



## Ποιες μικροσκοπικές εξηγήσεις μπορούν να δώσουν οι φοιτητές για το ηλεκτρικό ρεύμα;

**Κουντουριώτης Γ., Μίχας Π.**

Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση, 4ο ΓΕ. Λ. Καβάλας, geokounto@sch.gr

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, ΠΤΔΕ, pmichas@eled.duth.gr

Στην εργασία μας αυτή παρουσιάζονται απόψεις των φοιτητών του Παιδαγωγικού Τμήματος Αλεξανδρούπολης για το ηλεκτρικό ρεύμα σε μικροσκοπικό επίπεδο όπως προέκυψαν μέσα από τις γραπτές απαντήσεις τους σε ένα εκτεταμένο ερωτηματολόγιο που περιλάμβανε κυρίως ερωτήσεις ανοικτού τύπου. Από την έρευνά μας αυτή που είναι ποσοτική και έρχεται σε συνέχεια μιας πιο περιορισμένης ποιοτικής έρευνας φάνηκε ότι οι φοιτητές στη μεγάλη τους πλειοψηφία αδυνατούν να δώσουν μικροσκοπικές εξηγήσεις για τα ηλεκτρικά φαινόμενα που να είναι σύμφωνες με το επιστημονικό πρότυπο.

### Εισαγωγή

Είναι γνωστό ότι έχουν γίνει αρκετές έρευνες για τις εναλλακτικές ιδέες των εκπαιδευόμενων για το ηλεκτρικό ρεύμα κυρίως στο μακροσκοπικό επίπεδο και λιγότερο στο μικροσκοπικό. Σε προηγούμενη δημοσίευσή μας (Κουντουριώτης & Μίχας, 2006) έχουμε κάνει εκτενή ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας και δεν κρίνουμε σκόπιμο να την επαναλάβουμε εδώ. Ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει εκεί. Εδώ θα αναφερθούμε μόνο σε μια νεότερη έρευνα και σε ορισμένες εργασίες που έχουν άμεση σχέση με τη δική μας έρευνα.

Οι Afra, Osta & Zoubeir (2009) σε άρθρο τους περιγράφουν την προσπάθεια που έκαναν να εφαρμόσουν μια διδακτική παρέμβαση διερευνητικού τύπου σε μαθητές Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης που δίνει έμφαση στην εννοιολογική κατανόηση των ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Η παρέμβασή τους αυτή βασίστηκε στην ενότητα ηλεκτρικά κυκλώματα του διδακτικού εγχειριδίου των McDermott & Shaffer (1998). Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της διδακτικής τους παρέμβασης χρησιμοποίησαν μετά από αυτή το τεστ με το όνομα DIRECT των Engelhardt & Beichner (2004). Το τεστ αυτό είναι ένα τεστ με ερωτήσεις κλειστού τύπου το οποίο κατασκευάστηκε για να αξιολογήσει την κατανόηση των εκπαιδευόμενων για μια ποικιλία εννοιών στα ηλεκτρικά κυκλώματα συνεχούς ρεύματος. Το τεστ αυτό έχει δοκιμαστεί εκτεταμένα σε μαθητές και φοιτητές, όμως όπως και η διδακτική παρέμβαση των Afra et al., ασχολείται μόνο με έννοιες, φαινόμενα, αντικείμενα και νόμους στο μακροσκοπικό επίπεδο του ηλεκτρικού ρεύματος. Με βάση τα αποτελέσματα αυτού του τεστ οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η διδακτική τους παρέμβαση βελτίωσε την κατανόηση των εννοιών από τους μαθητές τους, οι οποίοι στη διάρκεια της παρέμβασης είχαν εμφανίσει όλες τις εναλλακτικές ιδέες που αναφέρονται στη βιβλιογραφία.

Ο De Posada, (1997) βρήκε ότι μαθητές των δύο τελευταίων τάξεων του Λυκείου χρησιμοποιούσαν για την εξήγηση της αγωγιμότητας των μετάλλων το μοντέλο των ελεύθερων ηλεκτρονίων σε ποσοστό 50% ενώ άλλες εξηγήσεις που έδωσαν ήταν ότι συγκρούονται τα ρεύματα από το θετικό και τον αρνητικό πόλο της μπαταρίας ή ότι το φορτίο μεταφέρεται από την μπαταρία., ή ότι τα άτομα αφήνουν τον ηλεκτρισμό να περάσει από μέσα τους παθητικά.



Οι Chabay & Sherwood (2006), έχουν προτείνει και δοκιμάσει για αρκετά χρόνια μια προσέγγιση στη διδασκαλία του δυναμικού ηλεκτρισμού που επιμένει στον κεντρικό ρόλο του ηλεκτρικού πεδίου σε όλα τα ηλεκτρικά φαινόμενα και το συνδέει με το μικροσκοπικό μοντέλο της ύλης. Η ενοποίηση στατικού και δυναμικού ηλεκτρισμού γίνεται μέσω της μελέτης και απεικόνισης των ηλεκτρικών πεδίων απλών κυκλωμάτων.

### Η ταυτότητα της έρευνας

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε το Νοέμβριο του 2006 και χρησιμοποιήθηκε ως ερευνητικό εργαλείο ερωτηματολόγιο που περιείχε 19 ερωτήσεις ανοικτού τύπου και 2 κλειστού τύπου. Ο χρόνος συμπλήρωσης του ερωτηματολογίου ήταν μία ώρα. Οι φοιτητές που απάντησαν στο ερωτηματολόγιο ήταν 89 και επέλεξαν μόνοι τους να συμμετέχουν στην έρευνα. Ήταν φοιτητές στο τρίτο εξάμηνο των σπουδών τους που παρακολουθούσαν το μάθημα Αρχές Φυσικής. Ήταν 69 γυναίκες και 20 άνδρες. Στο Λύκειο είχαν παρακολουθήσει τη Θεωρητική Κατεύθυνση 45 άτομα, την Τεχνολογική Κατεύθυνση 21 και τη Θετική 11. Επίσης 2 προέρχονταν από το εξωτερικό ενώ 5 είχαν τελειώσει το Λύκειο αρκετά χρόνια πριν και δήλωσαν ότι είχαν παρακολουθήσει την 3<sup>η</sup> Δέσμη. Πέντε άτομα δεν δήλωσαν λεπτομέρειες για τις σπουδές τους στο Λύκειο. Στο χρονικό σημείο που συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο δεν είχαν προλάβει να ασχοληθούν με τα κεφάλαια του ηλεκτρισμού στα πλαίσια του μαθήματος Αρχές Φυσικής. Το ερευνητικό εργαλείο ήταν βελτιωμένη εκδοχή ερωτηματολογίου που είχε χρησιμοποιηθεί σε παλαιότερη ποιοτική έρευνα μικρότερης κλίμακας.

### Αποτελέσματα και σχόλια

Στην εργασία μας αυτή θα περιοριστούμε για λόγους χώρου σε ορισμένες μόνο από τις ερωτήσεις που απάντησαν οι φοιτητές, αυτές που κατά τη γνώμη μας παρουσιάζουν και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Κατά συνέπεια δεν παρουσιάζονται με τη σειρά και την αρίθμηση που είχαν στο ερωτηματολόγιο.

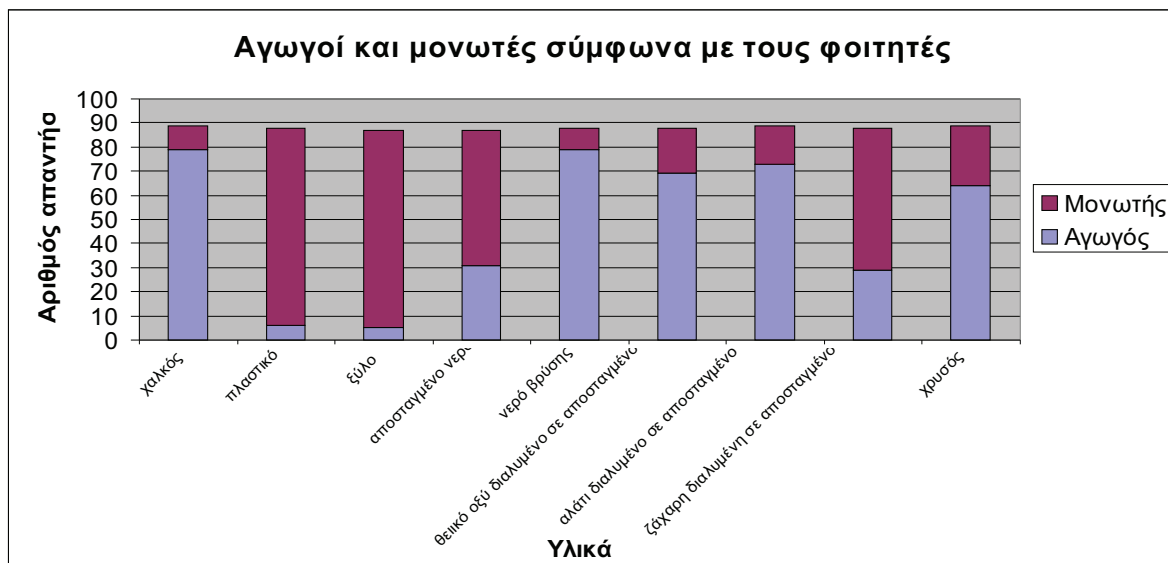
Πίνακας 1 Ερώτηση κλειστού τύπου από το ερωτηματολόγιο

<b>Ερώτηση 1</b>	<i>Χαρακτηρίστε τα παρακάτω υλικά ως αγωγούς ή μονωτές: χαλκός, πλαστικό, ξύλο, αποσταγμένο νερό, νερό βρύσης, θειικό οξύ διαλυμένο σε αποσταγμένο νερό, αλάτι διαλυμένο σε αποσταγμένο νερό, ζάχαρη διαλυμένη σε αποσταγμένο νερό, χρυσός.</i>
------------------	---

Στον Πίνακα 1 φαίνεται μια ερώτηση που τέθηκε στο ερωτηματολόγιο για να φανεί σε πιο βαθμό είναι γνωστό αν μερικά καθημερινά υλικά αλλά και κάποια υλικά της Χημείας είναι ηλεκτρικά αγωγικά ή όχι.

Στο παρακάτω ραβδόγραμμα του Σχήματος 1 φαίνονται οι αριθμοί των φοιτητών που χαρακτήρισαν καθένα από τα παραπάνω υλικά ως αγωγούς ή μονωτές. Αξίζει να προσέξουμε ότι το αποσταγμένο νερό σε ποσοστό λίγο πάνω από 30% θεωρήθηκε αγωγός ενώ ο χρυσός σε ποσοστό περίπου 30% μονωτής. Το αποσταγμένο νερό βέβαια δεν είναι ένα υλικό καθημερινής χρήσης και ίσως αυτό δικαιολογεί το λάθος. Για το διάλυμα της ζάχαρης στο αποσταγμένο νερό βλέπουμε ότι θεωρήθηκε αγωγός στο ίδιο περίπου ποσοστό (33%) με το καθαρό αποσταγμένο νερό ενώ το διάλυμα του αλατιού στο νερό θεωρήθηκε αγωγός σε ποσοστό 82%. Βλέπουμε δηλαδή ότι η προσθήκη του αλατιού αντιμετωπίστηκε πολύ διαφορετικά από την προσθήκη της ζάχαρης όπως και θα έπρεπε.

Σχήμα 1 Ραβδόγραμμα που δίνει τον αριθμό των φοιτητών που έδωσαν κάθε απάντηση



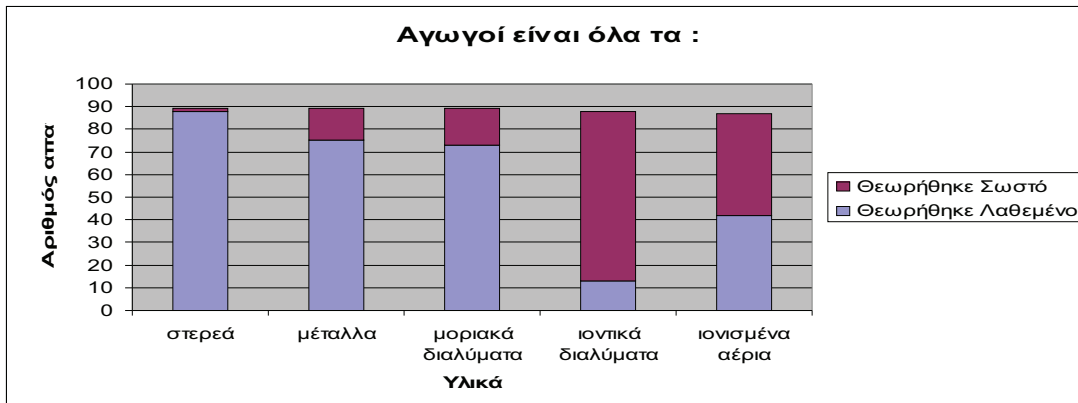
Πίνακας 2 Ερώτηση κλειστού τύπου από το ερωτηματολόγιο

Ερώτηση 2	Χαρακτηρίστε ως σωστές (Σ) ή λανθασμένες (Λ) τις προτάσεις:
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Αγωγοί είναι όλα τα στερεά .....</li> <li>Αγωγοί είναι όλα τα μέταλλα. ....</li> <li>Αγωγοί είναι όλα τα μοριακά διαλύματα. ....</li> <li>Αγωγοί είναι όλα τα ιοντικά διαλύματα. ....</li> <li>Αγωγοί είναι όλα τα ιονισμένα αέρια. ....</li> </ul>

Η ερώτηση του Πίνακα 2 είναι τύπου σωστού/λάθους και αφορά το ποιες από τις αναφερόμενες κατηγορίες σωμάτων είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρικού ρεύματος και ποιες όχι. Εδώ επιχειρείται να διερευνηθούν οι γνώσεις για την αγωγιμότητα όχι μεμονωμένων υλικών αλλά κατηγοριών υλικών πολύ ουσιαστικών για την κατανόηση του φαινομένου της αγωγιμότητας. Στο Σχήμα 2 βλέπουμε τις απαντήσεις των φοιτητών/-τριών και τον αριθμό (όχι το ποσοστό) των φοιτητών/-τριών που έδωσαν κάθε απάντηση. Πρέπει να προσέξουμε ότι εντυπωσιακά μεγάλος αριθμός φοιτητών/-τριών (84%) θεωρεί ότι δεν είναι όλα τα μέταλλα αγωγοί. Ανατρέξτε και στην προηγούμενη ερώτηση όπου το 30% θεώρησε ότι ο χρυσός δεν είναι καλός αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος. Αντιθέτως, σωστότερες απαντήσεις πήραμε για τα διαλύματα όπου τα μοριακά διαλύματα θεωρήθηκαν σε ποσοστό 82% μονωτές ενώ τα ιοντικά σε ποσοστό 85% αγωγοί. Μοιρασμένες ήταν οι απόψεις για τα ιονισμένα αέρια που θεωρήθηκαν σε ποσοστό 53% αγωγοί.



Σχήμα 2 Ραβδόγραμμα που δίνει τον αριθμό των φοιτητών/-τριών που έδωσαν κάθε απάντηση

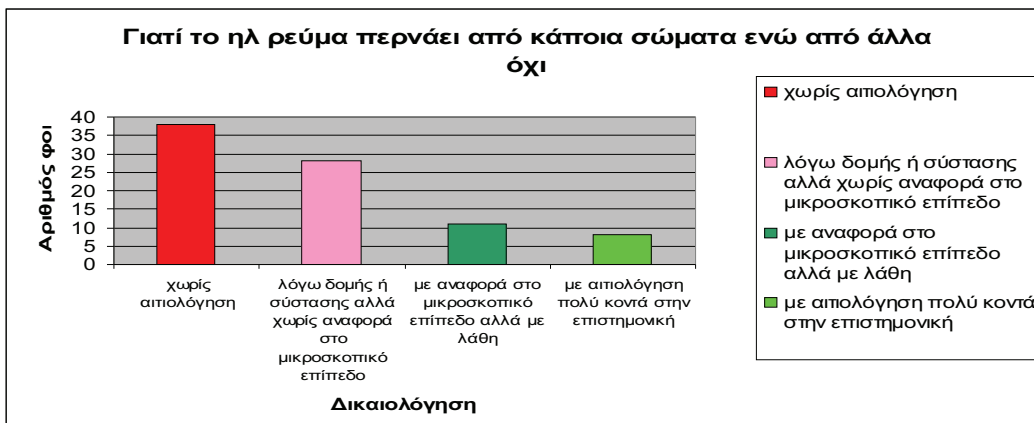


Πίνακας 3 Ερώτηση ανοικτού τύπου από το ερωτηματολόγιο

<b>Ερώτηση 3</b>	Γιατί νομίζεις ότι το ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να περνάει από κάποια σώματα ενώ από κάποια άλλα όχι;
------------------	--

Στον Πίνακα 3 βλέπουμε την επόμενη ερώτηση που αφορούσε την εξήγηση της αγωγιμότητας των σωμάτων. Εδώ το ζητούμενο είναι μόνοι τους οι ερωτώμενοι να προσπαθήσουν να δώσουν εξήγηση που θα αναφέρεται στο μικροσκοπικό επίπεδο, έστω και απλοποιημένη, χωρίς να αναφέρονται λεπτομέρειες που αφορούν τις διαφορετικές κατηγορίες αγωγών. (μέταλλα, διαλύματα ηλεκτρολυτών και ιονισμένα αέρια) Οι απαντήσεις που πήραμε από τους φοιτητές και τις φοιτήτριες φαίνονται στο διάγραμμα του Σχήματος 3. Εκεί βλέπουμε ότι οι περισσότεροι φοιτητές/τριες (44%) δεν μπόρεσαν να δώσουν καμία δικαιολόγηση γιατί κάποια σώματα είναι αγωγοί και κάποια όχι. Ένα σημαντικό ποσοστό (31%) το απέδωσε στη σύσταση και μόνο των σωμάτων χωρίς αναφορά στο μικροσκοπικό επίπεδο. Τέλος, εξήγηση με βάση το μικροσκοπικό επίπεδο αποπειράθηκε να δώσει το 21% των φοιτητών/τριών, όμως κοντά στην επιστημονική εξήγηση ήταν μόνο το 9% των απαντήσεων.

Σχήμα 3 Ραβδόγραμμα που δίνει τον αριθμό των φοιτητών/-τριών που έδωσαν κάθε απάντηση



Στο κύκλωμα του Σχήματος 4 αναφέρονται οι τρεις επόμενες ερωτήσεις. Πρόκειται για ένα κύκλωμα που περιλαμβάνει μπαταρία και μεταλλικό αγωγό κυλινδρικού σχήματος που συνδέει τους πόλους της μπαταρίας, όμως έχει μια ιδιομορφία. Αν και είναι κατασκευασμένος από το

ίδιο υλικό, ένα τμήμα του, όπως φαίνεται και στο σχήμα, έχει μικρότερο πάχος. (διάμετρο) Οι τρεις ερωτήσεις του τέθηκαν στο ερωτηματολόγιο φαίνονται στους πίνακες 4,5 και 6. Οι σωστές απαντήσεις των ερωτήσεων προκύπτουν αν κανείς εφαρμόσει την αρχή διατήρησης του φορτίου, που σε ένα κύκλωμα όπως αυτό, (σταθερής κατάστασης) σημαίνει ότι το ρεύμα διατηρείται.

Σχήμα 4 Το κύκλωμα των ερωτήσεων 4, 5, και 6



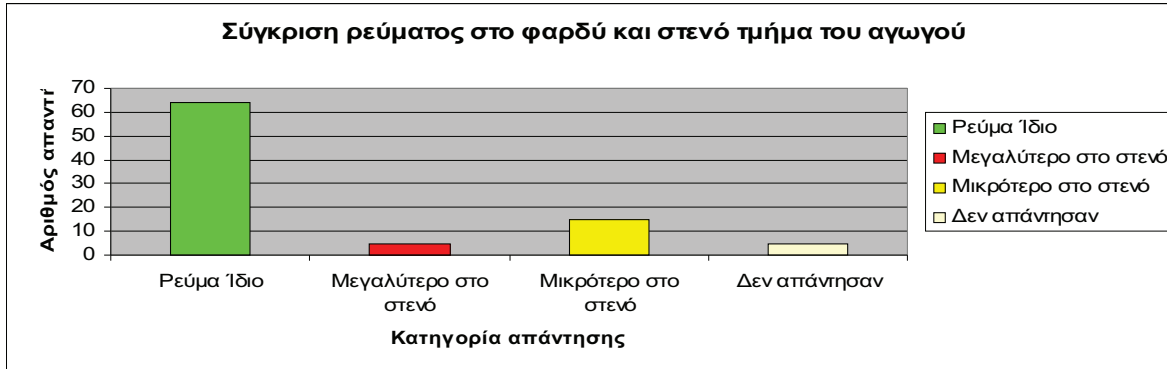
Πίνακας 4 Ερώτηση ανοικτού τύπου από το ερωτηματολόγιο

<b>Ερώτηση 4</b>	Στο κύκλωμα του Σχήματος 4 όλα τα καλώδια είναι από το ίδιο υλικό (π.χ. χαλκό) Το κύκλωμα είναι κλειστό, άρα θα διαρρέεται από ρεύμα. Το ρεύμα που περνά από το στενό τμήμα του καλωδίου είναι μεγαλύτερο, μικρότερο ή ίσο με το ρεύμα που περνά από το φαρδύ τμήμα του καλωδίου; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.
------------------	---

Στην ερώτηση του Πίνακα 4 ο αριθμός των φοιτητών/-τριών που έδωσαν τις διαφορετικές απαντήσεις φαίνεται στο Σχήμα 5. Αν και το ποσοστό των σωστών απαντήσεων ήταν σχετικά μεγάλο (72%) μόνο μία φοιτήτρια έδωσε επιστημονικά σωστή δικαιολόγηση, δηλαδή έγραψε ότι το ρεύμα πρέπει να είναι ίδιο στο στενό και το φαρδύ τμήμα του αγωγού σαν συνέπεια της αρχής διατήρησης του φορτίου. Από τους φοιτητές και τις φοιτήτριες που έγραψαν ότι το ρεύμα θα είναι ίδιο περίπου οι μισοί δεν πρόσφεραν καμία εξήγηση πέρα από τη δήλωση ότι το ρεύμα θα είναι ανεξάρτητο από το πάχος του καλωδίου. Σε κάποιες απαντήσεις φάνηκε μια σύγχυση ανάμεσα στις έννοιες ρεύμα και φορτίο που τους δίνονταν το ίδιο νόημα. Έτσι για παράδειγμα, μια φοιτήτρια έγραψε ότι «το ρεύμα θα είναι ίδιο αλλά θα κινείται με διαφορετική ταχύτητα στο στενό και το φαρδύ τμήμα». Η πρόταση αποκτά νόημα αν αντικαταστήσετε τη λέξη ρεύμα με τη λέξη φορτίο. Όσοι και όσες έγραψαν ότι το ρεύμα είναι μικρότερο στο στενό τμήμα (ποσοστό 35%) κυρίως το απέδωσαν στο ότι περνάνε λιγότερα ηλεκτρόνια λόγω στενότητας χώρου χωρίς όμως να αναφερθούν καθόλου στο χρονικό διάστημα της διέλευσης. Όσοι και όσες έγραψαν ότι το ρεύμα είναι μεγαλύτερο στο στενό τμήμα το απέδωσαν στο «συνωστισμό» των ηλεκτρονίων.



Σχήμα 5 Ραβδόγραμμα που δίνει τον αριθμό των φοιτητών/-τριών που έδωσαν κάθε απάντηση

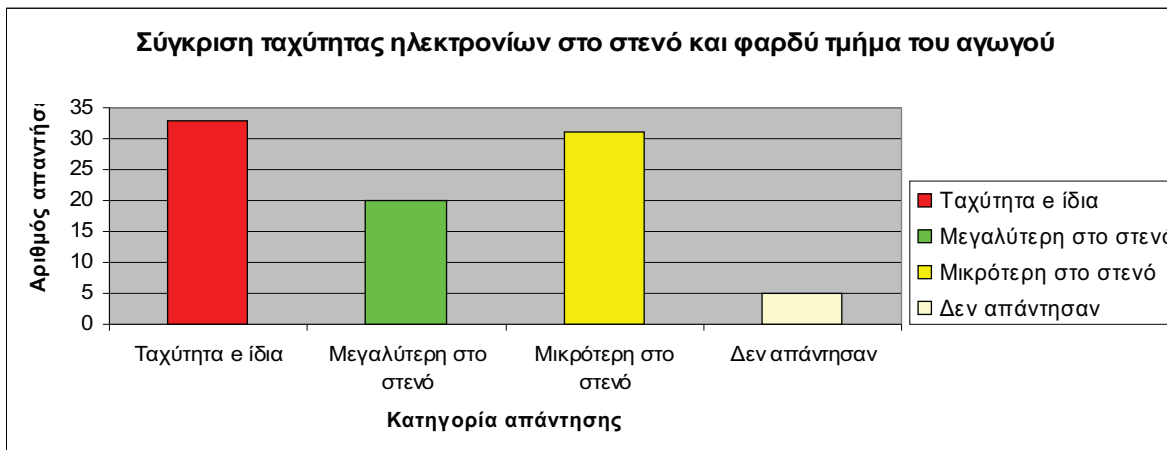


Πίνακας 5 Ερώτηση ανοικτού τύπου από το ερωτηματολόγιο

<b>Ερώτηση 5</b>	Στο κύκλωμα του παραπάνω σχήματος η ταχύτητα των ηλεκτρονίων στο στενό τμήμα του καλωδίου είναι μεγαλύτερη, μικρότερη ή ίση με την ταχύτητα των ηλεκτρονίων στο φαρδύ τμήμα του καλωδίου; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.
------------------	---

Στην ερώτηση του Πίνακα 5 δόθηκαν όλες οι εναλλακτικές απαντήσεις την πλειοψηφία όμως συγκέντρωσαν οι λανθασμένες επιλογές ότι η ταχύτητα είναι ίδια (37%) και ότι η ταχύτητα είναι μικρότερη στο στενό τμήμα του αγωγού (35%) σε σχέση με το φαρδύ.

Σχήμα 6 Ραβδόγραμμα που δίνει τον αριθμό των φοιτητών/-τριών που έδωσαν κάθε απάντηση



Η επιλογή ότι η ταχύτητα είναι ίδια στο στενό και το φαρδύ τμήμα του καλωδίου δινόταν συνήθως χωρίς ουσιαστική αιτιολόγηση απλά γράφοντας ότι η ταχύτητα των ηλεκτρονίων είναι ανεξάρτητη από το πάχος του καλωδίου. Σε λιγότερες περιπτώσεις η αιτιολόγηση ήταν ότι αφού το ρεύμα είναι ίδιο, θα είναι ίδια και η ταχύτητα των ηλεκτρονίων.

Η απάντηση ότι η ταχύτητα είναι μικρότερη στο στενό τμήμα του καλωδίου σε σχέση με το φαρδύ είχε συνήθως τη δικαιολόγηση ότι αυτό συμβαίνει λόγω της στενότητας του χώρου. Είναι προφανές εδώ ότι υπάρχει η αντίληψη των ηλεκτρονίων σαν συνηθισμένα σωματίδια που δυσκολεύονται να περάσουν από «στενό χώρο».

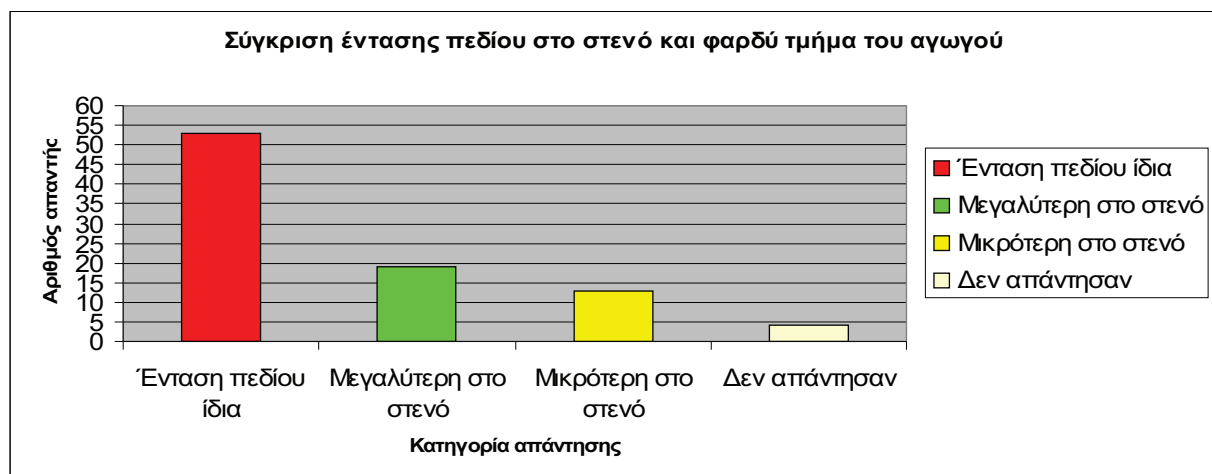
Η επιλογή ότι η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη στο στενό τμήμα του καλωδίου που είναι και σύμφωνη με το επιστημονικό πρότυπο επιλέχθηκε σε ποσοστό 22%. Ωστόσο μόνο το 7% έδωσε δικαιολόγηση που ήταν σύμφωνη με το επιστημονικό μοντέλο δηλαδή απέδωσαν τη μεγαλύτερη ταχύτητα στην ανάγκη διατήρησης του ρεύματος και άρα του φορτίου (αφού αναφερόμαστε στη σταθερή κατάσταση).

Πίνακας 6 Ερώτηση ανοικτού τύπου από το ερωτηματολόγιο

<b>Ερώτηση 6</b>	Στο κύκλωμα του παραπάνω σχήματος η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στο στενό τμήμα του καλωδίου είναι μεγαλύτερη, μικρότερη ή ίση με την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στο φαρδύ τμήμα του καλωδίου; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.
------------------	---

Για την ερώτηση του Πίνακα 6 βλέπουμε τον αριθμό των φοιτητών/τριών που έδωσαν τις δυνατές εναλλακτικές απαντήσεις στο Σχήμα 7.

Σχήμα 7 Ραβδόγραμμα που δίνει τον αριθμό των φοιτητών/-τριών που έδωσαν κάθε απάντηση



Η απάντηση ότι η ένταση του πεδίου είναι ίδια στο στενό και το φαρδύ τμήμα του αγωγού ήταν με διαφορά η πιο δημοφιλής (60%) αν και δεν είναι σύμφωνη με το επιστημονικό μοντέλο. Σε κάποιες από τις απαντήσεις φάνηκε ότι οι φοιτητές και οι φοιτήτριες δεν κατανοούσαν τη διαφορά των εννοιών ένταση ηλεκτρικού πεδίου και ένταση ηλεκτρικού ρεύματος. Έτσι η ένταση αποκαλείται από κάποια φοιτήτρια «ρυθμός κίνησης φορτίων» (=ένταση ηλεκτρικού ρεύματος). Επίσης η δικαιολόγηση γιατί η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου πρέπει να είναι ίδια συνήθως έμοιαζε με επιχειρήματα γιατί η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος είναι ίδια.

Η απάντηση ότι η ένταση του πεδίου είναι μεγαλύτερη στο στενό, που είναι και σύμφωνη με το επιστημονικό μοντέλο ακολουθεί σε δημοφιλία με ποσοστό (21%). Ωστόσο μόνο μία φοιτήτρια έδωσε απάντηση σύμφωνη με την επιστημονική άποψη. ( Πρόκειται για την ίδια φοιτήτρια που έδωσε σωστή απάντηση με σωστή αιτιολόγηση και στην προηγούμενη ερώτηση) Μερικές από τις εναλλακτικές αιτιολογήσεις ήταν ότι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι μεγαλύτερη λόγω συσσώρευσης ηλεκτρονίων, ή λόγω στενότητας χώρου, ή λόγω του ότι στον ίδιο χρόνο περνούν περισσότερα ηλεκτρόνια.



Η απάντηση ότι η ένταση του πεδίου είναι μικρότερη στο στενό τμήμα του αγωγού συγκέντρωσε ένα ποσοστό απαντήσεων 15%. Μεταξύ των αιτιολογήσεων που δόθηκαν ήταν ότι η ένταση είναι μικρότερη επειδή στο στενό τμήμα δεν μπορεί να αναπτυχθεί το πεδίο, ή ότι είναι ανάλογη των φορτίων που υπάρχουν άρα μικρότερη στο στενό τμήμα. Επίσης σε κάποιες διατυπώσεις φάνηκε και εδώ σύγχυση μεταξύ των εννοιών ένταση ηλεκτρικού πεδίου και ένταση ηλεκτρικού ρεύματος.

### Συμπεράσματα

Οι φοιτητές και οι φοιτήτριες φαίνεται ότι στη μεγάλη τους πλειοψηφία έχουν μάθει ότι κάποια σώματα είναι αγωγοί ή μονωτές σαν απλά εμπειρικά γεγονότα χωρίς να είναι σε θέση να δικαιολογήσουν τους χαρακτηρισμούς τους με βάση εξηγήσεις στο μικροσκοπικό επίπεδο αν και είναι γνωστό ότι αυτό το έχουν διδαχθεί στο Λύκειο.

Σε μεγάλο ποσοστό πιστεύουν ότι η αγωγιμότητα δεν είναι μια γενική ιδιότητα όλων των μετάλλων. Σε μεγάλο επίσης ποσοστό δεν είναι σε θέση να εξηγήσουν γιατί κάποια σώματα είναι αγωγοί και κάποια μονωτές χρησιμοποιώντας τη μικροσκοπική δομή τους. Πιθανόν δεν έχουν πεισθεί για την αξία της μικροσκοπικής εξήγησης της αγωγιμότητας σε αντίθεση με άλλα θέματα όπως π.χ. τη φυσική κατάσταση των σωμάτων για την οποία καταφεύγουν περισσότερο σε μικροσκοπικές εξηγήσεις.

Βρέθηκαν επίσης φοιτητές και φοιτήτριες που αδυνατούσαν να διαφοροποιήσουν τις έννοιες ένταση ηλεκτρικού ρεύματος και ένταση ηλεκτρικού πεδίου. Αυτό ίσως δεν είναι αναμενόμενο σ' αυτό το επίπεδο. Πιθανόν να συμβάλει και η γλώσσα στη σύγχυση αφού χρησιμοποιούμε τη λέξη ένταση στο όνομα και των δύο εννοιών. Αντιθέτως στα αγγλικά έχει απαλειφθεί η λέξη ένταση από το όνομα και των δύο εννοιών και χρησιμοποιούνται οι όροι electric current και electric field.

Τέλος φάνηκε ότι οι φοιτητές και οι φοιτήτριες δεν είναι σε θέση να εφαρμόσουν την αρχή διατήρησης του φορτίου για να βγάλουν συμπεράσματα όπως η διατήρηση του ρεύματος σε ένα απλό κύκλωμα σαν αυτό του Σχήματος 4, ή πως μεταβάλλεται η ταχύτητα διολίσθησης των ηλεκτρονίων και η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, σε ένα αγωγό που διαρρέεται από ρεύμα όταν αλλάζει το πάχος του αγωγού.

### Βιβλιογραφία

Κουντουριώτης, Γ., Μίχας, Π. (2006). Το ηλεκτρικό ρεύμα σε μικροσκοπικό επίπεδο: Απόψεις φοιτητών και μαθητών. Πρακτικά 5ου Συνεδρίου Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση, 5 (B) 509-518. [<http://www.kodipheet.gr>]

Afra, N. C., & Osta, I., & Zoubeir W. (2009). Students alternative conceptions about electricity and effect of inquiry-based teaching strategies. *International Journal of Science and Mathematics Education* vol 7: no1: 103-132

Chabay, R. W., & Sherwood, B. A. (2006). Restructuring the introductory electricity and magnetism course. *American Journal of Physics*, vol 74 no 4.

De Posada, J. (1997). Conceptions of High School Students Concerning the Internal structure of metals and their electric conduction: Structure and evolution. *Science Education* 81:445-467, 1997.



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

McDermott, L. C., & Shaffer, P. S. (1998). Μαθήματα Εισαγωγικής Φυσικής. Μετάφραση Πάυλος Μίχας. (2001).