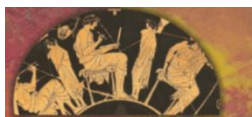




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ



**ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ**

**ΠΜΣ ΣΤΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**«Εξέλιξη των εναλλακτικών ιδεών που αναπτύσσουν οι μαθητές δευτεροβάθμιας
εκπαίδευσης στο μάθημα του ηλεκτρισμού»**

Μαρία Θεοχάρη
Φυσικός

Επιβλέπων
Κωνσταντίνος Κώτσης

Διπλωματική εργασία

Ιωάννινα 2026

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία της φοιτήτριας Μαρίας Θεοχάρη που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης η συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας της συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση της συγγραφέα/δημιουργού. Η συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	8
2.1. Φυσική στην Εκπαίδευση: Σημασία, δυσκολίες και ο ρόλος των Εκπαιδευτικών	8
2.1.1. Η σημασία της φυσικής και ο επιστημονικός γραμματισμός	8
2.2. Εναλλακτικές ιδέες	24
2.2.1. Εναλλακτικές ιδέες στη φυσική.....	24
2.2.2. Εννοιολογική αλλαγή	31
2.2.3. Ο ρόλος των εκπαιδευτικών στη διδασκαλία της φυσικής.....	32
2.2.4. Εναλλακτικές ιδέες στον ηλεκτρισμό	35
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	41
3.1 Το ερευνητικό ερώτημα	41
3.2. Χαρακτηριστικά ερωτηματολογίου.....	43
3.2. Το δείγμα της έρευνας	45
4. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	47
4.1 Περιγραφή βασικών μεταβλητών	47
<i>Σχήμα 1: Σωστές απαντήσεις ανά ερώτηση ανά τάξη</i>	47
4.2 Αξιοπιστία ερωτηματολογίου (Cronbach's alpha)	49
4.2.1 Cronbach's alpha για τα 16 items ανά τάξη	49
4.2.2 Cronbach's alpha για τα 16 items ανά τάξη και φύλο.....	50
4.3 Διαφορές συνολικής επίδοσης (Score) ανά φύλο και τάξη	59
4.4 Θεωρητικό μοντέλο πέντε παραγόντων (latent variables) και κατασκευή δεικτών	64
Παράγοντας F1: «Το ρεύμα καταναλώνεται στις ηλεκτρικές συσκευές»	64
Παράγοντας F2: «Η τάση και το ρεύμα δεν διαφέρουν»	65
Παράγοντας F3: «Ασφάλεια / Βραχυκύκλωμα».....	65
Παράγοντας F4: «Προέλευση ηλεκτρικών φορτίων».....	66
Παράγοντας F5: «Ενέργεια στο ηλεκτρικό κύκλωμα»	66
4.4.1 Αξιοπιστία ανά θεωρητικό παράγοντα	67
4.5 Περιγραφικά στατιστικά των παραγόντων ανά τάξη (μέσοι όροι και διασπορά).....	68
4.6 Έλεγχοι διαφορών μεταξύ τάξεων για τους παράγοντες (Fractional Logit, margins και Bonferroni)	68
4.6.1 Παράγοντας F1 – «Το ρεύμα καταναλώνεται στις ηλεκτρικές συσκευές».....	69

4.6.2 Παράγοντας F2 – «Η τάση και το ρεύμα δεν διαφέρουν».....	70
4.6.3 Παράγοντας F3 – «Ασφάλεια / βραχυκύκλωμα»	71
4.6.4 Παράγοντας F4 – «Προέλευση ηλεκτρικών φορτίων»	72
4.6.5 Παράγοντας F5 – «Ενέργεια στο ηλεκτρικό κύκλωμα»	73
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	75
6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ/ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	85
6.1. Προτάσεις για τη διδασκαλία και την εκπαιδευτική πρακτική.....	86
6.2. Περιορισμοί της έρευνας	89
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	90
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ.....	107

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αυτή η μελέτη επικεντρώνεται στη σταδιακή εξέλιξη των εναλλακτικών ιδεών (εσφαλμένων αντιλήψεων) που αναπτύσσουν οι μαθητές γυμνασίου και λυκείου στο μάθημα του ηλεκτρισμού. Είναι ευρέως αναγνωρισμένο ότι οι μαθητές συχνά φέρνουν στην τάξη προϋπάρχουσες ιδέες για τον κόσμο, οι οποίες, στην περίπτωση του ηλεκτρισμού, μπορεί να αποκλίνουν σημαντικά από τις επιστημονικά αποδεκτές έννοιες.

Η διερεύνηση αυτών των ιδεών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση δομημένων ερωτηματολογίων, τα οποία λειτουργήσαν ως βασικό εργαλείο συλλογής δεδομένων. Τα ερωτηματολόγια αυτά επιτρέψαν την αναγνώριση, ποσοτικοποίηση και παρακολούθηση των κοινών εναλλακτικών αντιλήψεων σχετικά με θεμελιώδεις έννοιες του ηλεκτρισμού, όπως το ηλεκτρικό ρεύμα, η τάση, η αντίσταση και τα κυκλώματα. Μέσω της ανάλυσης των απαντήσεων, διερευνήθηκε πώς αυτές οι ιδέες σχηματίζονται, αντιστέκονται στην αλλαγή και ενδεχομένως μεταβάλλονται καθώς οι μαθητές προχωρούν στα εκπαιδευτικά τους στάδια και εκτίθενται σε νέα διδακτικά περιβάλλοντα.

Τέλος, η μελέτη ανάδειξε τη σημασία της συστηματικής αναγνώρισης και αντιμετώπισης αυτών των εναλλακτικών ιδεών από τους εκπαιδευτικούς. Η κατανόηση της εξέλιξης αυτών των αντιλήψεων, όπως αυτή αποκαλύφθηκε μέσα από τα ερωτηματολόγια, μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών διδακτικών στρατηγικών που στοχεύουν στην προώθηση της ουσιαστικής εννοιολογικής αλλαγής και στην εδραίωση μιας ακριβούς επιστημονικής κατανόησης του ηλεκτρισμού.

Λέξεις-κλειδιά: εναλλακτικές ιδέες, ηλεκτρισμός, δευτεροβάθμια εκπαίδευση, φυσική εκπαίδευση

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάπτυξη του επιστημονικού γραμματισμού είναι πάντα σημαντικός στόχος στην εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες. Αυτό γιατί σχετίζεται με την ικανότητα των μαθητών να κατανοούν, να ερμηνεύουν και να χρησιμοποιούν επιστημονικές έννοιες σε πραγματικά πλαίσια. Επηρεάζει επίσης τη συμμετοχή τους ως πολιτών σε τεκμηριωμένες κοινωνικές αποφάσεις που σχετίζονται με την επιστήμη και την τεχνολογία (Driver & Osborne, 1998; OECD, 2018; De Boer, 2011). Σε αυτό το πλαίσιο, η Φυσική θεωρείται βασικό πεδίο, καθώς προσφέρει θεμελιώδεις έννοιες και μοντέλα για την κατανόηση του φυσικού κόσμου. Επίσης, καλλιεργεί επιστημονικές σκέψεις όπως η μοντελοποίηση, ο έλεγχος υποθέσεων και η σύνδεση πολλαπλών αναπαραστάσεων (Redish, 2002; Hestenes, 2015). Ωστόσο, η διεθνής βιβλιογραφία δείχνει ότι η μάθηση της Φυσικής έχει πολλές δυσκολίες. Αυτές σχετίζονται με την αφαιρετικότητα και τον μαθηματικό φορμαλισμό, αλλά και με τους τρόπους διδασκαλίας και αξιολόγησης (Angell et al., 2004; Redish, 1994). Οι μαθητές συχνά λύνουν ασκήσεις «παθητικά» χωρίς να έχουν καλή εννοιολογική κατανόηση. Αυτό έχει επιβεβαιωθεί σε πολλές έρευνες που αξιολογούν τις έννοιες (Mazur, 1997; Halloun & Hestenes, 1985). Αυτή η παρατήρηση είναι ιδιαίτερα σημαντική όταν μιλάμε για έννοιες που δεν είναι άμεσα προσβάσιμες μέσω της αισθητηριακής εμπειρίας, όπως είναι οι έννοιες του ηλεκτρισμού. Η έρευνα στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών έχει αποδείξει ότι οι μαθητές δεν έρχονται στην τάξη ως «άγραφοι πίνακες». Έχουν προϋπάρχουσες ιδέες και νοητικά σχήματα για τα φυσικά φαινόμενα. Αυτά επηρεάζουν τον τρόπο που ερμηνεύουν τη διδασκαλία και χτίζουν νέα γνώση (Driver & Easley, 1978; Duit, 1999; Vosniadou, 1994, 2019). Αυτές οι ιδέες, που συχνά λέγονται εναλλακτικές αντιλήψεις, δεν είναι απλώς «λάθη». Είναι λειτουργικά και συχνά συνεκτικά σχήματα ερμηνείας που προέρχονται από την καθημερινή εμπειρία και το κοινωνικοπολιτισμικό υπόβαθρο (Vosniadou et al., 2001). Επομένως, η αλλαγή των εννοιών δεν γίνεται αυτόματα από τη διδασκαλία. Χρειάζονται σχεδιασμένες στρατηγικές που αναγνωρίζουν, αξιοποιούν και αλλάζουν τις αρχικές ιδέες μέσω γνωστικής σύγκρουσης και αναδόμησης (Driver et al., 1985; Strike et al., 1992).

Ο ηλεκτρισμός είναι ένα από τα πιο «πυκνά» ερευνητικά πεδία για τις εναλλακτικές ιδέες. Αυτό συμβαίνει λόγω της αφηρημένης φύσης των εννοιών και της δυσκολίας δημιουργίας σωστών νοητικών μοντέλων (Trowbridge & McDermott, 1980; Duit & Treagust, 2003). Πολλές παρανοήσεις, όπως η ιδέα ότι «το ρεύμα καταναλώνεται στις συσκευές», η σύγχυση μεταξύ έντασης ρεύματος και τάσης, η ελλιπής κατανόηση της ενεργειακής διάστασης στο κύκλωμα, και θέματα όπως το βραχυκύκλωμα και η προέλευση των φορτίων, εμφανίζονται

συχνά σε διαφορετικές ηλικίες και επίπεδα εκπαίδευσης (Duit & Treagust, 2003; Kotsis et al., 2004; Kotsis, 2023). Στην ελληνική πραγματικότητα, παρατηρείται ότι η διδασκαλία συχνά οδηγεί σε επιφανειακή γνώση όρων και τύπων, χωρίς αντίστοιχη εννοιολογική σταθερότητα (Jimoyiannis, 2002).

Η μελέτη των εναλλακτικών ιδεών που έχουν οι μαθητές για τον ηλεκτρισμό δεν πρέπει να περιορίζεται μόνο στην καταγραφή τους. Είναι εξίσου σημαντικό να δούμε πώς αυτές οι ιδέες αλλάζουν όσο οι μαθητές προχωρούν στο σχολείο: αν μειώνονται με τη διδασκαλία, αν αλλάζουν μορφή ή αν παραμένουν ίδιες σε διαφορετικές τάξεις και ηλικίες. Αυτό είναι σημαντικό, γιατί η κατανόηση των εννοιών δεν εξελίσσεται πάντα με τον ίδιο τρόπο για όλους. Έτσι, δεν μας ενδιαφέρει μόνο αν οι μαθητές απαντούν σωστά ή λάθος σε ερωτήσεις, αλλά και αν οι λανθασμένες τους ιδέες αλλάζουν από τάξη σε τάξη.

Με βάση αυτό, η εργασία αυτή επικεντρώνεται στο πώς εξελίσσονται οι ιδέες των μαθητών για τον ηλεκτρισμό κατά τη διάρκεια της φοίτησής τους στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Το βασικό ερώτημα είναι: αλλάζουν οι ιδέες των μαθητών για βασικές έννοιες του ηλεκτρισμού καθώς προχωρούν από τάξη σε τάξη, και αν ναι, με ποιον τρόπο; Πιο συγκεκριμένα, εξετάζεται αν οι διαφορές μεταξύ μαθητών διαφορετικών τάξεων δείχνουν μια σταδιακή βελτίωση στην κατανόηση, αν κάποιες λανθασμένες ιδέες μειώνονται ή αν κάποιες παραμένουν, παρά τη διδασκαλία.

Η σημασία της εργασίας βρίσκεται σε αυτή τη σύγκριση μεταξύ τάξεων. Δεν προσπαθεί να βρει νέες λανθασμένες ιδέες, αλλά να δει πώς εξελίσσονται ήδη γνωστές δυσκολίες στον ηλεκτρισμό, καθώς οι μαθητές περνούν από το Γυμνάσιο στο Λύκειο. Για αυτόν τον λόγο, χρησιμοποιείται το ίδιο ερευνητικό εργαλείο σε όλες τις τάξεις, ώστε να μπορούν να συγκριθούν οι απαντήσεις και να φανεί αν οι ιδέες των μαθητών αλλάζουν ή μένουν ίδιες. Επίσης, εξετάζεται και αν υπάρχει διαφορά ανάμεσα σε αγόρια και κορίτσια, χωρίς όμως αυτό να είναι το βασικό θέμα της έρευνας. Συνολικά, η έρευνα αυτή θέλει να βοηθήσει στην καλύτερη κατανόηση των δυσκολιών που έχουν οι μαθητές στον ηλεκτρισμό και να συμβάλει στη βελτίωση της διδασκαλίας. Μελετώντας πώς αλλάζουν οι ιδέες των μαθητών από τάξη σε τάξη, μπορούμε να δούμε ποιες έννοιες κατανοούνται καλύτερα με τον καιρό και ποιες παραμένουν δύσκολες. Αυτό μπορεί να βοηθήσει τους εκπαιδευτικούς να σχεδιάσουν πιο αποτελεσματικά μαθήματα.

Γι' αυτό η παρούσα εργασία στοχεύει στην εμπειρική διερεύνηση της κατανόησης βασικών εννοιών του ηλεκτρισμού σε μαθητές Γυμνασίου και Λυκείου, εστιάζοντας στη διαφοροποίηση της επίδοσης ανά τάξη και φύλο. Χαρτογραφεί πέντε περιοχές εναλλακτικών ιδεών. Σε δείγμα 304 μαθητών, χρησιμοποιήθηκε συνολικός δείκτης επίδοσης (Score, 0–16) και πέντε θεωρητικοί δείκτες (F1–F5) που αντιστοιχούν σε διακριτές περιοχές εναλλακτικών ιδεών. Τα ευρήματα δείχνουν σημαντική διαφοροποίηση στην επίδοση ($M \approx 7,86$, $SD \approx 2,32$) και στατιστικά σημαντική επίδραση της τάξης στη συνολική επίδοση (ANOVA, $p \approx 0,002$). Οι πιο έντονες διαφορές παρατηρούνται μεταξύ Α Λυκείου και των πρώτων τάξεων του Γυμνασίου. Επίσης, υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση ως προς το φύλο, με τα κορίτσια να έχουν υψηλότερο μέσο Score από τα αγόρια (t-test, $p < 0,01$). Αυτή η παρατήρηση δείχνει ότι δημογραφικοί παράγοντες σχετίζονται με την εννοιολογική επίδοση στην συγκεκριμένη ύλη. Στο επίπεδο των εννοιολογικών περιοχών, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η εξέλιξη δεν είναι ομοιογενής. Ο παράγοντας που σχετίζεται με την «ενέργεια στο κύκλωμα» (F5) εμφανίζει καθαρό μοτίβο βελτίωσης προς το Λύκειο, με σημαντικές διαφορές σε σχέση με την Α Γυμνασίου. Αντίθετα, ο παράγοντας της «κατανάλωσης ρεύματος» (F1) έχει ισχυρή κορύφωση στην Α Λυκείου και διαφοροποίηση μεταξύ Α και Β Λυκείου. Η σύγχυση «τάσης–ρεύματος» (F2) φαίνεται πιο ανθεκτική, με ήπιες μεταβολές που δεν διαφοροποιούνται έντονα μεταξύ τάξεων μετά από πολλές συγκρίσεις. Τέλος, οι έννοιες ασφάλειας/βραχυκυκλώματος (F3) έχουν σχετικά υψηλές επιδόσεις σε όλες τις τάξεις. Αυτό υποδεικνύει ότι ορισμένες θεματικές περιοχές μπορεί να ενισχύονται και από εξωσχολικές εμπειρίες ή πρακτικές αναφορές. Συνολικά, τα ευρήματα συμφωνούν με τη θεωρητική θέση ότι οι εναλλακτικές ιδέες δεν φεύγουν όλες μαζί και γραμμικά, αλλά αλλάζουν με διαφορετικούς ρυθμούς ανά περιοχή (Vosniadou, 2019; Duit & Treagust, 2003).

2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1. Φυσική στην Εκπαίδευση: Σημασία, δυσκολίες και ο ρόλος των Εκπαιδευτικών

2.1.1. Η σημασία της φυσικής και ο επιστημονικός γραμματισμός

Από τα πρώτα στάδια της ανθρώπινης ιστορίας, οι άνθρωποι προσπαθούσαν να κατανοήσουν τον κόσμο γύρω τους και τα φαινόμενα που παρατηρούσαν στη φύση. Η ανάγκη να εξηγήσουν πώς λειτουργεί το σύμπαν και ποιοι νόμοι το διέπουν αποτέλεσε βασικό στοιχείο της ανθρώπινης σκέψης και συνέβαλε σημαντικά στην εξέλιξη του πολιτισμού. Μέσα από την παρατήρηση της φύσης και την εμπειρία τους από τον κόσμο, οι άνθρωποι προσπάθησαν να βρουν απαντήσεις σε σημαντικά ερωτήματα, όπως από πού προέρχεται ο κόσμος, πώς δημιουργήθηκε και ποια είναι η θέση του ανθρώπου μέσα σε αυτόν. Στα πρώτα στάδια αυτής της προσπάθειας, οι εξηγήσεις για τα φυσικά φαινόμενα συνδέονταν κυρίως με μύθους και παραδόσεις. Οι μυθολογικές αφηγήσεις χρησιμοποιούνταν για να ερμηνεύσουν τη δημιουργία του κόσμου, την εμφάνιση των φυσικών φαινομένων και τη λειτουργία της φύσης γενικότερα. Οι αφηγήσεις αυτές βοηθούσαν τις κοινωνίες να οργανώσουν τη γνώση τους και να δώσουν νόημα στις εμπειρίες τους από τον κόσμο. Με την πάροδο του χρόνου, οι άνθρωποι άρχισαν να αναπτύσσουν πιο συστηματικούς τρόπους σκέψης και να δημιουργούν κοσμολογικά μοντέλα που προσπαθούσαν να περιγράψουν τη δομή και τη λειτουργία του σύμπαντος. Η προσπάθεια αυτή συνδέεται με τη βαθύτερη ανάγκη του ανθρώπου να κατανοήσει τη φύση και να εξηγήσει τα φαινόμενα που παρατηρεί. Όπως επισημαίνουν οι Tuveri και Steri (2024), ένα κοινό χαρακτηριστικό όλων των πολιτισμών είναι ότι ανέπτυξαν διαφορετικά θεωρητικά συστήματα και τρόπους ερμηνείας, με σκοπό να κατανοήσουν τα φυσικά φαινόμενα και να εξηγήσουν τον κόσμο γύρω τους.

Στην εξωσχολική ζωή, ο μαθητής έρχεται καθημερινά σε επαφή με φυσικά φαινόμενα στο σπίτι, στον δρόμο, στο παιχνίδι ή στον αθλητισμό, συνήθως χωρίς συνειδητή πρόθεση παρατήρησης. Η επαφή αυτή, ωστόσο, είναι αποσπασματική και μη οργανωμένη, καθώς τα φαινόμενα εμφανίζονται τυχαία και η συστηματική τους ανάλυση με στόχο την κατανόηση δεν αποτελεί βασική επιδίωξη του παιδιού. Ο τρόπος προσέγγισης των φαινομένων δεν είναι σχεδιασμένος με βάση την αιτιότητα ούτε υπηρετεί συγκεκριμένους γνωστικούς στόχους. Αντίθετα, στο σχολικό περιβάλλον η διδασκτέα ύλη οργανώνεται και δομείται σκόπιμα, με

στόχο να προσφέρει στον μαθητή ευκαιρίες μάθησης. Έτσι, τα μη συστηματικά ερεθίσματα που δέχεται ο μαθητής από το φυσικό και κοινωνικό του περιβάλλον συμπληρώνονται από οργανωμένες διαδικασίες διδασκαλίας και μάθησης. Τίθεται, ωστόσο, το ερώτημα ποιος είναι ο ρόλος του μαθήματος των φυσικών επιστημών στο ευρύτερο πλαίσιο της παιδείας που το σχολείο οφείλει να παρέχει. Αναμφίβολα, η προετοιμασία των μαθητών που στοχεύουν στην εισαγωγή τους σε τριτοβάθμια ιδρύματα θετικής κατεύθυνσης αποτελεί μια υπαρκτή και σημαντική ανάγκη. Η τεχνολογική πρόοδος της χώρας, η στελέχωση της βιομηχανίας και της έρευνας και, κατ' επέκταση, η οικονομική ανάπτυξη εξαρτώνται από την ύπαρξη επαρκούς αριθμού εξειδικευμένων επιστημόνων. Παρ' όλα αυτά, το ποσοστό των μαθητών που ακολουθούν αυτήν την πορεία είναι σχετικά μικρό και δεν δικαιολογεί τον προσανατολισμό του μαθήματος των φυσικών επιστημών αποκλειστικά προς αυτή την κατεύθυνση. Κατά συνέπεια, το μάθημα δεν πρέπει να απευθύνεται μόνο σε αυτούς τους μαθητές, αλλά να διασφαλίζει και τον εξίσου σημαντικό στόχο της παροχής γενικής μόρφωσης στο σύνολο των μαθητών («Φυσικά» Ε' Δημοτικού Ερευνώ και Ανακαλύπτω Βιβλίο Δασκάλου) .

«Το σχολείο πρέπει να αναπτύσσει στους νέους ανθρώπους τις δεξιότητες και ποιότητες που είναι χρήσιμες για την εξέλιξη της κοινωνίας. Αυτό δε σημαίνει ότι πρέπει να καταστρέφεται η ατομικότητα και το άτομο να υποβιβάζεται σε απλό εργαλείο της κοινωνίας, όπως μια μέλισσα ή ένα μυρμήγκι. Μια κοινωνία από τυποποιημένα άτομα είναι φτωχή και χωρίς ελπίδα για εξέλιξη.» Α. Einstein

«Μόρφωση είναι η ικανότητα χειρισμού του πολιτισμού, η ικανότητα προσέγγισης αξιών, όπως η υπευθυνότητα, η αλληλεγγύη και η ανθρωπιά. Η μόρφωση αποκτάται από κάθε άνθρωπο ξεχωριστά και εξυπηρετεί κάθε άνθρωπο ξεχωριστά. Πέρα όμως από την ατομική της διάσταση έχει και κοινωνική διάσταση, αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για τη συμβίωση των ανθρώπων» (Dahncke 1994).

Ο Einstein επισημαίνει ότι το σχολείο οφείλει να καλλιεργεί στους νέους ανθρώπους δεξιότητες και χαρακτηριστικά που συμβάλλουν στην πρόοδο της κοινωνίας, χωρίς όμως να αναιρεί την ατομικότητά τους ή να τους μετατρέπει σε απλά όργανα κοινωνικής λειτουργίας, παρόμοια με έντομα που δρουν μηχανικά. Μια κοινωνία που αποτελείται από ομοιόμορφα και τυποποιημένα άτομα είναι φτωχή και στερείται δυνατοτήτων εξέλιξης. Παρόμοια θέση διατυπώνει και ο Dahncke (1994), ο οποίος ορίζει τη μόρφωση ως την ικανότητα αξιοποίησης του πολιτισμού και προσέγγισης αξιών όπως η υπευθυνότητα, η αλληλεγγύη

και ο ανθρωπισμός. Παρότι η μόρφωση κατακτάται από κάθε άτομο ξεχωριστά και εξυπηρετεί τις προσωπικές του ανάγκες, διαθέτει παράλληλα και κοινωνική διάσταση, καθώς αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ομαλή συνύπαρξη των ανθρώπων («Φυσικά» Ε΄ Δημοτικού Ερευνώ και Ανακαλύπτω Βιβλίο Δασκάλου).

Τα παραπάνω αποσπάσματα, τόσο του Einstein όσο και του Dahncke, αναδεικνύουν δύο βασικές διαστάσεις της μόρφωσης: την ατομική και την κοινωνική. Για παράδειγμα, η κάλυψη των κοινωνικών αναγκών, όπως η επάρκεια φυσικών επιστημόνων για την οικονομική ανάπτυξη, αφορά τη κοινωνική πρόοδο. Ωστόσο, εξίσου σημαντική είναι και η παιδαγωγική υποχρέωση της εκπαίδευσης να ανταποκρίνεται στις ατομικές ανάγκες των μαθητών. Στο πλαίσιο αυτό, ο Bleichroth (1969) υπογραμμίζει ότι το μάθημα των φυσικών επιστημών πρέπει να προσφέρει γνώσεις χρήσιμες για την κατανόηση και ερμηνεία του κόσμου, τη διαχείριση του περιβάλλοντος και τη διαμόρφωση στάσης απέναντι στον φυσικό περίγυρο. Αντίστοιχα, ο Pradel (1970, σ. 15) θεωρεί ότι βασική αποστολή του μαθήματος είναι η παροχή γνώσεων και δεξιοτήτων απαραίτητων για τη ζωή στη σύγχρονη τεχνοκρατούμενη κοινωνία, η άσκηση ικανοτήτων όπως η παρατήρηση, η σκέψη και η κρίση, καθώς και η συμβολή στη διαμόρφωση υπεύθυνης στάσης ζωής.

Ο Wagenschein (1988, σ. 133 κ.ε.) επισημαίνει ότι η περιορισμένη κατανόηση των φυσικών επιστημών από τη μεγάλη πλειονότητα των πολιτών μπορεί να δημιουργήσει σημαντικά προβλήματα για τη σύγχρονη κοινωνία. Σε έναν κόσμο όπου η επιστήμη και η τεχνολογία επηρεάζουν όλο και περισσότερο την καθημερινή ζωή, είναι ιδιαίτερα σημαντικό οι πολίτες να διαθέτουν μια βασική κατανόηση των επιστημονικών εννοιών και του τρόπου με τον οποίο λειτουργεί η επιστημονική γνώση. Χωρίς αυτή τη βασική κατανόηση, οι άνθρωποι δυσκολεύονται να ερμηνεύσουν επιστημονικές πληροφορίες, να αξιολογήσουν τεχνολογικές εξελίξεις ή να συμμετέχουν ουσιαστικά σε συζητήσεις και αποφάσεις που σχετίζονται με ζητήματα επιστήμης και τεχνολογίας. Ένα από τα βασικά προβλήματα της εκπαίδευσης στις φυσικές επιστήμες είναι ότι συχνά το σχολείο επικεντρώνεται κυρίως στην προετοιμασία εκείνων των μαθητών που πρόκειται να ακολουθήσουν επιστημονικές σπουδές. Ωστόσο, στην πραγματικότητα μόνο ένα μικρό ποσοστό μαθητών θα επιλέξει να γίνει επιστήμονας ή να εργαστεί σε επιστημονικούς τομείς. Για τον λόγο αυτό, ο Wagenschein υποστηρίζει ότι η διδασκαλία των φυσικών επιστημών στο σχολείο θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη κυρίως τις ανάγκες της μεγάλης πλειονότητας των μαθητών, οι οποίοι στο μέλλον θα είναι πολίτες και όχι επαγγελματίες επιστήμονες. Επομένως, η εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες θα πρέπει

να στοχεύει όχι μόνο στη μετάδοση εξειδικευμένων γνώσεων, αλλά κυρίως στην ανάπτυξη μιας βασικής επιστημονικής παιδείας. Αυτό σημαίνει ότι οι μαθητές χρειάζεται να αποκτούν γνώσεις που να μπορούν να αξιοποιήσουν στην καθημερινή τους ζωή, καθώς και να κατανοούν βασικές έννοιες και τρόπους σκέψης που χαρακτηρίζουν την επιστήμη. Η ανάπτυξη μιας τέτοιας επιστημονικής παιδείας είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη λειτουργία μιας δημοκρατικής κοινωνίας. Όταν οι πολίτες δεν έχουν βασική κατανόηση των φυσικών επιστημών, υπάρχει ο κίνδυνος να δημιουργηθεί ένας διαχωρισμός ανάμεσα σε μια μικρή ομάδα ειδικών ή επιστημονικών αυθεντιών και στο ευρύ κοινό που δεν μπορεί να κατανοήσει ή να αξιολογήσει τις επιστημονικές πληροφορίες. Αντίθετα, όταν οι πολίτες διαθέτουν βασική επιστημονική γνώση, μπορούν να συμμετέχουν πιο ενεργά και υπεύθυνα σε κοινωνικές συζητήσεις και αποφάσεις που σχετίζονται με ζητήματα επιστήμης και τεχνολογίας.

Πέρα από τις γνώσεις που σχετίζονται με τα φυσικά φαινόμενα, η διδασκαλία των φυσικών επιστημών στο σχολείο έχει και έναν ακόμη σημαντικό ρόλο: να βοηθήσει τους μαθητές να κατανοήσουν τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί η επιστημονική σκέψη. Οι φυσικές επιστήμες δεν αφορούν μόνο την απομνημόνευση πληροφοριών, αλλά και την ανάπτυξη συγκεκριμένων τρόπων διερεύνησης και κατανόησης του κόσμου. Για τον λόγο αυτό, η διδασκαλία τους επιδιώκει να φέρει τους μαθητές σε επαφή με βασικές διαδικασίες της επιστημονικής μεθόδου, όπως είναι η προσεκτική παρατήρηση των φαινομένων, η διατύπωση ερωτημάτων και υποθέσεων, καθώς και η συστηματική διερεύνησή τους μέσα από πειραματισμό και έλεγχο. Η καλλιέργεια αυτών των δεξιοτήτων αποτελεί βασικό στόχο της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών, καθώς βοηθά τους μαθητές να αναπτύξουν έναν πιο οργανωμένο και κριτικό τρόπο σκέψης. Μέσα από τη διαδικασία της διερεύνησης, οι μαθητές μαθαίνουν να εξετάζουν τα δεδομένα, να ελέγχουν τις ιδέες τους και να οδηγούνται σε συμπεράσματα με βάση στοιχεία και αποδείξεις. Με αυτόν τον τρόπο, η μάθηση δεν περιορίζεται στην απλή απόκτηση γνώσεων, αλλά συμβάλλει και στην ανάπτυξη δεξιοτήτων σκέψης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές διαφορετικές καταστάσεις. Παράλληλα, η συστηματικότητα που χαρακτηρίζει την επιστημονική έρευνα μπορεί να λειτουργήσει ως πρότυπο για την αντιμετώπιση προβλημάτων και σε άλλους τομείς της καθημερινής ζωής. Η ικανότητα να παρατηρεί κανείς προσεκτικά ένα φαινόμενο, να θέτει ερωτήματα, να εξετάζει διαφορετικές πιθανές εξηγήσεις και να αναζητά αποδείξεις πριν καταλήξει σε συμπεράσματα αποτελεί μια σημαντική δεξιότητα που μπορεί να αξιοποιηθεί

σε πολλούς τομείς σκέψης και δράσης. («Φυσικά» Ε΄ Δημοτικού Ερευνώ και Ανακαλύπτω Βιβλίο Δασκάλου).

Σύμφωνα με τη μελέτη του IPN (Leibniz Institute for Science and Mathematics Education – Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften) στο Κίελο της Γερμανίας (Häußler, 1987), η διδασκαλία των φυσικών επιστημών στο σχολείο δεν περιορίζεται μόνο στη μετάδοση θεωρητικών γνώσεων, αλλά έχει και σημαντική πρακτική αξία για την καθημερινή ζωή των μαθητών. Οι γνώσεις που αποκτούν οι μαθητές μέσα από το μάθημα των φυσικών επιστημών μπορούν να τους βοηθήσουν να κατανοήσουν καλύτερα πολλά φαινόμενα που συναντούν στην καθημερινότητά τους και να αντιμετωπίζουν πιο αποτελεσματικά διάφορες πρακτικές καταστάσεις. Για παράδειγμα, η κατανόηση βασικών αρχών της φυσικής και της τεχνολογίας μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να διαχειρίζονται με μεγαλύτερη ασφάλεια και υπευθυνότητα ζητήματα που σχετίζονται με τον οικιακό χώρο, όπως η χρήση ηλεκτρικών συσκευών ή η εξοικονόμηση ενέργειας. Παράλληλα, οι φυσικές επιστήμες συμβάλλουν στη διαμόρφωση μιας πρώτης αντίληψης για τον τρόπο λειτουργίας πολλών επαγγελματιών και εργασιακών χώρων που σχετίζονται με την τεχνολογία, τη βιομηχανία ή την επιστημονική έρευνα. Επιπλέον, οι γνώσεις αυτές μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στην πρόληψη ατυχημάτων στην καθημερινή ζωή. Η κατανόηση βασικών κανόνων ασφάλειας, αλλά και η γνώση των κινδύνων που συνδέονται με ορισμένες φυσικές ή τεχνολογικές διαδικασίες, βοηθούν τους μαθητές να ενεργούν με μεγαλύτερη προσοχή και υπευθυνότητα σε διάφορες καταστάσεις. Παράλληλα, η διδασκαλία των φυσικών επιστημών βοηθά τους μαθητές να κατανοήσουν καλύτερα τις εξελίξεις που συμβαίνουν στον τομέα της επιστήμης και της τεχνολογίας. Στη σύγχρονη κοινωνία, οι επιστημονικές ανακαλύψεις και οι τεχνολογικές καινοτομίες επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την καθημερινή ζωή των ανθρώπων. Για τον λόγο αυτό, είναι σημαντικό οι μαθητές να μπορούν να παρακολουθούν αυτές τις εξελίξεις, να κατανοούν τα οφέλη που προσφέρουν, αλλά και να έχουν επίγνωση των πιθανών κινδύνων ή προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν από τη χρήση τους. Τέλος, η εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες συμβάλλει και στη διαμόρφωση στάσεων και απόψεων σχετικά με ευρύτερα κοινωνικά ζητήματα που σχετίζονται με την επιστήμη και την τεχνολογία, όπως είναι η προστασία του περιβάλλοντος, η χρήση της ενέργειας ή οι επιπτώσεις της τεχνολογικής ανάπτυξης στην κοινωνία. Με αυτόν τον τρόπο, οι μαθητές αποκτούν τα απαραίτητα εφόδια ώστε να μπορούν στο μέλλον να συμμετέχουν ως ενημερωμένοι και υπεύθυνοι πολίτες σε συζητήσεις και αποφάσεις που αφορούν θέματα επιστήμης και τεχνολογίας.

Οι φυσικές επιστήμες, εξετάζοντας τη νομοτέλεια του φυσικού κόσμου, παράγουν γνώση που οδηγεί σε άμεσες ή έμμεσες εφαρμογές και καινοτομίες, επηρεάζοντας καθοριστικά τη ζωή κάθε ανθρώπου. Για τον λόγο αυτό, εκτός από την επιστημονική, διαθέτουν και έντονη κοινωνική διάσταση. Ο διαχωρισμός της κοινωνίας σε λίγους «ειδικούς» και πολλούς πολίτες που αδυνατούν να κατανοήσουν τις φυσικές επιστήμες, όπως επισημαίνει ο Nolte (1987, σ. 284 κ.ε.), είναι ιδιαίτερα επικίνδυνος. Τίθεται έτσι το ερώτημα πώς μπορεί να κατοχυρωθεί ο κοινωνικός ρόλος της επιστήμης και η ηθική νομιμοποίηση της χρήσης ή κατάχρησης των εφαρμογών της, όταν η πλειονότητα των πολιτών δεν διαθέτει το απαραίτητο γνωστικό υπόβαθρο για να συμμετάσχει στον σχετικό διάλογο που θα οδηγήσει στη λήψη αποφάσεων.

Μία άποψη υποστηρίζει ότι αποφάσεις μεγάλης βαρύτητας πρέπει αναγκαστικά να λαμβάνονται από ειδικούς, καθώς οι μη ειδικοί στερούνται των απαιτούμενων γνώσεων και επηρεάζονται από συναισθηματικούς παράγοντες (Bleichroth 1991α, σ. 27). Αντίθετα, ο αντίλογος βασίζεται στο δικαίωμα κάθε πολίτη να διαμορφώνει άποψη και να συμμετέχει στις αποφάσεις που αφορούν τα διλήμματα της επιστήμης και της τεχνολογίας. Το δικαίωμα αυτό συνεπάγεται και το δικαίωμα στην κατάλληλη γνώση, ώστε η στάση να είναι τεκμηριωμένη και υπεύθυνη. Η επιστημονική κοινότητα, τόσο μέσω της εκπαίδευσης όσο και μέσω της προσαρμογής των επιστημονικών ζητημάτων στο επίπεδο γνώσεων των πολιτών, οφείλει να συμβάλει στην εξασφάλιση αυτού του δικαιώματος. Κατά συνέπεια, η διαμόρφωση υπεύθυνων πολιτών ικανών να συναποφασίζουν καθιστά επιτακτική την προσαρμογή του εκπαιδευτικού συστήματος, ώστε να διασφαλίζεται και να ενισχύεται ο κοινωνικός χαρακτήρας της επιστήμης.

Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις στον χώρο εργασίας αναμένεται να συνεχιστούν με αμείωτη ένταση, οδηγώντας σε ένα περιβάλλον όπου ολοένα και περισσότερα άτομα θα χρειάζεται να αποκτήσουν γνώσεις σχετικές με την επιστήμη. Για πολλούς, η ουσιαστική κατανόηση της επιστήμης δεν περιορίζεται μόνο στη συσσώρευση πληροφοριών, αλλά περιλαμβάνει την εκμάθηση νέων τρόπων σκέψης, την ανάπτυξη αναλυτικών δεξιοτήτων και την ικανότητα ερμηνείας του φυσικού κόσμου με συστηματικό τρόπο. Το κρίσιμο ερώτημα για τα επόμενα χρόνια είναι να καθοριστεί τι ακριβώς είναι πραγματικά χρήσιμο να διδαχθεί στους μαθητές και με ποιες διδακτικές μεθόδους μπορεί αυτό να γίνει αποτελεσματικά, δεδομένου ότι ο διαθέσιμος χρόνος στα μαθήματα φυσικής είναι συχνά περιορισμένος. Στοιχεία που συμβάλλουν σε αυτή τη συζήτηση προκύπτουν αφενός από τη

μελέτη της ίδιας της επιστημονικής σκέψης και αφετέρου από την παρατήρηση των αντιλήψεων και των γνωστικών διαδικασιών των φοιτητών που εισέρχονται στη φυσική. Κατά τον τελευταίο μισό αιώνα, χάρη στη συμβολή της φυσικής, πολλές νέες επιστήμες – όπως η χημεία, η βιολογία, η επιστήμη των υλικών και η επιστήμη της πληροφορίας – έχουν αναπτυχθεί και εδραιωθεί σε εντυπωσιακό βαθμό. Η πρόοδος αυτή, αν και ανοίγει τεράστιες ερευνητικές προοπτικές, δημιουργεί παράλληλα πίεση στα τμήματα φυσικής, τα οποία διεθνώς αντιμετωπίζουν δυσκολίες να προσελκύσουν τους καλύτερους φοιτητές. Σε αντίθεση με τις μηχανές, οι άνθρωποι κάνουν λάθη και λαμβάνουν αποφάσεις. Όταν οι εργαζόμενοι δεν κατανοούν τη λογική πίσω από μια διαδικασία, είναι πολύ πιθανότερο να την παραμελήσουν ή να την αγνοήσουν σε συνθήκες άγχους. Καθώς η επιστήμη και η τεχνολογία διεισδύουν όλο και πιο βαθιά στη ζωή μας, ανακύπτουν δύο καίρια ερωτήματα: (1) ποιος πρέπει να είναι ο ρόλος της φυσικής στην εκπαίδευση των επιστημόνων και των τεχνικών εργαζομένων και (2) ποιος πρέπει να είναι ο ρόλος της φυσικής στην εκπαίδευση των μη επιστημόνων, οι οποίοι ωστόσο χρειάζονται βασική επιστημονική κατάρτιση. Και τα δύο ερωτήματα είναι εξαιρετικά σημαντικά, καθώς αφορούν το μέλλον της επιστημονικής εκπαίδευσης και τη συμβολή της φυσικής στη διαμόρφωση του σύγχρονου πολίτη (Redish, 2002).

Η φυσική αποτελεί ιδανική αφετηρία για να αντιληφθεί κανείς την ουσία της επιστήμης και τον τρόπο λειτουργίας της. Πλήθος ερευνών καταδεικνύει ότι η εκπαίδευση στη φυσική έχει μεγάλη αξία για μια ευρεία γκάμα επαγγελματιών. Δεξιότητες όπως η επίλυση σύνθετων προβλημάτων, η μοντελοποίηση φυσικών συστημάτων και η ποσοτική εκτίμηση είναι πολύτιμες τόσο στις θετικές επιστήμες όσο και σε τομείς όπως η οικονομική ανάλυση και η χρηματοοικονομική μοντελοποίηση. Για να κατανοήσουμε, όμως, τι πραγματικά προσφέρει η διδασκαλία της φυσικής – και γιατί οι παραδοσιακές προσεγγίσεις συχνά δεν έχουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα – είναι αναγκαίο να την αντιμετωπίσουμε με τον ίδιο τρόπο που αντιμετωπίζουμε ένα επιστημονικό πρόβλημα: με παρατήρηση, ανάλυση και δημιουργία μοντέλων. Στην πράξη, η τυπική διδασκαλία της φυσικής δεν οδηγεί πάντοτε στην ανάπτυξη των γνώσεων, των δεξιοτήτων και των στάσεων που επιδιώκουμε να καλλιεργήσουμε στους φοιτητές μας. Σε αυτήν τη βάση, το ερώτημα «ποιος πρέπει να σπουδάζει φυσική στον 21ο αιώνα;» μπορεί να απαντηθεί ξεκάθαρα: όλοι, και ιδιαίτερα όσοι σκοπεύουν να αναπτύξουν ή να αξιοποιήσουν την επιστήμη και την τεχνολογία στο επαγγελματικό τους μέλλον. Η αυξανόμενη σημασία της επιστήμης και της τεχνολογίας προσφέρει μοναδική ευκαιρία να τοποθετηθεί η φυσική στο επίκεντρο της πανεπιστημιακής εκπαίδευσης. Για να επιτευχθεί

αυτό, όμως, απαιτείται καλύτερη κατανόηση των στόχων της διδασκαλίας και των μεθόδων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίτευξή τους. (Redish, 2002)

Οι Driver και Osborne (1998) υπογραμμίζουν τέσσερις λόγους για τους οποίους ο επιστημονικός γραμματισμός πρέπει να ενισχυθεί:

1. *Οικονομικός λόγος* – Οι σύγχρονες κοινωνίες απαιτούν εργατικό δυναμικό με επιστημονικό και τεχνολογικό υπόβαθρο.
2. *Λόγος χρησιμότητας* – Οι πολίτες χρειάζονται βασικές γνώσεις επιστήμης για να λειτουργούν υπεύθυνα και αποτελεσματικά.
3. *Πολιτισμικός λόγος* – Η επιστήμη αποτελεί σημαντικό κομμάτι του ανθρώπινου πολιτισμού.
4. *Δημοκρατικός λόγος* – Οι πολίτες πρέπει να μπορούν να διαμορφώνουν τεκμηριωμένες απόψεις για θέματα που σχετίζονται με την επιστήμη ώστε να συμμετέχουν σε συζητήσεις και σε λήψεις αποφάσεων

Σε άρθρο του ΟΟΣΑ το 2018 στα πλαίσια του προγράμματος της Πολιτικής για την Εκπαίδευση και τις Δεξιότητες, αναφέρεται: «Σε μια εποχή που χαρακτηρίζεται από μια νέα έκρηξη επιστημονικής γνώσης και μια αυξανόμενη σειρά σύνθετων κοινωνικών προβλημάτων, είναι σκόπιμο τα προγράμματα σπουδών να συνεχίσουν να εξελίσσονται, ίσως με ριζοσπαστικούς τρόπους» (OECD, 2018). Η πανδημία του COVID-19 ανέδειξε ένα πρόβλημα που θεωρούσαμε, ότι η ανάπτυξη των επιστημών και ειδικά της τεχνολογίας είχε λύσει: τον επιστημονικό αναλφαβητισμό ο οποίος παραμένει υπαρκτός ακόμη και στις πιο τεχνολογικά ανεπτυγμένες κοινωνίες. Πολλοί άνθρωποι έτειναν να πιστεύουν θεωρίες συνωμοσίας, παρά τον κρίσιμο ρόλο της επιστήμης στη λήψη αποφάσεων για την υγεία (Holbrook et al., 2022). Ο επιστημονικός γραμματισμός θεωρείται λοιπόν απαραίτητο στοιχείο στις σύγχρονες ανεπτυγμένες κοινωνίες με υψηλό βαθμό τεχνολογικής ανάπτυξης (De Boer, 2011) καθώς εξασφαλίζει πολίτες με ανοιχτούς ορίζοντες και επαρκή μόρφωση, αλλά και εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό για τις επιστημονικές και τεχνολογικές προκλήσεις (Roberts, 2007). Σε ένα περιβάλλον που χαρακτηρίζεται από διαρκώς επιταχυνόμενη επιστημονική και τεχνολογική πρόοδο, η προθυμία και το ενδιαφέρον των μαθητών – οι μελλοντικοί εργαζόμενοι – να εμπλακούν ενεργά με την επιστήμη και τα πεδία εφαρμογής της συνιστούν καθοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη και τη βιωσιμότητα της επιστημονικής γνώσης. Για την αποτελεσματική εκμάθησή της απαιτείται η κατανόηση όχι μόνο του αφηρημένου χαρακτήρα αυτών των αρχών, αλλά και της ευρείας εφαρμογής τους σε ποικίλες καταστάσεις. Ένας βασικός στόχος των μαθημάτων φυσικής είναι να

καθοδηγήσουν τους φοιτητές ώστε να αναγνωρίζουν τις ουσιαστικές ομοιότητες ανάμεσα σε προβλήματα που στηρίζονται στις ίδιες θεμελιώδεις αρχές, ακόμα κι αν εμφανίζονται με διαφορετικά επιφανειακά χαρακτηριστικά. Με αυτόν τον τρόπο, οι σπουδαστές αποκτούν τη δυνατότητα να μεταφέρουν τις γνώσεις τους από ένα πλαίσιο σε άλλο, ενισχύοντας τη βαθύτερη κατανόηση και την ικανότητα εφαρμογής της φυσικής σκέψης. (Lin & Singh, 2013)

Η επιστημονική κοινότητα καλείται να αναδιαμορφώσει ριζικά την εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες, προκειμένου αυτή να γίνει πιο αποτελεσματική και περισσότερο συναφής για ένα πολύ ευρύτερο τμήμα του μαθητικού πληθυσμού σε σχέση με το παρελθόν (Wieman & Perkins, 2005). Η ανάγκη αυτή απορρέει από τις ραγδαίες κοινωνικές και περιβαλλοντικές μεταβολές των τελευταίων δεκαετιών. Αφενός, η κοινωνία βρίσκεται αντιμέτωπη με παγκόσμιας κλίμακας ζητήματα θεμελιωδώς τεχνικής φύσης, όπως η κλιματική αλλαγή, η γενετική τροποποίηση και η ενεργειακή επάρκεια. Για να ληφθούν τεκμηριωμένες αποφάσεις σε τέτοια θέματα, απαιτείται πολίτης με υψηλό επίπεδο επιστημονικού και τεχνικού γραμματισμού. Αφετέρου, οι σύγχρονες οικονομίες εξαρτώνται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την τεχνολογία· ως εκ τούτου, η βαθύτερη κατανόηση της επιστήμης και η ανάπτυξη τεχνικών δεξιοτήτων επίλυσης προβλημάτων αποτελούν προϋπόθεση για την επαγγελματική εξέλιξη σχεδόν σε κάθε πεδίο, ενώ παράλληλα η ανταγωνιστικότητα των οικονομιών εξαρτάται από την ύπαρξη εργατικού δυναμικού με υψηλό επίπεδο τεχνικών γνώσεων και δεξιοτήτων.

Η νέα αυτή συνθήκη μετατοπίζει τον στόχο της εκπαίδευσης στις φυσικές επιστήμες: από τον παραδοσιακό προσανατολισμό στην εκπαίδευση μιας μικρής μειοψηφίας μελλοντικών επιστημόνων, στην προετοιμασία όλων των μαθητών με βασικές γνώσεις και δεξιότητες. Ο εκδημοκρατισμός της επιστημονικής εκπαίδευσης δεν ακυρώνει τη σημασία της κατάρτισης των μελλοντικών γενεών επιστημόνων, αλλά αντιθέτως μπορεί να οδηγήσει σε παραγωγή περισσότερων και καλύτερα καταρτισμένων ερευνητών και μηχανικών. Στο πλαίσιο αυτό, η κοινότητα των φυσικών καλείται να αναλάβει ηγετικό ρόλο στη διαμόρφωση μιας εκπαίδευσης που θα είναι ταυτόχρονα αποτελεσματική και κοινωνικά σχετική. (Wieman et al., 2005).

2.1.2. Οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές στη Φυσική

Η Φυσική αποτελεί έναν βασικό κλάδο των φυσικών επιστημών που ασχολείται με τη μελέτη των φαινομένων που συμβαίνουν στη φύση και στην καθημερινή ζωή. Μέσα από τη Φυσική οι άνθρωποι προσπαθούν να κατανοήσουν πώς λειτουργεί ο κόσμος γύρω τους, εξετάζοντας γεγονότα και διαδικασίες που μπορούν να παρατηρηθούν είτε άμεσα, όπως για παράδειγμα η κίνηση ενός αντικειμένου, είτε έμμεσα, μέσω πειραμάτων, μετρήσεων και επιστημονικών οργάνων. Σύμφωνα με τους Sani et al. (2019), η Φυσική δεν περιορίζεται μόνο στην περιγραφή των φαινομένων, αλλά περιλαμβάνει και τη μελέτη εννοιών, μοντέλων και θεωριών που προσπαθούν να εξηγήσουν γιατί και πώς συμβαίνουν τα διάφορα φυσικά γεγονότα. Η κατανόηση της Φυσικής συχνά απαιτεί από τους μαθητές να συνδυάσουν γνώσεις, παρατηρήσεις και λογική σκέψη. Για τον λόγο αυτό, η εκμάθησή της προϋποθέτει αρκετή συγκέντρωση και καλή κατανόηση βασικών εννοιών. Πολλές έννοιες της Φυσικής συνδέονται μεταξύ τους και αποτελούν τη βάση για την κατανόηση πιο σύνθετων φαινομένων. Αν οι βασικές έννοιες δεν γίνουν σωστά κατανοητές, τότε οι μαθητές μπορεί να δυσκολευτούν να κατανοήσουν τις επόμενες ή να οδηγηθούν σε λανθασμένα συμπεράσματα. Επιπλέον, στη Φυσική υπάρχουν πολλοί νόμοι και αρχές που περιγράφουν σταθερές σχέσεις μεταξύ των φυσικών μεγεθών. Οι νόμοι αυτοί αποτελούν βασικά εργαλεία για την ερμηνεία και την πρόβλεψη των φυσικών φαινομένων. Για τον λόγο αυτό, είναι σημαντικό οι μαθητές να χρησιμοποιούν με ακρίβεια τις έννοιες και τους όρους που σχετίζονται με τη Φυσική. Όπως αναφέρουν οι Susilowati et al. (2020), η έλλειψη ακρίβειας στην κατανόηση ή στη χρήση των επιστημονικών εννοιών μπορεί να οδηγήσει σε παρερμηνείες και παρανοήσεις σχετικά με τα φαινόμενα που μελετώνται.

Σύμφωνα με τον Hestenes (2015), η φυσική συνιστά το θεμελιώδες μάθημα στον κορμό της εκπαίδευσης STEM, καθώς καλλιεργεί δεξιότητες που είναι κρίσιμες για την επιστημονική σκέψη και την τεχνολογική ανάπτυξη. Παρά την καίρια σημασία της, ωστόσο, η φυσική παραμένει από τα λιγότερο ελκυστικά σχολικά μαθήματα. Η μειωμένη δημοφιλία της σχετίζεται με τη δυσκολία που αντιμετωπίζουν οι μαθητές στην κατανόηση αφηρημένων θεωρητικών εννοιών και των μεθόδων με τις οποίες αυτές παρουσιάζονται. Ιδιαίτερα απαιτητική είναι η φυσική του μικρόκοσμου, η οποία αφορά φαινόμενα και διεργασίες που υπερβαίνουν την άμεση αισθητηριακή αντίληψη. Σύμφωνα με τη Holubova (2023), ένας αποτελεσματικός τρόπος καλλιέργειας ενδιαφέροντος για το αντικείμενο είναι η σύνδεση των φυσικών εννοιών με εφαρμογές που σχετίζονται με την καθημερινότητα των μαθητών.

Παρά τη σημασία της φυσικής, η ερευνητική δραστηριότητα των τελευταίων δεκαετιών έχει δείξει μια σαφή μείωση του ενδιαφέροντος των μαθητών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης για τις φυσικές επιστήμες και ειδικότερα τη φυσική, (Schiefele, 2009). Μελέτες έχουν δείξει ότι οι μαθητές αντιλαμβάνονται τη φυσική όχι μόνο ως μάθημα με υψηλές γνωστικές απαιτήσεις, αλλά και ως αντικείμενο χαμηλού ενδιαφέροντος, το οποίο σπάνια συνδέουν με μελλοντικές ακαδημαϊκές ή επαγγελματικές προοπτικές (Angell et al., 2004· Guttersrud et al.; 2004· Kessels et al., 2006· Barmby et al., 2008· Jenkins et al., 2005). Παράλληλα, έχει αποδειχθεί ότι πολλοί μαθητές δυσκολεύονται να αναπτύξουν ολοκληρωμένες και συνεκτικές γνώσεις στον τομέα της φυσικής (Beaton et al., 1996· OECD, 2004, 2010).

Όπως επισημαίνει ο Elby, οι μαθητές προσεγγίζουν τη φυσική με πολύ διαφορετικές νοητικές αναπαραστάσεις, οι οποίες επηρεάζουν καθοριστικά τον τρόπο με τον οποίο μαθαίνουν. Για αρκετούς, η φυσική εμφανίζεται ως ένα σύνολο απομονωμένων και αδύναμα συνδεδεμένων πληροφοριών, τις οποίες πρέπει να απομνημονεύσουν και να ανακαλέσουν κατά περίπτωση, χωρίς να αντιλαμβάνονται τη μεταξύ τους συνοχή. Άλλοι μαθητές, αντίθετα, την αντιλαμβάνονται ως ένα συνεκτικό και ενοποιημένο δίκτυο ιδεών, όπου κάθε έννοια αποκτά νόημα μόνο μέσα από τις σχέσεις της με τις υπόλοιπες. Στο ίδιο πλαίσιο διαφοροποίησης, ορισμένοι θεωρούν ότι η εκμάθηση της φυσικής ισοδυναμεί με την αποστήθιση μαθηματικών τύπων και αλγορίθμων επίλυσης προβλημάτων, ενώ άλλοι κατανοούν ότι η ουσιαστική μάθηση προϋποθέτει τη σύνδεση θεμελιωδών αρχών με τις πρακτικές μεθόδους επίλυσης. Παράλληλα, για μια μερίδα μαθητών η μαθησιακή διαδικασία περιορίζεται στην παθητική απορρόφηση έτοιμων πληροφοριών, ενώ για άλλους συνιστά μια ενεργητική διαδικασία οικοδόμησης προσωπικής κατανόησης και παραγωγής νοήματος. Υπό αυτή την οπτική, η διδακτική παρέμβαση δεν περιορίζεται στη μετάδοση γνώσεων· αντίθετα, σημαντικός στόχος καθίσταται η ενίσχυση της ικανότητας των μαθητών να αναγνωρίζουν τη σημασία της εννοιολογικής συνέπειας και συνοχής, καθώς και η καλλιέργεια της επίγνωσης ότι η βαθύτερη κατανόηση διαφοροποιείται ριζικά από την απλή απομνημόνευση (Elby, 2001).

Πολλοί μαθητές εκφράζουν την άποψη ότι «η φυσική είναι δύσκολη αλλά ενδιαφέρουσα». Σε σχετική μελέτη, οι Angell et al. (2004) διερεύνησαν τις αντιλήψεις μαθητών γυμνασίου και καθηγητών φυσικής και διαπίστωσαν ότι οι μαθητές θεωρούν το μάθημα απαιτητικό, κυρίως επειδή καλούνται να χειριστούν ταυτόχρονα πολλαπλές μορφές αναπαράστασης, όπως πειράματα, μαθηματικούς τύπους και υπολογισμούς, γραφήματα καθώς και

εννοιολογικές εξηγήσεις. Η φυσική απαιτεί τη συνεχή μετάβαση μεταξύ αυτών των αναπαραστάσεων, γεγονός που δυσχεραίνει την κατανόηση. Στην ίδια μελέτη, οι εκπαιδευτικοί δήλωσαν ότι η ικανότητα στα μαθηματικά είναι απαραίτητη για την κατανόηση των εννοιών της φυσικής και οι μαθητές έχουν χαμηλότερη μαθηματική ικανότητα. Η φυσική γίνεται όλο και πιο δύσκολη λόγω της μεταβαλλόμενης φύσης της φυσικής κατά τη διάρκεια της δευτεροβάθμιας σχολικής περιόδου. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου η φυσική γίνεται λιγότερο περιγραφική και περισσότερο μαθηματική (Owen et al. 2008). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μελετών που έγιναν από αυτούς τους ερευνητές, οι εκπαιδευτικοί πιστεύουν ότι οι μαθητές έχουν την προκατάληψη ότι οι έννοιες της φυσικής είναι δύσκολες (Oon & Subramaniam, 2011). Έχει υποστηριχθεί από τους ερευνητές ότι οι μαθητές θεωρούν τις έννοιες στη φυσική πολύ αφηρημένες για να τις κατανοήσουν. Επιπλέον, οι εκπαιδευτικοί πιστεύουν επίσης ότι οι μαθητές πρέπει να έχουν υψηλό επίπεδο ικανότητας στα μαθηματικά για να κατανοήσουν καλύτερα τις έννοιες της φυσικής (Oon & Subramaniam, 2011). Παρόμοιες απόψεις έχουν διατυπωθεί και από άλλες μελέτες (Gill, 1999; Politis, Killeavy & Mitchell, 2007).

Πολλές έρευνες έχουν επισημάνει ότι η Φυσική θεωρείται ένα από τα πιο απαιτητικά μαθήματα τόσο για τους μαθητές που την μαθαίνουν όσο και για τους εκπαιδευτικούς που τη διδάσκουν (Angell et al., 2004· Mualem et al., 2008). Η δυσκολία αυτή σχετίζεται κυρίως με τη φύση των εννοιών που χρησιμοποιεί η Φυσική, οι οποίες συχνά είναι αφηρημένες και δεν γίνονται εύκολα αντιληπτές μέσα από την καθημερινή εμπειρία των μαθητών. Πολλά φυσικά φαινόμενα δεν μπορούν να παρατηρηθούν άμεσα ή απαιτούν ειδικό τρόπο σκέψης για να ερμηνευθούν, γεγονός που καθιστά την κατανόησή τους πιο απαιτητική. Επιπλέον, καθώς οι μαθητές προχωρούν στις βαθμίδες της εκπαίδευσης και ιδιαίτερα κατά τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, ο τρόπος με τον οποίο παρουσιάζεται η Φυσική αλλάζει σημαντικά. Στα πρώτα στάδια της εκπαίδευσης, τα φυσικά φαινόμενα παρουσιάζονται κυρίως μέσα από περιγραφές, παραδείγματα και απλές παρατηρήσεις. Ωστόσο, σταδιακά η διδασκαλία της Φυσικής γίνεται περισσότερο αφηρημένη και βασίζεται σε μεγαλύτερο βαθμό στη χρήση μαθηματικών σχέσεων και τύπων. Σύμφωνα με τους Redish (1994) και Owen et al. (2008), αυτή η μετάβαση από την περιγραφική στην περισσότερο μαθηματική προσέγγιση αποτελεί έναν από τους βασικούς λόγους που πολλοί μαθητές δυσκολεύονται να κατανοήσουν το περιεχόμενο του μαθήματος. Η αυξημένη χρήση μαθηματικών συμβόλων, τύπων και αφηρημένων εννοιών απαιτεί από τους μαθητές να συνδυάσουν διαφορετικές δεξιότητες, όπως μαθηματική σκέψη, εννοιολογική κατανόηση και ικανότητα σύνδεσης των

μαθηματικών σχέσεων με τα φυσικά φαινόμενα που περιγράφουν. Όταν οι μαθητές δεν καταφέρνουν να συνδέσουν τα μαθηματικά εργαλεία με το φυσικό νόημα των εννοιών, συχνά αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην κατανόηση της Φυσικής και μπορεί να οδηγηθούν σε παρανοήσεις σχετικά με τα φαινόμενα που μελετούν.

Οι Carter και Brickhouse (1989) δήλωσαν ότι οι μαθητές και οι δάσκαλοι ζουν σε διαφορετικούς κόσμους και έχουν διαφορετικές γλώσσες. Αυτή η ανομοιότητα προκαλεί έλλειψη επικοινωνίας μαθητή-δασκάλου. Εάν οι εκπαιδευτικοί δεν καταλαβαίνουν τους μαθητές τους, δεν μπορούν να ανακαλύψουν τις ανάγκες των μαθητών τους και δεν μπορούν να οργανώσουν αποτελεσματικά τη διδασκαλία τους για τους μαθητές τους.

Ο Redish σημειώνει: "πρέπει να προσεγγίσουμε τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών ως επιστημονικό πρόβλημα". Όπως επισημαίνει, η φυσική, ως γνωστικό αντικείμενο, απαιτεί από τους μαθητές την ικανότητα να χρησιμοποιούν και να συνδυάζουν πολλαπλούς τρόπους αναπαράστασης της γνώσης, καθώς και να μετακινούνται με ευχέρεια από τον έναν στον άλλον. Οι τρόποι αυτοί περιλαμβάνουν τη λεκτική περιγραφή, τη χρήση αριθμητικών πινάκων, την ερμηνεία γραφημάτων, τη διατύπωση και κατανόηση εξισώσεων, τα διαγράμματα, αλλά και τους εννοιολογικούς χάρτες. Παράλληλα, η ενασχόληση με τη φυσική προϋποθέτει την αποτελεσματική αξιοποίηση μαθηματικών εργαλείων, όπως η άλγεβρα και η γεωμετρία, καθώς και την ανάπτυξη γνωστικής ευελιξίας, ώστε οι μαθητές να μπορούν να κινούνται τόσο από το συγκεκριμένο στο γενικό όσο και από το γενικό στο ειδικό. Ο συνδυασμός όλων αυτών των απαιτήσεων συμβάλλει στο να καθίσταται η εκμάθηση της φυσικής ιδιαίτερα απαιτητική και δύσκολη για ένα μεγάλο ποσοστό μαθητών (Redish, 1994).

Γενικότερα, αν και οι μαθητές αξιολογούν τις φυσικές επιστήμες ως ενδιαφέρουσες, σε σύγκριση με άλλα γνωστικά αντικείμενα τις θεωρούν λιγότερο ελκυστικές (Jenkins et al., 2005· Sjoberg et al., 2006). Ειδικότερα, σύμφωνα με τους Osborne et al. (2003), η φυσική, αν και αναγνωρίζεται ως χρήσιμη, κατατάσσεται από τους μαθητές χαμηλότερα σε ενδιαφέρον σε σχέση με τη χημεία και τη βιολογία.

Έρευνες έχουν δείξει ότι το ενδιαφέρον των μαθητών για τη φυσική συνδέεται θετικά με την απόκτηση γνώσεων και τα μαθησιακά επιτεύγματα, ενώ παράλληλα αποτελεί καταλύτη για τη διά βίου μάθηση και επηρεάζει τις επιλογές σταδιοδρομίας. Εάν οι μαθητές δεν αναπτύξουν ενδιαφέρον, είναι πιθανότερο να περιοριστούν στην επιφανειακή κατανόηση και να αποστασιοποιηθούν από το αντικείμενο. Αντιθέτως, όταν κινητοποιούνται

συναισθηματικά και γνωστικά, είναι σε θέση να εμπλακούν ενεργά στη μάθηση και να αξιοποιήσουν τις γνώσεις τους σε βάθος χρόνου (Hidi, 1990· Koller et al., 2001· Wigfield et al., 2010· Eccles et al., 2002).

Για να αντιμετωπιστεί αυτή η πρόκληση, η διδασκαλία των φυσικών επιστημών οφείλει να εντοπίζει με συστηματικό τρόπο τις μεταξύ τους εννοιολογικές συνδέσεις και να τις εντάσσει σε παρατηρήσεις του πραγματικού κόσμου, έτσι ώστε οι μαθητές να μπορούν να ερμηνεύουν φαινόμενα και να επιλύουν προβλήματα με ουσιαστική κατανόηση (Fortus et al., 2012· Fortus et al., 2015· Linn, 2000· Linn et al., 2003).

Συνολικά, αν και η γνώση της επιστήμης αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την κοινωνική συμμετοχή και την ένταξη σε ακαδημαϊκούς ή επαγγελματικούς τομείς, το ενδιαφέρον των μαθητών λειτουργεί ως διαρκές κίνητρο που ενισχύει τη διά βίου μάθηση και καθορίζει σε σημαντικό βαθμό τις ακαδημαϊκές και επαγγελματικές τους επιλογές. (Keller et al., 2014).

Ιδιαίτερα απαιτητική είναι η φυσική του μικρόκοσμου, η οποία ασχολείται με φαινόμενα και διαδικασίες που δεν είναι άμεσα προσβάσιμες στην αισθητηριακή εμπειρία. Αυτό καθιστά δύσκολη τη δημιουργία νοητικών μοντέλων και οδηγεί πολλούς μαθητές να περιορίζονται στην αποστήθιση τύπων χωρίς βαθύτερη κατανόηση (Hestenes, 2015)

Η ανησυχία που έχει δημιουργηθεί σε ένα ευρύτερο κοινό, καθώς και σε πολιτικούς και διευθυντές σχολείων λόγω των χαμηλών επιδόσεων των μαθητών σε διεθνείς αξιολογήσεις όπως οι TIMSS και PISA έχει οδηγήσει κυβερνήσεις, εκπαιδευτικούς φορείς και σχολεία να ζητούν πιο αποτελεσματική διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών. Στο πλαίσιο αυτό προτείνονται: (Beeth et al., 2003).

1. Επανεξέταση της θέσης των Φυσικών Επιστημών στο αναλυτικό πρόγραμμα,
2. Διεύρυνση των διδακτικών δραστηριοτήτων και των διαθέσιμων πόρων,
3. Ενίσχυση της εμπλοκής και του ενδιαφέροντος των μαθητών,
4. Εφαρμογή στην πράξη των αρχών του κονστрукτιβισμού

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών είναι ότι τα σχετικά μαθήματα αντιμετωπίζονται αποσπασματικά στις τρεις βαθμίδες της εκπαίδευσης, χωρίς να υπάρχει ένα ενιαίο και συνεκτικό διδακτικό πλαίσιο που να υπερβαίνει τη

διοικητική διάκριση του σχολείου σε βαθμίδες. Καθώς το μαθησιακό δυναμικό των μαθητών μεταβάλλεται ανάλογα με την ηλικία τους, είναι αναγκαίο και το επίπεδο εμπάθυνσης της διδασκαλίας να προσαρμόζεται αντίστοιχα. Ωστόσο, σε κάθε εκπαιδευτικό στάδιο πρέπει να αξιοποιούνται οι γνώσεις που έχουν ήδη αποκτηθεί και να συνδέονται ουσιαστικά με το νέο περιεχόμενο. Στην πρώτη βαθμίδα, η διδασκαλία της φυσικής οφείλει να επικεντρώνεται κυρίως στην καλλιέργεια της συστηματικής παρατήρησης και στην κατανόηση από τους μαθητές της εξέλιξης των φυσικών φαινομένων, δίνοντας έμφαση στην παρατηρησιακή τους διάσταση. Στη δεύτερη βαθμίδα, το βάρος μετατοπίζεται στην ποιοτική ερμηνεία των φαινομένων, ενώ παράλληλα γίνεται μια σταδιακή εισαγωγή στις ποσοτικές σχέσεις και στον μαθηματικό φορμαλισμό, δηλαδή στην ερμηνευτική διάσταση. Στην τρίτη βαθμίδα, η διδασκαλία ολοκληρώνεται με την πλήρη ανάπτυξη της ποσοτικής προσέγγισης και την εδραίωση του μαθηματικού φορμαλισμού, ο οποίος όμως βασίζεται σε φαινόμενα των οποίων η ποιοτική κατανόηση έχει ήδη θεμελιωθεί στις προηγούμενες βαθμίδες. Με αυτόν τον τρόπο, οι μαθητές δεν περιορίζονται στη μηχανική απομνημόνευση τύπων και σχέσεων, αλλά αντιλαμβάνονται ουσιαστικά τον φορμαλισμό ως μια μαθηματική συμπύκνωση της ποιοτικής πληροφορίας που περιγράφει τα φυσικά φαινόμενα. Φυσικά» Ε΄ Δημοτικού Ερευνώ και Ανακαλύπτω Βιβλίο Δασκάλου.

Οι μαθητές του δημοτικού εκδηλώνουν υψηλό κίνητρο να εξερευνήσουν τον κόσμο γύρω τους, υιοθετώντας σε κάποιο βαθμό τη στάση του επιστήμονα. Ωστόσο, η περιέργεια αυτή δεν ταυτίζεται με τη δομημένη επιστημονική σκέψη, η οποία απαιτεί χρόνο και συστηματική καλλιέργεια κατά τη διάρκεια της σχολικής εκπαίδευσης. Σε αυτό το πλαίσιο, μια αργή, σταδιακή και διερευνητική προσέγγιση, που ξεκινά από το πραγματικό και μη εξιδανικευμένο περιβάλλον στο οποίο ζει και μαθαίνει το παιδί, μπορεί να αποδειχθεί εξαιρετικά ωφέλιμη (Giliberti, 2021). Προς την ίδια κατεύθυνση, οι πρακτικές και νοητικές δραστηριότητες που στηρίζονται στην παιδαγωγική της Διερευνητικής Μάθησης στις Φυσικές Επιστήμες (IBSE) αναδεικνύονται ως ιδιαίτερα υποσχόμενες (Tuveri et al., 2023). Η μεθοδολογία IBSE έχει αναγνωριστεί διεθνώς ως αποτελεσματική για την ανάπτυξη του επιστημονικού και τεχνολογικού γραμματισμού των μαθητών, καθώς τους ενθαρρύνει να εμπλακούν ενεργά στη διαδικασία της έρευνας (Minner et al., 2009).

Η σύγχρονη πρόταση στη διδασκαλία των θετικών επιστημών στηρίζεται στο εποικοδομητικό μοντέλο μάθησης, το οποίο δίνει ιδιαίτερη σημασία στις εναλλακτικές ιδέες και παρανοήσεις που φέρουν οι μαθητές. Κατά συνέπεια, είναι αναγκαία η ύπαρξη

κατάλληλων τρόπων αξιολόγησης αυτών των καινοτόμων διδακτικών προτάσεων, προκειμένου να διαπιστωθεί κατά πόσο συμβάλλουν ουσιαστικά στην οικοδόμηση επιστημονικής γνώσης από τους μαθητές. Σε αντίστοιχα ερευνητικά ερωτήματα, ο πιο σταθερός και αξιόπιστος παράγοντας είναι οι ίδιες οι αντιλήψεις των μαθητών, οι οποίες μπορούν να λειτουργήσουν ως κριτήριο για την επιτυχία ή μη εφαρμογή μιας διδακτικής παρέμβασης. Στο πλαίσιο αυτό, οι Kotsis et al. (2004) πραγματοποίησαν έρευνα με μαθητές δημοτικού σχολείου, ενώ σε μεταγενέστερη μελέτη διερευνήθηκε κατά πόσο οι αντιλήψεις των μαθητών αυτών έχουν διαφοροποιηθεί, τόσο με τη χρήση των παλαιών όσο και των νέων σχολικών εγχειριδίων (Kotsis, 2005α). Η διαπίστωση ότι οι μαθητικές αντιλήψεις δεν παρουσίασαν ουσιαστική μεταβολή με την εισαγωγή των νέων εγχειριδίων οδήγησε στο συμπέρασμα ότι ο εκπαιδευτικός δεν αξιοποιεί πειραματικές δραστηριότητες στη διδακτική πράξη, παρότι αυτές αποτελούν βασικό στοιχείο του εποικοδομητικού μοντέλου διδασκαλίας των φυσικών επιστημών (Κουμαράς κ.ά., 1992).

Η χρήση του υπολογιστή είναι επίσης σημαντική στη διδασκαλία των θετικών επιστημών (Hicks et al., 1989). Η διεθνής εκπαιδευτική κοινότητα (Powell et al., 1993) και η ελληνική (Jimoyiannis, 2002- Mikropoulos et al., 1998) προετοιμάστηκαν να εντάξουν τον υπολογιστή στην εκπαιδευτική διαδικασία. Η εποικοδομητική διδακτική παρέμβαση με τη βοήθεια του υπολογιστή (Duffy et al., 1991- Mikropoulos, 2002) και τη χρήση προσομοιώσεων (Jimoyiannis et al., 2001- Tao et al., 1999) μελετήθηκε σε πολλών ειδών έρευνες, οι οποίες αφορούν τη μηχανική (Kolokotronis et al., 2003), τον ηλεκτρισμό (Barbas et al., Psillos, 2002), σε έννοιες της αστρονομίας, το άτομο, τη δομή της ύλης (Kontogeorgiou et al., 2004), το κύτταρο (Mikropoulos et al., 2003), τις χημικές αντιδράσεις (Solomonidou et al., 2001) κ.λπ. Τα αποτελέσματα των παραπάνω παρεμβάσεων κρίνονται θετικά, καθώς καταγράφηκαν σημαντικά γνωστικά οφέλη για τους μαθητές. Κοινό χαρακτηριστικό όλων των αναφερόμενων παρεμβάσεων είναι η ενεργή συμμετοχή των μαθητών στη διαδικασία οικοδόμησης της γνώσης και στην επίλυση προβλημάτων φυσικής. Τελικός στόχος της εκπαιδευτικής διαδικασίας είναι η μετατροπή της αποτελεσματικής διδασκαλίας από μια τέχνη που κατέχουν λίγοι σε μια επιστήμη την οποία μπορούν να μάθουν και να εφαρμόσουν πολλοί (Kotsis, 2023).

Τέλος η χρήση του υπολογιστή και του διαδικτύου από πολύ μικρή ηλικία, έχει βοηθήσει τον μαθητή να έχει εύκολη πρόσβαση σε πληροφορίες με αποτέλεσμα να διαμορφώνει νοητικές

αναπαραστάσεις για την ερμηνεία του κόσμου, διαφορετικές από τον μαθητή της ίδιας ηλικίας πριν από είκοσι χρόνια (Panagou et al., 2021)

2.2. Εναλλακτικές ιδέες

2.2.1. Εναλλακτικές ιδέες στη φυσική

Οι φυσικές επιστήμες ασχολούνται με τη μελέτη του κόσμου που μας περιβάλλει επομένως, η διδασκαλία τους δεν μπορεί και δεν πρέπει να αποκόπτεται από τις εμπειρίες που αποκτούν οι μαθητές μέσα από την καθημερινή τους επαφή με τα φυσικά φαινόμενα. Η σύνδεση του μαθήματος με ζητήματα της καθημερινής ζωής βοηθά τον μαθητή να αντιληφθεί την πρακτική αξία και τη χρησιμότητα της επιστήμης. «Πρέπει να επισημαίνουμε στους μαθητές ότι τα φαινόμενα των φυσικών επιστημών συμβαίνουν παντού στον κόσμο γύρω μας, όχι μόνο σε ειδικά εργαστήρια και υπό ειδικές συνθήκες» (Bentley et al., 1992).

Κατά τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών, ακόμη και στις πρώτες σχολικές βαθμίδες, οι μαθητές δεν είναι «άγραφοι πίνακες» ή «κενά δοχεία» (Nachtigall 1992), έτοιμα να δεχτούν για πρώτη φορά την επιστημονική ερμηνεία του κόσμου. Αντίθετα, διαθέτουν ήδη προσωπικές, πρώιμες αντιλήψεις για τα φυσικά φαινόμενα. Όταν παρακολουθούν ένα πείραμα, επιχειρούν αρχικά να το ερμηνεύσουν στηριζόμενοι στις προϋπάρχουσες έννοιες και αντιλήψεις τους. Για τον λόγο αυτό, είναι ιδιαίτερα σημαντικό ο δάσκαλος να γνωρίζει και να λαμβάνει υπόψη τις πρώιμες αυτές αντιλήψεις των μαθητών (Rhöneck 1992, Monk et al., 2000).

Ο κονστρουκτιβισμός βλέπει τη μάθηση ως την κατασκευή και αποδοχή νέων ιδεών ή την ανακατασκευή των υπαρχουσών ιδεών (Bell 1993). Η προηγούμενη γνώση επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές φιλοξενούν και αφομοιώνουν νέες πληροφορίες. Η προηγούμενη γνώση επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές αντιλαμβάνονται, οργανώνουν τις πληροφορίες και κάνουν νέες συνδέσεις πληροφοριών (Svinicki 1993-94). Η προηγούμενη γνώση είναι ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν τη μάθηση των μαθητών (Baser 2006). Η προηγούμενη γνώση έχει θετική επίδραση στα μαθησιακά επιτεύγματα των μαθητών (Calisir et al., 2003; Calisir et al., 2008) Ωστόσο, από την άλλη πλευρά, οι προηγούμενες γνώσεις των μαθητών μπορούν επίσης να αποτελέσουν εμπόδιο στη μάθηση, επειδή ορισμένες προηγούμενες γνώσεις μπορεί να έρχονται σε αντίθεση με τις

πληροφορίες που θα μάθουν (Cordova et al., 2014).

Η προηγούμενη γνώση ή εναλλακτική σύλληψη αποκτάται από τους μαθητές μέσω αλληλεπιδράσεων με το περιβάλλον μέσω εμπειριών. Κάθε μαθητής έχει διαφορετική εμπειρία, επομένως η νοητική του δομή σχετικά με μια έννοια που αποκτά είναι επίσης διαφορετική, μερικές από τις οποίες μπορούν να εξαπατήσουν την προηγούμενη σκέψη (Akpinar et al., 2011). Οι εναλλακτικές αντιλήψεις που αναπτύσσουν οι μαθητές μπορούν να εμποδίσουν την εννοιολογική τους κατανόηση (Salame et al., 2011). Η παραπάνω εξήγηση δείχνει ότι είναι σημαντικό για τους καθηγητές φυσικών επιστημών να γνωρίζουν τις προηγούμενες γνώσεις των μαθητών τους πριν διδάξουν νέες έννοιες. Οι προηγούμενες γνώσεις των μαθητών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καταλύτης για τη μάθηση και την προώθηση της κατανόησης επιστημονικών εννοιών.

Η διαδικασία κατά την οποία οι μαθητές τροποποιούν, εξελίσσουν ή ακόμη και εγκαταλείπουν τις αρχικές τους αντιλήψεις προκειμένου να υιοθετήσουν την επιστημονικά αποδεκτή ερμηνεία δεν είναι απλή και συχνά συναντά αντιστάσεις (Strike et al., 1992, Vosniadou et al., 2001). Οι σχολικές γνώσεις δεν γίνονται πάντοτε εύκολα αποδεκτές, καθώς συχνά συγκρούονται με τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές αντιλαμβάνονται τον κόσμο μέσα από τη δική τους εμπειρία. Η ανάγκη οικοδόμησης της γνώσης με βάση τις ήδη υπάρχουσες αντιλήψεις τονίζεται ιδιαίτερα στη θεωρία του κονστρουκτιβισμού, σύμφωνα με την οποία οι μαθητές κατασκευάζουν (construct) τη γνώση στηριζόμενοι στις προηγούμενες εμπειρίες τους. Επομένως, η μαθησιακή πορεία διαφοροποιείται από μαθητή σε μαθητή (Monk 1995). Η απόσταση ανάμεσα στις πρώιμες αντιλήψεις και στην επιστημονικά ορθή ερμηνεία εξηγεί σε μεγάλο βαθμό τις δυσκολίες που παρουσιάζονται στην κατανόηση των εννοιών των φυσικών επιστημών (Duit 1999, Duit et al., 2003).

Οι εναλλακτικές ιδέες—δηλαδή οι λανθασμένες ή ελλιπείς αντιλήψεις σχετικά με βασικές επιστημονικές έννοιες—εμφανίζονται συστηματικά σε μαθητές όλων των ηλικιών αλλά και σε εκπαιδευτικούς κάθε βαθμίδας. Στο πεδίο της Φυσικής, τέτοιου είδους παρανοήσεις συνήθως διαμορφώνονται μέσα από καθημερινές εμπειρίες, διαισθητικές εξηγήσεις και υπεραπλουστευμένες αναλογίες. Τα παιδιά διαμορφώνουν από πολύ μικρή ηλικία αντιλήψεις για τον κόσμο καθώς αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον τους (πολιτισμικό, κοινωνικό και τεχνολογικό), μέσα από τη γλώσσα και τις κοινωνικές τους σχέσεις (Kotsis, 2023).

Ήδη από τις δεκαετίες του 1930, ο Piaget (1951, 1960, 1970) αξιοποίησε τη μέθοδο της συνέντευξης για να εξετάσει πώς τα παιδιά αντιλαμβάνονται τη φυσική αιτιότητα, τον κόσμο, την κίνηση και την ταχύτητα, καταγράφοντας μεγάλο αριθμό πρώιμων ιδεών που σχετίζονται με πλήθος επιστημονικών φαινομένων.

Πριν περίπου σαράντα πέντε χρόνια, οι Driver και Easley (1978) άρχισαν να μελετούν συστηματικά τον τρόπο με τον οποίο τα παιδιά κατανοούν τις βασικές έννοιες των Φυσικών Επιστημών, συνδέοντας τη μάθηση με τη νοητική τους ανάπτυξη. Οι αντιλήψεις που σχηματίζουν τα παιδιά έχουν λάβει διάφορες ονομασίες, ανάλογα με την εποχή και τον τρόπο εμφάνισής τους. Έτσι, πολλές από αυτές περιγράφονται ως αυθόρμητες ερμηνείες για φυσικά φαινόμενα, οι οποίες διαμορφώνονται χωρίς τη συμβολή του δασκάλου. Ο Ausubel (1968) τις περιέγραψε ως «προκαταλήψεις», όρο που υιοθέτησε και ο Novak (1977). Η προηγούμενη γνώση είναι θεμελιώδης στη γνωστική ανάπτυξη επειδή είναι το σημείο εκκίνησης για την οργάνωση και την ερμηνεία της νέας πληροφορίας (Piaget, 1978; Vygotsky, 1978).

Καθώς οι μαθητές μεγαλώνουν, οι πρώιμες αυτές αντιλήψεις μπορεί να επιμείνουν, ακόμη και παρά τη διδασκαλία, με αποτέλεσμα να καθιερωθεί ο όρος «παρανόηση» (Helm, 1980). Ο Duit (1993), ωστόσο, έχει επισημάνει ότι ο όρος αυτός φέρει αρνητικό φορτίο, υπονοώντας ότι οι ιδέες των μαθητών είναι απλώς λανθασμένες και πρέπει να εξαλειφθούν. Στη βιβλιογραφία συναντάται συχνά και ο όρος «εναλλακτικές αντιλήψεις», όπως προτάθηκε από τους Osborne & Gilbert (1980b).

Οι αντιλήψεις των μαθητών δεν είναι προϊόν κακής πληροφόρησης, αλλά προκύπτουν από τον τρόπο που αντιλαμβάνονται, παρατηρούν και ερμηνεύουν τον κόσμο. Τα παιδιά οργανώνουν στοιχεία, κατασκευάζουν εννοιολογικά μοντέλα και τα χρησιμοποιούν για να ερμηνεύσουν γεγονότα και να προβλέψουν συμπεριφορές. Οι ιδέες τους είναι ενεργητικά διαμορφωμένες και συχνά συμπερασματικές. Οι μαθητές δεν αντιλαμβάνονται άμεσα τον κόσμο, αλλά μέσα από νοητικά σχήματα, αναπαραστάσεις και μοντέλα. Οι αντιλήψεις τους επηρεάζονται και από το περιβάλλον των ενηλίκων, το σχολείο, τα εγχειρίδια και τις συζητήσεις με συνομηλίκους. Ένα κρίσιμο ερώτημα είναι κατά πόσο οι μαθητές κατανοούν πρακτικά τους όρους που χρησιμοποιούν και αν τους χρησιμοποιούν με τον ίδιο τρόπο που τους χρησιμοποιούν οι ειδικοί της Φυσικής (Kotsis, 2023).

Οι Trowbridge & McDermott (1980) και πολλοί ακόμη ερευνητές της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών έχουν αφιερώσει δεκαετίες στην καταγραφή των εναλλακτικών ιδεών και στην αναζήτηση των αιτίων που τις προκαλούν. Σήμερα γνωρίζουμε ότι οι αρχικές αντιλήψεις των μαθητών επηρεάζουν σημαντικά τη μάθησή τους.

Οι Kaltakci και Didis (2007) όρισαν τις παρανοήσεις ως σταθερές και αντεπιστημονικές αντιλήψεις των μαθητών που εμποδίζουν τη σωστή εκμάθηση των εννοιών

Οι Samsudin et al. (2018) όρισαν τις παρανοήσεις ως την κατανόηση εννοιών που δεν είναι σύμφωνες με τις σωστές επιστημονικές αντιλήψεις.

Οι Turgut et al. (2011) ανέφεραν ότι οι παρανοήσεις διεισδύουν βαθιά στο μυαλό ενός μαθητή και ότι ο μαθητής τείνει να αντιστέκεται στην αλλαγή τους

Η διεθνής βιβλιογραφία καταλήγει στο συμπέρασμα ότι οι εκπαιδευτικοί πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις αντιλήψεις αυτές. Γι' αυτό αναπτύχθηκε το εποικοδομητικό μοντέλο διδασκαλίας, το οποίο αξιοποιεί τις υπάρχουσες ιδέες των μαθητών ώστε ο εκπαιδευτικός να χτίσει νέες γνώσεις επάνω τους, προκαλώντας γνωστική σύγκρουση και οδηγώντας σε εννοιολογική αλλαγή (Driver et al., 1985; Vosniadou, 1994).

Οι ιδέες των παιδιών είναι βαθιά ριζωμένες και δεν εξαλείφονται εύκολα. Ακόμη και οι «καλοί» μαθητές εμφανίζουν δυσκολίες στην κατανόηση βασικών εννοιών της Φυσικής και στην ανάπτυξη της επιστημονικής σκέψης, παρά τα πολλά χρόνια διδασκαλίας. Η παθητική γνώση οδηγεί σε σοβαρά προβλήματα ερμηνείας φαινομένων και επίλυσης προβλημάτων (Kotsis, 2023).

Πολλοί μαθητές που δυσκολεύονται να αναλύσουν ποιοτικά βασικά φυσικά φαινόμενα, μπορούν ωστόσο να επιλύσουν προβλήματα Φυσικής αξιοποιώντας πολύπλοκες μαθηματικές σχέσεις. Ο Mazur (1997) υπογραμμίζει ότι οι φοιτητές του είχαν απομνημονεύσει εξισώσεις και τεχνικές επίλυσης προβλημάτων, αλλά απέτυχαν σε δοκιμασίες που αφορούσαν εννοιολογική κατανόηση. Παρόμοια εικόνα συναντάται και στην Ελλάδα, όπου η διδασκαλία στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση επικεντρώνεται κυρίως στην αποστήθιση ορισμών και στη μηχανική εφαρμογή τύπων σε ασκήσεις (Jimoyiannis, 1999a, 1999b).

Οι Halloun και Hestenes (1985a) έδειξαν ότι οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να λύνουν περίπλοκα προβλήματα χωρίς απαραίτητα να κατανοούν εις βάθος τις φυσικές αρχές. Παρότι η διδασκαλία συχνά τους εξοπλίζει με επαρκή χειρισμό εξισώσεων, η κατανόηση των εννοιών που χρησιμοποιούν παραμένει απαραίτητη. Ο Redish (1994) σημειώνει ότι οι ταχείες τεχνολογικές μεταβολές απαιτούν επαναπροσδιορισμό της διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών, τονίζοντας ότι πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη έμφαση στο τι πραγματικά μαθαίνουν οι μαθητές και όχι απλώς στο τι διδάσκεται.

Οι Stylos και συνεργάτες (2007, 2008) επαναφέρουν το ζήτημα ότι οι μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης διατηρούν σημαντικό αριθμό παρανοήσεων, ακόμη και μετά από πολλαπλά έτη διδασκαλίας της Φυσικής. Αντίστοιχα, ο Halloun (1998) επισημαίνει ότι ακόμη και οι μαθητές που επιλέγουν το μάθημα της Φυσικής σε ανώτερο επίπεδο δυσκολεύονται να διακρίνουν βασικές έννοιες ή να τις εφαρμόσουν σε πραγματικές συνθήκες.

Η έρευνα για τις εναλλακτικές ιδέες τόσο των μαθητών όσο και των εκπαιδευτικών, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο αυτές επηρεάζουν τη διδασκαλία και τη μάθηση της Φυσικής, έχει αποτελέσει κεντρικό άξονα της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών επί δεκαετίες (Duit & Treagust, 2003). Τα ευρήματα αυτών των ερευνών καταδεικνύουν ότι οι αρχικές προσωπικές ιδέες και αντιλήψεις των μαθητών έχουν καθοριστική επίδραση στη διαδικασία μάθησης. Οι μαθητές αξιοποιούν αυτές τις ιδέες για να ερμηνεύσουν τον κόσμο, να οργανώσουν την εμπειρία τους και να ενσωματώσουν τη νέα γνώση (Ferreira et al., 2017, 2019; Kurnaz et al., 2011, 2014; Villarino, 2018).

Επομένως, ο/η εκπαιδευτικός οφείλει να ενσωματώνει τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών στην παιδαγωγική του/της πρακτική, με στόχο την εννοιολογική αλλαγή. Ωστόσο, προκύπτει ένα κρίσιμο ερώτημα: τι συμβαίνει όταν και οι ίδιοι οι εκπαιδευτικοί φέρουν εναλλακτικές αντιλήψεις, ανάλογες με αυτές των μαθητών τους; Τα τελευταία χρόνια, έρευνες έχουν δείξει ότι οι ενήλικες—ακόμη και όσοι έχουν ολοκληρώσει όλα τα επίπεδα της εκπαίδευσης—διατηρούν εναλλακτικές ιδέες σχετικά με έννοιες της Φυσικής (Kotsis, 2011; Kotsis & Panagou, 2022; Panagou et al., 2022). Οι αντιλήψεις αυτές συνδέονται στενά με τον σύγχρονο ορισμό του επιστημονικού γραμματισμού και τη διερευνητική διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών.

Οι εκπαιδευτικοί, σε αντίθεση με τους μαθητές, συνειδητοποιούν ταχύτερα τα κενά στις γνώσεις τους, γεγονός που ενισχύει συχνά τη διάθεσή τους για βελτίωση (Murphy & Smith, 2012). Παράλληλα, η έρευνα των τελευταίων δεκαετιών για τις αντιλήψεις των μαθητών έχει επηρεάσει βαθιά την έρευνα σχετικά με τις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών (Zhang et al., 2015). Μάλιστα, έχει υποστηριχθεί ότι πολλές εκπαιδευτικές μεταρρυθμίσεις απέτυχαν επειδή δεν έλαβαν υπόψη τις ήδη διαμορφωμένες γνώσεις και πεποιθήσεις των εκπαιδευτικών (Van Driel et al., 2002).

Πλήθος ερευνητών έχει διαπιστώσει ότι οι δάσκαλοι της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης συχνά στερούνται επαρκούς επιστημονικού υποβάθρου, ιδιαίτερα στη Φυσική (Appleton, 2003). Επιπλέον, αντιμετωπίζουν ελλείψεις σε εξοπλισμό και υποδομές, έχουν χαμηλή αυτοπεποίθηση στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών και συχνά αγνοούν τις παρανοήσεις των μαθητών τους (Abell & Roth, 1992; Appleton, 2003; Davis & Petish, 2017).

Ακόμη και όταν διδάσκουν Φυσική, οι εκπαιδευτικοί της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης διατηρούν εναλλακτικές αντιλήψεις που συχνά είναι παρόμοιες με αυτές των μαθητών τους (Kokkotas et al., 1995). Η έρευνα έχει εξετάσει κατά πόσο η διδακτική εμπειρία βοηθά στη μείωση αυτών των αντιλήψεων και κατά πόσο αυτές επιμένουν κατά τη διάρκεια της επαγγελματικής σταδιοδρομίας. Τα δεδομένα δείχνουν ότι πιο έμπειροι εκπαιδευτικοί είναι καταλληλότεροι για τη διδασκαλία εννοιών της Φυσικής στις μεγαλύτερες τάξεις του δημοτικού (Kotsis & Panagou, 2023). Τα ευρήματα αυτά ενισχύουν τη διαπίστωση ότι η μάθηση συνεχίζεται σε όλη τη διάρκεια της επαγγελματικής ζωής.

Τα συνολικά δεδομένα δείχνουν ότι οι παρανοήσεις τόσο των μαθητών όσο και των εκπαιδευτικών μειώνονται με την ηλικία και κυρίως με το μορφωτικό επίπεδο (Kotsis & Panagou, 2023). Οι έννοιες της Φυσικής εξελίσσονται διαρκώς κατά τη διάρκεια της ζωής, και οι εναλλακτικές ιδέες βοηθούν τα άτομα να κατανοήσουν τον κόσμο, αποτελώντας μέρος των γνωστικών δομών που αναπτύσσουν (Lin & Singh, 2015; Panagou et al., 2022).

Σημαντικό εύρημα αποτελεί επίσης το ότι οι εναλλακτικές αντιλήψεις των εκπαιδευτικών συχνά μοιάζουν με αυτές των μαθητών, γεγονός που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή (Kotsis & Panagou, 2022; McNeill & Knight, 2013). Η αποτελεσματική διδασκαλία προϋποθέτει ότι οι εκπαιδευτικοί κατανοούν τις αντιλήψεις των μαθητών τους και τις αποκλίσεις τους από τη σύγχρονη επιστημονική γνώση (Ferreira et al., 2017; Kurnaz & Arslan, 2011; Villarino,

2018). Αυτό έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη νέων διδακτικών στρατηγικών και προγραμμάτων που εστιάζουν στην αντιμετώπιση των εναλλακτικών ιδεών.

Καθώς οι μαθητές αλληλεπιδρούν με το φυσικό και κοινωνικό περιβάλλον, δημιουργούν ερμηνευτικά σχήματα με βάση τις γνωστικές τους δομές (Kotsis & Panagou, 2022). Η βιβλιογραφία προτείνει ότι οι αντιλήψεις των μαθητών μπορούν να ερμηνευθούν είτε ως σταθερές, συνεκτικές και λειτουργικές θεωρίες (Vosniadou, 2019), είτε ως ασταθείς, αποσπασματικές και εξαρτώμενες από το συμφραζόμενο (Kurniawan et al., 2019; Marhadi et al., 2019).

Οι εκπαιδευτικοί χρειάζεται να κατανοήσουν τα χαρακτηριστικά αυτών των εναλλακτικών αντιλήψεων ώστε να σχεδιάζουν αποτελεσματικές διδακτικές παρεμβάσεις και να ενισχύουν την κριτική τους αντιμετώπιση (Kotsis & Panagou, 2022).

Η μελέτη των αντιλήψεων μαθητών και εκπαιδευτικών και ο ρόλος που αυτές διαδραματίζουν στη διδασκαλία και τη μάθηση των Φυσικών Επιστημών αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τομείς της έρευνας στη Διδακτική της Φυσικής τις τελευταίες τρεις δεκαετίες. Έχει πλέον τεκμηριωθεί ότι οι μαθητές δεν λειτουργούν ως παθητικοί δέκτες της γνώσης· αντίθετα, ερμηνεύουν τις εμπειρίες τους μέσα από τη δική τους διαισθητική λογική και αναπτύσσουν αυτό που συχνά αποκαλείται «επιστήμη των παιδιών». Οι προϋπάρχουσες, βαθιά ριζωμένες ιδέες των μαθητών συχνά αποκλίνουν σημαντικά από το περιεχόμενο της επιστήμης ή ακόμη και αντιτίθενται σε αυτό. Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα μεγάλο μέρος της έρευνας εξακολουθεί να επικεντρώνεται κυρίως στις αντιλήψεις των μαθητών σε επίπεδο επιστημονικού περιεχομένου (Duit et al., 2003).

Όταν η έρευνα για τις εναλλακτικές ιδέες ξεκίνησε πριν από σχεδόν 50 χρόνια, κανείς δεν μπορούσε να φανταστεί τα χρήσιμα ευρήματα που προέκυψαν από όλες αυτές τις μελέτες για την εκπαίδευση στη φυσική. Υποστηρίζουμε ότι η έρευνα εναλλακτικών ιδεών είναι ανεκτίμητη για τη βελτίωση της επιστημονικής εκπαίδευσης και συμβάλλει στην ανάπτυξη μιας ολοένα και περισσότερο επιστημονικά εγγράμματης κοινωνίας. Ακόμα και τώρα, η έρευνα σε αυτόν τον τομέα δίνει ενδιαφέροντα αποτελέσματα, αποδεικνύοντας ότι οι εναλλακτικές ιδέες είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τη διδακτική της φυσικής (Kotsis 2023)

2.2.2. Εννοιολογική αλλαγή

Σύμφωνα με τον Duit, υπάρχουν δύο τύποι εννοιολογικής αλλαγής:

1. Αδύναμη αναδιάρθρωση γνώσης, αφομοίωση ή «εννοιολογική σύλληψη»,
2. Ισχυρή/ριζική αναδιάρθρωση γνώσης, προσαρμογή ή «εννοιολογική ανταλλαγή».

Η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής αφορά τη μετάβαση των μαθητών από τις προϋπάρχουσες αντιλήψεις τους προς τις επιστημονικές έννοιες που καλούνται να μάθουν (Duit, 1999). Στην κλασική προσέγγιση, ο εκπαιδευτικός εντοπίζει τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών και στη συνέχεια σχεδιάζει μια διδακτική στρατηγική που δημιουργεί γνωστική σύγκρουση, δηλαδή μια κατάσταση όπου οι υπάρχουσες ιδέες δεν επαρκούν για να εξηγήσουν τα υπό μελέτη φαινόμενα. Ακολούθως, εισάγεται ένα νέο επιστημονικό πλαίσιο που επιλύει την ασυμφωνία και οδηγεί σε αλλαγή των αντιλήψεων. Ωστόσο, η έρευνα έδειξε ότι η εννοιολογική πρόοδος μετά τη διδασκαλία είναι συχνά περιορισμένη (Duit & Treagust, 1998). Σπάνια διαπιστώνεται ότι μια εναλλακτική ιδέα εξαφανίζεται πλήρως για να αντικατασταθεί αποκλειστικά από την επιστημονική άποψη· αντιθέτως, συχνά «επιβιώνει» σε ορισμένα συμπραζόμενα. Σε πολλές περιπτώσεις επιτυγχάνεται μόνο μια μερική εννοιολογική αλλαγή, όπου στοιχεία της παλιάς και της νέας ιδέας συνδυάζονται σε ένα υβριδικό νοητικό σχήμα (Chinn & Brewer, 1993; Gilbert et al., 1982; Jung, 1993).

Οι εννοιολογικές αλλαγές μπορεί να είναι μόνιμες, προσωρινές ή ακόμη και τόσο αδύναμες ώστε να μην μπορούν να ανιχνευθούν. Σύμφωνα με τον Georghiades (2000), η μεταγνώση μπορεί να λειτουργήσει ως σημαντικός μεσολαβητής για την ενίσχυση της εννοιολογικής αλλαγής.

Όταν μια νέα αντίληψη δεν προκαλεί δυσαρέσκεια ή αντίφαση με τις υπάρχουσες ιδέες, τότε συνυπάρχει με αυτές, οδηγώντας σε εννοιολογική σύλληψη (Hewson, 1981). Σε περίπτωση που προκύψει σαφής ασυμβατότητα μεταξύ παλιάς και νέας αντίληψης (Hewson 1984), δύο εκβάσεις είναι πιθανές:

- Εάν η νέα σύλληψη επιτύχει υψηλότερη θέση από την προηγούμενη σύλληψη, μπορεί να συμβεί προσαρμογή, την οποία ο Hewson αποκαλεί εννοιολογική ανταλλαγή
- Εάν όμως η παλιά αντίληψη παραμένει ισχυρότερη, τότε η ανταλλαγή δεν πραγματοποιείται.

Επιπλέον, μια αντικατεστημένη ιδέα δεν εξαφανίζεται ολοκληρωτικά μπορεί να επανεμφανιστεί αργότερα σε νέες συνθήκες. Οι Hewson και Hennessey (1992) εξηγούν ότι για να γίνει μια νέα έννοια κατανοητή, οι μαθητές πρέπει να μπορούν να την περιγράψουν με δικά τους λόγια για να θεωρηθεί αληθοφανής, πρέπει να την πιστέψουν ως αντιπροσωπευτική του πραγματικού κόσμου και συμβατή με τις υπόλοιπες αντιλήψεις τους και για να είναι γόνιμη, πρέπει να είναι χρήσιμη στην επίλυση προβλημάτων και στην ερμηνεία φαινομένων.

2.2.3. Ο ρόλος των εκπαιδευτικών στη διδασκαλία της φυσικής

Ο ρόλος των εκπαιδευτικών αποδεικνύεται καθοριστικός για τη μαθησιακή διαδικασία. Αυτό αποτελεί ένα από τα βασικά συμπεράσματα της ιδιαίτερα επιδραστικής μετα-ανάλυσης του Hattie (2009), η οποία εξέτασε τους προγνωστικούς παράγοντες των μαθητικών επιδόσεων. Τα διαθέσιμα ερευνητικά δεδομένα καταδεικνύουν με συνέπεια ότι οι εκπαιδευτικοί διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διαμόρφωση των μαθησιακών αποτελεσμάτων, επηρεάζοντας τόσο την ποιότητα της γνώσης όσο και τα κίνητρα των μαθητών (Hill et al., 2005· Kunter et al., 2013· Sadler et al., 2013).

Επιπλέον, το ενδιαφέρον των εκπαιδευτικών έχει σημαντική επίδραση στη στάση των μαθητών απέναντι στη φυσική. Οι Schiefele και Schaffner (2015) έδειξαν ότι το ενδιαφέρον των δασκάλων της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης για τη διδασκαλία συνδέεται άμεσα με την ανάπτυξη ενδιαφέροντος από τους μαθητές. Βάσει της θεωρητικής θεμελίωσης του ενδιαφέροντος ως συνδυασμού θετικής συναισθηματικής εμπλοκής και γνωστικών αξιολογήσεων (Krapp, 2007), είναι εύλογο να θεωρηθεί ότι τα κίνητρα των εκπαιδευτικών συμβάλλουν ουσιαστικά στην κινητοποίηση των μαθητών. Μάλιστα, η απόλαυση και ο ενθουσιασμός που βιώνουν οι δάσκαλοι κατά τη διδασκαλία έχει αποδειχθεί ότι μεταδίδεται στους μαθητές, ενισχύοντας τόσο τη συναισθηματική τους εμπλοκή όσο και το γνωστικό τους ενδιαφέρον για το αντικείμενο (Kunter et al., 2013· Keller et al., 2014). Ουσιαστικά, η θετική στάση των εκπαιδευτικών δρα ως πολλαπλασιαστής, δημιουργώντας ένα μαθησιακό περιβάλλον που καλλιεργεί το ενδιαφέρον και ενισχύει την αποτελεσματική μάθηση.

Παρότι η συχνότητα των εσφαλμένων αντιλήψεων μειώνεται σε υψηλότερα επίπεδα εκπαίδευσης, δεν εξαλείφεται εντελώς ούτε στους καθηγητές Φυσικής (Bernhard, 2000).

Οι Kotsis et al. (2008) διαπίστωσαν ότι οι εκπαιδευτικοί της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης συνδυάζουν επιστημονικές και μη επιστημονικές ιδέες για να συγκροτήσουν την κοσμοθεωρία και τα μοντέλα τους για τα φυσικά φαινόμενα. Μία από τις βασικότερες αιτίες της δυσκολίας τους να υιοθετήσουν εποικοδομητικές προσεγγίσεις στη διδασκαλία σχετίζεται με τις ανεπαρκείς γνώσεις φυσικών επιστημών. Όταν οι εκπαιδευτικοί δεν κατέχουν επαρκώς το επιστημονικό περιεχόμενο, διδάσκουν με μειωμένη αυτοπεποίθηση χωρίς ενθουσιασμό και αποφεύγουν τις καινοτόμες δραστηριότητες (De Jong et al., 1998· Halkia 2003). Επίσης δυσκολεύονται να αναγνωρίσουν τις μαθησιακές δυσκολίες των παιδιών, να εκτιμήσουν τον ρόλο της πειραματικής διαδικασίας και να τη χειριστούν σωστά (McDermott, 1990).

Αξιοσημείωτο είναι ότι οι εναλλακτικές αντιλήψεις των εκπαιδευτικών συχνά μοιάζουν με εκείνες των μαθητών. Στον ηλεκτρισμό, για παράδειγμα, έχει καταγραφεί η άποψη «περισσότερο ρεύμα μπαίνει και λιγότερο βγαίνει από μια λάμπα», τόσο σε μαθητές 11–15 ετών όσο και σε φοιτητές Παιδαγωγικών Τμημάτων (Κουμαράς, 1989), αλλά και σε ασκούμενους εκπαιδευτικούς (Webb, 1992). Ωστόσο, οι εκπαιδευτικοί αναγνωρίζουν ευκολότερα από τους μαθητές την ανεπάρκεια των γνώσεών τους, γεγονός που κινητοποιεί τη διάθεση για βελτίωση (Cochran & Jones, 1998).

Πολλές απόπειρες εκπαιδευτικών μεταρρυθμίσεων απέτυχαν επειδή αγνόησαν τις προϋπάρχουσες πεποιθήσεις των εκπαιδευτικών (Μολοχίδης, 2005· Van Driel et al., 2001). Οι αντιλήψεις αυτές διαμορφώνονται από τον τρόπο με τον οποίο οι ίδιοι έχουν διδαχθεί, από τα σχολικά εγχειρίδια, από την καθημερινή εμπειρία και από τη χρήση όρων της καθημερινής γλώσσας (π.χ. ενέργεια, δύναμη, ηλεκτρισμός), αλλά και από την έλλειψη απτών εμπειριών που θα συνέδεαν τις αφηρημένες έννοιες με κατανοητά εννοιολογικά σχήματα (Novak, 1995).

Ο εκπαιδευτικός οφείλει να γνωρίζει τις αντιλήψεις των μαθητών για δύο λόγους. Πρώτον, για να κατανοεί τα συνηθισμένα λάθη και τις παρερμηνείες τους και να τα αξιοποιεί δημιουργικά στον σχεδιασμό μιας πιο αποτελεσματικής διδασκαλίας. Δεύτερον, γιατί οι μαθητές φέρνουν στην τάξη γνώσεις και ιδέες που αποτελούν τη βάση πάνω στην οποία θα οικοδομήσουν τη νέα γνώση. Εφόσον η μάθηση επιτυγχάνεται μέσω τροποποίησης των ήδη υπάρχοντων νοητικών σχημάτων, οι αρχικές αντιλήψεις των μαθητών αποτελούν το υλικό για περαιτέρω ανάπτυξη. Ωστόσο, προϋπόθεση για τη διαχείρισή τους είναι ο ίδιος ο εκπαιδευτικός να έχει αντιμετωπίσει τις δικές του εναλλακτικές ιδέες κάτι που σύμφωνα με

την έρευνα συχνά δεν συμβαίνει (Kotsis, 2023). Τα ερευνητικά δεδομένα υπογραμμίζουν επίσης ένα άλλο συμπέρασμα: ένας έμπειρος δάσκαλος είναι πιο κατάλληλος για να διδάξει έννοιες στις ανώτερες τάξεις του δημοτικού σχολείου. Ως εκ τούτου, ο δάσκαλος με περισσότερα χρόνια υπηρεσίας είναι προτιμότερο να αναλάβει διδασκαλία μαθημάτων Φυσικών Επιστημών στην Ε' και ΣΤ' τάξη του δημοτικού Σχολείου. Τα ευρήματα θα μπορούσαν να υποστηρίξουν ότι, τουλάχιστον για τη φυσική, ισχύει το γνωστό ρητό «γερνάω ενώ μαθαίνω». (Kotsis, K. T., & Panagou, D. 2023).

Ο Adeniyi (1985) έδειξε ότι πολλοί εκπαιδευτικοί δεν γνωρίζουν πώς να χειριστούν τις λανθασμένες αντιλήψεις των μαθητών και συχνά καταφεύγουν απλώς στη «σωστή» απάντηση, χρησιμοποιώντας την ως αυθεντία αντί να εμβαθύνουν στη σκέψη των μαθητών. Συνεπώς, οι εναλλακτικές ιδέες που έχουν διαμορφωθεί εκτός σχολείου ενισχύονται συχνά μέσα στην τάξη από τις αντίστοιχες αντιλήψεις των ίδιων των εκπαιδευτικών (Kotsis, 2023).

Σύμφωνα με τους Resbiantoro et al. (2022), όταν μια παρανόηση παγιώνεται στη σκέψη ενός μαθητή, μπορεί να επιφέρει αρνητικές συνέπειες στη μαθησιακή του πορεία. Παράλληλα, οι Chen et al. (2020) επισημαίνουν στην έρευνά τους ότι η διατήρηση λανθασμένων εννοιών προκαλεί στους μαθητές συναισθήματα απογοήτευσης, καθώς διαψεύδονται οι προσδοκίες τους για τη μάθηση. Η κατάσταση αυτή επηρεάζει δυσμενώς την ψυχολογική τους ευεξία, μειώνοντας την προθυμία τους να καλλιεργήσουν την περιέργειά τους και υπονομεύοντας την αυτοπεποίθησή τους για περαιτέρω μάθηση. Ως αποτέλεσμα, οι μαθητές εμφανίζουν μειωμένη διάθεση να συνεχίσουν την εκπαίδευσή τους, θεωρώντας τη μαθησιακή διαδικασία ιδιαίτερα απαιτητική. Συνολικά, αν και η γνώση της επιστήμης αποτελεί προϋπόθεση για την κοινωνική συμμετοχή και την πρόσβαση σε ακαδημαϊκούς ή επαγγελματικούς τομείς, το ενδιαφέρον των μαθητών λειτουργεί ως διαρκές κίνητρο που ενισχύει τη διά βίου μάθηση και καθορίζει τις μελλοντικές τους επιλογές. Ο ρόλος των εκπαιδευτικών είναι καθοριστικός για την καλλιέργεια αυτού του ενδιαφέροντος, αφού μέσω της στάσης και της διδασκαλίας τους μπορούν να καταστήσουν τη φυσική πιο ελκυστική και κοινωνικά σχετική.

Φυσικά, δεν μπορεί να απαντηθεί με σαφήνεια αν φταίει ο δάσκαλος, η μέθοδος ή το σχολικό βιβλίο, που μια εναλλακτική ιδέα επιμένει, αλλά σίγουρα μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι δεν έχει γίνει η απαραίτητη εννοιολογική αλλαγή. Από τη στιγμή που οι εναλλακτικές ιδέες είναι κοινές στους μαθητές και τις γνωρίζουμε, μπορούμε να καταλάβουμε από την ύπαρξή τους αν υπάρχει μάθηση και γνώση μετά τη διδασκαλία. (Kotsis 2023)

2.2.4. Εναλλακτικές ιδέες στον ηλεκτρισμό

Σύμφωνα με τη θεωρία του κονστρουκτιβισμού, η προϋπάρχουσα γνώση των μαθητών αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την οικοδόμηση της επιστημονικής τους κατανόησης. Οι ήδη διαμορφωμένες γνώσεις και εμπειρίες επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές προσλαμβάνουν νέες πληροφορίες, τις αφομοιώνουν και τις προσαρμόζουν, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο τις αντιλαμβάνονται, τις οργανώνουν και δημιουργούν νέες γνωστικές συνδέσεις. Συνεπώς, για την ενίσχυση της ουσιαστικής μάθησης, είναι απαραίτητο να αναγνωρίζονται και να λαμβάνονται υπόψη οι προηγούμενες γνώσεις των μαθητών. Ο ηλεκτρισμός αποτελεί ένα από τα βασικά αντικείμενα της φυσικής, καθώς πέρα από τη σημασία του στο ίδιο το γνωστικό πεδίο της φυσικής, διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο και σε άλλες επιστήμες, όπως η χημεία και η βιολογία (Suma et al., 2018).

Ο ηλεκτρισμός συγκαταλέγεται στις αφηρημένες έννοιες της φυσικής επιστήμης. Παρότι δεν είναι ορατός, είναι παρών σε πολλές πτυχές της καθημερινής ζωής. Το αφηρημένο αυτό χαρακτηριστικό του καθιστά δύσκολη την κατανόησή του, με αποτέλεσμα τόσο οι μαθητές όσο και άτομα που έχουν ολοκληρώσει τη διδασκαλία της φυσικής να διαμορφώνουν λανθασμένες αντιλήψεις σχετικά με τη φύση και τη λειτουργία του ηλεκτρισμού και των ηλεκτρικών διατάξεων (Kollöffel et al., 2013).

Το κύριο πρόβλημα της διδασκαλίας του ηλεκτρισμού σε οποιοδήποτε εκπαιδευτικό επίπεδο, και ειδικά στο δημοτικό σχολείο, είναι η αφηρημένη φύση αυτής της γνώσης και το γεγονός ότι οι μαθητές παρατηρούν και προσπαθούν να εξηγήσουν τα μακροσκοπικά φαινόμενα που προκύπτουν από ορισμένες μικροσκοπικές διεργασίες, οι οποίες δεν παρατηρούνται ή γίνονται αντιληπτές άμεσα. Αυτή η έλλειψη άμεσης αντίληψης των αισθήσεων, και επομένως η αναπόφευκτη αφηρημένη φύση του θέματος, καθιστούν τη διδασκαλία εξαιρετικά δύσκολη. Οι μαθητές καλούνται να κατασκευάσουν νοητικές εικόνες ενός σύνθετου θέματος που δεν παρατήρησαν ποτέ. (Azaiza et al., 2006)

Δεδομένου ότι οι τεχνολογίες που σχετίζονται με την ηλεκτρική ενέργεια κατέχουν κεντρική θέση στην καθημερινή ζωή, οι μαθητές εισέρχονται στο σχολείο με προκαταρκτικές γνώσεις και εμπειρίες γύρω από το αντικείμενο, πάνω στις οποίες βασίζουν τη μετέπειτα μάθησή τους. Ένα από τα σημαντικότερα εμπόδια στη μαθησιακή διαδικασία είναι η ύπαρξη εσφαλμένων αντιλήψεων κατά τη μεταφορά εννοιών από την καθημερινή εμπειρία στο σχολικό πλαίσιο. Η βιβλιογραφία περιλαμβάνει πληθώρα μελετών που εξετάζουν τον τρόπο

με τον οποίο οι μαθητές κατανοούν τα ηλεκτρικά κυκλώματα, τον ρόλο της μοντελοποίησης στη διδασκαλία του ηλεκτρισμού και τις αντιλήψεις που διαμορφώνουν γύρω από την έννοια αυτή. Παρ' όλα αυτά, οι μαθητές αντιμετωπίζουν δυσκολίες με έννοιες όπως ο ηλεκτρισμός, η ηλεκτρική ενέργεια και το ηλεκτρικό ρεύμα (Cokelez et al., 2009). Σύμφωνα με τους Carlton (1999) και Chapman (2014), αυτό που κάνει τις έννοιες που σχετίζονται με τον ηλεκτρισμό να μην είναι εύκολα κατανοητές από τους μαθητές, είναι το γεγονός ότι αυτά τα φαινόμενα συμβαίνουν μέσα στα καλώδια και, ως εκ τούτου, δεν είναι δυνατόν να παρατηρήσουμε άμεσα τι συμβαίνει όταν η ροή των ηλεκτρονίων κινείται μέσω του κυκλώματος.

Η έννοια της ενέργειας μπορεί να λειτουργήσει ως αφετηρία για την κατανόηση του ηλεκτρισμού, καθώς, παρά τη δυσκολία ορισμού της, είναι πιο προσιτή συγκριτικά με άλλες σχετικές έννοιες. Η έννοια της ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί θεμελιώδη έννοια της φυσικής, η οποία είναι κρίσιμη και δεν μπορεί να αποσυνδεθεί από κανένα επίπεδο εκπαίδευσης. Στο δημοτικό σχολείο, οι μαθητές έρχονται σε επαφή με απλά ηλεκτρικά κυκλώματα αποκτώντας βασικές εμπειρίες, ενώ στα επόμενα εκπαιδευτικά επίπεδα ο ηλεκτρισμός διδάσκεται με πιο συστηματικό και οργανωμένο τρόπο, αποτελώντας ένα από τα σημαντικότερα διδακτικά αντικείμενα (Touliat et al., 2015). Παρ' όλα αυτά, αρκετοί μαθητές, παρά τη διαδοχική διδασκαλία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων σε διαφορετικές τάξεις, δυσκολεύονται να κατανοήσουν βασικές έννοιες όπως η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, η τάση και το ηλεκτρικό φορτίο (Saputro et al., 2018).

Παρότι ο ηλεκτρισμός συνδέεται άμεσα με την καθημερινή ζωή, η εννοιολογική του κατανόηση εξακολουθεί να αποτελεί πρόκληση για μαθητές όλων των σχολικών βαθμίδων. Πλήθος ερευνών διεθνώς καταδεικνύει ότι οι μαθητές συνεχίζουν να εμφανίζουν δυσκολίες και παρανοήσεις ακόμη και μετά από συστηματική και οργανωμένη διδασκαλία (McDermott et al., 1992; Fredette et al., 1980; Shipstone 1984; Duit et al., 1998). Μία από τις πιο συχνές δυσκολίες αφορά την αδυναμία σύνδεσης του θεωρητικού μοντέλου του ηλεκτρικού κυκλώματος με την πραγματική του διάταξη, καθώς και την ανεπαρκή κατανόηση βασικών ηλεκτρικών εννοιών (McDermott et al., 1992; Duit et al., 1998; Ronen et al., 2000). Ωστόσο, έρευνες έχουν δείξει ότι σε παγκόσμιο επίπεδο υπάρχουν μαθητές που μπορούν να ανακαλέσουν επαρκείς γνώσεις για τον ηλεκτρισμό ακόμη και από το επίπεδο του λυκείου (Saputro et al., 2018; Psillos 1998).

Η κατανόηση εννοιών του στατικού ηλεκτρισμού, όπως το ηλεκτρικό φορτίο, η μεταφορά φορτίου, το ηλεκτρικό δυναμικό, η διαφορά δυναμικού και η χωρητικότητα, έχει μελετηθεί από τους Başer και Geban (Başer et al., 2007). Η έρευνα στον τομέα της κατανόησης του ηλεκτρισμού εστιάζει κυρίως στο ηλεκτρικό ρεύμα, στη διαφορά δυναμικού και ιδιαίτερα στη φωτεινότητα των λαμπτήρων σε σειριακά και παράλληλα κυκλώματα συνεχούς ρεύματος (Pardhan et al., 2001; Lee et al., 2001; Küçüközer et al., 1988; Brna 1988; Kibble 1999; Thacker et al., 1999).

Ο όρος «παρανόηση» χρησιμοποιείται για να περιγράψει σταθερά λανθασμένα πρότυπα απαντήσεων των μαθητών, τα οποία χαρακτηρίζονται από αντοχή στον χρόνο και δυσκολία αλλαγής. Οι παρανοήσεις αυτές σχετίζονται με μη επιστημονικές προϋπάρχουσες αντιλήψεις που οι μαθητές φέρνουν μαζί τους στο σχολικό περιβάλλον (Brown et al., 1989). Τα κονστρουκτιβιστικά μοντέλα μάθησης θεωρούν ότι η ήδη υπάρχουσα γνώση και κατανόηση αποτελούν το θεμέλιο για την ανάπτυξη βαθύτερης και διαρκούς μάθησης (Taber et al., 2008). Όταν οι μαθητές δεν αντιλαμβάνονται τις έννοιες με τον τρόπο που τις ερμηνεύει η επιστημονική κοινότητα, η κατάσταση αυτή περιγράφεται από διαφορετικούς ερευνητές ως παρανόηση (Brown et al., 1989), εναλλακτική αντίληψη (Driver et al., 1978) ή εναλλακτικό πλαίσιο σκέψης (Northfield et al., 1983). Έρευνες δείχνουν ότι οι αντιλήψεις των μαθητών παρουσιάζουν εντυπωσιακές ομοιότητες σε διαφορετικές ηλικιακές ομάδες, ενώ παρόμοιες αντιλήψεις συναντώνται και σε ενήλικες ή ακόμη και σε ορισμένους εκπαιδευτικούς (Duit et al., 1995).

Οι παρανοήσεις αυτές είναι ιδιαίτερα διαδεδομένες στη φυσική και ειδικά στον τομέα του ηλεκτρισμού, κυρίως λόγω του αφηρημένου χαρακτήρα του. Για να επιτευχθεί αποτελεσματική μάθηση των επιστημονικών εννοιών, είναι αναγκαίο οι μαθητές να ξεπεράσουν αυτές τις παρανοήσεις. Παράλληλα, οι εκπαιδευτικοί οφείλουν να εντοπίζουν και να αντιμετωπίζουν λανθασμένες αντιλήψεις που οι μαθητές ενδέχεται να έχουν σχηματίσει ακόμη και πριν από την επίσημη διδασκαλία. Επιπλέον, οι μαθητές χρειάζεται να μπορούν να διακρίνουν μια παρανόηση από την απλή έλλειψη γνώσης. Οι συνηθέστερες παρανοήσεις σχετίζονται με βασικές έννοιες της κατασκευής ηλεκτρικών κυκλωμάτων και με τις αλλαγές που προκαλούνται από την προσθήκη ή αφαίρεση λαμπτήρων, άρα και αντιστάσεων, καθώς και με ζητήματα ασφάλειας, όπως το βραχυκύκλωμα. Μελέτες καταδεικνύουν επίσης ότι η πιο συχνή παρανόηση των μαθητών σχετίζεται με το μοντέλο του συγκρουόμενου ρεύματος, σύμφωνα με το οποίο μια συσκευή λειτουργεί επειδή η

μπαταρία παρέχει θετικό και αρνητικό ηλεκτρισμό που συγκρούονται μεταξύ τους. Παρόμοιες παρανοήσεις εμφανίζονται τόσο στους μαθητές όσο και στους εκπαιδευτικούς φυσικών επιστημών και περιλαμβάνουν τα μοντέλα του συγκρουόμενου ρεύματος, του κοινού ρεύματος, της παρομοίωσης της ροής του ρεύματος με τη ροή του νερού, του βραχυκυκλώματος και των τοπικών συλλογιστικών μοντέλων (Aligo et al., 2021).

Πέντε μοντέλα που αντιπροσωπεύουν εναλλακτικές ιδέες των μαθητών σε θέματα ηλεκτρισμού καταγράφηκαν σε ειδικές μελέτες (Osborne, 1981; Shipstone, 1984):

1. Το μονοπολικό μοντέλο, στο οποίο το ηλεκτρικό κύκλωμα δεν είναι κλειστό (το ρεύμα τρέχει σε ένα καλώδιο που συνδέει έναν πόλο μιας πηγής με τον λαμπτήρα).
2. Το μοντέλο ρεύματος σύγκρουσης, στο οποίο το ρεύμα ρέει από τους δύο πόλους μιας πηγής που συναντώνται στην αντίσταση (τον καταναλωτή ηλεκτρικής ενέργειας).
3. Το μοντέλο της μείωσης του ρεύματος που τρέχει προς μία κατεύθυνση.
4. Το μοντέλο του κοινού ρεύματος μεταξύ των εξαρτημάτων του κυκλώματος (κάθε προστιθέμενο εξάρτημα μειώνει το ρεύμα κατά ένα ορισμένο ποσό).
5. Το μοντέλο ενός σταθερού ρεύματος (που καθορίζεται από την αντίσταση του κυκλώματος και της μπαταρίας) σε ένα κλειστό κύκλωμα (η επιστημονική άποψη).

Οι Driver, Tiberghien & Guesne (1985) έδειξαν ότι κατά μέσο όρο το 43% των μαθητών ηλικίας 11-17 ετών χρησιμοποίησαν το μοντέλο των συγκρουόμενων ρευμάτων (το δεύτερο μοντέλο των Osborne και Shipstone)

Σύμφωνα με τους (Saputro et al., 2018) εντοπίστηκαν έντονες παρανοήσεις στα εξής:

Τα σημεία που είναι πιο κοντά στον θετικό πόλο της πηγής τάσης έχουν υψηλότερο ηλεκτρικό ρεύμα από τα περαιτέρω σημεία και μετά τη διέλευση λαμπτήρα, το ηλεκτρικό ρεύμα είναι χαμηλότερο.

Η πιο κοινή παρανόηση των μαθητών στον ηλεκτρισμό είναι το συγκρουόμενο τρέχον μοντέλο, δηλαδή, ότι ένα τροφοδοτικό σε ένα κύκλωμα παρέχει θετική και αρνητική ηλεκτρική ενέργεια σε μια συσκευή, επειδή μια μπαταρία παρέχει αρνητικό και θετικό ηλεκτρισμό και η σύγκρουσή τους προκαλεί τη λειτουργία της. (Aligo et al., 2021)

Οι κοινές παρανοήσεις που εντοπίστηκαν σε εργασίες των (Bilal et al., 2009) πάνω στο ηλεκτρικό ρεύμα μπορούν να συνοψιστούν ως εξής: «το ρεύμα καταναλώνεται από τα εξαρτήματα του κυκλώματος», «το ρεύμα βγαίνει και από τους δύο πόλους της μπαταρίας

και συγκρούεται στη λάμπα για να την ανάψει», «το ρεύμα βγαίνει από τον (+) πόλο της μπαταρίας και εισέρχεται στη λάμπα όπου καταναλώνεται για να ανάψει τη λάμπα η οποία δεν επηρεάζεται από το δεύτερο καλώδιο που συνδέεται μεταξύ του πόλου (-) και του εαυτού της». Οι ιδέες ότι «το ηλεκτρικό ρεύμα στο σημείο που βρίσκεται πιο κοντά στην πηγή τάσης είναι μεγαλύτερο από το ηλεκτρικό ρεύμα στο μακρύτερο σημείο από την πηγή τάσης» και «όσο πιο κοντά στον θετικό πόλο της μπαταρίας τόσο μεγαλύτερο είναι το ρεύμα» επιβεβαιώνονται και από τους Suma et al., 2018

Οι Setyani et al., 2017 καταγράφουν ως εναλλακτικές ιδέες ότι είναι (1) ένα καλώδιο υψηλής τάσης έχει ηλεκτρικό ρεύμα και μπορεί να προκαλέσει ηλεκτροπληξία, (2) η διαφορά δυναμικού και η τιμή της αντίστασης που χρησιμοποιείται σε ένα κύκλωμα επηρεάζεται από το ηλεκτρικό ρεύμα, (3) η τιμή της αντίστασης ενός λαμπτήρα είναι ανάλογη με το πάχος του νήματος, (4) η ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος που βγαίνει από την μπαταρία θετικού πόλου είναι η ίδια για όλους τους τύπους κυκλώματος, σε σειρά ή παράλληλα (η μπαταρία είναι πηγές σταθερού ρεύματος).

Το μοντέλο εξασθένησης είναι μία συχνή παρανόηση μεταξύ των μαθητών. Ενδεικτικά, στη μελέτη των Turgut et al. (2011), οι συμμετέχοντες μαθητές θεωρούσαν εσφαλμένα ότι οι λαμπτήρες καταναλώνουν το ρεύμα καθώς αυτό ρέει μέσα στο κύκλωμα. Αντίστοιχα, έρευνες δείχνουν ότι μία από τις πιο κοινές παρανοήσεις των εκπαιδευτικών αφορά το μοντέλο του βραχυκυκλώματος, σύμφωνα με το οποίο ένας κλάδος κυκλώματος χωρίς φορτίο θεωρείται ότι δεν επηρεάζει τη λειτουργία των υπόλοιπων κλάδων (Chambers et al., 1997; Fredette et al., 1981; Sencar et al., 2004).

Οι συχνότερες παρανοήσεις που έχουν εντοπιστεί σε μελέτες που σχετίζονται με το ηλεκτρικό ρεύμα συνοψίζονται στις εξής αντιλήψεις: ότι το ρεύμα καταναλώνεται από τα στοιχεία του κυκλώματος, ότι εξέρχεται και από τους δύο πόλους της μπαταρίας και συγκρούεται στη λάμπα για να την ανάψει, ή ότι το ρεύμα εξέρχεται από τον θετικό πόλο, εισέρχεται στη λάμπα όπου καταναλώνεται και δεν επηρεάζεται από το δεύτερο καλώδιο που συνδέεται με τον αρνητικό πόλο (Bilal et al., 2009).

Τα ευρήματα που αφορούν τους εκπαιδευτικούς φυσικών επιστημών προκαλούν ανησυχία, καθώς αναμένεται να διαθέτουν επαρκή γνώση του αντικειμένου που διδάσκουν (Orbe et al., 2018). Το γεγονός ότι οι εκπαιδευτικοί παρουσιάζουν παρανοήσεις συγκρίσιμες με εκείνες των μαθητών, καθώς και ελλείψεις σε βασικές έννοιες του ηλεκτρισμού, καθιστά αναγκαία

την επανεξέταση και ενίσχυση της επιστημονικής τους κατάρτισης. Για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των μαθητικών παρανοήσεων, προτείνεται η υιοθέτηση εναλλακτικών διδακτικών στρατηγικών που διερευνούν και διορθώνουν τις λανθασμένες αντιλήψεις, ενώ ταυτόχρονα ενισχύουν τη συνολική εννοιολογική κατανόηση των μαθητών. Η ανάγκη αυτή είναι ακόμη πιο επιτακτική αν ληφθεί υπόψη ότι ορισμένοι εκπαιδευτικοί που διδάσκουν ηλεκτρισμό δεν είναι ειδικοί στη φυσική (Aligo et al., 2021).

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Το ερευνητικό ερώτημα

Η παρούσα έρευνα στοχεύει στη διερεύνηση της εξέλιξης των αντιλήψεων των μαθητών σχετικά με τον ηλεκτρισμό κατά τη διάρκεια της φοίτησής τους στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Η έμφαση δεν δίνεται στην καταγραφή των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών, αλλά και στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο αυτές μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου. Ειδικότερα, εξετάζεται αν οι ιδέες των μαθητών βελτιώνονται, αν μετασχηματίζονται ή αν παραμένουν σταθερές σε διαφορετικές τάξεις και ηλικιακές ομάδες. Η προσέγγιση αυτή κρίνεται σημαντική, καθώς η μαθησιακή πορεία δεν είναι ίδια για όλους τους μαθητές. Παράλληλα, εξετάζεται σε δευτερεύον βαθμό και η εξέλιξη των εναλλακτικών ιδεών σε σχέση με το φύλο των μαθητών, χωρίς αυτό να αποτελεί βασικό άξονα της έρευνας.

Το βασικό ερευνητικό ερώτημα διατυπώνεται ως εξής: κατά πόσο οι αντιλήψεις των μαθητών για θεμελιώδεις έννοιες του ηλεκτρισμού μεταβάλλονται καθώς προχωρούν στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση και ποια είναι η φύση αυτών των μεταβολών. Πιο συγκεκριμένα, διερευνάται αν παρατηρείται σταδιακή βελτίωση της κατανόησης, αν περιορίζονται οι λανθασμένες αντιλήψεις ή αν ορισμένες από αυτές εξακολουθούν να υφίστανται παρά τη διδακτική διαδικασία. Παράλληλα, εξετάζεται ποιες λανθασμένες ιδέες μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου και ποιες παραμένουν ανθεκτικές.

Η έρευνα βασίζεται στη θέση ότι οι μαθητές δεν εισέρχονται στη μαθησιακή διαδικασία χωρίς προϋπάρχουσες γνώσεις, αλλά διαθέτουν ήδη διαμορφωμένες ιδέες για τα φυσικά φαινόμενα. Στην περίπτωση του ηλεκτρισμού, οι ιδέες αυτές συχνά αποκλίνουν από τις επιστημονικά αποδεκτές έννοιες, γεγονός που μπορεί να δυσχεραίνει την κατανόηση. Για τον λόγο αυτό, η παρούσα μελέτη δεν στοχεύει στον εντοπισμό νέων εναλλακτικών ιδεών, αλλά στην παρακολούθηση της εξέλιξης ήδη καταγεγραμμένων δυσκολιών, καθώς οι μαθητές μεταβαίνουν από το Γυμνάσιο στο Λύκειο.

Η διερεύνηση των παραπάνω εναλλακτικών ιδεών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση δομημένων ερωτηματολογίων, τα οποία θα λειτουργήσουν ως βασικό εργαλείο συλλογής δεδομένων. Τα ερωτηματολόγια αυτά επιτρέπουν όχι μόνο την απλή καταγραφή των απαντήσεων των μαθητών, αλλά και την αναγνώριση, την ποσοτική αποτύπωση και τη συστηματική παρακολούθηση των πιο συχνών και κοινών εναλλακτικών ιδεών που

εμφανίζονται σε σχέση με βασικές και θεμελιώδεις έννοιες του ηλεκτρισμού. Ενδεικτικά, οι έννοιες αυτές περιλαμβάνουν το ηλεκτρικό ρεύμα, την ηλεκτρική τάση, την ηλεκτρική αντίσταση καθώς και τη λειτουργία και τη δομή των ηλεκτρικών κυκλωμάτων.

Μέσα από τη λεπτομερή ανάλυση των απαντήσεων που δόθηκαν στα ερωτηματολόγια, η έρευνα επιδιώκει να διερευνήσει τον τρόπο με τον οποίο οι εναλλακτικές αυτές ιδέες σχηματίζονται αρχικά, πώς διατηρούνται και αντιστέκονται στην αλλαγή, αλλά και υπό ποιες συνθήκες ενδέχεται να τροποποιούνται ή να εξελίσσονται. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στη σύγκριση των αντιλήψεων των μαθητών σε διαφορετικά εκπαιδευτικά στάδια, καθώς προχωρούν από το γυμνάσιο στο λύκειο και εκτίθενται σε διαφορετικά διδακτικά πλαίσια, μεθόδους και εμπειρίες μάθησης.

Σε τελικό στάδιο, η μελέτη φιλοδοξεί να αναδείξει τη μεγάλη σημασία που έχει η συστηματική αναγνώριση, καταγραφή και παιδαγωγική αντιμετώπιση των εναλλακτικών αυτών ιδεών από την πλευρά των εκπαιδευτικών. Η κατανόηση της φύσης και της εξέλιξης των μαθητικών αντιλήψεων, όπως αυτή προέκυψε μέσα από τα δεδομένα των ερωτηματολογίων, μπορεί να συμβάλει καθοριστικά στον σχεδιασμό και την εφαρμογή πιο αποτελεσματικών διδακτικών στρατηγικών. Στόχος των στρατηγικών αυτών είναι η προώθηση της ουσιαστικής εννοιολογικής αλλαγής και η σταδιακή οικοδόμηση μιας συνεκτικής και επιστημονικά ακριβούς κατανόησης των φαινομένων του ηλεκτρισμού.

Στο πλαίσιο της εκπαιδευτικής έρευνας, τα ερωτηματολόγια πολλαπλής επιλογής χρησιμοποιούνται συχνά ως εργαλείο συλλογής δεδομένων από μαθητικούς πληθυσμούς. Συνήθως, οι ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής απαιτούν από τους μαθητές να επιλέξουν την καλύτερη απάντηση από μια σειρά προκαθορισμένων εναλλακτικών λύσεων. Τα ερωτηματολόγια πολλαπλής επιλογής παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η ευελιξία στη χρήση, η πρακτικότητα στην εφαρμογή τους σε μεγάλο αριθμό συμμετεχόντων, η αντικειμενικότητα στην αξιολόγηση των απαντήσεων, η ευκολία συμπλήρωσης, καθώς και η μειωμένη επίδραση της τάσης των συμμετεχόντων να απαντούν με κοινωνικά επιθυμητό τρόπο (Brancato et al., 2004).

Επειδή ο σκοπός της παρούσας μελέτης δεν είναι η ανίχνευση νέων εναλλακτικών ιδεών, αλλά το αν και πόσο αλλάζουν από τάξη σε τάξη της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, θεωρήθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθεί για τις ανάγκες της έρευνας ερωτηματολόγιο πολλαπλής επιλογής. (Κώτσης 2011)

Για τους παραπάνω λόγους, στο πλαίσιο της συγκεκριμένης έρευνας επιλέχθηκε η χρήση ερωτηματολογίου πολλαπλής επιλογής για καθαρά ερευνητικούς σκοπούς. Το ερωτηματολόγιο απευθύνεται σε όλες τις ηλικιακές ομάδες που συμμετέχουν στην έρευνα και περιλαμβάνει απλές ερωτήσεις που εστιάζουν στην εννοιολογική κατανόηση βασικών φαινομένων του ηλεκτρισμού. Οι ερωτήσεις αυτές έχουν διατυπωθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να απαντηθούν ακόμη και από μαθητές της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης, χωρίς να απαιτείται εξειδικευμένη επιστημονική γνώση.

Σε όλους τους μαθητές που συμμετείχαν στη μελέτη διανεμήθηκε το ίδιο ακριβώς ερωτηματολόγιο πολλαπλής επιλογής, το οποίο περιλάμβανε ερωτήσεις σχετικές με απλά ηλεκτρικά κυκλώματα. Η χρήση κοινού ερωτηματολογίου για όλες τις ομάδες της έρευνας εξασφαλίζει τη σύγκριση των δεδομένων και τη μείωση πιθανών ερευνητικών στρεβλώσεων. Για τον ίδιο λόγο, το ερωτηματολόγιο δεν περιλάμβανε γραφικές αναπαραστάσεις ή μαθηματικούς τύπους, ώστε να αποφευχθούν παρερμηνείες ή δυσκολίες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν αρνητικά τις απαντήσεις των μαθητών. Τα σενάρια των ερωτήσεων ήταν διατυπωμένα με απλή και κατανοητή γλώσσα, επιτρέποντας στους μαθητές να τα κατανοήσουν χωρίς να χρειάζεται να γνωρίζουν ή να χρησιμοποιούν επιστημονική ορολογία.

3.2. Χαρακτηριστικά ερωτηματολογίου

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, οι μαθητές παρουσιάζουν σημαντικές δυσκολίες στην κατανόηση βασικών εννοιών του ηλεκτρισμού, όπως είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, η ηλεκτρική τάση, το ηλεκτρικό φορτίο και η φωτεινότητα των λαμπτήρων σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα (Saputro et al., 2018; Pardhan et al., 2001; Lee et al., 2001; Küçüközer et al., 1988; Brna, 1988; Kibble, 1999; Thacker et al., 1999).

Ειδικότερα, έχει καταγραφεί ότι αρκετοί μαθητές πιστεύουν πως τα σημεία ενός κυκλώματος που βρίσκονται πιο κοντά στον θετικό πόλο μιας πηγής τάσης έχουν μεγαλύτερη ένταση ηλεκτρικού ρεύματος σε σύγκριση με τα σημεία που βρίσκονται πιο μακριά. Επιπλέον, συχνά θεωρούν ότι μετά τη διέλευση του ρεύματος από έναν λαμπτήρα η ένταση του ρεύματος μειώνεται, καθώς πιστεύουν ότι ο λαμπτήρας «καταναλώνει» μέρος του ρεύματος (Saputro et al., 2018; Turgut et al., 2011).

Παρόμοια ευρήματα παρουσιάζουν και οι Bilal et al. (2009), οι οποίοι διαπίστωσαν ότι πολλοί μαθητές έχουν την αντίληψη ότι το ηλεκτρικό ρεύμα καταναλώνεται από τα διάφορα εξαρτήματα του κυκλώματος, όπως οι αντιστάσεις ή οι λαμπτήρες, ενώ οι Suma et al. (2018), βρήκαν ότι οι μαθητές θεωρούν πως όσο πιο κοντά βρίσκεται ένα σημείο στον θετικό πόλο της μπαταρίας τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος.

Επιπλέον, οι Setyani et al. (2017) κατέγραψαν ότι αρκετοί μαθητές πιστεύουν ότι ένα καλώδιο υψηλής τάσης έχει ηλεκτρικό ρεύμα και ότι για τον λόγο αυτό μπορεί να προκαλέσει ηλεκτροπληξία. Οι Chambers et al., 1997; Fredette et al., 1981; Sencar et al., 2004 καταγράφουν ότι πολλοί μαθητές έχουν την αντίληψη ότι αν ένας κλάδος είναι βραχυκυκλωμένος δεν επηρεάζει την λειτουργία των υπόλοιπων κλάδων.

Λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω ερευνητικές διαπιστώσεις, κατασκευάσαμε ένα ερωτηματολόγιο που αποτελείται από 16 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής. Οι ερωτήσεις αυτές σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να διερευνούν τις βασικές παρανοήσεις των μαθητών σχετικά με τα ηλεκτρικά κυκλώματα. Το μεγαλύτερο μέρος των ερωτήσεων αντλήθηκε από τη διεθνή βιβλιογραφία, ενώ οι ερωτήσεις 12, 14 και 16 κατασκευάστηκαν ειδικά για τις ανάγκες της έρευνας, βασισμένες σε ερωτήματα και θεωρητικές προσεγγίσεις που περιλαμβάνονται στα σχολικά βιβλία της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Οι ερωτήσεις που χρησιμοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας αντλήθηκαν από τη σχετική βιβλιογραφία ως εξής:

Η ερώτηση 1 και 2 είναι από Urban, H. (2017).

Η ερώτηση 3 και 4 είναι από Wainwright, C. L. (2007).

Η ερώτηση 5 είναι από Osborne, R. (1983).

Η ερώτηση 6 και 7 είναι από Engelhardt et al., (2004)

Η ερώτηση 8 και 9 και 10 και 13 είναι από Ivanjek et al., (2021)

Η ερώτηση 11 είναι από Setyani et al., (2017)

Η ερώτηση 12 στηρίζεται στην θεωρία του σχολικού βιβλίου της γ Γυμνασίου, ενότητα 3: Ηλεκτρική ενέργεια, 3.1 θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος, παράγραφος 3: τηκόμενη ασφάλεια, των Νικόλαος Αντωνίου, Παναγιώτης Δημητριάδης, Κωνσταντίνος Καμπούρης, Κωνσταντίνος Παπαμιχάλης, Λαμπρινή Παπατσιμπί (2013)

και στο σχολικό βιβλίο της Β Λυκείου γενικής παιδείας : κεφάλαιο 2 ηλεκτρισμός-συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα, 2.7 ενέργεια και ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος, δ) βραχυκύκλωμα, των Νίκος Αλεξάκης, Σταύρος Αμπατζής, Γιώργος Γκουγκούσης, Βαγγέλης Κουντούρης, Νίκος Μοσχοβίτης, Σάββας Οβαδίας, Κλεομένης Πετρόχειλος, Μενέλαος Σαμπράκος, Αργύρης

Ψαλίδας, Πέτρος Γεωργακάκος, Αθανάσιος Σκαλωμένος, Νικόλαος, Σφαρνάς, Ιωάννης Χριστακόπουλος (2013)

Η ερώτηση 14 είναι από το σχολικό βιβλίο της Β λυκείου θετικής κατεύθυνσης του 4^{ου} κεφαλαίου (θερμοδυναμική), της ερώτησης 25, των: Ιωάννης Α. Βλάχος, Ιωάννης Γ. Γραμματικάκης, Βασίλης Α. Καραπαναγιώτης, Περικλής Εμ. Περιστερόπουλος, Γιώργος Β. Τιμοθέου (2013), προσαρμοσμένη για της ανάγκες της έρευνας.

Η ερώτηση 15 είναι από Önder et al., (2017)

Η ερώτηση 16 στηρίζεται στην θεωρία του σχολικού βιβλίου της γ Γυμνασίου, ενότητα 3: Ηλεκτρική ενέργεια, 3.1 θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος, παράγραφος 3: τηκόμενη ασφάλεια, των Νικόλαος Αντωνίου, Παναγιώτης Δημητριάδης, Κωνσταντίνος Καμπούρης, Κωνσταντίνος Παπαμιχάλης, Λαμπρινή Παπατσίμπα (2013)

και στο σχολικό βιβλίο της Β Λυκείου γενικής παιδείας : κεφάλαιο 2 ηλεκτρισμός-συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα, 2.7 ενέργεια και ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος, γ) ασφάλειες των Νίκος Αλεξάκης, Σταύρος Αμπατζής, Γιώργος Γκουγκούσης, Βαγγέλης Κουντούρης, Νίκος Μοσχοβίτης, Σάββας Οβαδίας, Κλεομένης Πετρόχειλος, Μενέλαος Σαμπράκος, Αργύρης Ψαλίδας, Πέτρος Γεωργακάκος, Αθανάσιος Σκαλωμένος, Νικόλαος, Σφαρνάς, Ιωάννης Χριστακόπουλος (2013)

3.2. Το δείγμα της έρευνας

Στο ελληνικό εκπαιδευτικό σύστημα, τα κεφάλαια που αφορούν τον ηλεκτρισμό διδάσκονται στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση, συγκεκριμένα στην Ε' και ΣΤ' τάξη του δημοτικού σχολείου, ενώ στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση η διδασκαλία του ηλεκτρισμού πραγματοποιείται στη Γ' Γυμνασίου καθώς και στην Β' και Γ' τάξη του λυκείου.

Το ερωτηματολόγιο διανεμήθηκε σε μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, και συγκεκριμένα σε μαθητές της Α', Β' και Γ' Γυμνασίου καθώς και της Α' και Β' Λυκείου, στην περιοχή του Λεκανοπεδίου Ιωαννίνων. Η Γ' Λυκείου εξαιρέθηκε σκόπιμα από την έρευνα, καθώς αποτελεί τάξη με έντονο προσανατολισμό στην προετοιμασία για τις Πανελλαδικές Εξετάσεις. Οι μαθητές της τάξης αυτής είτε έχουν ήδη εμβαθύνει σημαντικά στο κεφάλαιο του ηλεκτρισμού, στην περίπτωση που ανήκουν στη Θετική Κατεύθυνση ή στην Κατεύθυνση Υγείας, είτε δεν έχουν καμία ουσιαστική επαφή με το αντικείμενο, στην περίπτωση που ανήκουν στη Θεωρητική ή στην Οικονομική Κατεύθυνση.

Τα ερωτηματολόγια μοιράστηκαν τον μήνα Οκτώβριο πριν οι μαθητές έρθουν σε επαφή με το κεφάλαιο του ηλεκτρισμού για να ανιχνεύσουμε τις προϋπάρχουσες εναλλακτικές τους ιδέες πριν αυτές αλλάξουν με την διδασκαλία του αντίστοιχου κεφαλαίου στα σχολεία τους. Δόθηκαν σε έντυπη μορφή στους μαθητές, επιτηρήθηκαν, συλλέχθηκαν από καθηγητές και μεταφέρθηκαν σε επεξεργάσιμο ηλεκτρονικό αρχείο.

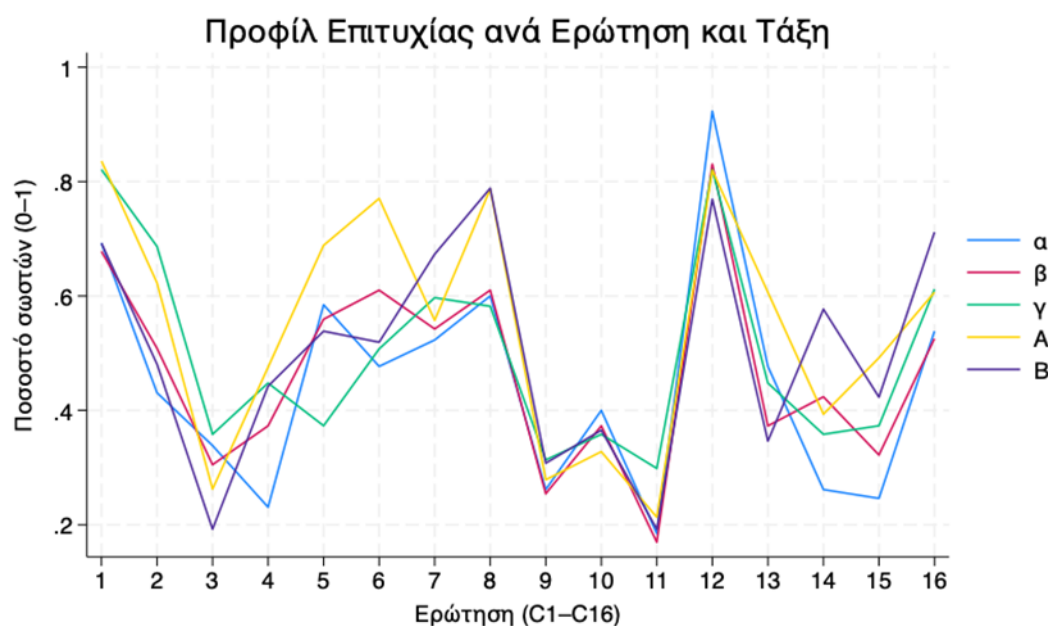
Το τελικό δείγμα περιλαμβάνει 304 μαθητές. Ως προς το φύλο συμμετείχαν 163 αγόρια (53,62%) και 141 κορίτσια (46,38%). Ως προς την τάξη, οι συμμετέχοντες προέρχονται από τρεις τάξεις Γυμνασίου (α, β, γ) και δύο τάξεις Λυκείου (Α, Β). Για λόγους αναπτυξιακής ερμηνείας, σε όλες τις αναλύσεις η σειρά παρουσίασης των τάξεων ακολουθεί τη μορφή α, β, γ, Α, Β, ώστε να αποτυπώνεται η πορεία από το Γυμνάσιο προς το Λύκειο (βλ. Πίνακα 1).

4. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η ανάλυση και η εξαγωγή των αποτελεσμάτων έγινε με το πρόγραμμα STATA

4.1 Περιγραφή βασικών μεταβλητών

Στους μαθητές όλων των τάξεων γυμνασίου και Α και Β Λυκείου, δόθηκε ένα ερωτηματολόγιο που περιλάμβανε 16 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής. Το score για κάθε ερώτηση ανά τάξη φαίνεται στο σχήμα 1.



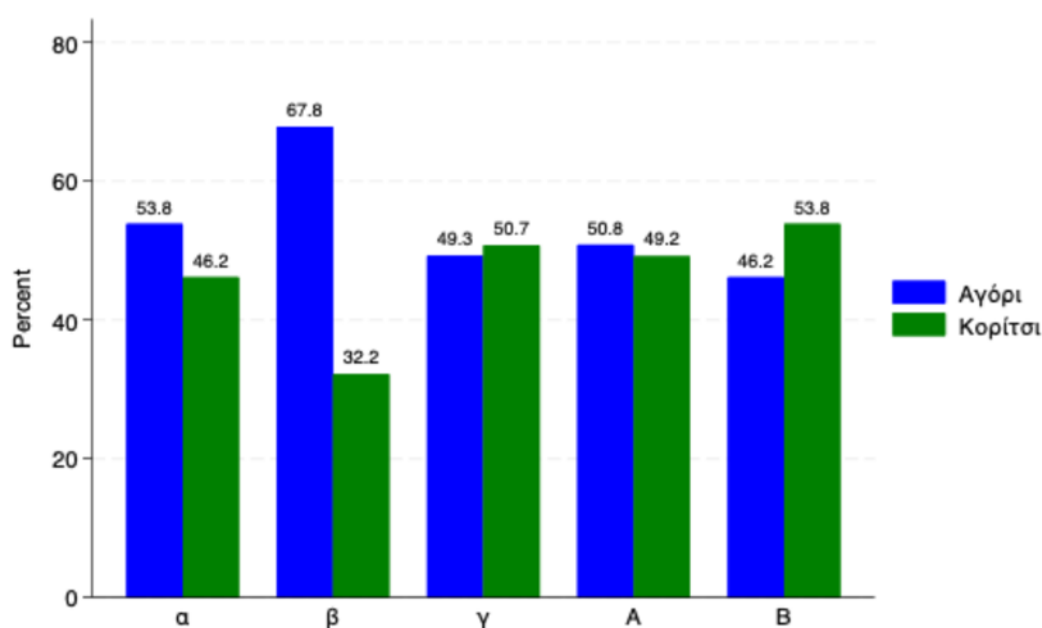
Σχήμα 1: Σωστές απαντήσεις ανά ερώτηση ανά τάξη

Σημείωση: α συμβολίζει την α Γυμνασίου, β συμβολίζει την β Γυμνασίου, γ συμβολίζει την γ Γυμνασίου, Α συμβολίζει την Α Λυκείου, Β συμβολίζει την Β Λυκείου

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται η κατανομή του δείγματος της έρευνας ως προς το φύλο και την τάξη φοίτησης των μαθητών. Το συνολικό δείγμα αποτελείται από 304 μαθητές και μαθήτριες που φοιτούν στην α, β, γ Γυμνασίου και στην Α, Β Λυκείου. Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται η ποσοστιαία κατανομή αγοριών και κοριτσιών ανά τάξη Γυμνασίου και Λυκείου.

Πίνακας 1. Κατανομή δείγματος κατά φύλο και τάξη (N=304)

Μεταβλητή	Κατηγορία	N	%
Φύλο	Αγόρι	163	53,62
	Κορίτσι	141	46,38
Τάξη	α (Γυμνάσιο)	65	21,38
	β (Γυμνάσιο)	59	19,41
	γ (Γυμνάσιο)	67	22,04
	A (Λύκειο)	61	20,07
	B (Λύκειο)	52	17,11



Σχήμα 2: Ποσοστιαία κατανομή αγοριών και κοριτσιών ανά κατηγορία της μεταβλητής τάξη.

Σημείωση: α συμβολίζει την α Γυμνασίου, β συμβολίζει την β Γυμνασίου, γ συμβολίζει την γ Γυμνασίου, A συμβολίζει την Α Λυκείου, B συμβολίζει την Β Λυκείου

Ως συνολικός δείκτης επίδοσης χρησιμοποιήθηκε η μεταβλητή Score , δηλαδή ο αριθμός σωστών απαντήσεων στις 16 ερωτήσεις (εύρος 0–16). Η μεταβλητή Score παρουσιάζει μέση

τιμή 7,859 και τυπική απόκλιση 2,324, με ελάχιστη τιμή 2 και μέγιστη 14 (Πίνακας 2). Η διακύμανση αυτή δείχνει ότι υπάρχει επαρκής διαφοροποίηση μεταξύ μαθητών ώστε να εξεταστούν συστηματικά οι διαφορές ανά φύλο και τάξη.

Πίνακας 2. Περιγραφικά στατιστικά του συνολικού δείκτη Score (N=304)

Μεταβλητή	N	Mean	SD	Min	Max
Score	304	7,859	2,324	2	14

4.2 Αξιοπιστία ερωτηματολογίου (Cronbach's alpha)

Η αξιοπιστία της κλίμακας εξετάστηκε με τον δείκτη Cronbach's alpha. Στην πράξη, όταν ένα ερωτηματολόγιο έχει ερωτήσεις που καλύπτουν πολλαπλές εννοιολογικές περιοχές (διαφορετικές εναλλακτικές ιδέες), το alpha για το σύνολο των items συχνά δεν είναι υψηλό, επειδή δεν μετράται μία ενιαία διάσταση. Για τον λόγο αυτό η αξιοπιστία αξιολογήθηκε αναλυτικά ανά τάξη, καθώς και (κυρίως) ανά θεωρητικό παράγοντα (latent variable), όπως έχει σχεδιαστεί θεωρητικά το εργαλείο.

4.2.1 Cronbach's alpha για τα 16 items ανά τάξη

Οι τιμές alpha ανά τάξη κυμάνθηκαν από 0,459 έως 0,593, με ελαφρώς υψηλότερες τιμές στο Λύκειο (Πίνακας 3). Οι τιμές αυτές υποδηλώνουν μέτρια εσωτερική συνοχή όταν όλες οι ερωτήσεις αντιμετωπίζονται ως μία ενιαία κλίμακα, κάτι που είναι συμβατό με τον πολυδιάστατο χαρακτήρα του ερωτηματολογίου.

Πίνακας 3. Cronbach's alpha (16 items) ανά τάξη

Τάξη	Cronbach α
α (Γυμν.)	0,4955
β (Γυμν.)	0,459
γ (Γυμν.)	0,5043
A (Λυκ.)	0,5932
B (Λυκ.)	0,5415

Μερικές σημαντικές διευκρινίσεις

1. Ο δείκτης Cronbach's α δεν μετράει άμεσα «ποιότητα της γνώσης» ή «ορθότητα», αλλά εσωτερική συνοχή (internal consistency) των απαντήσεων. Άρα το χαμηλό α στο Γυμνάσιο δεν σημαίνει ότι το ερωτηματολόγιο είναι «κακό» ή αναξιόπιστο· μάλλον το αντίθετο: το εργαλείο είναι αρκετά ευαίσθητο ώστε να «πιάνει» την εννοιολογική αστάθεια/πολυμορφία που είναι χαρακτηριστική της φάσης αυτής.
2. Σε διαγνωστικά εργαλεία εννοιών (concept inventories, two-tier tests κλπ.) στον ηλεκτρισμό/κύκλωμα/δυνάμεις κ.λπ., είναι συχνό να βλέπουμε χαμηλότερα α σε αρχάριους μαθητές και υψηλότερα σε πιο προχωρημένους, ακριβώς επειδή η γνώση γίνεται πιο οργανωμένη και συνεκτική με την εκπαίδευση.
3. Πολλοί ερευνητές (π.χ. Taber, 2018· Edelsbrunner et al., 2025) τονίζουν ότι σε γνώση (ιδιαίτερα όταν είναι πολυδιάστατη/ετερογενής) το α δεν χρειάζεται να είναι απαραίτητα υψηλό για να θεωρηθεί το εργαλείο καλό. Αντίθετα, πολύ υψηλό α (>0.90) μπορεί να σημαίνει ότι τα ερωτήματα είναι πολύ «παρόμοια» μεταξύ τους και δεν καλύπτουν επαρκώς το εύρος των εννοιών. Τα χαμηλά α (0.46–0.59) είναι απόλυτα λογικά για τέτοιου είδους διαγνωστικό εργαλείο σε θέμα τόσο σύνθετο όσο ο ηλεκτρισμός.

4.2.2 Cronbach's alpha για τα 16 items ανά τάξη και φύλο

Σε δεύτερο επίπεδο, η αξιοπιστία υπολογίστηκε ανά τάξη και φύλο. Παρατηρήθηκαν περιπτώσεις όπου η εσωτερική συνοχή είναι υψηλότερη σε επιμέρους υπο-ομάδες (π.χ. Α Λυκείου – κορίτσια, Β Λυκείου – αγόρια), γεγονός που μπορεί να αντανακλά πιο συνεπείς τρόπους απάντησης ή διαφοροποίηση στη σταθερότητα των αντιλήψεων εντός ομάδων (Πίνακας 4).

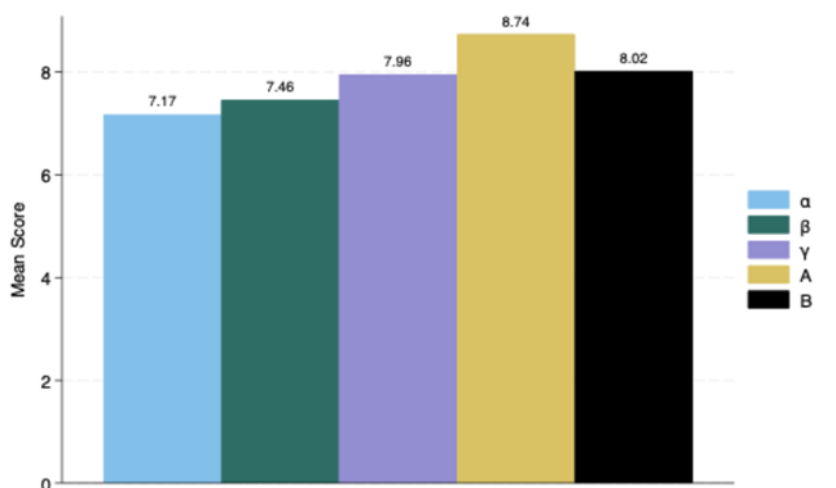
Πίνακας 4. Cronbach's alpha (16 items) ανά τάξη × φύλο

Τάξη	Φύλο	Cronbach α
α (Γυμν.)	Αγόρι	0,5297
α (Γυμν.)	Κορίτσι	0,4821
β (Γυμν.)	Αγόρι	0,5904
β (Γυμν.)	Κορίτσι	0,6242
γ (Γυμν.)	Αγόρι	0,5575
γ (Γυμν.)	Κορίτσι	0,5173
Α (Λυκ.)	Αγόρι	0,5969
Α (Λυκ.)	Κορίτσι	0,727
Β (Λυκ.)	Αγόρι	0,7353
Β (Λυκ.)	Κορίτσι	0,6441

Στη συνέχεια εξετάστηκαν οι διαφορές στη μεταβλητή Score μεταξύ τάξεων. Οι μέσοι όροι δείχνουν γενικά υψηλότερη επίδοση στο Λύκειο, με την Α Λυκείου να εμφανίζει τον υψηλότερο μέσο όρο (8,738), ενώ οι τάξεις Γυμνασίου κυμαίνονται χαμηλότερα, με την α Γυμνασίου να παρουσιάζει τον χαμηλότερο μέσο όρο (7,169). (Πίνακας 5).

Πίνακας 5. Score ανά τάξη (Mean, SD, N)

Τάξη	Mean	SD	N
α (Γυμν.)	7,169	2,322	65
β (Γυμν.)	7,458	2,003	59
γ (Γυμν.)	7,955	2,135	67
Α (Λυκ.)	8,738	2,523	61
Β (Λυκ.)	8,019	2,372	52
Σύνολο	7,859	2,324	304



Σχήμα 3: Μέση τιμή της βαθμολογίας (Mean Score) ανά κατηγορία της μεταβλητής τάξη.

Σημείωση: α συμβολίζει την α Γυμνασίου, β συμβολίζει την β Γυμνασίου, γ συμβολίζει την γ Γυμνασίου, Α συμβολίζει την Α Λυκείου, Β συμβολίζει την Β Λυκείου

Ο κλασικός έλεγχος ANOVA (Πίνακας 6) έδειξε ότι οι διαφορές μεταξύ τάξεων είναι συνολικά στατιστικά σημαντικές ($p \approx 0,002$) οπότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι: η τάξη σχετίζεται με διαφοροποιήσεις στη συνολική επίδοση.

Πίνακας 6. Συνολικά αποτελέσματα ANOVA

Source	SS	df	MS	F	Prob > F
Between groups	89.486	4.000	22.371	4.320	0.002
Within groups	1547.432	299.000	5.175		
Total	1636.918	303.000	5.402		

Η ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) λοιπόν, δείχνει ότι υπάρχουν συνολικά στατιστικά σημαντικές διαφορές στο συνολικό Score μεταξύ των τάξεων.

Συγκεκριμένα, προκύπτει ότι η στατιστική $F(4,299) = 4.32$, με $p = 0.0021$

Αυτό σημαίνει ότι απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση ότι όλες οι τάξεις έχουν τον ίδιο μέσο όρο Score. Δηλαδή, το επίπεδο κατανόησης των εννοιών του ηλεκτρισμού διαφέρει σημαντικά ανάλογα με την τάξη. Άρα τουλάχιστον δύο τάξεις έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στα Score. Για να εντοπίσουμε ποιες τάξεις διαφέρουν προχωρήσαμε στην εκτίμηση του παρακάτω υποδείγματος (υπόδειγμα 1):

$$score_{ic} = a + \beta_1 classB_i + \beta_2 class\alpha_i + \beta_3 class\beta_i + \beta_4 class\gamma_i + e_i$$

Δηλαδή

$Class \in \{\alpha, \beta, \gamma, A, B\}$, είναι:

$$Score_i = \alpha + \sum_{k \in \{\alpha, \beta, \gamma, B\}} \beta_k D_{ik} + \varepsilon_i$$

όπου:

- $Score_i$: το σκορ του μαθητή i
- α : σταθερός όρος (intercept), που αντιστοιχεί στην τάξη αναφοράς (εδώ η α , δηλαδή Α' Λυκείου)
- D_{ik} : dummy μεταβλητή που παίρνει τιμή 1 αν ο μαθητής i ανήκει στην τάξη k , αλλιώς 0
- β_k : η επίδραση της τάξης k σε σχέση με την τάξη αναφοράς α
- ε_i : ο όρος σφάλματος

Ο λόγος που επιλέχθηκε ως τάξη αναφοράς η Α λυκείου, είναι γιατί η τάξη αυτή, είναι η μοναδική από τις 5 τάξεις (α , β , γ Γυμνασίου και Α, Β Λυκείου) η οποία στο χρονικό διάστημα που έγινε η έρευνα διδάχθηκε συστηματικά ηλεκτρισμό στο σχολείο όταν οι μαθητές της φοιτούσαν στην γ Γυμνασίου.

Πριν από την εφαρμογή του στατιστικού υποδείγματος, διενεργήθηκε έλεγχος για την ισότητα των διακυμάνσεων (Homogeneity of Variance) μεταξύ των πέντε ομάδων/τάξεων, χρησιμοποιώντας το Bartlett's test. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι διακυμάνσεις των βαθμολογιών μεταξύ των τάξεων είναι ίσες, καθώς η μηδενική υπόθεση της ομοιογένειας δεν απορρίφθηκε ($\chi^2(4) = 3.83, p = 0.430$). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει την εγκυρότητα της χρήσης της Ανάλυσης Διακύμανσης (ANOVA) και της Γραμμικής Παλινδρόμησης για την περαιτέρω διερεύνηση των δεδομένων.

Παρόλο που ο έλεγχος ομοιογένειας ικανοποιήθηκε, για τη στατιστική επεξεργασία επιλέχθηκε η χρήση ανθεκτικών τυπικών σφαλμάτων (robust standard errors). Η προσέγγιση αυτή υιοθετήθηκε ως επιπρόσθετη δικλείδα ασφαλείας, διασφαλίζοντας την αξιοπιστία των στατιστικών συμπερασμάτων έναντι τυχόν αποκλίσεων από την κανονικότητα ή την ύπαρξη ακραίων τιμών που ενδέχεται να μην εντοπίστηκαν από τους αρχικούς ελέγχους.

Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εκτίμησης του υποδείγματος 1:

Πίνακας 7: Αποτελέσματα Γραμμικής Παλινδρόμησης (Ομάδα Αναφοράς: Τάξη Α)

Number of obs	304			
F(4, 299)	4.32			
Prob > F	0.0021			
R-squared	0.055			
Adj R-squared	0.042			
Root MSE	22.749			
Μεταβλητή (Τάξη)	Συντελεστής (Coeff.)	Τυπικό Σφάλμα	p- value	[95%Διάστημα Εμπιστοσύνης]
Τάξη Β	-0.718	0.429	0.095	[-1.563, 0.126]
Τάξη α	-1.568	0.405	0.000	[-2.366, -0.770]
Τάξη β	-1.280	0.415	0.002	[-2.097, -0.462]
Τάξη γ	-0.782	0.402	0.053	[-1.574, 0.009]
Σταθερά (Α)	8.737	0.291	0.000	[8.164, 9.310]

Τα αποτελέσματα της εκτίμησης του γραμμικού υποδείγματος έδειξαν ότι η μεταβλητή «Τάξη» (class) αποτελεί στατιστικά σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει τη συνολική βαθμολογία (Score). Το αποτέλεσμα αυτό υποδηλώνει ότι η εκπαιδευτική βαθμίδα συνδέεται με διαφοροποιήσεις στις επιδόσεις των μαθητών, γεγονός που μπορεί να ερμηνευθεί ως ένδειξη ότι η σχολική πρόοδος σχετίζεται με μεταβολές στο επίπεδο κατανόησης των εννοιών που εξετάζονται.

Ο συντελεστής προσδιορισμού του μοντέλου ($R^2 = 0.0547$) δείχνει ότι η μεταβλητή «Τάξη» εξηγεί περίπου το 5,5% της συνολικής διακύμανσης του Score. Αν και η τιμή αυτή δεν είναι υψηλή, θεωρείται αναμενόμενη στο πλαίσιο της εκπαιδευτικής και γενικότερα της συμπεριφορικής έρευνας, καθώς τα μαθησιακά αποτελέσματα αποτελούν πολυπαραγοντικά φαινόμενα και επηρεάζονται από πλήθος μεταβλητών που συχνά δεν είναι δυνατό να συμπεριληφθούν στο ίδιο μοντέλο. Όπως επισημαίνει ο Field (2013), στις κοινωνικές επιστήμες οι τιμές R^2 είναι συχνά σχετικά χαμηλές, επειδή η ανθρώπινη συμπεριφορά και η σχολική επίδοση χαρακτηρίζονται από σημαντική πολυπλοκότητα και υψηλή διακύμανση που δεν μπορεί να αποδοθεί σε έναν μόνο παράγοντα. Αντίστοιχα, οι Tabachnick και Fidell (2013) υποστηρίζουν ότι χαμηλές τιμές εξηγούμενης διακύμανσης είναι συχνές σε μοντέλα παλινδρόμησης που αφορούν εκπαιδευτικά δεδομένα, καθώς παρεμβαίνουν παράγοντες όπως οι ατομικές γνωστικές διαφορές, το κίνητρο, το ενδιαφέρον για το αντικείμενο, η διδακτική πρακτική και το κοινωνικό-οικογενειακό περιβάλλον.

Παράλληλα, η σχετικά περιορισμένη τιμή του R^2 δεν συνεπάγεται απαραίτητα ότι η επίδραση της τάξης είναι αμελητέα. Στη βιβλιογραφία έχει επισημανθεί ότι ακόμη και μικρά μεγέθη επίδρασης μπορούν να είναι ουσιαστικά στις κοινωνικές και εκπαιδευτικές επιστήμες, ιδιαίτερα όταν αφορούν πραγματικές συνθήκες μάθησης και μεγάλους πληθυσμούς μαθητών. Ο Cohen (1988) τονίζει ότι τα μικρά μεγέθη επίδρασης στις συμπεριφορικές επιστήμες δεν πρέπει να υποτιμώνται, καθώς μπορούν να αντανακλούν πραγματικές και σταθερές διαφοροποιήσεις, οι οποίες έχουν πρακτική σημασία. Επιπλέον, σύμφωνα με τον Hattie (2009), μεγάλο μέρος των εκπαιδευτικών παραγόντων που σχετίζονται με την επίδοση παρουσιάζει μέτριες ή μικρές επιδράσεις, χωρίς αυτό να μειώνει τη σημασία τους, δεδομένου ότι η μάθηση αποτελεί αποτέλεσμα συνδυαστικής επίδρασης πολλών παραγόντων.

Συνεπώς, το ποσοστό εξηγούμενης διακύμανσης που αποδίδεται στη μεταβλητή «Τάξη» μπορεί να θεωρηθεί μέτριο αλλά παιδαγωγικά ουσιαστικό, καθώς υποδεικνύει ότι η σχολική

βαθμίδα σχετίζεται με διαφοροποιήσεις στην επίδοση, ενώ ταυτόχρονα αναδεικνύει ότι η κατανόηση των εννοιών που αξιολογούνται στο Score επηρεάζεται και από ένα ευρύτερο σύνολο παραγόντων, οι οποίοι δεν εξετάζονται στο συγκεκριμένο μοντέλο.

Από τα αποτελέσματα της παλινδρόμησης προκύπτουν οι εξής συγκρίσεις (Πίνακας 8)

Πίνακας 8: Συγκρίσεις ανά Ζεύγη (Pairwise Comparisons) των Μέσων Όρων

Σύγκριση (Ζεύγος)	Διαφορά (Contrast)	Τυπικό Σφάλμα	p-value	Στατιστική Σημαντικότητα
B vs A	-0.718	0.429	0.095	Μη σημαντική
α vs A	-1.568	0.405	0.000	Εξαιρετικά Σημαντική
β vs A	-1.280	0.415	0.002	Πολύ Σημαντική
γ vs A	-0.782	0.402	0.053	Οριακή (Trend)
α vs B	-0.850	0.423	0.046	Σημαντική
β vs B	-0.561	0.432	0.195	Μη σημαντική
γ vs B	-0.064	0.420	0.879	Μη σημαντική
β vs α	0.288	0.409	0.481	Μη σημαντική
γ vs α	0.785	0.396	0.048	Σημαντική
γ vs β	0.497	0.406	0.221	Μη σημαντική

Αναλυτικότερα:

Συγκρίσεις με την Α' Λυκείου (Ομάδα Αναφοράς)

α Γυμνασίου - Α Λυκείου : Η διαφορά του Score είναι -1.568 και είναι στατιστικά σημαντική ($p < 0.001$). Συμπέρασμα: η Α Λυκείου έχει σημαντικά υψηλότερο Score από την α

Γυμνασίου. Αυτό είναι το ισχυρότερο εύρημα της ανάλυσης και δείχνει καθαρά εκπαιδευτική πρόοδο.

β Γυμνασίου - Α Λυκείου: Η διαφορά του Score είναι -1.280 και είναι στατιστικά σημαντική ($p = 0.002$). Συμπέρασμα: η Α Λυκείου έχει σημαντικά υψηλότερο Score από την β Γυμνασίου.

γ Γυμνασίου - Α Λυκείου: Η διαφορά του Score είναι -0.782 και είναι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο εμπιστοσύνης 90% και οριακά σημαντική σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% ($p = 0.053$). Συμπέρασμα: Η Α Λυκείου έχει υψηλότερο Score από τη γ Γυμνασίου, αλλά η διαφορά είναι λιγότερο έντονη σε σχέση με τις μικρότερες τάξεις α και β.

Β Λυκείου – Α Λυκείου: Η διαφορά του Score είναι -0.718 και δεν είναι στατιστικά σημαντική ($p=0.095$). Συμπέρασμα: Δεν υπάρχει στατιστικά τεκμηριωμένη διαφορά μεταξύ των δύο τάξεων του Λυκείου. Θεωρούνται ισοδύναμες ως προς το Score.

Συγκρίσεις με τη Β' Λυκείου

α Γυμνασίου - Β Λυκείου: Η διαφορά του Score είναι -0.850 και είναι στατιστικά σημαντική ($p=0.046$). Συμπέρασμα: Η Β Λυκείου έχει σημαντικά υψηλότερο Score από την α Γυμνασίου.

β Γυμνασίου - Β Λυκείου: Η διαφορά του Score είναι -0.561 και δεν είναι στατιστικά σημαντική ($p=0.195$). Συμπέρασμα: Παρόλο που η Β Λυκείου έχει υψηλότερο μέσο όρο, η διαφορά δεν είναι στατιστικά επιβεβαιωμένη.

γ Γυμνασίου - Β Λυκείου: Η διαφορά του Score είναι -0.064 και δεν είναι στατιστικά σημαντική ($p=0.879$). Συμπέρασμα: Οι δύο τάξεις έχουν πρακτικά το ίδιο Score. Δεν υπάρχει καμία διαφορά.

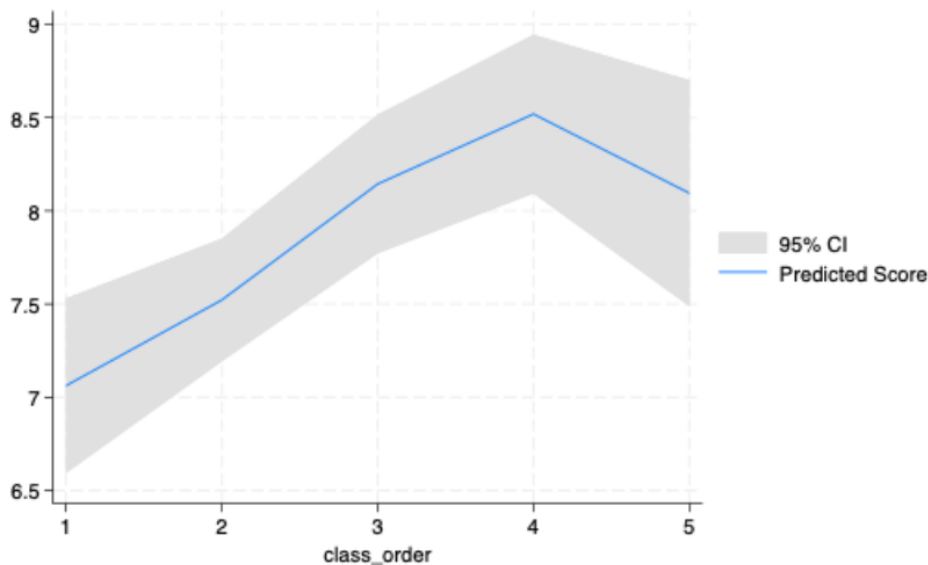
Συγκρίσεις εντός του Γυμνασίου (Μεταξύ α, β, γ)

γ Γυμνασίου - α Γυμνασίου: Η διαφορά του Score είναι +0.785 και είναι στατιστικά σημαντική ($p=0.048$). Συμπέρασμα: Η γ Γυμνασίου έχει σημαντικά υψηλότερο Score από την α Γυμνασίου. Αυτό το εύρημα υποδεικνύει πρόοδο κατά τη διάρκεια των ετών του Γυμνασίου.

β Γυμνασίου - α Γυμνασίου: Η διαφορά του Score είναι +0.288 και δεν είναι στατιστικά σημαντική ($p=0.481$). Συμπέρασμα: Δεν παρατηρείται σημαντική βελτίωση από την α στη β Γυμνασίου.

γ Γυμνασίου - β Γυμνασίου: Η διαφορά του Score είναι +0.497 και δεν είναι στατιστικά σημαντική ($p=0.221$). Συμπέρασμα: Αν και η γ Γυμνασίου έχει υψηλότερο μέσο όρο, η διαφορά από τη β Γυμνασίου δεν είναι στατιστικά σημαντική.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης έδειξαν ότι η τάξη φοίτησης επηρεάζει σημαντικά τη συνολική επίδοση των μαθητών στο τεστ κατανόησης των εννοιών του ηλεκτρισμού. Παρατηρείται σαφής βελτίωση από το Γυμνάσιο προς το Λύκειο, με την Α Λυκείου να παρουσιάζει τις υψηλότερες επιδόσεις. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές εντοπίζονται κυρίως μεταξύ της Α Λυκείου και των πρώτων τάξεων του Γυμνασίου (α και β), γεγονός που υποδηλώνει ότι η συστηματική διδασκαλία των σχετικών εννοιών στη γ γυμνασίου οδηγεί σε ουσιαστικότερη εννοιολογική κατανόηση. Αντίθετα, οι διαφορές μεταξύ των επιμέρους τάξεων του Γυμνασίου δεν είναι στατιστικά σημαντικές, κάτι που δείχνει ότι η πρόοδος σε αυτή τη βαθμίδα είναι πιο αργή και λιγότερο διακριτή. Παρ' όλα αυτά όμως διαπιστώνεται επίσης ότι η επίδοση των μαθητών βελτιώνεται μέσα στην πορεία τους στο Γυμνάσιο (από την α στη β και προς τη γ Γυμνασίου). Παρότι το αντικείμενο του ηλεκτρισμού έχει διδαχθεί στην Ε' και ΣΤ' Δημοτικού, φαίνεται ότι, ακόμη και χωρίς πρόσθετη διδασκαλία στο Γυμνάσιο, οι μαθητές είναι σε θέση να επεξεργάζονται πιο αποτελεσματικά τη γνώση που απέκτησαν στο Δημοτικό. Δηλαδή, πολλές εναλλακτικές ιδέες φαίνεται να μεταβάλλονται ως αποτέλεσμα της ηλικιακής εξέλιξης και της αυξημένης ωριμότητας που τη συνοδεύει και με την αύξηση των εξωτερικών ερεθισμάτων. Η τάξη με την καλύτερη επίδοση είναι η Α Λυκείου, απόλυτα συνεπές, αφού σε αυτή την τάξη οι μαθητές εισάγονται έχοντας προηγουμένως διδαχθεί ηλεκτρισμό.



Σχήμα 4: Πολυωνυμική πρόβλεψη της βαθμολογίας (*Predicted Score*) ως προς τη μεταβλητή τάξη, με απεικόνιση του 95% διαστήματος εμπιστοσύνης.

Σημείωση: 1 συμβολίζει την α Γυμνασίου, 2 συμβολίζει την β Γυμνασίου, 3 συμβολίζει την γ Γυμνασίου, 4 συμβολίζει την Α Λυκείου, 5 συμβολίζει την Β Λυκείου

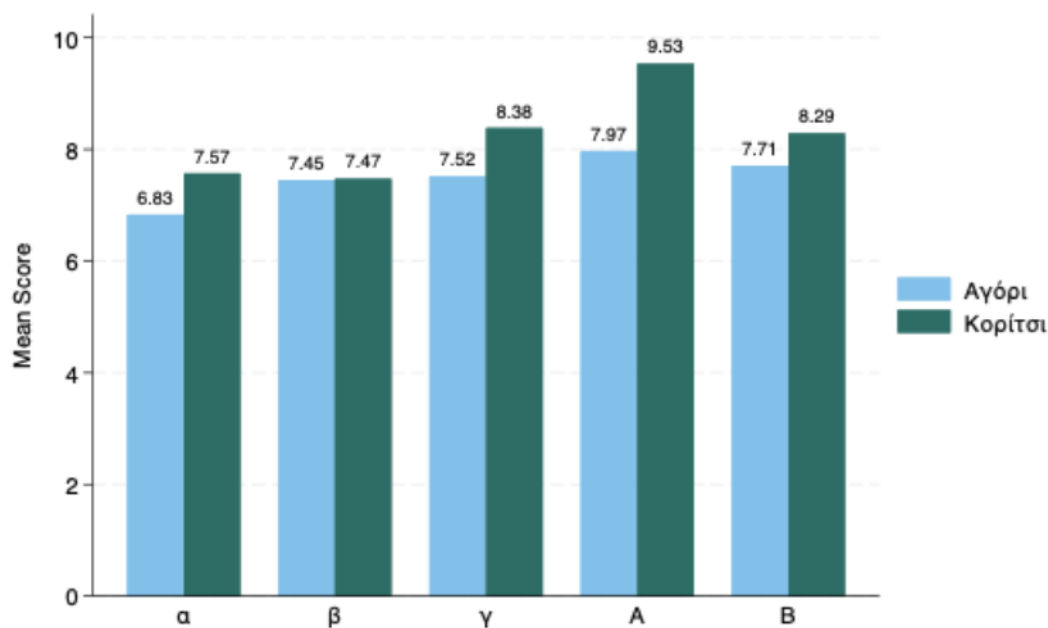
Στο σχήμα 4 παρουσιάζεται η πολυωνυμική πρόβλεψη της βαθμολογίας (*Predicted Score*) ως προς τη μεταβλητή Τάξη, με απεικόνιση του 95% διαστήματος εμπιστοσύνης. Η πολυωνυμική προσαρμογή αναδεικνύει την ύπαρξη μη γραμμικότητας στη σχέση μεταξύ της μεταβλητής Τάξη και της βαθμολογίας Score. Ειδικότερα, οι προβλεπόμενες τιμές αυξάνονται προοδευτικά έως την Α Λυκείου και στη συνέχεια εμφανίζουν ήπια κάμψη, γεγονός που υποδηλώνει ότι η επίδραση της Τάξης στη βαθμολογία δεν είναι μονοτονική σε όλο το εύρος των τιμών της. Το εύρος των διαστημάτων εμπιστοσύνης στα άκρα υποδεικνύει αυξημένη εκτιμητική αβεβαιότητα για τις ακραίες παρατηρήσεις.

4.3 Διαφορές συνολικής επίδοσης (Score) ανά φύλο και τάξη

Αρχικά εξετάστηκε αν η συνολική επίδοση διαφέρει ανά φύλο. Τα κορίτσια εμφάνισαν υψηλότερο μέσο όρο (8,312) από τα αγόρια (7,466), με στατιστικά σημαντική διαφορά (t-test), υποδηλώνοντας ότι στο συγκεκριμένο δείγμα τα κορίτσια τείνουν να απαντούν σωστότερα σε μεγαλύτερο αριθμό ερωτήσεων (Πίνακας 9,10).

Πίνακας 9. Score ανά φύλο (Mean, SD, N)

Φύλο	Mean	SD	N
Αγόρι	7,466	2,127	163
Κορίτσι	8,312	2,464	141
Σύνολο	7,859	2,324	304



Σχήμα 5 :Μέση τιμή της βαθμολογίας (Mean Score) αγοριών και κοριτσιών ανά Τάξη (class).

Στο διάγραμμα παρατηρείται ότι τα κορίτσια εμφανίζουν υψηλότερη μέση βαθμολογία από τα αγόρια σχεδόν σε όλες τις κατηγορίες της μεταβλητής Τάξη (class), με τη μεγαλύτερη διαφορά να εντοπίζεται στην Τάξη Α. Μόνη εξαίρεση αποτελεί η Τάξη β, όπου οι δύο ομάδες παρουσιάζουν σχεδόν ίδιες μέσες επιδόσεις. Συνολικά, το σχήμα υποδηλώνει μια σχετικά σταθερή υπεροχή των κοριτσιών ως προς τη μέση επίδοση, η οποία όμως διαφοροποιείται σε ένταση μεταξύ των επιμέρους κατηγοριών.

Προκειμένου να διερευνηθεί περαιτέρω η δυναμική των μαθησιακών επιδόσεων, η ανάλυση επεκτάθηκε πέρα από τις κύριες επιδράσεις της τάξης και του φύλου, ενσωματώνοντας και τον όρο της μεταξύ τους αλληλεπίδρασης (*interaction effect*). Η επιλογή αυτή επιτρέπει τον έλεγχο του κατά πόσο η επίδραση του φύλου στη βαθμολογία διαφοροποιείται ανάλογα με

το εκπαιδευτικό επίπεδο (τάξη). Ειδικότερα, το υπόδειγμα εξετάζει εάν οι βαθμολογικές διαφορές μεταξύ αγοριών και κοριτσιών παραμένουν σταθερές ή εάν μεταβάλλονται καθώς οι μαθητές μεταβαίνουν από τάξη σε τάξη.

Για τον σκοπό αυτό εφαρμόστηκε το ακόλουθο παραγοντικό υπόδειγμα πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης:

$$Score = \beta_0 + \beta_1 Class + \beta_2 male + \beta_3 (Class \times male) + \varepsilon$$

Στο παραπάνω υπόδειγμα, ο σταθερός όρος β_0 αναπαριστά τη μέση βαθμολογία της ομάδας αναφοράς, δηλαδή των κοριτσιών της Α' Λυκείου. Οι συντελεστές β_1 και β_2 αποτυπώνουν τις κύριες επιδράσεις της τάξης και του φύλου αντίστοιχα, υπό την παραδοχή ότι οι επιδράσεις αυτές είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους.

Ο κρίσιμος συντελεστής β_3 , που αντιστοιχεί στον όρο αλληλεπίδρασης, εκτιμά τον βαθμό στον οποίο η επίδραση του φύλου διαφοροποιείται μεταξύ των τάξεων. Ένας στατιστικά σημαντικός όρος αλληλεπίδρασης υποδηλώνει ότι το μέγεθος ή/και η κατεύθυνση της διαφοράς στις επιδόσεις μεταξύ αγοριών και κοριτσιών δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από το εκπαιδευτικό επίπεδο.

Η χρήση του συγκεκριμένου υποδείγματος επιτρέπει την εξαγωγή πληρέστερων και μεθοδολογικά ισχυρότερων συμπερασμάτων, καθώς δεν αντιμετωπίζει την τάξη και το φύλο ως απομονωμένους παράγοντες, αλλά αναγνωρίζει τη σύνθετη και αλληλεπιδραστική φύση της σχολικής πραγματικότητας, στην οποία οι δημογραφικοί και εκπαιδευτικοί παράγοντες συνδιαμορφώνουν τις μαθησιακές επιδόσεις.

Πίνακας 10. Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης για τη μεταβλητή Score

Μεταβλητή	Συντελεστής	Robust S.E.	t	p-value	95% Διάστημα Εμπιστοσύνης
Class					
B	-1.248	0.725	-1.720	0.086	[-2.675, 0.180]
α	-1.967	0.646	-3.050	0.003	[-3.237, -0.696]
β	-2.060	0.687	-3.000	0.003	[-3.412, -0.708]
γ	-1.151	0.606	-1.900	0.058	[-2.343, 0.041]
Φύλο					
1.male	-1.566	0.622	-2.520	0.012	[-2.789, -0.342]
Class $\times$ male					
B $\times$ 1.male	0.988	0.892	1.110	0.269	[-0.767, 2.743]
$\alpha \times$ 1.male	0.827	0.845	0.980	0.328	[-0.836, 2.491]
$\beta \times$ 1.male	1.542	0.841	1.830	0.068	[-0.113, 3.197]
$\gamma \times$ 1.male	0.698	0.808	0.860	0.388	[-0.892, 2.289]
Σταθερός όρος	9.533	0.502	18.990	0.000	[8.545, 10.522]

Στατιστικά

μοντέλου:

Αριθμός	παρατηρήσεων	=	304
F(9,	294)	=	2.71
Prob	>	F	= 0.005
R-squared		=	0.0932
Root MSE = 2.247			

Η ένταξη του φύλου στο μοντέλο παλινδρόμησης, μέσω της αλληλεπίδρασης Τάξης και Φύλου, παρέχει μια πληρέστερη εικόνα των προσδιοριστικών παραγόντων της σχολικής επίδοσης. Το διευρυμένο μοντέλο είναι συνολικά στατιστικά σημαντικό ($F(9,294)=2.71$, $p=0.005$) και εμφανίζει αυξημένη ερμηνευτική ικανότητα ($R^2=9,32\%$), υποδηλώνοντας ότι οι βαθμολογικές διαφορές δεν εξηγούνται αποκλειστικά από το εκπαιδευτικό επίπεδο, αλλά επηρεάζονται ουσιαστικά και από το φύλο.

Ως ομάδα αναφοράς ορίστηκαν τα κορίτσια της Α΄ Λυκείου, τα οποία καταγράφουν την υψηλότερη μέση βαθμολογία (9.53 μονάδες). Όλες οι υπόλοιπες υπο-ομάδες εμφανίζουν στατιστικά σημαντικά χαμηλότερες επιδόσεις.

Πίνακας 11. Συγκρίσεις αγοριών και κοριτσιών ως προς το Score ανά τάξη

Τάξη	Σύγκριση	Contrast	Std. Err.	t	p-value	95% Διάστημα Εμπιστοσύνης
α	Αγόρια vs Κορίτσια	-0.738	0.575	-1.280	0.204	[-1.887, 0.411]
β	Αγόρια vs Κορίτσια	-0.024	0.563	-0.040	0.967	[-1.151, 1.103]
γ	Αγόρια vs Κορίτσια	-0.867	0.515	-1.690	0.097	[-1.895, 0.161]
A	Αγόρια vs Κορίτσια	-1.566	0.619	-2.530	0.014	[-2.804, -0.327]
B	Αγόρια vs Κορίτσια	-0.577	0.661	-0.870	0.387	[-1.906, 0.751]

Με βάση τον παραπάνω πίνακα (πίνακας 11) παρατηρούμε ότι στις τάξεις α και β Γυμνασίου δεν καταγράφονται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ αγοριών και κοριτσιών, γεγονός που συνάδει με προηγούμενες μελέτες οι οποίες υποστηρίζουν ότι στα αρχικά στάδια της μάθησης οι μαθητές μοιράζονται παρόμοιες διαισθητικές αντιλήψεις και εναλλακτικά νοητικά μοντέλα για τα ηλεκτρικά φαινόμενα (Driver et al., 1984). Οι εναλλακτικές αυτές ιδέες εμφανίζονται ανθεκτικές στην αλλαγή και δεν διαφοροποιούνται ουσιαστικά ως προς το φύλο σε πρώιμα στάδια της διδασκαλίας.

Ωστόσο, στη Γ΄ Γυμνασίου παρατηρείται μια οριακή διαφοροποίηση μεταξύ αγοριών και κοριτσιών, η οποία, αν και δεν είναι στατιστικά σημαντική στο επίπεδο του 5% ($p \approx 0,10$), υποδηλώνει την έναρξη μιας αναδυόμενης διαφοράς φύλου.

Η διαφοροποίηση αυτή καθίσταται σαφώς εντονότερη στην Α΄ Λυκείου, όπου καταγράφεται πλέον στατιστικά σημαντική διαφορά φύλου, με τα κορίτσια να παρουσιάζουν υψηλότερες επιδόσεις σε σχέση με τα αγόρια.

Αξιοσημείωτο είναι ότι στη Β΄ Λυκείου η διαφορά μειώνεται και δεν εμφανίζεται στατιστικά σημαντική. Το εύρημα αυτό ενδέχεται να αντανάκλα φαινόμενα επιλογής ή προσαρμογής, καθώς οι μαθητές που συνεχίζουν να εμπλέκονται ενεργά με τη φυσική στο Λύκειο ενδέχεται να αποτελούν πιο ομοιογενή ομάδα ως προς τα κίνητρα και τις γνωστικές στρατηγικές τους.

4.4 Θεωρητικό μοντέλο πέντε παραγόντων (latent variables) και κατασκευή δεικτών

Το ερωτηματολόγιο έχει θεωρητικά σχεδιαστεί ώστε να αποτυπώνει πέντε διαφορετικές περιοχές εναλλακτικών ιδεών στον ηλεκτρισμό. Με βάση αυτή τη θεωρητική χαρτογράφηση, οι ερωτήσεις ομαδοποιήθηκαν σε πέντε παράγοντες F1–F5 (πίνακας 12) και για κάθε παράγοντα κατασκευάστηκε δείκτης ως μέσο ποσοστό σωστών απαντήσεων στις αντίστοιχες ερωτήσεις (κλίμακα 0–1). Έτσι, μεγαλύτερη τιμή σημαίνει καλύτερη επιστημονικά ορθή κατανόηση και, αντίστροφα, μικρότερη τιμή υποδηλώνει ισχυρότερη παρουσία της σχετικής εναλλακτικής ιδέας.

Πίνακας 12. Αντιστοίχιση ερωτήσεων στους 5 θεωρητικούς παράγοντες

Παράγοντας	Περιγραφή	Ερωτήσεις
F1	«Το ρεύμα καταναλώνεται στις ηλεκτρικές συσκευές»	c1, c5, c6, c13
F2	«Η τάση και το ρεύμα δεν διαφέρουν»	c2, c8, c9, c10, c11
F3	«Ασφάλεια / βραχυκύκλωμα»	c12, c16
F4	«Προέλευση ηλεκτρικών φορτίων»	c3, c7, c15
F5	«Ενέργεια στο ηλεκτρικό κύκλωμα»	c4, c14

Παράγοντας F1: «Το ρεύμα καταναλώνεται στις ηλεκτρικές συσκευές»

Ο παράγοντας F1 περιγράφει μια ιδιαίτερα συχνή εναλλακτική ιδέα των μαθητών, σύμφωνα με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα αντιμετωπίζεται ως «ποσότητα» που μειώνεται καθώς

περνά από μια ηλεκτρική συσκευή. Οι μαθητές που υιοθετούν αυτή την αντίληψη θεωρούν ότι οι συσκευές, όπως μια λάμπα ή μια αντίσταση, «χρησιμοποιούν» μέρος του ρεύματος και επομένως το ρεύμα που συνεχίζει στο κύκλωμα είναι μικρότερο. Η συγκεκριμένη ιδέα εμφανίζεται σταθερά στη βιβλιογραφία ως μία από τις πιο ανθεκτικές παρανοήσεις, καθώς επηρεάζεται έντονα από την καθημερινή γλώσσα και από τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές ερμηνεύουν την έννοια της «κατανάλωσης». Πολλές φορές οι μαθητές συνδέουν τη λειτουργία μιας συσκευής με την ιδέα ότι το ρεύμα «εξαντλείται» ή «χάνεται» καθώς προχωρά μέσα στο κύκλωμα. Η εναλλακτική αυτή ιδέα θεωρείται ιδιαίτερα ισχυρή και έχει καταγραφεί ότι συχνά επιβιώνει ακόμη και μετά το τέλος της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Οι ερωτήσεις που διερευνούν αυτή την αντίληψη είναι οι c1, c5, c6, c13 (βλέπε παράρτημα).

Παράγοντας F2: «Η τάση και το ρεύμα δεν διαφέρουν»

Ο παράγοντας F2 αφορά την εναλλακτική ιδέα σύμφωνα με την οποία οι μαθητές δεν διακρίνουν τις έννοιες της τάσης και του ρεύματος, τις αντιμετωπίζουν ως ταυτόσημες ή ως μεγέθη που περιγράφουν το ίδιο φαινόμενο. Η συγκεκριμένη παρανόηση φαίνεται να συνδέεται με το γεγονός ότι οι δύο όροι χρησιμοποιούνται συχνά παράλληλα στη σχολική πραγματικότητα, χωρίς οι μαθητές να έχουν αναπτύξει επαρκή εννοιολογική διαφοροποίηση. Η έννοια της τάσης παρουσιάζεται ως ιδιαίτερα αφηρημένη για τους μαθητές, καθώς δεν σχετίζεται άμεσα με αισθητές εμπειρίες της καθημερινότητας, σε αντίθεση με άλλες φυσικές ποσότητες. Ως αποτέλεσμα, αρκετοί μαθητές θεωρούν ότι η τάση είναι μια μορφή «έντασης» ή ότι η αύξηση της μίας ποσότητας συνεπάγεται αναγκαστικά και αύξηση της άλλης, χωρίς να αντιλαμβάνονται τη διαφορετική λειτουργία των δύο μεγεθών στο κύκλωμα. Οι ερωτήσεις που ελέγχουν αυτή την εναλλακτική ιδέα είναι οι c2, c8, c9, c10, c11 (βλέπε παράρτημα).

Παράγοντας F3: «Ασφάλεια / Βραχυκύκλωμα»

Ο παράγοντας F3 σχετίζεται με τις αντιλήψεις των μαθητών γύρω από το φαινόμενο του βραχυκυκλώματος και την σημασία της ηλεκτρικής ασφάλειας σε οικιακές εγκαταστάσεις.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι μαθητές δυσκολεύονται συχνά να αναγνωρίσουν τις συνθήκες υπό τις οποίες δημιουργείται βραχυκύκλωμα και να κατανοήσουν τις συνέπειες που αυτό μπορεί να έχει σε ένα κύκλωμα. Σε αρκετές περιπτώσεις εμφανίζονται συγχύσεις σχετικά με το τι σημαίνει «λάθος σύνδεση», ποια είναι η επικίνδυνη διάταξη ενός

κυκλώματος ή τότε μια ηλεκτρική εγκατάσταση μπορεί να θεωρηθεί ασφαλής. Παράλληλα, παρατηρούνται εναλλακτικές ιδέες και γύρω από τη λειτουργία των ασφαλειών, καθώς οι μαθητές ενδέχεται να μην αντιλαμβάνονται την χρησιμότητά τους σε μια οικιακή εγκατάσταση. Οι ερωτήσεις που διερευνούν τις παραπάνω αντιλήψεις είναι οι c12 και c16 (βλέπε παράρτημα).

Παράγοντας F4: «Προέλευση ηλεκτρικών φορτίων»

Ο παράγοντας F4 αφορά μια συχνή εναλλακτική ιδέα σχετικά με το από πού προέρχονται τα ηλεκτρικά φορτία μέσα σε ένα κύκλωμα. Πολλοί μαθητές φαίνεται να θεωρούν ότι τα φορτία δημιουργούνται ή «παράγονται» από την μπαταρία ή γενικότερα από την πηγή του κυκλώματος. Η αντίληψη αυτή ενισχύεται συχνά από την ορολογία που χρησιμοποιείται στη σχολική και καθημερινή γλώσσα, όπως ο όρος «ηλεκτρική πηγή», που μπορεί να οδηγήσει τους μαθητές στη σκέψη ότι η μπαταρία αποτελεί σημείο παραγωγής φορτίων. Η εναλλακτική αυτή ιδέα θεωρείται ότι σχετίζεται με δυσκολίες των μαθητών να αναπτύξουν μια ολοκληρωμένη εικόνα για τη λειτουργία του κυκλώματος ως συστήματος και να κατανοήσουν γενικότερα τον μικρόκοσμο. Οι ερωτήσεις που ελέγχουν αυτή την αντίληψη είναι οι c3, c7, c15 (βλέπε παράρτημα).

Παράγοντας F5: «Ενέργεια στο ηλεκτρικό κύκλωμα»

Ο παράγοντας F5 περιλαμβάνει εναλλακτικές ιδέες των μαθητών σχετικά με την έννοια της ενέργειας στο ηλεκτρικό κύκλωμα. Η ενέργεια αποτελεί μια από τις πιο απαιτητικές έννοιες στη Φυσική, καθώς χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό κατανόησης και οι μαθητές συχνά δυσκολεύονται να τη συνδέσουν με διαδικασίες που συμβαίνουν σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Παρατηρούνται συχνά παρανοήσεις γύρω από το πώς «μεταφέρεται» ή «χρησιμοποιείται» η ενέργεια σε ένα κύκλωμα. Η διερεύνηση αυτών των αντιλήψεων είναι σημαντική, καθώς η έννοια της ενέργειας συνδέεται με πολλαπλά κεφάλαια της Φυσικής και συχνά παραμένει προβληματική ακόμη και σε μεγαλύτερες τάξεις. Οι ερωτήσεις που ελέγχουν αυτή την κατηγορία είναι οι c4 και c14 (βλέπε παράρτημα).

4.4.1 Αξιοπιστία ανά θεωρητικό παράγοντα

Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο δείκτης αξιοπιστίας Cronbach's alpha¹ για κάθε έναν από τους θεωρητικούς παράγοντες. Όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 13, οι τιμές που προέκυψαν κυμαίνονται από χαμηλές έως μέτριες. Οι χαμηλές επιδόσεις ορισμένων παραγόντων μπορούν να ερμηνευθούν κυρίως από δύο αιτίες: (α) το μικρό πλήθος ερωτήσεων που περιλαμβάνονται σε κάποιους παράγοντες (π.χ. K=2), στοιχείο που, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οδηγεί συχνά σε υποεκτίμηση του Cronbach's alpha, και (β) το γεγονός ότι τα επιμέρους ερωτήματα ενδέχεται να εξετάζουν διαφορετικές διαστάσεις της ίδιας εννοιολογικής περιοχής, οι οποίες δεν είναι πλήρως ομοιογενείς ως προς το επίπεδο δυσκολίας ή τον τύπο συλλογιστικής που απαιτούν από τους μαθητές.

Με βάση τα παραπάνω, οι δείκτες F1–F5 δεν θεωρούνται αυστηρά ως ψυχομετρικές κλίμακες, αλλά ως διαγνωστικά εργαλεία που στοχεύουν στην αποτύπωση συγκεκριμένων θεματικών περιοχών. Ως εκ τούτου, κρίνονται κατάλληλοι για τη μελέτη της εξέλιξης και των διαφοροποιήσεων των εναλλακτικών ιδεών μεταξύ διαφορετικών τάξεων. Η αξιοποίησή τους εντάσσεται σε ένα διερευνητικό πλαίσιο εκπαιδευτικής έρευνας, όπου μεγαλύτερη βαρύτητα δίνεται στην εννοιολογική εγκυρότητα και την ερμηνευτική αξία των αποτελεσμάτων, παρά στην υψηλή εσωτερική συνοχή.

Πίνακας 13. Cronbach's alpha ανά θεωρητικό παράγοντα

Παράγοντας	Ερωτήσεις	K	Cronbach α
F1	c1, c5, c6, c13	4	0,4245
F2	c2, c8, c9, c10, c11	5	0,2117
F3	c12, c16	2	0,3634
F4	c3, c7, c15	3	0,1171
F5	c4, c14	2	0,0544

¹ Ο δείκτης Cronbach's alpha είναι γνωστό ότι επηρεάζεται έντονα από τον αριθμό των στοιχείων μιας κλίμακας και τείνει να υποεκτιμά την αξιοπιστία όταν το πλήθος των ερωτήσεων είναι μικρό (Cortina, 1993). Επιπλέον, σε εκπαιδευτικά εργαλεία που στοχεύουν στη διερεύνηση εννοιολογικά σύνθετων ή ετερογενών γνωστικών περιοχών, η υψηλή εσωτερική συνοχή δεν αποτελεί πάντοτε αναγκαία προϋπόθεση, ιδίως όταν οι δείκτες χρησιμοποιούνται με διαγνωστικό ή διερευνητικό σκοπό (Streiner, 2003).

4.5 Περιγραφικά στατιστικά των παραγόντων ανά τάξη (μέσοι όροι και διασπορά)

Στο επόμενο βήμα εξετάστηκε το προφίλ επίδοσης ανά τάξη σε κάθε θεματική περιοχή. Ο Πίνακας 14 παρουσιάζει τους μέσους όρους και τις τυπικές αποκλίσεις των δεικτών F1–F5 ανά τάξη. Παρατηρείται ότι ορισμένες θεματικές περιοχές εμφανίζουν πιο καθαρή βελτίωση με την τάξη από άλλες. Ειδικότερα, ο δείκτης F5 (Ενέργεια στο κύκλωμα) παρουσιάζει ισχυρή αύξηση από την α Γυμνασίου προς το Λύκειο, ενώ ο F1 (ρεύμα “καταναλώνεται”) εμφανίζει την υψηλότερη τιμή στην Α Λυκείου. Αντίθετα, ο F3 (ασφάλεια/βραχυκύκλωμα) έχει σχετικά υψηλές τιμές σε όλες τις τάξεις, κάτι που υποδηλώνει ότι η συγκεκριμένη θεματική είναι πιο “κατακτημένη” ήδη από νωρίς. Οι δείκτες F2 και F4 παρουσιάζουν πιο ήπιες διακυμάνσεις.

Πίνακας 14. Περιγραφικά F1–F5 ανά τάξη (Mean, SD, N)

Τάξη	F1 Mean (SD)	F2 Mean (SD)	F3 Mean (SD)	F4 Mean (SD)	F5 Mean (SD)	N
α	0,558 (0,282)	0,375 (0,205)	0,731 (0,320)	0,369 (0,295)	0,246 (0,281)	65
β	0,555 (0,263)	0,383 (0,211)	0,678 (0,357)	0,390 (0,310)	0,398 (0,357)	59
γ	0,537 (0,283)	0,448 (0,209)	0,716 (0,340)	0,443 (0,268)	0,403 (0,372)	67
A	0,725 (0,288)	0,446 (0,195)	0,713 (0,359)	0,437 (0,262)	0,434 (0,347)	61
B	0,524 (0,310)	0,427 (0,194)	0,740 (0,336)	0,429 (0,283)	0,510 (0,350)	52
Σύνολο	0,581 (0,292)	0,416 (0,204)	0,715 (0,341)	0,413 (0,284)	0,393 (0,351)	304

4.6 Έλεγχοι διαφορών μεταξύ τάξεων για τους παράγοντες (Fractional Logit, margins και Bonferroni)

Οι δείκτες F1–F5 είναι κλασματικές μεταβλητές στο διάστημα [0,1]. Για τον λόγο αυτό, εκτός από κλασικές συγκρίσεις μέσων όρων, εφαρμόστηκε fractional logistic regression με ανθεκτικά (robust) σφάλματα. Για κάθε παράγοντα υπολογίστηκαν οι προσαρμοσμένοι

μέσοι όροι (margins) ανά τάξη και στη συνέχεια οι σύγκριση κατά ζεύγη (pwcompare) με διόρθωση Bonferroni, ώστε να ελέγχεται το σφάλμα πολλαπλών συγκρίσεων.

4.6.1 Παράγοντας F1 – «Το ρεύμα καταναλώνεται στις ηλεκτρικές συσκευές»

Το μοντέλο fractional logit για τον F1 είναι συνολικά στατιστικά σημαντικό (Wald $\chi^2(4)=16,50$, $p=0,0024$), γεγονός που δείχνει ότι η τάξη σχετίζεται με διαφοροποίηση στην επίδοση στον συγκεκριμένο παράγοντα. Οι προσαρμοσμένες τιμές (margins) δείχνουν ότι η Α Λυκείου έχει τον υψηλότερο μέσο όρο (0,725), ενώ οι τάξεις Γυμνασίου κινούνται γύρω στο 0,54–0,56 (Πίνακας 15). Η σύγκριση κατά ζεύγη με Bonferroni επιβεβαιώνουν ότι η Α Λυκείου υπερέχει σημαντικά σε σχέση με α, β, γ Γυμνασίου ενώ παράλληλα η Β Λυκείου εμφανίζεται σημαντικά χαμηλότερη από την Α (Πίνακας 16). Το εύρημα αυτό μπορεί να ερμηνευθεί ως ένδειξη ότι η συγκεκριμένη εναλλακτική ιδέα (κατανάλωση “ρεύματος”) μειώνεται έντονα στην Α Λυκείου, αλλά δεν διατηρείται απαραίτητα στο ίδιο επίπεδο στη Β Λυκείου, πιθανώς λόγω διαφορών της διδακτικής εστίασης μιας και η προετοιμασία για τις πανελλαδικές εξετάσεις ξεκινά ουσιαστικά στη Β Λυκείου ή και επανεμφάνιση της εναλλακτικής ιδέας η οποία εξαλείφθηκε προσωρινά.

Πίνακας 15. F1 – Προσαρμοσμένοι μέσοι όροι (margins) ανά τάξη

Τάξη	Margin	SE	95% CI
α	0,5577	0,0348	[0,4895, 0,6259]
β	0,5551	0,0340	[0,4885, 0,6217]
γ	0,5373	0,0344	[0,4700, 0,6047]
A	0,7254	0,0366	[0,6537, 0,7971]
B	0,5240	0,0427	[0,4404, 0,6077]

Πίνακας 16. F1 – Σύγκριση κατά ζεύγη τάξεων (*pwcompare*, *Bonferroni*)

Σύγκριση	Δ (mean)	SE	z	p (Bonf.)
β vs α	-0,0026	0,0486	-0,05	1,000
γ vs α	-0,0204	0,0489	-0,42	1,000
A vs α	+0,1677	0,0505	3,32	0,009
B vs α	-0,0337	0,0551	-0,61	1,000
γ vs β	-0,0178	0,0483	-0,37	1,000
A vs β	+0,1703	0,0499	3,41	0,006
B vs β	-0,0310	0,0546	-0,57	1,000
A vs γ	+0,1881	0,0502	3,75	0,002
B vs γ	-0,0133	0,0548	-0,24	1,000
B vs A	-0,2014	0,0562	-3,58	0,003

4.6.2 Παράγοντας F2 – «Η τάση και το ρεύμα δεν διαφέρουν»

Για τον F2 το fractional logit δεν είναι συνολικά σημαντικό στο 5% (Wald $\chi^2(4)=7,13$, $p=0,1293$). Τα margins δείχνουν ωστόσο ότι οι μέσοι όροι αυξάνονται από την α Γυμνασίου προς τη γ Γυμνασίου/Α Λυκείου ($0,375 \rightarrow 0,448/0,446$), αλλά οι διαφορές δεν παραμένουν στατιστικά ισχυρές μετά τη διόρθωση Bonferroni (Πίνακες 17–18). Το αποτέλεσμα αυτό είναι συμβατό με την ιδέα ότι η σύγχυση μεταξύ τάσης και ρεύματος, «είτε volt είτε Ampere είναι ίδιο», αποτελεί ανθεκτική παρανόηση, η οποία ενδέχεται να μειώνεται σταδιακά, αλλά όχι με τρόπο που να διακρίνεται έντονα μεταξύ όλων των τάξεων στο συγκεκριμένο δείγμα.

Πίνακας 17. F2 – Προσαρμοσμένοι μέσοι όροι (*margins*) ανά τάξη

Τάξη	Margin	SE	95% CI
α	0,3754	0,0252	[0,3259, 0,4248]
β	0,3831	0,0273	[0,3296, 0,4365]
γ	0,4478	0,0254	[0,3980, 0,4975]
A	0,4459	0,0247	[0,3974, 0,4944]
B	0,4269	0,0267	[0,3746, 0,4793]

Πίνακας 18. F2 – Σύγκριση κατά ζεύγη τάξεων (*pwcompare*, *Bonferroni*)

Σύγκριση	Δ (mean)	SE	z	p (Bonf.)
β vs α	+0,0077	0,0372	0,21	1,000
γ vs α	+0,0724	0,0358	2,02	0,432
A vs α	+0,0705	0,0353	2,00	0,460
B vs α	+0,0515	0,0367	1,40	1,000
γ vs β	+0,0647	0,0373	1,74	0,826
A vs β	+0,0629	0,0368	1,71	0,880
B vs β	+0,0439	0,0382	1,15	1,000
A vs γ	-0,0019	0,0355	-0,05	1,000
B vs γ	-0,0208	0,0369	-0,57	1,000
B vs A	-0,0190	0,0364	-0,52	1,000

4.6.3 Παράγοντας F3 – «Ασφάλεια / βραχυκύκλωμα»

Για τον F3 το μοντέλο δεν είναι σημαντικό (Wald $\chi^2(4)=1,13$, $p=0,8894$), ενώ τα margins είναι υψηλά σε όλες τις τάξεις (περίπου 0,68–0,74). Οι συγκρίσεις κατά ζεύγη δείχνουν ότι καμία διαφορά δεν είναι στατιστικά σημαντική μετά Bonferroni (Πίνακες 19-20). Το εύρημα αυτό υποδηλώνει ότι οι έννοιες ασφάλειας και βραχυκυκλώματος είναι σχετικά καλά κατακτημένες ήδη από το Γυμνάσιο ή ενισχύονται από βιωματικές/πρακτικές αναφορές, με αποτέλεσμα οι διαφορές μεταξύ τάξεων να είναι περιορισμένες.

Πίνακας 19. F3 – Προσαρμοσμένοι μέσοι όροι (*margins*) ανά τάξη

Τάξη	Margin	SE	95% CI
α	0,7308	0,0394	[0,6535, 0,8080]
β	0,6780	0,0461	[0,5876, 0,7684]
γ	0,7164	0,0412	[0,6356, 0,7973]
A	0,7131	0,0457	[0,6236, 0,8026]
B	0,7404	0,0462	[0,6499, 0,8309]

Πίνακας 20. F3 – Σύγκριση κατά ζεύγη τάξεων (pworthcompare, Bonferroni)

Σύγκριση	Δ (mean)	SE	z	p (Bonf.)
β vs α	-0,0528	0,0607	-0,87	1,000
γ vs α	-0,0144	0,0570	-0,25	1,000
A vs α	-0,0177	0,0603	-0,29	1,000
B vs α	+0,0096	0,0607	0,16	1,000
γ vs β	+0,0385	0,0619	0,62	1,000
A vs β	+0,0351	0,0649	0,54	1,000
B vs β	+0,0624	0,0653	0,96	1,000
A vs γ	-0,0033	0,0615	-0,05	1,000
B vs γ	+0,0240	0,0619	0,39	1,000
B vs A	+0,0273	0,0649	0,42	1,000

4.6.4 Παράγοντας F4 – «Προέλευση ηλεκτρικών φορτίων»

Για τον F4 το μοντέλο επίσης δεν είναι συνολικά σημαντικό (Wald $\chi^2(4)=3,20$, $p=0,5251$). Τα margins δείχνουν μια ήπια αύξηση από α προς γ/A ($0,369 \rightarrow 0,443/0,437$), αλλά η σύγκριση κατά ζεύγη δεν αναδεικνύουν στατιστικά ισχυρές διαφορές μετά Bonferroni (Πίνακες 21-22). Η ερμηνεία είναι ότι οι ιδέες που σχετίζονται με την προέλευση/δημιουργία των φορτίων παραμένουν σχετικά σταθερές μεταξύ τάξεων ή μεταβάλλονται αργά, χωρίς έντονη διαφοροποίηση στο συγκεκριμένο δείγμα.

Πίνακας 21. F4 – Προσαρμοσμένοι μέσοι όροι (margins) ανά τάξη

Τάξη	Margin	SE	95% CI
α	0,3692	0,0364	[0,2979, 0,4406]
β	0,3898	0,0401	[0,3112, 0,4685]
γ	0,4428	0,0326	[0,3789, 0,5067]
A	0,4372	0,0333	[0,3718, 0,5025]
B	0,4295	0,0389	[0,3533, 0,5057]

Πίνακας 22. F4 – Σύγκριση κατά ζεύγη τάξεων (pwcompare, Bonferroni)

Σύγκριση	Δ (mean)	SE	z	p (Bonf.)
β vs α	+0,0206	0,0542	0,38	1,000
γ vs α	+0,0736	0,0489	1,51	1,000
A vs α	+0,0679	0,0494	1,38	1,000
B vs α	+0,0603	0,0533	1,13	1,000
γ vs β	+0,0530	0,0517	1,02	1,000
A vs β	+0,0473	0,0522	0,91	1,000
B vs β	+0,0397	0,0559	0,71	1,000
A vs γ	-0,0056	0,0466	-0,12	1,000
B vs γ	-0,0133	0,0507	-0,26	1,000
B vs A	-0,0077	0,0512	-0,15	1,000

4.6.5 Παράγοντας F5 – «Ενέργεια στο ηλεκτρικό κύκλωμα»

Ο F5 παρουσιάζει το πιο καθαρό μοτίβο διαφοροποίησης. Το fractional logit είναι συνολικά σημαντικό (Wald $\chi^2(4)=20,42$, $p=0,0004$), ενώ τα margins δείχνουν σαφή αύξηση από την α Γυμνασίου (0,246) προς το Λύκειο, με μέγιστη τιμή στη Β Λυκείου (0,510) (Πίνακας 23). Οι συγκρίσεις pwcompare με Bonferroni δείχνουν ότι οι διαφορές A vs α και B vs α παραμένουν στατιστικά σημαντικές (Πίνακας 24). Αυτό υποστηρίζει ότι η κατανόηση της ενεργειακής διάστασης στο ηλεκτρικό κύκλωμα ενισχύεται ουσιαστικά με την εκπαιδευτική πορεία, ενώ η α Γυμνασίου εμφανίζει τη μεγαλύτερη “απόσταση” σε σχέση με τις τάξεις Λυκείου.

Πίνακας 23. F5 – Προσαρμοσμένοι μέσοι όροι (margins) ανά τάξη

Τάξη	Margin	SE	95% CI
α	0,2462	0,0347	[0,1782, 0,3141]
β	0,3983	0,0462	[0,3079, 0,4888]
γ	0,4030	0,0451	[0,3145, 0,4915]
A	0,4344	0,0442	[0,3478, 0,5210]
B	0,5096	0,0481	[0,4153, 0,6040]

Πίνακας 24. F5 – Σύγκριση κατά ζεύγη τάξεων (*pwcompare*, *Bonferroni*)

Σύγκριση	Δ (mean)	SE	z	p (Bonf.)
β vs α	+0,1522	0,0577	2,64	0,084
γ vs α	+0,1568	0,0569	2,76	0,059
A vs α	+0,1883	0,0562	3,35	0,008
B vs α	+0,2635	0,0593	4,44	<0,001
γ vs β	+0,0047	0,0646	0,07	1,000
A vs β	+0,0361	0,0639	0,57	1,000
B vs β	+0,1113	0,0667	1,67	0,951
A vs γ	+0,0314	0,0632	0,50	1,000
B vs γ	+0,1066	0,0660	1,62	1,000
B vs A	+0,0752	0,0653	1,15	1,000

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η έρευνα αυτή εξέτασε πώς μαθητές του Γυμνασίου και του Λυκείου κατανοούν τις βασικές έννοιες του ηλεκτρισμού. Η έρευνα έγινε με ερωτηματολόγια σε έντυπη μορφή που μοιράστηκαν στους μαθητές των τάξεων Α,Β,Γ Γυμνασίου, Α,Β Λυκείου τον μήνα Οκτώβριο, πριν δηλαδή οι μαθητές έρθουν ξανά σε επαφή με το κεφάλαιο του ηλεκτρισμού στο σχολείο. Τα ερωτηματολόγια μοιράστηκαν και επιτηρήθηκαν από καθηγητές και για τις απαντήσεις δόθηκε χρόνος 30 λεπτών. Στην έρευνα πήραν μέρος 304 μαθητές, από τα οποία 163 ήταν αγόρια και 141 ήταν κορίτσια.

Σκοπός της έρευνας ήταν να ανιχνεύσουμε αν οι παρανοήσεις/εναλλακτικές ιδέες των μαθητών αλλάζουν από τάξη σε τάξη. Τα ερωτηματολόγια περιλάμβαναν 16 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής και η συνολική επίδοση καταγράφηκε ως Score. Στην συνέχεια οι 16 ερωτήσεις χωρίστηκαν σε πέντε παράγοντες (F1–F5) όπου κάθε παράγοντας ερευνούσε με διαφορετικό τρόπο την ίδια εναλλακτική ιδέα. Τα αποτελέσματα της έρευνας συμφωνούν με τις διεθνείς μελέτες ότι οι μαθητές αρχίζουν τη διδασκαλία με προϋπάρχουσες ιδέες για τον ηλεκτρισμό οι οποίες δεν μεταβάλλονται γραμμικά ή ομοιόμορφα, αλλά εμφανίζουν διαφοροποιημένες «τροχιές» εννοιολογικής αλλαγής ανά θεματική περιοχή.

Η τάξη φοίτησης φαίνεται να έχει σημαντική επίδραση στην επίδοση των μαθητών (Πίνακας 5). Αναλύοντας τις μέσες τιμές των Score, παρατηρούμε ότι οι επιδόσεις παρουσιάζουν σταδιακή αύξηση όσο οι μαθητές προχωρούν στις τάξεις του Γυμνασίου. Συγκεκριμένα, στην Α΄ Γυμνασίου ο μέσος όρος είναι 7,169, στη Β΄ Γυμνασίου αυξάνεται σε 7,458, ενώ στην Γ΄ Γυμνασίου φτάνει το 7,955. Η ανοδική αυτή τάση συνεχίζεται και στην Α΄ Λυκείου, όπου καταγράφεται η υψηλότερη επίδοση με μέσο Score 8,738. Ωστόσο, στη Β΄ Λυκείου παρατηρείται πτώση, καθώς το μέσο Score μειώνεται στο 8,019, γεγονός που υποδηλώνει ότι η αύξηση των επιδόσεων δεν εξελίσσεται με τον ίδιο τρόπο σε όλες τις τάξεις.

Ιδιαίτερη σημασία για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας έχει το χρονοδιάγραμμα διδασκαλίας της ενότητας του ηλεκτρισμού στο ελληνικό αναλυτικό πρόγραμμα. Συγκεκριμένα, βασικές έννοιες που σχετίζονται με τα ηλεκτρικά κυκλώματα και τα φαινόμενα του ηλεκτρισμού εισάγονται αρχικά στο Δημοτικό, και πιο συγκεκριμένα στην Ε΄ και Στ΄ τάξη. Η ενότητα αυτή επανεμφανίζεται σε μεταγενέστερες βαθμίδες, καθώς ο ηλεκτρισμός διδάσκεται εκ νέου στη Γ΄ Γυμνασίου και στη συνέχεια στη Β΄ Λυκείου, στο πλαίσιο μιας πιο συστηματικής και εννοιολογικά αυστηρής προσέγγισης σε σχέση με το

Δημοτικό. Ειδικότερα, στη Γ΄ Γυμνασίου οι βασικές έννοιες του ηλεκτρισμού παρουσιάζονται με μεγαλύτερη τυπικότητα, ενώ παράλληλα εισάγεται και η χρήση απλών μαθηματικών σχέσεων και εξισώσεων για την ποσοτική περιγραφή των φαινομένων, γεγονός που διαφοροποιεί ουσιαστικά τον τρόπο διδασκαλίας και κατανόησης του αντικειμένου.

Πρέπει να σημειώσουμε ότι, κατά τον χρόνο διεξαγωγής της έρευνας, οι μαθητές της Γ΄ Γυμνασίου δεν είχαν ακόμη διδαχθεί το σχετικό κεφάλαιο του ηλεκτρισμού το οποίο σύμφωνα με το αναλυτικό πρόγραμμα πραγματοποιείται χρονικά μετά την περίοδο κατά την οποία υλοποιήθηκε η παρούσα έρευνα. Κατά συνέπεια, οι μαθητές του Γυμνασίου (Α΄, Β΄ και Γ΄ Γυμνασίου) συμμετείχαν στην έρευνα έχοντας ως βασικό και μοναδικό πλαίσιο οργανωμένης σχολικής γνώσης για τον ηλεκτρισμό αυτό που είχαν αποκτήσει κατά τη φοίτησή τους στο Δημοτικό. Αντίθετα, οι μαθητές της Α΄ και Β΄ Λυκείου είχαν ήδη διδαχθεί την ενότητα του ηλεκτρισμού στη Γ΄ Γυμνασίου, επομένως διέθεταν επιπλέον οργανωμένη σχολική γνώση πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο, πέρα από αυτή που είχαν αποκτήσει στο Δημοτικό. Η διαφοροποίηση αυτή μεταξύ των βαθμίδων αποτελεί σημαντικό στοιχείο για την ερμηνεία των συγκρίσεων, καθώς επιτρέπει να διερευνηθεί σε ποιο βαθμό η πρόσθετη διδασκαλία στο Γυμνάσιο φαίνεται να σχετίζεται με πιθανές μεταβολές στην κατανόηση ή στη διατήρηση των εναλλακτικών ιδεών που καταγράφονται.

Μελετώντας τα Score των απαντήσεων εντός των τάξεων του Γυμνασίου, παρατηρείται βελτίωση στις επιδόσεις από την Α΄ προς τη Γ΄ Γυμνασίου, παρότι δεν έχει προηγηθεί νέα ή συστηματική διδασκαλία του ηλεκτρισμού κατά τη διάρκεια αυτών των τάξεων. Αυτό αποτελεί ένδειξη ότι η αύξηση των Score και η αντίστοιχη μεταβολή των εναλλακτικών ιδεών δεν μπορεί να αποδοθεί στη σχολική διδασκαλία του αντικειμένου. Αντίθετα, φαίνεται ότι η πρόοδος αυτή σχετίζεται με τη γνωστική ανάπτυξη και την ηλικιακή ωρίμανση των μαθητών όσο μεγαλώνουν, όπως επίσης και από την καλύτερη επεξεργασία των εξωτερικών ερεθισμάτων της καθημερινής τους ζωής. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι οποιαδήποτε διαφοροποίηση στις απαντήσεις των μαθητών του Γυμνασίου αποδίδεται όχι σε πρόσφατη συστηματική διδασκαλία του αντικειμένου, αλλά σε άλλους παράγοντες, όπως η διατήρηση ή η σταδιακή εξασθένηση της γνώσης με την πάροδο του χρόνου, η επίδραση της καθημερινής εμπειρίας, η ηλικιακή ωρίμανση ή ανάπτυξη νέων εναλλακτικών ιδεών. Μπορούμε λοιπόν να υποστηρίξουμε ότι η βελτίωση στην κατανόηση των εννοιών του ηλεκτρισμού, καθώς και η σταδιακή μείωση των εναλλακτικών αντιλήψεων, ενδέχεται να

οφείλεται κυρίως στην ηλικιακή εξέλιξη και στις αυξανόμενες γνωστικές δεξιότητες των μαθητών. Με την πάροδο των χρόνων, οι μαθητές είναι σε θέση να επεξεργάζονται πιο αποτελεσματικά πληροφορίες, να κάνουν πιο σύνθετους συλλογισμούς και να ερμηνεύουν καλύτερα φυσικά φαινόμενα. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο φαίνεται να παίζει και η επαφή τους με εμπειρίες της καθημερινής ζωής, όπως η χρήση ηλεκτρικών συσκευών, φορτιστών, λαμπτήρων, μπαταριών και γενικότερα τεχνολογικών εφαρμογών, οι οποίες παρέχουν συνεχώς ερεθίσματα που συμβάλλουν στη διαμόρφωση πιο ορθών νοητικών αναπαραστάσεων, ακόμη και χωρίς άμεση διδασκαλία στο σχολείο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μαθητές της Α΄ Λυκείου παρουσιάζουν την υψηλότερη μέση επίδοση (8,738), γεγονός που πιθανότατα συνδέεται άμεσα με τη διδασκαλία του ηλεκτρισμού. Συγκεκριμένα, οι μαθητές αυτοί είχαν διδαχθεί το κεφάλαιο του ηλεκτρισμού ένα χρόνο περίπου πριν από τη διεξαγωγή της έρευνας, ως μαθητές της Γ γυμνασίου και ήταν η πρώτη συστηματική επαφή τους με το αντικείμενο μετά το Δημοτικό σχολείο. Επομένως, η σημαντική αύξηση του Score στην Α΄ Λυκείου μπορεί να αποδοθεί όχι μόνο στη γενικότερη γνωστική ωρίμανση των μαθητών, αλλά και στην πρόσφατη οργανωμένη διδασκαλία, η οποία φαίνεται να ενίσχυσε την κατανόηση των εννοιών και να συνέβαλε στη μείωση των εναλλακτικών ιδεών. Το γεγονός ότι η κορυφαία επίδοση εμφανίζεται ακριβώς στην τάξη που έχει προηγηθεί πρόσφατη διδασκαλία ηλεκτρισμού υποστηρίζει την άποψη ότι η σχολική παρέμβαση παίζει καθοριστικό ρόλο στη βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης, ειδικά όταν οι μαθητές έχουν ήδη αποκτήσει μεγαλύτερη γνωστική ωριμότητα και είναι πιο έτοιμοι να αφομοιώσουν αφηρημένες και σύνθετες έννοιες.

Η σχετικά χαμηλότερη επίδοση που παρατηρείται στη Β΄ Λυκείου (μέσο Score 8,019) αποτελεί ένα ενδιαφέρον εύρημα, το οποίο όμως θα πρέπει να ερμηνευθεί με προσοχή. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των συγκρίσεων (πίνακας 8), η διαφορά μεταξύ Β΄ Λυκείου και Α΄ Λυκείου δεν είναι στατιστικά σημαντική ($p = 0.095$), αν και παρατηρείται μια τάση χαμηλότερης επίδοσης. Αντίθετα, η επίδοση της Β΄ Λυκείου εμφανίζεται στατιστικά χαμηλότερη σε σχέση με την α Γυμνασίου ($p = 0.046$), ενώ οι διαφορές με τις β και γ Γυμνασίου δεν είναι στατιστικά σημαντικές. Ένας πιθανός παράγοντας που θα μπορούσε να συμβάλλει σε αυτή την τάση (βλέπε σχήμα 4) σχετίζεται με το εκπαιδευτικό πλαίσιο της συγκεκριμένης τάξης, καθώς η Β΄ Λυκείου αποτελεί για τους περισσότερους μαθητές την έναρξη της συστηματικής προετοιμασίας για τις Πανελλαδικές εξετάσεις. Η έντονη αυτή εξετασιοκεντρική πίεση συχνά οδηγεί τους μαθητές στο να αναπροσαρμόζουν τις

προτεραιότητές τους, δίνοντας μεγαλύτερη έμφαση στα μαθήματα που θεωρούν άμεσα συνδεδεμένα με την εισαγωγή τους στην τριτοβάθμια εκπαίδευση. Στο πλαίσιο αυτό, είναι πιθανό οι μαθητές που δεν σκοπεύουν να εξεταστούν στη Φυσική στις Πανελλαδικές να εμφανίζουν μειωμένο ενδιαφέρον ή περιορισμένη ενασχόληση με το μάθημα. Η στάση αυτή μπορεί να λειτουργεί ως ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά την επίδοσή τους, ακόμη και σε έννοιες του ηλεκτρισμού τις οποίες έχουν ήδη διδαχθεί. Ωστόσο, η μειωμένη επίδοση στη Β΄ Λυκείου δεν μπορεί να αποδοθεί αποκλειστικά στην έλλειψη κινήτρου ή στην «αδιαφορία», αλλά πιθανόν σχετίζεται και με βαθύτερες γνωστικές διεργασίες. Συγκεκριμένα, η βιβλιογραφία έχει καταγράψει (Hewson και Hennessey, 1992) ότι οι εναλλακτικές ιδέες και οι παρανοήσεις στις Φυσικές Επιστήμες δεν εξαλείφονται πάντα οριστικά μετά τη διδασκαλία, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να επανεμφανίζονται μετά από κάποιο χρόνο, ιδιαίτερα όταν οι μαθητές δεν εφαρμόζουν συστηματικά τις επιστημονικές έννοιες ή όταν η γνώση παραμένει επιφανειακή και δεν έχει πλήρως εδραιωθεί. Έτσι, η μείωση του Score στη Β΄ Λυκείου ενδέχεται να αντανakλά όχι μόνο τη μειωμένη προσπάθεια λόγω διαφορετικών εκπαιδευτικών προτεραιοτήτων, αλλά ενδεχομένως και επαναφορά εναλλακτικών αντιλήψεων ή δυσκολιών.

Το σχετικά χαμηλό R^2 που προέκυψε από την ανάλυση δείχνει ότι η μεταβλητή «Τάξη» από μόνη της εξηγεί μόνο ένα μικρό μέρος της συνολικής διακύμανσης στις επιδόσεις των μαθητών. Δηλαδή, το γεγονός ότι ένας μαθητής φοιτά σε μια συγκεκριμένη τάξη δεν αρκεί για να προβλέψουμε με ακρίβεια πόσο καλά θα αποδώσει ή σε ποιο βαθμό θα εμφανίζει εναλλακτικές ιδέες σχετικά με τον ηλεκτρισμό. Παρόλο που η τάξη έχει στατιστικά σημαντική επίδραση, το αποτέλεσμα υποδηλώνει ότι η επίδοση και η εννοιολογική κατανόηση δεν εξαρτώνται αποκλειστικά από την ηλικία ή το σχολικό επίπεδο.

Αυτό το εύρημα είναι αναμενόμενο, καθώς η μάθηση και η κατανόηση εννοιών της Φυσικής αποτελούν πολύπλοκες διαδικασίες και επηρεάζονται από πολλούς διαφορετικούς παράγοντες. Επομένως, η ερμηνεία των δεδομένων χρειάζεται να γίνει μέσα σε ένα πολυπαραγοντικό πλαίσιο, όπου λαμβάνονται υπόψη περισσότερες μεταβλητές πέρα από την τάξη φοίτησης. Για παράδειγμα, σημαντικό ρόλο μπορεί να παίζουν οι διδακτικές πρακτικές που εφαρμόζονται στην τάξη, ο τρόπος με τον οποίο ο εκπαιδευτικός εξηγεί τις έννοιες, το είδος των παραδειγμάτων που χρησιμοποιεί, καθώς και η συχνότητα με την οποία οι μαθητές ασκούνται σε δραστηριότητες ή πειράματα. Παράλληλα, καθοριστικό ρόλο μπορούν να έχουν και οι ατομικές διαφορές μεταξύ των μαθητών. Η επίδοση επηρεάζεται

από γνωστικούς παράγοντες, όπως οι γενικότερες μαθησιακές δεξιότητες, η ικανότητα κατανόησης αφηρημένων εννοιών, αλλά και ο τρόπος σκέψης που χρησιμοποιεί κάθε μαθητής για να ερμηνεύσει φυσικά φαινόμενα. Επίσης, παράγοντες όπως το ενδιαφέρον για το μάθημα της Φυσικής, το κίνητρο για μάθηση και η γενικότερη στάση απέναντι στις επιστήμες μπορούν να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό το αποτέλεσμα. Επιπλέον, δεν πρέπει να αγνοείται η επίδραση εξωσχολικών παραγόντων, όπως η υποστήριξη από το οικογενειακό περιβάλλον, η πρόσβαση σε εκπαιδευτικά ερεθίσματα (π.χ. βιβλία, βίντεο, δραστηριότητες STEM), αλλά και η καθημερινή εμπειρία των μαθητών με ηλεκτρικές συσκευές, η οποία συχνά διαμορφώνει ή ενισχύει εναλλακτικές ιδέες.

Η ανάγκη να εξετάζεται η μάθηση της Φυσικής μέσα από μια τέτοια πολυπαραγοντική οπτική έχει επισημανθεί και στη διεθνή βιβλιογραφία. Οι Angell et al., (2004) υπογραμμίζουν ότι η σχολική επίδοση στις φυσικές επιστήμες δεν καθορίζεται από έναν μόνο παράγοντα, αλλά προκύπτει από τον συνδυασμό πολλών επιδράσεων που σχετίζονται με τον μαθητή, το σχολικό περιβάλλον και τη διδασκαλία. Παρόμοια, ο Redish (2002) επισημαίνει ότι η κατανόηση της Φυσικής και η αλλαγή των εννοιολογικών αντιλήψεων δεν μπορούν να εξηγηθούν απλά ως αποτέλεσμα της προόδου στις τάξεις, αλλά σχετίζονται με πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις γνωστικών και μαθησιακών μηχανισμών.

Συνεπώς, το χαμηλό R^2 ενισχύει την άποψη ότι, για να κατανοηθεί καλύτερα η διαφοροποίηση των επιδόσεων και η εξέλιξη των εναλλακτικών ιδεών στον ηλεκτρισμό, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη περισσότερες μεταβλητές και όχι μόνο η τάξη φοίτησης. Μια τέτοια προσέγγιση επιτρέπει πιο ολοκληρωμένη ερμηνεία των αποτελεσμάτων και βοηθά να κατανοηθεί καλύτερα η πολυπλοκότητα της μάθησης στη Φυσική.

Ένα ιδιαίτερο εύρημα της έρευνας αφορά το φύλο. Ενώ στη διεθνή βιβλιογραφία (Zohar et al., 2003· Reid et al., 2003· Kost et al., 2009· de Barros Vidor, 2020) αναφέρεται ότι τα αγόρια παρουσιάζουν ίδιες ή ακόμη και καλύτερες επιδόσεις σε σχέση με τα κορίτσια, στη δική μας έρευνα το συνολικό δείγμα δείχνει ξεκάθαρα υπεροχή των κοριτσιών. Ωστόσο, μια πιο λεπτομερής ανάλυση ανά τάξη αποκαλύπτει ότι το αποτέλεσμα αυτό δεν ισχύει ομοιόμορφα σε όλες τις σχολικές βαθμίδες. Συγκεκριμένα, όταν συγκρίνονται οι επιδόσεις αγοριών και κοριτσιών μέσα στην ίδια τάξη (αγόρια Α Γυμνασίου με κορίτσια Α Γυμνασίου, αγόρια Β Γυμνασίου με κορίτσια Β Γυμνασίου, αγόρια Γ Γυμνασίου με κορίτσια Γ Γυμνασίου, αγόρια Β Λυκείου με κορίτσια Β Λυκείου), δεν παρατηρούνται στατιστικά

σημαντικές διαφορές, πράγμα που σημαίνει ότι οι επιδόσεις των δύο φύλων είναι σε γενικές γραμμές παρόμοιες. Αντίθετα, στην Α Λυκείου καταγράφεται μια ιδιαίτερα έντονη και στατιστικά σημαντική διαφορά υπέρ των κοριτσιών. Η διαφοροποίηση αυτή είναι τόσο ισχυρή, ώστε να επηρεάζει καθοριστικά το συνολικό αποτέλεσμα του δείγματος, δημιουργώντας την εντύπωση ότι τα κορίτσια υπερέχουν γενικά έναντι των αγοριών. Συνεπώς, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η συνολική υπεροχή των κοριτσιών στο δείγμα δεν αποτελεί γενικευμένο φαινόμενο, αλλά οφείλεται κυρίως στην ασυνήθιστα μεγάλη απόκλιση που παρατηρείται ειδικά στην τάξη της Α Λυκείου.

Η μεγάλη διαφορά που εμφανίζεται στην Α Λυκείου πιθανόν να οφείλεται σε διάφορους λόγους που σχετίζονται τόσο με τις αυξημένες απαιτήσεις της τάξης όσο και με τη συμπεριφορά των μαθητών σε αυτή την ηλικία. Η Α Λυκείου είναι μια μεταβατική χρονιά, όπου η ύλη και οι απαιτήσεις αυξάνονται σημαντικά σε σχέση με το Γυμνάσιο και οι μαθητές χρειάζεται να είναι πιο οργανωμένοι και πιο συστηματικοί στη μελέτη τους. Είναι πιθανό τα κορίτσια να προσαρμόζονται πιο εύκολα σε αυτές τις αλλαγές, δείχνοντας μεγαλύτερη συνέπεια, υπευθυνότητα, αυτοπειθαρχία και καλύτερη διαχείριση του χρόνου τους. Παράλληλα, στην ηλικία αυτή οι έφηβοι περνούν έντονες αλλαγές και συχνά τα αγόρια μπορεί να έχουν μεγαλύτερη διάσπαση προσοχής ή να ενδιαφέρονται λιγότερο για το σχολείο, κάτι που μπορεί να επηρεάζει αρνητικά τις επιδόσεις τους. Επιπλέον, η Α Λυκείου είναι μια χρονιά όπου πολλοί μαθητές αρχίζουν να σκέφτονται πιο σοβαρά το μέλλον τους και τις επόμενες τάξεις, και είναι πιθανό τα κορίτσια να παίρνουν νωρίτερα πιο σοβαρά τη σχολική προσπάθεια. (Duckworth & Seligman, 2006)

Η έρευνα τέλος, εξέτασε την εξέλιξη των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών σχετικά με τον ηλεκτρισμό, χρησιμοποιώντας πέντε παράγοντες (F1–F5). Κάθε παράγοντας αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη θεματική περιοχή και περιλαμβάνει ερωτήσεις που στοχεύουν στην ανίχνευση μιας συγκεκριμένης εναλλακτικής ιδέας. Όπως αναφέρθηκε, οι ερωτήσεις του κάθε παράγοντα δεν εξετάζουν ακριβώς το ίδιο πράγμα με τον ίδιο τρόπο, αλλά προσεγγίζουν την ίδια εναλλακτική ιδέα από διαφορετικές πλευρές.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η εξέλιξη της κατανόησης των μαθητών δεν είναι ίδια σε όλες τις περιπτώσεις. Δηλαδή, δεν βελτιώνονται όλες οι εναλλακτικές ιδέες με τον ίδιο τρόπο όσο οι μαθητές προχωρούν σε μεγαλύτερες τάξεις. Σε ορισμένες θεματικές περιοχές φαίνεται να υπάρχει σαφής βελτίωση με την εκπαιδευτική πορεία, ενώ σε άλλες οι εναλλακτικές ιδέες παραμένουν πιο σταθερές και εμφανίζονται ακόμη και σε μεγαλύτερες ηλικίες.

Επομένως, η εικόνα που προκύπτει είναι ότι η εννοιολογική εξέλιξη στον ηλεκτρισμό δεν ακολουθεί μία γραμμική πορεία, αλλά διαφέρει ανάλογα με το είδος της έννοιας και την εναλλακτική ιδέα που εξετάζεται.

Ο παράγοντας F5 («Ενέργεια στο ηλεκτρικό κύκλωμα») παρουσίασε το πιο ξεκάθαρο και σταθερό μοτίβο διαφοροποίησης ανάμεσα στις τάξεις. Συγκεκριμένα, οι μαθητές της Α΄ Γυμνασίου είχαν τη χαμηλότερη επίδοση στον συγκεκριμένο δείκτη, ενώ οι μαθητές των τάξεων του Λυκείου εμφάνισαν αισθητά καλύτερες επιδόσεις. Η διαφορά αυτή, επιβεβαιώθηκε και στατιστικά, καθώς οι τάξεις του Λυκείου παρουσίασαν στατιστικά σημαντικά υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με την Α΄ Γυμνασίου. Το αποτέλεσμα αυτό δείχνει ότι η συγκεκριμένη θεματική περιοχή φαίνεται να επηρεάζεται περισσότερο από την εκπαιδευτική πορεία των μαθητών σε σχέση με άλλους παράγοντες. Με άλλα λόγια, οι μαθητές στις μεγαλύτερες τάξεις φαίνεται να αντιμετωπίζουν λιγότερες δυσκολίες ή να εμφανίζουν λιγότερο συχνά τις σχετικές εναλλακτικές ιδέες που εξετάζει ο F5. Η εικόνα αυτή είναι αναμενόμενη και συμφωνεί με τη βιβλιογραφία, καθώς η έννοια της ενέργειας γενικότερα, άρα και στο πλαίσιο του ηλεκτρικού κυκλώματος θεωρείται ιδιαίτερα απαιτητική. Πρόκειται για έννοια που δεν γίνεται εύκολα αντιληπτή από τους μαθητές στις μικρότερες ηλικίες και απαιτεί μεγαλύτερη γνωστική ωρίμανση. Επομένως, είναι λογικό οι μαθητές των μεγαλύτερων τάξεων να εμφανίζουν καλύτερη επίδοση, καθώς έχουν μεγαλύτερη εμπειρία από τη σχολική διδασκαλία, αλλά και περισσότερη εξοικείωση με σχετικές έννοιες και αναπαραστάσεις που χρησιμοποιούνται στη Φυσική. Σύμφωνα με τον Hestenes (2015), η ενεργειακή προσέγγιση στη Φυσική γενικότερα θεωρείται μια από τις πιο σύνθετες μορφές κατανόησης, επειδή απαιτεί από τους μαθητές να συνδέσουν αφηρημένες έννοιες και να τις εφαρμόσουν σε διαφορετικές καταστάσεις. Για τον λόγο αυτό, η σχετική κατανόηση είναι πιο πιθανό να εμφανίζεται σταδιακά και να ενισχύεται σε μεγαλύτερες τάξεις, όπου οι μαθητές έχουν αναπτύξει πιο ώριμα γνωστικά σχήματα.

Ο παράγοντας F1, που αφορά την αντίληψη ότι το ρεύμα καταναλώνεται στις ηλεκτρικές συσκευές, παρουσίασε ενδιαφέρον μοτίβο διαφοροποίησης ανάμεσα στις τάξεις. Συγκεκριμένα, οι μαθητές της Α΄ Λυκείου σημείωσαν τη μεγαλύτερη επίδοση σε σύγκριση με όλες τις τάξεις του Γυμνασίου, υποδηλώνοντας ότι η κατανόηση αυτής της έννοιας ήταν πιο ισχυρή σε αυτή την τάξη. Παρόλα αυτά, στην Β΄ Λυκείου, η επίδοση έδειξε μια σημαντική πτώση σε σχέση με την Α΄ Λυκείου, γεγονός που καταδεικνύει ότι η πρόοδος δεν ακολουθεί πάντα μια σταθερή ή γραμμική πορεία. Αυτό σημαίνει ότι η αλλαγή στη σκέψη

και στην κατανόηση των εννοιών δεν προχωρά με τον ίδιο ρυθμό για όλες τις τάξεις ή όλους τους μαθητές. Πιθανές αιτίες αυτής της διακύμανσης μπορεί να είναι η διαφορετική διδακτική εστίαση που δίνεται σε κάθε τάξη, οι διαφορετικές απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών, ή ακόμα και οι διαφορές στο δείγμα των μαθητών που συμμετείχαν στην έρευνα. Με άλλα λόγια, το πλαίσιο διδασκαλίας και οι εμπειρίες των μαθητών μπορούν να επηρεάσουν το πότε και πόσο μια εναλλακτική ιδέα μειώνεται ή ενισχύεται. Το μοτίβο αυτό υποστηρίζει επίσης τη θέση της βιβλιογραφίας ότι οι εναλλακτικές ιδέες δεν εξαφανίζονται πάντα μόνιμα, αλλά μπορεί να μειώνονται σε μια περίοδο και να επανεμφανίζονται αργότερα, ανάλογα με τις συνθήκες και το πλαίσιο ενεργοποίησης της γνώσης (Vosniadou et al., 2001). Δηλαδή, η κατανόηση των μαθητών είναι δυναμική: οι εναλλακτικές τους αντιλήψεις μπορεί να υποχωρούν ή να εμφανίζονται ξανά ανάλογα με το πώς και πότε χρησιμοποιούν τη γνώση που έχουν αποκτήσει.

Αντίθετα, ο παράγοντας F2, που αφορά την αντίληψη ότι η τάση και το ρεύμα δεν διαφέρουν, δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τάξεων μετά τη διόρθωση για πολλές συγκρίσεις. Αυτό σημαίνει ότι οι μαθητές σε όλες τις τάξεις, από το Γυμνάσιο μέχρι το Λύκειο, αντιμετωπίζουν παρόμοιες δυσκολίες σε αυτή την έννοια. Το αποτέλεσμα υποστηρίζει ότι η σύγχυση μεταξύ τάσης και έντασης είναι πολύ ανθεκτική παρανόηση και δύσκολα υποχωρεί στην εκπαιδευτική πορεία, κάτι που έχει επιβεβαιωθεί σε διεθνείς μελέτες. Με άλλα λόγια, ακόμη και όταν οι μαθητές έχουν διδαχθεί τις βασικές έννοιες και έχουν συναντήσει επαναλαμβανόμενα παραδείγματα και πειράματα, η σύγχυση αυτή συχνά παραμένει. Αυτό υποδηλώνει ότι η αλλαγή στις αντιλήψεις των μαθητών δεν συμβαίνει αυτόματα, αλλά απαιτεί μια πιο συστηματική και στοχευμένη αντιμετώπιση των εννοιών. Επομένως, για να μειωθεί η παρανόηση, χρειάζεται να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη σύνδεση της θεωρίας με συγκεκριμένες εμπειρίες ή παρατηρήσεις, και όχι μόνο στην παρουσίαση των ορισμών. Το συμπέρασμα αυτό συμφωνεί με τη διεθνή βιβλιογραφία, όπως δείχνουν οι έρευνες των Duit και Treagust (2003), οι οποίοι υπογραμμίζουν ότι η σύγχυση ανάμεσα σε τάση και ένταση είναι μια από τις πιο σταθερές και δύσκολα μεταβαλλόμενες εναλλακτικές ιδέες στον ηλεκτρισμό.

Οι παράγοντες F3, που αφορά την ασφάλεια και τα βραχυκυκλώματα, και F4, που σχετίζεται με την προέλευση των ηλεκτρικών φορτίων, δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τάξεων.

Στην περίπτωση του F3, οι υψηλές τιμές σε όλες τις τάξεις δείχνουν ότι οι μαθητές γενικά κατανοούν βασικά στοιχεία σχετικά με το βραχυκύκλωμα και τον ρόλο των ασφαλειών. Η σχετικά ομοιόμορφη κατανόηση σε όλες τις τάξεις πιθανώς οφείλεται στο ότι η συγκεκριμένη θεματική δεν επηρεάζεται αποκλειστικά από τη σχολική διδασκαλία, αλλά και από εμπειρίες εκτός σχολείου. Η καθημερινή χρήση ηλεκτρικών συσκευών, οι οδηγίες ασφαλείας στο σπίτι ή άλλες πρακτικές ασφάλειας ενισχύουν τη γνώση των μαθητών και μειώνουν τις διαφορές μεταξύ των τάξεων. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο πιθανόν παίζει η οικογενειακή καθοδήγηση από μικρή ηλικία, καθώς οι γονείς συχνά επισημαίνουν τον κίνδυνο όταν τα παιδιά ακουμπούν ηλεκτρικές συσκευές, με αποτέλεσμα οι μαθητές να έχουν από νωρίς αναπτύξει μια βασική επίγνωση της ασφάλειας γύρω από τον ηλεκτρισμό.

Στον παράγοντα F4, η κατανόηση της προέλευσης των ηλεκτρικών φορτίων παραμένει επίσης σταθερή σε όλες τις τάξεις. Αυτό οφείλεται κυρίως στη φύση της έννοιας, η οποία σχετίζεται με φαινόμενα του μικρόκοσμου, δηλαδή με σωματίδια και διαδικασίες που δεν είναι ορατές στην καθημερινή εμπειρία των μαθητών. Η αφηρημένη αυτή φύση δυσκολεύει την οικοδόμηση ακριβών νοητικών μοντέλων, με αποτέλεσμα οι εναλλακτικές ιδέες να παραμένουν ισχυρές. Επιπλέον, η ερμηνεία των αποτελεσμάτων υποδηλώνει ότι οι ιδέες που σχετίζονται με την προέλευση των φορτίων παραμένουν σχετικά σταθερές μεταξύ των τάξεων ή μεταβάλλονται αργά, χωρίς έντονη διαφοροποίηση στο συγκεκριμένο δείγμα.

Συνολικά, οι δύο παράγοντες δείχνουν ότι ορισμένες περιοχές της γνώσης σχετίζονται με ορατές εμπειρίες ή καθημερινές πρακτικές (F3) και γι' αυτό εμφανίζουν υψηλές και ομοιόμορφες τιμές, ενώ άλλες περιοχές που ανήκουν στον μικρόκοσμο (F4) παραμένουν ανθεκτικές ή μεταβάλλονται αργά παρά την πρόοδο στην εκπαιδευτική πορεία.

Τέλος, όσον αφορά την αξιοπιστία του εργαλείου, οι μέτριες τιμές του Cronbach's alpha για το σύνολο των 16 ερωτήσεων σε κάθε τάξη είναι αναμενόμενες και συμβατές με τον πολυδιάστατο χαρακτήρα του ερωτηματολογίου. Το ερωτηματολόγιο δεν στοχεύει στη μέτρηση μιας μόνο διάστασης ή μιας ενιαίας έννοιας, αλλά στην ταυτόχρονη διάγνωση πολλών διαφορετικών εννοιολογικών περιοχών που σχετίζονται με τον ηλεκτρισμό. Επομένως, η μέτρια εσωτερική συνοχή δεν υποδηλώνει προβλήματα αξιοπιστίας, αλλά αντικατοπτρίζει τον σχεδιασμό του εργαλείου, το οποίο εξετάζει έννοιες διαφορετικής φύσης και πολυπλοκότητας.

Η παρατήρηση ότι οι τιμές του Cronbach's alpha είναι ελαφρώς υψηλότερες στις τάξεις του Λυκείου μπορεί να ερμηνευθεί ως ένδειξη ότι οι απαντήσεις των μεγαλύτερων μαθητών εμφανίζουν μεγαλύτερη εννοιολογική συνοχή. Δηλαδή, οι μαθητές μεγαλύτερης ηλικίας φαίνεται να οργανώνουν τη γνώση τους πιο σταθερά και συστηματικά, κάτι που συμφωνεί με τη θεωρητική θέση ότι η γνώση γίνεται πιο ολοκληρωμένη και οργανωμένη καθώς προχωρά η εκπαίδευση. Με άλλα λόγια, όσο οι μαθητές ωριμάζουν και αποκτούν περισσότερες εμπειρίες με τις έννοιες, οι απαντήσεις τους τείνουν να είναι πιο συνεπείς και να ακολουθούν ένα πιο σαφές γνωστικό πρότυπο.

Συνολικά, η έρευνα υποστηρίζει ότι η εννοιολογική κατανόηση των μαθητών στον ηλεκτρισμό βελτιώνεται σταδιακά καθώς προχωρούν σε μεγαλύτερες τάξεις. Ωστόσο, η πρόοδος αυτή δεν είναι ίδια για όλες τις έννοιες: ορισμένες περιοχές εμφανίζουν πιο γρήγορη βελτίωση, ενώ άλλες παραμένουν πιο δύσκολες και ανθεκτικές. Επιπλέον, σε πολλές περιπτώσεις παρατηρούνται εναλλακτικές ιδέες που οι μαθητές διατηρούν για μεγάλο χρονικό διάστημα, ακόμη και όταν έχουν διδαχθεί τη σωστή έννοια. Τα ευρήματα αυτά υπογραμμίζουν ότι η αλλαγή της κατανόησης δεν συμβαίνει αυτόματα και απαιτεί ειδικά σχεδιασμένες διδακτικές παρεμβάσεις που στοχεύουν ακριβώς στις πιο ανθεκτικές παρανοήσεις. Με άλλα λόγια, η πρόοδος στη γνώση είναι δυναμική και εξαρτάται τόσο από την ηλικία και την εμπειρία των μαθητών όσο και από τον τρόπο με τον οποίο οι έννοιες παρουσιάζονται και αναπτύσσονται στη σχολική διδασκαλία. Η εικόνα αυτή συμφωνεί με προηγούμενες μελέτες (Driver et al., 1985· Duit, 1999· Kotsis, 2023), οι οποίες δείχνουν ότι η μάθηση της Φυσικής είναι μια διαδικασία που προχωρά βήμα-βήμα, με διαφορετικούς ρυθμούς ανάλογα με την έννοια και τις προκαταλήψεις των μαθητών.

6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ/ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της έρευνας, παρατηρούμε ότι οι καλύτερες συνολικές επιδόσεις εμφανίζονται στην Α΄ Λυκείου, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες τάξεις που εξετάστηκαν. Το εύρημα αυτό μπορεί να ερμηνευθεί ως συνέπεια της σχετικά πρόσφατης διδασκαλίας της ενότητας του ηλεκτρισμού στη Γ΄ Γυμνασίου, η οποία φαίνεται ότι είχε θετική επίδραση στην κατανόηση των μαθητών. Οι μαθητές της Α΄ Λυκείου είχαν έρθει σε επαφή με τις έννοιες του ηλεκτρισμού λίγους μήνες πριν από τη διεξαγωγή της έρευνας, γεγονός που πιθανότατα συνέβαλε στη διατήρηση γνώσεων και στην μείωση ορισμένων εναλλακτικών ιδεών. Αυτό υποστηρίζει την άποψη ότι η συστηματική διδασκαλία μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης, ειδικά όταν οι μαθητές βρίσκονται σε ηλικία όπου διαθέτουν μεγαλύτερη γνωστική ωριμότητα και μπορούν να επεξεργαστούν πιο αφηρημένες έννοιες. Ιδιαίτερα μας προβληματίζει το γεγονός ότι η εξάλειψη αυτή δεν είχε διάρκεια αφού τα scores σημείωσαν ξανά μείωση στη Β Λυκείου, δηλαδή μερικές εναλλακτικές ιδέες που φαινόταν να έχουν εξαλειφθεί, επανεμφανίστηκαν.

Ένα ακόμη σημαντικό συμπέρασμα της έρευνας είναι ότι οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών δεν μεταβάλλονται με έναν ενιαίο και γραμμικό τρόπο, αλλά παρουσιάζουν διαφορετικές πορείες ανάλογα με τη θεματική περιοχή. Οι μαθητές φαίνεται να κατανοούν ευκολότερα έννοιες που συνδέονται με την καθημερινή εμπειρία, όπως η ηλεκτρική ασφάλεια και τα βραχυκυκλώματα, ενώ δυσκολεύονται σημαντικά σε πιο αφηρημένες έννοιες, όπως η διάκριση μεταξύ τάσης και έντασης του ρεύματος ή η προέλευση των ηλεκτρικών φορτίων. Η διαφοροποίηση αυτή δείχνει ότι η εννοιολογική αλλαγή δεν εξαρτάται μόνο από την ηλικία ή τη σχολική τάξη, αλλά και από τη φύση της έννοιας. Ορισμένες έννοιες είναι πιο εύκολο να οικοδομηθούν επειδή συνδέονται με παρατηρήσιμα φαινόμενα, ενώ άλλες απαιτούν την ανάπτυξη πιο σύνθετων νοητικών μοντέλων, καθώς αφορούν μη ορατές διεργασίες ή προϋποθέτουν κατανόηση συστημάτων και σχέσεων αιτίας-αποτελέσματος.

Ιδιαίτερα σημαντικό εύρημα αποτελεί το γεγονός ότι ορισμένες παρανοήσεις, όπως η σύγχυση ανάμεσα στην τάση και την ένταση, παραμένουν ανθεκτικές σε όλες τις τάξεις. Αυτό δείχνει ότι η παραδοσιακή διδασκαλία ενδεχομένως δεν είναι επαρκής για να οδηγήσει σε πραγματική εννοιολογική αλλαγή. Συχνά οι μαθητές μαθαίνουν να απαντούν σωστά σε τυπικές ασκήσεις, χωρίς όμως να έχουν αναπτύξει ουσιαστική κατανόηση των εννοιών. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι η διδασκαλία του ηλεκτρισμού χρειάζεται να δίνει μεγαλύτερη

έμφαση σε δραστηριότητες που βοηθούν τους μαθητές να διαμορφώσουν σωστά νοητικά μοντέλα και όχι μόνο να απομνημονεύσουν κανόνες ή τύπους.

Από την άλλη πλευρά, η υψηλή επίδοση στον παράγοντα που αφορά την ασφάλεια και τα βραχυκυκλώματα δείχνει ότι η γνώση που σχετίζεται με πρακτικά ζητήματα της καθημερινότητας φαίνεται να είναι πιο σταθερή. Αυτό πιθανόν οφείλεται στο γεγονός ότι οι μαθητές έρχονται σε επαφή με τέτοιες έννοιες από μικρή ηλικία, όχι μόνο μέσω του σχολείου, αλλά και μέσω της οικογένειας, των κοινωνικών εμπειριών και των καθημερινών προειδοποιήσεων σχετικά με την ηλεκτροπληξία και τους κινδύνους του ηλεκτρισμού. Το εύρημα αυτό ενισχύει την άποψη ότι η μάθηση δεν πραγματοποιείται μόνο μέσα στο σχολείο αλλά και μέσα από το ευρύτερο κοινωνικό και πολιτισμικό περιβάλλον.

Συνεπώς, τα αποτελέσματα της έρευνας αναδεικνύουν ότι η διδασκαλία του ηλεκτρισμού χρειάζεται να γίνει πιο ευέλικτη και προσαρμοσμένη στις ανάγκες των μαθητών, αντί να ακολουθεί μια ενιαία πορεία που θεωρεί ότι όλοι οι μαθητές κατανοούν τις έννοιες με τον ίδιο τρόπο. Η συστηματική χρήση διαγνωστικών εργαλείων, όπως το ερωτηματολόγιο της παρούσας έρευνας, μπορεί να βοηθήσει τους εκπαιδευτικούς να εντοπίζουν τις βασικές εναλλακτικές ιδέες πριν από τη διδασκαλία και να σχεδιάζουν πιο στοχευμένες παρεμβάσεις.

6.1. Προτάσεις για τη διδασκαλία και την εκπαιδευτική πρακτική

Με βάση τα παραπάνω ευρήματα, κρίνεται απαραίτητο η διδασκαλία να οργανώνεται με τρόπο που να λαμβάνει υπόψη τις προϋπάρχουσες αντιλήψεις των μαθητών, εφαρμόζοντας εποικοδομητικές προσεγγίσεις. Κάθε διδακτική ενότητα θα πρέπει να ξεκινά από την ανάδειξη των ιδεών που ήδη έχουν οι μαθητές, ώστε ο εκπαιδευτικός να γνωρίζει το σημείο εκκίνησης της σκέψης τους και να μπορεί να δημιουργήσει κατάλληλες γνωστικές συγκρούσεις που οδηγούν σε αναδόμηση των αντιλήψεων. Με αυτόν τον τρόπο οι μαθητές δεν δέχονται έτοιμες απαντήσεις αλλά καθοδηγούνται να ανακαλύψουν τις σχέσεις μεταξύ εννοιών μέσα από ερωτήματα, πειραματισμό και συζήτηση. Η προσέγγιση αυτή μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη βαθύτερης κατανόησης και να μειώσει την πιθανότητα επιστροφής σε εναλλακτικές ιδέες.

Είναι σημαντικό επίσης να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στη σαφή διάκριση βασικών εννοιών, όπως το ρεύμα και η τάση, μέσω πειραμάτων, αναλογιών, γραφικών αναπαραστάσεων και συγκριτικών παραδειγμάτων. Η χρήση πολλαπλών αναπαραστάσεων (λεκτική περιγραφή,

σχέδιο κυκλώματος, μαθηματικές σχέσεις, γραφικές παραστάσεις, πειραματική παρατήρηση) μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να κατανοήσουν καλύτερα τις αφηρημένες έννοιες, καθώς τους επιτρέπει να τις προσεγγίσουν από διαφορετικές οπτικές.

Μια ιδιαίτερα χρήσιμη διδακτική πρακτική θα ήταν η συστηματική αξιοποίηση πειραματικών δραστηριοτήτων, όπου οι μαθητές καλούνται να κάνουν προβλέψεις πριν από το πείραμα και στη συνέχεια να συγκρίνουν τις προβλέψεις τους με τα πραγματικά αποτελέσματα. Η διαδικασία αυτή μπορεί να ενισχύσει την εννοιολογική αλλαγή, καθώς αναγκάζει τους μαθητές να συνειδητοποιήσουν τις αντιφάσεις ανάμεσα στις αρχικές τους αντιλήψεις και στα παρατηρούμενα δεδομένα.

Η χρήση προσομοιώσεων και ψηφιακών εργαλείων μπορεί επίσης να αποτελέσει σημαντικό υποστηρικτικό μέσο, καθώς επιτρέπει την οπτικοποίηση αφηρημένων φαινομένων που δεν είναι εύκολα παρατηρήσιμα, όπως η κίνηση φορτίων, η κατανομή δυναμικού στο κύκλωμα, το βραχυκύκλωμα κ.α. Οι προσομοιώσεις φυσικά δεν πρέπει να αντικαθιστούν τα πραγματικά πειράματα, αλλά να λειτουργούν συμπληρωματικά, προσφέροντας στους μαθητές δυνατότητα επανάληψης, δοκιμής διαφορετικών παραμέτρων και παρατήρησης αποτελεσμάτων που δεν είναι εύκολο να πραγματοποιηθούν σε σχολικό εργαστήριο. Όπως αναφέρουν οι Ronen et al. (2000), οι προσομοιώσεις αποτελούν εργαλείο που μπορεί να γεφυρώσει το χάσμα ανάμεσα στο θεωρητικό μοντέλο και την πραγματικότητα, όταν χρησιμοποιούνται σωστά και με παιδαγωγική καθοδήγηση.

Επειδή η έρευνα δείχνει ότι ορισμένες εναλλακτικές ιδέες επανεμφανίζονται με την πάροδο του χρόνου, κρίνεται απαραίτητη η τακτική επανάληψη και επαναφορά βασικών εννοιών σε διαφορετικές τάξεις και διδακτικές ενότητες. Η επανάληψη δεν θα πρέπει να περιορίζεται σε απλή αναφορά των ορισμών, αλλά να περιλαμβάνει δραστηριότητες εφαρμογής, επίλυση προβλημάτων και σύνδεση με καθημερινά παραδείγματα, ώστε η γνώση να εδραιώνεται πιο σταθερά. Επιπλέον, καθώς οι μαθητές ωριμάζουν και αναπτύσσουν μεγαλύτερη γνωστική ικανότητα, η αντίληψή τους για αφηρημένες έννοιες γίνεται πιο ισχυρή. Η αυξημένη ωριμότητα τους επιτρέπει να κατανοούν καλύτερα σύνθετες έννοιες, να συνδέουν διαφορετικές ιδέες μεταξύ τους και να εφαρμόζουν τη γνώση σε νέες καταστάσεις, γεγονός που ενισχύει την αποτελεσματικότητα της επανάληψης και συμβάλλει στη σταθεροποίηση της ορθής κατανόησης.

Ένα ακόμη σημείο που προκύπτει από τα ευρήματα είναι η ανάγκη σύνδεσης των εννοιών του ηλεκτρισμού με πραγματικές καταστάσεις και τεχνολογικές εφαρμογές. Η χρήση παραδειγμάτων από την καθημερινή ζωή, όπως φορτιστές κινητών, πολύπριζα, ηλεκτρικοί πίνακες, ασφάλειες, μπαταρίες και ηλεκτρικές συσκευές, μπορεί να ενισχύσει το ενδιαφέρον των μαθητών και να βοηθήσει στη δημιουργία πιο ορθών εννοιολογικών συνδέσεων. Επιπλέον, η ενσωμάτωση θεμάτων που σχετίζονται με σύγχρονες τεχνολογίες (π.χ. ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ηλεκτρικά αυτοκίνητα, φωτοβολταϊκά) μπορεί να αυξήσει το κίνητρο των μαθητών και να κάνει τη διδασκαλία πιο ελκυστική.

Ιδιαίτερη σημασία έχει επίσης η αξιοποίηση της ομαδοσυνεργατικής μάθησης. Μέσα από τη συνεργασία, οι μαθητές μπορούν να εκφράσουν τις ιδέες τους, να συγκρίνουν αντιλήψεις και να διαπραγματευτούν νοήματα. Η συζήτηση μέσα στην ομάδα μπορεί να λειτουργήσει ως εργαλείο εννοιολογικής αλλαγής, καθώς οι μαθητές συχνά πείθονται πιο εύκολα όταν έρχονται αντιμέτωποι με διαφορετικές απόψεις συνομηλίκων.

Τέλος, κρίνεται ιδιαίτερα αναγκαία η επιμόρφωση των εκπαιδευτικών στην αναγνώριση των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών και στην εφαρμογή κατάλληλων στρατηγικών εννοιολογικής αλλαγής. Η έρευνα έχει δείξει ότι σε αρκετές περιπτώσεις παρανοήσεις σχετικά με τον ηλεκτρισμό εμφανίζονται ακόμη και σε εκπαιδευτικούς, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την ενίσχυση της διδακτικής τους ετοιμότητας και της επιστημονικής τους κατανόησης. Η αποτελεσματική παρέμβαση στις μαθητικές παρανοήσεις εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον ίδιο τον εκπαιδευτικό, όταν είναι ενημερωμένος για τις συνήθειες λανθασμένες αντιλήψεις των μαθητών και γνωρίζει πώς να τις αντιμετωπίσει, μπορεί να σχεδιάσει δραστηριότητες που προωθούν ουσιαστική κατανόηση και να καθοδηγήσει τους μαθητές προς τη σωστή έννοια. Μέσα από επιμορφωτικά σεμινάρια και προγράμματα, οι εκπαιδευτικοί μπορούν να ενημερωθούν για τα πιο συχνά μαθητικά λάθη, να μοιραστούν καλές πρακτικές με συναδέλφους και να εφαρμόσουν στοχευμένες διδακτικές παρεμβάσεις που μειώνουν τις εναλλακτικές ιδέες. Ένας ενημερωμένος και προετοιμασμένος εκπαιδευτικός λειτουργεί έτσι ως καθοριστικός παράγοντας στην αλλαγή των εννοιών των μαθητών, καθώς μπορεί να εντοπίζει έγκαιρα τις δυσκολίες τους, να προσαρμόζει τη διδασκαλία του και να ενισχύει σταδιακά την ορθή κατανόηση των βασικών εννοιών του ηλεκτρισμού.

Συμπερασματικά, η παρούσα έρευνα δείχνει ότι η εννοιολογική κατανόηση του ηλεκτρισμού βελτιώνεται με την εκπαιδευτική πορεία, αλλά δεν εξελίσσεται με σταθερό και γραμμικό

τρόπο. Ορισμένες εναλλακτικές ιδέες φαίνεται να μειώνονται μετά από διδασκαλία αλλά επανεμφανίζονται σε μεταγενέστερο χρόνο, ενώ άλλες παραμένουν ανθεκτικές σε όλες τις τάξεις. Αυτό υποδεικνύει ότι η διδασκαλία του ηλεκτρισμού πρέπει να σχεδιάζεται με μεγαλύτερη έμφαση στην εννοιολογική κατανόηση, στη διερεύνηση, στην επανάληψη και στη σύνδεση με εμπειρίες της καθημερινής ζωής, ώστε να επιτυγχάνεται πιο σταθερή και ουσιαστική μάθηση.

6.2. Περιορισμοί της έρευνας

Παρόλο που η παρούσα έρευνα προσφέρει σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών στον ηλεκτρισμό, υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Αρχικά, η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε συγκεκριμένο δείγμα μαθητών, επομένως τα αποτελέσματα δεν μπορούν να γενικευτούν με απόλυτη βεβαιότητα σε όλους τους μαθητές της χώρας. Διαφορετικά σχολικά περιβάλλοντα ή διαφορετικές περιοχές ενδέχεται να παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις λόγω κοινωνικών, πολιτισμικών ή εκπαιδευτικών παραγόντων.

Επιπλέον, η έρευνα βασίστηκε σε ερωτηματολόγιο πολλαπλής επιλογής. Αν και το εργαλείο αυτό επιτρέπει τη συλλογή δεδομένων από μεγάλο αριθμό μαθητών και διευκολύνει τις συγκρίσεις, δεν μπορεί πάντα να αποκαλύψει με ακρίβεια τον τρόπο σκέψης των μαθητών. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι μαθητές μπορεί να επιλέγουν τη σωστή απάντηση τυχαία ή επειδή την θυμούνται, χωρίς να έχουν πραγματική κατανόηση. Αντίστοιχα, μπορεί να επιλέξουν λανθασμένη απάντηση χωρίς αυτό να σημαίνει ότι έχουν σταθερή εναλλακτική ιδέα.

Ένας ακόμη περιορισμός είναι ότι η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε μία χρονική στιγμή και δεν παρακολούθησε τους ίδιους μαθητές διαχρονικά. Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορούμε να γνωρίζουμε με βεβαιότητα πώς εξελίσσονται οι ιδέες των ίδιων μαθητών με την πάροδο του χρόνου, αλλά μόνο να συγκρίνουμε διαφορετικές τάξεις μεταξύ τους. Μια διαχρονική έρευνα θα μπορούσε να δώσει πιο ξεκάθαρη εικόνα για το πότε εμφανίζονται ή πότε εξασθενούν συγκεκριμένες παρανοήσεις.

Τέλος, δεν εξετάστηκαν άλλοι παράγοντες που ενδέχεται να επηρεάζουν την επίδοση, όπως η επίδοση των μαθητών στη Φυσική γενικότερα, η στάση των μαθητών απέναντι στο μάθημα ή οι διδακτικές πρακτικές που εφαρμόζονται σε κάθε σχολείο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

«Φυσικά» Ε' Δημοτικού Ερευνώ και Ανακαλύπτω Βιβλίο Δασκάλου
https://ebooks.edu.gr/ebooks/v/pdf/8547/630/10-0134-01_Fysika_E-Dimotikou_Vivlio-Ekpaideutikou/

Adeniyi, E. O. (1985). Misconceptions of selected ecological concepts held by some Nigerian students. *Journal of Biological Education*, 19(4), 311-316.
<https://doi.org/10.1080/00219266.1985.9654758>

Akpınar M and Tan M 2011 *Western Anatolia Journal of Educational Sciences*. 139-144.

Aligo, B. L., Branzuela, R. L., Faraon, C. A. G., Gardon, J. D., & Orleans, A. V. (2021). Teaching and learning electricity-A study on students' and science teachers' common misconceptions. *Manila Journal of Science*, 14(2021), 22-34.

Angell, C., Guttersrud, Ø., Henriksen, E. K. & Isnes, A. (2004). Physics: Frightful, but fun, Pupils' and teachers' views of physics and physics teaching (Electronic version). *Science Education*, 88, 683-706. <https://doi.org/10.1002/sce.10141>

Aretz S, Borowski A and Schmeling S 2016 A fairytale creation or the beginning of everything: students' pre-instructional conceptions about the big bang theory Perspect. Sci. 10 46-58 <https://doi.org/10.1016/j.pisc.2016.08.003>

Barbas, A., & Psillos, D. (2002). Evolution of students' reasoning about microscopic processes in electrostatics under the influence of interactive simulations. In D. Psillos, & H. Niedderer (Eds.), *Teaching and learning in the science laboratory*. Springer. https://doi.org/10.1007/0-306-48196-0_25

Barmby, P., Kind, P.M., & Jones, K. (2008). Examining changing attitudes in secondary school science. *International Journal of Science Education*, 30 (8), 1075 - 1093. doi:10.1080/09500690701344966 <https://doi.org/10.1080/09500690701344966>

Baser M 2006 *Journal of Maltase Education Research*. 4 64-79

Başer, M. and Geban, Ö., Effect of instruction based on conceptual change activities on students' understanding of static electricity concepts, *Research in Science & Technological Education* 25, 243-267 (2007). <https://doi.org/10.1080/02635140701250857>

Beaton, A.E., Martin, O., Mullis, I.V.S., Gonzalez, E.J., Smith, T.A., & Kelly, D.L. (1996). Science achievement in the middle school years: IEA's third international mathematics and science study (TIMSS). Chestnut Hill, MA: Center for the Study of Testing, Evaluation, and Educational Policy, Boston College.

Bell B F 1993 Children's Science, Constructivism, and Learning in Science (Victoria Deakin University) p 12

Bentley Di, Watts Mike, 1992, Communicating in school science: Groups, Tasks and Problem solving 5-16. Falmer Press, London

Bilal, E., & Erol, M. (2009). Investigating students' conceptions of some electricity concepts. Latin-American Journal of Physics Education, 3(2), 1.

Bleichroth Wolfgang et al., 1991 α , Fachdidaktik Physik. Aulis Verlag Deubner, Köln

Bleichroth Wolfgang, 1969, Die Didaktik des Physik - / Chemieunterrichts als Wissenschaft. Didaktica, Vol.3, pp.91-111

Brancato, S. (2004). Transculturalità e tranculturalismo: i nuovi orizzonti dell'identità culturale. Le Simplegadi, (2), 40-46.

Brna, P., Confronting misconceptions in the domain of simple electrical circuits, Instructional Science 17, 29 55 (1988). <https://doi.org/10.1007/BF00121233>

Brown, D. E. and Clement, J., Overcoming misconceptions via analogical reasoning: abstract versus explanatory model construction, Instructional Science 18, 237-261 (1989). <https://doi.org/10.1007/BF00118013>

Calisir F and Gurel Z 2003 Computers in Human Behavior. 19 135-145 [https://doi.org/10.1016/S0747-5632\(02\)00058-4](https://doi.org/10.1016/S0747-5632(02)00058-4)

Calisir F, Eryazici M and Lehto M R 2008 Computers in Human Behavior. 24 439-450 <https://doi.org/10.1016/j.chb.2007.01.032>

Carlton, K. (1999). Teaching electric current and electrical potential. Physics Education, 36(6), 341-345. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/34/6/401>

Carter, S.C. & Brickhouse, N.W. (1989). What makes chemistry difficult? Alternate Perceptions. Journal of Chemical Education, 66, 223-225. <https://doi.org/10.1021/ed066p223>

Chambers, S. K., & Andre, T. (1997). Gender, prior knowledge, interest, and experience in electricity and conceptual change text manipulations in learning about direct current. *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 107-123. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199702\)34:2<107::AID-TEA2>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199702)34:2<107::AID-TEA2>3.0.CO;2-X)

Chapman, S. (2014). Teaching the 'big ideas' of electricity at primary level. *Primary Science*, 135, 5-8.

Chen, C., Sonnert, G., Sadler, P. M., Sassellov, D., & Fredericks, C. (2020). The impact of student misconceptions on student persistence in a MOOC. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(6), 879-910. <https://doi.org/10.1002/tea.21616>

Cochran, K., & Jones, L. (1998). The subject matter knowledge of pre service science teachers. In B. J. Fraser, & K. G. Tobin (Eds.), *International handbook of science education* (pp. 707-718). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4940_2_41

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.

Cokelez, A., & Yurumezoglu, K. (2009). Conceptualization Forms of" Electricity, Electric Current and Electrical Energy" by Junior High School (aged 12-14) Students. *Latin-American Journal of Physics Education*, 3(3), 1.

Cordova J R, Sinarta G M, Jones S H, Taasobshirazi G and Lombardi D 2014 *Contemporary Educational Psychology*. 39 164-174 <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2014.03.006>

Dahncke Helmut, 1994, Legitimation des Physikunterrichts aus dem Bildungsbegriff. *Physik in der Schule*, Vol.32, No.12, pp.402-408

de Barros Vidor, C., Danielsson, A., Rezende, F., & Ostermann, F. (2020). What are the problem representations and assumptions about gender underlying research on gender in Physics and Physics education: A systematic literature review. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 20(u), 1133-1168. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2020u11331168>

De Boer, G.E.(2011). The globalization of science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 48,567-591. <https://doi.org/10.1002/tea.20421>

De Jong, O., Korthagen, F., & Wubbels, T. (1998). Research on science teacher education in Europe: Teacher thinking and conceptual change. In B. J. Fraser, & K. G. Tobin (Eds.), *International handbook of science education* (pp. 745-758). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4940-2_44

Dochy F J R C and Alexander P A 1995 *European Journal of Psychology of Education*. X 225 242. <https://doi.org/10.1007/BF03172918>

Driver, R. (1985). *Children's ideas in science*. McGraw-Hill Education (UK).

Driver, R. and Easley, J., Pupils and paradigms: a review of literature related to conceptual development in adolescent science students, *Studies in Science Education* 5, 61-84 (1978). <https://doi.org/10.1080/03057267808559857>

Driver, R., Tiberghien, A. & Guesne, E. (1985). *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press.

Duckworth, A. L., & Seligman, M. E. (2006). Self-discipline gives girls the edge: Gender in self-discipline, grades, and achievement test scores. *Journal of educational psychology*, 98(1), 198.

Duffy, T. M., & Jonassen, D. H. (1991). Constructivism: New implications for instructional technology? *Educational Technology*, 31(5), 7-12.

Duit R and von Rhöneck C 1998 Learning and understanding key concepts of electricity Connecting research in physics education with teacher education. *International commission on physics education* 1-6

Duit, R. & Treagust D.F. (2003) Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching, *International Journal of Science Education*, Vol. 25(6), pp. 671-688 <https://doi.org/10.1080/09500690305016>

Duit, R. and Treagust, D. F., "Students' Conceptions and Constructivist Teaching Approaches" In *Improving Science Education*, edited by Barry J. Fraser and Herbert J. Walberg (University of Chicago Press, Chicago, 1995), p. 46-69.

Duit, R., 1999, Conceptual change approaches in science education. In W. Schnotz, S. Vosniadou, & M. Carretero (Eds.), *New perspectives on conceptual change* (pp. 263-282) NL: Pergamon, Amsterdam

Eccles, J. S., & Wigfield, A. (2002). Motivational beliefs, values, and goals. *Annual Review of Psychology*, 53, 109-132. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135153>

Edelsbrunner, P. A., Simonsmeier, B. A., & Schneider, M. (2025). The Cronbach's alpha of domain-specific knowledge tests before and after learning: A meta-analysis of published studies. *Educational Psychology Review*, 37(1), 4. <https://doi.org/10.1007/s10648-024-09982-y>

Elby, A. (2001). Helping physics students learn how to learn. *American Journal of Physics*, 69(S1), S54-S64. <https://doi.org/10.1119/1.1377283>

Engelhardt, P. V., & Beichner, R. J. (2004). Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American journal of physics*, 72(1), 98-115.

Engelhardt, P. V., & Beichner, R. J. (2004). Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American journal of physics*, 72(1), 98-115.

Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (4th ed.). Sage Publications.

Fortus, D., & Krajcik, J. (2012). Curriculum coherence and learning progressions. In B. Fraser, C. McRobbie, & K. Tobin (Eds.), *Second international handbook of science education* (pp. 783-798). Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_52

Fortus, D., Sutherland Adams, L. M., Krajcik, J., & Reiser, B. (2015). Assessing the role of curriculum coherence in student learning about energy. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(10), 1408-1425. <https://doi.org/10.1002/tea.21261>

Fredette N and Lockhead J 1980 Student Conceptions of Simple Circuits *Phys. Teach.* 18 3 194 198 <https://doi.org/10.1119/1.2340470>

Fredette, N. H., & Clement, J. J. (1981). Student misconceptions of an electric circuit: What do they mean? *Journal of College Science Teaching*, 10, 280-285.

Giliberti M 2021 Stories and theatre for teaching physics at primary school *Educ. Sci.* 11 696 <https://doi.org/10.3390/educsci11110696>

Gill P. (1999). The physics/maths problem again, *Phys. Educ.* v24, 83-97 <https://doi.org/10.1088/0031-9120/34/2/018>

Halkia, K. (2003). Teachers' views and attitudes towards the communication code and the rhetoric used in press science articles. In D. Psillos, P. Kariotoglou, V. Tselfes, E. Hatzikraniotis, G. Fassouloupoulos, & M. Kallery (Eds.), *Science education research in the knowledge-based society*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-0165-5_43

Hattie, J. (2009). *Visible learning*. New York, NY: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203887332>

Hattie, J. (2009). *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Routledge.

Häußler P., 1987, Eine Erhebung zu einer erwünschten physikalischen Bildung. *Physica Didactica*, Vol. 14, No.3, pp. 13 - 24

Hestenes, D. (2015). A role for physicists in STEM education reform. *Am. J. Phys.* 83, 101-103. <https://doi.org/10.1119/1.4904763>

Hewson, P. W., & Hennessey, M. G. (1992). Making status explicit: A case study of conceptual change. *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies*, 13, 176-187.

Hicks, R. B., & Laue, H. (1989). A computer-assisted approach to learning physics concepts. *American Journal of Physics*, 57(9), 807-811. <https://doi.org/10.1119/1.15897>

Hidi, S. (1990). Interest and its contribution as a mental resource for learning. *Review of Educational Research*, 60(4), 549-571. <https://doi.org/10.3102/00346543060004549>

Hill, H. C., Rowan, B., & Ball, D. L. (2005). Effects of teachers' mathematical knowledge for teaching on student achievement. *American Educational Research Journal*, 42(2), 371-406. <https://doi.org/10.3102/00028312042002371>

Holbrook, J., Chowdhury, T. B. M., & Rannikmäe, M. (2022). A Future Trend for Science Education: A Constructivism-Humanism Approach to Trans-Contextualisation. *Education Sciences*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/educsci12060413>

Holubova, R. (2023). Teaching Physics at High Schools and University-Key Problems. *International Journal of Innovation In Science And Mathematics Education*, 31(4). <https://doi.org/10.30722/IJISME.31.04.005>

<https://doi.org/10.1023/A:1011359010331>

Ivanjek, L., Morris, L., Schubatzky, T., Hopf, M., Burde, J. P., Haagen-Schützenhöfer, C., ... & Wilhelm, T. (2021). Development of a two-tier instrument on simple electric circuits. *Physical Review Physics Education Research*, 17(2), 020123.

Jenkins, E.W., & Nelson, N.W. (2005). Important but not for me: Students' attitudes towards secondary school science in England. *Research in Science & Technological Education*, 23(1), 41-57. <https://doi.org/10.1080/02635140500068435>

Jimoyiannis, A. (2002). Preparing the school for the information society. Towards an integrated model of integration of information and communication technologies in the Greek educational system. *Modern Education*, 122, 55-65.

Jimoyiannis, A., & Komis, V. (2001). Computer simulations in physics teaching and learning: A case study on students' understanding of trajectory motion. *Computers & Education*, 36, 183-204. [https://doi.org/10.1016/S0360-1315\(00\)00059-2](https://doi.org/10.1016/S0360-1315(00)00059-2)

Kaltakci, D., & Didis, N. (2007). Identification of pre-service physics teachers' misconceptions on gravity concept: A study with a 3-tier misconception test. *American Institute of Physics Conference Proceedings*, 499-500. <https://doi.org/10.1063/1.2733255>

Keller, M. M., Goetz, T., Becker, E., Morger, V., & Hensley, L. (2014). Feeling and showing: A new conceptualization of dispositional teacher enthusiasm and its relation to students' interest. *Learning and Instruction*, 33, 29-38. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2014.03.001>

Keller, M. M., Neumann, K., & Fischer, H. E. (2017). The impact of physics teachers' pedagogical content knowledge and motivation on students' achievement and interest. *Journal of Research in Science teaching*, 54(5), 586-614. <https://doi.org/10.1002/tea.21378>

Kessels, U., Rau, M., & Hannover, B. (2006). What goes well with physics? Measuring and altering the image of science. *British Journal of Educational Psychology*, 76, 761-780. <https://doi.org/10.1348/000709905X59961>

Kibble, B., How do you picture electricity?, *Physics Education* 34, 226-229 (1999). <https://doi.org/10.1088/0031-9120/34/4/310>

Köller, O., Baumert, J., & Schnabel, K. (2001). Does interest matter? The relationship between academic interest and achievement in mathematics. *Journal for Research in Mathematics Education*, 32(5), 448-470. <https://doi.org/10.2307/749801>

Kollöffel B and de Jong T 2013 Conceptual understanding of electrical circuits in secondary vocational engineering education: Combining traditional instruction with inquiry learning in a virtual lab *Journal of engineering education* 102 375-393 <https://doi.org/10.1002/jee.20022>

Kolokotronis, D., & Solomonidou, C. (2003). A step-by-step design and development of an integrated educational software to deal with students' empirical ideas about mechanical interaction. *Education and Information Technologies*, 8(3), 229-244. <https://doi.org/10.1023/A:1026308009235>

Kontogeorgiou, A., Kotsis, K. T., & Mikropoulos, T. (2004). Visual and mental representations for understanding the structure of matter. In *Proceedings of the 4th Panhellenic Conference on Teaching of Natural Sciences and New Technologies in Education* (pp. 58-65).

Kost, L. E., Pollock, S. J., & Finkelstein, N. D. (2009). Characterizing the gender gap in introductory physics. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 5(1), 010101. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.5.010101>

Kotsis, K. T. (2005a). The change of elementary school student's perceptions of the concept of power due to their teaching with the new school textbooks. In *Proceedings of the 3rd Panhellenic Conference History, Philosophy and Teaching of Sciences* (pp. 218-225). Letters Publications.

Kotsis, K. T. (2023). Alternative ideas about concepts of physics, a timelessly valuable tool for physics education. *Eurasian Journal of Science and Environmental Education*, 3(2), 83-97. <https://doi.org/10.30935/ejsee/13776>

Kotsis, K. T. (2023). Alternative ideas about concepts of physics, a timelessly valuable tool for physics education. *Eurasian Journal of Science and Environmental Education*, 3(2), 83-97 <https://doi.org/10.30935/ejsee/13776>

Kotsis, K. T., & Panagou, D. (2023a). Self-concept of Greek primary school teachers and their conceptions of force and weight among their years of service. *International Journal of Professional Development, Learners and Learning*, 5(1), ep2301. <https://doi.org/10.30935/ijpdll/12628>

Kotsis, K. T., & Panagou, D. (2023b). The determination of the learning curve on the concept of energy using alternative ideas. *Contemporary Mathematics and Science Education*, 4(1), ep23011. <https://doi.org/10.30935/conmaths/13022>

Kotsis, K. T., Gioti, K., & Athanasiou, E. (2008). Which concepts of Physics are considered difficult to understand by primary education teachers. *Research and Practice*, 26, 20-27.

Kotsis, K. T., Vemis, K., & Kolovos, X. (2004). The effect of the new textbooks of the science course on the conceptual change of children's alternative ideas and on the duration of knowledge from their teaching in primary school, in the concept of friction. In *Proceedings of the 4th Panhellenic Conference on Teaching of Natural Sciences and New Technologies in Education* (pp. 123-129).

Koumaras, P. (1989). Study of the constructive approach in experimental electricity teaching [Doctoral dissertation, Aristotle University of Thessaloniki].

Krapp, A. (2007). An educational-psychological conceptualisation of interest. *International Journal for Educational and Vocational Guidance*, 7, 5-21. <https://doi.org/10.1007/s10775-007-9113-9>

Küçüközer, H. and Kocakulah, S., Secondary school students' misconceptions about simple electric circuits, *Journal of Turkish Science Education* 4, 101-115 (2007).

Kunter, M., & Holzberger, D. (2013). Loving teaching: Research on teachers' intrinsic orientations. In P. W. Richardson, S. A. Karabenick, & H. M. G. Watt (Eds.), *Teacher motivation: Theory and practice* (pp. 83-99). New York, NY: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203119273-6>

Kunter, M., Klusmann, U., Baumert, J., Richter, D., Voss, T., & Hachfeld, A. (2013). Professional competence of teachers: Effects on instructional quality and student development. *Journal of Educational Psychology*, 105(3), 805-820. <https://doi.org/10.1037/a0032583>

Lee, Y. and Law, N., Explorations in promoting conceptual change in electrical concepts via ontological category shift, *Int. J. Sci. Educ.* 23, 111-149 (2001). <https://doi.org/10.1080/095006901750039862>

Lin, S. Y., & Singh, C. (2013). Using an isomorphic problem pair to learn introductory physics: Transferring from a two-step problem to a three-step problem. *Physical Review*

Linn, M. C. (2000). Designing the knowledge integration environment. *International Journal of Science Education*, 22(8), 781-796. <https://doi.org/10.1080/095006900412275>

Linn, M. C., Clark, D., & Slotta, J. D. (2003). WISE design for knowledge integration. *Science Education*, 87(4), 517-538. <https://doi.org/10.1002/sce.10086>

McDermott L C and Shaffer P S 1992 Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part II: Design of instructional strategies *Am. J. Phys.* 60 994-1003 <https://doi.org/10.1119/1.17003>

McDermott L. C., & Redish, E. D. (1999). Resource letter PER-1: Physics education research. *American Journal of Physics*, 67(7), 755-767. <https://doi.org/10.1119/1.19122>

McDermott, L. C. (1990). A perspective on teacher preparation in physics and other sciences: The need for special science courses for teachers. *American Journal of physics*, 58(8), 734-742.

Mikropoulos, T. A. (2002). Simulations and visualizations in the construction of concepts in the natural sciences. In A. Margetousakis, & P. Michaelidis (Eds.), *Proceedings of the 3rd Panhellenic Conference: Teaching of Natural Sciences and Application of New Technologies in Education* (pp. 371-376). ION.

Mikropoulos, T. A., Chalkidis, A., Katsikis, A., & Emvalotis, A. (1998). Students' attitudes towards educational virtual environments. *Education and Information Technologies*, 3, 137-148. <https://doi.org/10.1023/A:1009687025419>

Mikropoulos, T. A., Katsikis, A., Nikolou, E., & Tsakalis, P. (2003). Virtual environments in biology teaching. *Journal of Biological Education*, 37(4), 176-181. <https://doi.org/10.1080/00219266.2003.9655879>

Minner D D, Levy A J and Century J 2009 Inquiry-based science instruction-what is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984-2002 *J. Res. Sci. Teach.* 47 474-96 <https://doi.org/10.1002/tea.20347>

Molochidis, A. (2005). Development of a teaching learning series for the self education of teachers in phenomena and concepts of fluids [Doctoral dissertation, Aristotle University of Thessaloniki].

Monk Martin & Osborne, Jonathan, 2000 (Eds.), Good practice in science teaching: What research has to say, Open University Press, Buckingham - Philadelphia

Monk Martin, 1995, On the identification of principles in science that might inform research into students' beliefs about natural phenomena. *International Journal of Science Education*, Vol.17, No.5, pp.565-573 <https://doi.org/10.1080/0950069950170502>

Mualem, R. & Eylon, B.-S. (2007). "Physics with a smile" Explaining phenomena with a qualitative problem solving strategy. *Physics Teacher*, 45(3): 158-163. <https://doi.org/10.1119/1.2709674>

Mulhall, P. & Gunstone, R. (2008). Views about physics held by physics teachers with differing approaches to teaching physics. *Research in Science Education*, 38(4): 435-462 <https://doi.org/10.1007/s11165-007-9057-6>

Nachtigall Dieter, 1992, Was lernen die Schüler im Physikunterricht? *Physikalische Blätter*, Vol. 48, No.3, pp.169-173 <https://doi.org/10.1002/phbl.19920480308>

Nolte - Fischer Georg, 1987, Bildung zum Laien. Zur Soziologie des schulischen Fachunterrichts. Deutscher Studien Verlag, Marburg

Northfield, J. and Gunstone, R., Research on alternative frameworks: Implications for science teacher education, *Research in Science Education* 13, 185-193 (1983). <https://doi.org/10.1007/BF02356705>

Novak, J. D. (1995). Concept mapping to facilitate teaching and learning. *Prospects*, 25, 79-86. <https://doi.org/10.1007/BF02334286>

OECD (200). Learning for tomorrow's world: First results from PISA 2003. Paris: OECD.
OECD (2010). Education at a glance 2010: OECD indicators. Retrieved from <http://www.oecd.org/edu/skills-beyond-school/education-at-a-glance-2010/oecdindicators.htm>

OECD. The Future of Education and Skills: Education 2030; OECD: Paris, France, 2018. (n.d.)

Oon, P-T & Subramaniam, R. (2011). On the declining interest in physics among students-from the perspective of teachers, *Int. J. Sci. Educ.* 33, 727-746 <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.500338>

Ornek, F., Robinson, W. R., & Haugan, M. P. (2008). What Makes Physics Difficult?. *International Journal of Environmental and Science Education*, 3(1), 30-34.

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. <https://doi.org/10.1080/0950069032000032199>

Osborne, R. (1983). Towards modifying children's ideas about electric current. *Research in Science & Technological Education*, 1(1), 73-82.

Osborne, R. J. (1983). Towards modifying children's ideas about electric current. *Research in Science and Technological Education*, 1(1), 73-82. <https://doi.org/10.1080/0263514830010108>

Osborne, R.J. (1981). Children's ideas about electric current. *New Zealand Science Teacher*, 29, 12-19.

Owen, S., Dickson, D., Stanisstreet, M. & Boyes, E. (2008). Teaching physics: Students' attitudes towards different learning activities, *Research in Science and Technological Education*, 26(2), 113-128 <https://doi.org/10.1080/02635140802036734>

Panagou, D., Kotsis, K. T., & Stylos, G. (2021). An empirical study on the evolution of students' perceptions in basic concepts of physics of primary and secondary education in Cyprus. *Electronic Journal for Research in Science & Mathematics Education*, 26(2), 91-109.

Pardhan, H. and Bano, Y., Science teachers' alternate conceptions about direct-currents, *Int. J. Sci. Educ.* 23, 301-318 (2001). <https://doi.org/10.1080/095006901750066538>

Piaget, J. (1978). *Success and understanding*. Harvard University Press.

Politis, Y., Killeavy M & Mitchell P. I. (2007), Factors influencing the take-up of physics within second-level education in Ireland-the teachers' perspective, *Irish Educ. Stud.* v26, 39-55 <https://doi.org/10.1080/03323310601125229>

Powell, R. R., & Strudler, N. B. (1993). Preparing teacher leaders and change agents for technology in education. *Journal of Technology and Teacher Education*, 1(4), 393-408.

Pradel G., 1970, *Naturlehre - Unterricht: Physik/Chemie. Band I*. Zwiebrücken

Psillos D 1998 Teaching introductory electricity international commission on physics education

Redish, E. F. (1994). Implications of cognitive studies for teaching physics. *American Journal of Physics*, 62(6), 796-803. <https://doi.org/10.1119/1.17461>

Redish, E. F. (2002). Who Needs To Learn Physics in the 21st Century--And Why?.

Reid, N., & Skryabina, E. A. (2003). Gender and physics. *International journal of science education*, 25(4), 509-536. <https://doi.org/10.1080/0950069022000017270>

Resbiantoro, G., Setiani, R., & Dwikoranto. (2022). A Review of Misconception in Physics: The Diagnosis, Causes, and Remediation. *Journal of Turkish Science Education*, 19(2), 403-427. <https://doi.org/10.36681/tused.2022.128>

Rhoneck von Christoph, 1992, Schwierigkeiten beim Verstehen von Physik. *Physikalische Blätter*, Vol.48, No.3, pp.177-180 <https://doi.org/10.1002/phbl.19920480310>

Roberts, D. (2007). Scientific literacy/science literacy. In S. K. Abell, & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research in science education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Ronen M and Eliahu M 2000 Simulation-A bridge between theory and reality: The case of electric circuits *J. Comput. Assist. Lear.* 16 14-26 <https://doi.org/10.1046/j.1365-2729.2000.00112.x>

Sadler, P. M., Sonnert, G., Coyle, H. P., Cook-Smit, N., & Miller, J.L. (2013). The influence of teachers knowledge on student learning in middle school physical science classrooms. *American Educational Research Journal*, 50, 1020-1049. <https://doi.org/10.3102/0002831213477680>

Salame I, Sarowar S, Begum S and Krauss D 2011 *Chem. Educator*. 16 190-194

Samsudin, A., Azura, Kaniawati, I., Suhandi, A., Fratiwi, N., Supriyatman, Wobowo, F., Malik, A., & Costu, B. (2018). Unveiling students' misconceptions through computer simulation based PDEODE learning strategy on dynamic electricity. *Journal of Physics: Conference Series*, 1280, 1-8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1280/5/052050>

Sani, A., Rochintaniawati, D., & Winarno, N. (2019). Using Brain-Based Learning to Promote Students' Concept Mastery in Learning Electric Circuit. *Journal of Science Learning*, 2(2), 42-49.

Saputro, D. E., Sarwanto, S., Sukarmin, S., & Ratnasari, D. (2018, May). Students' conceptions analysis on several electricity concepts. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1013, No. 1, p. 012043). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1013/1/012043>

Schiefele, U. (2009). Situational and individual interest. In K. R. Wentzel, & A. Wigfield (Eds.), *Handbook of motivation at school*(pp.197-222). New York, NY:Routledge.

Schiefele, U., & Schaffner, E. (2015). Teacher interests, mastery goals, and self-efficacy as predictors of instructional practices and student motivation. *Contemporary Educational Psychology*, 42, 159-171. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2015.06.005>

Sencar, S., & Eryilmaz, A. (2004). Factors mediating the effect of gender on ninth-grade Turkish students' misconceptions concerning electric circuits. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 603-616. <https://doi.org/10.1002/tea.20016>

Setyani, N. D., Suparmi, S., Sarwanto, S., & Handhika, J. (2017). Students conception and perception of simple electrical circuit. *Journal of Physics: Conference Series*, 909, 012051. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/909/1/012051>

Setyani, N. D., Suparmi, S., Sarwanto, S., & Handhika, J. (2017). Students conception and perception of simple electrical circuit. *Journal of Physics: Conference Series*, 909, 012051. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/909/1/012051>

Shipstone D M 1984 A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits *Eur. J. Sci. Educ.* 6 185-198 <https://doi.org/10.1080/0140528840060208>

Shipstone, D.M. (1984). A study of children understanding simple DC circuits. *European Journal of Science Education*, 6(2), 185-198. <https://doi.org/10.1080/0140528840060208>

Sjoberg, S., & Schreiner, C. (2006). How do students perceive science and technology? *Science in School*, 1, 66-69.

Solomonidou, C., & Stavridou, H. (2001). Design and development of a computer learning environment on the basis on students' initial conceptions and learning difficulties about chemical equilibrium. *Education, and Information Technologies*, 6(1), 5-27.

Strike, K.A. & Posner, G.J., 1992, A revisionist theory of conceptual change. In Duschl, R. & Hamiltonn, R. (Eds.) *Philosophy of Science, Cognitive Psychology and Educational Theory and Practice*, Albany, N.Y., State University of New York Press, pp. 147-176

Suma, K., Sadia, I. W., & Pujani, N. M. (2018, June). The identification of the 11th grade students' prior knowledge of electricity concepts. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1040, No. 1, p. 012038). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1040/1/012038>

Susilowati, E., Suyidno, S., Mayasari, T., & Winarno, N. (2020). Using three-tier diagnostic test to asses students' misconception of simple harmonic oscillation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1422(1), 012023. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1422/1/012023>

Svinicki M 1993-94 *Essays on Teaching Excellence. Toward the Best in the Academy* 5

Taber, K. S. (2018). The use of Cronbach's alpha when developing and reporting research instruments in science education. *Research in science education*, 48(6), 1273-1296. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9602-2>

Taber, K. S., Exploring Conceptual Integration in Student Thinking: Evidence from a case study, *Int. J. Sci. Educ.* 30, 1915-1943 (2008). <https://doi.org/10.1080/09500690701589404>

Tao, P. K., & Gunstone, R. F. (1999). The process of conceptual change in force and motion during computer-supported physics instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 859-882. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199909\)36:7<859::AID-TEA7>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199909)36:7<859::AID-TEA7>3.0.CO;2-J)

Thacker, B. A., Ganiel, U and Boys, D., Macroscopic phenomena and microscopic processes: Student understanding of transients in direct current electric circuit, *Phys. Educ. Res.* 67, 25-31 (1999). <https://doi.org/10.1119/1.19076>

Toulia E H, Talbia M and Radida M 2015 *Procedia Soc. Behav. Sci.* 197 278- 280 <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.07.136>

Turgut, U., Gurbuz, F., & Turgut, G. (2011). An investigation of 10th grade students' misconceptions about electric current. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 15, 1965-1971. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.04.036>

Tuveri M, Fadda D, Steri A, Stefanizzi R, Gabriele F, Vivanet G, Bonivento W, Carbonaro C M and Fanti V 2023 Promoting the learning of modern and contemporary physics in high schools in informal and non-formal contexts *Il Nuovo Cimento C* 6 210

Tuveri, M., & Steri, A. (2024). The 'Universe in a Box': a hands-on activity to introduce primary school students to cosmology. *Physics Education*, 60(1), 015002. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ad88c9>

Urban, H. (2017). Sequential reasoning in electricity: Developing and using a three-tier multiple choice test. *Scientia in educatione*, 8.

Van Driel, J. H., Beijaard, D., & Verloop, N. (2001). Professional development and reform in science education: The role of teachers' practical knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 38, 137-158. [https://doi.org/10.1002/1098-2736\(200102\)38:2<137::AID-TEA1001>3.0.CO;2-U](https://doi.org/10.1002/1098-2736(200102)38:2<137::AID-TEA1001>3.0.CO;2-U)

Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A., and Papademetriou, E., 2001, Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and Instruction*, Vol. 11, pp. 381-419. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(00\)00038-4](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(00)00038-4)

Vygotsky, L. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.

Wagenschein Martin, 1988, *Naturphänomene sehen und verstehen - Genetische Lehrgänge*. 2te Auflage, Klett, Stuttgart

Wainwright, C. L. (2007). Toward learning and understanding electricity: Challenging persistent misconceptions. In *The Annual Meeting of the Association for Science Teacher Education (ASTE)*, Clearwater, Florida. Retrieved from <http://fg.ed.pacificu.edu/wainwright/Publications/MisconceptionsArticle> (Vol. 6).

Webb, P. (1992). Primary science teachers' understandings of electric current. *International Journal of Science Education*, 14(4), 423-429. <https://doi.org/10.1080/0950069920140405>

Wieman, C., & Perkins, K. (2005). Transforming physics education. *Physics today*, 58(11), 36-41. <https://doi.org/10.1063/1.2155756>

Wigfield, A., & Cambria, J. (2010). Students' achievement values, goal orientations, and interest: Definitions, development, and relations to achievement outcomes. *Developmental Review*, 30, 1-35. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2009.12.001>

Zohar, A., & Sela, D. (2003). Her physics, his physics: Gender issues in Israeli advanced placement physics classes. *International Journal of Science Education*, 25(2), 245-268. <https://doi.org/10.1080/09500690210126766>

Κώτσης 2011 Ερευνητική προσέγγιση του διαχρονικού χαρακτήρα των εναλλακτικών ιδεών στη διδακτική της φυσικής, Ιωάννινα 2011

Σχολικό βιβλίο της Β λυκείου θετικής κατεύθυνσης των: Ιωάννης Α. Βλάχος, Ιωάννης Γ. Γραμματικάκης, Βασίλης Α. Καραπαναγιώτης, Περικλής Εμ. Περιστερόπουλος, Γιώργος Β. Τιμοθέου (2013)

Σχολικό βιβλίο Γ γυμνασίου των Νικόλαος Αντωνίου, Παναγιώτης Δημητριάδης, Κωνσταντίνος Καμπούρης, Κωνσταντίνος Παπαμιχάλης, Λαμπρινή Παπατσιμίπα (2013)

Σχολικό βιβλίο της Β Λυκείου γενικής παιδείας των Νίκος Αλεξιάκης, Σταύρος Αμπατζής, Γιώργος Γκουγκούσης, Βαγγέλης Κουντούρης, Νίκος Μοσχοβίτης, Σάββας Οβαδίας, Κλεομένης Πετρόχειλος, Μενέλαος Σαμπράκος, Αργύρης Ψαλίδας, Πέτρος Γεωργακάκος, Αθανάσιος Σκαλωμένος, Νικόλαος, Σφαρνάς, Ιωάννης Χριστακόπουλος (2013)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

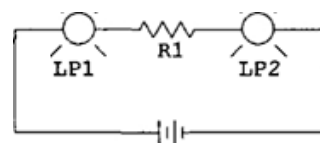
Φύλλο: Αγόρι

Κορίτσι

Τάξη:

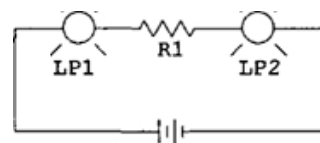
1. Στο κύκλωμα οι λαμπτήρες είναι πανομοιότυποι: Ποιος λαμπτήρας λάμπει περισσότερο;

- A. Ο λαμπτήρας LP1 λάμπει περισσότερο από τον LP2
- B. Ο λαμπτήρας LP1 λάμπει λιγότερο από τον LP2
- C. Ο λαμπτήρας LP1 λάμπει το ίδιο με τον LP2



2. Στο κύκλωμα οι λαμπτήρες είναι πανομοιότυποι: η φωτοβολία του λαμπτήρα οφείλεται

- A. Στην τάση
- B. Στην ένταση του ρεύματος



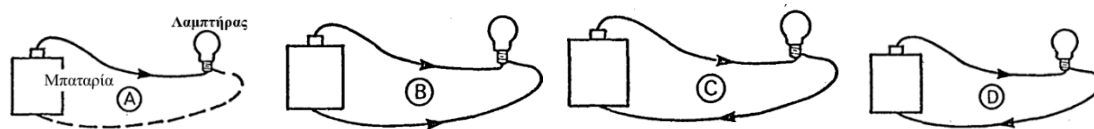
3. Όταν το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει μέσα σε ένα κύκλωμα, αποτελείται από έναν πολύ μεγάλο αριθμό κινούμενων φορτίων. Ποια είναι η προέλευση των κινούμενων φορτίων μέσα στο κύκλωμα;

- A. Τα καλώδια
- B. Η μπαταρία
- C. Οι λαμπτήρες
- D. Α και Β μόνο.
- E. Όλα τα παραπάνω

4. Όταν πληρώνει κανείς τον οικιακό λογαριασμό της ηλεκτρικής εταιρείας (ΔΕΗ και άλλες), τι πληρώνει στην πραγματικότητα;

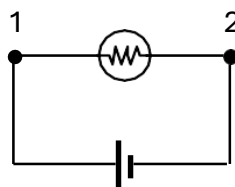
- A. Τάση
- B. Ενέργεια
- C. Ρεύμα
- D. Φορτία

5. Ποιο από τα παρακάτω σχήματα είναι το σωστό;



- A. Το σχήμα A, όπου δεν υπάρχει ρεύμα στο καλώδιο επιστροφής
- B. Το σχήμα B, όπου στο καλώδιο επιστροφής υπάρχει συγκρουόμενο ρεύμα
- C. Το σχήμα C, όπου το καλώδιο επιστροφής έχει λιγότερο ρεύμα
- D. Το σχήμα D, όπου το καλώδιο επιστροφής έχει ίσο ρεύμα

6. Συγκρίνετε το ρεύμα στο σημείο 1 με το ρεύμα στο σημείο 2. Ποιο σημείο έχει το μεγαλύτερο ρεύμα;



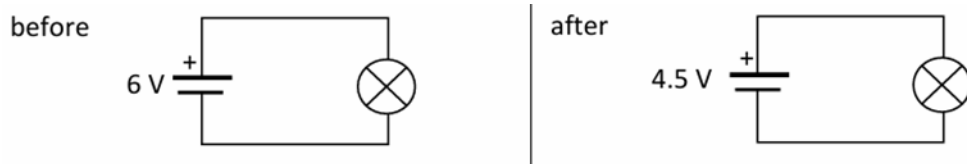
- A. Σημείο 1
- B. Σημείο 2
- C. Είναι το ίδιο

7. Γιατί τα φώτα στο σπίτι σας ανάβουν αμέσως;

- A. Τα φορτία στο σύρμα ταξιδεύουν πολύ γρήγορα.
- B. Τα φορτία αποθηκεύουν ενέργεια. Όταν το κύκλωμα κλείνει, η ενέργεια απελευθερώνεται.
- C. Τα φορτία υπάρχουν ήδη στα καλώδια. Όταν πατάς τον διακόπτη, το ηλεκτρικό σήμα τα κινεί αμέσως και το φως ανάβει.

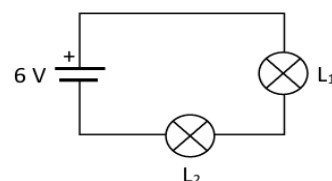
8. Τι συμβαίνει με τη φωτεινότητα του λαμπτήρα όταν αντικαθίσταται η μπαταρία με μικρότερης τάσης;

- A. Η λάμπα λάμπει πιο έντονα από πριν.
- B. Ο λαμπτήρας δεν ανάβει.
- C. Ο λαμπτήρας λάμπει λιγότερο έντονα από πριν.
- D. Ο λαμπτήρας λάμπει με την ίδια φωτεινότητα όπως πριν.



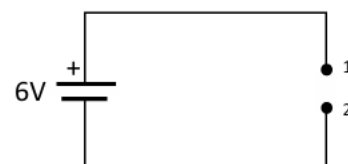
9. Το κύκλωμα που φαίνεται παρακάτω αποτελείται από μια μπαταρία 6 V και δύο λαμπτήρες. Πώς αλλάζει η φωτεινότητα του λαμπτήρα L1 όταν σπάει ο λαμπτήρας L2;

- A. Ο L1 λάμπει πιο έντονα από πριν.
- B. Ο L1 δεν λάμπει πια.
- C. Ο L1 λάμπει λιγότερο έντονα από πριν.
- D. Ο L1 λάμπει τόσο έντονα όσο πριν.



10. Εξετάστε το ακόλουθο κύκλωμα. Ποια είναι η τάση μεταξύ των σημείων 1 και 2;

- A. Δεν υπάρχει τάση μεταξύ των σημείων 1 και 2.
- B. Η τάση μεταξύ των σημείων 1 και 2 είναι 6 V.
- C. Η τάση μεταξύ των σημείων 1 και 2 είναι μικρότερη από 6 V.



11. Ένα πουλί που πέταξε ξαφνικά πήδηξε πάνω σε ένα ξεφλουδισμένο σύρμα και τα δύο πόδια του άγγιξαν αυτό το σύρμα. Τι θα γίνει με το πουλί;

- A. Το πουλί θα πάθει ηλεκτροσόκ επειδή το καλώδιο είναι υψηλής τάσης
- B. Το πουλί θα πάθει ηλεκτροσόκ γιατί υπάρχει τάση στα πόδια του πουλιού
- C. Το πουλί θα πάθει ηλεκτροσόκ επειδή υπάρχει ρεύμα στο σύρμα
- D. Το πουλί δεν θα πάθει ηλεκτροσόκ γιατί δεν υπάρχει τάση στα πόδια του πουλιού
- E. Το πουλί δεν θα πάθει ηλεκτροσόκ επειδή το ηλεκτρικό ρεύμα στο κύκλωμα είναι μικρό

12. Γιατί είναι επικίνδυνο να βάλουμε τσιμπιδάκι ή άλλο μεταλλικό αντικείμενο σε πρίζα;

- A. Γιατί η πρίζα μπορεί να χαλάσει.
- B. Γιατί μπορεί να προκληθεί βραχυκύκλωμα και ηλεκτροπληξία.
- C. Γιατί το ρεύμα θα γίνει πιο αδύναμο στο σπίτι.
- D. Γιατί θα σβήσουν τα φώτα στο σπίτι.

13. Το κύκλωμα που φαίνεται παρακάτω αποτελείται από μια μπαταρία και μια λάμπα.

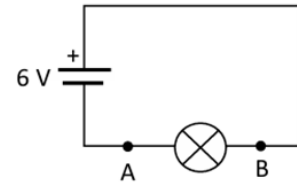
Η λάμπα λάμπει. Τι μπορείτε να πείτε για το ρεύμα στα σημεία

A και B;

A. Το ρεύμα στο σημείο A είναι μεγαλύτερο από ό,τι στο σημείο B.

B. Το ρεύμα είναι μεγαλύτερο στο σημείο B από ό,τι στο σημείο A.

C. Το ρεύμα είναι το ίδιο στα σημεία A και B.



14. Ποιο από τα παρακάτω είναι παράδειγμα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας;

A. Ένα αυτοκίνητο που κινείται με βενζίνη

B. Το νερό που βράζει σε έναν βραστήρα

C. Ο άνεμος που φυσάει δυνατά σε μια ανεμογεννήτρια

Δ. Ο ήλιος που πέφτει στα φωτοβολταϊκά πάνελ

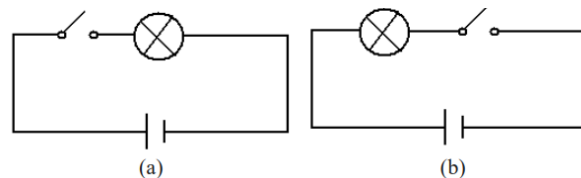
15. Όταν κλείσει ο διακόπτης σε ποιο από τα δύο κυκλώματα θα ανάψει ο λαμπτήρας;

A. Στο α

B. Στο b

C. Και στα δύο

D. Σε κανένα



16. Γιατί οι ασφάλειες είναι σημαντικές σε ένα σπίτι;

A. Γιατί διακόπτουν το ρεύμα αν υπάρξει βραχυκύκλωμα.

B. Γιατί βοηθούν τις λάμπες να ανάβουν πιο δυνατά.

C. Γιατί κρατούν το ρεύμα σταθερό σε όλες τις πρίζες.

D. Γιατί δεν αφήνουν το ρεύμα να φτάσει ποτέ στις συσκευές.

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.

Μαρία Θεοχάρη

Φυσικός