Οπτικός Παλμογράφος

Δημήτρης Τσαούσης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργαστηριακή συσκευή που κατασκευάσαμε, συμπληρώνει το κενό που υπάρχει στα όργανα φυσικής στο κεφάλαιο των ταλαντώσεων. Συνθέτει δυο μηχανικές ταλαντώσεις που παράγει μόνη της με τη βοήθεια ελατηρίων και μας βοηθά να κατανοήσουμε τη σύνθεση δυο ταλαντώσεων ανεξάρτητων μεταξύ τους. Είναι απλή και η λειτουργία της βασίζεται στη γεωμετρική οπτική. Για τις δυο αρχικές ταλαντώσεις έχουμε τη δυνατότητα να καθορίσουμε τη συχνότητά τους, το πλάτος τους και την αρχική διαφορά φάσης μεταξύ τους. Μπορούμε να παρακολουθήσουμε κάθε ταλάντωση χωριστά και να δούμε τη συνισταμένη τους ταλάντωση. Εκτός από την οπτική παρατήρηση της ταλάντωσης, έχουμε τη δυνατότητα να καταγράψουμε τις συντεταγμένες της ταλάντωσης συναρτήσει του χρόνου και να εισάγουμε τα δεδομένα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή ώστε να λάβουμε τις γραφικές παραστάσεις των ταλαντώσεων. Ο οπτικός παλμογράφος μπορεί να συνθέσει ταλαντώσεις της ίδιας διεύθυνσης και ταλαντώσεις κάθετες μεταξύ τους ώστε να δώσει τις καμπύλες Lissajous.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Σύνθεση ταλαντώσεων, διακρότημα, καμπύλες Lissajous.

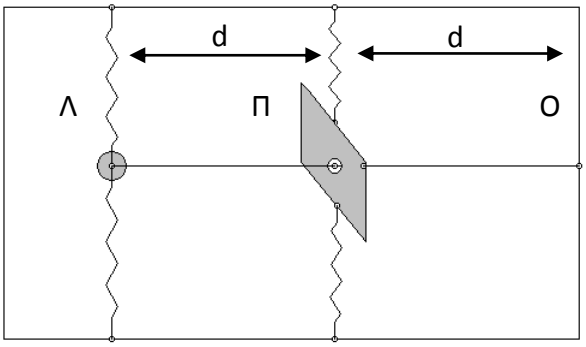
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σύνθεση ταλαντώσεων είναι μια δύσκολη έννοια για τους μαθητές αλλά και ένα πολύ ενδιαφέρον θέμα. Σε προηγούμενες εργασίες με τίτλους Η προσθετική ιδιότητα της ενέργειας, (The additive property of energy), Joopee – Joopee Game, Αυτόνομο και Συνεργατικό Έργο και ο Μηχανικός Παλμογράφος διαπραγματευθήκαμε έννοιες που ανήκουν στην ευρύτερη σφαίρα της σύνθεσης ταλαντώσεων. Παρ' όλα αυτά, φαίνεται ότι το θέμα δεν εξαντλήθηκε ακόμη. Αυτή τη φορά μελετούμε πάλι τη σύνθεση δύο ταλαντώσεων με ένα πείραμα οπτικής.

Το εργαστηριακό όργανο που κατασκευάσαμε καλύπτει ικανό αριθμό εργαστηριακών ασκήσεων στο κεφάλαιο των ταλαντώσεων και πιστεύουμε ότι θα αποτελέσει το κατάλληλο εργαλείο με το οποίο ο καθηγητής της Φυσικής θα μπορέσει να βελτιώσει τη διδασκαλία του και οι μαθητές θα εμπεδώσουν το μάθημά τους.

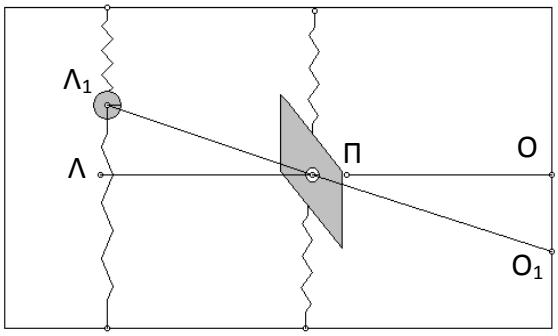
ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σχεδιάσαμε και κατασκευάσαμε μια νέα πειραματική συσκευή για να μελετήσουμε τη σύνθεση ταλαντώσεων. Η λειτουργία της βασίζεται στην ευθύγραμμη διάδοση του φωτός. Τη νέα συσκευή την ονομάσαμε οπτικό παλμογράφο. Η συσκευή αποτελείται από μια σημειακή φωτεινή πηγή Λ (λαμπάκι), ένα πέτασμα Π που διαθέτει στο κέντρο του μικρή οπή και μια οθόνη Ο όπως φαίνεται στο σχήμα 1. Το πέτασμα ισαπέχει από το λαμπάκι και την οθόνη. Το λαμπάκι και το πέτασμα είναι στερεωμένα με ένα σύστημα δυο ελατηρίων το καθένα. Το λαμπάκι ή το πέτασμα μπορεί να ταλαντώνεται με συχνότητα που εξαρτάται από τη μάζα του και τη σταθερά των ελατηρίων στα οποία στηρίζεται.

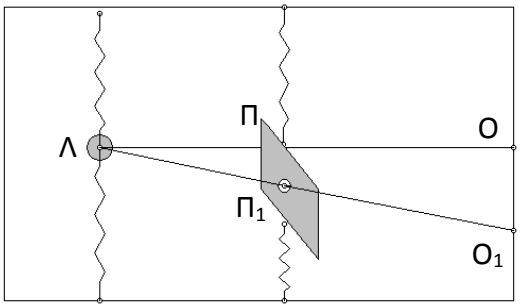


Σχήμα 1. Σχηματική παράσταση της διάταξης του οπτικού παλμογράφου

Μια φωτεινή ακτίνα που εκπέμπεται από το λαμπάκι περνά από την οπή του πετάσματος και δίνει μια φωτεινή κηλίδα στην οθόνη.
Αν μόνο το λαμπάκι πάλλεται με εξίσωση
Ψ1=-αημωt (1)
Τότε λόγω των ομοίων τριγώνων $ΠΛΛ_1$ και $ΠΟΟ_1$ του σχήματος 2 η κηλίδα στην οθόνη πάλλεται με εξίσωση
Υ1=αημωt (2)



Σχήμα 2. Αν μόνο το λαμπάκι μετακινείται προς τα επάνω, η κηλίδα στην οθόνη πάλλεται με όμοιο τρόπο αλλά προς τα κάτω με ίδιο πλάτος.



Σχήμα 3. Αν μόνο το πέτασμα μετακινείται προς τα κάτω, η κηλίδα στην οθόνη πάλλεται με όμοιο τρόπο αλλά με διπλάσιο πλάτος.

Αν μόνο το πέτασμα πάλλεται με εξίσωση

$\Psi 1 = \frac{1}{2}$ αημωt (3)

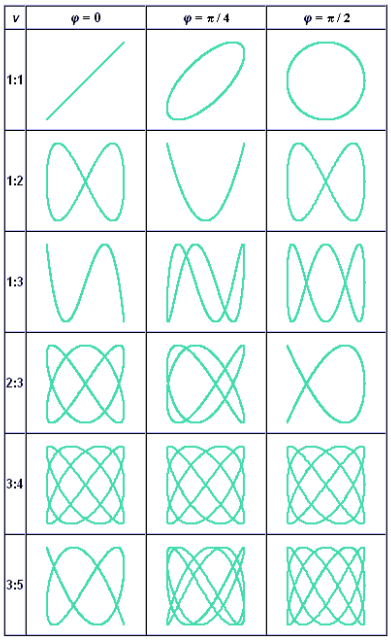
Τότε λόγω των όμοιων τριγώνων $ΛΠΠ_1$ και $ΛΟΟ_1$ του σχήματος 3 η κηλίδα στην οθόνη πάλλεται με εξίσωση

Y2=αημωt (4)

Προφανώς, αν πάλλονται το λαμπάκι και το πέτασμα μαζί η κηλίδα θα εκτελεί μια σύνθετη ταλάντωση

Y = Y1 + Y2 (5)

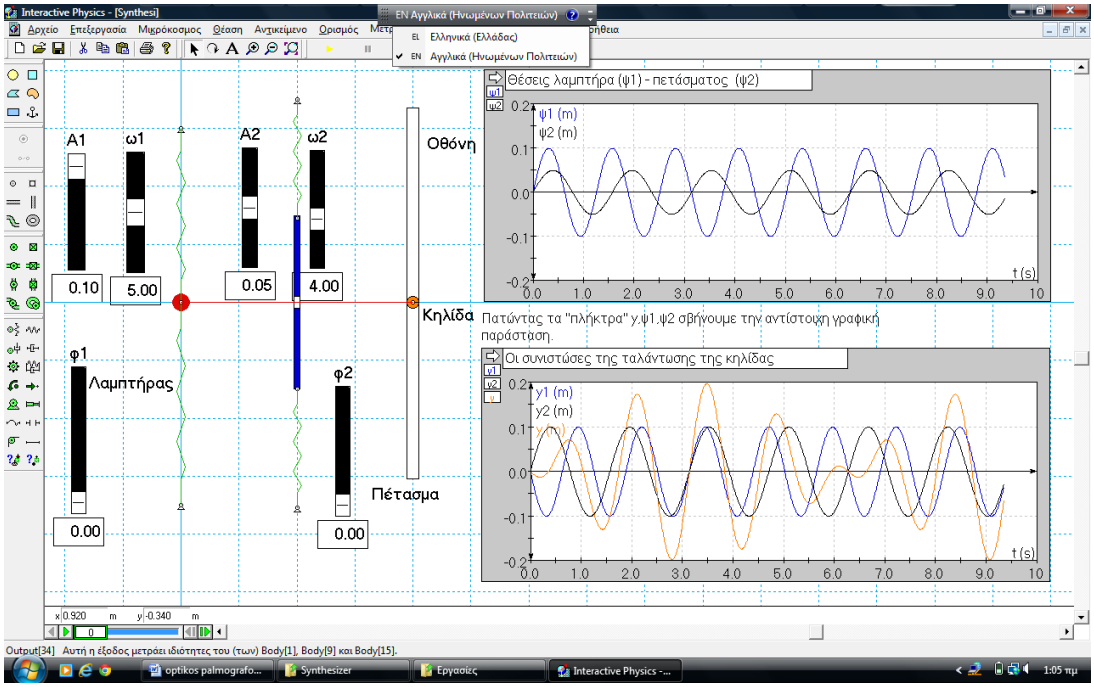
Μπορούμε να εφαρμόσουμε ένα κατάλληλο μηχανισμό ώστε να διεγείρουμε τις δυο ταλαντώσεις με τέτοιο τρόπο ώστε οι Y1 και Y2 να ξεκινήσουν να πάλλονται με μια αρχική φάση και πλάτος που εμείς έχουμε σχεδιάσει. Για κατάλληλα βάρη και ελατήρια μπορούμε να ρυθμίσουμε τις συχνότητες των δυο επιμέρους ταλαντώσεων. Αν όλα τα ομόλογα εξαρτήματα είναι ίδια, οι δυο ταλαντώσεις θα είναι της ίδιας συχνότητας. Αν το λαμπάκι και το πέτασμα πάλλονται στον ίδιο άξονα στην οθόνη έχουμε σύνθεση δυο ταλαντώσεων της ίδιας διεύθυνσης. Φυσικά αν το λαμπάκι πάλλεται στον άξονα ψ και το πέτασμα στον άξονα x, τότε θα έχουμε σύνθεση ταλαντώσεων σε δυο κάθετους άξονες, οπότε μπορούμε να πάρουμε τις όμορφες καμπύλες Lissajous (Λισαζού) που φαίνονται στο σχήμα 4.



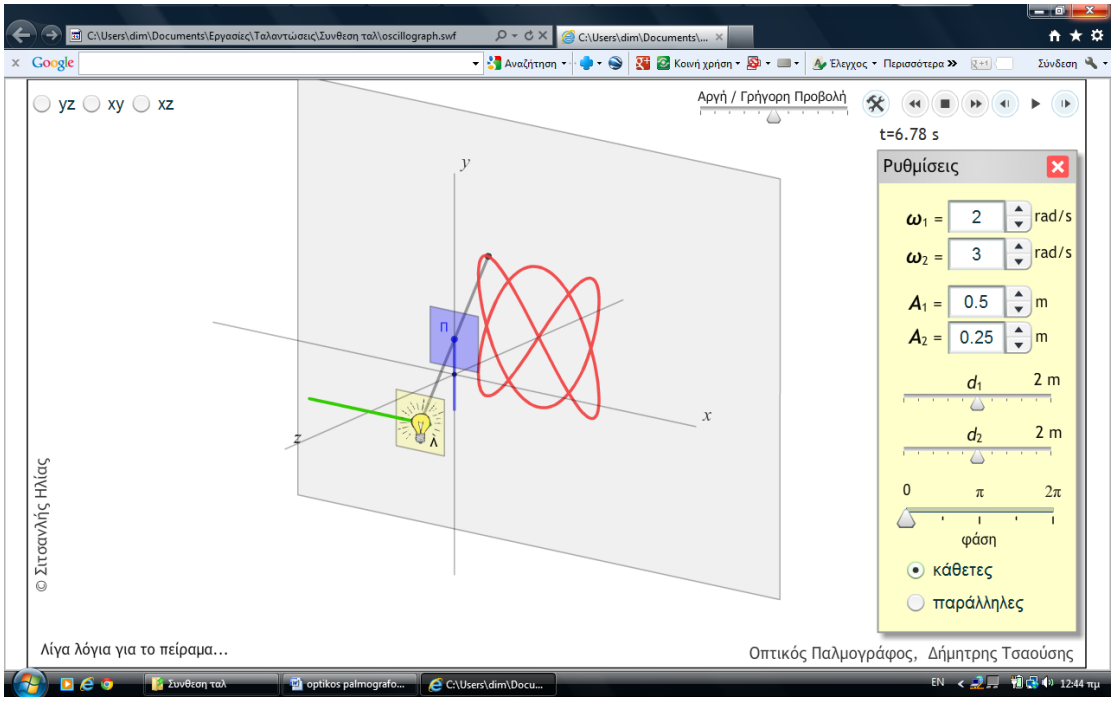
Σχήμα 4. Καμπύλες Lissajous που προκύπτουν για κάθετες μεταξύ τους ταλαντώσεις ανάλογα με το λόγο συχνοτήτων τους.

Ο συνάδελφος Γιάννης Κυριακόπουλος πραγματοποίησε μια προσομοίωση του οπτικού παλμογράφου με το πρόγραμμα Interactive Physics[1]. Το αποτέλεσμα είναι καταπληκτικό. Η προσομοίωση όπως φαίνεται στο σχήμα 5 είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να μας δίνει τη δυνατότητα να βλέπουμε τις γραφικές παραστάσεις του λαμπτήρα, του πετάσματος, των επαγομένων ταλαντώσεων στην φωτεινή κηλίδα και τη γραφική παράσταση της τελικής συνισταμένης κίνησης της κηλίδας στην οθόνη. Η προσομοίωση μπορεί να τρέξει παράλληλα με το πραγματικό πείραμα ώστε οι μαθητές να καταλάβουν τη διαφορά μεταξύ προσομοίωσης και πραγματικού πειράματος.

[1] http://ylikonet.gr/group/explorativecreation/forum/topics/3647795:Topic:133405



Σχήμα 5. Προσομοίωση του οπτικού παλμογράφου με το πρόγραμμα Interactive Physics



Σχήμα 6. 3D Προσομοίωση του οπτικού παλμογράφου

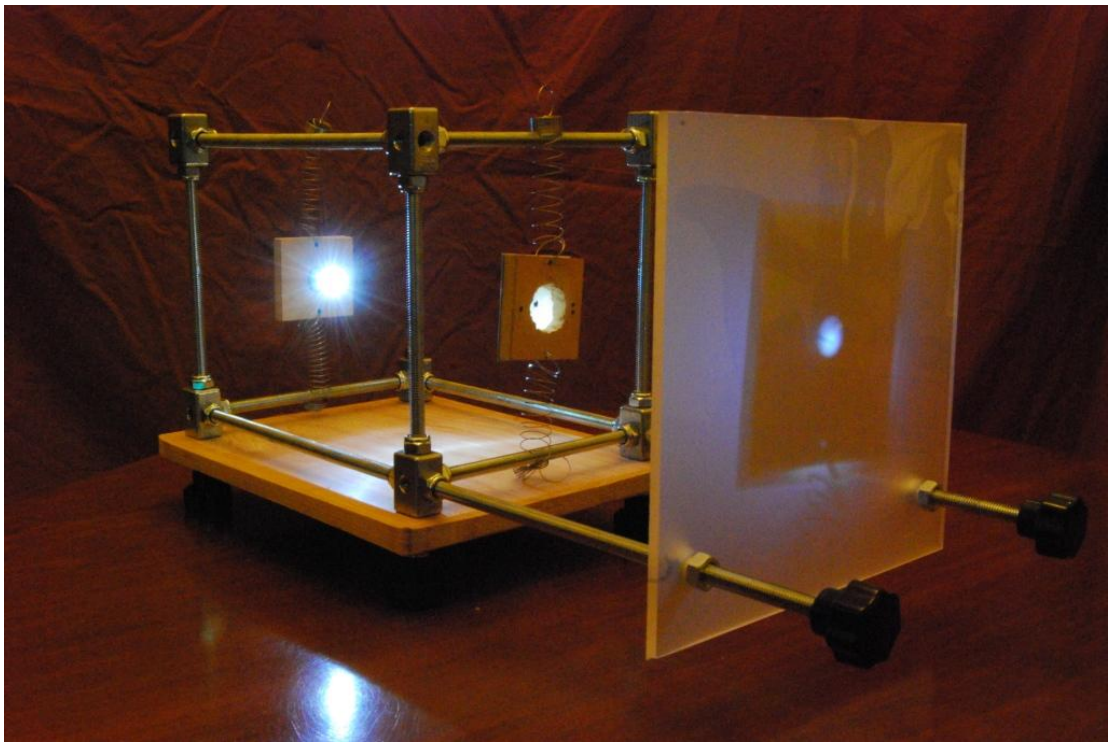
Ο συνάδελφος Ηλίας Σιτσανλής πραγματοποίησε μια 3D προσομοίωση του οπτικού παλμογράφου.[2] Το αποτέλεσμα είναι φανταστικό. Η προσομοίωση όπως φαίνεται στο σχήμα 6 είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να έχουμε τη δυνατότητα να αλλάξουμε τη γωνία θέασης, να επιλέξουμε παράλληλες ταλαντώσεις ή κάθετες, να αλλάξουμε την απόσταση της φωτεινής πηγής ή της οθόνης από το πέτασμα και να ρυθμίσουμε τη

[2] http://www.seilias.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=310&Itemid=32&catid=24

συχνότητα, το πλάτος και τη διαφορά φάσης των ταλαντώσεων. Όταν η προσομοίωση πραγματοποιείται στο επίπεδο yz ή xy ανάλογα με την επιλογή <απομακρύνσεις πετάσματος – λάμπας ή θέσεις κηλίδας> μπορούμε να πάρουμε τις αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις των ταλαντώσεων. Υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης της κύλισης της γραφικής παράστασης και της ταχύτητας διεξαγωγής της προσομοίωσης ενώ όταν ο δείκτης του ποντικιού τοποθετηθεί στο λαμπάκι ή στην οπή του πετάσματος ή στη φωτεινή κηλίδα βλέπουμε την αντίστοιχη στιγμιαία απομάκρυνση.

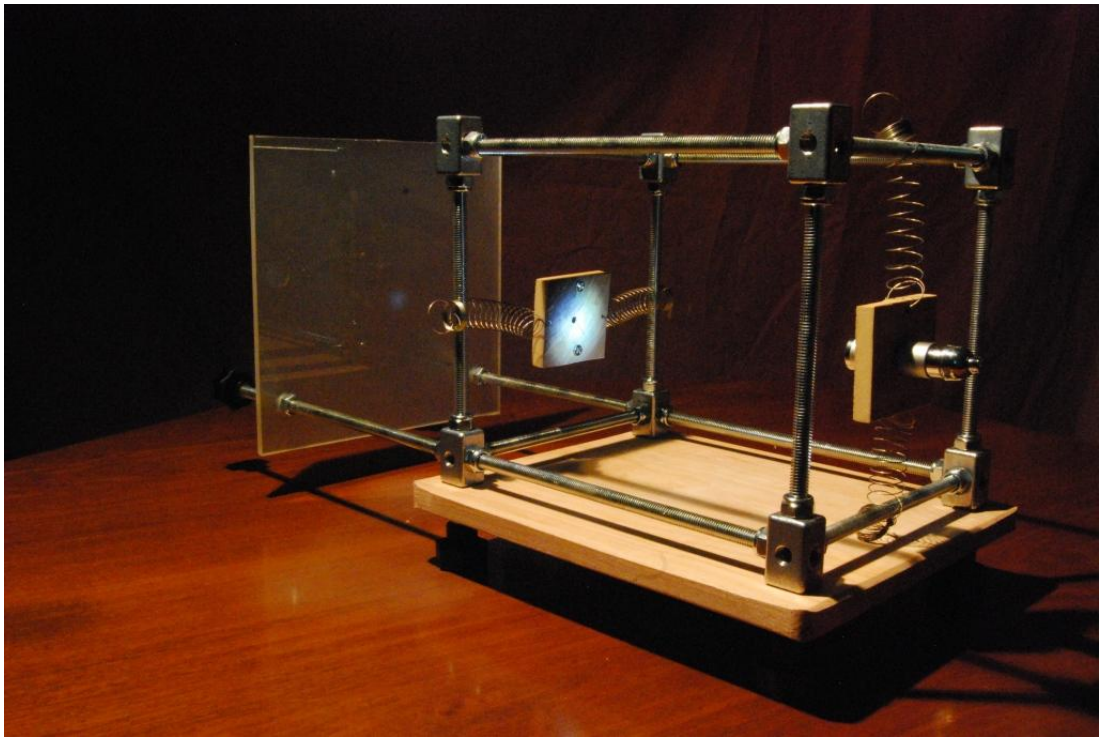
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

Σε μια ξύλινη βάση έχουμε προσαρτήσει ένα μεταλλικό πλαίσιο στο οποίο εξαρτήσαμε ένα λαμπάκι και ένα πέτασμα που μπορούν να ταλαντώνονται με τη βοήθεια ελατηρίων, ενώ κάθε ταλάντωση δύναται να προβάλλεται στην οθόνη της συσκευής. Στη φωτογραφία του σχήματος 7 φαίνεται ο οπτικός παλμογράφος που κατασκευάσαμε συναρμολογημένος έτσι ώστε να πραγματοποιεί σύνθεση ταλαντώσεων της ίδιας διεύθυνσης. Ένα βίντεο με τη λειτουργία της συσκευής που συνθέτει ταλαντώσεις της ίδιας διεύθυνσης είναι αποθηκευμένο στην διεύθυνση: https://www.youtube.com/watch?v=zVbepblmALM



Σχήμα 7. Φωτογραφία του οπτικού παλμογράφου ενώ πραγματοποιεί σύνθεση ταλαντώσεων της ίδιας διεύθυνσης.

Στη φωτογραφία του σχήματος 8 η συσκευή συνθέτει δύο ταλαντώσεις κάθετες μεταξύ τους για να πάρουμε τις καμπύλες Lissajous.
Ένα βίντεο με τη λειτουργία της συσκευής που συνθέτει δυο ταλαντώσεις κάθετες μεταξύ τους είναι αποθηκευμένο στην διεύθυνση:
https://www.youtube.com/watch?v=pYe6wB6_4Sc

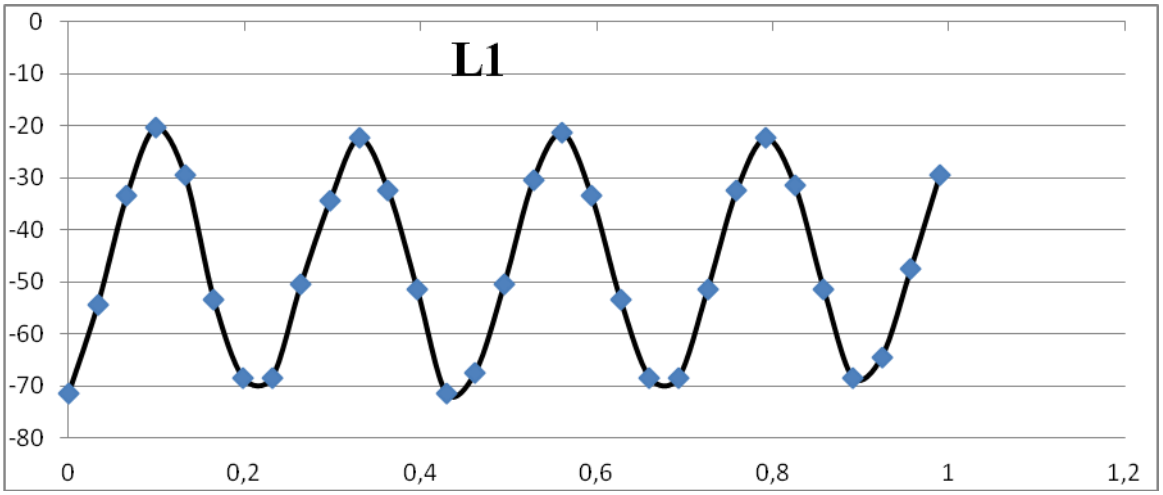


Σχήμα 8. Φωτογραφία του οπτικού παλμογράφου ενώ πραγματοποιεί σύνθεση ταλαντώσεων καθέτων μεταξύ τους.

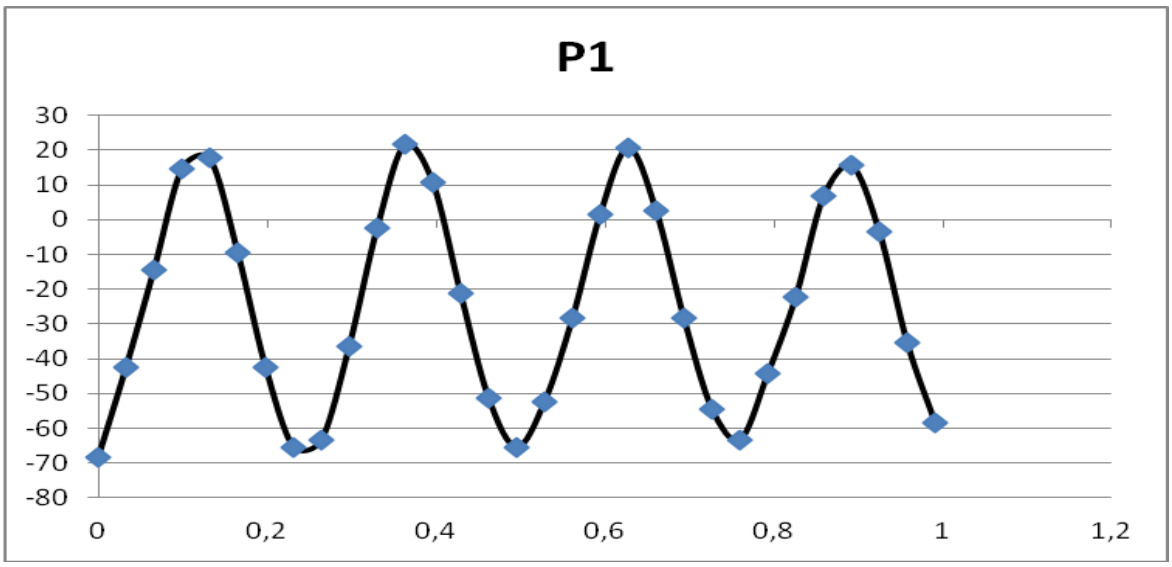
Το αποτέλεσμα της στιγμιαίας σύνθεσης των επιμέρους ταλαντώσεων φαίνεται στην οθόνη της συσκευής. Για τη μελέτη της σύνθεσης ταλαντώσεων είναι απαραίτητο εκτός από την στιγμιαία παρατήρηση της συνισταμένης κίνησης να μπορούμε να σχεδιάσουμε τις γραφικές παραστάσεις των συνιστωσών και της συνισταμένης κίνησης της φωτεινής κηλίδας. Για τη λήψη δεδομένων και το σχεδιασμό των γραφικών παραστάσεων χρησιμοποιούμε μια κατάλληλη κάμερα, η οποία παίρνει βίντεο τις επιμέρους ταλαντώσεις ή τη σύνθετη ταλάντωση που βλέπουμε στην οθόνη της συσκευής. Επεξεργαζόμαστε το βίντεο αυτό σε Η/Υ με το πρόγραμμα Motion Analysis Using tracker.jar[3]. Το πρόγραμμα αυτό μας δίνει τη δυνατότητα να κάνουμε αναγνώριση της κίνησης της φωτεινής κηλίδας συναρτήσει του χρόνου και καταγραφή των συντεταγμένων τους. Με τον τρόπο αυτό παίρνουμε τα δεδομένα Y1(t) και Y2(t) και Y(t) σε ψηφιακή μορφή και τις γραφικές τους παραστάσεις. Για καλύτερη επεξεργασία των δεδομένων μπορούμε να μεταφέρουμε τα δεδομένα σε ένα φύλλο του excel και να χρησιμοποιήσουμε τα πλεονεκτήματα του προγράμματος αυτού για μια καλύτερη απεικόνιση των πειραματικών αποτελεσμάτων.

Με τέτοια επεξεργασία σχεδιάσαμε τις γραφικές παραστάσεις των σχημάτων 9. Στα σχήματα 9α και 9β φαίνονται οι συνιστώσες της σύνθετης ταλάντωσης. Στο σχήμα 9γ φαίνεται η σύνθετη ταλάντωση όταν οι δυο ταλαντώσεις έχουν την ίδια διεύθυνση.

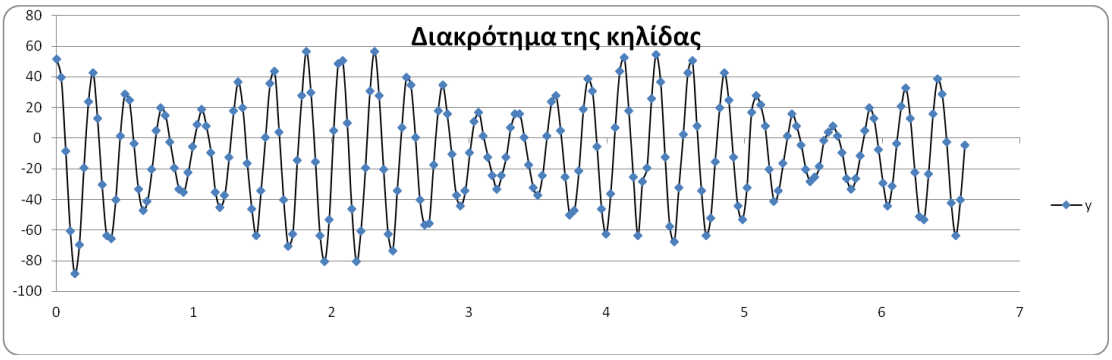
[3] http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/



Σχήμα 9α. Γραφική παράσταση της κίνησης της φωτεινής κηλίδας λόγω της κίνησης του λαμπτήρα.

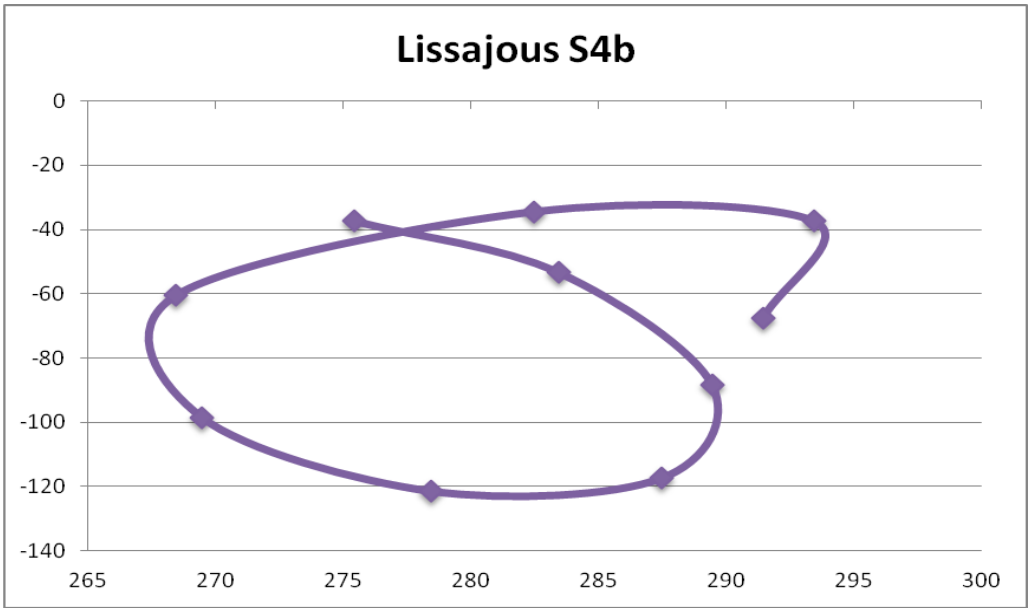


Σχήμα 9β. Γραφική παράσταση της κίνησης της φωτεινής κηλίδας λόγω της κίνησης του πετάσματος.



Σχήμα 9γ. Γραφική παράσταση της συνισταμένης κίνησης της φωτεινής κηλίδας. Επειδή οι συνιστώσες είναι παραπλήσιας συχνότητας και της ίδιας διεύθυνσης το αποτέλεσμα είναι διακρότημα.

Στο σχήμα 10 φαίνεται η σύνθεση των δύο ταλαντώσεων όταν οι δυο ταλαντώσεις είναι κάθετες μεταξύ τους.



Σχήμα 10. Γραφική παράσταση της συνισταμένης κίνησης της φωτεινής κηλίδας. Επειδή οι συνιστώσες είναι ίδιας συχνότητας και κάθετες μεταξύ τους το αποτέλεσμα είναι έλλειψη και αποτελεί μία καμπύλη Lissajous.

Περιγραφή Δυνατοτήτων

1. Ο Οπτικός Παλμογράφος είναι μια συσκευή εύκολη και ακίνδυνη στη χρήση της.
2. Λειτουργεί αυτόνομα και απαιτεί ελάχιστο χρόνο για την προετοιμασία του πειράματος.
3. Με τη βοήθεια κάμερας και Η/Υ είναι δυνατόν να λάβουμε μετρήσεις και να προβούμε σε ποσοτικά πειράματα.
4. Είναι ένα εργαστηριακό όργανο ειδικά σχεδιασμένο για τη σύνθεση δυο αρμονικών ταλαντώσεων.
5. Παρουσιάζει με εντυπωσιακό και εποπτικό τρόπο τη δημιουργία διακροτήματος και καμπυλών Lissajous όπως φαίνεται στο σχήμα 8.
6. Καλύπτει τις ανάγκες διδασκαλίας της Γ' τάξης Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης του Γενικού Λυκείου. Το ισχύον Πρόγραμμα Σπουδών του 1999, περιλαμβάνει τη διδασκαλία της σύνθεσης απλών αρμονικών ταλαντώσεων ως μια από τις ενότητες στο βασικό περιεχόμενο σπουδών και θέτει ως στόχο ο μαθητής να μπορεί να συνθέτει απλές αρμονικές ταλαντώσεις και να σχεδιάζει και να εκτελεί συγκεκριμένα πειράματα μηχανικών και ηλεκτρικών ταλαντώσεων.
7. Μπορούμε να μελετήσουμε πραγματικές μηχανικές ταλαντώσεις αντί των προτεινόμενων δραστηριοτήτων του ισχύοντος προγράμματος σπουδών 1999, για μελέτη ταλαντώσεων στον υπολογιστή. Η μελέτη των πραγματικών ταλαντώσεων είναι πολύ καλύτερη από την μελέτη εικονικών ταλαντώσεων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η συσκευή είναι εύχρηστη, καλαίσθητη, απολύτως ακίνδυνη στη χρήση της και κάνει θεαματικά και άμεσα κατανοητό από τους μαθητές το κεφάλαιο των

ταλαντώσεων. Χρησιμοποιεί ελατήρια για τη δημιουργία δυο μηχανικών ταλαντώσεων τις οποίες μπορεί να συνθέσει. Επειδή το σύστημα είναι μηχανικό και επειδή κινείται αργά κάνει το πείραμα χειροπιαστό και κατανοητό από όλους τους μαθητές. Ο σχεδιασμός της συσκευής επιτρέπει τη σύνθεση δυο ταλαντώσεων στις οποίες μπορούμε να προεπιλέξουμε τη συχνότητα, το πλάτος και τη μεταξύ τους διαφορά φάσεως. Ο σχεδιασμός της επιτρέπει τη χρήση νέων τεχνολογιών για την εισαγωγή των πειραματικών μετρήσεων σε Η/Υ για επεξεργασία και μελέτη των πειραματικών αποτελεσμάτων. Τέλος πρέπει να σημειώσουμε ότι η συσκευή έχει χαμηλό κόστος κατασκευής. Για τους λόγους αυτούς προτείνουμε στο Γραφείο Εργαστηρίων του ΥΠΕΠΘ να τη συμπεριλάβει στον εξοπλισμό των εργαστηριακών οργάνων των εργαστηρίων των σχολείων όλης της χώρας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Από της θέσεως αυτής θέλουμε να ευχαριστήσουμε για την βοήθειά τους:

1. Τον Γιάννη Κυριακόπουλο, Φυσικό, για την προσομοίωση του οπτικού παλμογράφου με το πρόγραμμα interactive physics.
2. Τον Ηλία Σιτσανλή, Φυσικό, για την 3D προσομοίωση του οπτικού παλμογράφου.
3. Τον Παναγιώτη Μουρούζη, Φυσικό, Υπεύθυνο ΕΚΦΕ Κέρκυρας για την εποικοδομητική συνεργασία μαζί του στην επιλογή του κατάλληλου προγράμματος αναγνώρισης κίνησης.
4. Τον Χρήστο Πέτσιο, κατασκευαστή ξυλόγλυπτων τέμπλων και εκκλησιαστικών επίπλων, για τη βοήθειά του στην κατασκευή της συσκευής.
5. Τον Χριστόφορο Μπενέκο, Φιλόλογο, για τη βοήθειά του στην πραγματοποίηση πειραμάτων και τη λήψη δεδομένων.
6. Την Ειρήνη Μπενέκου, Πτυχιούχο Τμήματος Τεχνών Ήχου και Εικόνας, για τη λήψη φωτογραφιών και βίντεο της συσκευής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ν. Οικονόμου, Εισαγωγή εις την Φυσική, Τεύχος Α΄, World University Service, Θεσσαλονίκη, 1967, σελ. 253
2. Α. Ιωάννου, Ι. Ντάνος, Α. Πήττας, Σ. Ράπτης, Φυσική Θετικής & Τεχνολογικής κατεύθυνσης Γ' τάξης Ε.Λ., ΟΕΔΒ, Αθήνα, 2001, σελ. 25-26.
3. Δ. Τσαούσης, Η προσθετική ιδιότητα της ενέργειας, Φυσικός Κόσμος, **143**, 1994, http://users.sch.gr/dtsaousis/arthra/21kinitiki-en.doc
4. D. Tsaousis, The additive property of energy, Physics Teacher, **33**, 569, 1995, http://tpt.aapt.org/resource/1/phteah/v33/i9/p568_s1?isAuthorized=no
5. Δ. Τσαούσης, Joopee-Joopee Game ένα όμορφο παιχνίδι που έγινε ένα πολυμορφικό εργαστηριακό όργανο φυσικής, Πρακτικά 10° Κοινό συνέδριο Ελλήνων και Κυπρίων Φυσικών, Κέρκυρα, 1-4 Μαρτίου 2007, http://users.sch.gr/dtsaousis/arthra/Joopee.doc
6. Δ. Τσαούσης, Αυτόνομο και Συνεργατικό Έργο Πρακτικά 13° Πανελλήνιο Συνέδριο Της Ένωσης Ελλήνων Φυσικών, Πάτρα, 17 – 21 Μαρτίου 2010, http://users.sch.gr/dtsaousis/arthra/sinergatiko.doc
7. Δ. Τσαούσης, Μηχανικός Παλμογράφος Πρακτικά 14° πανελλήνιο συνέδριο φυσικής, 29 Μαρτίου – 1 Απριλίου 2012, Καμένα Βούρλα, http://users.sch.gr/dtsaousis/arthra/Synthes1.doc
8. Γιάννης Κυριακόπουλος , προσομοίωση του οπτικού παλμογράφου με το πρόγραμμα Interactive Physics, http://ylikonet.gr/group/explorativecreation/forum/topics/3647795:Topic:133405
9. Ηλίας Σιτσανλής, 3D προσομοίωση του οπτικού παλμογράφου, http://www.seilias.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=310&Itemid=32&catid=24
10. Motion Analysis Using tracker.jar, πρόγραμμα αναγνώρισης της κίνησης, http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/