

Μια διερεύνηση στον ηλεκτρομαγνητισμό μέσα από την (ανα)κατασκευή του «ηλεκτρομαγνητικού στροφέα» του Faraday με απλά υλικά

Νεκτάριος Τσαγλιώτης¹, Ευθύμιος Σταμούλης², Νίκος Κολιός³, Παναγιώτης Πήλιουρας² & Κατερίνα Πλακίτση²

¹ Εργαστήριο ΦΕ στο 9^ο Δημοτικό Σχολείο Ρεθύμνου efepereth@gmail.com

² @fise researching group, University of Ioannina, Phd-estamoulis@sch.gr; Post Doc-
ppiliour@sch.gr; Assoc. Professor - kplakits@gmail.com

³Ε.Κ.Φ.Ε. Ιωαννίνων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια ιστορική αφήγηση των διερευνήσεων του Faraday (1821) που οδήγησαν στην ανακάλυψη του ηλεκτρομαγνητικού στροφέα, του πρώτου μοτέρ που κατασκευάστηκε με την περιφορά ενός ηλεκτροφόρου καλωδίου γύρω από ένα μαγνήτη, που ήταν βυθισμένος σε υδράργυρο. Στη συνέχεια γίνεται μια (ανα)κατασκευή αυτού του μοτέρ με απλά υλικά, που λειτουργεί με αλατόνερο. Πρόκειται για ένα ενδιαφέρον επεισόδιο στη μελέτη για τη «φύση της επιστήμης», που μπορεί να συγκροτήσει περιεχόμενο για τη διερεύνηση των φαινομένων και των εννοιών του ηλεκτρομαγνητισμού, τόσο μέσα στη σχολική τάξη όσο και στο πλαίσιο επιμόρφωσης των εκπαιδευτικών (Πήλιουρας *et al.* 2016).

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: ηλεκτρομαγνητικός στροφέας, Faraday, (ανα)κατασκευή ηλεκτρομαγνητικού στροφέα με απλά υλικά, Νέα Προγράμματα Σπουδών

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η προσέγγιση της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης για την εκπαίδευση των φυσικών επιστημών αποτελεί συχνά το ορνυχείο στο οποίο ανατρέχουμε, τόσο για τη βαθύτερη κατανόηση των εννοιών και των φαινομένων όσο και για την άντληση ιδεών για την εκπαιδευτική πράξη, μέσα από το φίλτρο του διδακτικού μετασχηματισμού και της προσεκτικής εφαρμογής (Binnie 2001). Στην περίπτωση της διδακτικής και μαθησιακής προσέγγισης του ηλεκτρομαγνητισμού, προτείνεται στο Νέο Πρόγραμμα Σπουδών μία αλληλουχία εννοιών και φαινομένων σε όλη τη διάρκεια του Δημοτικού σχολείου (Πλακίτση *et al.* 2011; Σταμούλης & Πλακίτση, 2016), που συγκλίνουν στη διασύνδεση των ηλεκτρικών και των μαγνητικών φαινομένων. Κομβικό σημείο, ακόμα και στα προτεινόμενα σχέδια εργασίας που υπάρχουν στον Οδηγό του Εκπαιδευτικού, φαίνεται να είναι η κατασκευή ενός «μοτέρ» ως εφαρμογή της διασύνδεσης των

ηλεκτρικών και των μαγνητικών φαινομένων (Πλακίτση *et al.* 2014). Το παράδειγμα της (ανα)κατασκευής του «ηλεκτρομαγνητικού στροφέα» του Faraday, μέσα σε ένα πλαίσιο εφαρμογής στη σχολική τάξη, με μία κατάλληλα μετασχηματισμένη ιστορική αφήγηση, φαίνεται να υπηρετεί συστηματικά μια τέτοια προσέγγιση.

Ο MICHAEL FARADAY ΚΑΙ Ο ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΣΤΡΟΦΕΑΣ

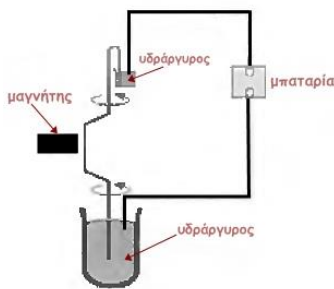
Ο *Michael Faraday* γεννήθηκε στις 22 Σεπτεμβρίου του 1791 στο Newington Butts κοντά στο Λονδίνο, όπου οι γονείς του είχαν μετοικήσει από το Yorkshire που ζούσαν και ο πατέρας του εργαζόταν ως σιδεράς. Κατά την εφηβεία του ο Faraday εργάστηκε ως βοηθός βιβλιοδέτη για οκτώ χρόνια, όπου εκεί προσπάθησε να καλύψει το χαμηλό επίπεδο των σπουδών του στο σχολείο με πολύ διάβασμα από τα βιβλία που έβρισκε διαθέσιμα στο βιβλιοδετείο. Ανέπτυξε ένα ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον για την μελέτη του «βιβλίου της φύσης» (Cantor *et al.* 1991) και τους επιστημονικούς πειραματισμούς κάθε είδους και ιδιαίτερα στο πεδίο του ηλεκτρισμού που τον συνεπήρε από την αρχή της ζωής του (Russell, 2000). Στάθηκε τυχερός όταν ένας ευγενής, που ήταν πελάτης του βιβλιοδετείου, του προσέφερε προσκλήσεις για τις διαλέξεις του περίφημου *Sir Humphrey Davy* (1788-1929) στο Βασιλικό Ινστιτούτο (Royal Institution) του Λονδίνου. Παρακολουθούσε τις διαλέξεις του Davy για 3 χρόνια με μεγάλο ενδιαφέρον και κρατούσε λεπτομερείς σημειώσεις, που έφτασαν τις 300 σελίδες, τις οποίες στη συνέχεια του παρέδωσε σε ένα καλαισθητά δεμένο τόμο, ζητώντας του να γίνει βοηθός του στο εργαστήριο του. Ο Davy εκτίμησε τη χειρονομία του Faraday, αλλά δεν τον δέχτηκε αμέσως, παρά μόνο όταν μια δυσμενή συγκυρία τραυματισμού του το επέβαλε (Cantor *et al.* 1991; Gribbing & Gribbin, 1997). Το 1813, όταν ο Faraday ήταν στα 21 του χρόνια, έγινε βοηθός του Davy, και για τα επόμενα τρία χρόνια τον συνόδευσε σε ταξίδια του στην Ευρώπη, όπου γνώρισε από κοντά όλους τους μεγάλους επιστήμονες της εποχής και έμαθε πολλά πράγματα, παρά τις δυσκολίες που του επέφερε η υποτιμητική σχέση με τη σύζυγο του Davy, η οποία τον αντιμετώπιζε περισσότερο ως υπηρέτη παρά ως επιστημονικό βοηθό (Gooding & James, 1985). Το 1816, ο Faraday κάνει την πρώτη του επιστημονική δημοσίευση για την καυστική άσβεστο της Τοσκάνης και δείχνει ενδιαφέρον για περαιτέρω μελέτες στη χημεία αλλά και στον ηλεκτρισμό. Όμως, η πρώτη ανεξάρτητη μελέτη που διεξάγει είναι εκείνη για τον «ηλεκτρομαγνητικό στροφέα» το Σεπτέμβριο του 1821, λίγες μέρες έπειτα από το γάμο του με τη Sarah Barnard και την προσχώρησή του στην Εκκλησία των Sandemanian, μια μικρή αίρεση της Εκκλησίας της Σκωτίας, που φαίνεται να επηρέασε τον ασκητικό τρόπο ζωής του και την επιμονή στη σαφήνεια και την απλότητα της σκέψης του (Russell, 2000).

Τον Απρίλιο του 1820 *Hans Christian Oersted* (1777–1851) παρουσιάζοντας πειράματα σε ένα εργαστήριο με τους φοιτητές του στο Πανεπιστήμιο της Κοπεγχάγης, παρατήρησε ότι καθώς περνούσε ηλεκτρικό ρεύμα από ένα λεπτό σύρμα πλατίνας που ήταν πάνω από μια πυξίδα, είχε μια επίδραση στην πυξίδα, που την έκανε να στρέφεται προς τα αριστερά ή προς τα δεξιά, ανάλογα με την πολικότητα της σύνδεσης του καλωδίου με την ηλεκτρική στήλη (μπαταρία). Αυτή ήταν μια πρώτη προσέγγιση της διασύνδεσης

του ηλεκτρισμού με το μαγνητισμό, αφού το ηλεκτροφόρο καλώδιο αποκτούσε «μαγνητικές ιδιότητες» και έστρεφε τη μαγνητική βελόνα, χωρίς να μπορεί να δώσει μια εξήγηση για το περίεργο αυτό φαινόμενο, το οποίο μάλιστα δεν εντυπωσίασε ιδιαίτερα και τους φοιτητές του σ' εκείνο το εργαστήριο, πιθανότατα διότι η αρχική επίδραση ήταν αμυδρή (Cropper, 2001). Την ίδια χρονιά στο Παρίσι, επιστήμονες όπως ο *François Arago* (1786-1853) και ο *André-Marie Ampère* (1775-1836), ακολουθούν τις μελέτες του *Oersted* και διατυπώνουν την προσέγγιση ότι οι μαγνητικές δυνάμεις του διαρρεόμενου αγωγού ήταν κυκλικές, προσδίδοντας μια επίδραση «κυλινδρικού μαγνητισμού» γύρω από το καλώδιο. Δεν είχε παρατηρηθεί ξανά μέχρι τότε μια τέτοια «κυκλική δύναμη» (Nersessian, 1984; Gooding, 1990b; Cropper, 2001).

Πίσω στο Λονδίνο, την ίδια περίοδο (1820-21), ο Davy (κοντά του και ο Faraday), συνέχιζε τις έρευνές του επαναλαμβάνοντας πειράματα του Arago και του Ampère, όπως κι εκείνο όπου είχαν διαπιστώσει ότι ο διαρρεόμενος αγωγός μπορεί να έλκει ρινίσματα σιδήρου. Μόνο που ο Davy, είχε την ιδέα να διασκορπίσει τα ρινίσματα σιδήρου σε ένα χαρτόνι, μέσα από το οποίο περνούσε κατακόρυφα το καλώδιο (αγωγός) και παρατήρησε να σχηματίζεται μια δομή ομόκεντρων κύκλων, κάθετη στο ηλεκτρικό ρεύμα (Gooding & James, 1985). Επίσης, ο *William Hyde Wollaston* (1766-1828), φίλος και συνεργάτης του Davy, είχε υποστηρίξει την ιδέα ότι το ηλεκτρικό ρεύμα διατρέχει ένα καλώδιο με «σπειροειδή τρόπο» (όπως το σχήμα μίας βίδας) και έτσι, έκανε την πρόβλεψη (υπόθεση) ότι εάν το καλώδιο μπορούσε να κινείται ελεύθερα θα περιστρεφόταν γύρω από τον άξονά του, με την παρουσία ενός μαγνήτη. Οι προσπάθειές του όμως να το αποδείξει πειραματικά ήταν αποτυχημένες, αν και ο Ampère το κατάφερε την επόμενη χρονιά (Gooding, 1990a).

Το καλοκαίρι του 1821, ο Faraday επαναλαμβάνει και εξετάζει τα πειράματα που έχουν γίνει μέχρι τότε, προκειμένου να κάνει μια «ιστορική σκιαγράφησή τους» και να τα κατανοήσει σε βάθος (δημοσιεύει τη μελέτη αργότερα, Faraday 1821-22; Nersessian, 1984; Gooding, 1990a). Σημειώνει τις παρατηρήσεις του στο «*Ημερολόγιο*» (Diary), το οποίο αποτελεί μια πραγματικά θαυμαστή οργάνωση διερεύνησης και δημιουργικής επιστήμης (Tweney, 1991).

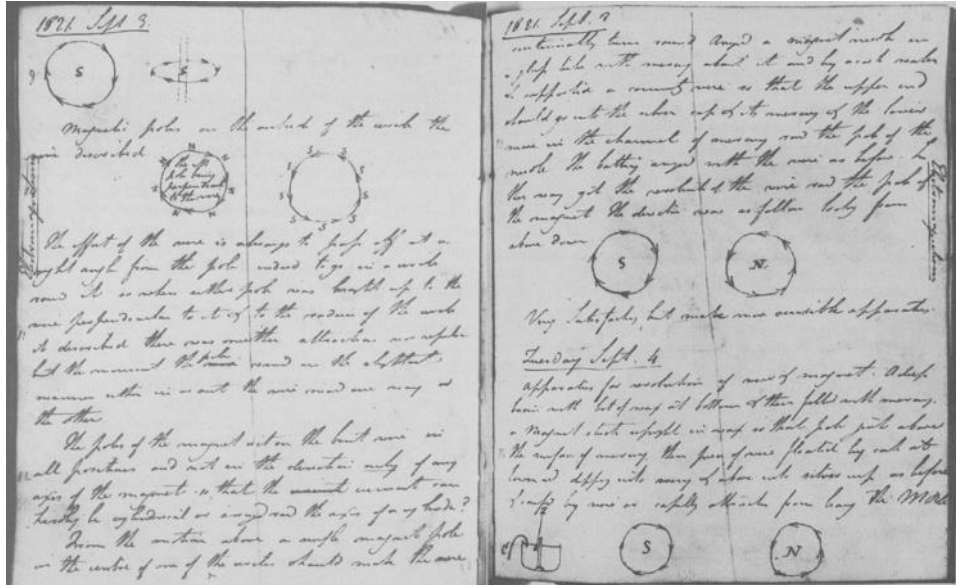


Στις 3 Σεπτεμβρίου του 1821, ξεκινά τους πειρατισμούς και τις σημειώσεις του, εξετάζοντας τη συμπεριφορά μαγνητικών βελόνων-μαγνητών και διαρρεόμενων αγωγών, σε διάφορες θέσεις μεταξύ τους, σε οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο. Φαίνεται να έφτανε στην άποψη ότι η επίδραση του μαγνήτη δεν θα έκανε το καλώδιο να περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του, όπως ισχυριζόταν ο Wollaston, αλλά θα το έκανε να κινείται παράπλευρα, από τη μία και την άλλη μεριά. Κατάφερε να αποδείξει αυτή την ιδέα του με ένα ευφάνταστο πείραμα. Κατασκεύασε μια διάταξη όπου ένα κατακόρυφο σύρμα ήταν στην πάνω μεριά γαντζωμένο και βυθισμένο σε δοχείο με υδράργυρο και στην κάτω μεριά,

μέσα σε ένα άλλο δοχείο, πάλι με υδράργυρο. Έτσι, το σύρμα μπορούσε να στρέφεται ελεύθερα και επίσης να συνδέεται με μία ηλεκτρική στήλη (μπαταρία). Όταν έφερνε ένα μαγνήτη κοντά στο σύρμα (καλώδιο), εκείνο, είτε πλησίαζε προς το μέρος του είτε απομακρυνόταν, ανάλογα με τον πόλο του μαγνήτη που προσέγγιζε. Όταν στη συνέχεια λύγισε το σύρμα σε σχήμα «Π», ώστε ο μαγνήτης να μπορεί να μπαίνει μέσα στο σύρμα, κοντά στη μέση του άξονά του, τότε εκείνο στρεφόταν έτσι, ώστε να πλησιάσει προς το μαγνήτη. Όταν αντέστρεφε γρήγορα το μαγνήτη, προσεγγίζοντας τον άλλο πόλο του στο σύρμα, εκείνο απομακρυνόταν γρήγορα (βλ. παραπάνω εικόνα, Russell, 2000, σ. 63). Εκτελώντας συνεχώς αυτή την εναλλαγή με το μαγνήτη, κατάφερε μια συνεχή κίνηση του λυγισμένου σύρματος. Αυτή ήταν και η πρώτη προσέγγιση του *ηλεκτρομαγνητικού στροφέα* (Gooding, 1990a; 1990b; Russell, 2000). Σημειώνει επίσης στο *Ημερολόγιό* του τον ισχυρισμό για τα καλώδια ότι «... αυτά καταδεικνύουν κινήσεις σε κύκλους γύρω από κάθε πόλο» του μαγνήτη. Αυτό φαίνεται να είναι μια διαίσθηση που θα επιβεβαιώνε μέσα από το επόμενο διάσημο πείραμα, που μάλλον όμως προέκυψε μέσα από εκείνα που μάθαινε και κατέγραφε στην πορεία των πειραμάτων αυτής της ημέρας (Gooding & James, 1985; Gooding, 1990b).

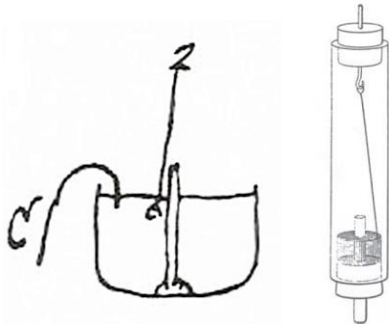
Στις επόμενες δύο σελίδες του *Ημερολογίου* της ίδιας μέρας (πρβλ. Εικ. 1) κατασκευάζει μία διάταξη για να διαπιστώσει αν ένα ηλεκτροφόρο καλώδιο μπορεί να περιστρέφεται γύρω από ένα σταθερό μαγνήτη (Martin, 1932-36/2008; Gooding, 1990b). Στερεώνει κατακόρυφα ένα κομμάτι σύρμα, πάνω σε ένα οριζόντιο άξονα, γαντζωμένο μέσα σε ένα δακτύλιο, προκειμένου να έχει δυνατότητα περιστροφής. Τοποθετεί ένα μαγνήτη μέσα σε ένα δοχείο και τον σταθεροποιεί στο κέντρο του με λίγο κερί. Στη συνέχεια, γαντζώνει ένα δεύτερο σύρμα μέσα στο δοχείο στο πλάι του και ρίχνει μέσα υδράργυρο μέχρι λίγο πιο κάτω από το ύψος του μαγνήτη. Συνδέει τον ένα πόλο της μπαταρίας με το μεταλλικό οριζόντιο άξονα στήριξης που κρέμεται το καλώδιο και τον άλλο πόλο με το γαντζωμένο καλώδιο, που βρίσκεται στο πλάι του δοχείου που περιέχει το μαγνήτη και τον υδράργυρο. Το κατακόρυφο σύρμα, που η άκρη του είναι βυθισμένη μέσα στον υδράργυρο και βρίσκεται σε μικρή ακτίνα μακριά από το μαγνήτη, αρχίζει να περιστρέφεται γύρω του! (βλ. ένα αρχικό του σκίτσο στην Εικ. 2. αριστερά). Ενθουσιάζεται, μάλλον, ο Faraday, αλλά σημειώνει στο *Ημερολόγιό* του με νόημα «πολύ ικανοποιητικό, αλλά να φτιάξω μια πιο κατανοητή συσκευή» (την επόμενη χρονιά κατασκεύασε κι εκείνη που υπάρχει στην Εικ. 3). Φαίνεται ότι, ακόμα και την επόμενη στιγμή αυτής της μεγάλης επιτυχίας του, σκέφτεται πώς θα κάνει κατανοητό στην κοινότητα το εύρημά του. Όντως κατασκευάζει μια βελτιωμένη συσκευή την επόμενη μέρα και λίγο αργότερα ένα μοντέλο μέσα σε ένα σωλήνα (βλ. αντίστοιχα Εικ. 2 δεξιά), στο οποίο αρκεί η προσθήκη υδράργυρου και η σύνδεση με μία μπαταρία για να δουλέψει (Gooding & James, 1985; Gooding, 1990b).

Εικ. 1: Οι δύο σελίδες από το «Ημερολόγιο» του Faraday, 3 Σεπτεμβρίου του 1821, οι οποίες απεικονίζουν τους πειραματισμούς της ημέρας και τα επεξηγηματικά σχήματα που καταλήγουν στην κατασκευή του ηλεκτρομαγνητικού στροφέα (Cantor *et al.*, 1991, σσ. 50-51).



Ο Faraday φαίνεται να έχει επίγνωση ότι η μελέτη αυτή θα του φέρει μεγάλη διεθνή αναγνώριση και καταξίωση και συνεχίζει να εργάζεται εντατικά για να δημοσιεύσει (Steinle, 1995). Μέσα σε μία εβδομάδα (11 Σεπτεμβρίου 1821) ολοκληρώνει μία 20σελιδή εργασία για δημοσίευση (Faraday, 1821). Ίσως πάνω στη βιασύνη του, λησμονεί να παραπέμψει στις αρχικές ιδέες του Wollaston περί περιστροφής του καλωδίου, αν και η ιδέα εκείνου αναφερόταν γύρω από τον άξονά του, ενώ ο Faraday ενδιαφερόταν και διατύπωνε εικασίες για άλλα, πρωτόγνωρα είδη κινήσεων περιφοράς του καλωδίου, έξω από το γνωστό πλαίσιο της εποχής (Nersessian, 1984; Steinle, 1995). Έτσι, κατηγορείται για πλαгиαρισμό και ασέβεια προς τον Wollaston. Αντιμετωπίζει συνετά τις κατηγορίες, με αλληλογραφία και συναντήσεις και το ζήτημα παραμερίζεται, ακόμα και από τον ίδιο τον Wollaston. Όμως, ο Davy, δύο χρόνια αργότερα (1823), δημοσιεύει και πάλι για το ζήτημα του πλαгиαρισμού και παράλληλα βάζει εμπόδια για την εκλογή του Faraday στη Royal Society, αλλά τελικά, ο άλλοτε βοηθός και συνεργάτης του, εκλέγεται πανηγυρικά ως μέλος, ίσως με μόνη τη δική του καταψήφιση (Russell, 2000; Cropper, 2001).

Εικ. 2: Το πρώτο σκίτσο που έφτιαξε ο Faraday για τον *ηλεκτρομαγνητικό στροφέα* (αριστερά) και το μοντέλο σε σωλήνα (δεξιά).



Εικ. 3: Μια αυθεντική συσκευή που είχε κατασκευάσει ο Faraday το 1822 (Royal Institution, Μουσείο Faraday).



(ΑΝΑ)ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ «*ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΣΤΡΟΦΕΑ*» ΤΟΥ FARADAY ΜΕ ΑΠΛΑ ΥΛΙΚΑ

Για μια σύγχρονη κατασκευή του *ηλεκτρομαγνητικού στροφέα* (μοτέρ) Faraday με απλά υλικά, χρησιμοποιείται η προσέγγιση των «αλουμινοκαλωδίων» για τα ηλεκτρικά κυκλώματα, όπου τα καλώδια που χρησιμοποιούνται για τις συνδέσεις είναι λωρίδες αλουμινόχαρτου πλάτους 5 εκ. περίπου, διπλωμένες 3 φορές στη μέση, κατά πλάτος (πρβλ. <http://efepereth.wikidot.com/aluminumwires-circuits>). Επίσης, το καλώδιο που περιστρέφεται γύρω από το μαγνήτη, βυθισμένο κατά ένα μικρό μέρος μέσα στο διάλυμα αλατόνευρου του δοχείου, είναι και εκείνο κατασκευασμένο από μία λωρίδα αλουμινόχαρτου (βλ. Εικ. 5).

Για την κατασκευή του *ηλεκτρομαγνητικού στροφέα* (μοτέρ) θα χρειαστούμε την ακόλουθη λίστα υλικών (βλ. επίσης Εικ. 4):

- ✓ ένα πλαστικό μπουκάλι του 1,5 λίτρου, για δεύτερη χρήση, από την ανακύκλωση
- ✓ ένα μεγάλο ποτήρι με νερό ή περίπου μισό μπουκάλι του 1,5 λίτρου, που κόβουμε από ένα δεύτερο μπουκάλι
- ✓ ένα μεγάλο καλαμάκι από σουβλάκι ή ένα λεπτό ξυλάκι με μήκος περίπου 30 εκ.
- ✓ ένα ρολό αλουμινόχαρτο κουζίνας, για να κόψουμε τις λωρίδες για τα [αλουμινοκαλώδια](#)
- ✓ κολλητική ταινία (σελοτέιπ) ή καλύτερα μονωτική ταινία
- ✓ αλάτι, όσο χωράει ένα μικρό ποτήρι κρασιού ή περίπου 12-15 κουταλιές του γλυκού
- ✓ ένα (ισχυρό) ραβδόμορφο κυλινδρικό [μαγνήτη AlNiCo](#)
- ✓ δύο μπαταρίες των 4,5 Volt (μεγάλες πλακέ), που θα συνδέσουμε με αλουμινοκαλώδιο στη σειρά
- ✓ κουτάλι για ανακάτεμα

- ✓ συνδετήρες απλούς μεταλλικούς και χωρίς μόνωση πλαστικού, κατά προτίμηση νούμερο 2
- ✓ λίγη απλή ή κολλητική πλαστελίνη
- ✓ χάρακα για να κόψουμε λωρίδες το αλουμινόχαρτο και να φτιάξουμε τα αλουμινοκαλώδια
- ✓ ψαλίδι ή κοπίδι
- ✓ μολύβι ή μαρκαδόρο

Εικ. 4: Τα απλά και καθημερινά υλικά που χρησιμοποιούμε για την κατασκευή του ηλεκτρομαγνητικού στροφέα (μοτέρ) Faraday. Χρειάζεται να προμηθευτούμε το μαγνήτη και τις μπαταρίες.

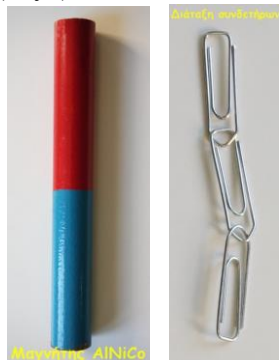


Εικ. 5: Ο ηλεκτρομαγνητικός στροφέας (μοτέρ) Faraday, με το αλατόνερο μέσα στο δοχείο με στερεωμένο το μαγνήτη και με συνδεδεμένες τις δύο μπαταρίες των 4,5 Volt στη σειρά με αλουμινοκαλώδια, έτοιμος για λειτουργία.



Το πλαστικό μπουκάλι νερού χρησιμοποιείται για βάση στήριξης του ηλεκτρομαγνητικού στροφέα (μοτέρ). Για άξονα στήριξης του καλωδίου που περιστρέφεται, χρησιμοποιούμε ένα ξύλινο καλαμάκι, με μήκος 30 εκ. περίπου, στο οποίο έχουμε τυλίξει με μία λωρίδα αλουμινόχαρτο, διαμορφώνοντας στη μία άκρη του ένα άγκιστρο στήριξης του καλωδίου (βλ. Εικ. 7). Για να διευκολύνουμε την περιστροφή του καλωδίου γύρω από το μαγνήτη κατασκευάζουμε ένα «στριφτάρι» με τρεις (3) μεταλλικούς συνδετήρες, περνώντας τον ένα μέσα στον άλλο σε μια ειδική διάταξη (βλ. Εικ. 6. αριστερά).

Εικ. 6: Κυλινδρικός μαγνήτης AlNiCo (αριστερά) & διάταξη συνδετήρων-στριφτάρι (δεξιά).

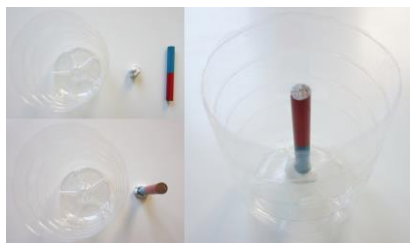


Εικ. 7: Κατασκευή άξονα στήριξης του καλωδίου, με ένα ξύλινο καλαμάκι ή λεπτό ξυλάκι, το οποίο τυλίγουμε με λωρίδα αλουμινόχαρτου και διαμορφώνουμε κατάλληλα ένα άγκιστρο στήριξης στην μία του άκρη.



Στη συνέχεια, χρησιμοποιούμε λίγη απλή ή κολλητική πλαστελίνη για να στερεώσουμε κατακόρυφα τον κυλινδρικό μαγνήτη AlNiCo (βλ. Εικ. 4, αριστερά) στη βάση ενός τμήματος πλαστικού μπουκαλιού 1,5 λίτρου, το οποίο έχουμε κόψει κατάλληλα έτσι, ώστε να είναι 1-2 εκ. ψηλότερο από τον τοποθετημένο μαγνήτη (βλ. Εικ. 8). Έπειτα, διπλώνουμε μια λωρίδα αλουμινόχαρτου στη μέση κατά μήκος και άλλη μια φορά στη μέση κατά πλάτος, προκειμένου να φτιάξουμε το «καλώδιο», που θα βυθίσουμε και θα στερεώσουμε στο πλάι του δοχείου, εκεί όπου πρωτύτερα τοποθετήσαμε το μαγνήτη (βλ. Εικ. 9).

Εικ. 8: Τοποθέτηση του κυλινδρικού μαγνήτη AlNiCo μέσα στο δοχείο, που αργότερα ρίχνουμε και το αλατόνερο.



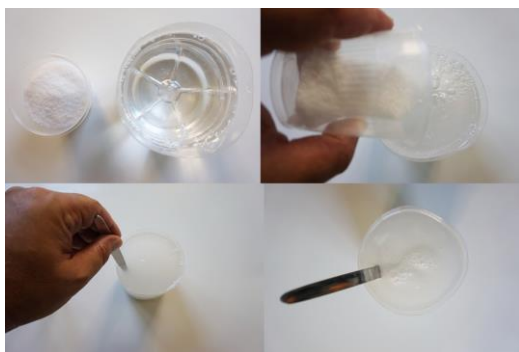
Εικ. 9: Διαμόρφωση λωρίδας αλουμινόχαρτου και στήριξη της στο πλάι του δοχείου με το μαγνήτη, που αργότερα ρίχνουμε και το αλατόνερο.



Για να κατασκευάσουμε το καλώδιο που θα περιστρέφεται γύρω από το μαγνήτη χρησιμοποιούμε ένα αλουμινοκαλώδιο, το οποίο κάνουμε λίγο λεπτότερο, διπλώνοντας το άλλη μια φορά στη μέση κατά πλάτος ή συμπιέζοντάς το με τα δάχτυλά μας του δίνουμε ένα κυλινδρικό σχήμα. Το αλουμινοκαλώδιο αυτό, από τη μία μεριά το ενώνουμε με το στριφτάρι των συνδετήρων, τσακίζοντας λίγο και γαντζώνοντάς το στον τελευταίο συνδετήρα που κρέμεται και από την άλλη το αφήνουμε να πέφτει ελεύθερα, 1-2 εκ. κάτω από το άκρο του κατακόρυφα τοποθετημένου μαγνήτη εντός του δοχείου (βλ. Εικ. 8 και 5). Επιπλέον, ετοιμάζουμε το διάλυμα πυκνού αλατόνευρου, ρίχνοντας ένα μικρό ποτήρι με αλάτι (ή 12-15 κουταλιές του γλυκού) σε νερό, μέσα σε ένα μεγάλο πλαστικό ποτήρι ή σε ένα δεύτερο δοχείο από μπουκάλι που κατασκευάζουμε και ανακατεύουμε καλά με ένα κουτάλι (βλ. Εικ. 10).

Σε αυτή τη φάση, κάνουμε τις συνδέσεις μας, ξεκινώντας από τις δύο μπαταρίες των 4,5 Volt που συνδέουμε στη σειρά με ένα αλουμινοκαλώδιο, από τον αρνητικό πόλο της μιας στο θετικό πόλο της άλλης ή/και αντίστροφα. Έπειτα, με ένα ακόμα αλουμινοκαλώδιο, συνδέουμε τον ελεύθερο πόλο της μίας μπαταρίας με τον άξονα στηρίξης του καλωδίου, πιάνοντάς το με ένα μεταλλικό συνδετήρα πάνω στο αλουμινοχαρτό. Ανακατεύουμε ξανά το διάλυμα του αλατόνευρου και το ρίχνουμε μέσα στο δοχείο με το στερεωμένο μαγνήτη και το διπλωμένο αλουμινοχαρτό που στηρίζεται στο πλάι του. Τέλος, συνδέουμε τον ελεύθερο πόλο της δεύτερης μπαταρίας με το διπλωμένο αλουμινοχαρτό του δοχείου με το μαγνήτη, που πλέον περιέχει και το αλατόνευρο και ολοκληρώνεται το κύκλωμά μας (βλ. Εικ. 11). Περισσότερες φωτογραφίες και βίντεο από την (ανα)κατασκευή του *μαγνητικού στροφέα* (μοτέρ) του Faraday με απλά υλικά στην τάξη υπάρχουν στο wiki του Εργαστηρίου ΦΕ (πρβλ. URL: <http://efepereth.wikidot.com/faraday-motor-with-saltwater>).

Εικ. 10: Διάλυμα πυκνού αλατόνευρου με 12-15 κουταλιές αλατιού (ή μικρό ποτήρι του κρασιού) μέσα σε δοχείο με περίπου μισό λίτρο νερό.



Εικ. 11: Οι συνδέσεις του *μοτέρ Faraday* με αλατόνευρο, όπως περιγράφονται και στο κείμενο. Η περιστροφή έχει αρχίσει!



Στο σημείο αυτό, πολλά ερωτήματα μπορούν να συζητηθούν με τα παιδιά στην τάξη, είτε σε ομάδες είτε σε ολομέλεια, όπως ενδεικτικά τα ακόλουθα:

- Τι παρατηρείτε ότι συμβαίνει στο καλώδιο που κρέμεται και βρίσκεται κοντά στο μαγνήτη και μέσα στο διάλυμα του αλατόνευρου;
- Μπορείτε να περιγράψετε την κίνηση που κάνει;
- Πώς είναι αυτή η κίνηση σε σχέση με το μαγνήτη;
- Τι νομίζετε ότι συμβαίνει στο καλώδιο και κάνει αυτή την κίνηση;
- Παρατηρείτε κάτι να γίνεται μέσα στο διάλυμα του αλατόνευρου;
- Αν συνδέσετε με διαφορετικό τρόπο (ανάποδα) τις μπαταρίες, αλλάζει η κίνηση του καλωδίου;
- Το καλώδιο που κρέμεται μπορεί να συνεχίσει να περιστρέφεται για πολλή ώρα;

Τα ερωτήματα γίνονται πιο δύσκολα όταν εισάγεται το «γιατί νομίζετε ότι συμβαίνει αυτό;» και τα παιδιά καλούνται να δώσουν εξηγήσεις, να συζητήσουν τις απόψεις και τα επιχειρήματά τους μέσα στην τάξη και οι εκπαιδευτικοί να τα διαχειριστούν κατάλληλα.

Για την διεξαγωγή αυτού του εργαστηρίου στην τάξη, τα παιδιά καλό θα είναι να έχουν εξοικειωθεί με ηλεκτρικά κυκλώματα και τις συνδέσεις των μερών τους (π.χ. στην Ε΄ τάξη). Ενδιαφέρον παρουσιάζει η χρήση του αλατόνευρου ως αγώγιμου διαλύματος για το κύκλωμα του *ηλεκτρομαγνητικού στροφέα*, με μια μακροσκοπική προσέγγιση της *ηλεκτρόλυσης* (τους νόμους και την ορολογία της άλλωστε έχει διατυπώσει αρχικά ο Faraday), η οποία διεξάγεται στο δοχείο, με ορατά ορισμένα χαρακτηριστικά της, που ενδέχεται να συζητηθούν ποιοτικά στην τάξη (αέρια που βγαίνουν στα αλουμινοαλώδια, φθορά ή κιτρίνισμα του αλουμινοχαρτου, θόλωμα του αλατόνευρου κ.α.).

Εικ. 12: Ομάδα παιδιών ετοιμάζει το διάλυμα του αλατόνευρου και το ρίχνει μέσα στο δοχείο με το μαγνήτη.



Εικ. 13: Μία άλλη ομάδα παιδιών ρίχνει μέσα στο δοχείο το διάλυμα του αλατόνευρου και ολοκληρώνει τις συνδέσεις.



ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Μελετώντας το γνωσιοθεωρητικό υπόβαθρο της ανακάλυψης του *ηλεκτρομαγνητικού στροφέα*, ο Faraday φαίνεται να μαθαίνει μέσα από τις διερευνητικές διαδικασίες πάνω στην πειραματική προσέγγιση και επιπλέον «δημιουργεί τα φαινόμενα προς μελέτη», συχνά με κατάλληλους χειρισμούς, όπως η διάταξη των καλωδίων και των μαγνητών στο χώρο, που ενδέχεται να ευνοούνται και από τις συγκυρίες (Gooding, 1990a; 1990b; Steinle, 1995). Μετασχηματίζοντάς αυτό το πλαίσιο στη σχολική τάξη, φαίνεται να προωθούμε τη διερεύνηση και τον κριτικό αναστοχασμό μέσα στην πράξη και πάνω στην πράξη, με στοιχεία αυθεντικής επιστήμης και μέσα σε ένα πλαίσιο αφήγησης που ανακλά τη σπουδαιότητα εγχειρήματος στις σύγχρονες εφαρμογές της καθημερινής χρήσης. Η προσέγγιση αυτή αποτελεί επίσης ένα ενδιαφέρον παράδειγμα περιεχομένου για μια πρόταση επιμόρφωσης των εκπαιδευτικών για έννοιες της φύσης της επιστήμης (Πήλιουρας *et al.* 2016), με στόχο την επαγγελματική ανάπτυξη στις σύγχρονες προσεγγίσεις του διδακτικού σχεδιασμού και της εκπαιδευτικής αυτονομίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Binnie, A. (2001). Using the History of Electricity and Magnetism to Enhance Teaching. *Science & Education* 10: 379–389.
- Cantor, G., Gooding, D. & James, F.A.J.L. (1991). *Faraday*. London: MacMillan Education LTD.
- Cropper, W.H. (2001). *Great Physicists: The Life and Times of Leading Physicists from Galileo to Hawking*. Oxford: Oxford University Press.
- Faraday, M. (1821). On some new electromagnetical motions, and on the theory of magnetism. *Quarterly Journal of Science and Art*, 12: 74-96.
- Faraday, M. (1821-1822). Historical sketch of electro-magnetism. *Annals of Philosophy*, 18: 195-200, 274-90; 19: 107-21.
- Gooding, D, & James, F.A.J.L. (eds.). (1985). *Faraday Rediscovered: Essays on the Life and Work of Michael Faraday, 1791-1867*. London: The MacMillan Press LTD.
- Gooding, D. (1990a). Mapping experiment as a learning process: How the first electromagnetic motor was invented. *Science Technology and Human Values*, 15: 165-201.
- Gooding, D. (1990b). *Experiment and the Making of Meaning: Human Agency in Scientific Observation and Experiment*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Gribbin, J & Gribbin, M. (1997). *Faraday (1791-1867) in 90 minutes*. India: Universities Press.
- Martin, T. (1932-36/2008). *Faraday's Diary. Being the various philosophical notes of experimental investigation made by Michael Faraday, DCL, FRS, during the years 1820-1862 and bequeathed by him to the Royal Institution of Great Britain, 7 Vols. and Index*, London: G. Bell & Sons.

- Nersessian, N.J. (1984). *Faraday to Einstein: Constructing Meaning in Scientific Theories*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Russell, C.A. (2000). *Michael Faraday: Physics and Faith*, Oxford: Oxford University Press.
- Steinle, F. (1995). Looking for a “Simple Case”: Faraday and Electromagnetic Rotation. *History of Science*, 33 (2): 179-202.
- Tweney, R. (1991). Faraday’s Notebooks: The Active Organization of Creative Science, *Physics Education*, 26: 301-306.
- Πήλιουρας, Π., Σταμούλης, Ε. Τσαγιώτης, Ν. & Πλακίτση, Κ. (2016). *Αρχές σχεδιασμού προγραμμάτων επιμόρφωσης εκπαιδευτικών στη Φύση των Φυσικών Επιστημών*. Εισήγηση στο «2ο Πανελλήνιο Συνέδριο με Διεθνή Συμμετοχή για το Εκπαιδευτικό Υλικό στα Μαθηματικά και τις Φυσικές Επιστήμες», 14-16 Οκτωβρίου (υπό έκδοση).
- Πλακίτση, Κ., Σπύρτου, Α., Καλογιαννάκης, Μ., Μαλανδράκης, Γ., Σούλιος, Γ., Κολιός, Ν., Ριζάκη, Α., Σταμούλης, Ε., Ζουπίδης, Α., Παπαδοπούλου, Π., Τσαπαρλής, Γ. (2011). *Πρόγραμμα Σπουδών Φυσικών Επιστημών Δημοτικού για το "Νέο Σχολείο"*. Αθήνα: Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής.
- Πλακίτση, Κ., Σπύρτου, Α., Καλογιαννάκης, Μ., Μαλανδράκης, Γ., Σούλιος, Γ., Κολιός, Ν., Ριζάκη, Α., Σταμούλης, Ε., Ζουπίδης, Α., Παπαδοπούλου, Π., Τσαπαρλής, Γ. (2014). *Πρόγραμμα Σπουδών Φυσικών Επιστημών Δημοτικού για το "Νέο Σχολείο": Οδηγός Εκπαιδευτικού για τις Φυσικές Επιστήμες στο Δημοτικό Σχολείο*. Αθήνα: Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής.
- Σταμούλης, Ε. & Πλακίτση, Κ. (2016). *Η διδασκαλία των ηλεκτρικών και μαγνητικών φαινομένων στο Νέο Πρόγραμμα Σπουδών: Μια προσέγγιση υπό το πρίσμα της θεωρίας της δραστηριότητας*. Εισήγηση στο «2ο Πανελλήνιο Συνέδριο με Διεθνή Συμμετοχή για το Εκπαιδευτικό Υλικό στα Μαθηματικά και τις Φυσικές Επιστήμες», 14-16 Οκτωβρίου (υπό έκδοση).