

Πειραματικός έλεγχος ενός φυσικού νόμου στο εργαστήριο νέων τεχνολογιών: η περίπτωση της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής

Κωνσταντίνος Παπαμιχάλης⁽¹⁾, Παναγιώτης Δημητριάδης^{(2)*}, Λαμπρινή Παπατσιμπα⁽¹⁾

⁽¹⁾Παιδαγωγικό Ινστιτούτο,

⁽²⁾ Εργαστήριο Φ.Ε., Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος, ΠΤΔΕ Πανεπιστημίου Αθηνών,
pdimitr@primedu.uoa.gr

Θεματική Ενότητα: Οι Νέες Τεχνολογίες στην αντιμετώπιση ειδικών διδακτικών αναγκών
Επίπεδο Εκπαίδευσης: Τριτοβάθμια εκπαίδευση, Κατάρτιση, Επιμόρφωση.
Κατηγορία Εργασίας: Εμπειρική - Πειραματική έρευνα

Περίληψη: Στην εργασία αυτή διερευνάται η στάση των φοιτητών Φυσικού τμήματος αναφορικά με την ερμηνεία των αποκλίσεων που εμφανίζονται μεταξύ των δεδομένων που λαμβάνουμε σε μια πειραματική διαδικασία και των αντίστοιχων θεωρητικών προβλέψεων. Συγκεκριμένα η παραπάνω στάση διερευνήθηκε σε φαινόμενα Η/Μ επαγωγής, που εμφανίζονται κατά την κίνηση ευθύγραμμου μαγνήτη κατά μήκος του άξονα συμμετρίας πηνίου. Αρχικά αναλύεται θεωρητικά το φαινόμενο και διατυπώνονται προβλέψεις. Στη συνέχεια, οι προβλέψεις αυτές ελέγχονται πειραματικά με χρήση αισθητήρων μέτρησης μαγνητικού πεδίου και ηλεκτρικής τάσης (Εργαστήριο Νέων Τεχνολογιών). Στα πλαίσια του Ε.Ν.Τ., τα δεδομένα καταγράφονται με τη μορφή γραφημάτων που προσφέρουν στους φοιτητές τη δυνατότητα να προβλέψουν και να επιβεβαιώσουν σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών. Όμως η διδασκαλία της Φυσικής σ' ένα περιβάλλον με τους φοιτητές σε ρόλο ερευνητών φέρνει στην επιφάνεια σημαντικά προβλήματα όπως, πώς ερμηνεύονται οι όποιες αποκλίσεις των πειραματικών δεδομένων από τις θεωρητικές προβλέψεις ή τότε μπορούμε να πούμε ότι επιβεβαιώνεται ή διαψεύδεται ένας φυσικός νόμος; Διαπιστώνεται ότι οι αποκλίσεις αποδίδονται συνήθως σε κάποια γενικά πειραματικά σφάλματα. Δεν επιχειρείται μια λεπτομερής θεωρητική ανάλυση του φαινομένου που μελετάται σε στενή σύνδεση με την χρησιμοποιούμενη πειραματική διάταξη και εν συνεχεία σύγκριση θεωρητικών προβλέψεων και πειραματικών δεδομένων.

Λέξεις Κλειδιά: Εργαστήριο Νέων Τεχνολογιών, Η/Μ επαγωγή, Πειραματικές αποκλίσεις

Abstract: In this paper, we examine electromagnetic induction phenomena arising from the movement of a bar magnet parallel to the axis of a solenoid, in order to compare the theoretical predictions of the electromagnetic theory for the relationship between the relevant physical quantities with the experimental results. We first make a theoretical analysis of the phenomenon and then the students make predictions which are later experimentally examined with the use of a voltage sensor and a magnetic field sensor (Microcomputer Based Laboratory-MBL). MBL permits the graphical display of the data, thus offering pupils the opportunity to predict and confirm the relationships between the variables.

But teaching physics by putting students in the active role of researchers, brings several problems into questions, such as how do students interpret the deviation of experimental results from the theoretical predictions or in which cases one can say that a physical law is verified or falsified. By examining students' attitudes towards these "errors", we realized that they consider them as due to some general experimental errors, without any attempt to make a theoretical analysis of the phenomenon in close relation with the experimental apparatus used and the consequent comparison between theoretical prediction and experimental data.

Εισαγωγή- Εκπαιδευτικό ενδιαφέρον

Η κεντρική θέση που κατέχει το πείραμα στην επιστημονική μέθοδο έχει οδηγήσει σ' ένα μακροχρόνιο προβληματισμό για τον τρόπο που αυτό είναι δυνατόν να ενσωματωθεί στην εκπαιδευτική πρακτική σε όλες εκπαιδευτικές βαθμίδες. Τα τελευταία χρόνια η ραγδαία ανάπτυξη των εφαρμογών της Ηλεκτρονικής έχει δημιουργήσει τις προϋποθέσεις για την αξιοποίηση/ ενσωμάτωση των Νέων Τεχνολογιών Πληροφορικής και στην πειραματική διαδικασία, αρχικά σε καθαρά ερευνητικό και στη συνέχεια σε εκπαιδευτικό επίπεδο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το εργαστήριο Νέων Τεχνολογιών (ΕΝΤ) που η χρήση του διαρκώς διευρύνεται στη διδασκαλία της Φυσικής. Με όρο ΕΝΤ εννοούμε πειραματικές διατάξεις που περιλαμβάνουν αισθητήρες μέτρησης φυσικών μεγεθών, τα δεδομένα των οποίων μέσω του κατάλληλου διαμεσολαβητή (interface) διαβιβάζονται στον Ηλεκτρονικό Υπολογιστή.

Με αυτό τον τρόπο τα αναλογικά δεδομένα που συλλέγονται γι' ένα φυσικό σύστημα, μετατρέπονται σε ψηφιακά δεδομένα εισόδου στον Η/Υ και με χρήση κατάλληλου λογισμικού κατασκευάζεται μια γραφική απεικόνιση της εξέλιξής τους (ένα γραφικό μοντέλο του συστήματος) σε πραγματικό χρόνο. Η εκπαιδευτική αξιοποίηση της παραπάνω διαδικασίας αναδεικνύει τον Η/Υ σε ένα ισχυρό διδακτικό εργαλείο στα χέρια όσων ασχολούνται με την διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών. Ο τρόπος με τον οποίο το Ε.Ν.Τ. επηρεάζει τη διαδικασία μάθησης στις Φ.Ε. έχει διερευνηθεί υπό το φως των νέων γνωστικών θεωριών σύμφωνα με τις οποίες, αξιοποιώντας το Ε.Ν.Τ., οι μαθητές- φοιτητές έχουν την δυνατότητα να δράσουν ως δόκιμοι ερευνητές. (Gil – Perez and Garrascosa-Allis 1994). Ειδικότερα στα πλαίσια του Ε.Ν.Τ., η σύγχρονη λήψη των πειραματικών δεδομένων και η απόδοσή τους με τη μορφή γραφημάτων προσφέρει στους σπουδαστές τη δυνατότητα να προβλέψουν σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών και να επιβεβαιώσουν τον χαρακτήρα αυτών των σχέσεων έτσι ώστε τελικά να διευκολύνεται η κατανόηση των φυσικών εννοιών (P. Dimitriadis, L. Papatsimpa, G. Kalkanis 2000). Όμως η διδασκαλία της Φυσικής σ' ένα περιβάλλον με στοιχεία αυθεντικής επιστημονικής

έρευνας με τους φοιτητές στο ρόλο των ερευνητών φέρνει στην επιφάνεια μερικά από τα πιο σημαντικά προβλήματα που αναφέρονται κατά την εφαρμογή της επιστημονικής μεθόδου.

Ποια είναι τα όρια ακριβείας ενός πειράματος, πώς ερμηνεύονται οι όποιες αποκλίσεις των πειραματικών δεδομένων από τις θεωρητικές προβλέψεις, πότε μπορούμε να πούμε ότι επιβεβαιώνεται ή διαψεύδεται ένας φυσικός νόμος; Επιπλέον αυτό που είναι ενδιαφέρον να ερευνηθεί από εκπαιδευτική σκοπιά είναι η στάση των φοιτητών φυσικής και άρα μελλοντικών δασκάλων των Φυσικών Επιστημών απέναντι στις όποιες αποκλίσεις. Αποδίδονται αυτές συνήθως αβασάνιστα σε κάποια γενικά όσο και μυστηριώδη πειραματικά σφάλματα ή επιχειρείται μια λεπτομερής θεωρητική ανάλυση του φαινομένου που μελετάται σε στενή σύνδεση με την χρησιμοποιούμενη πειραματική διάταξη και εν συνεχεία σύγκριση θεωρητικών προβλέψεων και πειραματικών δεδομένων;

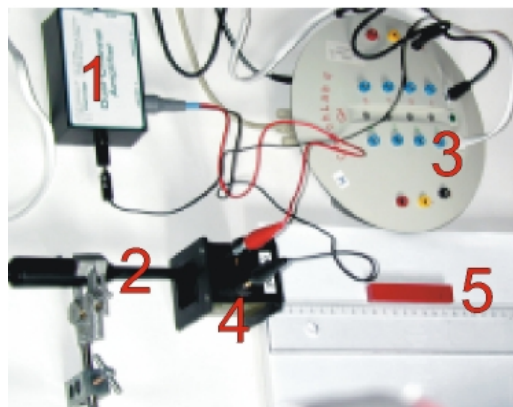
Το πρόβλημα αυτό παρουσιάζεται πολύ συχνά όταν επιχειρείται η «επιβεβαίωση» ενός φυσικού νόμου με έμμεσο τρόπο χωρίς δηλαδή άμεση μέτρηση των φυσικών μεγεθών που υπεισέρχονται σ' αυτό τον νόμο. Για παράδειγμα σχετικά με το φαινόμενο της Ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, που μελετάται σ' αυτή την εργασία, έχουν γίνει αξιόλογες προσπάθειες πειραματικής διερεύνησης του νόμου του Faraday (R. Trumber and M. Gelban 2000), όπου υιοθετείται, χωρίς ευρύτερη συζήτηση, η άποψη ότι το μαγνητικό πεδίο σ' ένα δευτερεύον πηνίο είναι ανάλογο της έντασης του ρεύματος που διαρρέει το πρωτεύον με το οποίο βρίσκεται σε επαφή και επιπλέον ότι η ροή που διέρχεται από το πρωτεύον είναι ανάλογη με την ένταση του παραπάνω ρεύματος!

Εφαρμογή και αποτελέσματα

Για παράδειγμα σ' ένα πείραμα επιβεβαίωσης του νόμου του Faraday πως θα δικαιολογούσε κανείς την πειραματικά παρατηρούμενη διαφορά φάσης μεταξύ του ρυθμού μεταβολής της έντασης του μαγνητικού πεδίου, μέσα στο οποίο βρίσκεται το πηνίο και της επαγόμενης σ' αυτό Ηλεκτρεγερτικής δύναμης; Μήπως δεν ισχύει ο νόμος του Faraday σ' αυτή την περίπτωση (τουλάχιστον με απόλυτη ακρίβεια); Ποια είναι η απάντηση φοιτητών Φυσικής στο παραπάνω ερώτημα; Αυτό το πρόβλημα διερευνήθηκε στα πλαίσια της παρούσας έρευνας στην οποία έλαβαν μέρος 90 δευτεροετείς φοιτητές του Φυσικού τμήματος που παρακολουθούσαν ένα μάθημα με τίτλο: «Μέθοδοι διδασκαλίας φυσικής και με χρήση Νέων Τεχνολογιών Πληροφόρησης».

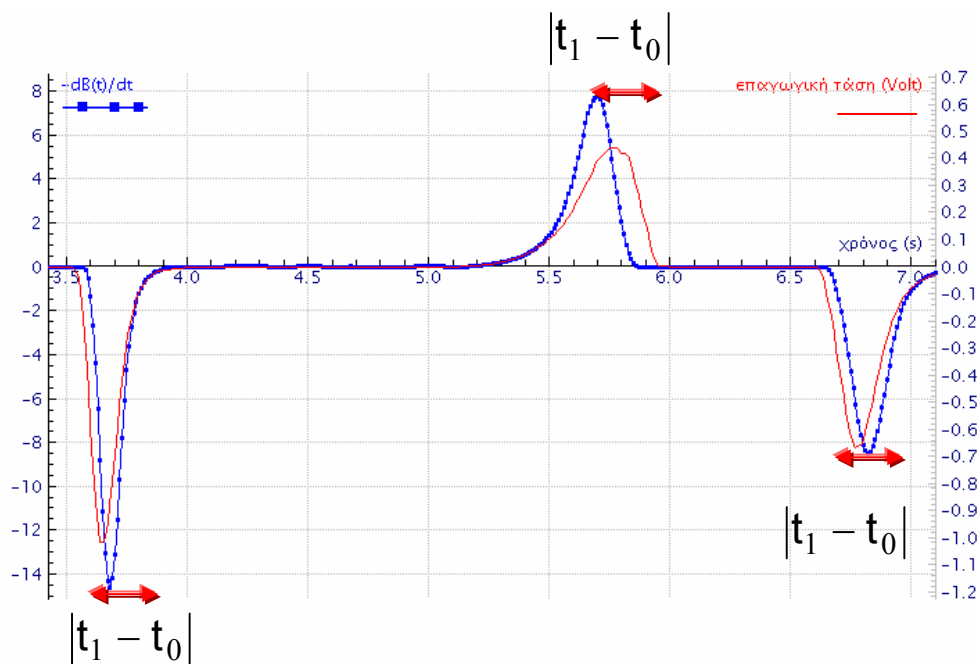
Στην πειραματική επαλήθευση του νόμου του Faraday για την Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή χρησιμοποιήθηκε η εικονιζόμενη πειραματική διάταξη, που περιλαμβάνει: ένα πηνίο 24 000 σπειρών και μήκους $L=6,5\text{cm}$ (ΗΛ 370.0), ραβδόμορφο μαγνήτη (MA 005.0), χάρακα 30 cm, σύστημα συγχρονικής λήψης και απεικόνισης, αισθητήρα μαγνητικού πεδίου, αισθητήρα ηλεκτρικής τάσης και καλώδια.

Στην εικόνα 2 δείχνεται ένα από τα γραφήματα, που απεικονίζονταν στην οθόνη του Η/Υ κατά τη διάρκεια του πειράματος, στο οποία απεικονίζεται η επαγόμενη τάση (Ηλεκτρεγερτική δύναμη) στο πηνίο και ο ρυθμός μεταβολής του μαγνητικού πεδίου ως συνάρτηση του χρόνου .



Εικόνα 1: Η πειραματική διάταξη.

Διακρίνονται ο αισθητήρας ηλεκτρικής τάσης (1), μαγνητικού πεδίου (2), η κεντρική κονσόλα του συστήματος (3), πηνίο (4) και ο μαγνήτης (5).



Εικόνα 2: Γράφημα ρυθμού μεταβολής μαγνητικού πεδίου-χρόνου και επαγόμενης τάσης-χρόνου

Στη συνέχεια δόθηκε στους φοιτητές το παρακάτω ερωτηματολόγιο:

Παρατηρώντας προσεκτικά τα γραφήματα της εικόνας 2 ποια από τις παρακάτω απόψεις θεωρείτε επιστημονικά ορθή; Να αιτιολογήσετε όσο το δυνατόν πληρέστερα την απάντησή σας.

A) Επιβεβαιώνεται η ισχύς του νόμου του Faraday

B) Δεν ισχύει ο νόμος του Faraday σ' αυτή την διαδικασία

Γ) Υπάρχουν πειραματικά σφάλματα

Δ) Οι αισθητήρες δεν μετρούν σωστά τις τιμές των μεγεθών

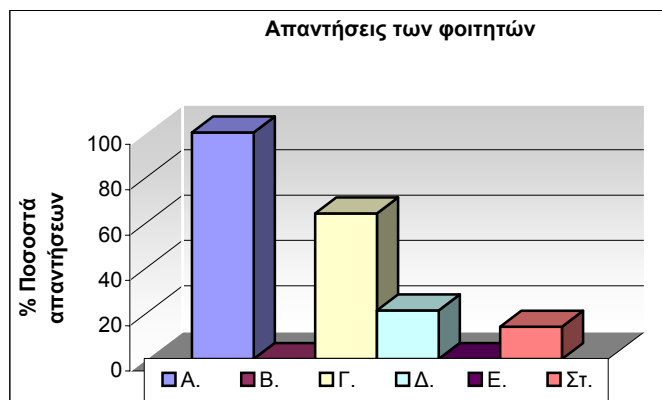
E) Το λογισμικό του συστήματος δεν υπολογίζει σωστά τον ρυθμό μεταβολής $\frac{dB}{dt}$ ή/ και δεν σχεδιάζει σωστά τα

γραφήματα

Στ) Άλλο. Εξηγήστε τι νομίζεται ότι συμβαίνει σ' αυτή την περίπτωση.

Στο ιστόγραμμα της εικόνας 3 απεικονίζονται οι απαντήσεις των φοιτητών.

Παρατηρούμε ότι κανείς από τους φοιτητές δεν αμφισβήτησε την ισχύ του νόμου. Ένα ποσοστό 64% απέδωσε την διαφορά φάσης μεταξύ του ρυθμού μεταβολής του μαγνητικού πεδίου και της επαγόμενης τάσης σε



Εικόνα 3: Απαντήσεις των φοιτητών

πειραματικά σφάλματα, ενώ ένα ποσοστό 21% σε ατέλειες του λογισμικού ή των αισθητήρων. Από τους φοιτητές που απέδωσαν την διαφορά φάσης στα πειραματικά σφάλματα το 78% (50% επί του συνόλου των φοιτητών) θεώρησε ότι αυτά οφείλονται σε ατέλειες της πειραματικής διάταξης ενώ το 22% (14% επί του συνόλου) σε άλλα φαινόμενα που συμβαίνουν κατά την εκτέλεση του πειράματος πχ φαινόμενο αυτεπαγωγής, αντίσταση του πηνίου, πεπερασμένη ταχύτητα διάδοσης αλληλεπιδράσεων, κα. Ένα ποσοστό 14% απέδωσε την διαφορά φάσης σε άλλους λόγους. Από τους φοιτητές αυτούς ένα ποσοστό 40% (5,6% επί του συνόλου) κινήθηκε προς την σωστή κατεύθυνση

προκειμένου να ερμηνεύσει τη διαφορά φάσης, δηλαδή προς την κατεύθυνση του τι ακριβώς μετρά ο αισθητήρας του μαγνητικού πεδίου και πρότεινε το θεωρητικό υπολογισμό της μαγνητικής ροής που διέρχεται από τον πηνίο και την συσχέτισή της με τον ρυθμό μεταβολής του μαγνητικού πεδίου σ' ένα σημείο του πηνίου. Ακόμη όμως και αυτοί οι φοιτητές θεώρησαν ότι η καθυστέρηση οφείλεται σε φαινόμενα αυτεπαγωγής και όχι

στο γεγονός ότι το πηνίο έχει πεπερασμένο μήκος οπότε το μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του δεν είναι ομογενές.

Συμπεράσματα – εκπαιδευτικές επιπτώσεις

Τα παραπάνω αποτελέσματα αποτελούν μια ένδειξη του γεγονότος ότι η εκπαίδευση των φοιτητών και μελλοντικών δασκάλων των Φυσικών Επιστημών στη Φυσική δεν τους βοηθά προς την κατεύθυνση της εφαρμογής της επιστημονικής μεθόδου όσο αφορά στην ανάγνωση και την ανάλυση των πειραματικών δεδομένων. Σήμερα είναι ευρέως αποδεκτό ότι η εκπεφρασμένη διδασκαλία στοιχείων από την επιστημονική μεθοδολογία (Adb-el-Khalik & Lederman, 2000) πρέπει να αποτελεί μια από τις βασικές κατευθύνσεις στην εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες τόσο στην Πρωτοβάθμια όσο και στη Δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Η ανάγνωση και ανάλυση των πειραματικών δεδομένων, η διατύπωση προτύπων για την ερμηνεία τους και ο έλεγχος της ισχύος τους αποτελούν κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά της επιστημονικής μεθόδου (Millar, R. & Osborne, J.F., 1998.; American Association for Advancement of Science, 1993; American Association for Advancement of Science, 1998). Κατά την δική μας αντίληψη, η διδασκαλία των στοιχείων της επιστημονικής μεθόδου απαιτεί δασκάλους που να την έχουν ενσωματώσει στη δική τους πρακτική. Επομένως η μη εξοικείωση με τα παραπάνω χαρακτηριστικά της επιστημονικής μεθόδου των μελλοντικών δασκάλων των Φυσικών Επιστημών, κατά την διάρκεια των σπουδών τους, αποτελεί σημαντική αδυναμία του εκπαιδευτικού συστήματος.

Θεωρητική ανάλυση του φαινομένου

Ο μαγνητικός αισθητήρας μετρά τη συνιστώσα του μαγνητικού πεδίου, που έχει την κατεύθυνση του άξονα συμμετρίας του αισθητήρα. Η μέτρηση γίνεται στο άκρο του αισθητήρα. Γι' αυτό, τον τοποθετούμε μέσα στο πηνίο, με τον άξονά του κάθετο στις σπείρες, και παράλληλο με τον άξονα συμμετρίας του πηνίου. Τοποθετούμε το χάρακα παράλληλα με τον άξονα συμμετρίας του πηνίου, έτσι ώστε να μπορούμε να κινούμε με το χέρι μας το μαγνήτη παράλληλα με αυτόν. Το μήκος της μέγιστης μετατόπισης του μαγνήτη είναι περίπου 20 cm, από το πλησιέστερο προς αυτόν άκρο του. Η σχηματική απεικόνιση της διάταξης φαίνεται στην εικόνα 4. Τα μήκη και οι μετατοπίσεις μετρώνται με σημείο αναφοράς το πλέον απομακρυσμένο από το μαγνήτη άκρο του πηνίου (σημείο O).

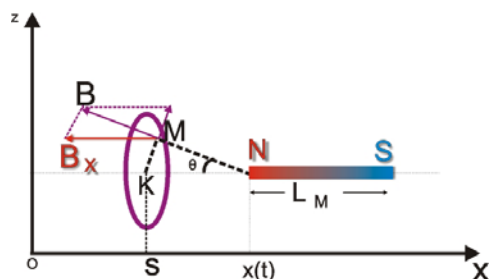
Ο γενικός νόμος που περιγράφει τα φαινόμενα της Η/Μ επαγωγής σε κυκλώματα, όπως αυτό που χρησιμοποιούμε στην πειραματική μας διάταξη, είναι ο νόμος του Faraday: Η επαγόμενη τάση (V) στο πηνίο

είναι ανάλογη του ρυθμού μεταβολής της μαγνητικής ροής (Φ) που διέρχεται απ' αυτό: $V = -\frac{d\Phi}{dt}$ (1). Άρα ο

πειραματικός έλεγχος του νόμου του Faraday απαιτεί την ταυτόχρονη μέτρηση της επαγόμενης στο κύκλωμα τάσης, V και του ρυθμού μεταβολής, $d\Phi/dt$, της ολικής μαγνητικής ροής που το διαπερνά (Redish, E.F. at all 1997, Rogers, L.T. 1995, Thornton, R.K. 1998).

Τι μετρά ο αισθητήρας τάσης;

Ο αισθητήρας τάσης, μετρά την επαγόμενη τάση (V) στο κύκλωμα, σε συνάρτηση με το χρόνο. Το σύστημα έχει ρυθμιστεί, ώστε να λαμβάνει 100 μετρήσεις ανά δευτερόλεπτο (μία μέτρηση κάθε 0,01s). Η ολική διάρκεια των μετρήσεων είναι 15s ή 20s. Μέσω του λογισμικού, λαμβάνουμε αμέσως τη γραφική παράσταση της πειραματικής καμπύλης $V=V(t)$.

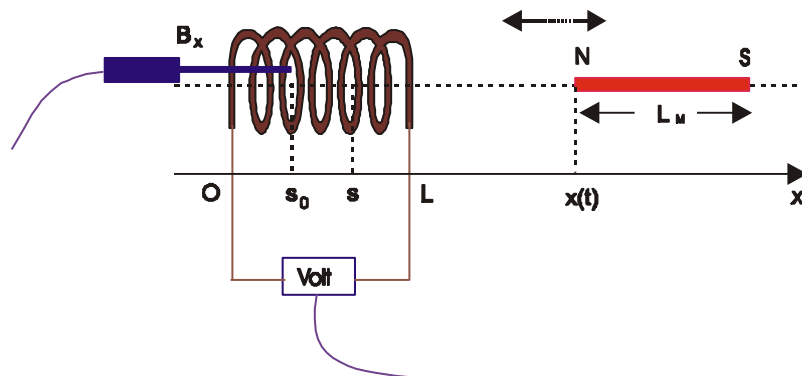


Εικόνα 5: Υπολογισμός μαγνητικής ροής που διέρχεται από μια σπείρα

Τι μετρά ο μαγνητικός αισθητήρας;

Ο μαγνητικός αισθητήρας, αντίθετα με την επιθυμία μας, δεν μετρά την ολική μαγνητική ροή (Φ) που διέρχεται από το πηνίο. Μετρά τη συνιστώσα B_x κατά μήκος του άξονα Ox , του μαγνητικού πεδίου που υπάρχει στο άκρο του αισθητήρα κάθε χρονική στιγμή (εικόνα 4).

Δεδομένου μάλιστα, ότι το μαγνητικό πεδίο του ραβδόμορφου μαγνήτη είναι ανομοιογενές, καθίσταται αναγκαίο να μελετήσουμε τη σχέση που υπάρχει μεταξύ του B_x και της ολικής ροής Φ , για κάθε χρονική στιγμή. Στη συνέχεια, προσδιορίζουμε θεωρητικά τη σχέση του ρυθμού μεταβολής dB_x/dt με το $d\Phi/dt$, ώστε να δούμε



Εικόνα 4: Σχηματική απεικόνιση της διάταξης.

κάτω από ποιες συνθήκες και προϋποθέσεις και με ποιο τρόπο νομιμοποιούμαστε να συγκρίνουμε τις πειραματικές καμπύλες $V=V(t)$ και $\frac{dB_x}{dt} = \frac{dB_x}{dt}(t)$, προκειμένου να εξάγουμε ορθά συμπεράσματα.

Ισχύει για τη ροή που διέρχεται από τη μια σπείρα:

$$\Phi_1(s, t) = \int_S B_x(r, x-s) dA = \bar{B}_x(x-s) \cdot A$$

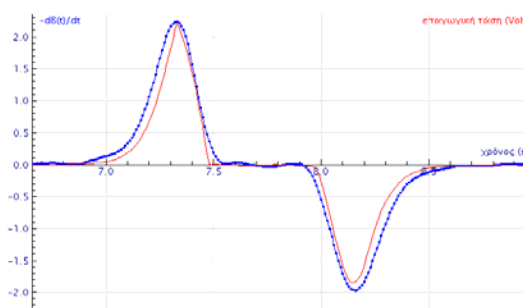
Όπου: $\bar{B}_x(x-s) = B_x(0, 7 \cdot R, x-s)$

Επομένως η ολική μαγνητική ροή δίδεται από τη σχέση:

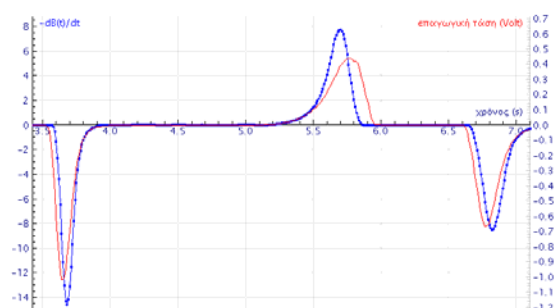
$$\Phi(t) = \int_0^L \bar{B}_x(x-s) A dN = \frac{AN}{L} \int_0^L \bar{B}_x(x-s) ds \quad \text{Αρα: } \frac{d\Phi}{dt} = -A \cdot N \cdot v(t) \cdot \left. \frac{\partial \bar{B}_x(x-s)}{\partial s} \right|_{s=s_1}$$

Προκύπτει ότι: $|t_1 - t_0| = \left| \frac{s_1 - s_0}{v_0} \right|$ (2), όπου t_0, t_1 είναι οι χρονικές στιγμές όπου γίνονται μέγιστοι οι ρυθμοί

μεταβολής του B και της Φ , s_0 είναι η θέση που έχει τοποθετηθεί ο μαγνητικός αισθητήρας, s_1 η θέση όπου το B_x συμπίπτει με τη μέση τιμή του B_x , v_0 η μέγιστη ταχύτητα κίνησης του μαγνήτη. Αν ο μαγνητικός αισθητήρας έχει τοποθετηθεί ακριβώς στο ένα από τα δύο άκρα του πηνίου ($s_0=0$ ή L), τότε το δεύτερο μέρος της (2) είναι



Εικόνα 6: Ο μαγνητικός αισθητήρας έχει τοποθετηθεί περίπου στο μέσον του πηνίου.



Εικόνα 7: Ο μαγνητικός αισθητήρας έχει τοποθετηθεί στο άκρο $s_0=L$, του πηνίου.

περίπου ίσο με $L/2v_0$ όταν η ταχύτητα του μαγνήτη ως προς το πηνίο κυμαίνεται περίπου μεταξύ των τιμών 80 και 100 cm/s. Έτσι, για $L \approx 7$ cm, από τη σχέση (2) προκύπτει ότι η τάξη μεγέθους της αναμενόμενης χρονικής

μετατόπισης των αντίστοιχων μεγίστων είναι 0,05 ή 0,04s. Στα πλαίσια της προσέγγισης μας, και κάτω από τις αναφερόμενες προϋποθέσεις λειτουργίας της πειραματικής μας διάταξης, η χρονική μετατόπιση θα πρέπει να μειώνεται όταν αυξάνουμε τη μέγιστη ταχύτητα κίνησης του μαγνήτη.

Πειραματικά αποτελέσματα – Σύγκριση των θεωρητικών προβλέψεων με τα πειραματικά δεδομένα

Στη συνέχεια παρατίθενται πειραματικές καμπύλες που προέκυψαν από τη διεξαγωγή του πειράματος, κάτω από τις συνθήκες που περιγράφηκαν στα προηγούμενα. Οι καμπύλες έχουν ληφθεί για τρεις διαφορετικές θέσεις του μαγνητικού αισθητήρα: κοντά στο μέσον του πηνίου και στα δύο άκρα του.

Πειραματικές καμπύλες: Η καμπύλη με τις τελείες δείχνει το ρυθμό μεταβολής του μετρούμενου μαγνητικού πεδίου και η άλλη, τη μετρούμενη επαγωγική τάση, σε συνάρτηση με το χρόνο.

Στην εικόνα 6 ο μαγνητικός αισθητήρας έχει τοποθετηθεί σχεδόν στο μέσον του πηνίου. Η παρατηρούμενη χρονική μετατόπιση των ακρότατων των δύο καμπύλων είναι αμελητέα.

Στην εικόνα 7, ο μαγνητικός αισθητήρας έχει τοποθετηθεί στο ένα από τα άκρα του πηνίου. Η παρατηρούμενη χρονική μετατόπιση των ακρότατων των δύο καμπύλων είναι της τάξης των 0,04 – 0,05s. Διαπιστώνουμε ότι:

Όταν ο αισθητήρας τοποθετείται περίπου στο μέσον του πηνίου, η χρονική μετατόπιση των ακρότατων της μετρούμενης τάσης και του ρυθμού μεταβολής του μαγνητικού πεδίου είναι αμελητέα. Όταν τοποθετείται στα άκρα του πηνίου, η παρατηρούμενη χρονική μετατόπιση είναι της τάξης μεγέθους των 0,04 – 0,05s. Τα δεδομένα συμφωνούν με τις θεωρητικές μας προβλέψεις.

Από όλη την προηγούμενη θεωρητική ανάλυση και πειραματική διαδικασία, επισημαίνουμε ένα θεμελιώδες χαρακτηριστικό της επιστημονικής μεθόδου. Ο πειραματικός έλεγχος που αφορά θεωρητικές προβλέψεις σε μια περιορισμένη κατηγορία φαινομένων (φαινόμενα H/M επαγωγής, στην περίπτωση μας), εμπλέκει ένα πολύ ευρύτερο εννοιολογικό πλέγμα θεωριών και τοπικών συνθηκών. Παρατήρησε ότι στο παράδειγμά μας, ο πειραματικός έλεγχος του νόμου του Faraday έγινε με εξαιρετικά έμμεσο τρόπο. Στη συνολική διαδικασία ενεπλάκησαν:

α) Έννοιες και σχέσεις από την H/M θεωρία.

β) Έννοιες και σχέσεις από την Κινηματική.

γ) Σχέσεις που προκύπτουν από τη γεωμετρία και τη μορφολογία της συγκεκριμένης διάταξης.

δ) Συνθήκες που αφορούν στον τρόπο διεξαγωγής της συγκεκριμένης πειραματικής διαδικασίας.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι ο πειραματικός έλεγχος αφορά ένα σύνολο συνθηκών και θεωρητικών προϋποθέσεων πολύ ευρύτερο του νόμου που θέλουμε να επικυρώσουμε ή να διαψεύσουμε (N. Αυγελής, 1998).

Αναφορές

- Adb-el-Khalik, F., & Lederman, N. (2000). Improving science teacher's conceptions of the nature of science: a critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22(7), 665-702.
- American Association for Advancement of Science. (1993). *Benchmarks for Scientific Literacy*. Washington: DC:AAAS.
- American Association for Advancement of Science. (1998). *Blueprints for Reform: Science, Mathematics and Technology Education*. New York: Oxford University Press.
- N. Αυγελή, Φιλοσοφία της Επιστήμης, Κώδικας, Θεσσαλονίκη, 1998.
- Dimitriadis P., Papatsimpa L., and Kalkanis G., "Study of thermal phenomena in junior high school. A new technology-based learning environment", 13th Annual word Conference on Educational Multimedia and Telecommunications, Tampere, Finland; June 25-30, 2001.
- Gil-Perer D. and Carrascosa-Allis J, Bringing pupils' learning closer to a scientific construction of knowledge: "A permanent feature in innovations in science teaching", *Sci. Educ.* 78, 301-15, 1994.
- Millar R. & Osborne J. F. (eds). (1998). *Beyond 2000: Science Education for the Future*. London: King's College, London.
- Redish, E.F. at all On the effectiveness of active-engagement MBL, *American j. of Physics* 65 (1) 45-54, (1997)
- Rogers, L.T. (1995) The computer as an aid for exploring graphs, *SSR*, 76, 276, p. 31-39.
- Thornton, R.K. Tools for scientific Thinking: Learning Physical Concepts with Real Time Laboratory Measurements Tools», in *Proc. Of the Conference on Computers in Science Teaching*, North Carolina State University, (1998).
- Trumper R and Gelbman M., Investigating electromagnetic induction through a microcomputer-based laboratory, *Phys. Educ.* 35(2), 90-95, 2000.