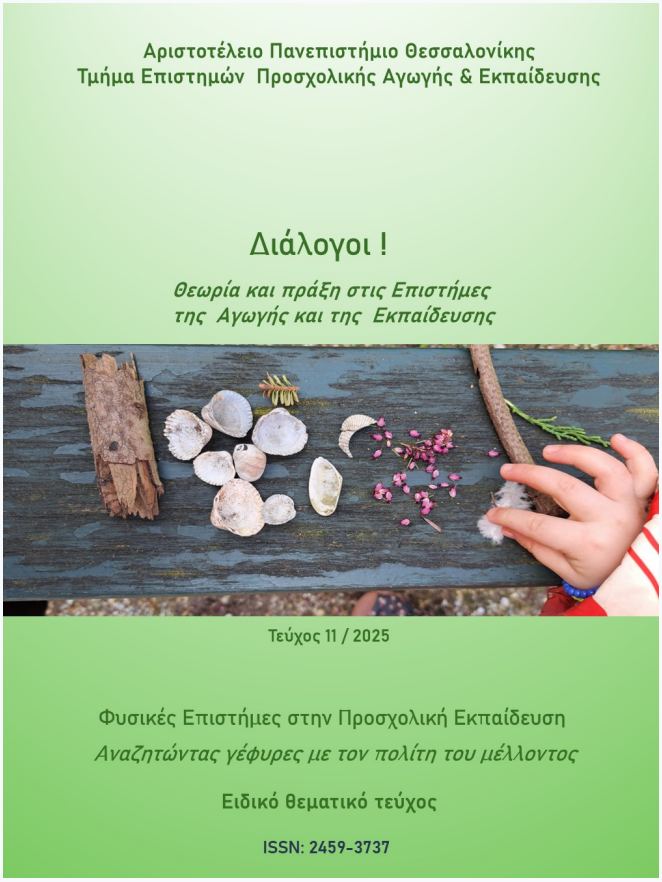
ePublishing

Διάλογοι! Θεωρία και πράξη στις επιστήμες αγωγής και εκπαίδευσης

Τόμ. 11 (2025)

Φυσικές Επιστήμες στην Προσχολική Εκπαίδευση. Αναζητώντας γέφυρες με τον πολίτη του μέλλοντος. Ειδικό Τεύχος.



Οι ιδέες υποψήφιων νηπιαγωγών και δασκάλων για το ηλεκτρικό κύκλωμα

Ιωάννης Σταράκης, Γεώργιος Στύλος

doi: 10.12681/dial.41737

Copyright © 2025, Ιωάννης Σταράκης, Γεώργιος Στύλος

Άδεια χρήσης Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0.

Βιβλιογραφική αναφορά:

Σταράκης Ι., & Στύλος Γ. (2025). Οι ιδέες υποψήφιων νηπιαγωγών και δασκάλων για το ηλεκτρικό κύκλωμα . *Διάλογοι! Θεωρία και πράξη στις επιστήμες αγωγής και εκπαίδευσης*, *11*, 129–147. https://doi.org/10.12681/dial.41737

Διάλογοι! Θεωρία και Πράξη στις Επιστήμες της Αγωγής και Εκπαίδευσης
2025, Τεύχος 11, σσ. 129-147
e-ISSN: 2459-3737

© Τμήμα Επιστημών Προσχολικής Αγωγής και Εκπαίδευσης
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
http://dx.doi.org/10.12681/41737

Οι ιδέες υποψήφιων νηπιαγωγών και δασκάλων για το ηλεκτρικό κύκλωμα

Ιωάννης Σταράκης[1], Γεώργιος Στύλος[2]

[1]Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, [2]Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Περίληψη

Στη διεθνή βιβλιογραφία καταγράφεται η κυρίαρχη αντίληψη πως μια ηλεκτρική πηγή μεταφέρει ρεύμα στο ηλεκτρικό κύκλωμα. Στον Ελλαδικό χώρο το ηλεκτρικό κύκλωμα διδάσκεται στην Πρωτοβάθμια και Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση χωρίς να δίδεται έμφαση στην αποσταθεροποίηση της προαναφερθείσας αντίληψης. Στο πλαίσιο αυτό διερευνήθηκαν οι σχετικές αντιλήψεις 400 φοιτητριών/των του Τ.Ε.Α.Π.Η Αθήνας και του Π.Τ.Δ.Ε Ιωαννίνων, μέσω ερωτηματολογίου. Οι συμμετέχοντες δεν είχαν διδαχθεί το εν λόγω θέμα πέρα του πλαισίου της τυπικής τους εκπαίδευσης,. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι ελάχιστοι εκπαιδευόμενοι προσεγγίζουν τον ρόλο της ηλεκτρικής πηγής μέσω του επιστημονικού προτύπου ενώ η συντριπτική πλειοψηφία διατυπώνει την άποψη ότι μια πηγή μεταφέρει κάτι (ρεύμα, φορτίο, τάση κτλ). Αναφορικά με τα κριτήρια βάσει των οποίων θεωρούν ότι μια διάταξη, με πηγές, καλώδια και λαμπτήρα, θα λειτουργήσει, φαίνεται ότι στις απαντήσεις τους αναπαράγουν φαινομενολογικά χαρακτηριστικά του κλειστού ηλεκτρικού κυκλώματος (χρήση και των δύο πόλων μπαταρίας –δημιουργία κλειστού κύκλου) υπό το πρίσμα ωστόσο της αντίληψης ότι μια πηγή είναι πηγή ρεύματος. Έτσι είτε δεν κρίνουν απαραίτητο οτι ο κλειστός κύκλος πρέπει να περιλαμβάνει και τις δύο επαφές του λαμπτήρα είτε θεωρούν ότι δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη κλειστού κύκλου, εφόσον γίνεται χρήση και των δύο πόλων της μπαταρίας. Τα ευρήματα υπογραμμίζουν την ανάγκη εντοπισμού και αναστοχασμού των εναλλακτικών αντιλήψεων των μελλοντικών εκπαιδευτικών, καθώς οι ίδιες επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο θα προσεγγίσουν τη διδασκαλία του ηλεκτρισμού στην τάξη.

Λέξεις κλειδιά: ηλεκτρικό ρεύμα, εναλλακτικές ιδέες, ηλεκτρική πηγή

Abstract

As noted in the relevant literature, the dominant student conception is that an electric source transfers current into an electric circuit. In the Greek educational context, electric circuits are taught in both primary and secondary education without emphasis on destabilizing this prevailing conception. Within this framework, the views of 400 pre-service teachers from the Department of Early Childhood Education at the University of Athens and the Department of Primary Education at the University of Ioannina were investigated through a questionnaire. The participants had not received any instruction on the topic beyond their formal school education. Analysis of the results showed that only a small number of students approached the role of the electric source through the scientific model, while the vast majority expressed the idea that a source transfers “something” (current, charge, voltage, etc.). Regarding the criteria on

Υπεύθυνος επικοινωνίας: *Όνομα συγγραφέα*, mail συγγραφέα, ιδιότητα, οργανισμός
Correspondent author: *Name,* mail, position, institution

Ηλεκτρονικός εκδότης: *Εθνικό Κέντρο Τεκμηρίωσης, Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών*
e-publisher: *National Documentation Centre, National Hellenic Research Foundation*
URL: http://ejournals.epublishing.ekt.gr/index.php/dialogoi

which participants based their judgment of whether a circuit composed of sources, wires, and a bulb would function, their responses seem to reproduce the phenomenological features of a closed electric circuit (use of both battery poles and creation of a closed loop), yet through the lens of the conception that a source is a source of current. Thus, they either do not consider it necessary that the closed loop must include both contacts of the bulb, or they assume that the existence of a closed loop is not essential as long as both poles of the battery are used. The findings highlight the need for identifying and reflecting on the alternative conceptions held by prospective teachers, as these directly influence the way they will approach the teaching of electricity in the classroom.

Keywords: electric current, conceptions, electrical source

Εισαγωγή

Ο ηλεκτρισμός έχει μελετηθεί συστηματικά ως πεδίο έρευνας στο πλαίσιο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών. Κατά τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες, στη σχετική διεθνή βιβλιογραφία έχει παραχθεί πλούσιο σώμα δημοσιεύσεων που εστιάζει τόσο στις αντιλήψεις των μαθητών αναφορικά με έννοιες που σχετίζονται με τον ηλεκτρισμό, όσο και σε διδακτικές παρεμβάσεις που στοχεύουν στην κατανόησή τους (Baptista και Martins, 2023· Duit, 2009· Maričić et al., 2023· Moodley και Gaigher, 2019· Saba et al., 2021). Δύο είναι οι κύριοι λόγοι για τους οποίους έχει αποδοθεί τέτοια σημασία στα ηλεκτρικά φαινόμενα και τις ιδιότητές τους από εκπαιδευτική σκοπιά. Πρώτον, αρκετά από τα φαινόμενα αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως στην καθημερινή σύγχρονη ζωή. Επιπλέον, η διδασκαλία τους φαίνεται να προκαλεί στους μαθητές πλήθος εννοιολογικών δυσκολιών, καθώς οι σχετικές έννοιες είναι ταυτόχρονα σύνθετες και αφηρημένες (Mulhall, McKittrick και Gunstone, 2001). Η διδασκαλία απλών φαινομένων θεωρείται σημαντική ήδη από τις μικρές ηλικίες, όπως προτείνεται στο Πρόγραμμα Σπουδών για το Νηπιαγωγείο (Παιδί και Θετικές Επιστήμες, 2021). Οι πρώιμες εμπειρίες πειραματισμού και ερμηνείας φυσικών φαινομένων συμβάλλουν στη διαμόρφωση εννοιολογικών βάσεων που επηρεάζουν μεταγενέστερη μάθηση. Η διερεύνηση επομένως των αντιλήψεων των μελλοντικών εκπαιδευτικών αποκτά ιδιαίτερη σημασία, καθώς οι ίδιες ενδέχεται να αναπαραχθούν στη διδασκαλία των παιδιών.

Επισκόπηση Βιβλιογραφίας

Αναφορικά με τις έννοιες του «ηλεκτρικού ρεύματος» και του «ηλεκτρικού κυκλώματος», φαίνεται πως οι μαθητές σχηματίζουν εναλλακτικές ιδέες από πολύ νεαρή ηλικία, πολύ πριν αυτές οι έννοιες διδαχθούν συστηματικά (Osborne, 1983). Στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση, το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας έχει επικεντρωθεί στη μελέτη των ιδεών των μαθητών γύρω από την έννοια του ηλεκτρικού ρεύματος (Borges και Gilbert, 1999· Chiu και Lin, 2005· Driver et al., 1994· Osborne, 1983· Shipstone, 1988). Ωστόσο, φαίνεται πως η πλειονότητα των μελετών σχετικά με τον ηλεκτρισμό έχει διεξαχθεί με μαθητές της Δευτεροβάθμιας και Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης (Borges και Gilbert, 1999· Butts, 1985· Dupin και Johsua, 1987· Engelhardt και Beichner, 2004· Gutwill, Frederiksen και Ranney, 1996· Planinic et al., 2006· Thacker et al., 1999). Οι μελέτες αυτές καταδεικνύουν ότι οι μαθητές, σε κάθε βαθμίδα εκπαίδευσης, διατηρούν ποικίλες εναλλακτικές ιδέες σχετικά με τη ροή του ρεύματος.

Μερικοί εκπαιδευτικοί διατηρούν αντιλήψεις που δεν είναι συμβατές με τις επιστημονικές, παρόμοιες με εκείνες που εκφράζουν και οι μαθητές τους (Lin, 2016·

2017· Moodley & Gaigher, 2019· van Driel et al., 2014). Επιπλέον, ορισμένες αντιλήψεις των εκπαιδευτικών ενδέχεται να ενισχύουν τις παρανοήσεις των μαθητών (McDermott & Shaffer, 2000). Ακόμη και εκπαιδευτικοί με πτυχίο θετικών επιστημών και διαφορετικό επιστημονικό υπόβαθρο δεν επαρκούν από μόνοι τους για την αποτελεσματική διδασκαλία των φυσικών επιστημών (Kind, 2014). Για παράδειγμα, οι Shen et al. (2007) διαπίστωσαν ότι ορισμένοι εκπαιδευτικοί Γυμνασίου (K–8) πίστευαν πως όσο πιο κοντά βρίσκεται η λάμπα στη μπαταρία, τόσο πιο έντονα θα φωτίζει. Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας από Küçüközer και Demirci (2008) ανέξειδε πως εκπαιδευτικοί των φυσικών επιστημών και φυσικοί διατηρούν εναλλακτικές αντιλήψεις όπως:

- Το μοντέλο πηγής–καταναλωτή (η μπαταρία ως πηγή ηλεκτρονίων ή ενέργειας και ο λαμπτήρας ως καταναλωτής)
- Το ρεύμα δεν διατηρείται: θεωρείται ότι «καταναλώνεται» από τη λάμπα.
- Μοντέλο συγκρουόμενων ρευμάτων: το ρεύμα φεύγει και από τους δύο πόλους της μπαταρίας, τα δύο ρεύματα συναντώνται στη λάμπα και η σύγκρουσή τους προκαλεί τη φωτοβολία της λάμπας.
- Μονοπολικό μοντέλο: αρκεί μία σύνδεση ανάμεσα στη μπαταρία και τη λάμπα· η δεύτερη σύνδεση με τον άλλο πόλο θεωρείται περιττή για να ανάψει η λάμπα.
- Μοντέλο ισότιμου διαμοιρασμού του ρεύματος: στα κυκλώματα συνδεδεμένα σε σειρά, το ρεύμα «μοιράζεται» ισόποσα ανάμεσα στους λαμπτήρες.
- Μοντέλο διαδοχικής εξασθένησης (ή “attenuation model”): στα κυκλώματα σε σειρά, οι μεταβολές που συμβαίνουν πριν από τη λάμπα επηρεάζουν τη φωτεινότητά της, ενώ όσες συμβαίνουν μετά δεν την επηρεάζουν.
- Μηχανιστικό μοντέλο: τα ηλεκτρόνια θεωρούνται ως μικρά σωματίδια που κινούνται μηχανικά μέσα στο σύρμα, και αυτή η κίνηση εκλαμβάνεται ως αιτία του ηλεκτρικού ρεύματος.

Ο Borges και ο Gilbert (1999) αναφέρουν ότι οι μαθητές όλων των ηλικιών συχνά αντιλαμβάνονται την ύπαρξη σχέσης αιτίας-αποτελέσματος στο κύκλωμα. Η αιτία είναι η μπαταρία, ενώ το αποτέλεσμα είναι η φωτεινή εκπομπή της λάμπας. Παράλληλα, επισημαίνουν ότι οι μαθητές αναγνωρίζουν έναν αιτιακό μεσολαβητή μεταξύ της μπαταρίας και της λάμπας, στον οποίο αποδίδουν όρους όπως «ρεύμα», «ηλεκτρισμός» ή «ενέργεια». Σύμφωνα με τις αντιλήψεις των μαθητών, αυτός ο μεσολαβητής μπορεί είτε να φεύγει από τον έναν πόλο της μπαταρίας προς τη λάμπα, είτε να φεύγει από τους δύο πόλους της μπαταρίας προς τη λάμπα, είτε να κινείται κυκλικά, από πόλο σε πόλο.

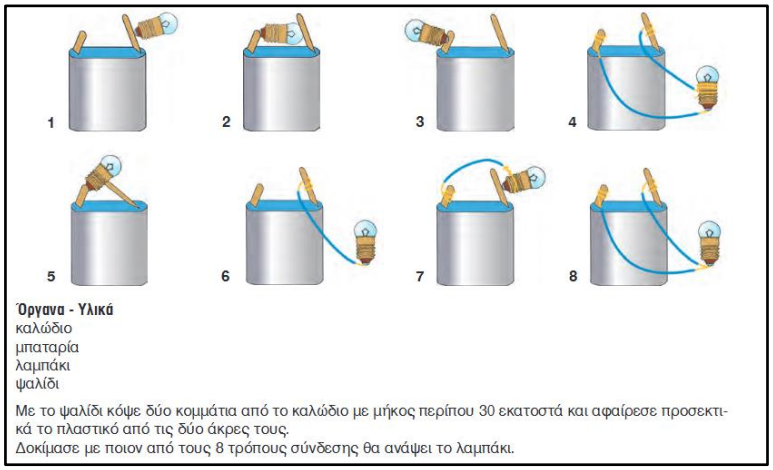
Αρκετοί ερευνητές έχουν μελετήσει και καταγράψει αυτές τις αντιλήψεις, παρατηρώντας τις προσπάθειες των μαθητών να κατασκευάσουν ένα απλό ηλεκτρικό κύκλωμα. Από έρευνες που διεξήχθησαν με μαθητές ηλικίας 7 έως 18 ετών, έχουν καταγραφεί συνολικά τέσσερα μοντέλα για ένα κλειστό ηλεκτρικό κύκλωμα σε σειρά (Borges και Gilbert, 1999· Chiu και Lin, 2005· Osborne, 1983· Shipstone, 1985). Τα μοντέλα αυτά είναι τα εξής:

1. Το μονοπολικό μοντέλο (unipolar model): το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει από το ένα άκρο της μπαταρίας προς τη βάση της λάμπας για να την ανάψει.

2. Το μοντέλο συγκρουόμενων ρευμάτων (clashing-currents model): η μπαταρία στέλνει δύο ρεύματα προς τη λάμπα, τα οποία ενώνονται εκεί και προκαλούν φωτισμό.
3. Το μοντέλο κατανάλωσης ρεύματος (current consumption model): το ηλεκτρικό ρεύμα μειώνεται ή απορροφάται κατά τη διαδρομή του προς τις λάμπες.
4. Το μοντέλο του Ohm ή επιστημονικό μοντέλο (Ohm's or scientific model).

Σύμφωνα με τους Borges και Gilbert (1999), για να μπορέσουν οι μαθητές να οικοδομήσουν πολύπλοκες έννοιες του ηλεκτρισμού, ενδεχομένως να είναι απαραίτητο να συσχετίσουν τα ορατά μακροσκοπικά αποτελέσματα ενός κλειστού ηλεκτρικού κυκλώματος με τις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα σε μικροσκοπικό επίπεδο.

Στο ελληνικό εκπαιδευτικό σύστημα, βάσει αναλυτικού προγράμματος, το ηλεκτρικό κύκλωμα διδάσκεται τόσο στην πρωτοβάθμια όσο και στην δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση διδάσκεται στην Ε' τάξη του δημοτικού (Αποστολάκης et al., 2021β). Στο σχετικό φύλλο εργασίας του τετραδίου εργασιών οι εκπαιδευόμενοι καλούνται να πειραματιστούν με κάποια κυκλώματα (εικόνα 1) και στο τέλος, σύμφωνα με τις σχετικές οδηγίες του βιβλίου για τον δάσκαλο αναμένεται να συμπεράνουν ότι: «*Το λαμπάκι ανάβει μόνο όταν η μία επαφή του συνδέεται με τον ένα πόλο της μπαταρίας και η άλλη του επαφή με τον άλλο πόλο της μπαταρίας*» (Αποστολάκης et al., 2021α).



Εικόνα 1

Πειραματική διαδικασία για το κλειστό ηλεκτρικό κύκλωμα, όπως προτείνεται στο τετράδιο εργασιών της Ε' δημοτικού (σελ. 102)

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, η σχετική διδασκαλία εστιάζει μόνο στη φαινομενολογία της επιθυμητής σύνδεσης και όχι στην ερμηνεία της. Ωστόσο πρέπει να τονιστεί ότι η επιλογή κάποιων από τις προτεινόμενες συνδεσμολογίες (πχ 1,3 και 6) φαίνεται να στοχεύει στην αντιμετώπιση της εναλλακτικής αντίληψης που αντιστοιχεί στο μονοπολικό μοντέλο. Οι συγκεκριμένες συνδεσμολογίες επιλέχθηκαν επειδή επιτρέπουν στους μαθητές να διαπιστώσουν πειραματικά ότι η σύνδεση του λαμπτήρα μόνο με έναν από τους πόλους της μπαταρίας δεν έχει ως αποτέλεσμα τη φωτοβολία του λαμπτήρα. Στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση το κλειστό ηλεκτρικό κύκλωμα διδάσκεται τόσο στη Β' τάξη του Γυμνασίου (Αντωνίου et al., 2021) όσο και στην Β' τάξη του Λυκείου

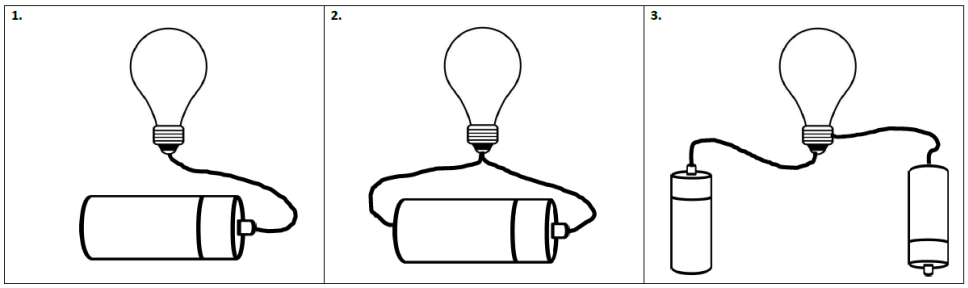
στο πλαίσιο του μαθήματος Φυσικής Γενικής παιδείας (Αλεξάκης et al., 2021). Και στις δύο περιπτώσεις περιγράφεται το επιστημονικά αποδεκτό πρότυπο τόσο σε φαινομενολογικό όσο και σε ερμηνευτικό επίπεδο, χωρίς ωστόσο να συζητιούνται καθ' οποιονδήποτε τρόπο οι εναλλακτικές αντιλήψεις που έχουν καταγραφεί στη βιβλιογραφία.

Στο πλαίσιο αυτό, κρίθηκε σκόπιμη η διερεύνηση των αντιλήψεων υποψήφιων εκπαιδευτικών, οι οποίοι έχουν διδαχθεί το ηλεκτρικό κύκλωμα στο πλαίσιο της τυπικής εκπαίδευσης. Η επιλογή του δείγματος αιτιολογείται από τον καθοριστικό ρόλο των μελλοντικών δασκάλων στην αναγνώριση και διαχείριση των δικών τους αντιλήψεων, αλλά και στη διαμόρφωση αποτελεσματικών τρόπων συζήτησης των ιδεών των μαθητών.

Έτσι προκύπτει και το ερευνητικό ερώτημα της παρούσας έρευνας: «Ποιες είναι οι αντιλήψεις προπτυχιακών φοιτητριών/τών παιδαγωγικών τμημάτων (Προσχολικής και Δημοτικής Εκπαίδευσης) για το κλειστό ηλεκτρικό κύκλωμα;»

Μέθοδος

Για την καταγραφή των αντιλήψεων οι εκπαιδευόμενοι κλήθηκαν να απαντήσουν γραπτά σε κάποιες ερωτήσεις. Αρχικά τους δόθηκαν τρία σκίτσα που απεικόνιζαν τρεις διαφορετικές συνδεσμολογίες που περιελάμβαναν μπαταρίες, καλώδια και λαμπάκι (εικόνα 2).



Εικόνα 2

Οι τρεις συνδεσμολογίες για τις οποίες κλήθηκαν οι εκπαιδευόμενοι να υποθέσουν και να αιτιολογήσουν σχετικά με το αν θα ανάψει ή όχι ο λαμπτήρας κάθε φορά

Σε κάθε μία από τις περιπτώσεις κλήθηκαν να απαντήσουν στο ερώτημα για το αν θα ανάψει το λαμπάκι ή όχι στην κάθε περίπτωση ξεχωριστά, έχοντας παράλληλα τη δυνατότητα να αιτιολογήσουν την επιλογή τους. Στους εκπαιδευόμενους αναφέρθηκε ρητά ότι ο αριθμός των συνδεσμολογιών που ενδέχεται να λειτουργήσουν δεν είναι συγκεκριμένος (μπορεί να ανάψουν όλα τα λαμπάκια, μπορεί κάποιο ή κάποια από αυτά, μπορεί και κανένα) Οι επιλογές 1 και 2 έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν σε αντίστοιχες έρευνες διερεύνησης αντιλήψεων για το ηλεκτρικό κύκλωμα, όπως προκύπτει από την ανάλυση της σχετικής βιβλιογραφίας (Magnusson, Templin, and Boyle 1997· Solomon, 1985). Η συνδεσμολογία 3 της παρούσας έρευνας απεικονίζει φαινομενολογικά μια παρόμοια κατάσταση, καθώς φαίνεται ότι κάθε επαφή του λαμπτήρα συνδέεται με διαφορετικό πόλο μπαταριών. Παρότι όμως το κύκλωμα αυτό δεν είναι πραγματικά κλειστό και ο λαμπτήρας δεν μπορεί να ανάψει, οπτικά και

επιφανειακά μοιάζει να ικανοποιεί το σχολικό συμπέρασμα (σύνδεση με δύο διαφορετικούς πόλους). Είναι προφανές ότι σε καμιά από τις τρεις συνδέσεις, δεν πρόκειται να ανάψει ο λαμπτήρας.

Στη συνέχεια οι εκπαιδευόμενοι κλήθηκαν να διατυπώσουν γραπτά τον ρόλο που οι ίδιοι θεωρούν ότι παίζει η μπαταρία σε ένα κύκλωμα.

Οι κατηγορίες απαντήσεων προέκυψαν από δύο διαφορετικές διαδικασίες ανάλυσης. Αρχικά ακολουθήθηκε μία προς τα κάτω ανάλυση (top-down analysis). Σε αυτήν έλαβε χώρα σύγκριση των απαντήσεων των μαθητών με παρόμοιες αντιλήψεις που έχουν καταγραφεί στη βιβλιογραφία. Παράλληλα, ακολουθήθηκε και μία προς τα πάνω ανάλυση (bottom-up analysis) στην οποία έλαβε χώρα συνεχής σύγκριση παρόμοιων απαντήσεων των εκπαιδευόμενων με απώτερο στόχο τον σχηματισμό νεών κατηγοριών (Bryant & Charmaz, 2007). Η κατηγοριοποίηση των απαντήσεων των μαθητών πραγματοποιήθηκε ανεξάρτητα από τους δύο συγγραφείς, μέχρι της επίτευξη οριστικής συμφωνίας, για τη βελτίωση της εγκυρότητας της έρευνας.

Ένας συνδυασμός γενικής και ειδικής περιγραφής (Erickson, 2012) επιλέχτηκε για τον τρόπο παρουσίασης των αποτελεσμάτων. Έτσι από τη μία αναφέρονται, μέσω πινάκων, οι συχνότητες εμφάνισης όλων των απαντήσεων των εκπαιδευόμενων, ενώ από την άλλη παρουσιάζονται χαρακτηριστικές απαντήσεις από τις κατηγορίες με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης.

Συμμετέχοντες

Στην έρευνα συμμετείχαν συνολικά 400 φοιτήτριες/τές, 199 από το Τμήμα Εκπαίδευσης και Αγωγής στην Προσχολική ηλικία (Τ.Ε.Α.Π.Η) της Αθήνας (194 γυναίκες και 5 άνδρες) και 201 από το Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης (Π.Τ.Δ.Ε) Ιωαννίνων (144 γυναίκες και 57 άνδρες). Οι εκπαιδευόμενοι στο Τ.Ε.Α.Π.Η Αθήνας βρίσκονταν στο 3^{ο} έτος σπουδών και συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο στο πλαίσιο της παρακολούθησης του μαθήματος: «Ο Ρόλος του Πειράματος στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών». Από την άλλη μεριά, οι εκπαιδευόμενοι στο Π.Τ.Δ.Ε Ιωαννίνων βρίσκονταν στο 2^{ο} έτος σπουδών και συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο στο πλαίσιο της παρακολούθησης του μαθήματος: «Η Φυσική στην Καθημερινή Ζωή». Οι εν λόγω εκπαιδευόμενοι κατά την περίοδο συμπλήρωσης των ερωτηματολογίων δεν είχαν προηγουμένως λάβει κανενός τύπου διδασκαλίας περί ηλεκτρικού ρεύματος και ηλεκτρικού κυκλώματος, στο πλαίσιο των προπτυχιακών τους σπουδών. Έτσι μπορεί κάποιος να υποθέσει ότι οι αντιλήψεις που προέκυψαν, επηρεάστηκαν σε σημαντικό βαθμό από το πλαίσιο της τυπικής εκπαίδευσής τους (πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας). Η συμπλήρωση των ερωτηματολογίων έλαβε χώρα από τον Οκτώβρη του 2021 έως και τον Νοέμβρη του 2024.

Αποτελέσματα

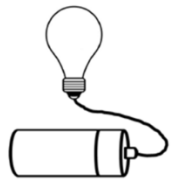
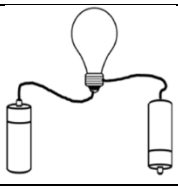
Πότε ανάβει το λαμπάκι;

Αναφορικά με τις προτεινόμενες συνδεσμολογίες και το αν θα ανάψει ή όχι ο λαμπτήρας σε κάθε μία από αυτές, προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα (πίνακας 1):

- Η συνδεσμολογία 1 (*που αντιστοιχεί στο μονοπολικό μοντέλο*) υιοθετήθηκε από το 14% των εκπαιδευόμενων (N=56/400) ως επιτυχημένη για να ανάψει ο λαμπτήρας. Το 85% (N=340/400) δεν τη θεώρησε επιτυχημένη ενώ 1% του δείγματος (N=4/400) είτε δεν απάντησε καθόλου είτε δήλωσε άγνοια για το τι θα συμβεί.
- Η συνδεσμολογία 2 (*στην οποία τα δύο καλώδια από την μπαταρία καταλήγουν στην ίδια επαφή του λαμπτήρα*) υιοθετήθηκε από το 85,5% των εκπαιδευόμενων (N=342/400) ως επιτυχημένη για να ανάψει ο λαμπτήρας. Το 13,5% (N=454/400) δεν τη θεώρησε επιτυχημένη ενώ 1% του δείγματος (N=4/400) είτε δεν απάντησε καθόλου είτε δήλωσε άγνοια για το τι θα συμβεί.
- Η συνδεσμολογία 3 (*στην οποία τα δύο καλώδια ξεκινούν από τους πόλους διαφορετικών μπαταριών δίχως να κλείνει το κύκλωμα*) υιοθετήθηκε από το 40,75% των εκπαιδευόμενων (N=163/400) ως επιτυχημένη για να ανάψει ο λαμπτήρας. Το 58,25% (N=233/400) δεν τη θεώρησε επιτυχημένη ενώ 1% του δείγματος (N=4/400) είτε δεν απάντησε καθόλου είτε δήλωσε άγνοια για το τι θα συμβεί.

Πίνακας 1

Οι συχνότητες των απαντήσεων για το αν θα ανάψει ή όχι ο λαμπτήρας σε κάθε μία από τις προτεινόμενες συνδεσμολογίες

Προτεινόμενη συνδεσμολογία	**«Θα ανάψει»**	**«Δεν θα ανάψει»**	**Δεν ξέρω - Δεν απαντώ**
 1	N=56/400 ή 14%	N=340/400 ή 85%	N=4/400 ή 1%
2	N=342/400 ή 85,5%	N=54/400 ή 13,5%	N=4/400 ή 1%
 3	N=163/400 ή 40,75%	N=233/400 ή 58,25%	N=4/400 ή 1%

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι σχετικές ερμηνείες που δόθηκαν από τους εκπαιδευόμενους για τις παραπάνω αποκρίσεις.

Σε ότι αφορά στη συνδεσμολογία 1 η πιο δημοφιλής ερμηνεία που υιοθετήθηκε από το 54,5% των εκπαιδευόμενων (N=218/400) εστιάζει στο ότι ο λαμπτήρας δε συνδέεται και με τους δύο πόλους της μπαταρίας:

Εκπ1: «Κατά τη δική μου άποψη στην πρώτη εικόνα η λάμπα δεν θα ανάψει διότι το καλώδιο είναι συνδεδεμένο μόνο στον ένα πόλο»

Αντίστοιχα δημοφιλής είναι η ερμηνεία αυτή και για τη συνδεσμολογία 2 καθώς το 55% των εκπαιδευόμενων (N=220/400) θεώρησε ότι ο λαμπτήρας στην περίπτωση αυτή θα ανάψει επειδή συνδέεται και με τους δύο πόλους της μπαταρίας:

Εκπ2: «Το δεύτερο λαμπάκι θα ανάψει διότι έχουμε καλώδιο και από τις δύο μεριές της μπαταρίας… Το ένα καλώδιο που βρίσκεται στο + και το άλλο στο -…Έτσι τώρα η μπαταρία μπορεί να είναι αποτελεσματική και να δώσει η κάθε μεριά το δικό της ρεύμα.»

Σε ό,τι αφορά στη συνδεσμολογία 3 η προαναφερθείσα ερμηνεία φαίνεται να είναι και εδώ η πιο δημοφιλής ανάμεσα στους εκπαιδευόμενους που θεώρησαν ότι ο λαμπτήρας θα ανάψει. Έτσι από το 40,75% (N=163/400) των μαθητών που έκαναν τη σχετική επιλογή, περίπου τα 3/4 αυτών (N=120/400 ή 30%) υποστήριξαν και σε αυτή την περίπτωση ότι ο λαμπτήρας θα ανάψει επειδή συνδέεται και με τους δύο πόλους μπαταριών:

Εκπ3: «Στην τρίτη περίπτωση το λαμπάκι θα ανάψει γιατί παρά το ότι υπάρχουν δύο διαφορετικές μπαταρίες, το καλώδιο συνδέεται και με τις δύο πλευρές των μπαταριών»

Τα παραπάνω παραδείγματα καταδεικνύουν ότι οι εκπαιδευόμενοι που υποστήριξαν το εν λόγω ερμηνευτικό πλαίσιο είτε κατέγραφαν τη συνθήκη δίχως περαιτέρω εξηγήσεις (απλά χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν οι δυο πόλοι) είτε όταν έδιναν περαιτέρω εξηγήσεις αυτές σχετίζονταν με την άποψη ότι από κάθε πόλο σε μια μπαταρία φεύγει διαφορετικό ρεύμα (μοντέλο αλληλοσυγκρουόμενων ρευμάτων)

Η δεύτερη πιο δημοφιλής ερμηνεία που σχετίζεται τόσο με την απάντηση ότι δεν θα ανάψει ο λαμπτήρας στην $1^{η}$ και την $3^{η}$ συνδεσμολογία αλλά ότι θα ανάψει στη $2^{η}$, είναι εκείνη που αναφέρεται στην ύπαρξη ή όχι κλειστού κύκλου (κυκλώματος). Η σχετική συχνότητα εμφάνισης είναι 17% (N=68/400) για το ότι δεν θα ανάψει ο λαμπτήρας ι στη συνδεσμολογία 1, 17,25% (N=69/400) για το ότι θα ανάψει στη συνδεσμολογία 2 και 24,5% (N=98/400) για το ότι δεν θα ανάψει στη συνδεσμολογία 3:

Εκπ4: « Στην πρώτη εικόνα η λάμπα δε θα ανάψει γιατί το κύκλωμα είναι ανοικτό… Στη δεύτερη εικόνα θα ανάψει γιατί το κύκλωμα είναι κλειστό. Αν ξεσυνδέσουμε τη μία πλευρά η λάμπα θα σβήσει… Στην τρίτη εικόνα δε θα ανάψει γιατί και εδώ το κύκλωμα είναι ανοικτό»

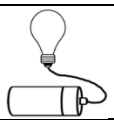
Η παραπάνω παράθεση είναι χαρακτηριστική γιατί καταδεικνύει ότι οι εκπαιδευόμενοι που υιοθέτησαν αυτό το ερμηνευτικό πρότυπο, ως επί το πλείστον δεν εξηγούσαν περαιτέρω το γιατί χρειάζεται κλειστός κύκλος για να λειτουργήσει η συνδεσμολογία.

Στους πίνακες 2, 3 και 4 γίνεται αναλυτική καταγραφή των συχνοτήτων εμφάνισης όλων των ερμηνειών που δόθηκαν από τους εκπαιδευόμενους και όχι μονάχα των πιο δημοφιλών όπως παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους.

Πίνακας 2

Οι συχνότητες των απαντήσεων για το αν θα ανάψει ή όχι ο λαμπτήρας σε κάθε μία από τις προτεινόμενες συνδεσμολογίες

Συνδεσμολογία 1	**Κατηγορία ερμηνειών**	**Συχνότητα**

		**εμφάνισης**
1. Δεν θα ανάψει ο λαμπτήρας	1α) Δεν συνδέεται και με τους δύο πόλους της μπαταρίας	N=218/400 ή 54,5%
	1β) Δεν δημιουργείται κλειστός κύκλος	N=68/400 ή 17%
	1γ) Συνδυασμός περίπτωσης 1α και 1β	N=22/400 ή 5,5%
	1δ) Δεν δόθηκε καμία εξήγηση	N=20/400 ή 5%
	1ε) Αταξινόμητες – Μη ολοκληρωμένες εξηγήσεις	N=18/400 ή 4,5%
2. Θα ανάψει ο λαμπτήρας	2α) Η μπαταρία δίνει ρεύμα μόνο από τη μία της μεριά (μονοπολικό μοντέλο)	N= 46/400 ή 11,5%
	2β) Δεν δόθηκε καμία εξήγηση	N=5/400 ή 1,25%
	2γ) Αταξινόμητες – Μη ολοκληρωμένες εξηγήσεις	N=3/400 ή 0,75%
3. Δεν ξέρω – Δεν απαντώ	_	N=4/400 ή 1%

Πίνακας 3

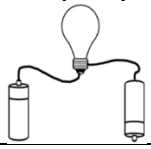
Οι συχνότητες των απαντήσεων για το αν θα ανάψει ή όχι ο λαμπτήρας σε κάθε μία από τις προτεινόμενες συνδεσμολογίες

Συνδεσμολογία 2	**Κατηγορία ερμηνειών**	**Συχνότητα εμφάνισης**
1. Θα ανάψει ο λαμπτήρας	1α) Συνδέεται και με τους δύο πόλους της μπαταρίας	N=220/400 ή 55%
	1β) Δημιουργείται κλειστός κύκλος	N=69/400 ή 18,75%
	1γ) Αρκεί να δώσει ρεύμα μόνο το ένα καλώδιο (μονοπολικό μοντέλο)	N=26/40 ή 6,5%
	1δ) Συνδυασμός περίπτωσης 1α και 1β	N=18/400 ή 4,5%
	1) Δεν δόθηκε καμία εξήγηση	N=6/400 ή 1,5%
	1στ) Αταξινόμητες – Μη ολοκληρωμένες εξηγήσεις	N=3/400 ή 0,75%
2. Δεν θα ανάψει ο λαμπτήρας	2α) Το δεύτερο καλώδιο εξουδετερώνει το ρεύμα που δίνει το πρώτο καλώδιο	N= 26/400 ή 6,5%
	2β) Τα δύο καλώδια πρέπει να καταλήγουν σε διαφορετικές επαφές του λαμπτήρα (επιστημονικά αποδεκτή εξήγηση)	N=18/400 η 4,5%
	2γ) Δε δόθηκε καμία εξήγηση	N=6/400 ή 1,5%
	2δ) Αταξινόμητες – Μη ολοκληρωμένες	N=4/400

	εξηγήσεις	ή 1%
Δεν ξέρω – Δεν απαντώ	_	N=4/400 ή 1%

Πίνακας 4

Οι συχνότητες των απαντήσεων για το αν θα ανάψει ή όχι ο λαμπτήρας σε κάθε μία από τις προτεινόμενες συνδεσμολογίες

Συνδεσμολογία 3 	**Κατηγορία ερμηνειών**	**Συχνότητα εμφάνισης**
1. Δεν Θα ανάψει ο λαμπτήρας	1α) Δεν δημιουργείται κλειστός κύκλος	N=98/400 ή 24,5%
	1β) Πρέπει να συνδέεται ο λαμπτήρας και με τους δυο πόλους μπαταρίας και ταυτόχρονα να δημιουργείται κύκλος	N=52/400 ή 13%
	1γ) Πρέπει και τα δύο καλώδιο να καταλήγουν στην ίδια επαφή της λάμπας	N=36/400 ή 9%
	1δ) Το δεύτερο καλώδιο εξουδετερώνει το ρεύμα που δίνει το πρώτο καλώδιο	N=27/400 ή 7,25%
	1ε) Δεν δόθηκε καμία εξήγηση	N=12/400 ή 3%
	1στ) Αταξινόμητες – Μη ολοκληρωμένες εξηγήσεις	N=8/400 ή 2%
2. Θα ανάψει ο λαμπτήρας	2α) Συνδέεται και με τους δύο πόλους της μπαταρίας	N= 120/400 ή 30%
	2β) Αρκεί να δώσει ρεύμα μόνο το ένα καλώδιο (μονοπολικό μοντέλο)	N=26/400 η 6,5%
	2γ) Δεν δόθηκε καμία εξήγηση	N=9/400 ή 2,25%
	2δ) Αταξινόμητες – Μη ολοκληρωμένες εξηγήσεις	N=8/400 ή 2%
3. Δεν ξέρω – Δεν απαντώ	_	N=4/400 ή 1%

Από την αναλυτική αυτή καταγραφή των συχνοτήτων εμφάνισης όλων των ερμηνειών που δόθηκαν από τους εκπαιδευόμενους, προκύπτουν μερικά ακόμα στοιχεία άξια σχολιασμού.

Κατ' αρχάς και στις τρεις συνδεσμολογίες καταγράφεται ένας ικανοποιητικός αριθμός εκπαιδευόμενων (5,5 % στην πρώτη, 4,5% στη δεύτερη και 13% στην τρίτη συνδεσμολογία) που θεωρεί ότι για να ανάψει ο λαμπτήρας πρέπει να ικανοποιούνται ταυτόχρονα και οι δύο συνθήκες που προαναφέρθηκαν (η δημιουργία κλειστού κύκλου και η ταυτόχρονη χρήση διαφορετικών πόλων μπαταριών):

Εκπ5: «Το λαμπάκι στην εικόνα 2 θα ανάψει γιατί έχουμε κλειστό κύκλωμα... Έχουμε και θετικά και αρνητικά ηλεκτρόνια από τις δύο μεριές της μπαταρίας»

Ένα άλλο στοιχείο που προκύπτει από τη μελέτη των αποτελεσμάτων είναι ότι το μονοπολικό μοντέλο εμφανίζεται στις σχετικές ερμηνείες και των τριών συνδεσμολογιών

(11,5 % στην πρώτη, 6,5% στη δεύτερη και 6,5% των εκπαιδευόμενων στην τρίτη συνδεσμολογία). Για την πρώτη συνδεσμολογία ήταν αναμενόμενο:

Εκπ6: «Θα ανάψει (το λαμπάκι στην εικόνα 1). Από τον θετικό πόλο μόνο φεύγει το ρεύμα για τη λάμπα»

Ωστόσο εμφανίστηκε και στις άλλες δύο:

Εκπ7: «Το δεύτερο καλώδιο στη 2 και στην 3 (εικόνα) είναι διακοσμητικά. Αρκεί το ένα καλώδιο για τη φωτοβολία αλλά και το δεύτερο δεν κάνει κάτι κακό»

Από την άλλη μεριά, αρκετοί από τους εκπαιδευόμενους που υιοθέτησαν την μονοπολική λογική στη συνδεσμολογία 1, θεώρησαν ότι ο λαμπτήρας στις συνδεσμολογίες δύο και τρία δε θα ανάψει (6,5 % στη δεύτερη και 7,25% στην τρίτη συνδεσμολογία) διότι το δεύτερο καλώδιο ακυρώνει τον ρόλο του πρώτου:

Εκπ8: «Το λαμπάκι (στην εικόνα 2) δεν θα ανάψει γιατί είναι συνδεδεμένο και με τον θετικό και με τον αρνητικό πόλο της μπαταρίας οπότε ο ένας εξουδετερώνει τον άλλον».

Εκπ9: «Πιστεύω ότι θα ανάψει (ο λαμπτήρας) μόνο στο πρώτο σκίτσο όπου είναι μόνο στον θετικό πόλο. Πιστεύω, όπως έχουμε πει στα μαθηματικά, ότι + και – μας κάνει -, οπότε δε θα ανάψει στο 2 και στο 3»

Άξιο αναφοράς είναι επίσης το γεγονός ότι ένα σημαντικό ποσοστό εκπαιδευόμενων (9%) θεώρησε ότι η συνδεσμολογία 3 δε θα ανάψει μόνο και μόνο επειδή τα δύο καλώδια δεν καταλήγουν στην ίδια επαφή της λάμπας. Αν δηλαδή η εν λόγω συνδεσμολογία κατέληγε στην ίδια επαφή, υποθέτουμε ότι τα ποσοστά των εκπαιδευόμενων που θα τη θεωρούσαν λειτουργική, θα προσέγγιζαν το 50% (40,75 + 9 = 49,75%):

Εκπ10: «Στο σκίτσο 3 δεν θα ανάψει (ο λαμπτήρας) γιατί το ένα καλώδιο δεν ακουμπάει στην κάτω υποδοχή»

Τέλος, σημειώνεται ότι μόνο το 4,5 των εκπαιδευόμενων (N=18/400) προσέγγισε, έστω σε φαινομενολογικό επίπεδο, την επιστημονικά αποδεκτή εξήγηση για το αίτιο της μη φωτοβολίας του λαμπτήρα στην εικόνα 2:

Εκπ11: «Δεν θα ανάψει (ο λαμπτήρας στην εικόνα 2) καθώς και οι δύο πόλοι της μπαταρίας συνδέονται στο ίδιο σημείο, στην ίδια υποδοχή της λάμπας»

Ακόμα λιγότεροι είναι αυτοί που συνδύασαν την παραπάνω απάντηση με την επιστημονικά αποδεκτή εξήγηση για το πως λειτουργεί το κλειστό ηλεκτρικό κύκλωμα:

Εκπ12: «...Με αυτή τη σύνδεση (εικόνα 2) το ρεύμα θα κάνει κύκλο αλλά δε θα περνάει μέσα από τη λάμπα»

Ποιος είναι ο ρόλος της μπαταρίας;

Αναφορικά με το ερώτημα που τέθηκε στη συνέχεια στους εκπαιδευόμενους, για τον ρόλο που εκείνοι θεωρούν ότι επιτελεί η μπαταρία στο κύκλωμα, μόνο το 6,5% (N=28/400) προσέγγισε σε κάποιο βαθμό την επιστημονικά αποδεκτή εξήγηση (πίνακας 5). Οι εκπαιδευόμενοι αυτοί εξέφρασαν την άποψη ότι η μπαταρία, ως ηλεκτρική πηγή, θέτει σε κίνηση εντός του κυκλώματος, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που ήδη υπάρχουν μέσα στους αγωγούς:

Εκπ13: «Ο ρόλος της μπαταρίας είναι να δημιουργεί ένα κύκλωμα, δηλαδή την κίνηση ηλεκτρονίων από τον ένα πόλο της μπαταρίας στον άλλον»

Εκπ14: «Η μπαταρία λειτουργεί ως κινητήρας ώθησης του ηλεκτρικού φορτίου που ήδη υπάρχει στο κύκλωμα, αλλά μόνο όταν συνδέεται και με τους δύο πόλους της στην ηλεκτρική σύνδεση, για να μπορεί έτσι να κινείται το φορτίο κυκλικά»

Από εκεί και πέρα η συντριπτική πλειοψηφία των εκπαιδευόμενων (85% ή Ν=340/400) εξέφρασε την άποψη ότι η μπαταρία παράγει (δηλαδή είναι πηγή) ή/και μεταφέρει στον λαμπτήρα ή σε οποιαδήποτε άλλη συσκευή «κάτι» προκειμένου αυτή η συσκευή να λειτουργήσει. Για αυτό το «κάτι» χρησιμοποιούν αδιακρίτως διάφορους όρους και έννοιες (ρεύμα, φορτίο, ενέργεια, ηλεκτρισμό κτλ) χωρίς να προσδιορίζουν το περιεχόμενο τους:

Εκπ15: «Η μπαταρία είναι η πηγή του ρεύματος που θα ανάψει τη λάμπα»

Εκπ16: «Ο ρόλος της μπαταρίας είναι να δώσει ενέργεια στη λάμπα ώστε να ανάψει. Όταν τελειώσει η ενέργεια της μπαταρίας, η συσκευή σταματάει να λειτουργεί και χρειάζεται καινούρια μπαταρία»

Εκπ17: «Η μπαταρία παράγει και δίνει ρεύμα-ηλεκτρισμό-ενέργεια στο αντικείμενο το οποίο τοποθετείται και συνεπώς το αντικείμενο λειτουργεί»

Μερικοί εκπαιδευόμενοι (3% ή Ν=12/400) εξέφρασαν τη γενικά διατυπωμένη άποψη ότι η μπαταρία κάνει μια συσκευή να λειτουργεί χωρίς να προσδιορίζουν κανέναν σχετικό αιτιακό μηχανισμό:

Εκπ18: «Η μπαταρία φροντίζει έτσι ώστε μια ηλεκτρική συσκευή να δουλεύει σωστά»

Τέλος, 20 εκπαιδευόμενοι (5%) είτε δεν απάντησαν, είτε έδωσαν απαντήσεις χωρίς ολοκληρωμένο νόημα.

Πίνακας 5

Οι συχνότητες των απαντήσεων για ερώτημα: «Ποιος είναι ο ρόλος της μπαταρίας σε μία ηλεκτρική σύνδεση;»

«Ποιος είναι ο ρόλος της μπαταρίας σε μια ηλεκτρική σύνδεση;» Κατηγορίες απαντήσεων		**Συχνότητα εμφάνισης**
α) Θέτει σε κυκλική κίνηση τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που ήδη υπάρχουν στο κύκλωμα (επιστημονικά αποδεκτή άποψη)		Ν=28/400 ή 6,5%
β) Παράγει ή/και μεταφέρει «κάτι» στο κύκλωμα έτσι ώστε να λειτουργήσει μια συσκευή		Ν=340/400 ή 85%
β1) «κάτι» = ενέργεια	Ν=156/400 ή 39%	
β2) «κάτι» = ηλεκτρόνια/ρεύμα/ηλεκτρικό φορτίο	Ν=120/400 ή 30%	
β3) «κάτι» = ηλεκτρική ενέργεια	Ν=32/400 ή 8%	
β4) «κάτι» = ηλεκτρισμός	Ν=22/400 ή 5,5%	
β5) «κάτι» = τάση/χημική ενέργεια/κάτι (μικρή συχνότητα για κάθε μία επιλογή)	Ν=10/400 ή 2,5%	
γ) Κάνει μια ηλεκτρική συσκευή να λειτουργεί		Ν=12/400 ή 3%
δ) Δεν δόθηκε καμιά εξήγηση ή Μη ολοκληρωμένες εξηγήσεις		Ν=20/400 ή 5%

Συμπεράσματα – Προτάσεις

Η παρούσα έρευνα είχε ως βασικό της στόχο να καταγράψει τις αντιλήψεις ενηλίκων για το κλειστό ηλεκτρικό κύκλωμα και τον ρόλο της μπαταρίας σε αυτό. Εφαρμόστηκε σε υποψήφιες και υποψήφιους εκπαιδευτικούς πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης που δεν έχουν διδαχθεί το φαινόμενο πέρα από το πλαίσιο της τυπικής τους εκπαίδευσης (μία φορά στο δημοτικό σχολείο, μια φορά στο γυμνάσιο και μία φορά στο λύκειο). Με τον τρόπο αυτό επιχειρήθηκε να διαπιστωθεί, σε δεύτερο επίπεδο, ο βαθμός στον οποίο οι σχετικές αυτές αντιλήψεις, ενδέχεται να έχουν επηρεαστεί από τη σχολική διδασκαλία.

Κατ' αρχάς από την έρευνα προέκυψε ότι η συντριπτική πλειοψηφία του δείγματος (τουλάχιστον 85%) θεωρεί πως η μπαταρία τροφοδοτεί με ρεύμα το κύκλωμα (είναι πηγή ρεύματος), επιβεβαιώνοντας σχετικά πορίσματα της σύγχρονης βιβλιογραφίας (Borges & Gilbert, 1999· Küçüközer & Kocakülah, 2007).

Επίσης ανέκυψε ότι ο όρος «ρεύμα» για τους εκπαιδευόμενους μπαίνει κάτω από την ίδια ομπρέλα με άλλους όρους (όπως φορτίο, ενέργεια, ηλεκτρισμός κτλ) για να προσδιορίσει αυτό το «κάτι» που, πάντα σύμφωνα με τους εκπαιδευόμενους, δίνει η ηλεκτρική πηγή για να βοηθήσει μια συσκευή να λειτουργήσει. Και αυτό το εύρημα επιβεβαιώνει αντίστοιχα πορίσματα της βιβλιογραφίας σύμφωνα με τα οποία οι μαθητές και οι ενήλικοι συχνά οργανώνουν τις αντιλήψεις τους σε συνεκτικά πλαίσια, χρησιμοποιώντας γενικές έννοιες-ομπρέλα για να εξηγήσουν διάφορα φαινόμενα (Gilbert & Watts, 1983· Taber, 2019).

Σε αυτό το σημείο θα μπορούσε κάποιος να ισχυριστεί ότι για την περίπτωση του ρόλου του ρεύματος στις ηλεκτρικές συνδέσεις, διαπιστώνεται «αφομοίωση» της σχολικής γνώσης στο πλαίσιο της εναλλακτικής αντίληψης ότι η ηλεκτρική πηγή είναι πηγή ρεύματος. Τέτοιου είδους «αφομοίωση» θεωρείται αναπόφευκτη, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, στο βαθμό που η διδασκαλία δε στοχεύει στη δημιουργία ασυμφωνίας ανάμεσα στην αρχική αντίληψη και την εμπειρία (Strike & Posner, 1982). Η αρχική αντίληψη αναφέρεται στην ευρέως διαπιστωμένη εναλλακτική ιδέα ότι η μπαταρία παράγει ή μεταφέρει "κάτι» πχ ρεύμα. Αυτή η αντίληψη οδηγεί τους εκπαιδευόμενους στο να θεωρούν ότι οι τρεις συνδεσμολογίες που αναφέρονται στην έρευνα μπορεί να είναι αποτελεσματικές είτε στο πλαίσιο του μονοπολικού μοντέλου είτε στο πλαίσιο του μοντέλου των αλληλοσυγκρουόμενων ρευμάτων. Η «εμπειρία» από την άλλη μεριά αφορά την πειραματική παρατήρηση ότι καμιά από τις συνδεσμολογίες αυτές δεν είναι αποτελεσματική. Κατά συνέπεια δεν μπορεί να είναι λειτουργική και η αρχική αντίληψη που τις υποστήριζε ερμηνευτικά. Η μπαταρία είναι όντως πηγή ενέργειας (ηλεκτρικής). Ωστόσο η ενέργεια αυτή θέτει σε κίνηση τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που ήδη υπάρχουν στο κύκλωμα. Οι μαθητές ωστόσο, σε βάθος χρόνου, από την επιστημονική αυτή πληροφορία όπως δίνεται και από τα σχετικά σχολικά εγχειρίδια γυμνασίου και λυκείου:

«Συνδέουμε τους δύο πόλους μιας μπαταρίας με σύρμα. *Τότε στο εσωτερικό του σύρματος δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο, οπότε στα ελεύθερα ηλεκτρόνιά του ασκείται ηλεκτρική δύναμη. Η κίνησή τους προσανατολίζεται από την κατεύθυνση της δύναμης. Έτσι αυτά κινούνται από τον αρνητικό προς το θετικό πόλο και στο μεταλλικό αγωγό*

εμφανίζεται προσανατολισμένη κίνηση ηλεκτρονίων, δηλαδή ηλεκτρικό ρεύμα μπαταρία είναι μια ηλεκτρική πηγή» (Αντωνίου et al., 2021)

«Τι συμβαίνει σ' ένα μεταλλικό αγωγό, αν συνδέσουμε τα άκρα του με μια πηγή συνεχούς τάσης; Τώρα, στα άκρα του υπάρχει διαφορά δυναμικού και στο εσωτερικό του ηλεκτρικό πεδίο. Το ηλεκτρικό πεδίο ασκεί δύναμη στα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Με την επίδραση αυτής της δύναμης τα ελεύθερα ηλεκτρόνια κινούνται προσανατολισμένα, με φορά από τον αρνητικό πόλο της πηγής προς το θετικό πόλο της πηγής*, δηλαδή με φορά αντίθετη της φοράς της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου»* (Αλεξάκης et al., 2021)

υιοθετούν στη συντριπτική τους πλειοψηφία εκείνο το τμήμα που είναι συμβατό με την εναλλακτική τους αντίληψη (η μπαταρία είναι πηγή) και απορρίπτουν εκείνο το τμήμα της επιστημονικής πληροφορίας που δεν είναι συμβατό με την αντίληψη αυτή (θέτει σε κίνηση τα ηλεκτρόνια που ήδη υπάρχουν στο κύκλωμα. Αυτό το συμπέρασμα επιβεβαιώνει προηγούμενες μελέτες σε άλλα πεδία της διδακτικής των φυσικών επιστημών σύμφωνα με τα οποία οι μαθητές ενσωματώνουν/αφομοιώνουν πολιτισμικά αποδεκτές αντιλήψεις στο αρχικό τους εννοιολογικό πλαίσιο (Nikolopoulou et al., 2024· Vosniadou & Skopeliti, 2014).

Αντίστοιχη διαδικασία «αφομοίωσης» φαίνεται να λαμβάνει χώρα και όταν οι εκπαιδευόμενοι καλούνται να ασχοληθούν με τα φαινομενολογικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει μια επιτυχής σύνδεση ενός απλού ηλεκτρικού κυκλώματος. Για αυτούς η πιο δημοφιλής συνθήκη επίτευξης ενός τέτοιου κυκλώματος *(την υιοθέτησαν περίπου τα 3/4 όσων επέλεξαν ότι δεν θα ανάψει ο λαμπτήρας στην εικόνα 1, αλλά ότι θα ανάψει στις εικόνες 2 και 3, όπως φαίνεται από τις σχετικές κατηγορίες 1α και 1γ στον πίνακα 2, 1α και 1δ στον πίνακα 3, 2α στον πίνακα 4)* είναι η χρησιμοποίηση και των δύο πόλων (+ και -) μπαταριών. Αυτό υποβάλλει κατά κάποιο τρόπο και η αντίστοιχη πειραματική διαδικασία από την οποία πλοηγούνται στο σχετικό μάθημα της Ε' δημοτικού, καθώς, όπως προαναφέρθηκε, οι μαθητές πειραματίζονται με μερικά κυκλώματα και στο τέλος, κωδικοποιώντας το ποια λειτουργούν και ποια όχι αναμένεται να διαπιστώσουν ότι:

«*Το λαμπάκι ανάβει μόνο όταν η μία επαφή του συνδέεται με τον ένα πόλο της μπαταρίας και η άλλη του επαφή με τον άλλο πόλο της μπαταρίας*» (Αποστολάκης et al., 2021α).

Σύμφωνα, λοιπόν, με την επιστημονικά αποδεκτή άποψη, όπως αυτή προβάλλεται στο σχετικό σχολικό βιβλίο, για να ανάψει το λαμπάκι πρέπει να ενωθεί ο ένας πόλος μπαταρίας με τη μία επαφή της λάμπας και ο άλλος πόλος με την άλλη επαφή της λάμπας. Η πληροφορία αυτή δεν είναι ασύμβατη με την κυρίαρχη εναλλακτική ιδέα ότι η μπαταρία είναι πηγή ρεύματος. Για παράδειγμα η συνδεσμολογία 3 δείχνει σε μεγάλο βαθμό αυτό που αναφέρει το επιδιωκόμενο συμπέρασμα και παράλληλα είναι συμβατή με την άποψη ότι φεύγει άλλο ρεύμα από τον ένα πόλο και άλλο ρεύμα από τον άλλο (μοντέλο αλληλοσυγκρουόμενων ρευμάτων):

Εκπ19: «(Στην εικόνα 3) Θα φύγει αρνητικό φορτίο από το – της μπαταρίας και θετικό από το +. Αυτά τα δύο θα ανάψουν το λαμπάκι»

Από τη άλλη μεριά το συντριπτικό ποσοστό των εκπαιδευόμενων που θεώρησαν ότι θα ανάψει ο λαμπτήρας στην συνδεσμολογία 2 (85,5%), φαίνεται να καταδεικνύει και αυτό «αφομοίωση» της σχολικής γνώσης. Έτσι οι μαθητές υιοθετούν το τμήμα της επιστημονικά αποδεκτής άποψης που είναι συμβατό με την εναλλακτική ιδέα

(χρειάζονται και οι δύο πόλοι για να φύγουν δύο ρεύματα από τον θετικό και τον αρνητικό πόλο) και απορρίπτουν εκείνο το τμήμα της που δεν είναι συμβατό με την άποψη αυτή (κάθε πόλος πρέπει να συνδεθεί με άλλη επαφή της λάμπας).

Κάτι ανάλογο μπορεί να ειπωθεί και για την προϋπόθεση του «κλειστού κυκλώματος». Και στις τρεις συνδεσμολογίες υπάρχει ένα σημαντικό ποσοστό εκπαιδευόμενων (περίπου 25-30% στο σύνολο του δείγματος) που θεωρούν ότι για να λειτουργήσει επιτυχώς ένα απλό ηλεκτρικό κύκλωμα, πρέπει να δημιουργείται κλειστός κύκλος. Ελάχιστοι όμως από αυτούς φαίνεται να συσχετίζουν τη δημιουργία κλειστού κυκλώματος με την κυκλική κίνηση του ηλεκτρικού ρεύματος. Οι περισσότεροι, όπως και στη χρησιμοποίηση των δύο πόλων της μπαταρίας, φαίνεται να αφομοιώνουν αυτήν τη γνώση είτε στο πλαίσιο της ιδέας ότι υπάρχουν δύο διαφορετικά ρεύματα που φεύγουν από την μπαταρία:

Εκπ20: «Θα ανάψει (ο λαμπτήρας) στο 2 γιατί πρέπει να δημιουργηθεί κύκλος που θα κλείσει κάτω στο λαμπάκι για να φτάσει όλο το ρεύμα ψηλά στη λάμπα»

είτε στο πλαίσιο του μονοπολικού μοντέλου, όπου το δεύτερο καλώδιο έχει διακοσμητικό ή βοηθητικό ρόλο:

Εκπ21: «(στη συνδεσμολογία 2) Και εδώ θα ανάψει όπως και στην πρώτη περίπτωση. Το ρεύμα φεύγει μόνο από το δεξί καλώδιο. Το άλλο συγκρατεί το ρεύμα να μη φύγει»

Από όλα τα παραπάνω προκύπτει ότι για την οικοδόμηση εννοιολογικού πλαισίου, για το κλειστό ηλεκτρικό κύκλωμα, θα πρέπει πρώτιστα να αντιμετωπιστεί η κυρίαρχη εναλλακτική αντίληψη ότι μια ηλεκτρική πηγή είναι πηγή ρεύματος, όπως έχει ήδη προταθεί και στο παρελθόν μέσω της σχετικής βιβλιογραφίας (Doctor & Mestre 2024· Fredette & Clement, 1981· Psillos et al.,2012). Σε ότι αφορά στην ελληνική σχολική εκπαίδευση, βάσει των σχολικών εγχειριδίων, η όποια σχετική προσπάθεια, γίνεται μόνο στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση και εκεί αποκλειστικά σε φαινομενολογικό επίπεδο χωρίς τα επιθυμητά αποτελέσματα, όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας. Κατά συνέπεια προτείνεται οι σχετικές διδακτικές στρατηγικές να εστιάζουν σε διδακτικά σενάρια τα οποία θα συνδυάζουν τη φαινομενολογία των πειραματικών διατάξεων με τη σχετική τους ερμηνεία (Baptista & Martins, 2023), έως ότου να μην μπορούν πλέον οι εκπαιδευόμενοι να εξηγήσουν τις παρατηρήσεις τους βάσει της αντίληψης ότι μια πηγή δίνει ρεύμα. Για παράδειγμα η συνδεσμολογία 3 της παρούσας έρευνας θα μπορούσε να αποτελέσει κομμάτι ενός σχετικού διδακτικού σεναρίου. Σε επόμενο στάδιο, και με την προϋπόθεση ότι οι εκπαιδευόμενοι δε θα είναι πλέον φορείς της προαναφερθείσας αντίληψης, θα μπορούσαν τα διδακτικά σενάρια να εμπλουτιστούν και με πολλαπλές αναπαραστάσεις (αναλογίες, φυσικά μοντέλα ή προσομοιώσεις) (Danielsson et al. 2022· Kariotoglou & Psillos, 2021) λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη ότι η ερμηνεία σχετικών φαινομένων δεν μπορεί να προκύψει αποκλειστικά με όρους μακρόκοσμου (Borges & Gilbert, 1999· Valkanou & Starakis, 2023)

Τα ευρήματα μπορούν να ερμηνευτούν και υπό κοινωνικοπολιτισμική σκοπιά, καθώς οι καθημερινές γλωσσικές μεταφορές που χρησιμοποιούνται για να περιγράφει η λειτουργία των ηλεκτρικών φαινομένων (π.χ. “η μπαταρία δίνει ρεύμα”) συμβάλλουν στη διαμόρφωση συνεκτικών αλλά μη επιστημονικών ερμηνειών. Η κατανόηση του ρόλου της γλώσσας είναι κρίσιμη για τον σχεδιασμό διδακτικών προσεγγίσεων που θα ενθαρρύνουν τον αναστοχασμό πάνω σε αυτές τις εκφράσεις.

Βιβλιογραφία

Αλεξάκης, Ν., Αμπατζής, Σ., Γκουγκούσης, Γ., Κουντούρης, Β., Μοσχοβίτης, Ν., Οβαδίας, Σ., & Πετρόχειλος, Κ. (2021). *Φυσική Β' Λυκείου Γενικής Παιδείας: Βιβλίο Μαθητή*. Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής. Διαθέσιμο από: https://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2682/Fysiki_B-Lykeiou-Genikis-Paideias_html-empl/

Αντωνίου, Ν., Δημητριάδης, Π., Καμπούρης, Κ., Παπαμιχάλης, Κ., & Παπατσίμπα, Λ. (2021). *Φυσική Γ' Γυμνασίου: Βιβλίο Μαθητή*. Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής. Διαθέσιμο από: https://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2226/Fysiki_G-Gymnasiou_html-empl/

Αποστολάκης, Θ., Παναγοπούλου, Ε., Σάββας, Σ., Τσαγλιώτης, Ν., Μακρή, Β., & Πανταζής, Γ. (2021). *Φυσικά Ε΄ Δημοτικού:* Βιβλίο Δασκάλου. Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής. Διαθέσιμο από: https://dschool.edu.gr

Αποστολάκης, Θ., Παναγοπούλου, Ε., Σάββας, Σ., Τσαγλιώτης, Ν., Μακρή, Β., & Πανταζής, Γ. (2021). *Φυσικά Ε΄ Δημοτικού:* Τετράδιο Εργασιών. Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής. Διαθέσιμο από: https://dschool.edu.gr

Baptista, M., and I. Martins. (2023). "Effect of a STEM Approach on students' Cognitive Structures About Electrical Circuits." International Journal of STEM Education 10 (1): 15. https://doi.org/10. 1186/s40594-022-00393-5

Borges, T., and J. Gilbert. (1999). "Mental Models of Electricity." International Journal of Science Education 21 (1): 95–117. https://doi.org/10.1080/095006999290859

Bryant, A. & Charmaz, K. (Eds.) (2007). The SAGE Handbook of Grounded Theory. Sage.

Butts, W. (1985). "Children's Understanding of Electric Current in Three Countries." Research in Science Education 15:127–130. https://doi.org/10.1007/BF02356534

Chiu, M.-H., and J.-W. Lin. (2005). "Promoting Fourth Graders' Conceptual Change of Their Understanding of Electric Current via Multiple Analogies." Journal of Research in Science Teaching 42 (4): 429–464. https://doi.org/10.1002/tea.20062

Danielsson, A. T., Berge, M., & Lidar, M. (2022). Teaching about electricity in primary school: Multimodality and variation theory as analytical lenses. Research in Science Education. Advance online publication. https://doi.org/10.1007/s11165-022-10047-9

Docktor, J. L., & Mestre, J. P. (2024). Student conceptual resources for understanding electric circuits. *Physical Review Physics Education Research, 20*(2), 020128. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.020128

Driver, R., J. Leach, P. Scott, and C. Wood-Robinson. (1994). "Young People's Understanding of Science Concepts: Implications of Cross-Age Studies for Curriculum Planning." Studies in Science Education 24 (1): 75–100. https://doi.org/10.1080/03057269408560040

Duit, R. (2009). Students' and teachers' Conceptions and Science Education. Bibliography—STCSE. http://archiv.ipn.uni-kiel.de/stcse/

Dupin, J.-J., and S. Johsua. 1987. "Conceptions of French Pupils Concerning Electric Circuits: Structure and Evolution." Journal of Research in Science Teaching 24 (9): 791–806. https://doi.org/10.1002/tea.3660240903

Engelhardt, P. V., and R. J. Beichner. 2004. "Students' Understanding of Direct Current Resistive Electrical Circuits." American Journal of Physics 72 (1): 98–115. https://doi.org/10.1119/1.1614813

Erickson, F. 2012. "Qualitative Research Methods for Science Education." In Second International Handbook of Science Education, edited by. B. J. Fraser, K. G. Tobin, and C. McRobbie, 1451–1469. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_93

Fredette, N. H., & Clement, J. J. (1981). Student misconceptions of an electric circuit: What do they mean? *Journal of College Science Teaching, 10*(5), 280–285.

Gilbert, J. K., & Watts, D. M. (1983). Concepts, Misconceptions and Alternative Conceptions: Changing Perspectives in Science Education. *Studies in Science Education*, *10*(1), 61–98. https://doi.org/10.1080/03057268308559905

Gutwill, J., J. Frederiksen, and M. Ranney. 1996. "Seeking the Causal Connection in Electricity: Shifting Among Mechanistic Perspectives." International Journal of Science Education 18 (2): 143–162. https://doi.org/10.1080/0950069960180202

Kariotoglou, P., & Psillos, D. (2021). An analogical simulation for teaching electric circuits: A rationale for use in lower secondary school. *Physics Education, 56*(5), 055014. https://doi.org/10.1088/1361-6552/ac03fe

Kind, V. (2014). A degree is not enough: A quantitative study of aspects of pre-service science teachers' chemistry content knowledge. *International Journal of Science Education, 36*(8), 1313-1345. https://doi.org/10.1080/09500693.2013.860497

Küçüközer, H., & Kocakülah, S. (2007). Secondary school students' misconceptions about simple electric circuits. Journal of Turkish Science Education, *4*(1), 101–115. https://www.tused.org/index.php/tused/article/view/663

Küçüközer, H., & Demirci, N. (2008). Pre-Service and In-Service Physics Teachers' Ideas about Simple Electric Circuits. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 4*(3), 303-311. https://doi.org/10.12973/ejmste/75354Magnusson, S. J., M. Templin, and R. A. Boyle. (1997). "Dynamic Science Assessment: A New Approach for Investigating Conceptual Change." Journal of the Learning Sciences 6 (1): 91–142. https://doi.org/10.1207/s15327809jls0601_5

Lin, J.W. (2016). Do Skilled Elementary Teachers Hold Scientific Conceptions and Can They Accurately Predict the Type and Source of Students' Preconceptions of Electric Circuits? *International Journal of Science and Mathematics Education, 14*, 287–307. https://doi.org/10.1007/s10763-015-9635-4

Lin, J.-W. (2017). A Comparison of Experienced and Preservice Elementary School Teachers' Content Knowledge and Pedagogical Content Knowledge about Electric Circuits. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 13*(3), 835-856. https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00646a

Maričić, M., S. Cvjetićanin, B. Anđić, M. Marić, and A. Petojević. (2023). "Using Instructive Simulations to Teach Young Students Simple Science Concepts: Evidence from Electricity Content." Journal of Research on Technology in Education 1–20. https://doi.org/10.1080/15391523.2023.2196460

McDermott, L. C., & Shaffer, P. S. (2000). Preparing teachers to teach physics and physical science by inquiry. In G. Buck, J. Hehn, & D. Leslie-Pelecky (Eds.), *The role of physics departments in preparing K-12 teachers* (pp. 71-85). College Park, MD: American Institute of Physics.

Moodley, K., and E. Gaigher. (2019). "Teaching Electric Circuits: Teachers' Perceptions and Learners' Misconceptions." Research in Science Education 49 (1): 79–89. https://doi.org/10.1007/s11165-017-9615-5

Mulhall, P., B. McKittrick, and R. Gunstone. (2001). “A Perspective on the Resolution of Confusions in the Teaching of Electricity.” Research in Science Education 31 (4): 575–587. https://doi.org/10. 1023/A:1013154125379

Nikolopoulou, A., Fili, S., Founta, M., & Starakis, I. (2023). Kindergarten students’ and pre-service teachers’ perceptions regarding the frequency of the Moon’s appearance at night. International Journal of Early Years Education, 32(1), 137–157. https://doi.org/10.1080/09669760.2023.2278468

Osborne, R. (1983). “Towards Modifying Children’s Ideas About Electric Current.” Research in Science & Technological Education 1 (1): 73–82. https://doi.org/10.1080/0263514830010108

Πεντέρη, Ε., Χλαπάνα, Ε., Μέλλιου, Κ., Φιλιππίδη, Α., & Μαρινάτου, Θ. (2021). Πρόγραμμα Σπουδών Προσχολικής ΕκπαίδευσηςΝηπιαγωγείου. Στο πλαίσιο της Πράξης «Αναβάθμιση των Προγραμμάτων Σπουδών και Δημιουργία Εκπαιδευτικού Υλικού Πρωτοβάθμιας και Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης» " του ΙΕΠ με MIS 5035542.

Planinic, M., W. J. Boone, R. Krsnik, and M. L. Beilfuss. 2006. “Exploring Alternative Conceptions from Newtonian Dynamics and Simple DC Circuits: Links Between Item Difficulty and Item Confidence.” Journal of Research in Science Teaching 43 (2): 150–171. https://doi.org/10.1002/tea.20101

Psillos, D., Tselfes, V., & Kariotoglou, P. (2012). Some key issues in creating inquiry-based instructional practices that aim at the understanding of simple electric circuits. Research in Science Education, *42*(5), 951–974. https://doi.org/10.1007/s11165-011-9278-6

Saba, J., E. Langbeheim, H. Hel-Or, and S. Levy. (2021). “Identifying Aspects of Complex and Technological Systems in the Mental Models of Students Who Constructed Computational Models of Electric Circuits.” Journal of Research in Science Teaching 60 (4): 681–723. https://doi.org/10.1002/tea.21814

Shipstone, D. M. (1988). “Pupils’ Understanding of Simple Electrical Circuits. Some Implications for Instruction.” Physics Education 23 (2): 92–96. https://doi.org/10.1088/0031–9120/23/2/004

Shipstone, D. M. (1985). “Electricity in Simple DC Circuits.” In Children’s Ideas in Science, edited by R. Driver, E. Guesne, and A. Tiberghien, 33–51, Milton Keynes: Open University Press.

Solomon, J., P. Black, V. Oldham, and H. Stuart. (1985). “The pupils’ View of Electricity.” European Journal of Science Education 7 (3): 281–294. https://doi.org/10.1080/0140528850070306

Strike, K. A., & Posner, G. J. (1982). Conceptual change and science teaching. European Journal of Science Education, *4*(3), 231–240. https://doi.org/10.1080/0140528820040302

Taber, K. S. (2019). Alternative conceptions and conceptual frameworks in science education. In K. S. Taber (Ed.), Progressing science education: Constructing continuities across science education research (pp. 67– ninety). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4362-5_4

Thacker, B. A., U. Ganiel, and D. Boys. 1999. “Macroscopic Phenomena and Microscopic Processes: Student Understanding of Transients in Direct Current Electric Circuits.” American Journal of Physics 67 (7): S25–31. https://doi.org/10.1119/1.19076

Valkanou, E., & Starakis, I. (2023). Exploring k5 students’ learning pathways regarding water’s electrical conductivity. Research in Science & Technological Education, 1–24. https://doi.org/10.1080/02635143.2023.2229765

Vosniadou, S., & Skopeliti, I. (2014). *Investigation about representations used in teaching to prevent misconceptions regarding inverse proportionality*. *Research in Science Education*, 44(2), 223–241. https://doi.org/10.1007/s11165-013-9382-0