

Στη στήλη “Μέσα στην τάξη” παρουσιάζονται ιδέες, πρακτικές και σχέδια μαθήματος που έχουν εφαρμοστεί στην τάξη και προτείνουν μια πρωτότυπη, διαφορετική, καινοτόμα διδακτική προσέγγιση που προκαλεί το ενδιαφέρον στα παιδιά.

Πειραματικός υπολογισμός της επιτάχυνσης g της βαρύτητας με χρήση του φαινομένου της επαγωγής και λογισμικού επεξεργασίας ήχου

Παναγιώτης (Τάκης) Λάζος

Εισαγωγή

Ο πειραματικός υπολογισμός της επιτάχυνσης g της βαρύτητας είναι ένα από τα πιο κλασικά πειράματα στην εκπαιδευτική διαδικασία. Δεν είναι, λοιπόν, τυχαίος ο μεγάλος αριθμός παραλλαγών που έχουν αναπτυχθεί στο πέρασμα του χρόνου.

Σε μια από τις σχετικά λιγότερο γνωστές παραλλαγές ένας μαγνήτης αφήνεται να εκτελέσει ελεύθερη πτώση διερχόμενος από ένα ή περισσότερα πηνία (Σιανούδης, 2006; Picotech, 2014). Η μεταβολή της μαγνητικής ροής που διέρχεται από τη διατομή των πηνίων δημιουργεί τάση από επαγωγή στα άκρα των πηνίων, τα οποία έχουν συνδεθεί στην είσοδο παλμογράφου. Η τάση καταγράφεται στον παλμογράφο και από τη μελέτη της σχετικής καμπύλης είναι δυνατόν να υπολογιστεί το χρονικό διάστημα στο οποίο ο μαγνήτης διήνυσε συγκεκριμένη και γνωστή κατακόρυφη απόσταση (Chachan, χ.η.). Στην περίπτωση διάταξης δύο πηνίων, γνωρίζοντας την απόσταση h (Εικόνα 1) πηνία και τον αντίστοιχο χρόνο t που απαιτείται για να διανυθεί αυτή η απόσταση υπολογίζεται εύκολα η επιτάχυνση g της βαρύτητας από τη σχέση: $g = \frac{2h}{t^2}$ (Βλάχος κ.α., 2014, σ. 91).

Στην παραλλαγή της διάταξης που προτείνει η παρούσα εργασία ο παλμογράφος υποκαθίσταται από την κάρτα ήχου ενός υπολογιστή (Μουρούζης, 1999) στον οποίον έχει εγκατασταθεί το ελεύθερο πρόγραμμα επεξεργασίας ήχου Audacity (Audacity, 2014). Τα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης πρότασης είναι προφανή. Το κόστος των παλμογράφων είναι αρκετά υψηλό, ενώ ταυτόχρονα πρόκειται για αρκετά εξειδικευμένες συσκευές. Ακόμα και αν το εργαστήριο διαθέτει παλμογράφους (όπως συμβαίνει σε πολλά Λύκεια), η μέτρηση του παραπάνω χρόνου t με αυτή τη διάταξη δεν μπορεί

να γίνει αφού οι παλμογράφοι που υπάρχουν συνήθως στα σχολεία δεν είναι ηλεκτρονικοί παλμογράφοι μνήμης, αλλά απλοί παλμογράφοι καθοδικής δέσμης

Αντίθετα, σήμερα οι υπολογιστές υπάρχουν σχεδόν σε κάθε σπίτι όπως και στο σχολικό εργαστήριο Φυσικών Επιστημών και οι μαθητές είναι σε μεγάλο βαθμό εξοικειωμένοι με τη χρήση τους. Το απαραίτητο λογισμικό είναι δωρεάν και η χρήση του μαθαίνεται σε ελάχιστο χρόνο. Κατά συνέπεια με μηδενικό κόστος και αμελητέα προσπάθεια οι μαθητές αποκτούν πρόσβαση σε μια ισχυρή και ενδιαφέρουσα πειραματική διάταξη.

Λογισμικό επεξεργασίας ήχου Audacity

Το λογισμικό Audacity είναι ένα ελεύθερο ημιαπαγγελματικό λογισμικό επεξεργασίας ήχου. Προσφέρει πληθώρα επιλογών επεξεργασίας ήχου από τις οποίες χρειαζόμαστε μόνο τις επιλογές εγγραφής ήχου από μικρόφωνο. Το Audacity καταγράφει ήχο με προεπιλεγμένο ρυθμό δειγματοληψίας¹ 44100 Hz (με δυνατότητα επέκτασης στα 96000 Hz) και αυτό το καθιστά ένα εξαιρετικό εργαλείο για τον υπολογισμό χρονικών διαστημάτων. Στην είσοδο του μικρόφωνου στον υπολογιστή μπορεί να συνδεθεί οποιοδήποτε σήμα, αρκεί να ληφθούν μέτρα προστασίας της κάρτας ήχου για ισχυρά σήματα. Κάτι τέτοιο δεν είναι αναγκαίο στην προτεινόμενη διάταξη καθώς δεν αναπτύσσεται στα πηνία τάση από επαγωγή μεγαλύτερη από 2 Volt.

Ο περιορισμός που θέτει το Audacity σε πειραματικές διατάξεις στις οποίες υποκαθιστά έναν παλμογράφο είναι η δυσκολία στην βαθμονόμηση του σήματος. Το λογισμικό «θεωρεί» πως καταγράφει ήχο και η βαθμονόμηση είναι σε dB. Είναι δυνατόν να γίνει βαθμονόμηση αλλά αφενός μια τέτοια διαδικασία θα καταργούσε την απλότητα – βασικό πλεονέκτημα της προτεινόμενης διάταξης - αφετέρου δεν είναι απαραίτητο κάτι τέτοιο αφού εκείνο που μας ενδιαφέρει είναι μόνο η μέτρηση του χρονικού διαστήματος κατά το οποίο το λογισμικό «θεωρεί» ότι καταγράφει ήχο.

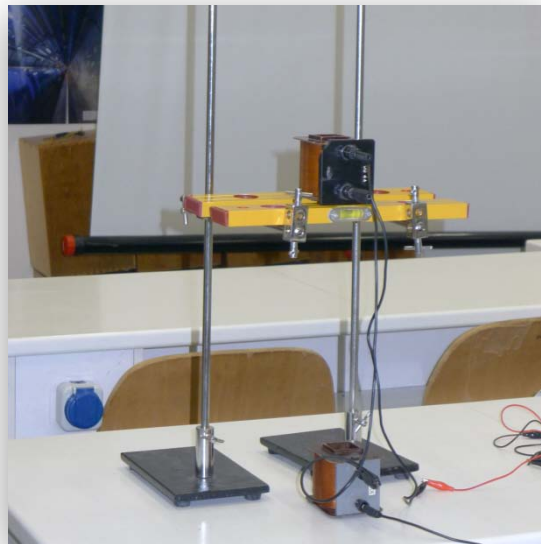
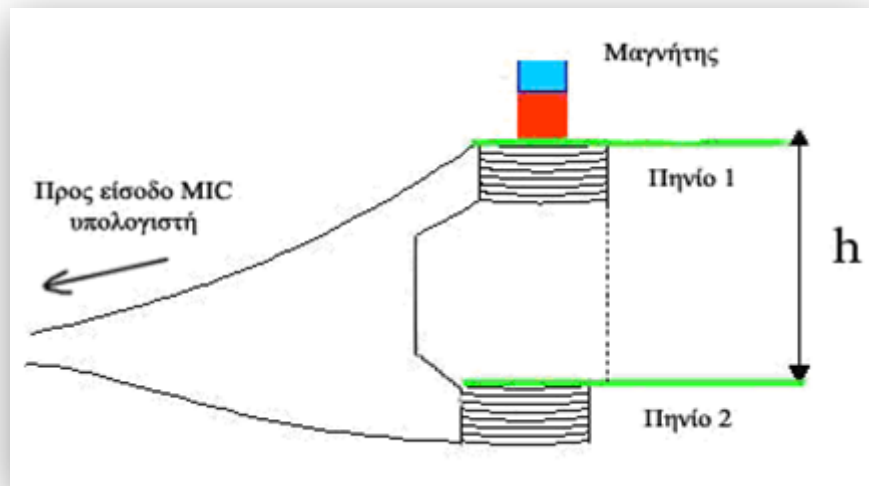
Πρέπει να τονίσουμε πως το Audacity, όπως και κάθε λογισμικό επεξεργασίας ήχου, όταν δέχεται τάση στην είσοδο δεν καταγράφει την τιμή της τάσης αλλά τον ρυθμό μεταβολής της (δηλαδή την πρώτη παράγωγο της τάσης). Για παράδειγμα, αν δοθεί ως είσοδος μια συνεχής τάση η καταγραφή από το λογισμικό θα είναι μηδενική.

Πειραματική διαδικασία

Τα υλικά που χρειάζονται για την πειραματική διάταξη είναι τα ακόλουθα:

Δύο πηνία 300 σπειρών, ένας μαγνήτης (κατά προτίμηση από νεοδύμιο ώστε να είναι αρκετά ισχυρός), δύο βάσεις από χυτοσίδηρο (ΓΕ.010.0²), δύο αεροστάθμες, δύο μεταλλικές ράβδοι 0.80 m (ΓΕ.030.3), δύο μεταλλικές ράβδοι 0.30 m (ΓΕ.030.1), τέσσερις σύνδεσμοι περιστρεφόμενοι (ΓΕ.025.0), μία μετροταινία και καλώδια και ηλεκτρονικός υπολογιστής με εγκατεστημένο το λογισμικό Audacity.

Στην Εικόνα 1 παρουσιάζεται η βασική ιδέα της διάταξης και η πραγματική διάταξη. Τοποθετούμε τα δύο πηνία στις κατάλληλες θέσεις και τα συνδέουμε σε σειρά. Τα καλώδια από το ελεύθερο άκρο από κάθε πηνίο οδηγούνται σε έναν ακροδέκτη τύπου Jack και αυτός συνδέεται στην είσοδο του μικρόφωνου στον υπολογιστή (Εικόνα 2). Είναι σημαντικό να μην υπάρχει κανένα αντικείμενο που έλκει τον μαγνήτη σε απόσταση μικρότερη των 5 cm από τη νοητή ευθεία που ενώνει τα δύο πηνία ώστε να μην επηρεάζεται η κίνηση του μαγνήτη. Αυτή είναι η αιτία που στερεώνουμε το πάνω πηνίο πάνω στις αεροστάθμες (Εικόνα 3). Πιθανόν, οι μαθητές σας να σκεφτούν και να προτείνουν εναλλακτικές λύσεις στερέωσης του πηνίου.

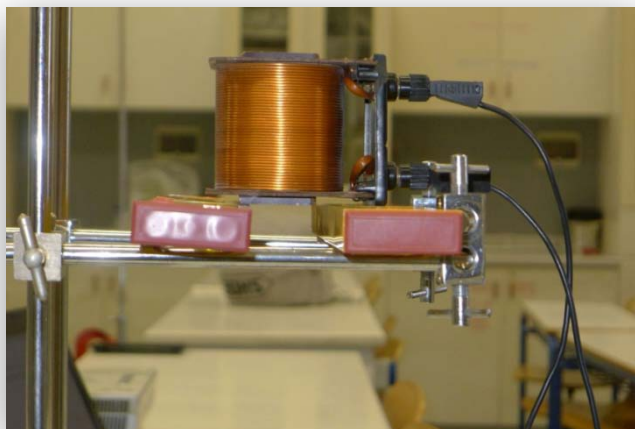


Εικόνα 1. Σχεδιάγραμμα της σύνδεσης των πηνίων με τον υπολογιστή (πάνω) και η πραγματική διάταξη (κάτω). (Σκίτσο και Φωτογραφία Τ. Λάζος).



Εικόνα 2. Τα καλώδια από τα ελεύθερα άκρα των δύο πηνίων έχουν συγκολληθεί σε ακροδέκτη τύπου Jack. Ο ακροδέκτης θα τοποθετηθεί στην είσοδο για μικρόφωνο του υπολογιστή. (Φωτογραφία Τ. Λάζος)

Για να προσδιορίσουμε με ακρίβεια, από το διάγραμμα που παρέχει το Audacity, τότε ο μαγνήτης διέρχεται από την κάτω πράσινη γραμμή στην Εικόνα 1 (οπότε ολοκληρώνει την υπό μελέτη κίνησή του), τοποθετούμε το Πηνίο 2 σε τέτοια θέση ώστε ο μαγνήτης κατά την πτώση του να μην διέρθει μέσα από αυτό αλλά να προσκρούσει στο πάνω μέρος του. Με τον τρόπο αυτόν εξασφαλίζουμε μια πολύ απότομη αλλαγή στην ταχύτητα του μαγνήτη και κατά συνέπεια στην επαγωγική τάση που παράγεται (που οδηγεί στην εμφάνιση απότομης κορυφής στο διάγραμμα που παράγει το Audacity).



Εικόνα 3. Τρόπος στερέωσης του πρώτου πηνίου. (Φωτογραφία Τ. Λάζος)

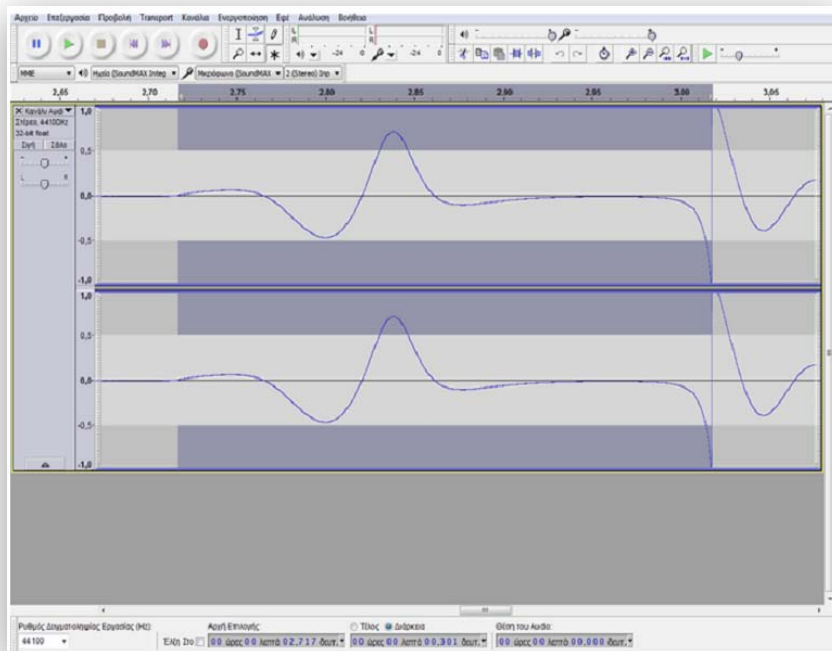
Μετρούμε και καταγράφουμε με μία μετροταινία την απόσταση h ανάμεσα στο πάνω μέρος του Πηνίου 1 και το πάνω μέρος του Πηνίου 2. Στη συνέχεια ανοίγουμε το πρόγραμμα Audacity και ξεκινάμε την καταγραφή δεδομένων επιλέγοντας *Record* (το κουμπί με το κόκκινο κέντρο στην

Εικόνα 4). Κρατούμε ακίνητο το μαγνήτη ακριβώς στο πάνω μέρος του Πηνίου 1 και τον αφήνουμε να πέσει χωρίς να του προσδώσουμε αρχική ταχύτητα. Μετά την πρόσκρουσή του με το πάνω μέρος του Πηνίου 2 διακόπτουμε τη συλλογή δεδομένων επιλέγοντας το κουμπί *Stop* (το κουμπί με το κίτρινο τετράγωνο στην Εικόνα 4).



Εικόνα 4. Τα κουμπιά ελέγχου εγγραφής στο Audacity

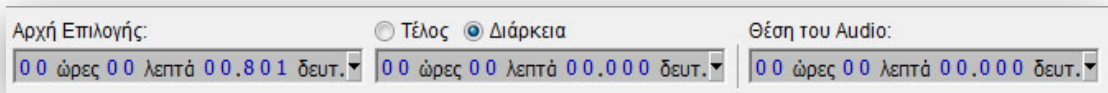
Μελετούμε το διάγραμμα που προέκυψε από την εγγραφή (Εικόνα 5). Μπορούμε εύκολα να αναγνωρίσουμε τις χρονικές στιγμές που ο μαγνήτης αρχίζει να διέρχεται από το Πηνίο 1 (οπότε η επαγωγική τάση παύει να είναι μηδέν) και της πρόσκρουσής του στο Πηνίο 2 (οπότε η επαγωγική τάση παρουσιάζει μια απότομη –σχεδόν ασυνεχή- μεταβολή).



Εικόνα 5. Μεταβολή της τάσης από επαγωγή στα άκρα του συστήματος των δύο πηνίων.

Επιλέγοντας το κουμπί *Μεγέθυνση* (μεγεθυντικός φακός) μεγεθύνουμε την εικόνα ώστε να προσδιορίσουμε με ακρίβεια το χρονικό διάστημα ανάμεσα στις δύο παραπάνω χρονικές στιγμές. Διατηρώντας πατημένο το αριστερό πλήκτρο σέρνουμε τον κέρσορα από τη πρώτη χρονική στιγμή μέχρι τη δεύτερη (Εικόνα 5).

Η χρονική διάρκεια t της πτώσης αναγράφεται τότε στο μεσαίο πλαίσιο στο κάτω μέρος της οθόνης (Εικόνα 6), εφόσον είναι επιλεγμένη η επιλογή *Διάρκεια*.



Εικόνα 6: Πλαίσιο με πληροφορίες για τη χρονική διάρκεια.

Με δεδομένο ότι η αρχική ταχύτητα του μαγνήτη είναι μηδέν, υπολογίζουμε την επιτάχυνση g της βαρύτητας από τη σχέση:

$$g = \frac{2h}{\Delta t^2}$$

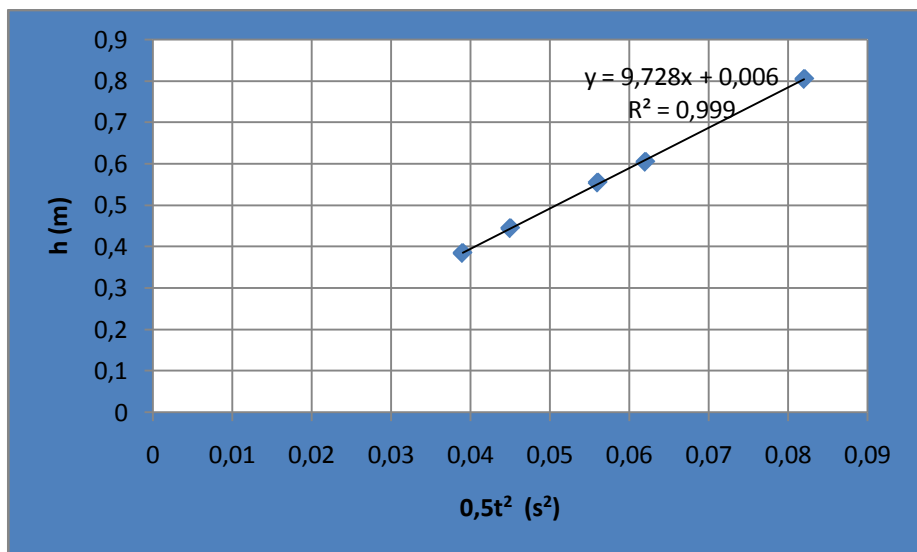
Επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία για διαφορετικές αποστάσεις h , μπορούμε να υπολογίσουμε τη μέση τιμή της επιτάχυνσης g της βαρύτητας ή σχεδιάζοντας το διάγραμμα $h = f(0,5 \cdot t^2)$ να υπολογίσουμε την κλίση k της ευθείας, που είναι ίση με το g .

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι μετρήσεις και οι υπολογισμοί στις οποίες κατέληξε μεικτή ομάδα μαθητών Α' και Β' τάξης στα πλαίσια σχολικής ομάδας πειραμάτων.

h(m)	t(s)	g(m/s ²)
0,385	0,280	9,82
0,445	0,301	9,82
0,555	0,336	9,83
0,605	0,352	9,77
0,805	0,406	9,77

Πίνακας 1

Η μέση τιμή των μετρήσεων είναι $g=9,80 \pm 0,03 \text{ m/s}^2$, τιμή εξαιρετικά κοντά στη θεωρητική τιμή των $9,81 \text{ m/s}^2$ που ισχύει για ελεύθερη πτώση στο κενό για το γεωγραφικό πλάτος της Ελλάδας.



Σχήμα 1. Διάγραμμα $h=f(0,5 \cdot t^2)$

Στο Σχήμα 1 απεικονίζονται γραφικά τα δεδομένα του Πίνακα 1 και δίνεται η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων, από την κλίση της οποίας προκύπτει ότι $g=9,73 \text{ m/s}^2$.

Συμπεράσματα

Η πειραματική διάταξη που παρουσιάστηκε στις προηγούμενες ενότητες είναι μια εύκολη, οικονομική, δοκιμασμένη και αποτελεσματική διάταξη για τον υπολογισμό της επιτάχυνσης g της βαρύτητας. Δίνει ακριβή και επαναλήψιμα αποτελέσματα ενώ μπορεί να στηθεί σχετικά εύκολα και γρήγορα.

Υπάρχουν ωστόσο κάποια προβλήματα που αξίζει να συζητηθούν.

Αρχικά, θα μπορούσε κάποιος να ισχυριστεί, σωστά, ότι η κίνηση του μαγνήτη όσο αυτός διασχίζει το Πηνίο 1, αλλά και πολύ κοντά σε αυτό ενώ το έχει διασχίσει, δεν είναι ελεύθερη πτώση λόγω της μαγνητικής δύναμης που ασκείται σε αυτόν (το πηνίο διαρρέεται από επαγωγικό ρεύμα δημιουργώντας μαγνητικό πεδίο που αλληλεπιδρά με το μαγνήτη). Μία ακριβέστερη λύση θα ήταν να μετράμε την απόσταση h από το κάτω μέρος του Πηνίου 1. Ωστόσο, στη μέτρηση που επιχειρήσαμε δεν λάβαμε υπόψη το παραπάνω φαινόμενο και μετρήσαμε το h από το πάνω μέρος του Πηνίου 1, για δύο λόγους: πρώτον, γιατί θεωρήσαμε αμελητέα την επίδραση του φαινομένου (λόγω του μικρού μήκους του πηνίου σε σχέση με την διανυθείσα απόσταση h) και δεύτερον, γιατί θα ήταν πολύ δύσκολο να διαχειριστούμε διδακτικά την γραφική απεικόνιση της Εικόνας 4 για να προσδιορίσουμε τότε ο μαγνήτης βγαίνει από το Πηνίο 1. Κι αυτό γιατί με το υπάρχον πρόγραμμα σπουδών η ελεύθερη πτώση διδάσκεται στην Α' τάξη του Λυκείου, ενώ η επαγωγή στην Β' τάξη (Ιωάννου κ.α., 1999) και αυτό δυσκολεύει την ερμηνεία του πώς λειτουργεί η διάταξη και ποια η φυσική σημασία των διάφορων καμπυλών της Εικόνας 4 στους μαθητές της Α' τάξης.

Η αξιοποίηση του φαινομένου της επαγωγής στην Α' Λυκείου οδηγεί επίσης στη σύνταξη ενός Φύλλου Εργασίας το οποίο είναι περισσότερο επικεντρωμένο στην επαλήθευση της σχέσης προσδιορισμού της επιτάχυνσης της βαρύτητας και τον προσδιορισμό των πειραματικών σφαλμάτων παρά στην ανακαλυπτική μέθοδο που θα ήταν ίσως προτιμότερο. Μια τέτοια προσέγγιση θα μπορούσε ενδεχομένως να ακολουθηθεί για μαθητές της Β' Λυκείου στο πλαίσιο κάποιας ερευνητικής εργασίας, οπότε θα είχε ενδιαφέρον να ερμηνευτεί η καμπύλη της Εικόνας 4.

Ο συγγραφέας της εργασίας δοκίμασε τη συγκεκριμένη ιδέα στο σχολικό έτος 2013-2014 στην εθελοντική Ομάδα Πειραμάτων του Γενικού Λυκείου στο οποίο διδάσκει. Η ομάδα αποτελούταν από μαθητές της Α' και Β' τάξης. Οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα έχουν παρατεθεί στον Πίνακα 1 και στο Σχήμα 1. Πέρα από την αξιοσημείωτη ακρίβεια των μετρήσεων, η διαδικασία επέτρεψε στους μαθητές της Β' τάξης να κατανοήσουν βαθύτερα την έννοια της επαγωγής και της σχέσης της με το ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής. Παράλληλα, οι μαθητές της Α' τάξης γνώρισαν μία εναλλακτική μέθοδο υπολογισμού της επιτάχυνσης g και ήρθαν σε μια πρώτη επαφή με το φαινόμενο της επαγωγής.

Σχόλια

[1]. Ο ρυθμός δειγματοληψίας ή συχνότητα δειγματοληψίας μετράει τον αριθμό των δειγμάτων ανά δευτερόλεπτο που λαμβάνονται από το δειγματολήπτη, στην περίπτωσή μας από την κάρτα ήχου του υπολογιστή με τη βοήθεια του λογισμικού Audacity. Όσο μεγαλύτερος είναι αυτός ο ρυθμός τόσο μεγαλύτερη χρονική διακριτική ικανότητα έχει ο χρονομετρητής που χρησιμοποιούμε.

[2]. Οι κωδικοί των υλικών αναφέρονται στην κωδικοποίηση που υιοθετείται στους Μπισδικιάν και Μολοχίδη (2000).

Βιβλιογραφία

Audacity. Manuals and documentation. Ανακτήθηκε 19/2/2014 από:

<http://audacity.sourceforge.net/help/documentation>

Khachan, J. (χ.η.) *The emf signal from a solenoid due to a bar magnet falling through it*. Ανακτήθηκε 20/6/2014 από: http://www.physics.usyd.edu.au/~khachan/PTF/magnet_and_solenoid.pdf

Picotech (2014). Experiment to measure the acceleration due to gravity. Ανακτήθηκε 25/6/2014 από http://www.picotech.com/experiments/gravity_acceleration/

Βλάχος, Ι. Γραμματικάκης, Ι. Καραπαναγιώτης, Β. Κόκκοτας, Π. Περιστερόπουλος, Π. Τιμοθέου, Γ. κ.ά. (2014). *Φυσική Γενικής Παιδείας Α' τάξης*. Αθήνα: ΙΤΥΕ

Ιωάννου, Α. Ντάνος, Γ. Πήττας, Α. Ράπτης, Σ. (1999). *Φυσική Θετικής & Τεχνολογικής κατεύθυνσης Β' τάξης*. Αθήνα: ΟΕΔΒ

Μουρούζης, Π. (1999). Κατασκευή ηλεκτρονικού χρονομετρητή με τη χρήση Η/Υ. Ανακτήθηκε 20/5/2014 από: http://dide.ker.sch.gr/ekfe/epiloges/5_kataskeves/7xronometr/xronometr.htm

Μπισδικιάν, Γ., Μολοχίδης, Τ. (2000). *Κατάλογος Οργάνων και Συσκευών Εργαστηρίου Φυσικών Επιστημών*. ΟΕΔΒ, Αθήνα.

Σιανούδης Ι. (2006). Πειράματα με τη χρήση νέων τεχνολογιών στο εργαστήριο Φυσικής: Ελεύθερη πτώση σώματος. e-Περιοδικό Επιστήμης και Τεχνολογίας (e-JST), 3-2006, 66-78. Ανακτήθηκε 1/6/2014, από http://e-jst.teiath.gr/issue_3_2006/sianoudis_3.pdf



Ο Παναγιώτης (Τάκης) Λάζος έχει σπουδάσει Φυσική στο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Φωτογραφία στο ΤΕΙ Αθήνας, έχει μεταπτυχιακό στην Ιστορία και Φιλοσοφία των Επιστημών και της Τεχνολογίας στο Πανεπιστήμιο Αθηνών, ενώ είναι υποψήφιος διδάκτορας στο ίδιο Πανεπιστήμιο. Είναι εκπαιδευτικός στο Μαράσλειο Λύκειο. Τα ερευνητικά του ενδιαφέροντα σχετίζονται με φαινόμενα οπτικής και τις εφαρμογές τους στη φωτογραφία, με την ιστορία των επιστημονικών οργάνων και με την πειραματική διδασκαλία της Φυσικής.