Cronbach alpha reliability estimate. *Shiken: JALT Testing & Evaluation SIG Newsletter*, 6(1), 17 – 18.

- Çetinkaya, M. & Tas, E. (2015). Developing, Implementing, Evaluation of an Attitude Scale for Towards Science and Technology Education. *Journal of Education and Human Development*, 4(2). Doi: 10.15640/jehd.v4n2a18
- Chen, J. A., Tutwiler, M. S., Metcalf, S. J., Kamarainen, A., Grotzer, T. & Dede, C. (2016). A multi-user virtual environment to support students' self-efficacy and interest in science: a latent growth model analysis. *Learning and Instruction*, 41, 11–22. Doi: 10.1016/j.learninstruc.2015.09.007
- Cherepashchuk, A.M. & Chernin, A.D. (2008). Modern cosmology: Facts and ideas. *Moscow University Physics Bulletin*, 63(5), 299–314. Doi: 10.3103/S0027134908050019
- Choudhary, R., Foppoli, A., Kaur, T., Blair, D., Burman, R.R., & Zadnik, M.G. (2020). A Comparison of Short and Long Einsteinian Physics Intervention Programmes in Middle School. *Research in Science Education*, 52, 305-324. Doi: 10.1007/s11165-020-09944-8
- Choudhary, R., Foppoli, A., Kaur, T., Blair, D., Zadnik, M. & Meagher, R. (2018). Can a short intervention focused on gravitational waves and quantum physics improve students' understanding and attitude?. *Physics Education*, 53, 065020. Doi: 10.1088/1361-6552/aae26a
- Clark, V. L. P. & Creswell, J. W. (2008). *The mixed methods reader*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Coll, R.K., France, B. & Taylor, I. (2005). The role of models/and analogies in science education: implications from research. *International Journal of Science Education*, 27(2), 183-198. Doi: 10.1080/0950069042000276712

- Deci, E. L., Eghrari, H., Patrick, B. C. & Leone, D. R. (1994). Facilitating internalization: the self-determination theory perspective. *Journal of Personality*, 62(1), 119–142. Doi: 10.1111/j.1467-6494.1994.tb00797.x
- Dua, Y.S., Blair, D.G., Kaur, T. & Choudhary, R.K. (2020). Can Einstein's Theory of General Relativity be taught to Indonesian high school students?. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia – Indonesian Journal of Science Education*, 9(1), 50 – 58. Doi: 10.15294/jpii.v9i1.22468
- Ehlers, J. (2007). General Relativity Theory. In: Stamatescu, IO., Seiler, E. (eds) *Approaches to Fundamental Physics*. Lecture Notes in Physics, 721. Berlin, Heidelberg: Springer. Doi: 10.1007/978-3-540-71117-9_5
- Ellis, G.F.R. (2014). On the philosophy of cosmology. *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 46(1), 5-23. Doi: 10.1016/j.shpsb.2013.07.006
- Ferraro, R. (2007). *Einstein's space-time: An introduction to special and general relativity*. New York: Springer. Doi: 10.1007/978-0-387-69947-9
- Fetherstonhaugh, A. R., Happs, J., & Treagust, D. (1987). Student misconceptions about light: a comparative study of prevalent views found in Western Australia, France New Zealand, Sweden and the United States. *Research in Science Education*, 17(1), pp 156-164. Doi: 10.1007/BF02357183
- Fischler, H. & Lichtfeldt, M. (1992). Modern physics and students' conceptions. *International Journal of Science Education*, 14(2), 181-190. Doi: 10.1080/0950069920140206

- Foppoli, A., Choudhary, R., Blair, D., Kaur, T., Moschilla, J. & Zadnik, M. (2019). Public and teacher response to Einsteinian physics in schools. *Physics Education*, 54, 015001. Doi: 10.1088/1361-6552/aae4a4
- Galili, I. (2014). Teaching Optics: A Historico-Philosophical Perspective. In M.R. Matthews (Eds.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 97 – 128). Dordrecht: Springer. Doi: 10.1007/978-94-007-7654-8_4
- Gilbert, J.K. (1999). On the explanation of change in Science and Cognition. *Science and Education*, 8, 543 – 557. Doi: 10.1023/A:1008648425947
- Gkiolmas, A., Stoumpa, A., Lazos, P., Skordoulis, C., Chalkidis, A., Michalopoulos, V. & Balwit, J. (2021). An instructional method, based on POE (Predict-Observe-Explain), for teaching two basic wave properties and the wave nature of light. *Journal of Physics: Conference Series*, 1929 012086. Doi: 10.1088/1742-6596/1929/1/012086
- 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. Doi: 10.1007/s10956-007-9083-1
- Greca, I.M. & Freire, O. (2014). Meeting the Challenge: Quantum Physics in Introductory Physics Courses. In M.R. Matthews (Eds.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 183 – 209). Dordrecht: Springer. Doi: 10.1007/978-94-007-7654-8_7
- Griffiths, R.B. (2014). The New Quantum Logic. *Foundations of Physics*, 44, 610–640. Doi: 10.1007/s10701-014-9802-4
- Günther, H. & Müller, V. (2020). *The Special Theory of Relativity: Einstein's World in New Axiomatics*. Singapore: Springer. Doi: 10.1007/978-981-13-7783-9

- Hasni, A. & Potvin, P. (2015). Student's Interest in Science and Technology and its Relationships with Teaching Methods, Family Context and Self-Efficacy. *International Journal of Environmental & Science Education*, 10(3), 337-366. Doi: 10.12973/ijese.2015.249a
- Hawking, S. (2014). Singularities and the geometry of spacetime. *The European Physical Journal H*, 39, 413–503. Doi: 10.1140/epjh/e2014-50013-6
- Henriksen, E. (2022). Arthur Compton and the mysteries of light. *Physics Today*, 75(12), 44-50. Doi: 10.1063/PT.3.5139
- Hentschel, K. (2018). *Photons: The History and Mental Models of Light Quanta*. Verlag: Springer. Doi: 10.1007/978-3-319-95252-9
- Hewitt, P. G. (2002). *Conceptual physics (9th edition)*. Addison Wesley Longman, Pearson Education, Inc.
- Hofstein, A. & Mamlok-Naaman, R. (2011). High-School Students' Attitudes toward and Interest in Learning Chemistry. *Educación química*, 22(2), 90-102. Doi: 10.1016/S0187-893X(18)30121-6
- Hubber, P. (2006). Year 12 Students' Mental Models of the Nature of Light. *Research in Science Education*, 36, 419–439. Doi: 10.1007/s11165-006-9013-x
- Jones, M. G., Howe, A. & Rua, M. J. (2000). Gender Differences in Students' Experiences, Interests, and Attitudes toward Science and Scientists. *Science Education*, 84(2), 180 – 192. Doi: 10.1002/(SICI)1098-237X(200003)84:2<180::AID-SCE3>3.0.CO;2-X
- Kamphorst, F., Vollebregt, M.J., Savelsbergh, E.R. & van Joolingen, W. R. (2023). An Educational Reconstruction of Special Relativity Theory for Secondary Education. *Science & Education*, 32, 57–100. Doi: 10.1007/s11191-021-00283-2

- Kaur, T., Blair, D., Moschilla, J., Stannard, W. & Zadnik, M. (2017a). Teaching Einsteinian physics at schools: part 1, models and analogies for relativity. *Physics Education*, 52(6) 065012. Doi: 10.1088/1361-6552/aa83e4
- Kaur, T., Blair, D., Moschilla, J. & Zadnik, M. (2017b). Teaching Einsteinian physics at schools: part 2, models and analogies for quantum physics. *Physics Education*, 52(6) 065013. Doi: 10.1088/1361-6552/aa83e1
- Kaur, T., Blair, D., Moschilla, J., Stannard, W. & Zadnik, M. (2017c). Teaching Einsteinian physics at schools: part 3, review of research outcomes. *Physics Education*, 52(6) 065014. Doi: 10.1088/1361-6552/aa83dd
- Kaur, T., Blair, D., Choudhary, R. K., Dua, Y. S., Foppoli, A., Treagust, D. & Zadnik, M. (2020a). Gender response to Einsteinian physics interventions in school. *Physics Education*, 55(3), 035029. Doi: 10.1088/1361-6552/ab764d
- Kaur, T., Blair, D., Stannard, W., Treagust, D., Venville, G., Zadnik, M., Mathews, W. & Perks, D. (2020b). Determining the Intelligibility of Einsteinian Concepts with Middle School Students. *Research in Science Education*, 50, 2505–2532. Doi: 10.1007/s11165-018-9791-y
- Kavanagh, C. & Sneider, C.I. (2006). Learning about Gravity II. Trajectories and Orbits: A Guide for Teachers and Curriculum Developers. *Astronomy Education Review*, 5(2), 53-102. Doi: 10.3847/AER2006019
- Kersting, M. (2019). Free fall in curved spacetime-how to visualise gravity in general relativity. *Physics Education*, 54(3) 035008. Doi: 10.1088/1361-6552/ab08f5

- Kersting, M. & Steier, R. (2018). Understanding Curved Spacetime - The Role of the Rubber Sheet Analogy in Learning General Relativity. *Science & Education*, 27, 793-623. Doi: 10.1007/s11191-018-9997-4
- Kersting, M., Toellner, R., Blair, D. & Burman, R. (2020). Gravity and warped time—clarifying conceptual confusions in general relativity. *Physics Education*, 55(1) 015023. Doi: 10.1088/1361-6552/ab56d7
- Klassen, S. (2011). The Photoelectric Effect: Reconstructing the Story for the Physics Classroom. *Science & Education*, 20, 719-731. Doi: 10.1007/s11191-009-9214-6
- Koballa, T. R. & Glynn, S. M. (2007). Attitudinal and Motivational Constructs in Science Learning. In: S. Abell., & N. Lederman (Eds.). *Handbook of Research on Science Education* (pp. 75-102), Mahwah, New Jersey: LEA Publishers.
- Koka, A. & Hein, V. (2003). Perceptions of teacher's feedback and learning environment as predictors of intrinsic motivation in physical education. *Psychology of Sport and Exercise*, 4(4), 333–346. Doi: 10.1016/S1469-0292(02)00012-2
- Kotsis, K. & Panagou, D. (2022). Using Alternative Ideas for Determining the Learning Curve on the Concept of Force. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 10(4), 495–506. Doi: 10.30935/scimath/12251
- Lederman, N. G. (2007). Nature of Science: Past, Present, and Future. In S. K. Abell & N.G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 831 – 879). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Levrini, O. (2014). The Role of History and Philosophy in Research on Teaching and Learning of Relativity. In M.R. Matthews (Eds.), *International Handbook of Research*

in History, Philosophy and Science Teaching (pp. 157 – 181). Dordrecht: Springer. Doi:
10.1007/978-94-007-7654-8_6

Mannila, K., Koponen, I. T. & Niskanen, J. A. (2002). Building a picture of students' conceptions of wave- and particle-like properties of quantum entities. *European Journal of Physics*, 23, 45 – 53. Doi: 10.1088/0143-0807/23/1/307

Matthews, M. (1988). Ernst Mach and thought experiments in science. *Research in science education*, 18, 251– 257.

McGrath, D., Savage, C., Williamson, M., Wegener, M. & McIntyre, T. (2008). Teaching Special Relativity using Virtual Reality. In A. Hugman and K. Placing (Eds), *Symposium Proceedings: Visualisation and Concept Development, UniServe Science, The University of Sydney*, October 2-3-2008 (pp 67–73). Sydney: UniServe Science

Mertens, D. M. (2014). *Research and evaluation in education and psychology: Integrating diversity with quantitative, qualitative, and mixed methods*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

Müller, J., Soffel, M. & Klioner, S.A. (2008). Geodesy and relativity. *J Geod*, 82, 133–145. Doi: 10.1007/s00190-007-0168-7

Nik Daud, N. S., Abd Karim, M. M., Wan Hassan, S. W. N., & Rahman, N. A. (2015). Misconception and Difficulties in Introductory Physics Among High School and University Students: An Overview in Mechanics. *EDUCATUM Journal of Science, Mathematics and Technology*, 2(1), 34–47. Retrieved from <https://ejournal.upsi.edu.my/index.php/EJSMT/article/view/26>

Novak, E. & Wisdom, S. (2018). Effects of 3D Printing Project-based Learning on Preservice Elementary Teachers' Science Attitudes, Science Content Knowledge, and

- Anxiety about Teaching Science. *Journal of Science Education and Technology*, 27, 412–432. Doi: 10.1007/s10956-018-9733-5
- Olsen, R.V. (2002) Introducing quantum mechanics in the upper secondary school: A study in Norway. *International Journal of Science Education*, 24(6), 565–574. Doi: 10.1080/09500690110073982
- Önder, F. (2016). Development and validation of the photoelectric effect concept inventory. *European Journal of Physics*, 37, 055709. Doi: 10.1088/0143-0807/37/5/055709
- Osborne, J., Simon, S. & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049-1079. Doi: 10.1080/0950069032000032199
- Özcan, Ö. (2015). Investigating students' mental models about the nature of light in different contexts. *European Journal of Physics*, 36(6), 065042. Doi: 10.1088/0143-0807/36/6/065042
- Pablico, J.R. (2010). *Misconceptions on force and gravity among high school students*, Master's Theses, LSU. 2462.
- Pantazis, S., Stylos, G., Kotsis, K. & Georgopoulos, K. (2021). The effect of 3D Printing technology on primary school students' content knowledge, anxiety and interest toward science. *International Journal of Educational Innovation*, 3(1), 38 – 50.
- Passmore, C., Gouvea, J.S. & Giere, R. (2014). Models in Science and in Learning Science: Focusing Scientific Practice on Sense-making. In M.R. Matthews (Eds.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 1171 – 1202). Dordrecht: Springer. Doi: 10.1007/978-94-007-7654-8_36

- Passon, O. (2022). The Quasi-History of Early Quantum Theory. *Physics*, 4(3), 880–891.
Doi: 10.3390/physics4030057
- Pitts, M., Venville, G., Blair, D. & Zadnik, M. (2014). An exploratory study to investigate the impact of an enrichment program on aspects of Einsteinian physics on year 6 students. *Research in Science Education*, 44, 363–388. Doi: 10.1007/s11165-013-9386-6
- Postiglione, A. & Angelis, I.D. (2021). Students’ understanding of gravity using the rubber sheet analogy: an Italian experience. *Physics Education*, 56, 025020, (pp11). Doi: 10.1088/1361-6552/abd1c4
- Pyenson, L. (2008). Physical sense in relativity: Max Planck edits the *Annalen der Physik*, 1906–1918. *Annalen der Physik*, 17 (2 – 3), 176 – 189. Doi: 10.1002/andp.200710267
- Rablau, C.I., Ramabadran, U.B., Book, B., & Cunningham, R. (2019). The photoelectric effect: project-based undergraduate teaching and learning optics through a modern physics experiment redesign. *Fifteenth Conference on Education and Training in Optics and Photonics: ETOP 2019*. Doi: 10.1117/12.2523860
- Raviv, A., Cohen, S. & Aflalo, E. (2019). How Should Students Learn in the School Science Laboratory? The Benefits of Cooperative Learning. *Research in Science Education*, 49, 331 – 345. Doi: 10.1007/s11165-017-9618-2
- Serway, R., Moses, C.J. & Moyer, C.A. (2018). *Σύγχρονη Φυσική*. Ηράκλειο, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης
- Singh, K. (2007). *Quantitative social research methods*. SAGE Publications India Pvt Ltd.
Doi: 10.4135/9789351507741

- Sneider, I.C. & Ohadi, M.M. (1998). Unraveling students' misconceptions about the earth's shape and gravity. *Science Education*, 82(2), 265-84. Doi: 10.1002/(SICI)1098-237X(199804)82:2<265::AID-SCE8>3.0.CO;2-C
- Sözen, E. & Güven, U. (2019). The Effect of Online Assessments on Students' Attitudes Towards Undergraduate-Level Geography Courses. *International Education Studies*, 12(10), 1 – 8. Doi: 10.5539/ies.v12n10p1
- Sokolowski, A. (2013). Teaching the photoelectric effect inductively. *Physics Education*, 48(1), 35 – 41. Doi: 10.1088/0031-9120/48/1/35
- Spagnolo, G.S., Postiglione, A. & Angelis, I.D. (2020). Simple equipment for teaching internal photoelectric effect. *Physics Education*, 55(5) 055011. Doi: 10.1088/1361-6552/ab97bf
- Stopher, P. (2012). Pilot surveys and pretests. In *Collecting, Managing, and Assessing Data Using Sample Surveys* (pp. 251-264). Cambridge: Cambridge University Press. Doi: 10.1017/CBO9780511977893.012
- Stuewer, R. H. (2000). The Compton effect: transition to quantum mechanics. *Annalen der Physik*, 512 (11-12), 975-989. Doi: 10.1002/andp.200051211-1216
- Stuewer, R. H. (2005). Einstein's revolutionary light-quantum hypothesis. *Acta Physica Polonica B*, 37(3), 543 – 558.
- Swarat, S., Ortony, A. & Revelle, W. (2012). Activity Matters: Understanding Student Interest in School Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(4), 515 – 537. Doi: 10.1002/tea.21010

- Syuhendri, S. (2019, April). Student teachers' misconceptions about gravity. *Journal of Physics: Conference Series*, 1185(1), p. 012047. IOP Publishing. Doi: 10.1088/1742-6596/1185/1/012047
- Taslidere, E. (2016). Development and use of a three-tier diagnostic test to assess high school students' misconceptions about the photoelectric effect. *Research in Science & Technological Education*, 34(2), 164-186. Doi: 10.1080/02635143.2015.1124409
- Thomas, R. M. & Brubaker, D. L. (2001). *Avoiding Thesis and Dissertation Pitfalls: 61 Cases of Problems and Solutions*. Westport, CT: Bergin & Garvey.
- van Griethuijsen, R.A.L.F., van Eijck, M.W., Haste, H., den Brok, P. J., Skinner, N. C., Mansour, N., Gencer, A. S. & BouJaoude, S. (2015). Global Patterns in Students' Views of Science and Interest in Science. *Research in Science Education*, 45, 581–603. Doi: 10.1007/s11165-014-9438-6
- Velentzas, A. & Halkia, K. (2013). The Use of Thought Experiments in Teaching Physics to Upper Secondary-Level Students: Two examples from the theory of relativity. *International Journal of Science Education*, 35(18), 3026-3049. Doi: 10.1080/09500693.2012.682182
- Voudoukis, N. (2018). Design, Description, Implementation and Assessment of a Multimedia Application with Simulations for Teaching Models of Light. *EJERS, European Journal of Engineering Research and Science*, 3(7), 81 – 87. Doi: 10.24018/ejers.2018.3.7.823
- Widiyatmoko, A., & Shimizu, K. (2018). Literature review of factors contributing to students' misconceptions in light and optical instruments. *International Journal of Environmental and Science Education*, 13(10), pp 853-863.

- Williamson, K.E. & Willoughby, S.D. (2012). Student Understanding of Gravity in Introductory College Astronomy. *Astronomy Education Review*, 11(1), 1-26. Doi: 10.3847/AER2011025
- Young, H. D. & Freedman, R. A. (2012). Σχετικότητα. Στους Ε. Α. Δρης, Η. Σ. Ζουμπούλης, Η. Κ. Κατσούφης, Γ. Α. Κουρούκλης, Ε. Κ. Μάνεσης, Κ. Ε. Παρασκευαΐδης, Μ. Ν. Πιζάνιας & Κ. Χριστοδουλίδης (Επιμ.), *Πανεπιστημιακή Φυσική με Σύγχρονη Φυσική: Τόμος Γ, Θερμοδυναμική – Σύγχρονη Φυσική, 2^η Ελληνική Έκδοση* (σσ. 640-1714). Αθήνα: Παπαζήση
- Zeidler, E. (2016). Phenomenology of the Standard Model for Elementary Particles. *Quantum Field Theory I: Basics in Mathematics and Physics: A Bridge between Mathematicians and Physicists* (pp. 99-115). Berlin, Heidelberg: Springer. Doi: 10.1007/978-3-540-34764-4
- Zeilinger, A. (2017). Light for the quantum. Entangled photons and their applications: a very personal perspective. *Physica Scripta*, 92(7), 072501. Doi: 10.1088/1402-4896/aa736d
- Αλεξάκης Ν., Αμπατζής Στ., Γκουγκούσης Γ., Κουντούρης Β., Μοσχοβίτης Ν., Οβαδίας Σ., Πετρόχειλος Κλ., Σαμπράκος Μ., Ψαλίδας Α., Γεωργάκος Π., Σκαλωμένος Α., Σφαρνάς Ν. & Χριστακόπουλος Ι. (2013). *Φυσική Β Γενικού Λυκείου Γενικής Παιδείας*. Αθήνα: ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ
- Αντωνίου, Ν., Δημητριάδης, Π., Καμπούρης, Κ., Παπαμιχάλης, Κ. & Παπασιμίπα, Λ. (2016). *Φυσική*, Γ Γυμνασίου. Αθήνα: ΙΤΥΕ - Διόφαντος
- Αποστολάκης, Ε., Παναγοπούλου, Ε., Σάββας, Σ., Τσαγλιώτης, Ν., Μακρή, Β., Πανταζής, Γ., Πετρέα, Κ., Σωτηρίου, Σ., Τόλιας, Β., Τσαγκογέωργα, Α. & Καλκάνης, Γ. (χ.η.).

«Φυσικά» Ε' Δημοτικού: Ερευνώ και Ανακαλύπτω, Βιβλίο Μαθητή. Αθήνα: ΙΤΥΕ - Διόφαντος

Δημόπουλος, Β. (2005). *Εκπαίδευση με Τεχνολογίες Πληροφόρησης στις Φυσικές Επιστήμες – Προτάσεις και εφαρμογές Κβαντικών προσεγγίσεων* (Αδημοσίευτη Διδακτορική Διατριβή). Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα

Εμβλωτής, Α. (2023). *Εκπόνηση & Αξιολόγηση Εκπαιδευτικού Εναλλακτικού Υλικού για την επεξεργασία και την ανάλυση ερευνητικών δεδομένων*. Ανακτήθηκε στις 04/04/23 από το URL: <http://sped.edu.uoi.gr/>

Ιωάννου Α., Ντάνος Ι., Πήττας Α. & Ράπτης Σ. (1999). *Φυσική Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης Γ τάξης Γενικού Λυκείου*, Αθήνα: ΟΕΔΒ

Κασσέτας, Α.Ι. (2004). *Το μήλο και του κουάρκ: Διδακτική της Φυσικής*. Αθήνα: Σαββάλας

Στύλος, Γ. (2014). *Στάσεις και πρακτικές των εκπαιδευτικών πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης σχετικά με τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών* (Διδακτορική Διατριβή). Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Ιωάννινα. Doi: 10.12681/eadd/36692

Στύλος, Γ. & Κώτσης, Κ. (2016). Εμπιστοσύνη εκπαιδευτικών Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης για τις γνώσεις περιεχομένου και της διδακτικής μεθοδολογίας των Φυσικών Επιστημών. *Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών: Έρευνα και Πράξη*, Vol 56–57, 8–24.

Παράρτημα Α: Έντυπα ενημέρωσης και συναίνεσης για συμμετοχή στην έρευνα

Έντυπο Χορήγησης Αδείας Για Διεξαγωγή Ερευνάς

Αξιότιμη κα. Διευθύντρια / Αξιότιμε κ. Διευθυντή

Με αυτή την επιστολή παρακαλώ για τη συναίνεσή σας ως προς τη διεξαγωγή έρευνας που μελετά ποια είναι η καλύτερη εκπαιδευτική βαθμίδα στην οποία μπορούν να εισαχθούν έννοιες της Σύγχρονης Φυσικής – Φυσική του Einstein. Μετά το τέλος της μελέτης ενδεχομένως να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα, τα οποία θα διευκολύνουν το σχολείο σας να βελτιώσει την ποιότητα των προσφερόμενων υπηρεσιών του.

Σχετικά με τη διαδικασία της μελέτης, θα συγκεντρωθούν δεδομένα μέσω ερωτηματολογίου που επισυνάπτεται, τα οποία θα είναι και τα μοναδικά που θα συλλεχθούν για τη διεξαγωγή της μελέτης. Η διάρκεια απασχόλησης των συμμετεχόντων δε θα ξεπεράσει τις τρεις διδακτικές ώρες. Η έρευνα θα γίνει κατά τη διάρκεια του σχολικού ωραρίου, σε τάξη του σχολείου σας, με την παρουσία των εκπαιδευτικών που εργάζονται στα τμήματα που θα συμμετάσχουν στην έρευνα.

Δεν υπάρχουν κίνδυνοι ή δυσθιαθεσίες που σχετίζονται με αυτή τη μελέτη. Οι αναμενόμενες ωφέλειες από τη συμμετοχή των μαθητών/τριών σας στην έρευνα αφορούν πληροφορίες που θα δώσουν οι συμμετέχοντες σχετικά με έννοιες της Φυσικής αλλά και το ενδιαφέρον τους προς τις Φυσικές Επιστήμες.

Μετά την ολοκλήρωση της έρευνας θα χαρώ να μοιραστώ τα ευρήματά μαζί σας. Μη διστάσετε να επικοινωνήσετε μαζί μου για οποιαδήποτε ερώτηση, πριν συναινέσετε για την πραγματοποίηση της έρευνας. Παρακαλώ, υπογράψτε αυτό το έντυπο συναίνεσης. Με την υπογραφή σας δηλώνετε ότι έχετε πλήρη γνώση του χαρακτήρα και του σκοπού των διαδικασιών. Θα σας δοθεί αντίγραφο αυτού του εντύπου για προσωπική χρήση.

Υπογραφή

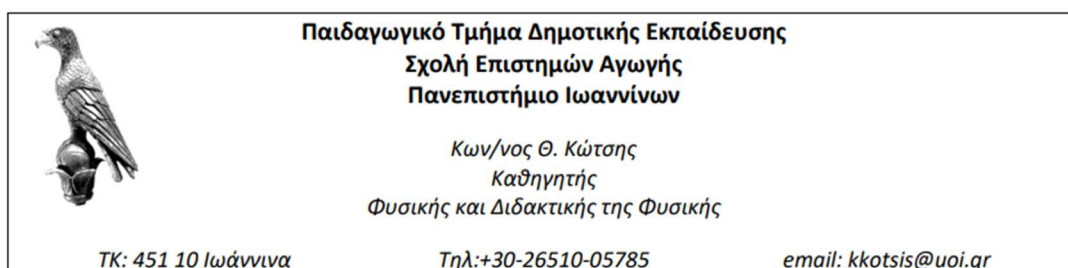
Ημερομηνία/...../2022

Βακάρου Γεωργία

Μεταπτυχιακή φοιτήτρια Πανεπιστημίου

Ιωαννίνων – Σχολή Επιστημών Αγωγής –

Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης



Ιωάννινα, 21.11.2022

Αγαπητή Κυρία, Αγαπητέ Κύριε,

Η κα. Βακάρου Γεωργία, μεταπτυχιακή φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Διδακτική και Τεχνολογίες Μάθησης των Φυσικών Επιστημών», εκπονεί υπό την επιστημονική μου επίβλεψη τη μεταπτυχιακή της διατριβή με στόχο τον προσδιορισμό της καλύτερης εκπαιδευτικής βαθμίδας στην οποία μπορούν να εισαχθούν έννοιες της Σύγχρονης Φυσικής – Φυσική του Einstein. Στο πλαίσιο της εμπειρικής διερεύνησης του θέματος, χρειάζεται να πραγματοποιήσει μια σύντομη διδακτική παρέμβαση διενεργώντας πειράματα, ενώ για τη συλλογή των δεδομένων θα διανείμει ένα σύντομο ερωτηματολόγιο στους/τις μαθητές/τριες πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση.

Παρακαλώ θερμά να βοηθήσετε την κα. Βακάρου στη συλλογή του απαραίτητου ερευνητικού υλικού, γεγονός που θα μας επιτρέψει να τεκμηριώσουμε με εμπειρικά δεδομένα τις θεωρητικές μας προσεγγίσεις. Από την πλευρά μας δεσμευόμαστε να εφαρμοστούν με προσοχή όλες οι απαιτήσεις και παραδοχές που επιβάλλει η επιστημονική δεοντολογία. Βέβαιος ότι θα ανταποκριθείτε στην παράκλησή μας, σάς ευχαριστώ εκ των προτέρων για τις ενέργειές σας και παραμένω στη διάθεσή σας για οποιαδήποτε διευκρίνιση.

Με εκτίμηση και συναδελφικούς χαιρετισμούς.

Κώσης Κωνσταντίνος

Καθηγητής Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Επιβλέπων Καθηγητής

Παράρτημα Β: Ερωτηματολόγιο Έρευνας

Ερωτηματολόγιο γνώσεων – εννοιολογικής κατανόησης

Γενικές οδηγίες συμπλήρωσης του ερωτηματολογίου:

Αγαπητέ μαθητή, Αγαπητή μαθήτριά,

- 1) Στις παρακάτω ερωτήσεις κύκλωσε, σε παρακαλώ, την απάντηση που θεωρείς σωστή ή εκείνη με την οποία συμφωνείς περισσότερο. Στις ερωτήσεις που έχουν γραμμές, συμπλήρωσε την απάντησή σου γράφοντας προτάσεις και εξηγώντας την άποψή σου. Αν δεν γνωρίζεις πώς να απαντήσεις σε κάποια από τις ερωτήσεις που χρειάζονται λόγια, γράψε «Δεν γνωρίζω» και συνέχισε στις επόμενες ερωτήσεις.
- 2) Θυμήσου ότι δεν υπάρχει σωστή ή λανθασμένη απάντηση, όποτε απάντησε πραγματικά όπως νομίζεις στις ερωτήσεις.
- 3) Οι απαντήσεις σου δεν θα επηρεάσουν το βαθμό σου στο σχολείο.
- 4) Το ερωτηματολόγιο είναι ανώνυμο, οπότε δεν χρειάζεται να γράψεις πουθενά το όνομά σου.
- 5) Σε παρακαλώ, απάντησε σε **ΟΛΕΣ** τις ερωτήσεις του ερωτηματολογίου.

1^η ενότητα:

- 1) Είσαι κορίτσι ή αγόρι;
(Να επιλέξεις μία από τις απαντήσεις)
 - α) Κορίτσι
 - β) Αγόρι
- 2) Το σχολείο σου είναι:
(Να επιλέξεις μία από τις απαντήσεις)
 - α) Δημοτικό
 - β) Γυμνάσιο
 - γ) Λύκειο

2^η ενότητα:

- 3) Τι είναι η βαρύτητα;
.....
.....
.....
- 4) Τι είναι ο χωροχρόνος;
.....
.....
.....
- 5) Τι είναι το φως;
.....
.....

- 6) Αν ρίξουμε ταυτόχρονα ένα σφυρί και ένα φτερό, ποιο θα φτάσει πρώτο στο έδαφος; Μπορείς να αιτιολογήσεις την απάντησή σου;

.....
.....
.....

- 7) Οι παράλληλες γραμμές μπορούν να συναντηθούν; Μπορείς να αιτιολογήσεις την απάντησή σου;

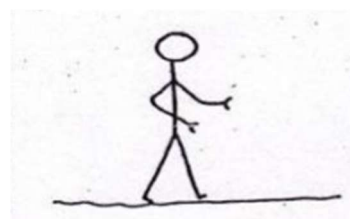
.....
.....
.....

3^η ενότητα:

- 8) Παρατήρησε τη διπλανή εικόνα. Πιστεύεις ότι υπάρχει βαρύτητα όταν στέκεσαι πάνω στη Γη;

(Να επιλέξεις μόνο μία από τις απαντήσεις)

- α) Ναι
- β) Όχι
- γ) Δεν γνωρίζω

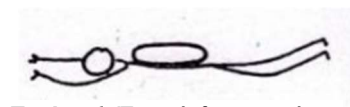


Εικόνα 5: Ένας άνθρωπος στέκεται πάνω στην επιφάνεια της Γης

- 9) Παρατήρησε τη διπλανή εικόνα. Αν κάποιος πέσει από ένα αεροπλάνο, υπάρχει βαρύτητα;

(Να επιλέξεις μόνο μία από τις απαντήσεις)

- α) Ναι, περίπου η ίδια όσο στο έδαφος
- β) Ναι, αλλά πολύ λιγότερη από ότι στο έδαφος
- γ) Ναι, αλλά πολύ περισσότερη από ότι στο έδαφος
- δ) Όχι, δεν υπάρχει βαρύτητα
- ε) Δεν γνωρίζω

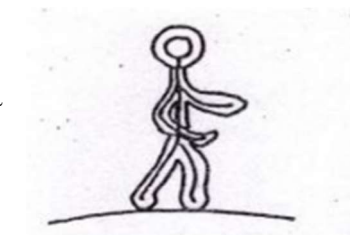


Εικόνα 6: Ένας άνθρωπος πέφτει από ένα αεροπλάνο

- 10) Παρατήρησε τη διπλανή εικόνα. Αν κάποιος στέκεται στο φεγγάρι, υπάρχει βαρύτητα;

(Να επιλέξεις μόνο μία από τις απαντήσεις)

- α) Ναι, αλλά πολύ περισσότερη από ότι στη Γη
- β) Ναι, περίπου ίση με τη βαρύτητα στη Γη
- γ) Ναι, αλλά πολύ λιγότερη από ότι στη Γη
- δ) Όχι, δεν υπάρχει βαρύτητα
- ε) Δεν γνωρίζω

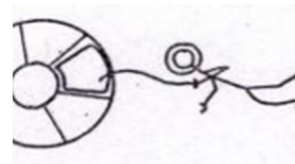


Εικόνα 7: Ένας αστροναύτης στέκεται στο φεγγάρι

- 11) Παρατήρησε τη διπλανή εικόνα. Υπάρχει ένας δορυφόρος ο οποίος κινείται γύρω από τη Γη. Υπάρχει καθόλου βαρύτητα εκεί που βρίσκεται ο αστροναύτης;

(Να επιλέξεις μόνο μία από τις απαντήσεις)

- α) Ναι
- β) Όχι
- γ) Δεν γνωρίζω

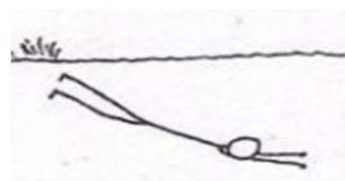


Εικόνα 8: Ένας αστροναύτης κοντά σε δορυφόρο

- 12) Παρατήρησε τη διπλανή εικόνα. Υπάρχει βαρύτητα όταν ένας άνθρωπος κολυμπάει κάτω από το νερό;

(Να επιλέξεις μόνο μία από τις απαντήσεις)

- α) Ναι
- β) Όχι
- γ) Εξαρτάται αν ο άνθρωπος πηγαίνει πάνω ή κάτω
- δ) Δεν γνωρίζω



Εικόνα 9: Ένας άνθρωπος που κολυμπάει κάτω από την επιφάνεια του νερού

- 13) Τι είναι ο χωροχρόνος;

(Να επιλέξεις μόνο μία από τις απαντήσεις)

- α) Είναι η ένωση του χώρου και του χρόνου, που μαζί σχηματίζουν μια 4 - διάστατη οντότητα
- β) Είναι η ένωση του χώρου και του χρόνου, που μαζί σχηματίζουν μια 2 - διάστατη οντότητα
- γ) Είναι η τέταρτη διάσταση
- δ) Είναι η ταχύτητα
- ε) Δεν γνωρίζω

- 14) Τι πιστεύεις ότι μπορεί να παραμορφώσει το χωροχρόνο;

(Να επιλέξεις μόνο μία από τις απαντήσεις)

- α) Οποιαδήποτε μάζα
- β) Μόνο μια πολύ μεγάλη μάζα
- γ) Μία δύναμη με κατεύθυνση προς τα κάτω
- δ) Μία δύναμη με κατεύθυνση προς τα πάνω
- ε) Καμία από τις παραπάνω απαντήσεις
- στ) Δεν γνωρίζω

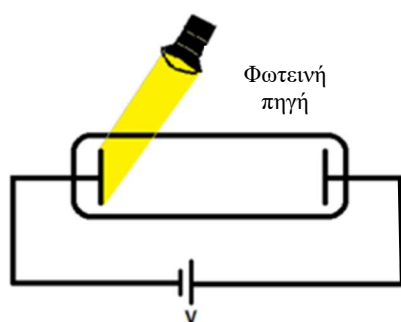
4^η ενότητα:

- 15) Ποια από τις ακόλουθες προτάσεις εξηγεί καλύτερα τη συμπεριφορά του φωτός σε ένα πείραμα;

- α) Το φως συμπεριφέρεται και σαν σωματίδιο και σαν κύμα ταυτόχρονα
- β) Το φως συμπεριφέρεται σαν σωματίδιο
- γ) Το φως συμπεριφέρεται είτε σαν σωματίδιο είτε σαν κύμα
- δ) Το φως συμπεριφέρεται σαν κύμα
- ε) Το φως δεν συμπεριφέρεται ούτε σαν σωματίδιο ούτε σαν κύμα

- 16) Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η διάταξη που χρησιμοποιείται για την παρατήρηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Πώς θα περιέγραφες το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο;

(Να επιλέξεις μόνο μία από τις απαντήσεις)



- α) Είναι η «εκτίναξη» ηλεκτρονίων από τη φωτοευαίσθητη μεταλλική επιφάνεια εξαιτίας της μπαταρίας
 - β) Είναι η παραγωγή φωτοηλεκτρικού ρεύματος εξαιτίας της ανάκλασης του φωτός στην μεταλλική επιφάνεια στην οποία προσπίπτει προς την απέναντι πλάκα
 - γ) Είναι η «εκτίναξη» ηλεκτρονίων από τη φωτοευαίσθητη μεταλλική επιφάνεια εξαιτίας του φωτός που προσπίπτει σε αυτή
- 17)** Ποιος από τους παρακάτω ήταν ο λόγος που επέλεξες την απάντησή σου στην ερώτηση (16);
(Να επιλέξεις μόνο μία από τις απαντήσεις)
- α) Η μπαταρία παρέχει διαφορά δυναμικού μεταξύ των πλακών και τα ηλεκτρόνια «ελευθερώνονται» από την ροή του ηλεκτρικού ρεύματος
 - β) Τα φωτόνια απορροφούνται από τα ηλεκτρόνια
 - γ) Η ανάκλαση των φορτισμένων φωτονίων από την μία μεταλλική επιφάνεια προς την απέναντι πλάκα παράγει φωτοηλεκτρικό ρεύμα και τα ηλεκτρόνια «ελευθερώνονται» από τη ροή του ρεύματος αυτού
- 18)** Είσαι σίγουρος/η για τις απαντήσεις που έδωσες στις προηγούμενες δύο ερωτήσεις;
- α) Ναι
 - β) Όχι

Ερωματολόγιο στάσεων απέναντι στις ΦΕ

5^η ενότητα:

Πόσο συμφωνείς με τα παρακάτω; (Να επιλέξεις μία απάντηση σε κάθε σειρά)

* Φ.Ε. = Φυσικές Επιστήμες

A/A		Διαφωνώ απόλυτα	Διαφωνώ	Είμαι ουδέτερος	Συμφωνώ	Συμφωνώ απόλυτα
1	Νομίζω ότι η βαρύτητα είναι ενδιαφέρον θέμα	1	2	3	4	5
2	Νομίζω ότι το φως είναι ενδιαφέρον θέμα	1	2	3	4	5
3	Νομίζω ότι τα πράγματα που ανακάλυψε ο Einstein είναι σημαντικά για τη νέα τεχνολογία	1	2	3	4	5
4	Χαίρομαι να μαθαίνω νέες έννοιες και ιδέες	1	2	3	4	5
5	Προτιμώ να μαθαίνω για την επιστήμη, διεκπεραιώνοντας δραστηριότητες μαζί με άλλους μαθητές	1	2	3	4	5
6	Δεν χαίρομαι όταν κάνω πειράματα φυσικής	1	2	3	4	5
7	Θα μου άρεσε να σπουδάσω Φυσική στο πανεπιστήμιο	1	2	3	4	5
8	Θα προτιμούσα να μαθαίνω Φυσική από άλλους ανθρώπους, παρά να κάνω εγώ ο ίδιος πειράματα για να ανακαλύψω τη θεωρία	1	2	3	4	5
9	Η Φυσική που μαθαίνω στο σχολείο δεν είναι πολύ σχετική με την καθημερινή μου ζωή	1	2	3	4	5
10	Η Φυσική είναι μόνο για τους έξυπνους ανθρώπους	1	2	3	4	5
11	Δεν έχω μεγάλο ενδιαφέρον για τη Φυσική	1	2	3	4	5

Ερωτηματολόγιο ενδιαφέροντος απέναντι στις ΦΕ

12	Κάνω με ευχαρίστηση τα μαθήματα των Φ.Ε. στο σπίτι, χωρίς να βαριέμαι	1	2	3	4	5
13	Η Φυσική είναι ένα από τα μαθήματα που μου αρέσουν	1	2	3	4	5
14	Νιώθω άνετα στο μάθημα της Φυσικής	1	2	3	4	5
15	Λατρεύω τη μελέτη και τις δραστηριότητες της Φυσικής κατά τη διάρκεια του μαθήματος.	1	2	3	4	5
16	Θέλω να αυξηθούν οι ώρες που κάνουμε Φ.Ε.	1	2	3	4	5
17	Βρίσκω τα πάντα ενδιαφέροντα στις Φ.Ε..	1	2	3	4	5
18	Μου αρέσει να διαβάζω βιβλία για τις Φ.Ε..	1	2	3	4	5
19	Αισθάνομαι σημαντικός όταν χειρίζομαι επιστημονικά εργαλεία.	1	2	3	4	5