

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.

### Στάσιμα κύματα: μία ολιστική αντιμετώπιση

Παναγιώτης Πετρίδης

Η πρόταση διδασκαλίας που ακολουθεί, αναφέρεται στην ύλη του μαθήματος της Φυσικής Γ' Λυκείου Θετικής και Τεχνολογικής κατεύθυνσης. Στόχοι της πρότασης είναι η θεωρητική μελέτη ενός στάσιμου κύματος σε χορδή το ένα άκρο της οποίας είναι πακτωμένο και η πειραματική διαχείρισή του μέσα από τη μέτρηση της ταχύτητας εγκάρσιου κυματικού παλμού κατά μήκος ελατηρίου και τη δημιουργία στάσιμου κύματος, όπως αυτό εμφανίζεται στο σχολικό εγχειρίδιο (Ιωάννου κ.α., 2012, σ. 53 σχήμα 2.16).

Για την επίτευξη των πειραματικών στόχων χρησιμοποιούνται:

- Ένα κινητό τηλέφωνο (smartphone) που διαθέτει χρονόμετρο, σύνδεση στο διαδίκτυο και δυνατότητα καταγραφής βίντεο σε αρχείο mp4.
- Δύο υπολογιστές με σύνδεση στο διαδίκτυο και τα κατάλληλα λογισμικά (Tracker, Ipython, Canopy).
- Ένα ελατήριο κυματισμών Slinky.
- Μία μετροταινία.

### Η διαδικασία

Για να δημιουργήσουμε το κατάλληλο συναισθηματικό κλίμα μεταξύ των μαθητών αλλά και να οργανωθεί κατάλληλα η πειραματική διαδικασία, οι μαθητές εντάσσονται σε τέσσερις ομάδες: την ομάδα Sir Isaac Newton, η οποία είναι η ομάδα των φυσικών, την ομάδα Gottfried Wilhelm von Leibniz, η οποία είναι η ομάδα των μαθηματικών, την ομάδα του CERN, η οποία είναι η ομάδα των ερευνητών και την ομάδα Alan Matheson Turing, που είναι η ομάδα των πληροφορικών. Όπως είναι εμφανές από τα ονόματά τους, κάθε ομάδα μαθητών έχει διαφορετικές αρμοδιότητες και κατά την διάρκεια της διδακτικής πορείας εκτελεί διαφορετικά πράγματα. Όλες οι ομάδες μελετούν το φαινόμενο “στάσιμο κύμα” αλλά η κάθε μια έχει τη δική της οπτική γωνία.

### Ομάδα "Sir Isaac Newton"

Η μελέτη του στάσιμου κύματος ξεκινά από τη μελέτη της εξαναγκασμένης ταλάντωσης. Η ομάδα της Φυσικής προετοιμάζεται από το διδάσκοντα για να παρουσιάσει στους συμμαθητές της την θεωρητική μελέτη του φαινομένου της εξαναγκασμένης ταλάντωσης χωρίς απόσβεση που έχει ήδη μελετηθεί σε προηγούμενη διδακτική ώρα. Οι μαθητές της ομάδας υπενθυμίζουν στους υπόλοιπους μαθητές τους ορισμούς της ελεύθερης ταλάντωσης και της ιδιοσυχνότητας και αναπαριστούν ένα παράδειγμα εξαναγκασμένης ταλάντωσης: ένας μαθητής, ως εξωτερικός διεγέρτης, εξαναγκάζει σε ταλάντωση μία λεκάνη με νερό, το ταλαντούμενο σύστημα, με τυχαία συχνότητα η οποία είναι διαφορετική της ιδιοσυχνότητας του συστήματος και, αν εξαιρέσουμε ένα αρχικό μεταβατικό χρονικό διάστημα, το νερό μέσα στη λεκάνη τελικά ταλαντώνεται με τη συχνότητα του εξωτερικού διεγέρτη. Αντίστοιχα, το ελεύθερο άκρο μίας χορδής το οποίο εκτελεί εξαναγκασμένη ταλάντωση, είναι η πηγή του κύματος που διαδίδεται στο ελαστικό μέσο με φορά προς το άκρο της χορδής που είναι ακλόνητα στερεωμένο (δεσμός).

Γίνεται συζήτηση για την αρχική φάση αυτού του κύματος και τονίζεται το γεγονός ότι αυτό το κύμα που διαδίδεται προς το άκρο της χορδής που είναι δεσμός περιγράφεται από την εξίσωση:

$$y_1 = A \sin \left[ 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \right]$$

το μέτωπο δηλαδή του κύματος είναι ένα "όρος", με αρχική φάση ίση με μηδέν. Η πηγή που δημιουργεί το δεύτερο κύμα, το οποίο κινείται σε αντίθετη κατεύθυνση από το πρώτο, από το δεσμό της χορδής προς το ελεύθερο άκρο, βρίσκεται στην θέση  $x = \lambda$ . Εδώ γίνεται αρκετή συζήτηση μεταξύ των μαθητών σχετικά με το πώς είναι δυνατόν ένα ακίνητο σημείο, όπως είναι ο δεσμός στο άκρο της χορδής, να αποτελεί την πηγή του δεύτερου κύματος. Θυμίζουμε τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα και το σχήμα 2.15 του σχολικού βιβλίου (Ιωάννου κ.α., 2012, σ. 52) που αναπαριστά έναν κυματικό παλμό να ανακλάται σε σταθερό εμπόδιο και να διαδίδεται αντίθετα. Η αρχική φάση αυτού του δεύτερου κύματος είναι ίση με  $\pi$ , δηλαδή το μέτωπο αυτού του κύματος είναι μία "κοιλιάδα" και η εξίσωση που το περιγράφει είναι η

$$y_2 = A \sin \left[ 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} + \frac{1}{2} \right) \right]$$

Τέλος, η θεωρητική μελέτη του στάσιμου κύματος ολοκληρώνεται με τη διατύπωση της αρχής της επαλληλίας, σύμφωνα με την οποία η απομάκρυνση ενός σημείου της χορδής θα ισούται με το άθροισμα των δύο παραπάνω απομακρύνσεων  $y_1$  και  $y_2$ .

### Ομάδα "Gottfried Wilhelm von Leibniz"

Η ομάδα των μαθηματικών χρησιμοποιεί τον έναν υπολογιστή και συμπληρώνει ηλεκτρονικό φύλλο εργασίας που μπορεί να αναζητηθεί στην διεύθυνση <http://eclass.sch.gr/> (αναζήτηση μαθημάτων με όνομα σχολείου "Γενικό Λύκειο Χαλάστρας", όνομα μαθήματος (Κωδικός) Φυσική Α (EL425104), στην

ενότητα “Αυτοαξιολόγηση”, όνομα άσκησης “Εξαναγκασμένη ταλάντωση και στάσιμα κύματα”). Το φύλλο εργασίας<sup>1</sup> ξεκινάει με το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα και τη διαφορική εξίσωση που περιγράφει την κίνηση.

$$\Sigma F = ma \Rightarrow F_{\text{ελατηρίου}} + F_{\text{διεγέρτη}} = ma$$

$$-kx + F_0 \eta \mu(\omega t) = m \frac{dx^2}{dt^2}$$

Οι λύσεις της διαφορικής εξίσωσης είναι μία οικογένεια ημιτονοειδών συναρτήσεων με συχνότητα ίση με τη συχνότητα  $\omega$  του διεγέρτη και όχι την ιδιοσυχνότητα  $\omega_0$  του συστήματος (Τραχανάς, 1989 σ. 128-130). Από την ομάδα Leibniz ζητάμε τον υπολογισμό της πρώτης παραγώγου της πιθανής λύσης, δηλαδή της ταχύτητας, και της δεύτερης παραγώγου που είναι η επιτάχυνση, αφού τους δώσουμε τη γενική λύση. Οι μαθητές αυτής της τάξης (Γ' Λυκείου) έχουν ήδη διδαχθεί στην παρούσα χρονική περίοδο στα μαθηματικά την παραγώγιση σύνθετων συναρτήσεων και έτσι μπορούν να χειριστούν ανάλογα ερωτήματα. Το ηλεκτρονικό φύλλο εργασίας καθοδηγεί τους μαθητές να υπολογίσουν τη σχέση που συνδέει το πλάτος ταλάντωσης  $A$  με την μέγιστη δύναμη  $F_0$ , την μάζα του συστήματος, τη συχνότητα του διεγέρτη  $\omega$  και την ιδιοσυχνότητα του συστήματος  $\omega_0$ , στην εξαναγκασμένη ταλάντωση:

$$A = \frac{F_0}{m\omega^2 - m\omega_0^2}$$

Στη συνέχεια θα πρέπει οι μαθητές να σχεδιάσουν ποιοτικά τη γραφική παράσταση της σχέσης που συνδέει το πλάτος της εξαναγκασμένης ταλάντωσης σε συνάρτηση με την συχνότητα του διεγέρτη. Θα πρέπει επομένως να απαντήσουν, ενδεικτικά, στις ερωτήσεις:

Πού τείνει το πλάτος ταλάντωσης  $A$ , εάν η συχνότητα του διεγέρτη τείνει στο άπειρο;

Πού τείνει το πλάτος ταλάντωσης  $A$ , εάν η συχνότητα του διεγέρτη τείνει στο μηδέν;

Πού τείνει το πλάτος ταλάντωσης  $A$ , εάν η συχνότητα του διεγέρτη τείνει στην ιδιοσυχνότητα του συστήματος  $\omega_0$ ;

Τέλος, οι “μαθηματικοί” οφείλουν, κάνοντας χρήση της τριγωνομετρικής ταυτότητας

$$\eta \mu \alpha + \eta \mu \beta = 2 \sigma \nu \left( \frac{\alpha - \beta}{2} \right) \eta \mu \left( \frac{\alpha + \beta}{2} \right)$$

να εφαρμόσουν την αρχή της επαλληλίας, προσθέτοντας τις δύο απομακρύνσεις  $y_1$  και  $y_2$ , και να αποδείξουν τη σχέση που δίνει την απομάκρυνση για την περίπτωση που η χορδή έχει μήκος  $L$  και το ένα της άκρο είναι δεσμός:

$$y = 2A \eta \mu 2\pi \left( \frac{L - x}{\lambda} \right) \sigma \nu 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{L}{\lambda} \right)$$

Προτείνεται η συγκεκριμένη ομάδα να φροντίσουμε να συσταθεί από μαθητές με ευχέρεια στους μαθηματικούς χειρισμούς καθώς είναι η ομάδα που δουλεύει μόνη της περισσότερο από τις υπόλοιπες, καθοδηγούμενη από το φύλλο εργασίας.

### Ομάδα “CERN”

Η ομάδα των ερευνητών είναι αυτή που θα εκτελέσει την καθαρά πειραματική διαδικασία. Η επιτυχής διεκπεραίωση του πειράματος είναι κομβικής σημασίας για την ολοκλήρωση της διδακτικής προσέγγισης που προτείνεται εδώ. Η ομάδα αυτή χρησιμοποιεί το κινητό τηλέφωνο, το ελατήριο και τη μετροταινία. Το πείραμά της αποτελείται από δύο μέρη.

Στο πρώτο μέρος οι μαθητές τοποθετούν το σκληρό ελατήριο κυματισμών στο πάτωμα και με την βοήθεια μετροταινίας μετράνε<sup>2</sup> μήκος  $L = 1.5 \text{ m}$ . Σκοπός του πρώτου μέρους είναι η εύρεση της ταχύτητας διάδοσης εγκάρσιων αρμονικών κυμάτων στο ελατήριο. Ο ένας “ερευνητής” κρατά ακινητοποιημένο με το χέρι του το ένα άκρο του ελατηρίου αναπαριστώνοντας το δεσμό και ένας δεύτερος δημιουργεί εγκάρσιο κυματικό παλμό, μετακινώντας απότομα και κάθετα στην διεύθυνση του ελατηρίου το άκρο που κρατά στο χέρι του, αναπαριστώνοντας τον εξωτερικό διεγέρτη. Ταυτόχρονα τρίτος “ερευνητής” με την βοήθεια του “ερευνητή – εξωτερικού διεγέρτη” μετράει το χρονικό διάστημα κίνησης του παλμού. Γνωρίζοντας τη συνολική απόσταση που θα διανύσει ο παλμός και το χρονικό διάστημα, υπολογίζεται η ταχύτητα. Για να μειωθούν οι αβεβαιότητες της μέτρησης οι μαθητές μετράνε το χρονικό διάστημα για περισσότερες από μία διαδρομές του παλμού. Η εμπειρία στην τάξη υποδεικνύει ότι αρκούν τρεις διαδρομές πήγαινε-έλα για να υπάρξουν ικανοποιητικά αποτελέσματα (για περισσότερες, λόγω τριβών ο κυματικός παλμός εξασθενεί και τελικά μηδενίζεται).

Στο δεύτερο μέρος ο “ερευνητής – εξωτερικός διεγέρτης” εξαναγκάζει το ελεύθερο άκρο του ελατηρίου σε ταλάντωση με σταδιακά αυξανόμενη συχνότητα. Καθώς αυξάνεται η συχνότητα εμφανίζεται μία “άτρακτος” κατά μήκος του ελαστικού μέσου. Το κινητό τηλέφωνο καταγράφει σε βίντεο το στάσιμο κύμα σε αυτή την πρώτη αρμονική συχνότητα. Ο “ερευνητής – εξωτερικός διεγέρτης” συνεχίζει να αυξάνει τη συχνότητα ταλάντωσης του ελεύθερου άκρου του ελαστικού μέσου. Σε αυτό το σημείο πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή από τον “ερευνητή - δεσμό”, καθ’ όλη τη διάρκεια του πειράματος, διότι το τεντωμένο ελατήριο μπορεί να του ξεφύγει και να υπάρξει τραυματισμός. Όταν η συχνότητα διπλασιασθεί εμφανίζονται δύο άτρακτοι (σχετικό βίντεο είναι διαθέσιμο στη σελίδα eclass, ακολουθώντας τη διαδρομή που αναφέρθηκε προηγουμένως, αλλά και στο δικτυακό τόπο του περιοδικού). Οι “ερευνητές” πειραματιζόμενοι μπορούν να εμφανίσουν έως τέσσερις ατράκτους στο ελαστικό μέσο. Είναι πολύ εύκολο οι υπόλοιποι μαθητές να ξεχωρίσουν τα σημεία “δεσμούς” και “κοιλίες” σε κάθε περίπτωση.

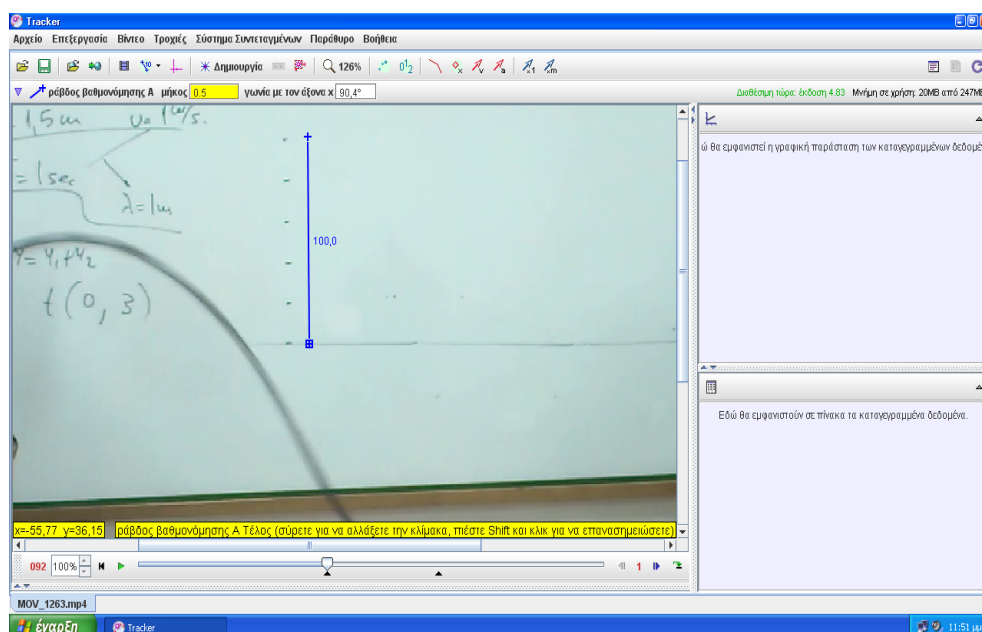
Φυσικά, κάθε φορά που οι “ερευνητές” πετυχαίνουν τη σωστή συχνότητα, ο ενθουσιασμός στην τάξη είναι εμφανής και ανάλογη είναι η ικανοποίηση των “ερευνητών”. Για την ομάδα των “ερευνητών” μπορούμε να επιλέξουμε εκείνους τους μαθητές που ενδιαφέρονται λιγότερο για το μάθημα και όσους πιστεύουμε ότι χρειάζεται να τονώσουμε την αυτοπεποίθησή τους ή μαθητές με προβλήματα συμπεριφοράς, μαθησιακές δυσκολίες κ.λ.π..

### Ομάδα “Alan Matheson Turing”

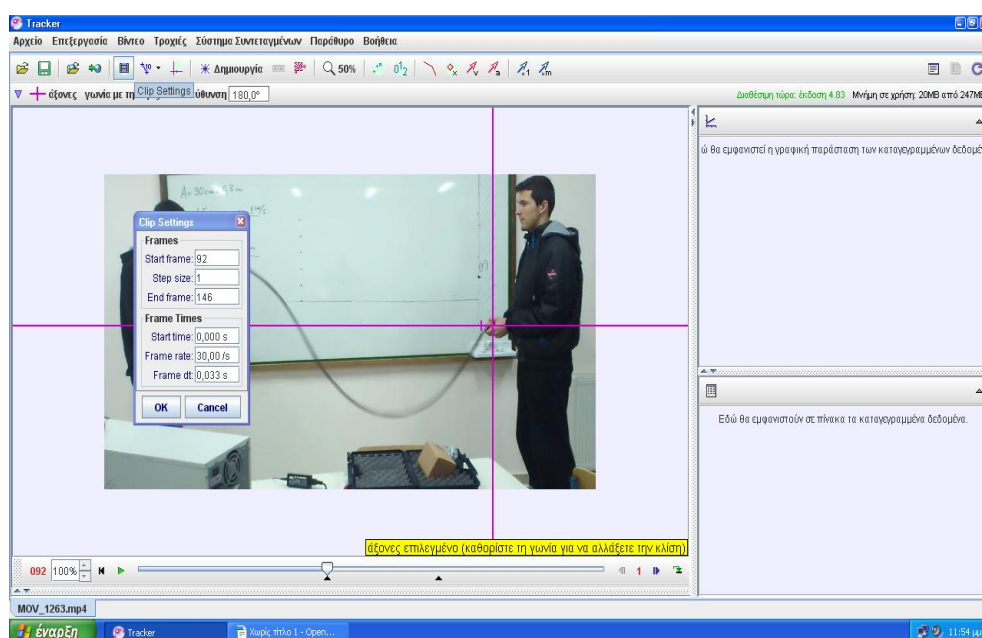
Η ομάδα της πληροφορικής προετοιμάζεται, με τη βοήθεια του διδάσκοντα, ώστε να παρουσιάσει στους συμμαθητές της τη μελέτη των στάσιμων κυμάτων μέσω της εικονικής αναπαράστασης σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Για το λόγο αυτό έχει αναπτυχθεί κώδικας ενώ αξιοποιούνται διάφορα προγράμματα και λογισμικά. Αυτά είναι λογισμικά ελεύθερης διανομής και έχουν εγκατασταθεί σε δύο υπολογιστές εκ των οποίων ο ένας τρέχει λειτουργικό σύστημα windows xp και ο άλλος λειτουργικό σύστημα linux ubuntu. Είναι όλα συγκεντρωμένα και διαθέσιμα για μεταφόρτωση (“κατέβασμα”) στη διεύθυνση <http://eclass.sch.gr/> (αναζήτηση μαθημάτων με όνομα σχολείου “Γενικό Λύκειο Χαλάστρας”, όνομα μαθήματος (Κωδικός) Εργαστήριο Φυσικής (EL425110), στην ενότητα “Συνδέσεις Διαδικτύου”).

Το πρώτο πρόγραμμα που αξιοποιείται είναι το Tracker (<http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>). Είναι ένα εργαλείο για ανάλυση βίντεο και ταυτόχρονα για τη δημιουργία μοντέλων. Έχει γραφεί σε Java και σχεδιάστηκε ειδικά για την εκπαίδευση και συγκεκριμένα για το μάθημα της Φυσικής. Το βίντεο που έχει καταγράψει η ομάδα των “ερευνητών” αναλύεται με το συγκεκριμένο λογισμικό. Απαραίτητες πληροφορίες για τη σωστή ανάλυση των δεδομένων είναι η αρχικοποίηση του χώρου και του χρόνου. Για το χώρο έχουμε προνοήσει να σχεδιάσουμε στον πίνακα της τάξης με τη βοήθεια της μετροταινίας, διαδοχικές χαραγές με μεταξύ τους απόσταση είκοσι εκατοστόμετρων οι οποίες πρέπει να έχουν καταγραφεί στο αρχείο mp4 (Εικόνα 1). Για το χρόνο, ανάλογα με τον τύπο της συσκευής, εισάγουμε την τιμή fps (frames per second) της κάμερας του κινητού τηλεφώνου όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.

Η ομάδα της πληροφορικής ορίζει ένα σημείο αναφοράς (“δημιουργία υλικού σημείου”) και καταγράφει σε λογιστικό φύλλο τιμές χρόνου και χώρου της ταλάντωσης του ελατηρίου. Από αυτές τις τιμές είναι δυνατός ο υπολογισμός του πλάτους ταλάντωσης  $A$ , της περιόδου  $T$ . Έτσι, αξιοποιώντας την τιμή της ταχύτητας διάδοσης που υπολόγισε η ομάδα των “ερευνητών” μπορεί να υπολογιστεί και το μήκος κύματος  $\lambda$  του κύματος για τις διάφορες τιμές της συχνότητας. Αντίστροφα, μέσω του προγράμματος μπορεί να μετρηθεί το μήκος κύματος και να υπολογιστεί για τις διάφορες τιμές της συχνότητας η ταχύτητα διάδοσης του κύματος με σκοπό να συγκριθεί με την τιμή που υπολόγισαν οι “ερευνητές”. Τυχόν διαφορές στις δύο τιμές μπορούν να δώσουν το έναυσμα για συζήτηση για τις αβεβαιότητες των μετρήσεων.



Εικόνα 1. Βαθμονόμηση του χώρου με το λογισμικό Tracker.



Εικόνα 2. Βαθμονόμηση του χρόνου με το λογισμικό Tracker.

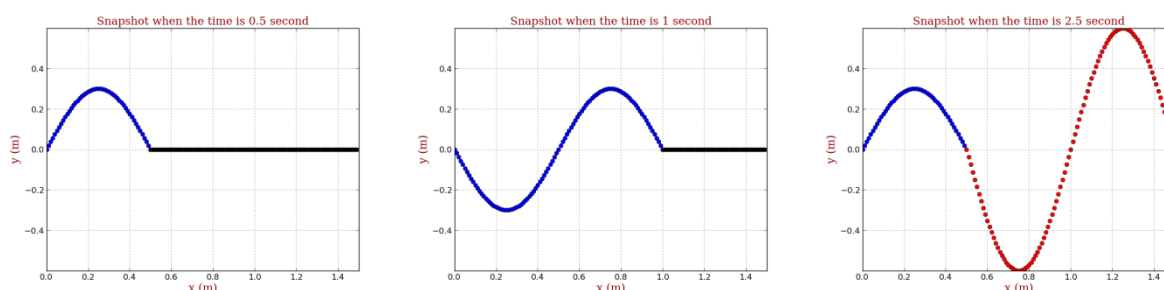
Για να ολοκληρωθεί η μελέτη του στάσιμου κύματος δίνεται ως εργασία για το σπίτι η εξής άσκηση: «Έστω η χορδή με μήκος  $L=1.5\text{ m}$  όπως αυτή που χρησιμοποιήσατε στο πείραμα, όπου το ένα της άκρο είναι δεσμός και το άλλο άκρο της  $O$  τίθεται σε κατακόρυφη ταλάντωση με πλάτος  $A = 30\text{ cm}$  και ταχύτητα διάδοσης του κύματος στο μέσο  $v = 1\text{ m/s}$ . Να σχεδιάσετε τα στιγμιότυπα της χορδής κάθε  $0.5\text{ sec}$ , από την χρονική στιγμή  $t=0$  έως τη χρονική στιγμή  $t=3\text{ s}$ ».

Χωρίς φυσικά να αμφισβητείται η χρησιμότητα τέτοιου τύπου ασκήσεων στην κατανόηση του μηχανισμού των στάσιμων κυμάτων, τα σχήματα μπορούν να γίνουν αρκετά περίπλοκα σε ορισμένες

περιπτώσεις. Έτσι, η ομάδα της πληροφορικής μπορεί, στο πλαίσιο των αρμοδιοτήτων της, να παρουσιάσει τη δική της λύση σχεδιασμού των στιγμιότυπων με την ανάπτυξη κώδικα, αφού παρουσιαστούν από τους μαθητές τα σχέδια που έκαναν «με το χέρι». Αν και υπάρχουν διαθέσιμα ελεύθερα λογισμικά που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, οι ευκαιρίες που έχουν οι μαθητές, στο πλαίσιο του σχολείου, να έρθουν σε επαφή με αυτό που ονομάζουμε υπολογιστική Φυσική (computational physics) ή υπολογιστική Επιστήμη (computational science) γενικότερα, είναι ελάχιστες. Την ίδια στιγμή υπάρχουν μαθητές που ασχολούνται με τον προγραμματισμό, έστω και στο επίπεδο του μαθήματος της «Ανάπτυξης Εφαρμογών σε Προγραμματιστικό Περιβάλλον».

Στην εφαρμογή της παρούσας διδακτικής πρότασης στο σχολείο μας αναπτύχθηκε κώδικας στη γλώσσα προγραμματισμού python. Συγκεκριμένα στο δεύτερο υπολογιστή, που τρέχει linux ubuntu, εγκαταστάθηκε το πρόγραμμα Ipython, ένα IDE που περιλαμβάνει εκτός από την βασική γλώσσα αρκετές χρήσιμες βιβλιοθήκες όπως numpy, matplotlib και εγκαθίσταται εύκολα και γρήγορα. (Langtangen, 2006; Downey, 2009). Εναλλακτικά, εάν δεν υπάρχει διαθέσιμος υπολογιστής που να τρέχει linux μπορούμε να εγκαταστήσουμε το πρόγραμμα canpony (<https://www.enthought.com/products/epd/free/>) σε περιβάλλον windows, για να έχουμε πρόσβαση στο ίδιο προγραμματιστικό περιβάλλον. Τα λογισμικά βρίσκονται στην διεύθυνση [eclass.sch.gr](http://eclass.sch.gr) στο μάθημα “Εργαστήριο Φυσικής”, στην ενότητα “Συνδέσεις Διαδικτύου”.

Ο πρωτότυπος κώδικας που αναπτύχθηκε είναι και αυτός διαθέσιμος στη διεύθυνση [eclass.sch.gr](http://eclass.sch.gr), στο μάθημα Εργαστήριο Φυσικής, στην ενότητα “Εγγραφα”, με το όνομα “Στάσιμα Κύματα”. Κατά την παρουσίασή του η ομάδα της πληροφορικής εξηγεί στους υπόλοιπους μαθητές τη λειτουργία του και αφού τον τρέξει εμφανίζει τη λύση της παραπάνω άσκησης (Εικόνα 3). Ακολουθεί συζήτηση σχετικά με τα στιγμιότυπα που παράχθηκαν στην οθόνη του υπολογιστή και γίνεται σύγκριση με αυτά που παρήγαγαν οι μαθητές.



Εικόνα 3. Ενδεικτικά στιγμιότυπα κύματος όπως προκύπτουν από το λογισμικό που αναπτύχθηκε.

### Συμπεράσματα

Η παρούσα πρόταση διδασκαλίας υλοποιήθηκε στο Γενικό Λύκειο Χαλάστρας κατά το σχολικό έτος 2013-2014. Χρειάστηκαν δύο διδακτικές ώρες και πρόσθετη υλικοτεχνική υποδομή από αυτή που υπάρχει διαθέσιμη συνήθως σε μία τάξη. Επίσης, οι μαθητές προετοιμάστηκαν από το σπίτι για

να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις της πρότασης, ειδικά αυτοί που ανέλαβαν την ανάπτυξη του κώδικα, σε συνεργασία με το διδάσκοντα.

Το κύριο πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε ήταν η επένδυση που απαιτήθηκε σε διδακτικό χρόνο και προετοιμασία λόγω του ιδιαίτερου χαρακτήρα των μαθημάτων κατεύθυνσης στη Γ' Λυκείου. Οι μαθητές αυτής της τάξης, προσβλέποντας σε επιτυχή προετοιμασία για τις πανελλήνιες εξετάσεις, έχουν μηδαμινό ελεύθερο χρόνο στο σπίτι ενώ και στο σχολείο η συνήθης πρακτική είναι η επίλυση προβλημάτων παρά η πειραματική διαχείριση των εννοιών.

Ωστόσο, η αποδοχή εκ μέρους τους του εγχειρήματος ήταν ενθουσιώδης. Η συμμετοχή όλων και η εκπλήρωση των καθηκόντων που είχε αναλάβει κάθε μαθητής στην ομάδα του, αποτέλεσε μια ευχάριστη έκπληξη όχι μόνο για τον διδάσκοντα αλλά και για τους ίδιους τους μαθητές. Ιδιαίτερα θετική ήταν μάλιστα η στάση των φερόμενων ως «αδύναμων» μαθητών. Δημιουργώντας, φωτογραφίζοντας, αναλύοντας τα δικά τους στάσιμα κύματα, οι μαθητές είχαν την ευκαιρία να εμβαθύνουν στις εμπλεκόμενες έννοιες και να τοποθετηθούν, στο μέτρο του δυνατού, με καλύτερο τρόπο απέναντι στο μάθημα της Φυσικής αλλά και των Μαθηματικών και της Πληροφορικής. Η ολιστική αντιμετώπιση που επιχειρήθηκε φώτισε ένα μέρος του δρόμου που ενδεχομένως θα έπρεπε να ακολουθείται στη διδακτική προσέγγιση των τόσο διαχωρισμένων και διακριτών, από το αναλυτικό πρόγραμμα, Φυσικών Επιστημών.

### Βιβλιογραφία

- Downey, A. (2009). *Python for software design: how to think like a computer scientist*. Cambridge University Press.
- Langtangen, H. P. (2006). *Python scripting for computational science*. Springer.
- Ιωάννου, Α., Ντάνος, Γ., Πήττας, Α., Ράπτης, Σ. (2012). *Φυσική Θετικής & Τεχνολογικής Κατεύθυνσης*. Εκδόσεις ΙΤΥΕ “ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ”.
- Τραχανάς, Σ. (1989). *Διαφορικές εξισώσεις*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.



Ο Παναγιώτης Πετρίδης είναι Φυσικός με μεταπτυχιακή εξειδίκευση στα πληροφοριακά συστήματα. Πριν διοριστεί στην Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση το 2004, εργάστηκε ως καθηγητής στην ιδιωτική εκπαίδευση. Έχει ασχοληθεί με τη μελέτη και χρήση υπηρεσιών κοινωνικής δικτύωσης στην ηλεκτρονική μάθηση. Στον ελεύθερο χρόνο του δημιουργεί web εφαρμογές με την γλώσσα Ruby και μοντέλα προσομοίωσης της πραγματικότητας με την γλώσσα Python.