

## Το ηλεκτρικό ρεύμα σε μικροσκοπικό επίπεδο: Απόψεις μαθητών και φοιτητών

Γεώργιος Κουντουριώτης<sup>1</sup>, Παύλος Μίχας<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 3<sup>ο</sup> ΤΕΕ Καβάλας, [geokounto@sch.gr](mailto:geokounto@sch.gr)

<sup>2</sup> Π.Τ.Δ.Ε Αλεξανδρούπολης, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

**Περίληψη.** Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ποιοτικής έρευνας που αποσκοπούσε από τη μια να συγκεντρώσει εναλλακτικές ιδέες μαθητών Λυκείου και φοιτητών του Παιδαγωγικού Τμήματος Αλεξανδρούπολης για το ηλεκτρικό ρεύμα ειδικά σε μικροσκοπικό επίπεδο και από την άλλη, να συγκεντρώσει τις αναφορές των σχολικών βιβλίων για τη μικροσκοπική δομή της ύλης και το ηλεκτρικό ρεύμα. Απώτερος στόχος ήταν να διαφανεί, αν υπάρχει, διαφορά μεταξύ αυτού που διδάσκεται και αυτού που κατανοείται από φοιτητές και μαθητές και τρόποι μείωσης της απόστασής τους. Η έρευνα σε φοιτητές και μαθητές έγινε με ερωτηματολόγια ανοικτού τύπου και συνεντεύξεις κλινικού τύπου. Στα συμπεράσματα της έρευνας προέκυψε ότι τα σχολικά βιβλία δεν τονίζουν τον κεντρικό ρόλο του ηλεκτρικού πεδίου στα φαινόμενα του δυναμικού ηλεκτρισμού και παράλληλα φάνηκε ότι οι διδασκόμενοι αγνοούν το ρόλο αυτό.

### Εισαγωγή

Αν και έχουν γίνει πολλές έρευνες για το ηλεκτρικό ρεύμα και τις απόψεις των διδασκόμενων γι' αυτό, το μικροσκοπικό επίπεδο και η σύνδεση μικροσκοπικού και μακροσκοπικού επιπέδου δεν έχουν μελετηθεί επαρκώς. Ειδικά για τη σχέση μικροσκοπικής ερμηνείας και φαινομένων παρατηρούμενων μακροσκοπικά υπάρχει έρευνα των Eylon & Ganiel (1990) που αφορά τις μικροσκοπικές διεργασίες κυκλωμάτων σε μεταβατική κατάσταση. Στην έρευνα αυτή αναδείχθηκε η αδυναμία μαθητών, που είχαν διδαχθεί ηλεκτρισμό σε στοιχειώδες επίπεδο, να συνδέσουν τις μικροσκοπικές έννοιες (κίνηση ηλεκτρονίων, δυνάμεις που δέχονται) με τις μακροσκοπικές παραμέτρους. (ρεύμα, τάση, αντίσταση.) Οι παραπάνω συγγραφείς θεωρούν ότι για μια πλήρη κατανόηση των ηλεκτρικών κυκλωμάτων οι μαθητές θα πρέπει να μπορούν (α) να κάνουν ποσοτικούς υπολογισμούς με χρήση μαθηματικών σχέσεων (π.χ. επίλυση κυκλωμάτων με χρήση του νόμου του Ohm ή των κανόνων Kirchhoff) (β) να κατανοούν τις λειτουργικές σχέσεις σε ένα κύκλωμα και (π.χ. να μπορούν να εξηγήσουν τι θα συμβεί σε ένα κύκλωμα αν αυξήσουμε την τιμή μιας αντίστασης ή αφαιρέσουμε μια λάμπα) (γ) να συνδέουν τη μικροσκοπική με τη μακροσκοπική προσέγγιση. (π.χ. την κίνηση των ηλεκτρονίων με τη διατήρηση της έντασης του ρεύματος.) Σημαντικά ευρήματα της έρευνας αυτής είναι ότι οι μαθητές χρησιμοποιούν αδόκιμους τρόπους γενίκευσης των κανόνων, σειριακό τρόπο σκέψης, αδυναμία να αντιληφθούν ότι οι αλλαγές σε στοιχεία του κυκλώματος επηρεάζουν όλο το κύκλωμα και όχι μόνο την περιοχή γύρω από τη θέση της αλλαγής.

Έρευνα των Stocklmayer & Treagust (1996) εστιάζει στις εικόνες και μεταφορές που χρησιμοποιούν αρχάριοι και προχωρημένοι όταν σκέφτονται τα ηλεκτρικά φαινόμενα. Στην έρευνα αυτή βρέθηκε ότι τα παιδιά έχουν μια αόριστη και φοβισμένη στάση απέναντι στον ηλεκτρισμό. Όταν συναντήσουν τον ηλεκτρισμό στην τυπική τους εκπαίδευση τότε απαιτείται να κατανοήσουν ένα μηχανιστικό μοντέλο για το ρεύμα όπου τα ηλεκτρόνια είναι

σκληρά μπαλάκια που κινούνται μέσα σε τούνελ (καλώδια). Το ίδιο αυτό μοντέλο φαίνεται να χρησιμοποιούν και οι περισσότεροι δάσκαλοι. Οι ειδικοί όμως (ηλεκτρολόγοι, ηλεκτρολόγοι μηχανικοί, και καθηγητές πανεπιστημίου με αντικείμενα τη φυσική και την ηλεκτρολογία) φαίνεται να θεωρούν τον ηλεκτρισμό ως ένα φαινόμενο πεδίου που μπορεί να μας αποδώσει χρήσιμη ενέργεια. Επίσης οι παραπάνω ειδικοί θεωρούν ως πιο χρήσιμο το μοντέλο του πεδίου από το μηχανιστικό μοντέλο των κινούμενων ηλεκτρονίων.

Σε έρευνα του Kibble (1999) βρέθηκε ότι μεταξύ φοιτητών υποψηφίων δασκάλων κυρίαρχη ήταν η άποψη ότι το ηλεκτρικό ρεύμα στο εσωτερικό ενός καλωδίου είναι κάτι σαν κύμα ή σπινθήρας ενώ άλλες απόψεις που εκφράστηκαν λένε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα είναι κινούμενα φορτία ή συνδεδεμένα άτομα ενώ ένα σημαντικό ποσοστό αντί να περιγράψει το ηλεκτρικό ρεύμα περιέγραψε το εσωτερικό του καλωδίου. Στην ίδια έρευνα παρόμοιες απαντήσεις βρέθηκαν και μεταξύ μαθητών ηλικίας 9 έως 11 ετών.

Σε έρευνα των Borges και Gilbert (1999) που έγινε σε μαθητές ηλικίας 15 έως 17 ετών, καθηγητές φυσικής, ηλεκτρολόγους μηχανικούς και επαγγελματίες ηλεκτρολόγους (εμπειρικούς, χωρίς τυπική εκπαίδευση), βρέθηκαν τα εξής νοητικά μοντέλα: (α) το ηλεκτρικό ρεύμα ως ροή, (β) το ηλεκτρικό ρεύμα ως συγκρουόμενα ρεύματα, (γ) το ηλεκτρικό ρεύμα ως κινούμενα φορτία και (δ) το ηλεκτρικό ρεύμα ως φαινόμενο πεδίου. Στην έρευνα αυτή βρέθηκε επίσης ότι η μη διαφοροποίηση ρεύματος και ενέργειας, η μη διατήρηση του ρεύματος και οι εναλλακτικές απόψεις για το πώς κυκλοφορεί το ρεύμα μέσα σε ένα κύκλωμα συνδέονται με τα λιγότερο ανεπτυγμένα μοντέλα του ηλεκτρικού ρεύματος. Επίσης οι ιδέες αυτές φάνηκε ότι δεν σχετίζονται με την πρακτική ικανότητα για τη σωστή σύνδεση των κυκλωμάτων. Τα δύο πρώτα μοντέλα που αναφέρθηκαν δηλαδή το ηλεκτρικό ρεύμα ως ροή και το μοντέλο των συγκρουόμενων ρευμάτων βρέθηκε ότι προκύπτουν από την καθημερινή επαφή με τον ηλεκτρισμό, (είτε ως καταναλωτές είτε ως πρακτικοί επαγγελματίες), ενώ τα άλλα δύο φαίνεται να είναι αποτέλεσμα της διδασκαλίας του ηλεκτρισμού τουλάχιστο στο επίπεδο της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

Όταν εξετάζουμε τις απόψεις των μαθητών για το ρεύμα σε μικροσκοπικό επίπεδο, είναι λογικό αυτές να επηρεάζονται και από τις απόψεις που έχουν για τη δομή των αγωγών σε μικροσκοπικό επίπεδο. Υπάρχουν από την πλευρά της διδακτικής της Χημείας έρευνες που μελετούν τόσο τις απόψεις των μαθητών για τους δεσμούς γενικότερα και το μεταλλικό δεσμό πιο συγκεκριμένα όσο και για την αγωγιμότητα των μετάλλων.

Σε έρευνα του ο Taber (2002) βρήκε ότι οι μαθητές στην αρχή της εκπαίδευσής τους στο Κολλέγιο, (αντιστοιχεί περίπου στο Λύκειο) είχαν συνήθως για τους δεσμούς στα μέταλλα μια από τις εξής απόψεις: (α) ότι δεν υπάρχει δεσμός στα μέταλλα ή ότι δεν υπάρχει κανονικός δεσμός, (β) ότι υπάρχει δεσμός ιοντικός ή ομοιοπολικός ή τέλος, (γ) ότι υπάρχει δεσμός που είναι η θάλασσα των ηλεκτρονίων.

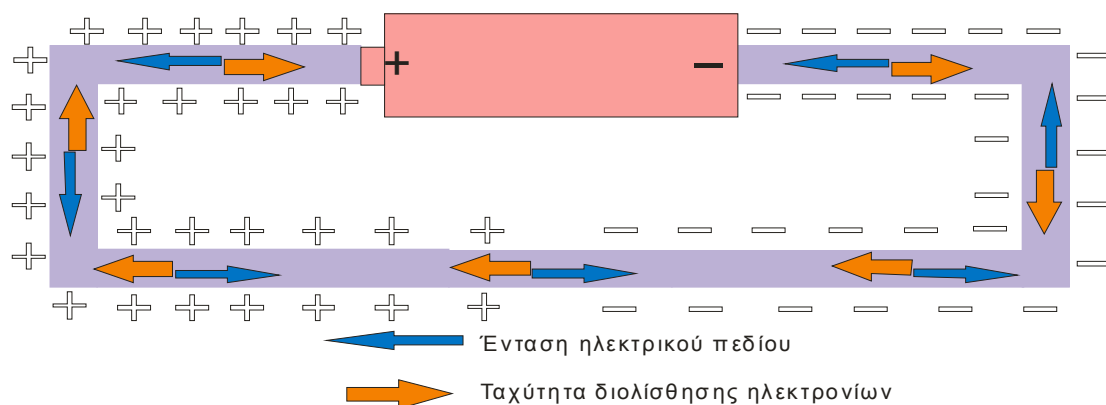
Σε έρευνά του ο Jose Maria de Posada (1997) βρήκε ότι μαθητές της 10<sup>ης</sup>, 11<sup>ης</sup> και 12<sup>ης</sup> τάξης στην ερώτηση ποια είναι η φύση του ηλεκτρικού ρεύματος στα μέταλλα έδωσαν τις εξής απαντήσεις: (α) το ηλεκτρικό ρεύμα είναι ενέργεια (β) τα ηλεκτρόνια άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα (γ) το ηλεκτρικό ρεύμα παράγεται από την κίνηση σωματιδίων (ατόμων ή άλλων που δεν διευκρινίζονται) (δ) η ροή των ηλεκτρονίων είναι το ηλεκτρικό ρεύμα.

Σε έρευνά τους οι Stocklmayer and Treagust (1994) γράφουν ότι η ορολογία των εγχειριδίων (αγγλοσαξονικών χωρών) εμμένει σε περιγραφές των ηλεκτρονίων ως μπάλες τύπου μπιλιάρδου που σπρώχνουν η μία την άλλη και κίνηση του ηλεκτρικού ρεύματος ως «ρευστού».

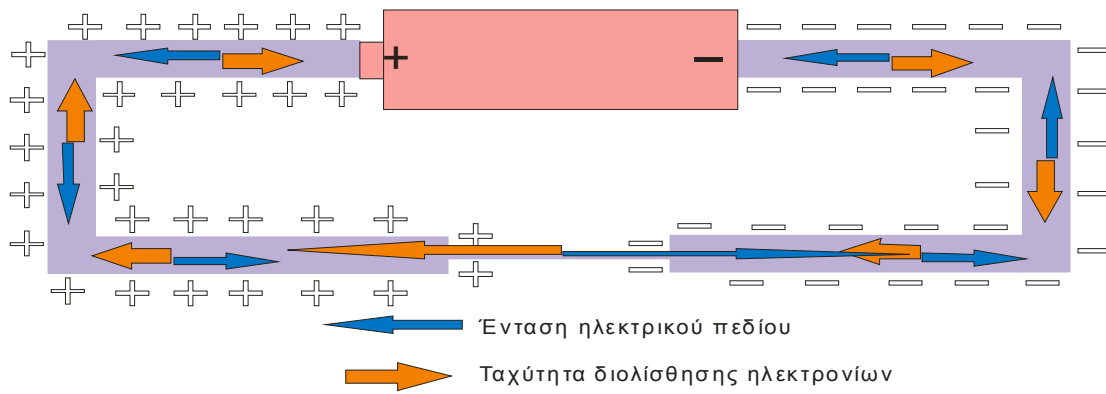
Η Σταυρίδου (1995) στο βιβλίο της «Μοντέλα Φυσικών Επιστημών και διαδικασίες μάθησης» επισημαίνει ότι τα διδακτικά εγχειρίδια συνήθως περιέχουν περιγραφές και εξηγήσεις χωρίς να δηλώνουν σαφώς το επίπεδο (πραγματικό, μικροσκοπικό ή συμβολικό) στο οποίο αναφέρονται, ενώ σε πολλές περιπτώσεις στα σχήματα που χρησιμοποιούν συνυπάρχουν το πραγματικό, το μικροσκοπικό και το συμβολικό επίπεδο με αποτέλεσμα να

δημιουργούνται συγχύσεις στους μαθητές. Στο ίδιο βιβλίο επισημαίνεται επίσης ότι τα κεφάλαια του στατικού και του δυναμικού ηλεκτρισμού διδάσκονται χωρίς να συνδέονται μεταξύ τους. Στη διδακτική πρόταση της παραπάνω εργασίας, προτείνεται για τη διδασκαλία του στατικού ηλεκτρισμού ένα απλοποιημένο ατομικό μοντέλο που ονομάζεται μοντέλο υλικού οικοδομήματος για τους στερεούς αγωγούς και για τη διδασκαλία του ηλεκτρικού ρεύματος το μοντέλο του φανταστικού τρένου των Joshua και Dupin.

Οι Chabay & Sherwood (2006), έχουν προτείνει ένα διαφορετικό τρόπο διδασκαλίας του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού που επιμένει στον κεντρικό ρόλο του ηλεκτρικού πεδίου σε όλα τα ηλεκτρικά φαινόμενα και το συνδέει με το μικροσκοπικό μοντέλο της ύλης. Η πρόταση τους αυτή έχει δοκιμαστεί σε Πανεπιστήμια των Ηνωμένων Πολιτειών μέσω του εγχειριδίου τους *Electric and Magnetic Interactions* (1995) και νεότερων εκδόσεων του. Όπως βρήκαν οι Engelhardt and Beichner (2004) φοιτητές που έμαθαν μέσω αυτού του εγχειριδίου τα πήγαν καλύτερα από άλλους στο τεστ με όνομα DIRECT που δημιούργησαν με σκοπό να ανιχνεύσουν την κατανόηση των κυκλωμάτων συνεχούς ρεύματος. Ένα από τα κεντρικά σημεία της προσέγγισης των Chabay & Sherwood είναι η ενοποίηση στατικού και δυναμικού ηλεκτρισμού με μελέτη και απεικόνιση των ηλεκτρικών πεδίων απλών κυκλωμάτων. Σε όλα τα σχολικά βιβλία Φυσικής και στα περισσότερα πανεπιστημιακά εγχειρίδια στο κεφάλαιο του δυναμικού ηλεκτρισμού γίνεται μια αόριστη μόνο αναφορά στο ηλεκτρικό πεδίο που κινεί τα ηλεκτρόνια. Παραμένει ασαφές το ποιος προκαλεί αυτό το πεδίο και δεν γίνεται καμία προσπάθεια απεικόνισής του. Όπως αναφέρουν ο Κουμαράς (1989) και οι Chabay & Sherwood (1995), το πεδίο αυτό οφείλεται στα επιφανειακά φορτία. Ο Κουμαράς (1989) αναφέρει ότι το θέμα των επιφανειακών φορτίων έχει μελετηθεί από τους Schaefer, Sommerfeld και Jefimenko. Για ένα απλό κύκλωμα όπου ο αγωγός που συνδέει τους πόλους της μπαταρίας είναι από το ίδιο υλικό, η κατανομή των επιφανειακών φορτίων φαίνεται στο Σχήμα 1. Η κατανομή αυτή δημιουργείται με την αποκατάσταση του πεδίου που γίνεται με την ταχύτητα του φωτός μέσω μικρών μετατοπίσεων φορτίου. Αν το πάχος του σύρματος είναι μικρότερο σε κάποιο τμήμα του αγωγού προκειμένου να ισχύει η διατήρηση του ρεύματος θα πρέπει τα ηλεκτρόνια να κινούνται ταχύτερα δηλαδή να είναι μεγαλύτερη η ταχύτητα διολίσθησης άρα θα πρέπει να είναι και μεγαλύτερη η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στο στενό τμήμα του αγωγού. Η κατανομή των επιφανειακών φορτίων σ' αυτή την περίπτωση φαίνεται στο Σχήμα 2.



**Σχήμα 1.** Κατανομή επιφανειακών φορτίων σε απλό κύκλωμα όπου ο αγωγός που συνδέει τους πόλους της μπαταρίας είναι από το ίδιο υλικό.



**Σχήμα 2.** Κατανομή επιφανειακών φορτίων στην περίπτωση όπου το πάχος του σύρματος είναι μικρότερο σε κάποιο τμήμα του αγωγού.

### Η ταυτότητα της έρευνας

Η έρευνα στους φοιτητές έγινε τον Φεβρουάριο και Μάρτιο του 2006 με γραπτά ερωτηματολόγια ανοικτού τύπου. Πήραν μέρος είκοσι φοιτητές που παρακολουθούσαν το κατ' επιλογή μάθημα Εργαστήρια Ηλεκτρισμού του τετάρτου εξαμήνου. Απάντησαν συνολικά σε είκοσι πέντε ερωτήσεις. Οι φοιτητές αυτοί στο Λύκειο είχαν παρακολουθήσει Τεχνολογική ή Θετική Κατεύθυνση εκτός από δύο που είχαν παρακολουθήσει την Θεωρητική Κατεύθυνση. Στο Παιδαγωγικό Τμήμα είχαν παρακολουθήσει τα μαθήματα Αρχές Φυσικής και Αρχές Χημείας σε προηγούμενα εξάμηνα σπουδών.

Η έρευνα στους μαθητές έγινε σε ένα Ενιαίο Λύκειο του Νομού Καβάλας τον Απρίλιο του 2006. Επιλεχθήκαν με την βοήθεια των καθηγητών τους ειδικότητας Φυσικού 18 μαθητές συνολικά έξι από κάθε τάξη ώστε να περιλαμβάνονται όλα τα γνωστικά επίπεδα. Στους μαθητές αυτούς έγινε μια συνέντευξη κλινικού τύπου που περιλάμβανε το χειρισμό απλών κυκλωμάτων με μπαταρίες καλώδια και λαμπάκια. Χρησιμοποιήθηκε επίσης το σχήμα πρόβλεψη-παρατήρηση-εξήγηση. Η διάρκεια της συνέντευξης ήταν 30 με 35 λεπτά.

### Αποτελέσματα και σχόλια

Σε ότι αφορά το σκέλος της μελέτης του Ενιαίου Πλαισίου Προγραμμάτων Σπουδών των Αναλυτικών Προγραμμάτων και των σχολικών βιβλίων έχουμε να επισημάνουμε τα εξής: Υπάρχουν μόνο δύο στόχοι σχετικά με το ηλεκτρικό ρεύμα σε μικροσκοπικό επίπεδο στο Διαθεματικό Ενιαίο Πλαίσιο Προγραμμάτων Σπουδών της Υποχρεωτικής Εκπαίδευσης (φαίνονται στον Πίνακα 1) και κανένας σχετικός στόχος στο Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών της Φυσικής του Λυκείου. Στο ενιαίο διαθεματικό πρόγραμμα σπουδών της υποχρεωτικής εκπαίδευσης βλέπουμε μια μεγαλύτερη έμφαση στη μικροσκοπική δομή της

**Πίνακας 1.** Στόχοι σχετικά με το ηλεκτρικό ρεύμα σε μικροσκοπικό επίπεδο στο ΔΕΠΠΣ της Υποχρεωτικής Εκπαίδευσης.

Ενότητα	Διδακτικοί στόχοι σχετικά με το μικροσκοπικό επίπεδο
Αντιστάτες – Νόμος Ohm	Να χρησιμοποιούν απλό μικροσκοπικό μοντέλο για να ερμηνεύουν την προέλευση της αντίστασης των μεταλλικών αγωγών
Νόμος Joule	Να εξηγούν το φαινόμενο Joule, συνδυάζοντάς το, ήδη γνωστό τους μικροσκοπικό μοντέλο της δομής του αγωγού, τη μικροσκοπική προέλευση της θερμοκρασίας και του ηλεκτρικού ρεύματος

ύλης σε σχέση με το προηγούμενο πρόγραμμα σπουδών. Στο αντίστοιχο αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών όμως το κεφάλαιο του ηλεκτρισμού περιορίζεται μόνο στη Γ' Γυμνασίου και για 20 διδακτικές ώρες.

Τα ισχύοντα βιβλία του Γυμνασίου (Αντωνίου et al, 2002) που έχουν γραφεί με βάση το προηγούμενο πρόγραμμα σπουδών και όχι το διαθεματικό, κάνουν μια καλή και αρκετά λεπτομερή περιγραφή του μικροσκοπικού μοντέλου και της εξήγησης της αγωγιμότητας των μετάλλων. Δυστυχώς, το κεφάλαιο της δομής της ύλης είναι τελευταίο στο βιβλίο της Β' Γυμνασίου και σε πολλά σχολεία δεν επαρκεί ο χρόνος για να διδαχθεί. Το ίδιο ισχύει και για την εξήγηση της αγωγιμότητας των ημιαγωγών στο κεφάλαιο της ηλεκτρονικής της Γ' Γυμνασίου.

Το πρώτο Ελληνικό σχολικό εγχειρίδιο Φυσικής Λυκείου στο οποίο περιγράφονται οι δύο κινήσεις που κάνουν τα ηλεκτρόνια (θερμική και λόγω του ηλεκτρικού πεδίου) σε ένα μεταλλικό ρευματοφόρο αγωγό και η ταχύτητα αποκατάστασης του πεδίου είναι το βιβλίο Φυσικής των Δαπόντε, Κασσέτα και Μουρίκη της Β' Λυκείου σε διαδοχικές εκδόσεις από το 1985 και μετά. Στα ισχύοντα βιβλία Φυσικής του Λυκείου Φυσική Β' Λυκείου (Αλεξιάκης et al, 2002) περιγράφονται οι κινήσεις των ηλεκτρονίων στους μεταλλικούς αγωγούς και η εύρεση της σχέσης έντασης ρεύματος και ταχύτητας διολίσθησης (σχέση μακροσκοπικών και μικροσκοπικών μεγεθών) δίνεται ως άσκηση. Γενικά οι αναφορές σχετικά με το ηλεκτρικό ρεύμα σε μικροσκοπικό επίπεδο είναι περιορισμένες. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι στα βιβλία Χημείας του Ενιαίου Λυκείου (Λιοδάκης et al, 2002) σε καμία τάξη δεν γίνεται αναφορά στο μεταλλικό δεσμό γιατί κάτι τέτοιο δεν απαιτείται και από το αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών Χημείας του Ενιαίου Λυκείου.

Σε ότι αφορά τη μελέτη των απόψεων μαθητών και φοιτητών θα περιοριστούμε σε ορισμένες μόνο από τις ερωτήσεις που τέθηκαν και φαίνονται στον Πίνακα 2.

**Πίνακας 2.** Οι ερωτήσεις.

<b>Ερωτήσεις</b>
<i>Τι σου έρχεται στο μυαλό όταν ακούς τον όρο ηλεκτρισμός;</i>
<i>Αν γινόσουν αρκετά μικρός/ή ώστε να μπορούσες να μπεις μέσα σε ένα καλώδιο που διαρρέεται από ρεύμα, τι νομίζεις ότι θα έβλεπες;</i>
<i>Αν το παραπάνω καλώδιο δεν διαρρέοταν από ρεύμα, τι νομίζεις ότι θα έβλεπες;</i>
<i>Τι μπορεί να προκαλέσει ένα ηλεκτρικό πεδίο; Ποια είναι η αιτία του;</i>
<i>Στο κύκλωμα του Σχήματος 3 στο οποίο το λαμπάκι φωτοβολεί, υπάρχει κάπου ηλεκτρικό πεδίο; Αν ναι, που οφείλεται το παραπάνω πεδίο;</i>
<i>Τι υποχρεώνει το ρεύμα να ακολουθεί τις διαδρομές των συρμάτων;</i>
<i>Για το κύκλωμα του Σχήματος 4 και με τη διευκρίνιση ότι όλα τα καλώδια είναι από το ίδιο υλικό (π.χ. χαλκό) ζητήθηκε από τους φοιτητές να συγκρίνουν στο φαρδύ και στο στενό τμήμα του αγωγού, (α) το ρεύμα (β) την ταχύτητα των ηλεκτρονίων (γ) την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου</i>

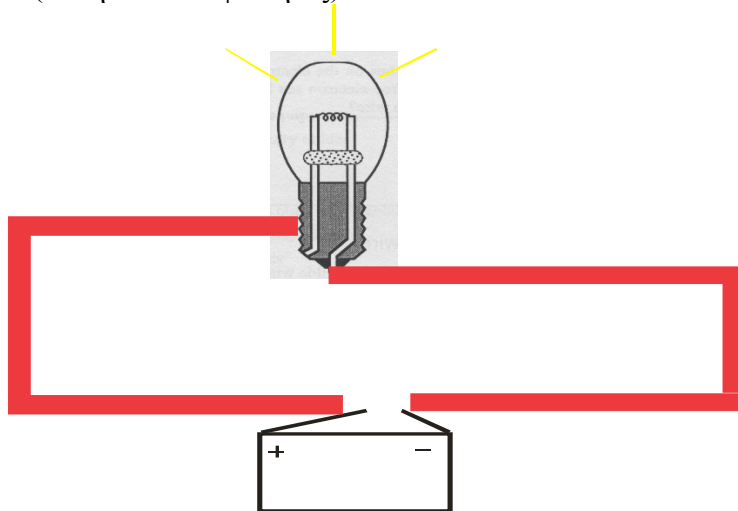
Στην ερώτηση 1 οι απαντήσεις κατηγοριοποιήθηκαν ως εξής: (α) οι μαθητές και φοιτητές αναφέρονται σε συσκευές που παρέχουν ή χρησιμοποιούν το ηλεκτρικό ρεύμα στην καθημερινή ζωή, (β) αναφέρονται στο ηλεκτρικό ρεύμα και την ενέργεια ως συνώνυμα του ηλεκτρισμού, (γ) αναφέρονται στα αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος όπως θερμότητα και φως (δ) γίνεται σύνδεση του όρου ηλεκτρισμός με κάποια μικροσκοπική εικόνα για το ηλεκτρικό ρεύμα όπως ηλεκτρόνια που κινούνται. Σημαντικό νομίζω εύρημα είναι ότι όλοι οι μαθητές και όλοι οι φοιτητές εκτός από έναν συνδέουν τον όρο ηλεκτρισμός με το ηλεκτρικό ρεύμα μόνο ενώ η επιστημονική γλώσσα της Φυσικής συμπεριλαμβάνει στο όρο και τα φαινόμενα του στατικού ηλεκτρισμού. Αναδεικνύεται έτσι το γνωστό πρόβλημα της

διαφοροποίησης στο νόημα λέξεων που χρησιμοποιούνται και στην καθημερινή ζωή και στην επιστήμη. (Sutton, 2002)

Στην ερώτηση 2 οι απαντήσεις μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής: (α) περιγραφή ενός ατελούς μικροσκοπικού μοντέλου που περιλαμβάνει ένα είδος φορτίων (δόθηκε και από μαθητές και από φοιτητές) (β) περιγραφή ενός μικροσκοπικού μοντέλου δύο ειδών φορτίου τα οποία κινούνται αντίθετα και συναντιούνται στο λαμπάκι, κάτι που θυμίζει το μοντέλο των συγκρουόμενων ρευμάτων του Shipstone (Shipstone, 1984) (δόθηκε από μαθητές μόνο) (γ) ένα μικροσκοπικό μοντέλο που προσεγγίζει το σχολικό/επιστημονικό (δόθηκε και από μαθητές και από φοιτητές) (δ) μια περιγραφή του ρεύματος ως ενέργεια και δύναμη που δεν μπορούμε να δούμε, (δόθηκε από μαθητές μόνο) (ε) κάποια μοντέλα που μπερδεύουν μικροσκοπικά και μακροσκοπικά χαρακτηριστικά (δόθηκε από φοιτητές μόνο) και (στ) αποκλειστικά μακροσκοπικές περιγραφές που αναφέρονται σε συρματάκια που αποτελούν τον αγωγό, στο μονωτικό περίβλημα ή στο χρώμα. (δόθηκε από φοιτητές μόνο)

Στην ερώτηση 3 είχαμε τις απαντήσεις ότι τα φορτία–ηλεκτρόνια τώρα δεν κινούνται, (δόθηκε και από μαθητές και από φοιτητές) ότι υπάρχουν δύο είδη φορτίων που είναι ακίνητα, (δόθηκε και από μαθητές και από φοιτητές) ότι δεν υπάρχουν φορτία (δόθηκε και από μαθητές και από φοιτητές), ότι τα ηλεκτρόνια τώρα κινούνται προς οποιαδήποτε κατεύθυνση (δόθηκε από μαθητές μόνο) ότι τα συρματάκια τώρα αλλάζουν χρώμα και δεν υπάρχει κίνηση. (δόθηκε από φοιτητές μόνο)

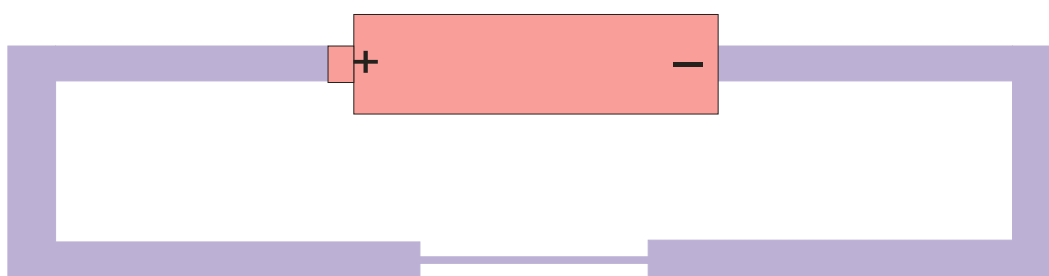
Στην ερώτηση 4 για το ποιος μπορεί να προκαλέσει ένα ηλεκτρικό πεδίο δόθηκαν οι απαντήσεις η μπαταρία, το ρεύμα, τα φορτία θετικά και αρνητικά, (δόθηκαν από μαθητές και φοιτητές) η επιταχυνόμενη κίνηση των ηλεκτρονίων, (δόθηκε από μαθητές) η ηλεκτρική πηγή ή η διαφορά δυναμικού μεταξύ των πόλων της, η αλληλεπίδραση θετικών και αρνητικών φορτίων. (δόθηκαν από φοιτητές)



Στην ερώτηση 5 μαθητές και φοιτητές φάνηκε να συμφωνούν ότι υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο μέσα στα καλώδια. Διατυπώθηκαν επίσης οι απόψεις ότι ηλεκτρικό πεδίο υπάρχει και μέσα στα καλώδια και γύρω από αυτά ενώ κάποιος φοιτητής υποστήριξε ότι υπάρχει μόνο γύρω από τα καλώδια. Σαν αίτια του παραπάνω πεδίου αναφέρθηκαν η μπαταρία, η κίνηση ή ροή των ηλεκτρονίων (από μαθητές και φοιτητές), το ρεύμα (αναφέρθηκε από μαθητές), τα ηλεκτρόνια (αναφέρθηκαν από φοιτητές). Η απάντηση η σύμφωνη με το επιστημονικό μοντέλο είναι ότι το ηλεκτρικό πεδίο βρίσκεται μέσα και έξω από τα καλώδια (πιο ισχυρό μέσα) και οφείλεται στην επιφανειακή κατανομή φορτίων που δημιουργείται όταν το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα. (Κουμαράς, 1989) (Chabay and Sherwood, 1995) Το θέμα αυτό δεν το διαπραγματεύονται τα σχολικά βιβλία αλλά και τα περισσότερα πανεπιστημιακά συγγράμματα φυσικής οπότε η αποτυχία μαθητών και φοιτητών ήταν αναμενόμενη.



Στην ερώτηση 6 για το τι υποχρεώνει το ρεύμα να ακολουθεί τις διαδρομές των συρμάτων, που ήταν επίσης έξω από τα καθιερωμένα θέματα των σχολικών και πανεπιστημιακών εγχειριδίων μαθητές και φοιτητές θεώρησαν ότι το ρεύμα περιορίζεται και ακολουθεί τις διαδρομές των συρμάτων λόγω του μονωτικού καλωδίου που περιβάλλει το σύρμα, ή λόγω της μπαταρίας. Η πρώτη από τις δύο εναλλακτικές ιδέες είναι πιθανόν να οφείλεται στην εμμονή της περιγραφής του ρεύματος ως κάτι που ρέει. Επιπλέον, η αναλογία με το νερό που ρέει στους σωλήνες και περιορίζεται από τα τοιχώματα των σωλήνων, η οποία αναφέρεται σε ορισμένα σχολικά βιβλία, πιθανόν να συμβάλλει στην εδραίωση αυτής της ιδέας. Η δεύτερη εναλλακτική ιδέα, ότι η μπαταρία ελέγχει από μακριά τη ροή των φορτίων μέσα στα καλώδια είναι μια άποψη που φαίνεται λογική σε όσους αγνοούν την ύπαρξη των επιφανειακών φορτίων. Ας σημειωθεί ότι μια μαθήτρια έδωσε απάντηση κοντά στο επιστημονικό πρότυπο αναφέροντας ως αιτία που υποχρεώνει το ρεύμα να ακολουθεί τις διαδρομές των συρμάτων, το ηλεκτρικό πεδίο.



Στην ερώτηση 7 για τη σύγκριση του ρεύματος στο φαρδύ και το στενό τμήμα του αγωγού οι απόψεις που εκφράστηκαν από μαθητές και φοιτητές ήταν ότι το ρεύμα στο στενότερο τμήμα του αγωγού του Σχήματος 4 είναι (α) μικρότερο και (β) ίδιο με το φαρδύτερο τμήμα του αγωγού. Αυτοί που υποστήριξαν την πρώτη άποψη το απέδωσαν στο ότι το ρεύμα είναι ανάλογο της διαμέτρου του αγωγού, ή ότι είναι ανάλογο της αντίστασης, ή λόγω μικρότερου χώρου, ή επειδή όσο πιο μεγάλο το σύρμα τόσο πιο πολύ το ρεύμα, ή ότι από το φαρδύ τμήμα μπορεί να περάσει περισσότερο ρεύμα ή το φαρδύ τμήμα έχει περισσότερα ηλεκτρόνια.. Από αυτούς που υποστήριξαν ότι το ρεύμα θα είναι ίδιο στα δύο τμήματα του αγωγού οι μαθητές δεν μπόρεσαν να δώσουν μια σύμφωνη με το σχολικό μοντέλο αιτιολόγηση και δικαιολόγησαν την άποψή τους λέγοντας ότι το ρεύμα είναι ανεξάρτητο του πάχους του καλωδίου ή είναι ίδιο γιατί είναι ίδιο και το υλικό και αν άλλαζε το υλικό θα άλλαζε και το ρεύμα. Μεταξύ των απαντήσεων των φοιτητών είχαμε κάποιες που υπονοούν τη διατήρηση του ρεύματος (σχολικό μοντέλο) όπως το ίδιο ρεύμα που ξεκινά από την πηγή πρέπει να καταλήξει σ' αυτή, ή τα ίδια ηλεκτρόνια περνάνε από όλα τα καλώδια. Υπήρχαν βέβαια και αιτιολογήσεις διαφορετικές που το απέδωσαν στο ίδιο υλικό ή σε ανυπαρξία αντίστασης.

Στην ερώτηση 7 για το που είναι μεγαλύτερη η ταχύτητα των ηλεκτρονίων υποστηρίχθηκαν από μαθητές και φοιτητές όλες οι δυνατότητες. Η ταχύτητα των ηλεκτρονίων θεωρήθηκε από κάποιους φοιτητές ίδια σε φαρδύ και στενό τμήμα γιατί δήλωσαν ότι δεν παίζει ρόλο η διάμετρος σ' αυτό. Από κάποιους άλλους θεωρήθηκε ότι θα είναι μικρότερη στο στενό τμήμα γιατί γίνονται περισσότερες συγκρούσεις, ή γιατί είναι πιο στενός ο χώρος, ή γιατί η αντίσταση είναι μεγαλύτερη. Τέλος από κάποιους φοιτητές υποστηρίχθηκε η σύμφωνη με το σχολικό μοντέλο άποψη ότι η ταχύτητα των ηλεκτρονίων είναι μεγαλύτερη στο στενό τμήμα μόνο ένας όμως το δικαιολόγησε λέγοντας ότι πρέπει και από το στενό τμήμα να περνά ο ίδιος αριθμός ηλεκτρονίων με το φαρδύ. (προφανώς εννοούσε και στο ίδιο χρονικό διάστημα) Η άποψη αυτή παραπέμπει στη διατήρηση του ρεύματος. Κάποιος άλλος φοιτητής προσπάθησε να δικαιολογήσει την παραπάνω θέση

γράφοντας για μεγαλύτερη πίεση στο στενότερο καλώδιο άποψη που είναι μάλλον επηρεασμένη από το μοντέλο του ηλεκτρικού ρεύστού που χρησιμοποιείται στη διδασκαλία του ηλεκτρικού ρεύματος. Από τους μαθητές που είπαν ότι η ταχύτητα των ηλεκτρονίων είναι μεγαλύτερη στο στενό τμήμα δόθηκε η αιτιολόγηση ότι είναι πιο μικρός ο χώρος των συγκρούσεων ενώ από αυτούς που είπαν ότι είναι μικρότερη στο στενό τμήμα το απέδωσαν στο ότι στο φαρδύ υπάρχει πιο πολύς ελεύθερος χώρος.

Στην ερώτηση 7 για το που είναι μεγαλύτερη η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου υποστηρίχθηκαν από τους φοιτητές όλες οι δυνατότητες. Κάποιοι θεώρησαν ότι είναι ίδια στο φαρδύ και το στενό τμήμα, γιατί είναι ίδιο και το ρεύμα ή γιατί είναι ίδια τα φορτία που διέρχονται και από τα δύο μέρη του καλωδίου. Κάποιοι θεώρησαν ότι είναι μικρότερη στο στενό τμήμα γιατί και η ένταση του ρεύματος είναι μικρότερη ή γιατί ένταση ηλεκτρικού πεδίου και ένταση ρεύματος είναι ανάλογα. Φαίνεται εδώ μια σύνδεση μεταξύ έντασης ηλεκτρικού πεδίου και έντασης ηλεκτρικού ρεύματος που ίσως να προκύπτει από αδυναμία διαφοροποίησής τους. Τέλος κάποιοι θεώρησαν ότι η ένταση είναι μεγαλύτερη στο στενό τμήμα γιατί πρέπει να περνά ο ίδιος αριθμός ηλεκτρονίων ή γιατί η ταχύτητα των ηλεκτρονίων είναι μεγαλύτερη. Οι μαθητές δεν έδωσαν καθόλου την απάντηση ότι η ένταση είναι μεγαλύτερη στο στενό τμήμα που είναι σύμφωνη με το σχολικό μοντέλο. Έδωσαν επίσης την απάντηση ότι είναι ίδια η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου γιατί είναι ίδιο και το ρεύμα.

### **Συμπεράσματα και συνέπειες για τη διδακτική πράξη**

Σε ότι αφορά τα σχολικά εγχειρίδια πρέπει να πούμε ότι βρέθηκε να περιέχουν μικροσκοπικές εξηγήσεις για τα φαινόμενα του ηλεκτρισμού και η κατάσταση είναι καλύτερη σε σχέση με τα σχολικά βιβλία που χρησιμοποιούνταν παλαιότερα. Όμως, τα σχολικά βιβλία εξακολουθούν να μελετούν τα φαινόμενα στατικού και δυναμικού ηλεκτρισμού μεμονωμένα και να μην τονίζουν το ρόλο του ηλεκτρικού πεδίου στα φαινόμενα του δυναμικού ηλεκτρισμού. Η έμφαση εξακολουθεί να είναι στο μοντέλο του ηλεκτρικού ρεύματος ως ροής φορτίων ενώ το μοντέλο του ρεύματος ως φαινομένου πεδίου φαίνεται να αγνοείται πέρα από κάποιες αποσπασματικές και υπονοούμενες αναφορές. Επίσης, φαίνεται να παραμένει η έμφαση των σχολικών βιβλίων στις αριθμητικές εφαρμογές παρά στην εννοιολογική κατανόηση των ηλεκτρικών φαινομένων αν και έχουν γίνει διορθωτικές κινήσεις σε σχέση με παλαιότερα. Έτσι μειώθηκε η έμφαση στη διδασκαλία των κανόνων Kirchhoff και των σχετικών υπολογισμών και τονίζονται περισσότερο η διατήρηση του φορτίου και της ενέργειας.

Έχοντας συγκεντρώσει απόψεις μαθητών και φοιτητών για το ρεύμα σε μικροσκοπικό επίπεδο, μοιραία κανείς οδηγείται στο να συγκρίνει τις δυο ομάδες για να εντοπίσει ομοιότητες και διαφορές. Στη συγκεκριμένη περίπτωση όμως πρέπει να είμαστε προσεκτικοί γιατί το μέγεθος των δειγμάτων είναι μικρό και όχι αυστηρά τυχαία επιλεγμένο, άρα δεν μπορούν να θεωρηθούν τα δείγματα ως αντιπροσωπευτικά του πληθυσμού που εκπροσωπούν. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά ερευνητικά εργαλεία (συνέντευξη κλινικού τύπου και γραπτό ερωτηματολόγιο ανοικτού τύπου) πράγμα που προκαλεί επιπρόσθετους λόγους διαφορετικών ευρημάτων αφού είναι γνωστό από τη βιβλιογραφία ότι η απόδοση εξαρτάται και από τη μέθοδο συλλογής των δεδομένων. ( με περισσότερο ευνοημένη τη συνέντευξη) Θα θέλαμε βέβαια να δικαιολογήσουμε αυτή την επιλογή για διαφορετικό ερευνητικό εργαλείο από τη δυσκολία του θέματος για τους μαθητές και την ανυπαρξία ανάλογων ερευνών στη βιβλιογραφία. Στην έρευνα στην εκπαίδευση θεωρείται ότι η συνέντευξη είναι περισσότερο αξιόπιστο ερευνητικό εργαλείο και ότι αποδίδει περισσότερα δεδομένα σε σχέση με τα γραπτά ερωτηματολόγια. (Cohen & Manion, 2000) Με όλους αυτούς τους ενδοιασμούς υπόψη θα θέλαμε να κάνουμε δύο σχετικά σχόλια.. Πρώτον, ότι μεταξύ των φοιτητών



βρέθηκαν στις περισσότερες ερωτήσεις οι ίδιες εναλλακτικές ιδέες που βρέθηκαν και στους μαθητές. Αυτό μπορεί να δείχνει εντυπωσιακό εκ πρώτης όψεως δεδομένης της διαφοράς στην επίδοση που θα περίμενε κανείς μεταξύ φοιτητών 2<sup>ου</sup> έτους σε μια σχολή σχετικά υψηλού βαθμού εισαγωγής και μαθητών Λυκείου. Για μια τέτοια σύγκριση όμως, πρέπει κανείς να λάβει υπόψη και τις διαφορές στα ποσοστά κάθε απάντησης κάτι που λόγω του χαρακτήρα της έρευνας και του μεγέθους των δειγμάτων αποφασίσαμε ότι δεν έχει νόημα να κάνουμε. Δεύτερον, θα θέλαμε να αναφέρουμε ότι οι φοιτητές σε πολύ περισσότερες περιπτώσεις δικαιολογούσαν με κάποιο τρόπο τις απόψεις τους έστω και αν τελικά οι δικαιολογήσεις τους διέφεραν από τις επιστημονικές. Αντιθέτως, οι μαθητές σε πολλές περιπτώσεις απλά υιοθετούσαν κάποια άποψη χωρίς να μπορούν να προσφέρουν αιτιολόγηση.

Ως προς τα τέσσερα διακριτά μοντέλα των Borges & Gilbert που αναφέρθηκαν στην εισαγωγή, μαθητές και φοιτητές με βάση τις απαντήσεις τους μπορούν να καταταγούν μόνο στα τρία από αυτά, δηλαδή το μοντέλο του ρεύματος ως ροή, το μοντέλο του ρεύματος ως συγκρουόμενα ρεύματα, και το μοντέλο του ρεύματος ως κινούμενα φορτία. Το μοντέλο του ρεύματος ως φαινόμενο πεδίου δεν μπορεί να αποδοθεί σε κανένα από τα υποκείμενα της έρευνας ούτε μαθητή ούτε φοιτητή. Αυτό το αποτέλεσμα είναι σε συμφωνία με την έρευνα που αναφέρθηκε παραπάνω γιατί εκεί το μοντέλο αυτό βρέθηκε μόνο μεταξύ ηλεκτρολόγων μηχανικών και καθηγητών φυσικής της Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης.

Με βάση τις παρανοήσεις φοιτητών και μαθητών φαίνεται ότι ο ορισμός του ηλεκτρικού ρεύματος ως προσανατολισμένη κίνηση φορτίων (ηλεκτρονίων στους μεταλλικούς αγωγούς) χωρίς καμιά αναφορά στο ηλεκτρικό πεδίο που κινεί τα φορτία οδηγεί σε απόψεις όπως ότι η μόνωση των καλωδίων περιορίζει τα φορτία μέσα στους αγωγούς και υποχρεώνει το ηλεκτρικό ρεύμα να ακολουθεί τις διαδρομές των συρμάτων. Ίσως λοιπόν θα βοηθούσε αν στον ορισμό του ηλεκτρικού ρεύματος προσθέταμε ότι τα φορτία κινούνται υπό την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου.

Η άγνοια για την ύπαρξη των επιφανειακών φορτίων των αγωγών και το ρόλο τους οδηγεί μαθητές και φοιτητές σε μια «λογική υπόθεση», να θεωρούν ότι η μπαταρία μπορεί μόνη της να οδηγήσει τα φορτία μέσα από τις πολλές φορές πολύπλοκες και μεταβαλλόμενες διαδρομές των συρμάτων. Η απάντηση σ' αυτή τη δυσκολία μπορεί να έρθει από την μελέτη του ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό των αγωγών και τη σύνδεση του μικροσκοπικού επιπέδου με το μακροσκοπικό μελετώντας απλά κυκλώματα όπως αυτά των Σχημάτων 1, 2 και στα δύο επίπεδα ταυτόχρονα.

## Παραπομπές

- Αλεξιάκης, Ν., Αμπατζής, Σ., Γκουγκούσης, Γ., Κουντούρης, Β., Μοσχοβίτης, Ν., Οβαδίας, Σ., Πετρόχειλος, Κ., Σαμπράκος, Μ., & Ψαλίδας, Α. (2002). Φυσική Β' Λυκείου Γενικής Παιδείας. Έκδοση ΟΕΔΒ.
- Αντωνίου, Ν., Βαλαδάκης Α., Δημητριάδης, Π., Παπαμιχάλης, Κ., & Παπασίμπα, Α. (2002). Φυσική Β' Γυμνασίου. Έκδοση ΟΕΔΒ.
- Αντωνίου, Ν., Δημητριάδης, Π., Καμπούρης, Κ., Παπαμιχάλης, Κ., Παπασίμπα, Α., & Χατζητσομπάνης, Θ. (2002). Φυσική Γ' Γυμνασίου. Έκδοση ΟΕΔΒ.
- Κασσέτας, Α., Δαπόντες, Ν., & Μουρίκης Σ., (1985). Φυσική Β' Τάξης Ενιαίου Πολυκλαδικού Λυκείου. Έκδοση ΟΕΔΒ.
- Κουμαράς, Π. (1989) Μελέτη της εποικοδομητικής προσέγγισης στην πειραματική διδασκαλία του ηλεκτρισμού. (Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 1989).
- Λιοδάκης, Σ., Γάκης, Δ., Θεοδωρόπουλος Δ., Θεοδωρόπουλος Π., & Κάλλης, Α. (2002). Χημεία Α' Λυκείου. Έκδοση ΟΕΔΒ.
- Λιοδάκης, Σ., Γάκης, Δ., Θεοδωρόπουλος Δ., Θεοδωρόπουλος Π., & Κάλλης, Α. (2002). Χημεία Β' Λυκείου Κατεύθυνσης. Έκδοση ΟΕΔΒ.

- Λιοδάκης, Σ., Γάκης, Δ., Θεοδωρόπουλος Δ., & Θεοδωρόπουλος Π. (2002). Χημεία Γ' Λυκείου Κατεύθυνσης. Έκδοση ΟΕΔΒ.
- Παιδαγωγικό Ινστιτούτο. Αναλυτικά Προγράμματα Σπουδών και Διαθεματικό Ενιαίο Πλαίσιο Προγραμμάτων Σπουδών. Ανακτήθηκαν το 1998 τα παλαιά και το Σεπτέμβριο του 2006 τα νέα από <http://www.pi-schools.gr/>
- Σταυρίδου Ε. (1995). Μοντέλα Φυσικών Επιστημών και διαδικασίες μάθησης. Εκδόσεις Σαββάλας.
- Borges, A., & Gilbert, J. (1999). Mental models of electricity. *International Journal of Science Education*, 21, No. 1.
- Chabay, R. W., & Sherwood, B. A., (1995). *Electric and Magnetic interactions*. John Wiley & sons, Inc.
- Chabay, R. W., & Sherwood, B. A., (2006). Restructuring the introductory electricity and magnetism course. *American Journal of Physics*, 74, No 4.
- Cohen, L., & Manion, L. (2000). Μεθοδολογία Εκπαιδευτικής Έρευνας. Εκδόσεις Μεταίχμιο.
- Coll R., & Treagust D. (2001). Learners' Mental Models of Metallic Bonding: A Cross-Age Study. *Science Education*, 87, 685-707.
- de Posada J. M. (1997). Conceptions of High School Students concerning the internal structure of metals and their conduction: Structure and Evolution. *Science Education*, 81, 445-467.
- Engelhard, P., & Beichmer, R., (2004). Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, 72, No 1.
- Eylon B., & Ganiel, U. (1990). Macro-micro relationships: the missing link between electrostatics and electrodynamics in students reasoning. *International Journal of Science Education*, 12, No 1.
- Shipstone, D. (1984). A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits. *European Journal of Science Education*, 6, 185-198.
- Stocklmayer, S., & Treagust, D. (1994). A historical analysis of electric currents in textbooks: A century of influence on physics education. *Science & Education* 3, 131-154.
- Stocklmayer, S., & Treagust, D. (1996). Images of electricity: how do novices and experts model electric current? *International Journal of Science Education*, 18, 163-178.
- Sutton, C. (2002). Οι λέξεις, οι Φυσικές Επιστήμες και η μάθηση. Εκδόσεις Τυπωθήτω.
- Taber, K. (2003). Mediating Mental Models of Metals: Acknowledging the Priority of the Learner's Prior Learning. *Science Education*, vol 87, 732-758.