

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.

### Υπολογισμός της επιτάχυνσης της βαρύτητας με φωτογράφιση πτώσης φωτοδιόδου LED

Παναγιώτης Λάζος και Πέτρος Ξανθάκος

Λίγα πειράματα Φυσικής έχουν γνωρίσει τόσες παραλλαγές όσες ο υπολογισμός της επιτάχυνσης της βαρύτητας. Η διαχρονικότητα, η απλότητα αλλά και η παιδαγωγική αξία του συγκεκριμένου υπολογισμού οδηγούν στη διαρκή ανάπτυξη νέων πειραματικών διατάξεων.

Η συγκεκριμένη ιδέα δημιουργήθηκε συζητώντας με μαθητές της ομάδας πειραμάτων Φυσικής του σχολείου μας. Η ερώτηση που πυροδότησε τη συζήτηση ήταν το αν είναι εφικτό να υπολογίσουμε την επιτάχυνση της βαρύτητας με τη στροβοσκοπική μέθοδο αλλά... χωρίς στροβοσκόπιο. Οι μαθητές πρότειναν να φωτογραφηθεί σε απόλυτο σκοτάδι μια πηγή φωτός που εκτελεί ελεύθερη πτώση ενώ αναβοσβήνει με σταθερή και γνωστή συχνότητα.

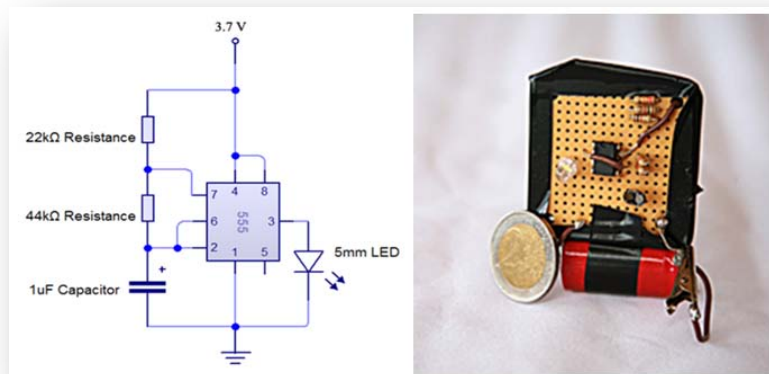
#### Μεθοδολογία

Η έρευνα, ο σχεδιασμός και η κατασκευή του κυκλώματος έγινε από τον Πέτρο Ξανθάκο, μαθητή της Β' τάξης Λυκείου. Η φωτεινή πηγή είναι μια φωτοδίοδος (LED) και το κύκλωμα έχει «κτιστεί» γύρω από ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (Van Roon, 1995).

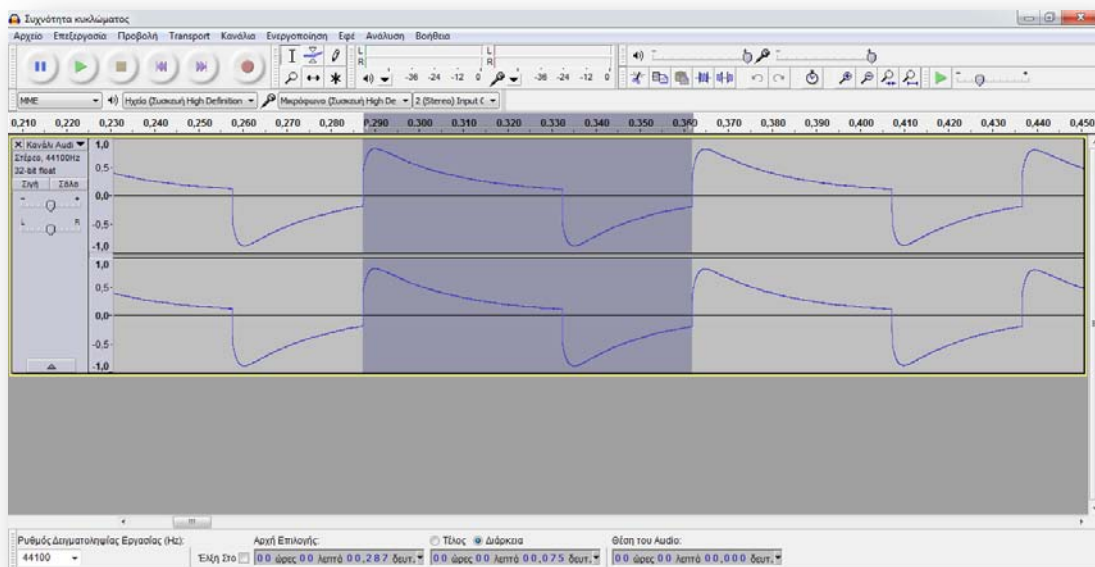
Στην Εικόνα 1 παρ. 1 παρουσιάζεται η κατασκευή του κυκλώματος. Η σελίδα έχει παραμείνει κενή. Το νόμισμα αποδίδει την κλίμακα της κατασκευής. Η πλακέτα του κυκλώματος επικαλύφτηκε περιμετρικά με μονωτική ταινία για προστασία ενώ η μάζα του είναι περίπου 50g.

Με τη βοήθεια του λογισμικού επεξεργασίας ήχου Audacity και ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου είναι δυνατόν να μετρηθεί η περίοδος του κυκλώματος (Εικόνα 2) και στη συνέχεια να υπολογιστεί η συχνότητα (Λάζος, 2014). Με τη συγκεκριμένη μέθοδο βρέθηκε πως η περίοδος του κυκλώματος είναι  $T=0.075s$  (συχνότητα  $f=13.3Hz$ ). Η περίοδος μετρήθηκε σε 30 διαδοχικές αναλαμπές του κυκλώματος και η τιμή ήταν σταθερή, μέσα στα πλαίσια ακρίβειας του Audacity. Βρέθηκε, επίσης, πως το LED,

κατά τη διάρκεια μίας περιόδου, ανάβει για χρονικό διάστημα  $t_1=0,046s$  ενώ παραμένει σβηστό για  $t_d=0,029s$ .



Εικόνα 1. Το σχέδιο του κυκλώματος και η υλοποίησή του. (Φωτογραφία Π. Λάζος).



Εικόνα 2. Μέτρηση της περιόδου του κυκλώματος με τη βοήθεια του λογισμικού Audacity.

Στη συνέχεια τοποθετείται κατακόρυφα μια μετροταινία σε τοίχο και φωτογραφίζεται με φωτογραφική μηχανή DSLR στερεωμένη σε τρίποδα. Στο επόμενο βήμα, λαμβάνεται φωτογραφία του κυκλώματος με τη μηχανή ακριβώς στην ίδια θέση ενώ το κύκλωμα αφήνεται να εκτελέσει πτώση ακριβώς μπροστά από την μετροταινία. Το κύκλωμα αφήνεται να πέσει με τη μικρότερη επιφάνειά του στη διεύθυνση της κίνησης ώστε να παρουσιάζει την ελάχιστη δυνατή αντίσταση από τον αέρα. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται ώστε η πτώση να μη συνοδεύεται από περιστροφή του κυκλώματος, κάτι που φαίνεται από την ευθύγραμμη τροχιά του LED. Το κύκλωμα προσγειώνεται σε μαλακή επιφάνεια

(μαξιλάρια), παρουσιάζει δε αξιοσημείωτη αντοχή, χωρίς να έχει καταγραφεί κάποιο πρόβλημα μετά από δεκάδες πτώσεις. Η λήψη γίνεται σε απόλυτο σκοτάδι (εκτός από το LED) και με ρύθμιση ταχύτητας κλείστρου στο B, δηλαδή λήψη φωτογραφίας για όσο χρόνο επιλέξει ο χειριστής. Εναλλακτικά, μπορεί να επιλεγεί ταχύτητα κλείστρου από 2 ως 4s. Η ελεύθερη πτώση πραγματοποιείται όσο γίνεται πιο κοντά στη μετροταινία για να εξαλειφθεί το σφάλμα παράλλαξης. Οι δύο εικόνες συνδυάζονται σε μία με τη βοήθεια προγράμματος επεξεργασίας εικόνας ώστε να μπορούν να μετρηθούν οι μετατοπίσεις του LED πάνω στη μετροταινία. Το αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 3. Όπως αναμένεται, τα φωτεινά διαστήματα (αναμμένο LED) αφήνουν μεγαλύτερο ίχνος από τα σκοτεινά διαστήματα (σβηστό λαμπάκι) αφού  $t_i > t_a$ , ενώ το μήκος δύο διαδοχικών ιχνών (τόσο φωτεινών όσο και σκοτεινών) μεταβάλλεται αφού αυξάνεται η ταχύτητα πτώσης του κυκλώματος (άρα στον ίδιο χρόνο το κύκλωμα διανύει μεγαλύτερη απόσταση).



Εικόνα 3. Η τελική εικόνα.

### Αποτελέσματα και συζήτηση

Μελετώντας την Εικόνα 3 καταγράφουμε τις θέσεις  $x_{on}$  στις οποίες ανάβει το LED στην πρώτη στήλη του Πίνακα 1 και τις θέσεις  $x_{off}$  στις οποίες σβήνει το LED στην πρώτη στήλη του Πίνακα 2. Οι μετρήσεις ομαδοποιούνται σε δύο πίνακες για λόγους ευκολίας, διότι το LED ανάβει και σβήνει ανά 0,075s αλλά τα χρονικά διαστήματα που παραμένει αντίστοιχα αναμμένο και σβηστό δεν είναι ίσα μεταξύ τους. Στη

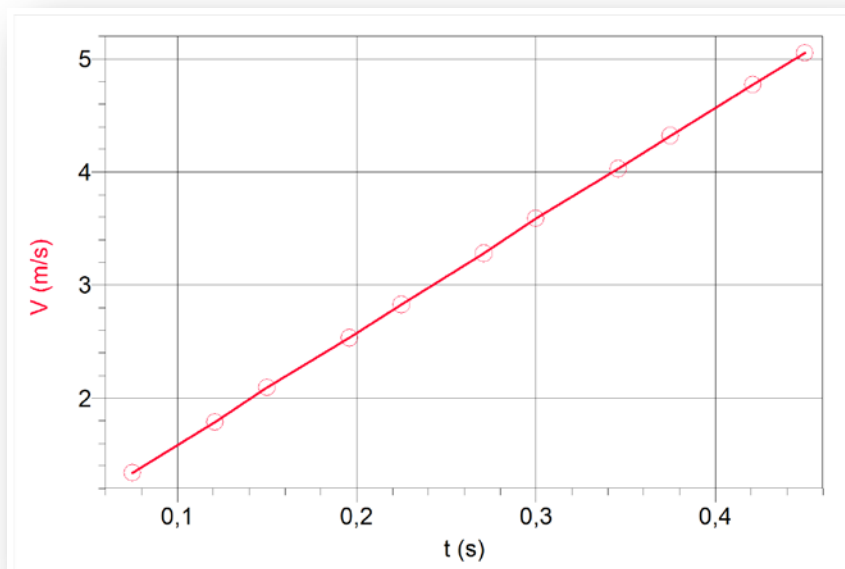
δεύτερη στήλη αναγράφονται οι αντίστοιχες χρονικές στιγμές. Στην τρίτη στήλη αναγράφονται οι αντίστοιχες μετατοπίσεις και στην τέταρτη η μέση ταχύτητα που προκύπτει από τα προηγούμενα δεδομένα (Βλάχος κ.α., 2012). Οι μετρήσεις από τους δύο πίνακες ενσωματώνονται στη γραφική παράσταση ταχύτητας - χρόνου του Σχήματος 1.

Με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων υπολογίζεται πως η τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας είναι  $g=9,92\text{m/s}^2$ . Η θεωρητικά αποδεκτή τιμή για την περιοχή της Αθήνας είναι  $g=9,80\text{m/s}^2$  και η απόκλιση πειραματικής και θεωρητικής τιμής είναι 1,2%.

$\alpha/\alpha$	$x_{on}$ (m)	t (sec)	$\Delta x$ (m)	$V_{\mu}$ (m/s)
1	0,032	0,075		
2	0,132	0,150	0,101	1,340
3	0,289	0,225	0,157	2,093
4	0,501	0,300	0,212	2,827
5	0,770	0,375	0,269	3,587
6	1,094	0,450	0,324	4,320
7	1,473	0,525	0,379	5,053

$\alpha/\alpha$	$x_{off}$ (m)	t (sec)	$\Delta x$ (m)	$V_{\mu}$ (m/s)
1	0,089	0,121		
2	0,223	0,196	0,134	1,787
3	0,413	0,271	0,190	2,533
4	0,659	0,346	0,246	3,280
5	0,961	0,421	0,302	4,027
6	1,319	0,496	0,358	4,773

Πίνακες 1 και 2. Μετρήσεις και υπολογισμοί



Σχήμα 1. Γραφική παράσταση ταχύτητας - χρόνου

### Συμπεράσματα και προτάσεις

Στα πλεονεκτήματα της πρότασής μας συμπεριλαμβάνονται η πρωτοτυπία, η αρκετά καλή συμφωνία της μέτρησης με τη θεωρητική τιμή, η επαναληψιμότητα και η συνύπαρξη διαφορετικών τεχνικών στην

εκτέλεση του πειράματος (κατασκευή ηλεκτρονικού κυκλώματος, φωτογραφία, χρήση λογισμικού επεξεργασίας ήχου) οι οποίες προσελκύουν το ενδιαφέρον των μαθητών. Βέβαια, η συνύπαρξη αυτή αποτελεί ταυτόχρονα τροχοπέδη στην εφαρμογή της μεθόδου στη σχολική τάξη με το γνωστό ασφυκτικό πρόγραμμα, ενώ η ανάγκη για απόλυτο σκοτάδι κατά τη φωτογράφιση δυσκολεύει περαιτέρω το εγχείρημα. Όμως, η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε μια διερευνητική εργασία ή στα πλαίσια μιας σχολικής ομάδας πειραμάτων εκτός ωραρίου. Επίσης, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί η τελική φωτογραφία σαν αφετηρία των υπολογισμών σε μια εργαστηριακή άσκηση, αντί πχ μια καταγραφή από ηλεκτρικό χρονομετρητή. Το κόστος των υλικών του κυκλώματος (πλακέτα, ολοκληρωμένο, αντιστάσεις, πυκνωτής, μπαταρία) δεν ξεπερνά τα 8 ευρώ. Η κατασκευή του είναι αρκετά απλή και προσφέρεται ακόμα και για κάποιον αρχάριο στα ηλεκτρονικά ενώ τα υλικά βρίσκονται εύκολα.

Η ποιότητα των μετρήσεων μπορεί να βελτιωθεί αν αυξηθεί η συχνότητα με την οποία αναβοσβήνει το LED. Με τον τρόπο αυτόν αφενός θα καταγράφονται περισσότερες μετρήσεις αφετέρου οι εκάστοτε μέσες τιμές της ταχύτητας θα αποτελούν μια καλύτερη προσέγγιση της στιγμιαίας ταχύτητας. Η συχνότητα εξαρτάται από τους δύο αντιστάτες και τον πυκνωτή (Εικόνα 1) και το επόμενο βήμα θα είναι η αλλαγή των αντιστατών με μικρά ποτενσιόμετρα.

### Βιβλιογραφία

Λάζος Παναγιώτης (2014). Ακούγοντας το φως. Μελέτη της μεταβολής της έντασης φωτεινών πηγών με λογισμικό επεξεργασίας ήχου. Διαδικτυακό περιοδικό i-Teacher, 8, 42-48.

Βλάχος, Ι., Γραμματικάκης Ι., Καραπαναγιώτης Β., Κόκκοτας Π., Περιστερόπουλος Π., Τιμοθέου Γ. (2012). Φυσική Γενικής Παιδείας Α' τάξης Γενικού Λυκείου. ΙΤΥΕ Διόφαντος, Αθήνα.

Van Roon, T.(1995), 555 Timer Tutorial. Ανασύρθηκε στις 5/5/2014 από <http://www.sentex.ca/~mec1995/gadgets/555/555.html>



Ο Παναγιώτης (Τάκης) Λάζος έχει σπουδάσει Φυσική στο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Φωτογραφία στο ΤΕΙ Αθήνας και έχει μεταπτυχιακό στην Ιστορία και Φιλοσοφία των Επιστημών και της Τεχνολογίας στο Πανεπιστήμιο Αθηνών. Είναι εκπαιδευτικός στο 26<sup>ο</sup> ΓεΛ Αθήνας και υπ. Διδάκτορας στο Παιδαγωγικό Τμήμα του Ε.Κ.Π.Α.. 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.



Ο Πέτρος Ξανθάκος, γεννημένος το 1998 στην Αθήνα, είναι μαθητής της Β' τάξης του 26ου ΓεΛ Αθήνας και μέλος της ομάδας πειραμάτων του σχολείου. Ασχολείται ζωηρά με τις θετικές επιστήμες με ιδιαίτερο ενδιαφέρον στον τομέα των ηλεκτρονικών. Ασχολείται με τους υπολογιστές και τα μαθηματικά ενώ ο προσκοπισμός είναι μέρος της ζωής του.