

10 + 7
Πειράματα Φυσικής
με την κάρτα ήχου



Βασίλης Νούσης
Ηγουμενίτσα, Ιούνιος 2018

10 + 7
Πειράματα Φυσικής
με την κάρτα ήχου

© Νούσης Βασίλης
Ηγουμενίτσα, Ιούνιος 2018

ISBN : 978-618-83502-1-2

Εισαγωγή

Η αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών είναι ένα από τα θέματα που ιδιαίτερα με ενδιαφέρουν. Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές και οι κάρτες ήχου, που διαθέτουν, εδώ και αρκετά χρόνια χρησιμοποιούνται για τη διεξαγωγή πραγματικών και όχι εικονικών πειραμάτων Φυσικής. Στο πλαίσιο αυτό, στο βιβλίο αυτό παρουσιάζω:

1. Δέκα (10) πειράματα προσδιορισμού της επιτάχυνσης της βαρύτητας με χρήση της κάρτας ήχου του ηλεκτρονικού υπολογιστή για τη χρονομέτρηση κινήσεων. Για τις ανάγκες αυτών των πειραμάτων κατασκευάστηκε μια νέα διάταξη, που επιτρέπει την ταυτόχρονη σύνδεση δύο συσκευών (π.χ. μικροφώνων, διακοπτών, κ.ά.) στη στερεοφωνική είσοδο μικροφώνου της κάρτας ήχου, για την ταυτόχρονη εγγραφή δύο διαφορετικών σημάτων που παράγονται από ένα κινούμενο σώμα.
2. Επτά (7) επιπλέον πειράματα στα οποία οι διατάξεις που κατασκευάσαμε χρησιμοποιήθηκαν και στη μελέτη άλλων κινήσεων. Επιπλέον μια ακόμη διάταξη χρησιμοποιείται σε δύο πειράματα προσδιορισμού της ταχύτητας του ήχου, ενώ παρουσιάζεται και η χρήση της κάρτας ήχου ως γεννήτριας συχνοτήτων και ως ψηφιακός παλμογράφος για χαμηλής συχνότητας σήματα.

Ελπίζω οι συνάδελφοι να βρουν χρήσιμα και ενδιαφέροντα τα πειράματα και τις τεχνικές που περιγράφονται στις σελίδες αυτού του βιβλίου.

Ηγουμενίτσα, Ιούλιος 2018
Νούσης Βασίλης

Πίνακας περιεχομένων

Εισαγωγή.....	1
Πίνακας περιεχομένων	3
Ανασκόπηση : Πειράματα Φυσικής με την κάρτα ήχου	7
Μετατροπές 2 σε 1 για τη στερεοφωνική είσοδο μικροφώνου	11
Το λογισμικό Audacity	13
Ενότητα 1^η - Πειράματα προσδιορισμού της επιτάχυνσης βαρύτητας.....	15
Π.1 - Μέθοδος οριζόντιας βολής.....	17
Στοιχεία θεωρίας	17
Πειραματική διαδικασία.....	17
Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί	18
Παρατήρηση	18
Π.2 - Μέθοδος ελεύθερης πτώσης (I)	19
Στοιχεία θεωρίας	19
Πειραματική διάταξη	19
Πειραματική διαδικασία.....	20
Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί	20
Παρατήρηση	20
Π.3 - Μέθοδος απλού εκκρεμούς (I)	21
Στοιχεία θεωρίας	21
Λειτουργία των μικροφώνων τύπου electret.....	21
Πειραματική διάταξη	22
Πειραματική διαδικασία.....	22
Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί	23
Π.4 - Μέθοδος απλού εκκρεμούς (II)	25
Λειτουργία του μαγνητικού διακόπτη (reed switch)	25
Πειραματική διάταξη και διαδικασία.....	26
Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί	26

Π.5 - Μέθοδος ελεύθερης πτώσης (II)	27
Στοιχεία θεωρίας	27
Πειραματική διάταξη	27
Πειραματική διαδικασία.....	29
Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί	29
Π.6 - Μέθοδος ελεύθερης πτώσης (III).....	31
Πειραματική διάταξη	31
Πειραματική διαδικασία.....	32
Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί	33
Π.7 – Μέθοδος απλής αρμονικής ταλάντωσης	35
Στοιχεία θεωρίας	35
Πειραματική διάταξη	35
Πειραματική διαδικασία – υπολογισμοί.....	36
Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί	37
Π.8 – Μέθοδος μηχανής Atwood	39
Στοιχεία θεωρίας	39
Πειραματική διάταξη	39
Πειραματική διαδικασία - υπολογισμοί.....	41
Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί	42
Παρατήρηση	42
Π.9 – Μέθοδος απλού εκκρεμούς (III)	43
Μια απλή φωτοπύλη για την κάρτα ήχου	43
Πειραματική διάταξη	44
Πειραματική διαδικασία.....	45
Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί	45
Π.10 – Μέθοδος φωτοφράκτη	47
Πειραματική διάταξη	47
Πειραματική διαδικασία και επεξεργασία των δεδομένων	48
Ενότητα 2η - Άλλα Πειράματα με την κάρτα ήχου	51
Π.1 - Προσδιορισμός της ταχύτητας του ήχου (I)	53
Πειραματική διάταξη	53
Πειραματική διαδικασία και επεξεργασία των δεδομένων	54

Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί	55
Π.2 - Προσδιορισμός της ταχύτητας του ήχου (II)	57
Πειραματική διάταξη	57
Πειραματική διαδικασία – Λήψη και επεξεργασία μετρήσεων	57
Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί	57
Π.3 – Προσδιορισμός συχνότητας περιστροφής ηλεκτροκινητήρα.....	59
Πειραματική διάταξη	59
Πειραματική διαδικασία – Λήψη και επεξεργασία μετρήσεων	60
Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί	60
α. Διακόπτης στη θέση 0,05s	60
β. Διακόπτης στη θέση 0,02s	60
Π.4 – Επιτάχυνση στο οριζόντιο επίπεδο	61
Πειραματική διάταξη	61
Πειραματική διαδικασία και επεξεργασία των δεδομένων	62
Π.5 – Επιτάχυνση στο κεκλιμένο επίπεδο	65
Πειραματική διάταξη	65
Πειραματική διαδικασία και επεξεργασία των δεδομένων	66
Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί	66
Π.6 - Μελέτη διακροτήματος.....	67
Πειραματική διάταξη	67
Πειραματική διαδικασία – Λήψη και επεξεργασία μετρήσεων	67
Π.7 - Σχήματα Lissajous.....	71
Γενικά	71
Πειραματική διαδικασία - Παραδείγματα	71
Βιβλιογραφία	77

Πειράματα Φυσικής με την κάρτα ήχου

Ανασκόπηση

Η κάρτα ήχου ενός Η/Υ διαχειρίζεται την είσοδο και την έξοδο ηχητικών σημάτων. Στην απλούστερη μορφή πρόκειται για αναλογικο-ψηφιακούς μετατροπείς (ADC στην είσοδο και DAC για την έξοδο), διακριτικής ικανότητας 16 bit ή και μεγαλύτερης (24 ή 32 bit), που μπορούν να δειγματοληπτούν αναλογικά σήματα με ρυθμό τουλάχιστον 44kHz, ενώ συνηθισμένοι σήμερα είναι και μεγαλύτεροι ρυθμοί δειγματοληψίας (48 kHz, 96 kHz ή ακόμη και 192 kHz).

Οι κάρτες ήχου συνήθως διαθέτουν:

- Μια είσοδο μικροφώνου που διαχειρίζεται AC σήματα χαμηλής (± 100 mV) στάθμης. Είναι συνήθως μονοφωνική, αν και τα τελευταία χρόνια κάρτες βασισμένες κυρίως στο πρότυπο High Audio Definition διαθέτουν πλήρη στερεοφωνική είσοδο μικροφώνου.
- Μια στερεοφωνική είσοδο Line In που διαχειρίζεται υψηλής στάθμης (± 2 V) AC και DC σήματα.
- Μια στερεοφωνική (τουλάχιστον) έξοδο ήχου.

Σε συνδυασμό με λογισμικό ηχογράφησης/επεξεργασίας ήχου (π.χ. το ελεύθερα διανεμόμενο [Audacity](#)) η κάρτα ήχου μπορεί να μετατραπεί σε εξαιρετικής ακρίβειας και διακριτικής ικανότητας χρονομετρητή. Για παράδειγμα μια κάρτα ήχου, που δειγματοληπτεί στα 96 kHz, έχει διακριτική ικανότητα $1/96000$ s, ή περίπου 10 μ s. Επιπλέον κατάλληλα λογισμικά μπορούν να μετατρέψουν την κάρτα ήχου σε ψηφιακό παλμογράφο ή αναλυτή φάσματος ή και γεννήτρια συχνοτήτων.

Η χρήση της κάρτας ήχου ως οργάνου χρονομέτρησης σε πειράματα κινηματικής είναι εδώ και χρόνια καλά τεκμηριωμένη. Βασική ιδέα είναι η με κάποιο τρόπο «ηχογράφηση» της προς μελέτη κίνησης, και ο μέσω λογισμικού επεξεργασίας ήχου προσδιορισμός του χρονικού διαστήματος μεταξύ διαφορετικών πειραματικών γεγονότων που δημιουργούν «καθαρά» σήματα στην ηχογραφημένη κυματομορφή της κίνησης, και τα οποία ο πειραματικός σχεδιασμός και η αντίστοιχη διάταξη οφείλουν να εξασφαλίζουν.

Στην απλούστερη εφαρμογή της ιδέας αυτής ένα μικρόφωνο χρησιμοποιείται τόσο για την καταγραφή του ήχου έναρξης, όσο και του ήχου λήξης για τη μελετούμενη κίνηση. Έτσι οι Stensgaard και Lægsgaard το 2001, ο Nagurka το 2002 και οι Aguiar και Laudares το 2003 ηχογραφώντας τις διαδοχικές αναπηδήσεις μιας μικρής μπάλας στο έδαφος υπολογίζουν το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών

κρούσεων από τους ήχους που παράγονται κατά τις συγκρούσεις αυτές, με τελικό στόχο τον προσδιορισμό του συντελεστή αποκατάστασης (Stensgaard & Lægsgaard, 2001; Aguiar & Laudares, 2003; Nagurka, 2002). Σε μια άλλη περίπτωση οι Aguiar και Pereira μελετώντας την κίνηση μιας μπάλας ποδοσφαίρου προτείνουν ως το χρονικό σημείο έναρξης της κίνησης τον ήχο που παράγεται, όταν ο ποδοσφαιριστής κτυπά τη μπάλα, και ως σημείο λήξης τον ήχο που παράγεται από το κτύπημα της μπάλας σε τοίχο κάθετα στην κίνησή της (Aguiar & Pereira, 2011), ενώ με αντίστοιχη μέθοδο οι Courtney και Edwards προσδιορίζουν την ταχύτητα ενός βλήματος (Courtney & Edwards, 2006). Ο V. Vicha προτείνει τη μελέτη της ελεύθερης πτώσης μιας «αλυσίδας» αποτελούμενης από μια σειρά μεταλλικών παξιμαδιών και ηχογράφηση των διαδοχικών κτύπων τους στο έδαφος. Ο ήχος από την πτώση του πρώτου παξιμαδιού θεωρείται ως αρχή των χρόνων ($t = 0$), ενώ οι επόμενοι κτύποι καθορίζουν τις αντίστοιχες χρονικές στιγμές κρούσης των επόμενων παξιμαδιών στο έδαφος (Vicha, 2004). Οι Oprea και Miron χρησιμοποιούν ένα σύστημα καθρεφτών με τους οποίους η δέσμη ενός laser εκτρέπεται σχηματίζοντας ένα Π με οριζόντια σκέλη και οδηγείται τελικά σε μια φωτοαντίσταση συνδεδεμένη σε σύστημα ηχητικού συναγερμού. Η διακοπή της δέσμης του laser στα δύο σκέλη από μια μπάλα που πέφτει ελεύθερα παράγει ηχητικά σήματα που καταγράφονται από μικρόφωνο συνδεδεμένο στην κάρτα ήχου (Oprea & Miron, 2014). Και ο Abdulaziz Aljalal σε πείραμα μέτρησης της ταχύτητας του ήχου χρησιμοποιεί ένα μικρόφωνο για την καταγραφή τόσο του ήχου που οδεύει προς ανακλαστική επιφάνεια, όσο και του ανακλώμενου (Aljalal, 2014). Στην περίπτωση της ελεύθερης πτώσης ο ήχος της κρούσης στο έδαφος του σώματος που πέφτει σηματοδοτεί το χρόνο λήξης της κίνησης. Για τον προσδιορισμό της χρονικής στιγμής έναρξης της κίνησης έχουν προταθεί διάφοροι τρόποι. Η Anne Reagan προτείνει την αναφώνηση από τον πειραματιστή της λέξης «Time» τη στιγμή που μια μπάλα του γκολφ αφήνεται ελεύθερη, ώστε κατά την ηχογράφηση να δημιουργηθεί το «καθαρό» σήμα έναρξης της κίνησης (Reagan, 2012). Ενώ ο James Hunt προτείνει την τοποθέτηση ενός μικρού νομίσματος πάνω σε λεπτή ταινία από χαρτί εφημερίδας, η οποία συγκρατείται με τα δύο χέρια οριζόντια σε ορισμένο ύψος από το έδαφος. Ο ήχος που σηματοδοτεί την έναρξη της κίνησης δημιουργείται χτυπώντας απότομα με την κόψη ενός χάρακα το χαρτί, απελευθερώνοντας κατ' αυτό τον τρόπο το νόμισμα (Hunt, 2005). Οι White, Medina, Roman και Velasco υπολογίζοντας την επιτάχυνση της βαρύτητας θέτουν σε οριζόντια βολή μια μικρή σφαίρα, που ισορροπεί στην άκρη τραπεζιού, χτυπώντας τη με τη σφαίρα ενός εκκρεμούς. Ο ήχος της κρούσης σηματοδοτεί την έναρξη της κίνησης (White, Medina, Roman, & Velasco, 2007). Ο Δρ. Peter Heiß του Γυμνασίου Korschenbroich προτείνει να χρησιμοποιηθεί ένα μανταλάκι, τα άκρα του οποίου έχουν τρυπηθεί με δύο βίδες και ανάμεσά τους συγκρατείται ένα μικρό νόμισμα. Οι δύο βίδες μέσω καλωδίων συνδέονται με μπαταρία των 9V και μικρό βομβητή σε σειρά. Κατ' αυτό τον τρόπο το μανταλάκι λειτουργεί ως κλειστός διακόπτης και ο βομβητής ηχεί. Ανοίγοντας το μανταλάκι το νόμισμα απελευθερώνεται και ο

βομβητής παύει να ηχεί, σηματοδοτώντας έτσι την έναρξη της κίνησης (Kraus, 2010). Οι Michael και Elya Courtney χρησιμοποιώντας εξειδικευμένη εργαστηριακή διάταξη, στην οποία μια μικρή σφαίρα συγκρατείται σε κάποιο ύψος με τη βοήθεια μεταλλικής ράβδου που τη διαπερνά και απελευθερώνεται με τη βοήθεια κατάλληλου μοχλού και ελατηρίου, ηχογραφούν το φαινόμενο. Ο ήχος που παράγεται από την απελευθέρωση της σφαίρας σηματοδοτεί την έναρξη της κίνησης (Courtney & Courtney, 2011).

Πολυπλοκότερες λύσεις προτείνουν την αντικατάσταση του μικροφώνου με άλλες διατάξεις, οι οποίες συνδεόμενες στην είσοδο μικροφώνου της κάρτας ήχου δημιουργούν τα κατάλληλα σήματα που, καταγραφόμενα σε να επρόκειτο για ήχο, μας επιτρέπουν την ακριβή χρονομέτρηση του υπό μελέτη φαινομένου. Ήδη από το 2005 ο R. D. Ramey είχε προτείνει τη μέσω ειδικού προσαρμογέα σύνδεση εμπορικών φωτοπυλών στην είσοδο joystick που υπήρχε στις παλιότερες κάρτες ήχου και επεξεργασία των δεδομένων με κατάλληλο λογισμικό (Ramey, 2005). Το 2008 οι Cavalcante, Bonizzia και Gomes χρησιμοποιούν ένα laser ως πομπό και ένα φωτοευαίσθητο αισθητήρα ως δέκτη. Ένας απλός προσαρμογέας με εξωτερική τροφοδοσία αναλαμβάνει τη μεταφορά των σημάτων της ιδιοκατασκευασμένης φωτοπύλης στην είσοδο μικροφώνου της κάρτας ήχου (Cavalcante, Bonizzia, & Gomes, 2008). Το 2010 ο Michael Horton χρησιμοποιώντας φωτοαντιστάσεις και εξωτερική τροφοδοσία προτείνει την ιδιοκατασκευή ζεύγους φωτοπυλών που μπορούν να συνδεθούν απευθείας στην είσοδο μικροφώνου (ή στην είσοδο γραμμής – Line In) της κάρτας ήχου (Horton, 2010).

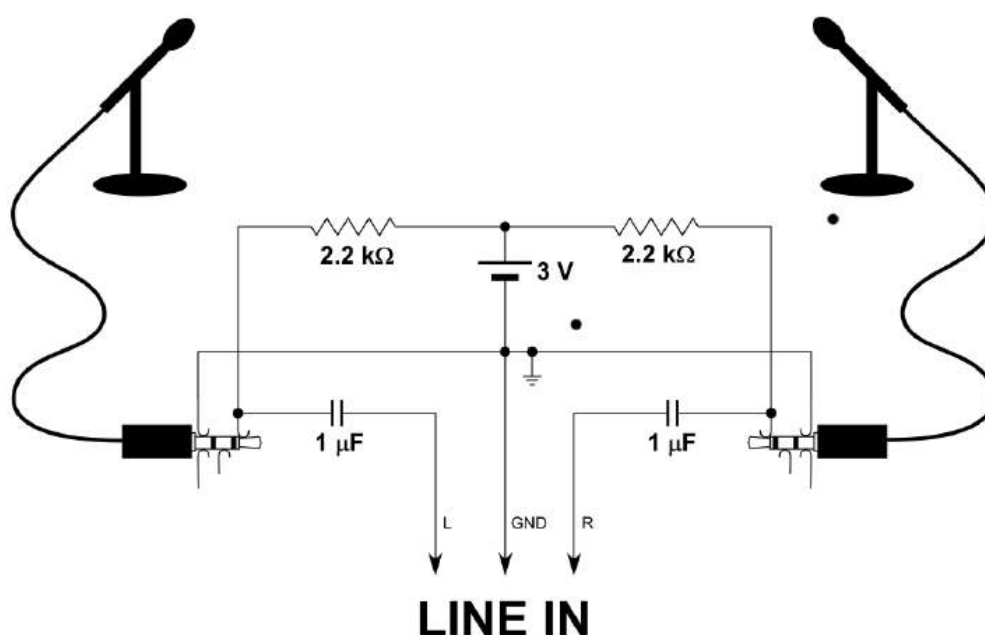
Το 2011 ο Zoltan Gingl προτείνει την κατασκευή εξαιρετικά φθηνής αλλά και εξαιρετικά ακριβούς φωτοπύλης, συνδέοντας είτε ένα φωτοτρανζίστορ είτε μια φωτοαντίσταση απευθείας στην είσοδο μικροφώνου της κάρτας ήχου και χωρίς κανένα επιπλέον εξωτερικό εξάρτημα (Gingl Z. , 2011), ενώ την ίδια χρονιά οι Gingl, Mingesz, Makra και Mellar παρουσιάζουν μια επισκόπηση των διαφορετικών τύπων φωτοπυλών και των τρόπων σύνδεσής τους στην κάρτα ήχου ενός υπολογιστή (Gingl Z. , Mingesz, Makra, & Mellar, 2011). Επιπλέον στο Joint International Conference MPTL '16 - HSCI 2011 στη Ljubljana οι Gingl, Mingesz, Mellár, Lupsic και Korasz παρουσιάζουν σειρά πειραμάτων (ελεύθερη πτώση, απλό εκκρεμές, κ.ά) με χρήση φωτοπυλών συνδεδεμένων στην κάρτα ήχου υπολογιστή (Gingl Z. , Mingesz, Mellár, Lupsic, & Korasz, 2011). Η ίδια ομάδα επιστημόνων σε διάφορες μεταξύ τους συνεργασίες έχουν παρουσιάσει, με χρήση φωτοπυλών συνδεδεμένων στην είσοδο της κάρτας ήχου, πειράματα σε διάφορους τομείς της μηχανικής, όπως: ελεύθερη πτώση (Gingl & Korasz, 2011), το στροφικό ανάλογο του δεύτερου νόμου του Νεύτωνα (Korasz, Makra, & Gingl, 2012),

Οι Velasco, Santos, Gonzalez και White χρησιμοποιούν ένα οπτοζεύκτη σχήματος «U» συνδεδεμένο στην είσοδο μικροφώνου της κάρτας ήχου για τον προσδιορισμό της περιόδου απλού εκκρεμούς. Η δέσμη του οπτοζεύκτη διακόπτεται περιοδικά από το νήμα του εκκρεμούς που κινείται παλινδρομικά μεταξύ του πομπού και

του δέκτη (Velasco, Santos, Gonzalez, & White, 2011).

Χρησιμοποιώντας μια ανακλαστικού τύπου φωτοπύλη και κατάλληλο ηλεκτρονικό κύκλωμα προσαρμογής του σήματος στην είσοδο μικροφώνου της κάρτας ήχου οι Khairurrijal, Eko Widiatmoko, Srigutomo και Kurniasih μετρούν την επιτάχυνση της βαρύτητας με τη μέθοδο του απλού εκκρεμούς (Khairurrijal, Eko Widiatmoko, Srigutomo, & Kurniasih, 2012), ενώ μια περισσότερο εξειδικευμένη πρόταση περιλαμβάνει τη σύνδεση επιταχυνσιόμετρου (Brüel and Kjaer μοντέλο 4517-002) στην είσοδο της κάρτας ήχου για τη μελέτη μηχανικών ταλαντώσεων (Barros, Souto, Camargo, & Mathias, 2015).

Το 2007 μια απλή ηλεκτρονική διάταξη (Εικόνα 1) προτάθηκε από τους Carvalho, Lopes dos Santos και Marques, η οποία επιτρέπει την ταυτόχρονη σύνδεση δύο μικροφώνων στην κάρτα ήχου. Το σήμα του ενός μικροφώνου οδηγείται στο αριστερό κανάλι και το σήμα του δεύτερου μικροφώνου στο δεξιό κανάλι της εισόδου LINE IN. Κατ' αυτό τον τρόπο δύο διαφορετικά σήματα (π.χ. έναρξη και λήξη κίνησης) μπορούν να καταγραφούν ανεξάρτητα.

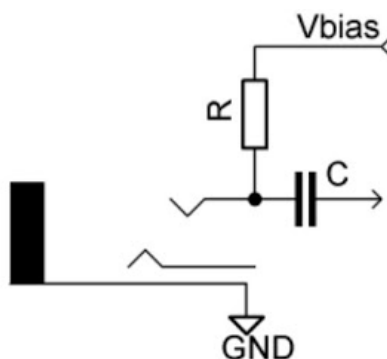


Εικόνα 1: Διάταξη για την ταυτόχρονη σύνδεση δύο μικροφώνων στην είσοδο LINE IN της κάρτας ήχου

Στο σχετικό άρθρο στο περιοδικό Physics Teacher η διάταξη χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ταχύτητας του ήχου (Carvalho, Lopes dos Santos, & Marques, 2007).

Τα μικρόφωνα electret, που χρησιμοποιούνται συνήθως στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, απαιτούν μια μικρή τάση τροφοδοσίας για να λειτουργήσουν. Για το λόγο αυτό στην είσοδο μικροφώνου -όχι όμως και στην είσοδο LINE IN- μέσω μιας αντίστασης R (Εικόνα 2) εφαρμόζεται κατάλληλη συνεχής τάση (τάση πόλωσης). Η διάταξη των Carvalho, Lopes dos Santos και Marques έλυσε το πρόβλημα αυτό χρησιμοποιώντας εξωτερική τροφοδοσία με δύο μπαταρίες των 1,5V. Ήταν και αυτό ένας λόγος που συνετέλεσε στο μειωμένο ενδιαφέρον για τη διάταξη, αν και ο βα-

σικός λόγος ήταν πως την ίδια εποχή η έρευνα στον τομέα αυτό μετατοπίστηκε σε άλλες διατάξεις λήψης μετρήσεων (π.χ. smartphones, Arduino, κ.ά.)

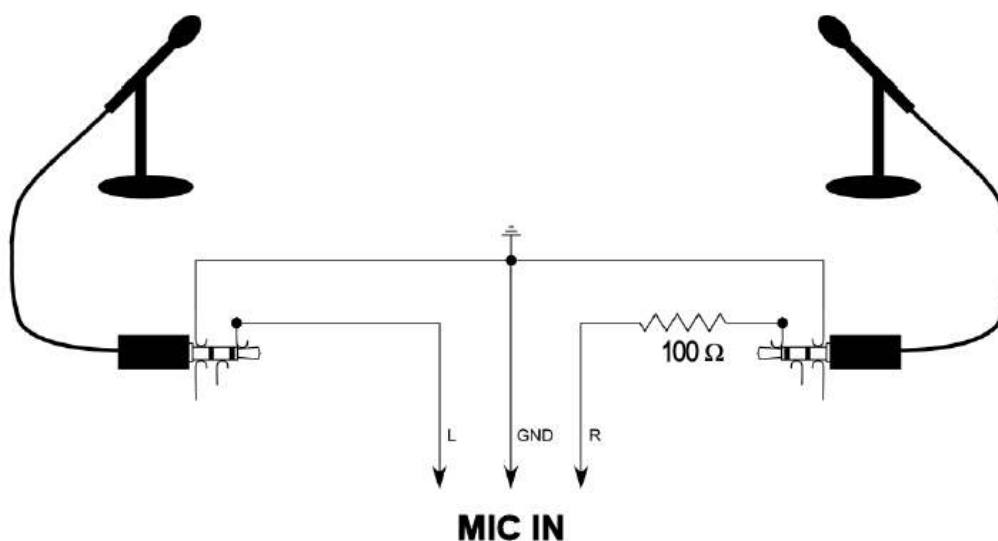


Εικόνα 2: Το κύκλωμα της τάσης πόλωσης της εισόδου μικροφώνου στις κάρτες ήχου

Θα ήταν βέβαια απλούστερο να συνδεθούν τα δύο μικρόφωνα στην είσοδο μικροφώνου της κάρτας ήχου, αλλά στο «μακρινό 2007» η στερεοφωνική είσοδος μικροφώνου δεν ήταν συνηθισμένη, οπότε το απαιτούμενο ηλεκτρονικό κύκλωμα θα ήταν τελικά πολύπλοκότερο. Επιπλέον οι μετατροπείς στερεοφωνικού σήματος σε μονοφωνικό (Y-cables), οι οποίοι παραλληλίζουν τις δύο εισόδους, στην καλύτερη περίπτωση απλά δε δουλεύουν, αφού: η έξοδος του μικροφώνου έχει χαμηλή σύνθετη αντίσταση και συνδέεται στην είσοδο μικροφώνου που έχει υψηλή σύνθετη αντίσταση. Αν δυο έξοδοι μικροφώνου συνδεθούν μαζί, τότε η μία θα προσπαθεί να οδηγήσει την άλλη (αντί την υψηλής αντίστασης είσοδο της κάρτας ήχου) με αποτέλεσμα (στην καλύτερη περίπτωση) σημαντική απώλεια σήματος.

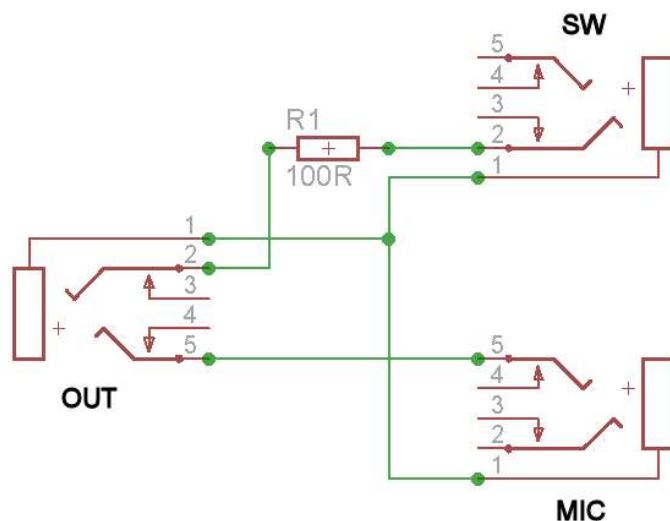
Μετατροπέας 2 σε 1 για τη στερεοφωνική είσοδο μικροφώνου

Σήμερα η στερεοφωνική είσοδος μικροφώνου στις κάρτες ήχου των υπολογιστών είναι κάτι το συνηθισμένο, ακόμη και για τις κάρτες ήχου των φορητών υπολογιστών (laptops), οπότε η ταυτόχρονη σύνδεση των δύο μικροφώνων στη σχετική είσοδο της κάρτας ήχου έχει απλοποιηθεί κατά πολύ (Εικόνα 3).

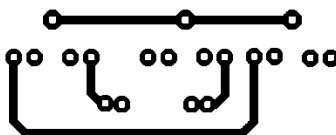


Εικόνα 3: Σύνδεση δύο μικροφώνων σε στερεοφωνική είσοδο μικροφώνου

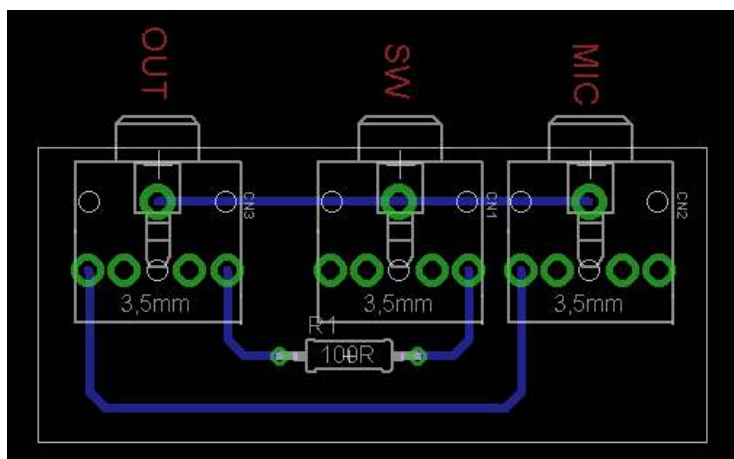
Στο προτεινόμενο κύκλωμα η αντίσταση των 100Ω χρειάζεται για την προστασία της εισόδου μόνο στην περίπτωση που πρόκειται να συνδέσουμε κάποια άλλη διάταξη (π.χ. ένα διακόπτη) αντί μικροφώνου. Το κυκλωματικό διάγραμμα του μετατροπέα (που αποτελείται από τρία βύσματα jack audio και την αντίσταση των 100Ω) φαίνεται στην Εικόνα 4, το τυπωμένο κύκλωμα που χρησιμοποιήσαμε στην Εικόνα 5, ενώ στην Εικόνα 6 φαίνεται η τοποθέτηση των εξαρτημάτων στην πλακέτα με το τυπωμένο κύκλωμα.



Εικόνα 4: Το κυκλωματικό διάγραμμα του μετατροπέα



Εικόνα 5: Το τυπωμένο κύκλωμα του μετατροπέα

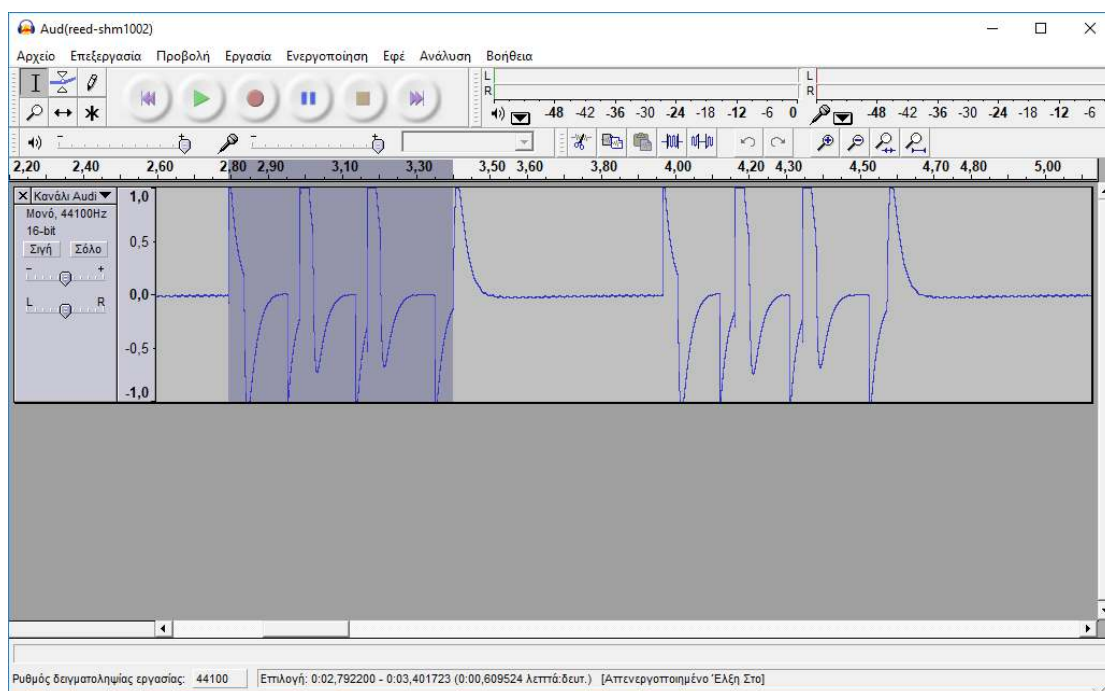


Εικόνα 6: Τοποθέτηση των εξαρτημάτων στην πλακέτα

Θα χρησιμοποιήσουμε τη διάταξη αυτή σε κάποια από τα πειράματα που θα περιγράψουμε στη συνέχεια.

Το λογισμικό Audacity

Το Audacity είναι ένα ελεύθερο πρόγραμμα επεξεργασίας ήχου, γραμμένο από μια ομάδα προγραμματιστών από όλο τον κόσμο. Το λογισμικό επιτρέπει την ηχογράφηση και επεξεργασία μονοφωνικού ή στερεοφωνικού ήχου μέσω μικροφώνου συνδεδεμένου στην είσοδο μικροφώνου ή άλλης συσκευής συνδεδεμένης στην είσοδο LINE IN της κάρτας ήχου. Χρησιμοποιούμε εδώ την παλιότερη έκδοση 1.2.6 του λογισμικού, ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της οποίας είναι η δυνατότητα να επιστρέφει στη γραμμή κατάστασης με ακρίβεια μικροδευτερολέπτου (μs) τη χρονική διάρκεια οποιουδήποτε επιλεγμένου τμήματος της κυματομορφής του ηχογραφημένου σήματος (Εικόνα 7).



Εικόνα 7: Το βασικό παράθυρο του Audacity

Ας σημειώσουμε πως για ηχογραφήσεις με ρυθμό δειγματοληψίας 44100 Hz ή 48000 Hz η ακρίβεια στη μέτρηση του χρόνου περιορίζεται στα περίπου 20 μs , αφού το ελάχιστο χρονικό διάστημα που μπορεί να μετρηθεί είναι ίσο με το αντίστροφο του ρυθμού δειγματοληψίας.

Ενότητα 1^η

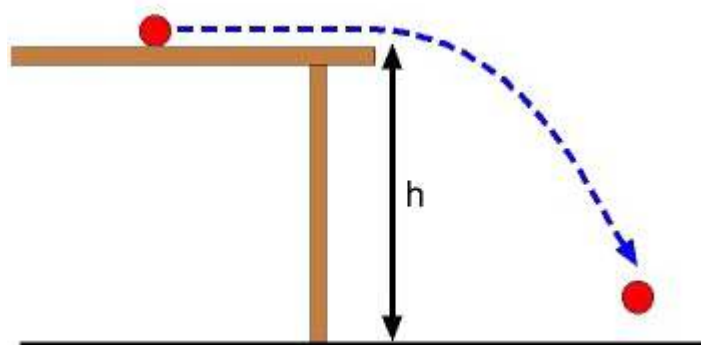
Πειράματα προσδιορισμού
της επιτάχυνσης βαρύτητας
με την κάρτα ήχου



Π.1 - Μέθοδος οριζόντιας βολής για τον προσδιορισμό της επιτάχυνσης της βαρύτητας

Στοιχεία θεωρίας

Η οριζόντια βολή είναι μια σύνθετη κίνηση. Μπορεί να αναλυθεί σε δύο απλούστερες: μια ευθύγραμμη ομαλή στον οριζόντιο άξονα, και μια ελεύθερη πτώση στον κατακόρυφο άξονα.



Εικόνα 8: Οριζόντια βολή

Γνωρίζοντας το ύψος από το οποίο εκτοξεύεται οριζόντια το σώμα καθώς και το χρόνο πτώσης, μπορούμε να υπολογίσουμε την επιτάχυνση της βαρύτητας από την εξίσωση:

$$h = \frac{1}{2}gt^2 \quad (1)$$

Πειραματική διαδικασία

1. Πάνω σε οριζόντιο τραπέζι ύψους h ωθούμε μια κυλινδρική μπαταρία, η οποία εγκαταλείπει το τραπέζι και εκτελώντας οριζόντια βολή χτυπάει τελικά στο έδαφος (Εικόνα 8).
2. Με τη βοήθεια του Audacity ηχογραφούμε το φαινόμενο, από την έναρξη της κίνησης της μπαταρίας πάνω στο τραπέζι και μέχρι την κρούση της στο έδαφος (Εικόνα 9).



Εικόνα 9: Η κυματομορφή της κίνησης στο Audacity

3. Επιλέγοντας το τμήμα της κυματομορφής από τη στιγμή που παύει ο ήχος της κίνησης της μπαταρίας πάνω στο τραπέζι και μέχρι τη στιγμή που καταγράφεται ο ήχος της κρούσης στο έδαφος, το Audacity μας επιστρέφει το α-

ντίστοιχο χρονικό διάστημα (χρόνος πτήσης Δt).

4. Μέσω της εξίσωσης (1) υπολογίζουμε την τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας στον τόπο διεξαγωγής του πειράματος.

Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί

Ύψος τραπεζιού	0,824 m
Χρόνος πτήσης	0,407075 s
Επιτάχυνση της βαρύτητας	9,95 m/s ²

Παρατήρηση

Προφανώς καλή πρακτική είναι η επανάληψη των μετρήσεων και ο προσδιορισμός της μέσης τιμής για το χρόνο πτήσης, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η επίδραση των τυχαίων σφαλμάτων της πειραματικής διαδικασίας.

Π.2 - Μέθοδος ελεύθερης πτώσης (I)

για τον προσδιορισμό της επιτάχυνσης της βαρύτητας

Στοιχεία θεωρίας

Ένα σώμα που εκτελεί ελεύθερη πτώση, μετά από πτώση κατά y_0 (ξεκινώντας από την ηρεμία) θα έχει αποκτήσει ταχύτητα που μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$\left. \begin{aligned} v &= g \cdot t \\ y_0 &= \frac{1}{2} g \cdot t^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow v = \sqrt{2g \cdot y_0}$$

Αν στη συνέχεια και σε χρόνο Δt μετατοπιστεί κατά y , θα ισχύει:

$$y = v \cdot (\Delta t) + \frac{1}{2} g \cdot (\Delta t)^2 \Rightarrow y = (\Delta t) \cdot \sqrt{2g \cdot y_0} + \frac{1}{2} g \cdot (\Delta t)^2 \Rightarrow$$

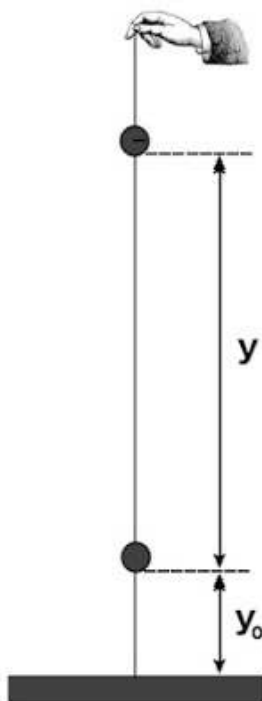
$$\frac{(\Delta t)^2}{2} g + \sqrt{2y_0} \cdot (\Delta t) \cdot \sqrt{g} - y = 0 \text{ και θέτοντας } x = \sqrt{g} \text{ καταλήγουμε:}$$

$$\left. \begin{aligned} x &= \sqrt{g} \\ \frac{(\Delta t)^2}{2} x^2 + \sqrt{2y_0} \cdot (\Delta t) \cdot x - y &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Λύνοντας το σύστημα των εξισώσεων (2) η τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας μπορεί να προσδιοριστεί.

Πειραματική διάταξη

Σε πλαστικό νήμα (πετονιά) κατάλληλου μήκους δένουμε δύο μικρά σφαιρίδια (βαρίδια ψαρέματος) σε απόσταση y μεταξύ τους.

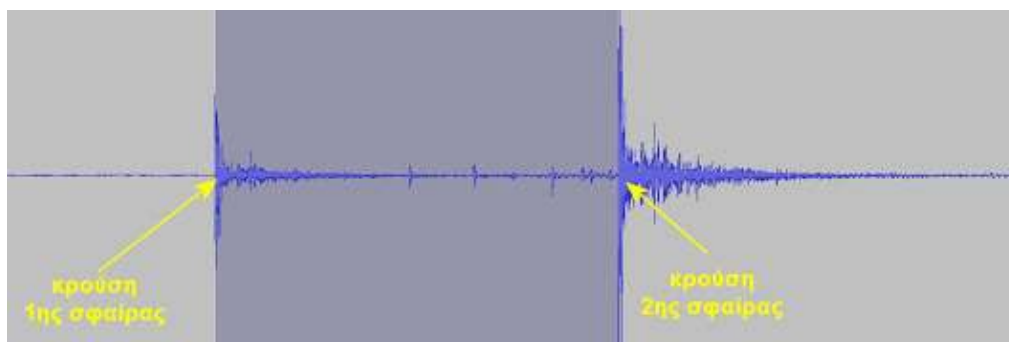


Εικόνα 10: Η πειραματική διάταξη

Αφήνουμε το νήμα να εκτείνεται σε μικρές αποστάσεις εξωτερικά των σφαιριδίων (προς τα κάτω και προς τα πάνω, όπως φαίνεται στην Εικόνα 10). Στερεώνουμε με κολλητική ταινία το κατώτερο άκρο του νήματος σε ξύλινη βάση, ώστε το κάτω άκρο του κατώτερου σφαιριδίου να απέχει από την ξύλινη βάση απόσταση y_0 . Κρατάμε με το χέρι μας το άλλο άκρο του νήματος, ώστε το νήμα να είναι τεντωμένο και κατακόρυφο και η ξύλινη βάση να ακουμπάει στο πάτωμα.

Πειραματική διαδικασία

1. Απελευθερώνουμε το νήμα και τα σφαιρίδια κινούμενα κατακόρυφα πέφτουν και χτυπούν στην ξύλινη βάση, ενώ ταυτόχρονα ηχογραφούμε το φαινόμενο με τη βοήθεια του Audacity (Εικόνα 11).



Εικόνα 11: Η κυματομορφή της κίνησης στο Audacity

2. Επιλέγοντας το τμήμα της κυματομορφής από τη στιγμή που χτυπάει το πρώτο σφαιρίδιο στην ξύλινη βάση μέχρι και τη στιγμή που χτυπάει το δεύτερο σφαιρίδιο, το Audacity μας επιστρέφει το αντίστοιχο χρονικό διάστημα (χρόνος πτήσης Δt).
3. Μέσω του συστήματος των εξισώσεων (2) υπολογίζουμε την τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας στον τόπο διεξαγωγής του πειράματος.

Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί

Ύψος y_0	0,185 m
Ύψος y	1,237 m
Χρόνος πτήσης	0,325486 s
Ενδιάμεση μεταβλητή $x = \sqrt{g}$	3,30 (S.I.)
Επιτάχυνση της βαρύτητας	10,9 m/s ²

Παρατήρηση

Σημαντικά σφάλματα προκύπτουν, αν το δεύτερο σφαιρίδιο κατά την πτώση του δε χτυπήσει απευθείας στην ξύλινη βάση, αλλά πάνω στο πρώτο σφαιρίδιο που ήδη βρίσκεται πάνω στη βάση, αφού τότε του ύψος πτώσης y θα είναι μικρότερο από την τιμή που μετρήσαμε. Το πρόβλημα είναι ακόμη μεγαλύτερο, αν χρησιμοποιήσουμε παραλλαγή της μεθόδου με περισσότερα σφαιρίδια δεμένα στο νήμα.

Π.3 - Μέθοδος απλού εκκρεμούς (I) για τον προσδιορισμό της επιτάχυνσης της βαρύτητας

Στοιχεία θεωρίας

Η εξάρτηση της περιόδου του απλού εκκρεμούς από το μήκος του και την επιτάχυνση της βαρύτητας μαθηματικά εκφράζεται με την εξίσωση:

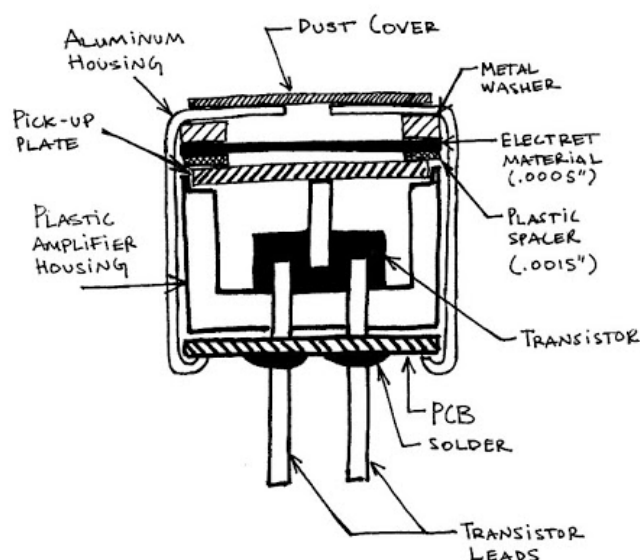
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \quad (3)$$

Η ισχύς της εξίσωσης (3) περιορίζεται στην περίπτωση μικρών γωνιών εκτροπής. Από την εξίσωση (3) μπορούμε να υπολογίσουμε την επιτάχυνση της βαρύτητας ως:

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2} \quad (4)$$

Λειτουργία των μικροφώνων τύπου electret

Τα μικρόφωνα τύπου electret που συνήθως χρησιμοποιούνται στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές αποτελούνται από μια μόνιμα φορτισμένη πολύ λεπτή μεμβράνη διηλεκτρικού, χωριζόμενη με μονωτικό δακτύλιο από ένα μικρό μεταλλικό δίσκο (Εικόνα 12). Το σύστημα αποτελεί έναν πυκνωτή του οποίου η χωρητικότητα μεταβάλλεται, καθώς εξωτερική πίεση λόγω ηχητικών κυμάτων εξαναγκάζει σε ταλάντωση τη μεμβράνη. Οι μεταβολές αυτές της χωρητικότητας οδηγούν σε αντίστοιχες μεταβολές τάσης μεταξύ των οπλισμών του πυκνωτή, και τελικά σε μετατροπή του ήχου σε ηλεκτρικό ρεύμα. Συνήθως τα μικρόφωνα αυτά περιλαμβάνουν και ένα τρανζίστορ τύπου FET που μειώνει την αντίσταση εξόδου τους και αποτελεί και το πρώτο στάδιο ενίσχυσης του παραγόμενου σήματος.



Εικόνα 12: Σχηματικό διάγραμμα ενός μικροφώνου electret (από τη σελίδα Openmusiclabs)

Ένα πολύ ασθενές σήμα καταγράφεται στην είσοδο μικροφώνου, καθώς τάση επάγεται στο μικρόφωνο, όταν ένα ισχυρός μαγνήτης νεοδυμίου κινείται σε πολύ μικρή απόσταση από αυτό. Για την καταγραφή του σήματος **πρέπει να ρυθμι-**

στούν (μέσω του μίκτη των Windows ή των σχετικών ρυθμίσεων του Πίνακα Ελέγχου) **τα επίπεδα ηχογράφησης στο μέγιστο δυνατό.**

Πειραματική διάταξη

Κατασκευάζουμε εκκρεμές μήκους L . Αντί σφαιριδίου χρησιμοποιούμε μικρό μεταλλικό κύλινδρο, στο κάτω άκρο του οποίου στερεώνεται μικρός αλλά ισχυρός μαγνητικός δίσκος νεοδυμίου. Στη θέση ισορροπίας του εκκρεμούς, ακριβώς κάτω από το μαγνήτη και σε απόσταση **3-4 mm** από αυτόν, τοποθετείται το συνδεδεμένο στην κάρτα ήχου μικρόφωνο (Εικόνα 13).



Εικόνα 13: Η πειραματική διάταξη

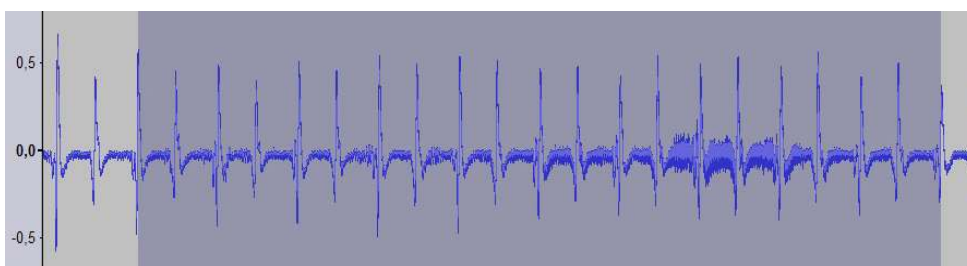
Πειραματική διαδικασία

1. Μετράμε το μήκος L του εκκρεμούς, από το σημείο ανάρτησης του νήματός του και μέχρι το κέντρο μάζας του συστήματος μεταλλικός κύλινδρος - μαγνητικός δίσκος.
2. Θέτουμε το εκκρεμές σε μικρού πλάτους ταλάντωση και ταυτόχρονα ενεργοποιούμε στο Audacity την καταγραφή των σημάτων που παράγονται από το μικρόφωνο κάθε φορά που ο μαγνήτης νεοδυμίου περνάει ακριβώς από πάνω του (δηλ. δυο φορές σε κάθε περίοδο). Πρόκειται, όπως έχουμε πει, για ένα ασθενέστατο σήμα (Εικόνα 14) και γι' αυτό το επιλέγουμε στο Audacity, και μέσω του μενού «Εφέ/Ενίσχυση» το ενισχύουμε κατά 20 dB (Εικόνα 15).
3. Επιλέγουμε στη συνέχεια στην κυματομορφή χρονικό διάστημα που αντι-

στοιχεί σε **10 πλήρεις ταλαντώσεις** (από ένα μέγιστο μέχρι και το 20^ο μέγιστο μετά το πρώτο). Το Audacity επιστρέφει το αντίστοιχο χρονικό διάστημα Δt από το οποίο υπολογίζουμε την περίοδο της κίνησης, και τελικά μέσω της εξίσωσης (4) την επιτάχυνση της βαρύτητας g .



Εικόνα 14: Το αρχικό σήμα που καταγράφεται στον υπολογιστή



Εικόνα 15: Το σήμα μετά από ενίσχυση κατά 20 db

Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί

Μήκος (L) του εκκρεμούς	0,735 m
Χρόνος (Δt) για 10 πλήρεις ταλαντώσεις	17,113107 s
Περίοδος εκκρεμούς (T)	1,7113107 s
Επιτάχυνση της βαρύτητας (g)	9,9 m/s ²

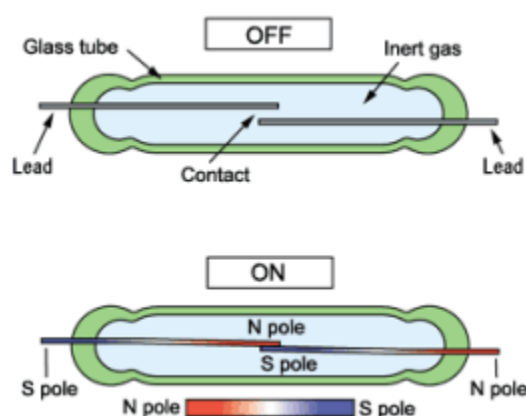
Π.4 - Μέθοδος απλού εκκρεμούς (II)

για τον προσδιορισμό της επιτάχυνσης της βαρύτητας

Και σε αυτή την άσκηση θα βασιστούμε στην εξίσωση (4) της άσκησης Π.3. Για τον προσδιορισμό της περιόδου του απλού εκκρεμούς θα χρησιμοποιήσουμε ένα μαγνητικό διακόπτη (reed switch) συνδεδεμένο στην είσοδο του μικροφώνου της κάρτας ήχου.

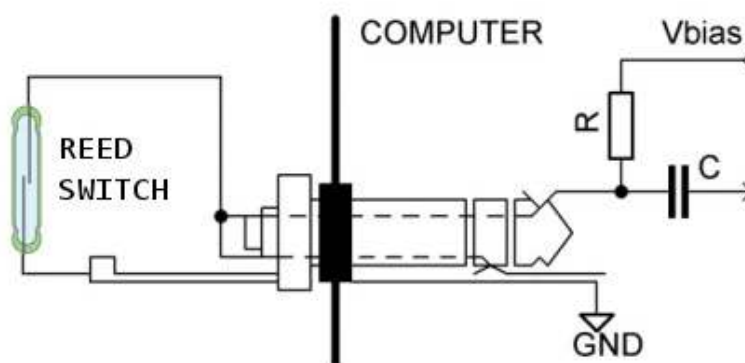
Λειτουργία του μαγνητικού διακόπτη (reed switch)

Τα μικρόφωνα που συνήθως χρησιμοποιούνται στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές είναι τύπου electret, τα οποία για τη λειτουργία τους χρειάζονται εξωτερική τροφοδοσία. Για το λόγο αυτό η είσοδος μικροφώνου της κάρτας ήχου παρέχει την απαραίτητη τάση πόλωσης (δες και Εικόνα 2). Εκμεταλλευόμενοι αυτή την τάση πόλωσης μπορούμε να συνδέσουμε στην είσοδο μικροφώνου ένα μαγνητικό διακόπτη (reed switch), ο οποίος είναι κανονικά ανοικτός και κλείνει, όταν βρεθεί μέσα σε μαγνητικό πεδίο (Εικόνα 16).



Εικόνα 16: Λειτουργία του κανονικά ανοικτού μαγνητικού διακόπτη (reed switch)

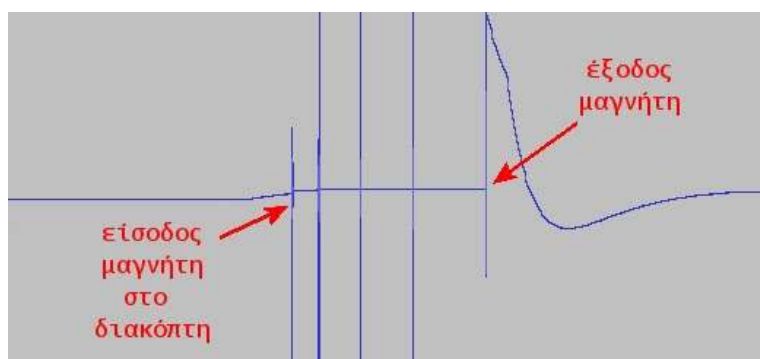
Σε ένα βύσμα τύπου audio jack και μέσω κατάλληλου καλωδίου συνδέουμε το διακόπτη reed, όπως φαίνεται στην Εικόνα 17.



Εικόνα 17: Σύνδεση του μαγνητικού διακόπτη στην είσοδο μικροφώνου της κάρτας ήχου

Όταν ένας μαγνήτης, κινούμενος σε μικρή απόσταση από το διακόπτη reed, διατρέχει το διακόπτη κατά μήκος του και καθώς ο διακόπτης ανοιγοκλείνει, δημιουργείται στην είσοδο του μικροφώνου ηλεκτρικό σήμα που μπορεί να καταγραφεί μέσω

του λογισμικού ηχογράφησης και επεξεργασίας ήχου Audacity (Εικόνα 18).

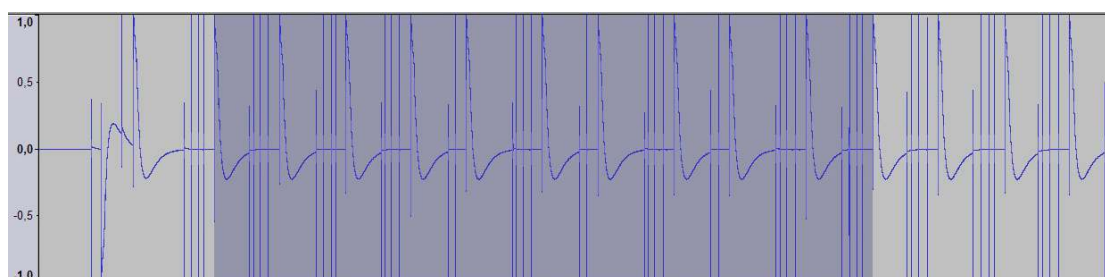


Εικόνα 18: Το σήμα που παράγει η κίνηση ενός μαγνήτη κατά μήκος του μαγνητικού διακόπτη

Πειραματική διάταξη και διαδικασία

Κατασκευάζουμε εκκρεμές μήκους $L = 0,735 \text{ m}$. Αντί σφαιριδίου χρησιμοποιούμε μικρό μεταλλικό κύλινδρο μάζας περίπου 50 g , στο κάτω άκρο του οποίου στερεώνεται μικρός αλλά ισχυρός μαγνητικός δίσκος νεοδυμίου. Στη θέση ισορροπίας του εκκρεμούς και ακριβώς κάτω από το μαγνήτη σε απόσταση $3\text{-}4 \text{ mm}$ από αυτόν τοποθετείται ο συνδεδεμένος στην κάρτα ήχου μαγνητικός διακόπτης.

1. Θέτουμε σε μικρού πλάτους ταλάντωση το εκκρεμές. Κατά την ταλάντωση ο μαγνήτης διατρέχει κατά μήκος το διακόπτη reed και παράγει το παραπάνω σήμα κάθε φορά που διέρχεται από το διακόπτη.
2. Καταγράφουμε τουλάχιστον **5 πλήρεις ταλαντώσεις** (δηλ. **10 πλήρη σήματα**) με το λογισμικό Audacity (Εικόνα 19).



Εικόνα 19: Καταγραφή ταλαντώσεων του εκκρεμούς με το Audacity

3. Επιλέγουμε το τμήμα του σήματος από μια "έξοδο" του μαγνήτη από το διακόπτη και μέχρι τη δέκατη μετά από αυτή "έξοδο" του μαγνήτη. Το χρονικό διάστημα Δt που επιστρέφει το Audacity αντιστοιχεί σε **5 πλήρεις ταλαντώσεις**. Υπολογίζουμε την περίοδο της ταλάντωσης και τελικά μέσω της εξίσωσης (4) την επιτάχυνση της βαρύτητας g .

Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί

Μήκος (L) του εκκρεμούς	0,735 m
Χρόνος (Δt) για 5 πλήρεις ταλαντώσεις	8,573968 s
Περίοδος εκκρεμούς (T)	1,7148 s
Επιτάχυνση της βαρύτητας (g)	9,9 m/s ²

Π.5 - Μέθοδος ελεύθερης πτώσης (II)

για τον προσδιορισμό της επιτάχυνσης της βαρύτητας

Στοιχεία θεωρίας

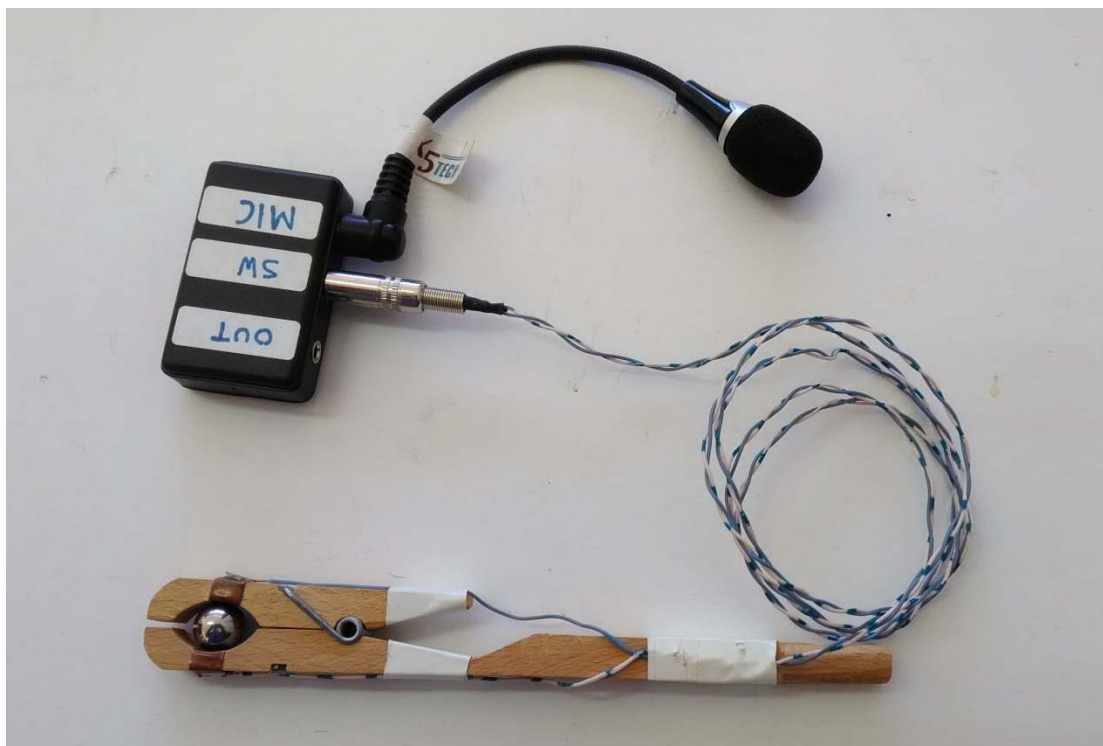
Η μετατόπιση σώματος που εκτελεί ελεύθερη πτώση δίνεται από την εξίσωση:

$$y = \frac{1}{2}gt^2 \quad (5)$$

Μετρώντας το χρόνο που απαιτείται για συγκεκριμένη μετατόπιση, από την εξίσωση (5) μπορούμε να υπολογίσουμε την επιτάχυνση της βαρύτητας.

Πειραματική διάταξη

Θα χρησιμοποιήσουμε το μετατροπέα 2 σε 1 για τη στερεοφωνική είσοδο μικροφώνου. Στο μετατροπέα θα συνδέσουμε ένα διακόπτη τύπου μανταλάκι και ένα μικρόφωνο (Εικόνα 20).



Εικόνα 20: Η πειραματική διάταξη (λεπτομέρεια από το διακόπτη τύπου "μανταλάκι")

Ο διακόπτης τύπου «μανταλάκι» αποτελείται προφανώς από ένα μανταλάκι, στα δύο σκέλη του οποίου έχουν προσαρμοστεί δύο χάλκινες ταινίες, οι οποίες με κατάλληλου μήκους καλώδια συνδέονται με ένα βύσμα τύπου jack audio κατάλληλο για την είσοδο μικροφώνου της κάρτας ήχου. Ο ρόλος του διακόπτη είναι διπλός:

1. Συγκρατεί και απελευθερώνει ένα μικρό μεταλλικό σφαιρίδιο, την ελεύθερη πτώση του οποίου πρόκειται να χρονομετρήσουμε.
2. Όταν το μανταλάκι είναι κλειστό, οι δύο χάλκινες ταινίες ακουμπούν στο μεταλλικό σφαιρίδιο και βραχυκυκλώνουν. Όταν το μανταλάκι ανοίγει και απελευθερώνεται το σφαιρίδιο, το κύκλωμα διακόπτεται και δημιουργείται

ένα ηλεκτρικό σήμα, που καταγραφόμενο από το λογισμικό Audacity σηματοδοτεί την έναρξη της κίνησης.

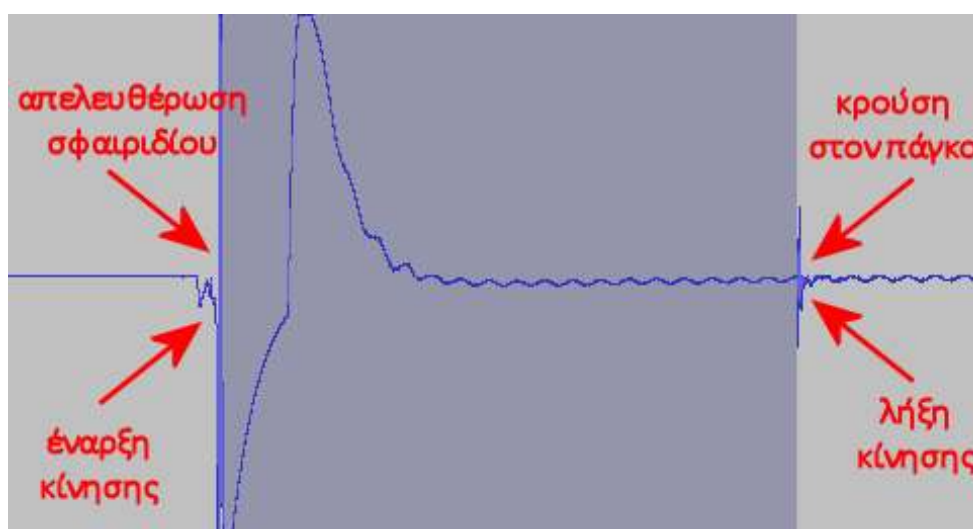
Ο διακόπτης «μανταλάκι» με τη βοήθεια μεταλλικού συνδέσμου και κατάλληλης μεταλλικής βάσης στερεώνεται σε κάποιο ύψος h πάνω από την οριζόντια επιφάνεια του πάγκου εργασίας (Εικόνα 21). Πάνω στον πάγκο εργασίας και κοντά στο σημείο πτώσης του μεταλλικού σφαιριδίου έχει τοποθετηθεί το μικρόφωνο. Τα σήματα από τον διακόπτη «μανταλάκι» και το μικρόφωνο μέσω του μετατροπέα 2 σε 1 οδηγούνται στη στερεοφωνική είσοδο μικροφώνου της κάρτας ήχου.



Εικόνα 21: Η πειραματική διάταξη

Πειραματική διαδικασία

1. Μετράμε το ύψος h της ελεύθερης πτώσης του σφαιριδίου (από την επιφάνεια του πάγκου εργασίας μέχρι το κάτω άκρο του σφαιριδίου που συγκρατείται στο μανταλάκι).
2. Θέτουμε σε λειτουργία την καταγραφή σήματος στο Audacity και απελευθερώνουμε το σφαιρίδιο από το μανταλάκι. Καταγράφεται τόσο το παραγόμενο σήμα κατά το άνοιγμα του διακόπτη, όσο και το σήμα από την κρούση του σφαιριδίου στον πάγκο εργασίας. Μπορούμε να επιλέξουμε στο Audacity: καταγραφή μονοφωνικού σήματος, οπότε τα δύο σήματα που από τον μετατροπέα οδηγούνται στην κάρτα ήχου συνδυάζονται σε ένα κανάλι ηχογράφησης, ή καταγραφή στερεοφωνικού σήματος, οπότε κάθε σήμα καταγράφεται σε ξεχωριστό κανάλι. Στο συγκεκριμένο πείραμα επιλέξαμε την καταγραφή μονοφωνικού σήματος (Εικόνα 22).



Εικόνα 22: Καταγραφή των σημάτων της κίνησης στο Audacity

4. Επιλέγοντας το τμήμα της κυματομορφής από τη στιγμή που απελευθερώνεται το σφαιρίδιο από το μανταλάκι μέχρι τη στιγμή που χτυπάει στον πάγκο εργασίας, το Audacity μας επιστρέφει το αντίστοιχο χρονικό διάστημα (χρόνος πτήσης Δt).
5. Μέσω της εξίσωσης (5) υπολογίζουμε την τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας στον τόπο διεξαγωγής του πειράματος.

Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί

Ύψος πτώσης (h)	0,811 m
Χρόνος πτήσης (Δt)	0,413605 s
Επιτάχυνση της βαρύτητας	9,5 m/s ²

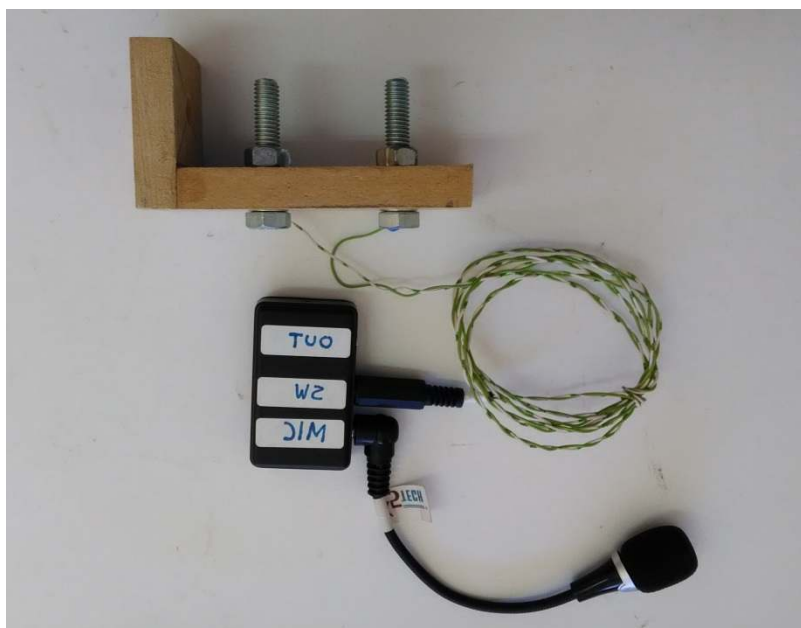
Π.6 - Μέθοδος ελεύθερης πτώσης (III)

για τον προσδιορισμό της επιτάχυνσης της βαρύτητας

Θα χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση (5) από την άσκηση Π.5 για τον υπολογισμό της επιτάχυνσης της βαρύτητας.

Πειραματική διάταξη

Θα χρησιμοποιήσουμε το μετατροπέα 2 σε 1 για τη στερεοφωνική είσοδο μικροφώνου. Στο μετατροπέα θα συνδέσουμε ένα διακόπτη τύπου «διπλής βίδας» και ένα μικρόφωνο (Εικόνα 23).

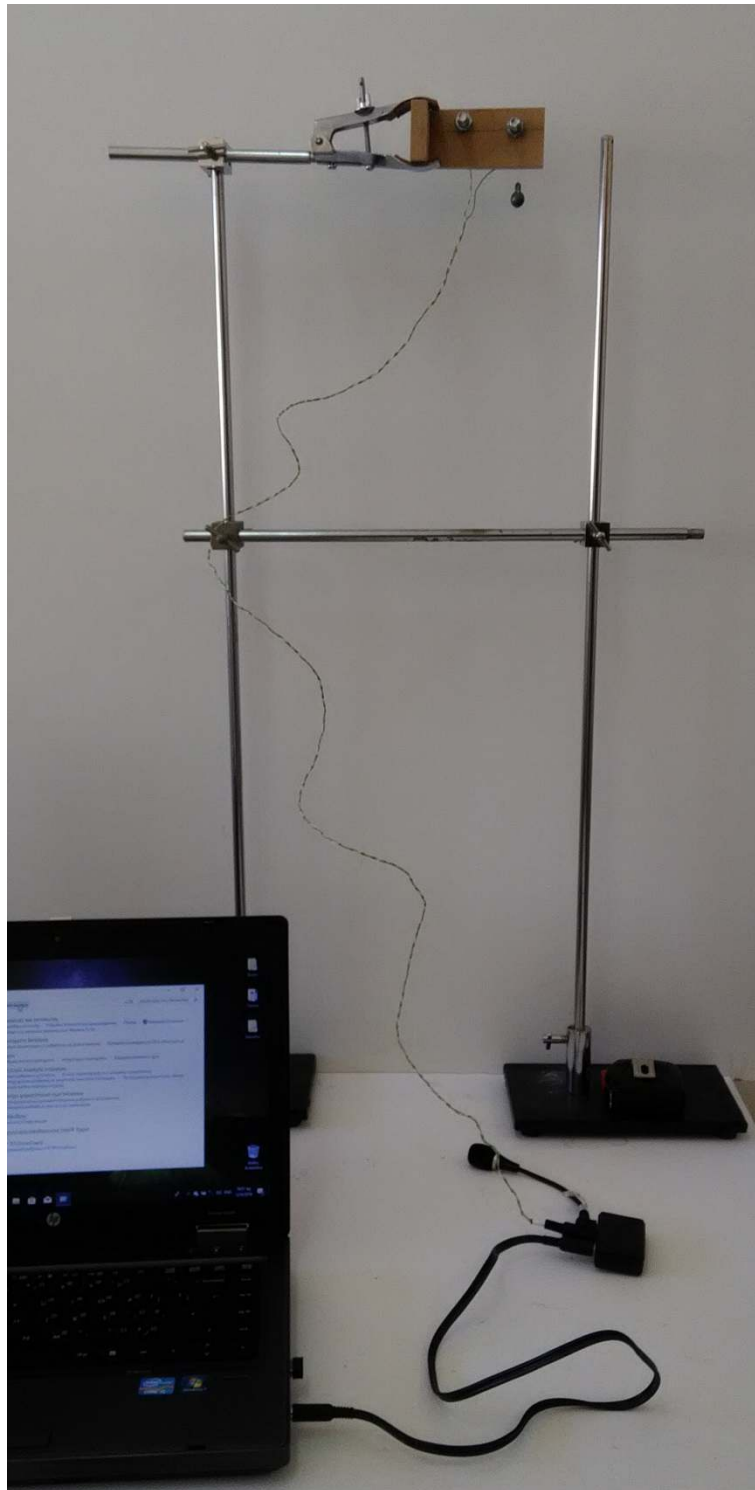


Εικόνα 23: Ο διακόπτης τύπου "διπλής βίδας" και το μικρόφωνο της πειραματικής διάταξης

Ο διακόπτης τύπου «διπλής βίδας» κατασκευάστηκε και λειτουργεί ως εξής: Σε μια ξύλινη βάση σχήματος «Γ» στερεώθηκαν με κατάλληλα παξιμάδια δύο μπουλόνια, σε μικρή απόσταση αλλά όχι σε επαφή μεταξύ τους. Μέσω δύο καλωδίων κατάλληλου μήκους τα δύο μπουλόνια συνδέονται με ένα βύσμα τύπου jack audio κατάλληλο για την είσοδο μικροφώνου της κάρτας ήχου. Ένα πολύ λεπτό χάλκινο σύρμα δένεται στο ένα μπουλόνι και, ενώ είναι σε επαφή με το δεύτερο μπουλόνι, στην άλλη άκρη του δένεται ένα μικρό σώμα, την κίνηση του οποίου θέλουμε να χρονομετρήσουμε. Αρχικά λοιπόν οι πόλοι του διακόπτη είναι βραχυκυκλωμένοι μέσω του λεπτού χάλκινου σύρματος. Καίγοντας το λεπτό χάλκινο σύρμα το σώμα απελευθερώνεται, ο διακόπτης ανοίγει και στο Audacity καταγράφεται το σχετικό σήμα, ενώ με το μικρόφωνο καταγράφεται ο ήχος από την κρούση του σε οριζόντια επιφάνεια μετά από συγκεκριμένη μετατόπιση.

Με τη βοήθεια μεταλλικού συνδέσμου και κατάλληλης μεταλλικής βάσης ο διακόπτης «διπλής βίδας» στερεώνεται σε κάποιο ύψος h πάνω από την οριζόντια επιφάνεια του πάγκου εργασίας (Εικόνες 24 & 25). Πάνω στον πάγκο εργασίας και κοντά στο σημείο πτώσης του μεταλλικού σφαιριδίου έχει τοποθετηθεί το μικρό-

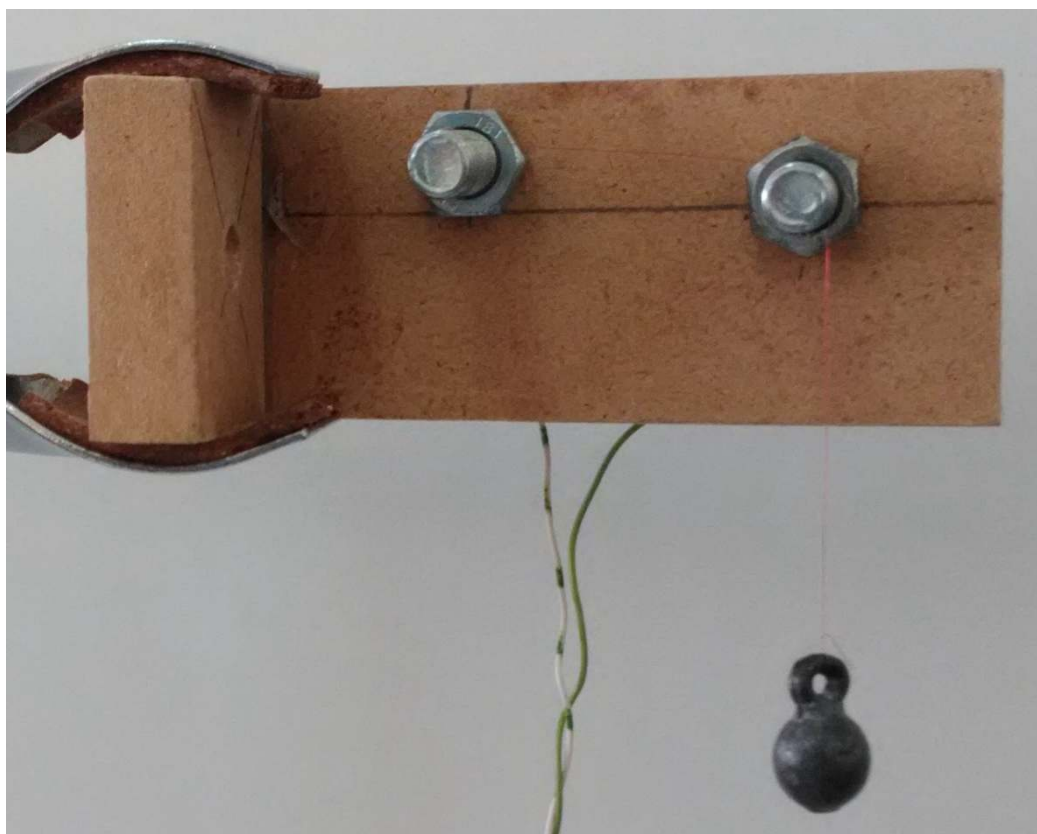
φωνο. Τα σήματα από τον διακόπτη και το μικρόφωνο μέσω του μετατροπέα 2 σε 1 οδηγούνται στη στερεοφωνική είσοδο μικροφώνου της κάρτας ήχου.



Εικόνα 24: Η πειραματική διάταξη

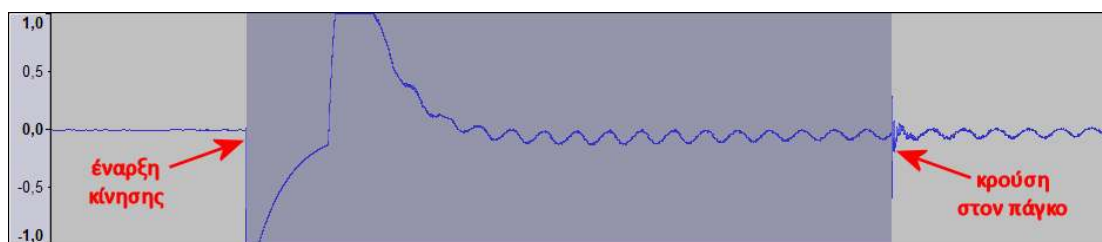
Πειραματική διαδικασία

1. Μετράμε το ύψος h της ελεύθερης πτώσης του σφαιριδίου (από την επιφάνεια του πάγκου εργασίας μέχρι το κάτω άκρο του σφαιριδίου που συγκρατείται στην άκρη του λεπτού χάλκινου σύρματος).



Εικόνα 25: Λεπτομέρεια του διακόπτη τύπου "διπλής βίδας"

2. Θέτουμε σε λειτουργία την καταγραφή σήματος στο Audacity και απελευθερώνουμε το σφαιρίδιο καίγοντας με ένα αναπτήρα το χάλκινο σύρμα. Καταγράφεται τόσο το παραγόμενο σήμα κατά το άνοιγμα του διακόπτη, όσο και το σήμα από την κρούση του σφαιριδίου στον πάγκο εργασίας (Εικόνα 26).



Εικόνα 26: Καταγραφή των σημάτων της κίνησης στο Audacity

3. Επιλέγοντας το τμήμα της κυματομορφής από τη στιγμή που απελευθερώνεται στο σφαιρίδιο μέχρι τη στιγμή που χτυπάει στον πάγκο εργασίας, το Audacity επιστρέφει το αντίστοιχο χρονικό διάστημα (χρόνος πτήσης Δt).
4. Μέσω της εξίσωσης (5) υπολογίζουμε την τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας στον τόπο διεξαγωγής του πειράματος.

Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί

Ύψος (h)	0,769 m
Χρόνος πτήσης (Δt)	0,399002 s
Επιτάχυνση της βαρύτητας	9,7 m/s ²

Π.7 – Μέθοδος απλής αρμονικής ταλάντωσης για τον προσδιορισμό της επιτάχυνσης της βαρύτητας

Στοιχεία θεωρίας

Σώμα μάζας m είναι αναρτημένο στο κάτω άκρο κατακόρυφου ιδανικού ελατηρίου σταθεράς k , ενώ το άλλο (πάνω) άκρο του ελατηρίου είναι ακλόνητα στερεωμένο. Το σύστημα ισορροπεί με το ελατήριο επιμηκυμένο κατά x_o . Άρα ισχύει:

$$\sum F = 0 \Rightarrow kx_o = mg \quad \text{και τελικά:} \quad \frac{m}{k} = \frac{x_o}{g} \quad (6)$$

Η περίοδος της απλής αρμονικής ταλάντωσης του ίδιου συστήματος είναι:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad \text{και λαμβάνοντας υπόψη την εξίσωση (6), προκύπτει:}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{x_o}{g}} \quad (7)$$

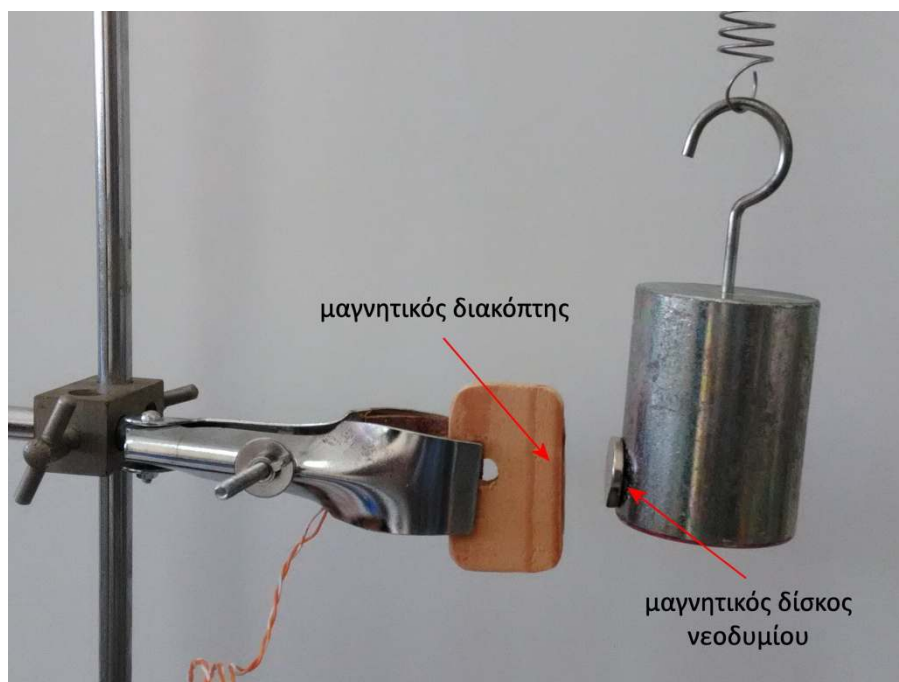
Η εξίσωση (7) δηλώνει πως η περίοδος της απλής αρμονικής ταλάντωσης του συστήματος σώμα-ελατήριο είναι ίση με την περίοδο ενός απλού εκκρεμούς, που έχει μήκος ίσο με την επιμήκυνση του ελατηρίου, όταν το σύστημα ισορροπεί.

Πειραματική διάταξη



Εικόνα 27: Η πειραματική διάταξη

Από την κορυφή κατάλληλης βάσης στήριξης (Εικόνα 27) αναρτάται το επάνω άκρο ενός ελατηρίου, στο κάτω άκρο του οποίου αναρτάται μεταλλικός κύλινδρος. Στο κατώτερο άκρο της πλευρικής επιφάνειας του κυλίνδρου στερεώνεται μικρός μαγνητικός δίσκος νεοδυμίου. Η συνολική μάζα του συστήματος είναι $m = 1009 \text{ g}$. Ακριβώς απέναντι από τη θέση ισορροπίας του κυλίνδρου και πολύ κοντά σε αυτόν, στην ίδια βάση στήριξης με τη βοήθεια μεταλλικής λαβίδας (Εικόνα 28) στερεώνεται ο μαγνητικός διακόπτης (reed), που συνδέεται με κατάλληλου μήκους καλώδιο και βύσμα τύπου jack audio στην είσοδο μικροφώνου του ηλεκτρονικού υπολογιστή.



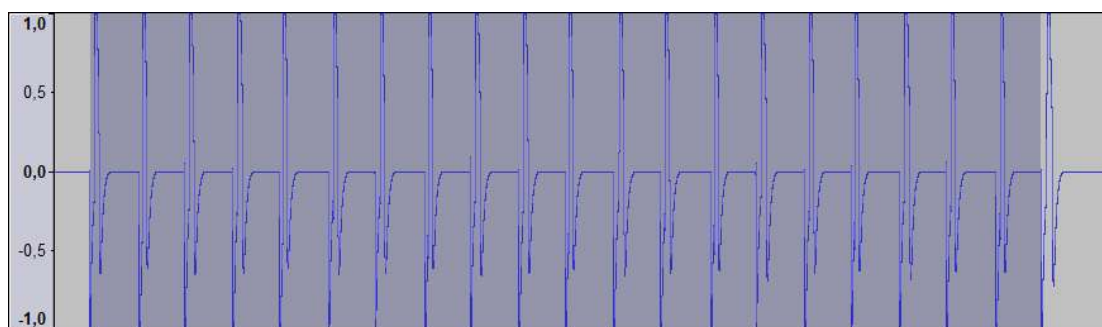
Εικόνα 28: Λεπτομέρεια της πειραματικής διάταξης

Καθώς ο κύλινδρος τίθεται σε ταλάντωση, ενεργοποιεί δυο φορές ανά περίοδο το διακόπτη και στο Audacity καταγράφονται τα σχετικά σήματα.

Πειραματική διαδικασία – υπολογισμοί

1. Αρχικά μετράμε το ύψος h_0 από το κάτω άκρο του ελατηρίου μέχρι την οριζόντια επιφάνεια του πάγκου εργασίας πάνω στον οποίο βρίσκεται η πειραματική διάταξη, χωρίς ο μεταλλικός κύλινδρος να έχει αναρτηθεί στο ελατήριο. Μετά αναρτάμε τον κύλινδρο στο ελατήριο και, αφού αφήσουμε το σύστημα να ισορροπήσει, μετράμε πόσο απέχει κατακόρυφα (ύψος h) το κάτω άκρο του ελατηρίου από τον πάγκο εργασίας. Υπολογίζουμε την επιμήκυνση του ελατηρίου μέχρι τη θέση ισορροπίας του κυλίνδρου ως: $x_0 = h_0 - h$.
2. Θέτουμε τον κύλινδρο σε ταλάντωση και ταυτόχρονα ενεργοποιούμε την καταγραφή των σημάτων με το λογισμικό Audacity (Εικόνα 29). Επιλέγοντας το τμήμα της κυματομορφής που αντιστοιχεί σε 10 πλήρεις ταλαντώσεις (δηλ. 20 ενεργοποιήσεις του διακόπτη) το Audacity επιστρέφει το αντίστοιχο χρονικό διάστημα Δt , από το οποίο υπολογίζουμε την περίοδο T της απλής αρ-

μονικής ταλάντωσης που εκτελεί ο κύλινδρος.



Εικόνα 29: Καταγραφή των σημάτων της κίνησης στο Audacity

5. Μέσω της εξίσωσης (7) υπολογίζουμε την τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας στον τόπο διεξαγωγής του πειράματος.

Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί

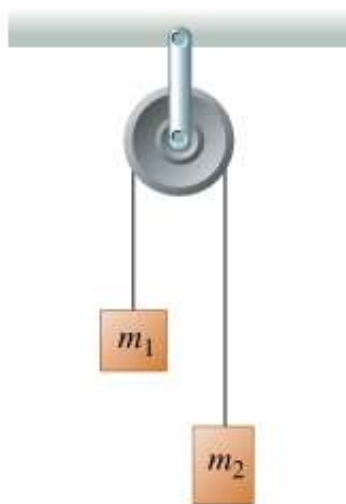
Ύψος από ελεύθερο άκρο ελατηρίου μέχρι πάγκο (h_o)	0,686 m
(Αντίστοιχο) Ύψος με τον κύλινδρο αναρτημένο (h)	0,499 m
Χρόνος για 10 πλήρεις ταλαντώσεις (Δt)	8,736508 s
Επιμήκυνση ελατηρίου μέχρι τη θέση ισορροπίας ($x_o=h_o-h$)	0,187 m
Περίοδος (T) α.α.τ.	0,8736508 s
Επιτάχυνση της βαρύτητας (g)	9,7 m/s ²

Π.8 – Μέθοδος μηχανής Atwood

για τον προσδιορισμό της επιτάχυνσης της βαρύτητας

Στοιχεία θεωρίας

Δύο σώματα με μάζες m_1 και m_2 ($m_2 > m_1$) είναι δεμένα στα δύο άκρα λεπτού αβαρούς νήματος το οποίο διέρχεται από αβαρή τροχαλία (Εικόνα 30), η οποία μπορεί να περιστρέφεται χωρίς τριβές γύρω από οριζόντιο άξονα.



Εικόνα 30: Μηχανή του Atwood

Με εφαρμογή του θεμελιώδους νόμου της μηχανικής για τα δύο σώματα προσδιορίζεται η επιτάχυνσή τους, όταν το σύστημα αφεθεί ελεύθερο. Προκύπτει:

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} g \quad (8)$$

Αν το σώμα μάζας m_2 αφεθεί ελεύθερο και μετακινηθεί κατά απόσταση h με την επιτάχυνση αυτή, θα ισχύει:

$$h = \frac{1}{2} at^2 \quad (9)$$

Συνδυάζοντας τις εξισώσεις (8) και (9), παίρνουμε:

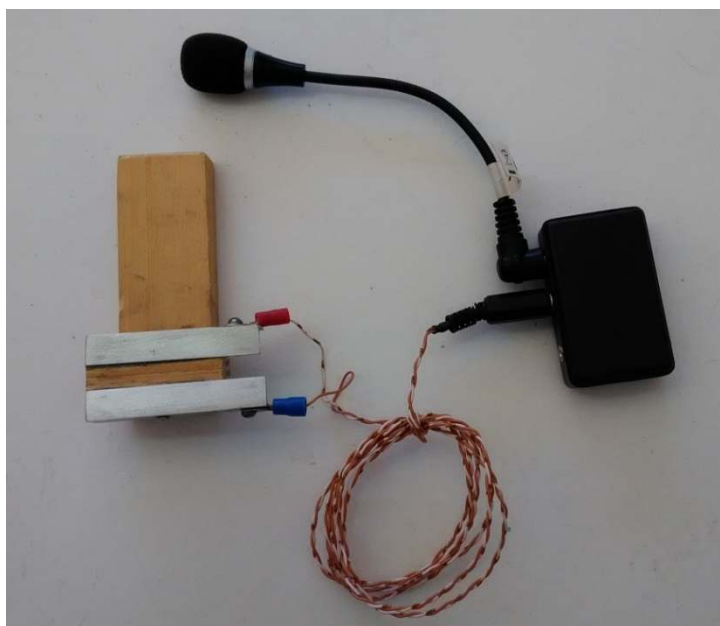
$$g = \frac{2h}{t^2} \cdot \frac{m_1 + m_2}{m_2 - m_1} \quad (10)$$

Με την εξίσωση (10) μπορούμε να υπολογίσουμε την επιτάχυνση της βαρύτητας, έχοντας βέβαια υπόψη τις δύο βασικές προϋποθέσεις υπό τις οποίες η εξίσωση αυτή ισχύει: Οι αντιστάσεις-τριβές είναι αμελητέες και η τροχαλία είναι αβαρής (ή έχει αμελητέα ροπή αδράνειας).

Πειραματική διάταξη

Θα χρησιμοποιήσουμε τον μετατροπέα 2 σε 1 για τη στερεοφωνική είσοδο μικροφώνου της κάρτας ήχου: Στη μια είσοδο του μετατροπέα θα συνδέσουμε ένα μικρόφωνο και στην άλλη ένα διακόπτη «επαφής» (Εικόνα 31). Ο διακόπτης επαφής

αποτελείται από δυο μεταλλικές γωνίες, οι οποίες στερεώνονται στις παράλληλες πλευρές από ένα ξύλινο πηχάκι χωρίς να έρχονται σε επαφή μεταξύ τους. Οι δύο μεταλλικές γωνίες με κατάλληλου μήκους καλώδια συνδέονται στις επαφές ενός βύσματος jack audio. Όταν ένα μεταλλικό αντικείμενο βρίσκεται σε επαφή με τις δύο μεταλλικές γωνίες, το σύστημα λειτουργεί ως κλειστός διακόπτης, που ανοίγει όταν το μεταλλικό αντικείμενο χάσει την επαφή του με τις μεταλλικές γωνίες, παράγοντας ηλεκτρικό σήμα που μπορεί να καταγραφεί με το λογισμικό Audacity.



Εικόνα 31: Λεπτομέρεια του διακόπτη "επαφής"

Χρησιμοποιούμε επίσης ένα σύστημα με δύο πολύ ελαφριές τροχαλίες, στερεωμένες σε ξύλινη βάση (Εικόνα 32), ώστε τα δύο κατακόρυφα σκέλη του νήματος που διέρχεται από αυτές να βρίσκονται σε κάποια απόσταση μεταξύ τους και να μην υπάρχει σύγκρουση των δύο μαζών κατά την κίνησή τους.



Εικόνα 32: Λεπτομέρεια του συστήματος των τροχαλιών

Ο διακόπτης «επαφής» και το μικρόφωνο τοποθετούνται πάνω στον πάγκο εργασίας, ενώ με μεταλλική λαβίδα το σύστημα των δύο τροχαλιών στερεώνεται σε κατάλληλη βάση στήριξης (Εικόνα 33).



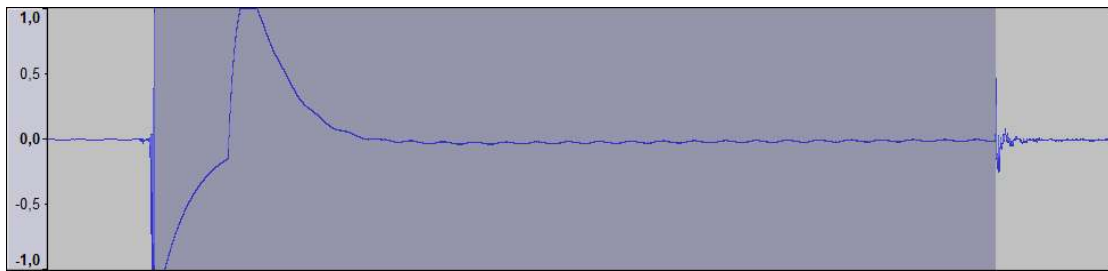
Εικόνα 33: Η πειραματική διάταξη της μηχανής Atwood

Πειραματική διαδικασία - υπολογισμοί

1. Προσδιορίζουμε με ζύγιση τις μάζες m_1 και m_2 των δύο σωμάτων που θα αναρτήσουμε στη μηχανή Atwood.
2. Μετακινούμε το σώμα μικρότερης μάζας (m_1) και το τοποθετούμε πάνω στο διακόπτη «επαφής» (κλείνουμε το διακόπτη), προσέχοντας ώστε τα δύο

σκέλη του νήματος να είναι κατακόρυφα. Διατηρούμε το σώμα m_1 σε επαφή με τον διακόπτη, και μετράμε το ύψος h του άλλου σώματος (m_2) από τον πάγκο εργασίας (δηλ. τη μετατόπισή του όταν το σύστημα αφεθεί ελεύθερο).

3. Ενεργοποιούμε την καταγραφή των σημάτων στο Audacity και μετά αφήνουμε ελεύθερο το σώμα μικρότερης μάζας (m_1) το οποίο ανέρχεται, ενώ το άλλο κατέρχεται με την ίδια επιτάχυνση. Η απελευθέρωση του σώματος m_1 δημιουργεί το σήμα έναρξης της κίνησης, ενώ το σήμα λήξης της κίνησης προκύπτει από την κρούση του σώματος m_2 στον πάγκο (Εικόνα 34).



Εικόνα 34: Καταγραφή των σημάτων της κίνησης στο Audacity

4. Επιλέγοντας το τμήμα της κυματομορφής από τη στιγμή που απελευθερώνεται στο σώμα μάζας m_1 μέχρι τη στιγμή που το άλλο σώμα χτυπάει στον πάγκο εργασίας, το Audacity μας επιστρέφει τον αντίστοιχο χρόνο (t).
5. Μέσω της εξίσωσης (10) υπολογίζουμε την τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας στον τόπο διεξαγωγής του πειράματος.

Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί

Μάζα m_1	49,0 g
Μάζα m_2	98,9 g
Μετατόπιση h	0,429 m
Χρόνος πτώσης t	0,536825 s
Επιτάχυνση της βαρύτητας	8,8 m/s ²

Παρατήρηση

Η μέθοδος παρουσιάζει τη μεγαλύτερη απόκλιση πειραματικής – αναμενόμενης τιμής για την επιτάχυνση της βαρύτητας. Δύο είναι γενικά οι κύριοι λόγοι αποκλίσεων της μεθόδου:

1. Η τροχαλία της μηχανής Atwood δεν είναι αβαρής, δηλ. η ροπή αδράνειας της δεν είναι ασήμαντη. Στην περίπτωσή μας αυτό δεν ισχύει, αφού οι δύο τροχαλίες που χρησιμοποιήσαμε έχουν ασήμαντη μάζα και επίσης πολύ μικρή ακτίνα.
2. Οι τριβές στον άξονα περιστροφής της τροχαλίας και οι όποιες άλλες αντιστάσεις δεν είναι αμελητέες. Στην περίπτωση της διάταξής μας υπάρχουν επιπλέον τριβές, αν κατά την περιστροφή τους οι δύο τροχαλίες έρθουν σε επαφή με την ξύλινη βάση στην οποία στερεώνονται.

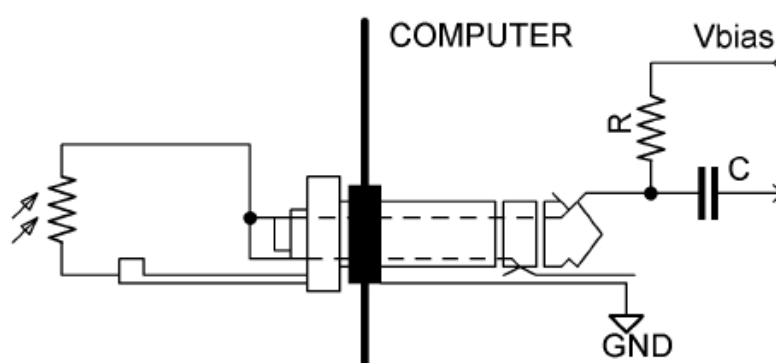
Π.9 – Μέθοδος απλού εκκρεμούς (III)

για τον προσδιορισμό της επιτάχυνσης της βαρύτητας

Και σε αυτή την άσκηση θα βασιστούμε στην εξίσωση (4) της άσκησης Π.3 για τον υπολογισμό της επιτάχυνσης της βαρύτητας, αλλά για τον προσδιορισμό της περιόδου του απλού εκκρεμούς θα χρησιμοποιήσουμε μια (ιδιοκατασκευασμένη) φωτοπύλη συνδεδεμένη στην είσοδο του μικροφώνου της κάρτας ήχου.

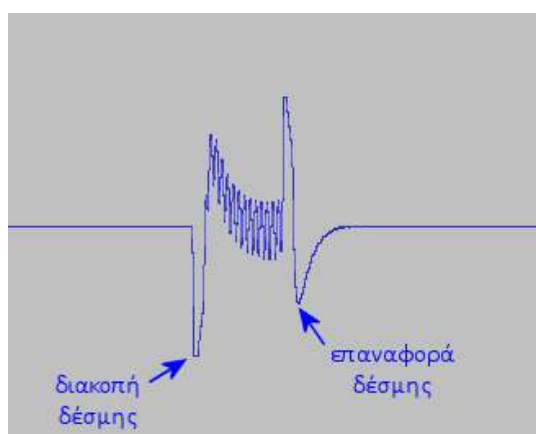
Μια απλή φωτοπύλη για την κάρτα ήχου

Στην πιο απλή της μορφή μια φωτοπύλη για την κάρτα ήχου αποτελείται από ένα laser τύπου στυλό και μία φωτοαντίσταση, η οποία μέσω κατάλληλου βύσματος συνδέεται στην είσοδο μικροφώνου της κάρτας ήχου (Εικόνα 35).



Εικόνα 35: Κατασκευή φωτοπύλης με φωτοαντίσταση

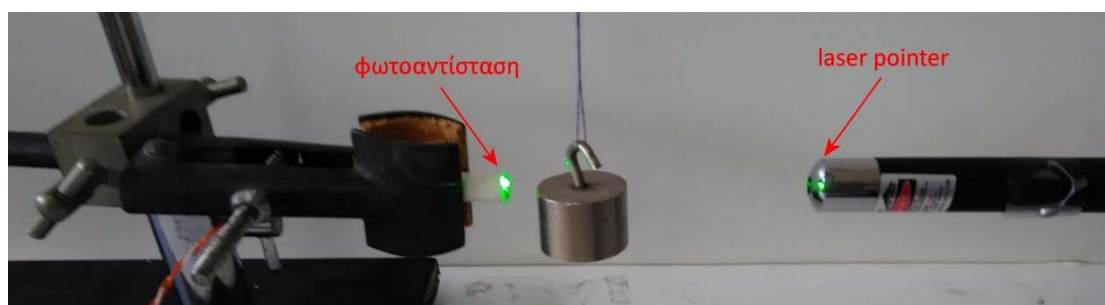
Η φωτοαντίσταση και η εσωτερική αντίσταση R (μέσω της οποίας η τάση πόλωσης εφαρμόζεται στην είσοδο μικροφώνου) δημιουργούν ένα διαιρέτη τάσης. Αν μεταβληθεί η ένταση του φωτός που προσπίπτει στη φωτοαντίσταση, η αντίστασή της μεταβάλλεται, με τελικό αποτέλεσμα την εφαρμογή μιας μεταβαλλόμενης τάσης στην είσοδο μικροφώνου της κάρτας ήχου. Αν λοιπόν η φωτοαντίσταση φωτίζεται με το laser και για κάποιο λόγο η δέσμη φωτός διακοπεί, το σχετικό ηλεκτρικό σήμα (Εικόνα 36) μπορεί να καταγραφεί στην είσοδο μικροφώνου της κάρτας ήχου.



Εικόνα 36: Το σήμα από τη φωτοπύλη κατά τη διακοπή της δέσμης της

Αντί φωτοαντίστασης μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν: φωτοτρανζίστορ, φωτοдиодοι, ακόμη και ηλιακά φωτοκύτταρα.

Πειραματική διάταξη



Εικόνα 37: Λεπτομέρεια της φωτοπύλης

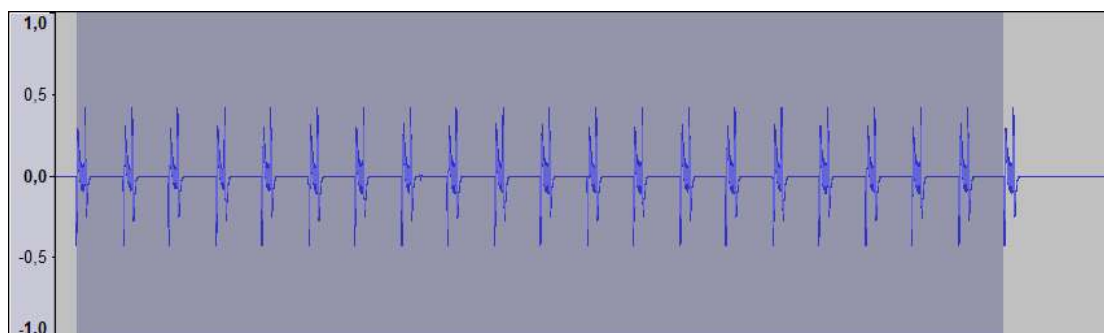
Η φωτοαντίσταση και το laser με μεταλλικές λαβίδες στερεώνονται στα δύο κατακόρυφα σκέλη κατάλληλης μεταλλικής βάσης σχήματος «Π» (Εικόνες 37 & 38). Από το γάντζο ενός δακτυλίου που διαπερνά το οριζόντιο σκέλος της μεταλλικής βάσης αναρτάται ένα εκκρεμές. Αντί σφαιριδίου στο εκκρεμές χρησιμοποιήσαμε κυλινδρικό βαρίδι με μάζα ονομαστικής τιμής 50 g. Το μήκος του εκκρεμούς και η θέση της φωτοπύλης ρυθμίζονται, έτσι ώστε το κυλινδρικό βαρίδι στη θέση ισορροπίας να διακόπτει τη δέσμη του laser. Με κατάλληλο βύσμα η φωτοαντίσταση συνδέεται στην είσοδο μικροφώνου της κάρτας ήχου.



Εικόνα 38: Η πειραματική διάταξη

Πειραματική διαδικασία

1. Μετράμε το μήκος L του εκκρεμούς από το σημείο ανάρτησης και μέχρι το κέντρο μάζας του κυλινδρικού βαριδίου.
2. Ενεργοποιούμε το laser και θέτουμε σε μικρού πλάτους ταλάντωση το εκκρεμές. Κατά την ταλάντωση το βαρίδι διακόπτει τη δέσμη laser. Καταγράφουμε στο Audacity τουλάχιστον **10 πλήρεις ταλαντώσεις** (δηλ. **20 πλήρη σήματα**, αφού η δέσμη του laser διακόπτεται δύο φορές ανά περίοδο) (Εικόνα 39).



Εικόνα 39: Καταγραφή των σημάτων της κίνησης στο Audacity

3. Επιλέγουμε το τμήμα του σήματος από μια διακοπή της δέσμης του laser από το εκκρεμές και μέχρι την εικοστή μετά από αυτή διακοπή της δέσμης. Το χρονικό διάστημα Δt που επιστρέφει το Audacity αντιστοιχεί σε **10 πλήρεις ταλαντώσεις**. Υπολογίζουμε την περίοδο T της ταλάντωσης και τελικά μέσω της εξίσωσης (4) την επιτάχυνση της βαρύτητας g .

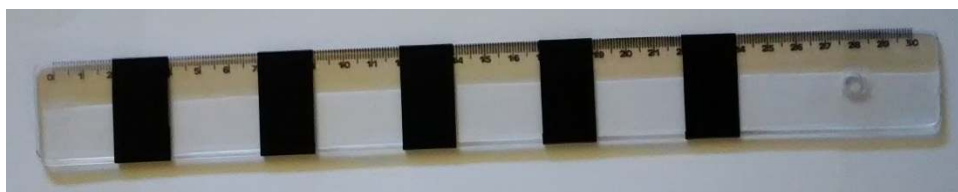
Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί

Μήκος (L) του εκκρεμούς	0,690 m
Χρόνος (Δt) για 10 πλήρεις ταλαντώσεις	16,633469 s
Περίοδος εκκρεμούς (T)	1,6633469 s
Επιτάχυνση της βαρύτητας (g)	9,8 m/s ²

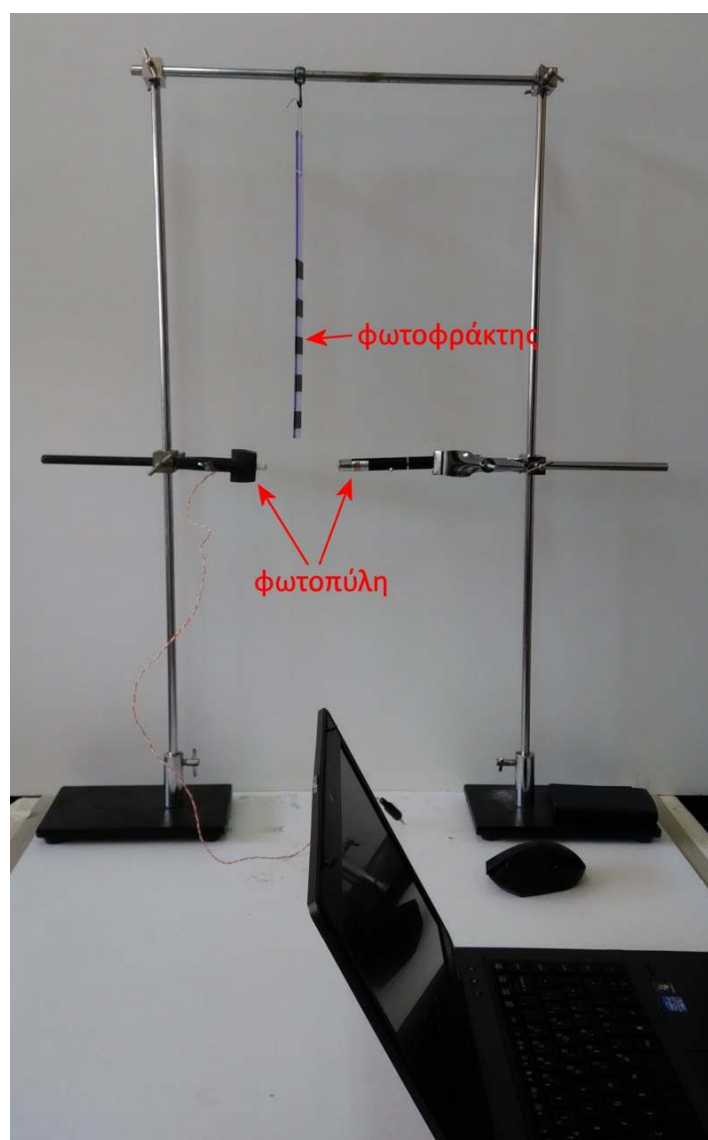
Π.10 – Μέθοδος φωτοφράκτη για τον προσδιορισμό της επιτάχυνσης της βαρύτητας

Πειραματική διάταξη

Σε ένα πλαστικό διαφανή χάρακα έχουμε κολλήσει πέντε τμήματα αδιαφανούς μονωτικής ταινίας, κατά τρόπο ώστε τα τμήματα της ταινίας να είναι παράλληλα μεταξύ τους και ανά δύο γειτονικά να απέχουν απόσταση 5 cm. Δημιουργούμε έτσι ένα «φωτοφράκτη» δηλ. μια σειρά διαδοχικών διαφανών και αδιαφανών τμημάτων στο χάρακα (Εικόνα 40).



Εικόνα 40: Φωτοφράκτης

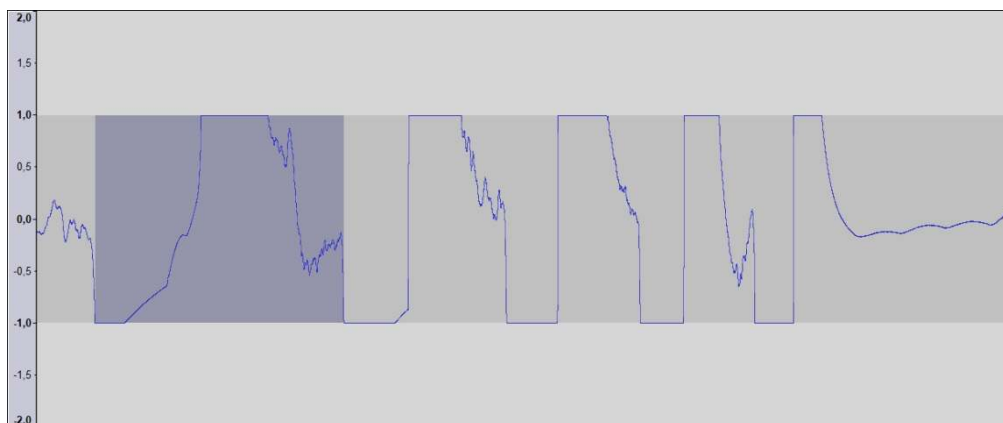


Εικόνα 41: Η πειραματική διάταξη

Στους δύο κατακόρυφους ορθοστάτες μιας μεταλλικής βάσης σχήματος «Π» στερεώνουμε τη φωτοπύλη (Εικόνα 41), ενώ στο γάντζο ενός δακτυλίου που διαπερνά το οριζόντιο σκέλος της μεταλλικής βάσης αναρτάται με τη βοήθεια λεπτού νήματος ο φωτοφράκτης, κατά τέτοιο τρόπο ώστε, όταν το νήμα κοπεί και ο φωτοφράκτης πέσει ελεύθερα, οι αδιαφανείς του ταινίες να διακόπτουν τη δέσμη της φωτοπύλης.

Πειραματική διαδικασία και επεξεργασία των δεδομένων

1. Αφού θέσουμε σε λειτουργία την καταγραφή των σημάτων της φωτοπύλης στο λογισμικό Audacity, με ένα αναπτήρα καίμε το λεπτό νήμα που συγκρατεί το φωτοφράκτη. Ο φωτοφράκτης πέφτει χωρίς αρχική ταχύτητα με την επίδραση πρακτικά μόνο του βάρους του.



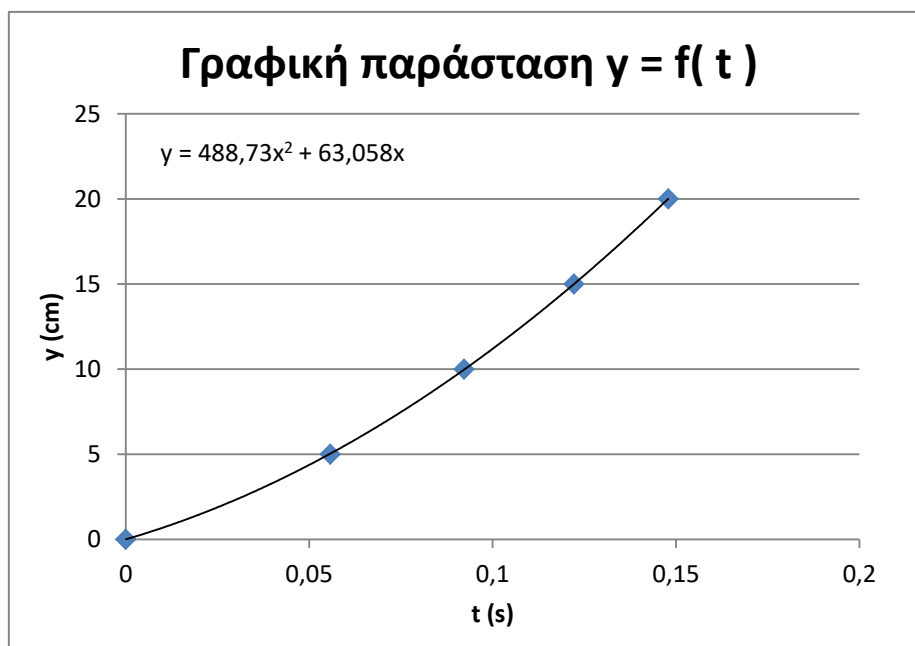
Εικόνα 42: Καταγραφή των σημάτων της κίνησης του φωτοφράκτη στο Audacity

2. Τα ηλεκτρικά σήματα που καταγράφονται στο Audacity (Εικόνα 42), μας επιτρέπουν τη συλλογή δεδομένων θέσης – χρόνου για την κίνηση του φωτοφράκτη. Η διακοπή της δέσμης του laser από μια αδιαφανή ταινία του φωτοφράκτη σηματοδοτείται με μια απότομη βύθιση στο σήμα που καταγράφεται στο Audacity. Συνεπώς το χρονικό διάστημα από μια απότομη βύθιση στο σήμα μέχρι την αμέσως επόμενη είναι ίσο με το χρόνο που χρειάστηκε ο φωτοφράκτης, για να διανύσει κατακόρυφα μια απόσταση ίση με 5 cm, όση δηλ. η απόσταση ανάμεσα σε δυο αδιαφανείς ταινίες του. Θεωρώντας αυθαίρετα ως $t = 0$ τη στιγμή της πρώτης διακοπής της δέσμης της φωτοπύλης, και την αντίστοιχη θέση ως $y = 0$, συλλέγουμε τα πειραματικά δεδομένα όπως φαίνονται στον Πίνακα (1).

Πίνακας 1: Τα πειραματικά δεδομένα

α/α	$t \text{ (s)}$	$y \text{ (cm)}$
1	0,000000	0,0
2	0,055726	5,0
3	0,092200	10,0
4	0,122177	15,0
5	0,147857	20,0

3. Με τη βοήθεια του Excel θα σχεδιάσουμε τη γραφική παράσταση $y = f(t)$, για τα πειραματικά δεδομένα καθώς και την παραβολή που τα προσεγγίζει καλύτερα (Εικόνα 43).



Εικόνα 43: Γραφική παράσταση των πειραματικών δεδομένων και καλύτερη παραβολή προσαρμογής

4. Θεωρητικά τα πειραματικά δεδομένα ικανοποιούν την εξίσωση:

$$y = v_o t + \frac{1}{2} g t^2$$

ενώ η καλύτερη παραβολή προσαρμογής στα δεδομένα έχει την εξίσωση:

$$y = 63,058t + 488,73t^2 \quad (y \text{ σε cm})$$

Η σύγκριση των δύο εξισώσεων δίνει:

$$\frac{1}{2} g = 488,73 \text{ cm} / \text{s}^2 \quad \text{ή} \quad g = 9,8 \text{ m} / \text{s}^2$$

Ενότητα 2η

**Άλλα Πειράματα
με την κάρτα ήχου**



Π.1 - Προσδιορισμός της ταχύτητας του ήχου (I)

Πειραματική διάταξη

Σε σωλήνα PVC διαμέτρου $\phi 40$ και κατά μήκος μιας γενέτειρας της πλευρικής του επιφάνειας έχουμε ανοίξει δύο τρύπες σε απόσταση L μεταξύ τους. Στις δύο τρύπες του σωλήνα εισάγουμε δύο διαφορετικά μικρόφωνα τύπου electret (Εικόνα 44) τα οποία συνδέουμε στις δύο εισόδους του μετατροπέα 2 σε 1 για τη στερεοφωνική είσοδο μικροφώνου της κάρτας ήχου. Την έξοδο του μετατροπέα συνδέουμε στην είσοδο μικροφώνου στον ηλεκτρονικό υπολογιστή μας. Οι δύο τρύπες στο σωλήνα έχουν διάμετρο περίπου **16 mm**, ώστε τα δύο μικρόφωνα να σφηνώνουν στο σωλήνα τοποθετημένα κάθετα σ' αυτόν (Εικόνα 45). Στην εικόνα της πειραματικής διάταξης φαίνεται ακόμη μία τρύπα στο σωλήνα στο μέσο της απόστασης ανάμεσα στις δύο άλλες, η οποία όμως δε χρησιμοποιείται στο συγκεκριμένο πείραμα.



Εικόνα 44: Η πειραματική διάταξη



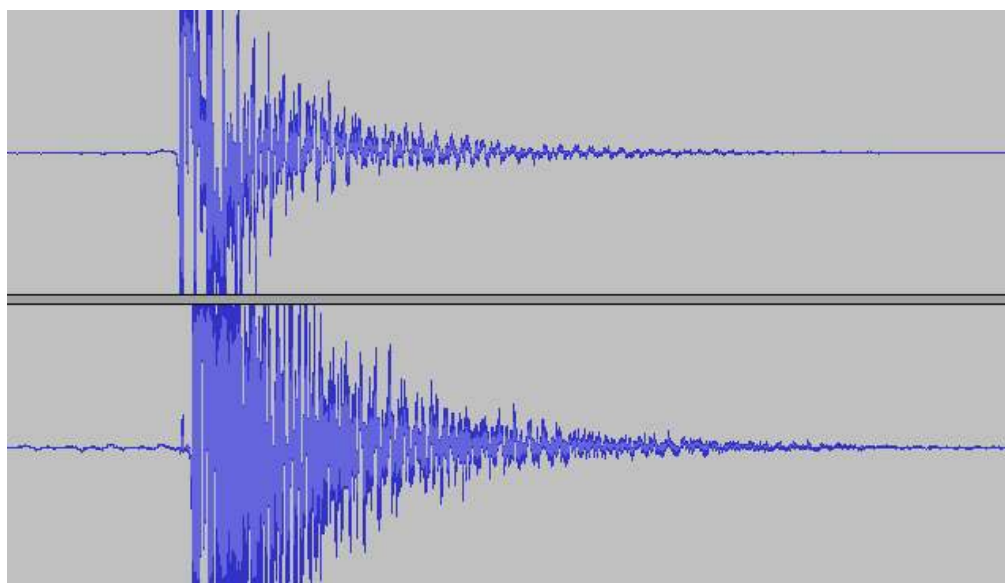
Εικόνα 45: Λεπτομέρεια της πειραματικής διάταξης

Στο λογισμικό Audacity επιλέγουμε ηχογράφηση στερεοφωνικού σήματος, ώστε τα σήματα από τα δύο μικρόφωνα να καταγράφονται σε δύο διαφορετικά κανάλια και συνεπώς να είναι ευκολότερος ο προσδιορισμός του χρονικού διαστήματος που με-

σολαβεί από την άφιξη ενός ηχητικού σήματος στο ένα μικρόφωνο και μέχρι την άφιξη του ίδιου σήματος στο άλλο μικρόφωνο.

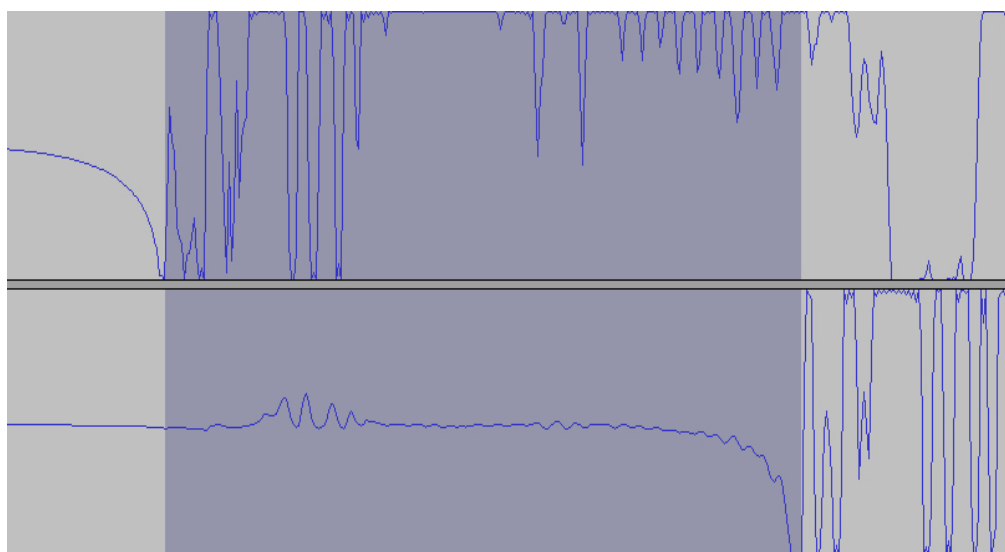
Πειραματική διαδικασία και επεξεργασία των δεδομένων

1. Αφού θέσουμε σε λειτουργία την καταγραφή των δύο σημάτων στο Audacity χτυπάμε μια φορά δυνατά τις παλάμες μας (παλαμάκια) κοντά στο ένα άκρο του σωλήνα της πειραματικής διάταξης. Τα σήματα που καταγράφονται έχουν τη μορφή της Εικόνας 46, στα οποία είναι φανερή η διαφορά χρόνου με την οποία φτάνει ο ήχος στα δύο μικρόφωνα.



Εικόνα 46: Τα σήματα από τα παλαμάκια που καταγράφηκαν στο Audacity

Η διαφορά στην ένταση των δύο σημάτων οφείλεται στην ύπαρξη της αντίστασης περιορισμού του ρεύματος στο ένα από τα δύο κανάλια του μετατροπέα 2 σε 1. Στην περίπτωση μας αυτό είναι το κανάλι στο οποίο είναι συνδεδεμένο το μικρόφωνο, στο οποίο φτάνει πρώτα ο ήχος.



Εικόνα 47: Μεγέθυνση κυματομορφών περί το σημείο άφιξης του ήχου στα μικρόφωνα

2. Μεγεθύνοντας την περιοχή των σημάτων γύρω από το χρονικό διάστημα άφιξης τους στα δύο μικρόφωνα, επιλέγουμε με ακρίβεια το τμήμα από την άφιξη του ήχου στο ένα μικρόφωνο μέχρι και την άφιξή του στο δεύτερο μικρόφωνο (Εικόνα 47). Το Audacity στη γραμμή κατάστασης επιστρέφει το αντίστοιχο χρονικό διάστημα (Δt), που αντιστοιχεί στο χρόνο μετάβασης του ήχου από το ένα μικρόφωνο στο άλλο.
3. Μετράμε την απόσταση (L) μεταξύ των δύο μικροφώνων, και υπολογίζουμε την ταχύτητα του ήχου ως:

$$v_{\eta\chi.} = \frac{L}{\Delta t} \quad (11)$$

Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί

Απόσταση (L) ανάμεσα στα δύο μικρόφωνα	2,001 m
Χρόνος (Δt) που χρειάζεται ο ήχος για να διανύσει την απόσταση ανάμεσα στα δύο μικρόφωνα	0,005816 s
Ταχύτητα του ήχου ($v_{\eta\chi.}$)	344,1 m/s

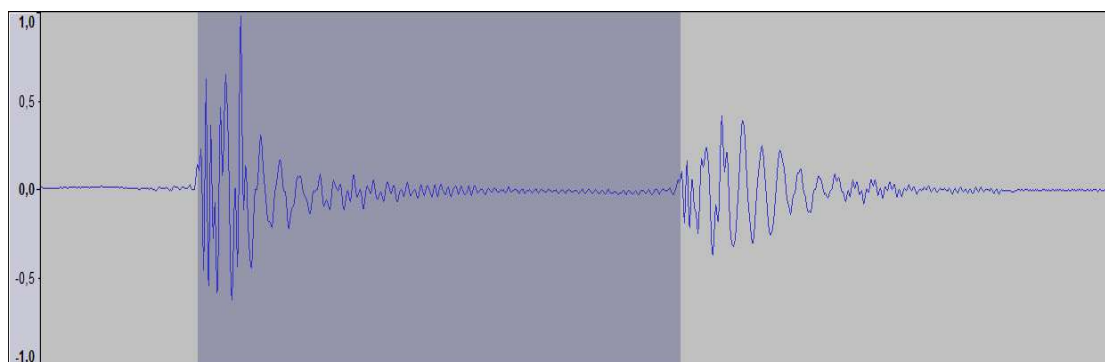
Π.2 - Προσδιορισμός της ταχύτητας του ήχου (II)

Πειραματική διάταξη

Θα χρησιμοποιήσουμε τον ίδιο σωλήνα PVC που χρησιμοποιήσαμε και στο προηγούμενο πείραμα, αλλά θα τον κλείσουμε στο ένα άκρο του και επιπλέον θα κλείσουμε και τις δύο από τις τρεις τρύπες που έχουμε ανοίξει στην πλευρική του επιφάνεια. Θα αφήσουμε ανοιχτή την οπή που βρίσκεται πιο κοντά στο ανοιχτό άκρο του σωλήνα, και θα εισάγουμε στην οπή αυτή ένα μικρόφωνο (όπως φαίνεται στην Εικόνα 45), το οποίο συνδέουμε απευθείας στην είσοδο μικροφώνου του υπολογιστή.

Πειραματική διαδικασία – Λήψη και επεξεργασία μετρήσεων

Αφού ενεργοποιήσουμε την καταγραφή ήχου στο Audacity χτυπάμε τα δάχτυλά μας (ώπα!) κοντά στην ανοιχτή άκρη του σωλήνα. Ο ήχος που παράγεται διαδίδεται μέσα στο σωλήνα, ανακλάται στο κλειστό άκρο και επιστρέφει πάλι πίσω. Έτσι το μικρόφωνο καταγράφει δύο (τουλάχιστον) σήματα, ένα λόγω του ήχου που πηγαίνει προς το κλειστό άκρο και ένα λόγω του ήχου που επιστρέφει (Εικόνα 48).



Εικόνα 48: Τα πειραματικά δεδομένα

Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ των δύο σημάτων είναι ίσο με το χρόνο που απαιτείται για να διανύσει ο ήχος δυο φορές (πήγαινε - έλα) την απόσταση L ανάμεσα στο μικρόφωνο και το κλειστό άκρο του σωλήνα. Μέσω του Audacity προσδιορίζουμε αυτό το χρονικό διάστημα Δt και τελικά υπολογίζουμε την ταχύτητα του ήχου ως:

$$v_{\eta\chi.} = \frac{2L}{\Delta t} \quad (12)$$

Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί

Απόσταση (L) μεταξύ μικροφώνου και κλειστού άκρου του σωλήνα	2,119 m
Χρόνος (Δt) που χρειάζεται ο ήχος για να διανύσει απόσταση $2L$	0,012313 s
Ταχύτητα του ήχου ($v_{\eta\chi.}$)	344,2 m/s

Π.3 – Προσδιορισμός συχνότητας περιστροφής ηλεκτροκινητήρα

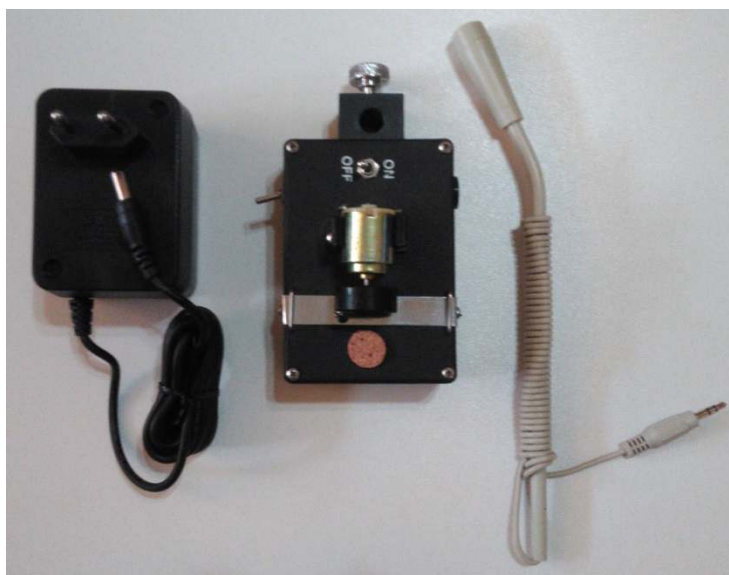
Πειραματική διάταξη

Θα προσδιορίσουμε πειραματικά τη συχνότητα περιστροφής του μικρού ηλεκτροκινητήρα που διαθέτουν οι χρονομετρητές ταινίας, με τους οποίους είναι εξοπλισμένα τα εργαστήρια Φυσικών Επιστημών των Λυκείων της χώρας μας. Αυτού του είδους οι χρονομετρητές έχουν στερεωμένο στον άξονα του ηλεκτροκινητήρα ένα πλαστικό δίσκο, πάνω στον οποίο έχει βιδωθεί χαλαρά μια μεταλλική ροδέλα. Κατά την περιστροφή η μεταλλική ροδέλα χτυπά σε φύλλο καρμπόν και αφήνει ίχνος πάνω σε χαρτοταινία κινούμενη κάτω από το καρμπόν και πάνω σε μεταλλικό έλασμα στερεωμένο στη διάταξη (Εικόνα 49). Κάποιοι από αυτούς τους χρονομετρητές διαθέτουν διακόπτη, μέσω του οποίου η περίοδος περιστροφής ρυθμίζεται στα 0,02 s ή 0,05 s, όταν η συσκευή τροφοδοτείται με σταθερή τάση 3V.



Εικόνα 49: Λεπτομέρεια του χρονομετρητή ταινίας

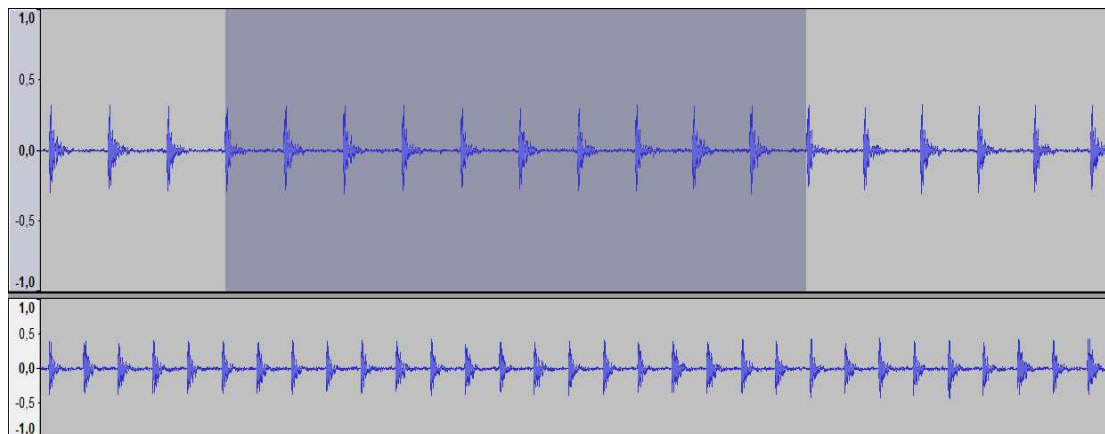
Τον ήχο που παράγεται, όταν μια φορά κάθε περίοδο η μεταλλική ροδέλα χτυπάει στο μεταλλικό έλασμα του χρονομετρητή, θα καταγράψουμε με τη βοήθεια μικροφώνου (Εικόνα 50) συνδεδεμένου στην κάρτα ήχου. Τροφοδοτήσαμε τον κινητήρα με 9V, και συνεπώς δεν περιμένουμε οι περίοδοι που θα υπολογίσουμε να συμφωνούν με τις ονομαστικές τιμές (0,02 s και 0,05 s).



Εικόνα 50: Η πειραματική διάταξη

Πειραματική διαδικασία – Λήψη και επεξεργασία μετρήσεων

Αφού ενεργοποιήσουμε την καταγραφή ήχου στο Audacity, θέτουμε σε λειτουργία το χρονομετρητή και καταγράφουμε για ορισμένο χρόνο τον ήχο που παράγεται από τις κρούσεις της μεταλλικής ροδέλας στο μεταλλικό έλασμα για τις δύο θέσεις του διακόπτη επιλογής περιόδου περιστροφής (Εικόνα 51).



Εικόνα 51: Πειραματικά δεδομένα

Επιλέγοντας τμήμα της κυματομορφής που αντιστοιχεί σε χρόνο δέκα περιόδων, το Audacity επιστρέφει το αντίστοιχο χρονικό διάστημα (Δt), μέσω του οποίου υπολογίζουμε την περίοδο και τελικά τη συχνότητα περιστροφής του ηλεκτροκινητήρα.

Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί

α. Διακόπτης στη θέση 0,05s

Χρόνος (Δt) για 10 περιόδους περιστροφής	0,236927 s
Περίοδος περιστροφής (T)	0,0236927 s
Συχνότητα περιστροφής (f)	42,2 Hz

β. Διακόπτης στη θέση 0,02s

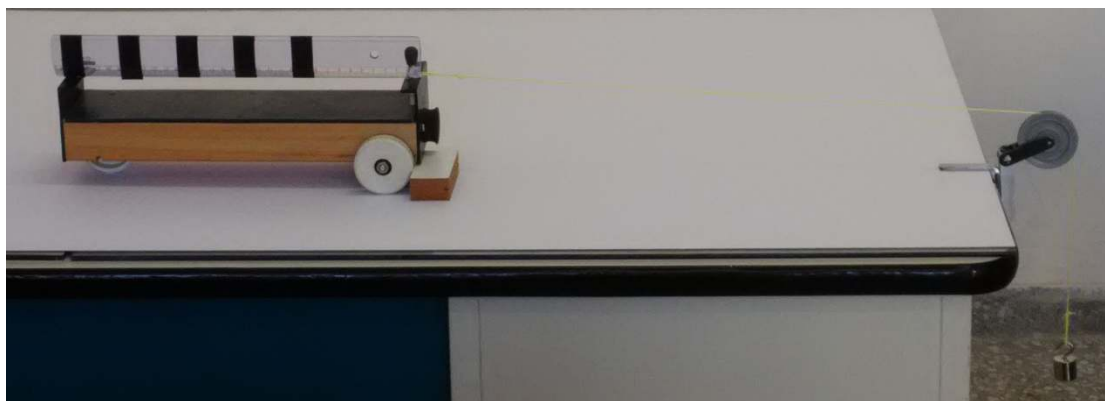
Χρόνος (Δt) για 10 περιόδους περιστροφής	0,141542 s
Περίοδος περιστροφής (T)	0,0141542 s
Συχνότητα περιστροφής (f)	70,7 Hz

Όπως ήδη αναφέρθηκε, περιμέναμε μεγάλες αποκλίσεις ανάμεσα στις ονομαστικές και τις πειραματικές τιμές, λόγω της πολύ υψηλότερης τάσης τροφοδοσίας του ηλεκτροκινητήρα.

Π.4 – Επιτάχυνση στο οριζόντιο επίπεδο

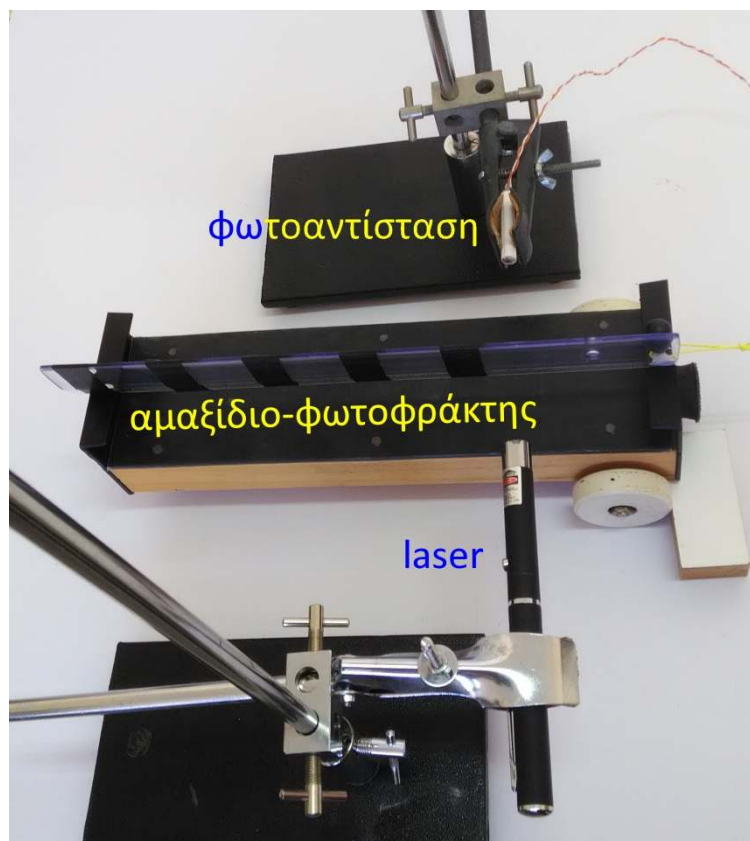
Πειραματική διάταξη

Ένα εργαστηριακό αμαξίδιο ηρεμεί σε οριζόντιο επίπεδο. Μέσω νήματος που διέρχεται από τροχαλία, στο άλλο άκρο του οποίου έχει προσδεθεί βαρίδι μάζας περίπου 50 g, το αμαξίδιο μπορεί να τεθεί σε επιταχυνόμενη κίνηση στο οριζόντιο επίπεδο. Πάνω στο αμαξίδιο έχει στερεωθεί ένας φωτοφράκτης, δηλ. ένας πλαστικός χάρακας που ανά 5 cm φέρει πέντε αδιαφανείς ταινίες (Εικόνα 52).



Εικόνα 52: Η πειραματική διάταξη

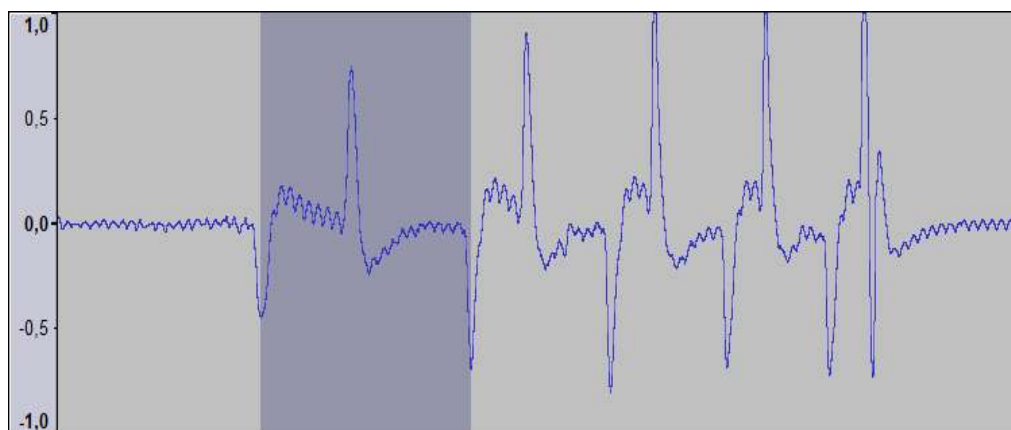
Ο φωτοφράκτης κινείται μαζί με το αμαξίδιο, ώστε οι αδιαφανείς του ταινίες να διακόπτουν τη δέσμη μιας φωτοπύλης, η οποία αποτελείται από ένα laser τύπου συλλό τοποθετημένο απέναντι από μια φωτοαντίσταση (Εικόνα 53). Η φωτοαντίσταση συνδέεται με κατάλληλο βύσμα στην είσοδο μικροφώνου της κάρτας ήχου.



Εικόνα 53: Η φωτοπύλη της πειραματικής διάταξης

Πειραματική διαδικασία και επεξεργασία των δεδομένων

1. Αφού θέσουμε σε λειτουργία την καταγραφή των σημάτων στο Audacity, αφήνουμε το αμαξίδιο ελεύθερο να κινηθεί. Τα παραγόμενα σήματα εμφανίζουν απότομη βύθιση, όταν διακόπτεται η δέσμη του laser από μια αδιαφανή ταινία του φωτοφράκτη, και απότομη άνοδο, όταν το φως του laser επανέρχεται στη φωτοαντίσταση (Εικόνα 54). Συνεπώς το χρονικό διάστημα από μια έντονη βύθιση μέχρι την επόμενη αντιστοιχεί σε μετατόπιση του αμαξιδίου κατά $d = 5 \text{ cm}$.



Εικόνα 54: Τα πειραματικά δεδομένα

2. Θεωρώντας αυθαίρετα ως $t = 0$ τη στιγμή της πρώτης διακοπής της δέσμης της φωτοπύλης, και την αντίστοιχη θέση ως $y = 0$, συλλέγουμε τα πειραματικά δεδομένα όπως φαίνονται στον Πίνακα (2).

Πίνακας 2: Τα πειραματικά δεδομένα θέσης-χρόνου

α/α	$t \text{ (s)}$	$y \text{ (cm)}$
1	0,000000	0,0
2	0,226757	5,0
3	0,376599	10,0
4	0,501406	15,0
5	0,611701	20,0

3. Με τη βοήθεια του Excel θα σχεδιάσουμε τη γραφική παράσταση $y = f(t)$, για τα πειραματικά δεδομένα, καθώς και την παραβολή που τα προσεγγίζει καλύτερα (Εικόνα 55). Θεωρητικά τα πειραματικά δεδομένα ικανοποιούν την εξίσωση:

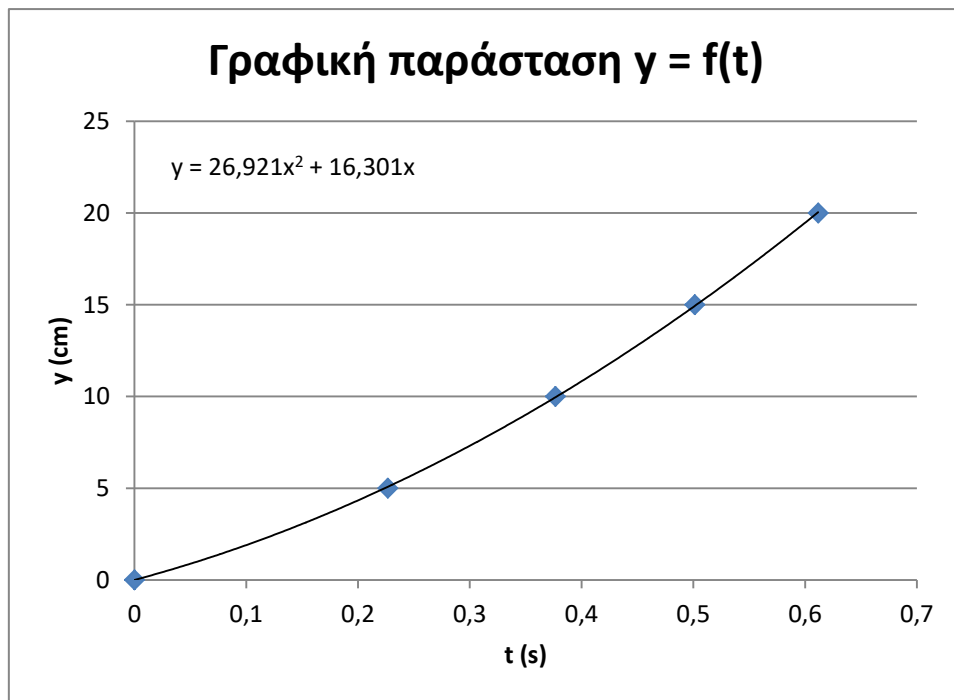
$$y = v_o t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

ενώ η καλύτερη παραβολή προσαρμογής στα δεδομένα έχει την εξίσωση:

$$y = 16,3t + 26,9t^2 \text{ (} y \text{ σε cm)}$$

Η σύγκριση των δύο εξισώσεων δίνει:

$$\frac{1}{2} \alpha = 26,9 \text{ cm/s}^2 \quad \text{ή} \quad \alpha = 53,8 \text{ m/s}^2$$



Εικόνα 55: Γραφική παράσταση των πειραματικών δεδομένων

Επιπλέον η αρχική ταχύτητα του αμαξιδίου, όταν η πρώτη αδιαφανής ταινία διακόπτει τη δέσμη του laser, μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$v_o = 16,3 \text{ cm} / \text{s}$$

Π.5 – Επιτάχυνση στο κεκλιμένο επίπεδο

Πειραματική διάταξη

Θα υπολογίσουμε την επιτάχυνση με την οποία κινείται ένα μικρό ξύλινο πλακίδιο σε κεκλιμένο επίπεδο. Θα χρησιμοποιήσουμε το διακόπτη τύπου «διπλής βίδας», και ένα μικρόφωνο που με τη βοήθεια του μετατροπέα 2 σε 1 συνδέονται στην κάρτα ήχου (Εικόνα 56).



Εικόνα 56: Η πειραματική διάταξη

Ο διακόπτης τύπου «διπλής βίδας» χρησιμοποιείται για τη συγκράτηση του ξύλινου πλακιδίου στην κορυφή του κεκλιμένου επιπέδου με τη βοήθεια λεπτού χάλκινου σύρματος, που βρίσκεται σε επαφή με τις δύο βίδες του διακόπτη (Εικόνα 57), ενώ κόβοντας το χάλκινο σύρμα το ξύλινο πλακίδιο απελευθερώνεται και παράγεται το σήμα έναρξης της κίνησης.



Εικόνα 57: Λεπτομέρεια από τον διακόπτη τύπου "διπλής βίδας"

Το μικρόφωνο τοποθετείται στη βάση του κεκλιμένου επιπέδου (Εικόνα 58), ώστε

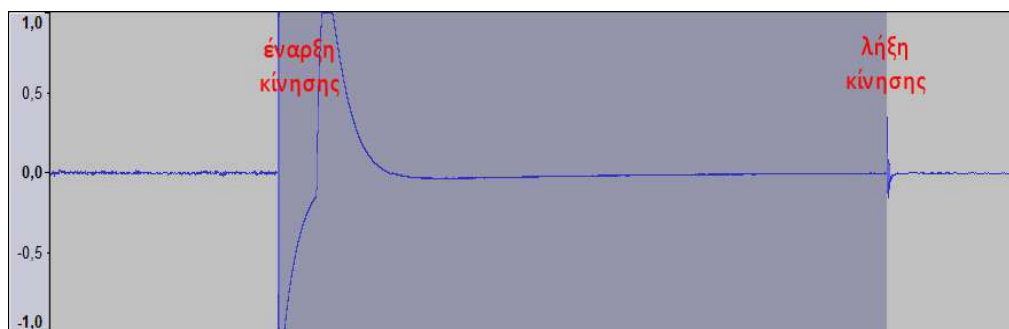
τη στιγμή που το ξύλινο πλακίδιο αρχίζει να βγαίνει από το κεκλιμένο επίπεδο, να συγκρουστεί με το μικρόφωνο, και να παραχθεί το σήμα λήξης της κίνησης.



Εικόνα 58: Η τοποθέτηση του μικροφώνου στη διάταξη

Πειραματική διαδικασία και επεξεργασία των δεδομένων

1. Μετράμε την απόσταση (L) από το κάτω άκρο του ξύλινου πλακιδίου (που ηρεμεί στην κορυφή του κεκλιμένου επιπέδου) μέχρι τη βάση του κεκλιμένου επιπέδου.
2. Αφού θέσουμε σε λειτουργία την καταγραφή των σημάτων στο Audacity, κόβουμε με ψαλίδι το λεπτό χάλκινο σύρμα ανάμεσα στις δύο βίδες του διακόπτη, απελευθερώνοντας έτσι το ξύλινο πλακίδιο, το οποίο, αφού μετατοπιστεί κατά $\Delta x = L$ μέχρι τη βάση του κεκλιμένου επιπέδου, συγκρούεται με το μικρόφωνο. Το «άνοιγμα» του διακόπτη τύπου «διπλής βίδας», όταν κόβουμε το σύρμα που τον βραχυκυκλώνει, και ο ήχος της κρούσης του ξύλινου πλακιδίου με το μικρόφωνο παράγουν τα σήματα έναρξης και λήξης της κίνησης αντίστοιχα (Εικόνα 59).



Εικόνα 59: Τα δεδομένα από την κίνηση του ξύλινου πλακιδίου

3. Στο Audacity επιλέγουμε το τμήμα της κυματομορφής από την έναρξη της κίνησης και μέχρι τη λήξη της, και το λογισμικό επιστρέφει το αντίστοιχο χρονικό διάστημα (Δt).
4. Υπολογίζουμε την επιτάχυνση της κίνησης από την εξίσωση: $\Delta x = \frac{1}{2} a (\Delta t)^2$.

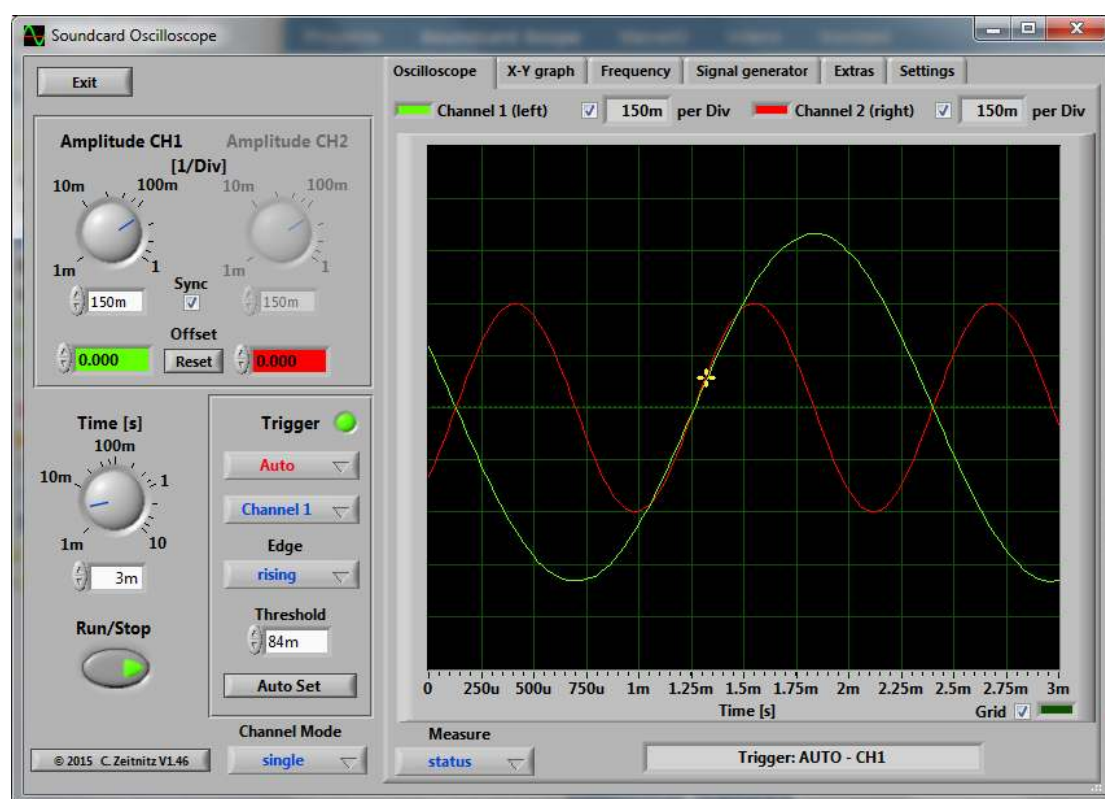
Ενδεικτικές μετρήσεις – υπολογισμοί

Μετατόπιση (Δx) του πλακιδίου	50,5 cm
Χρόνος (Δt)	0,769161 s
Επιτάχυνση του πλακιδίου (α)	170,7 cm/s ²

Π.6 - Μελέτη διακροτήματος

Πειραματική διάταξη

Θα χρησιμοποιήσουμε το λογισμικό Audacity σε συνδυασμό με το λογισμικό Sound Card Oscilloscope του Christian Zeitnitz, το οποίο διατίθεται ελεύθερα για προσωπική μη εμπορική χρήση από εκπαιδευτικά ιδρύματα. Το λογισμικό, που μπορεί να μεταφορτωθεί από την [ιστοσελίδα](#) του δημιουργού του, μετατρέπει τον υπολογιστή σε ψηφιακό παλμογράφο δύο καναλιών (Εικόνα 60), που λαμβάνει δεδομένα (16bit) μέσω της κάρτας ήχου (από την είσοδο μικροφώνου ή την είσοδο Line In) με μέγιστο ρυθμό δειγματοληψίας 44,1 kHz. Στην περίπτωση φορητού υπολογιστή για τη λήψη των δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί και το ενσωματωμένο μικρόφωνο.



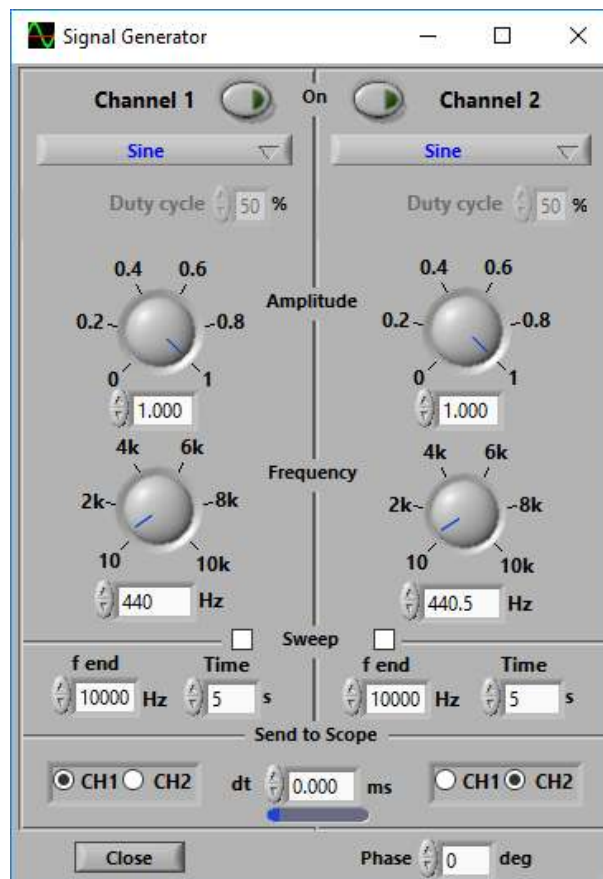
Εικόνα 60: Ο ψηφιακός παλμογράφος του C. Zeitnitz

Μια επιπλέον δυνατότητα του λογισμικού Sound Card Oscilloscope είναι και η λειτουργία του ως γεννήτρια συχνοτήτων: Μπορεί να παράγει ταυτόχρονα δύο διαφορετικές κυματομορφές (ημιτονικές, τετραγωνικές, κ.λ.π., ή και καθοριζόμενες από το χρήστη), με συχνότητα και πλάτος ανεξάρτητα ρυθμιζόμενα, ενώ μπορεί επιπλέον να ρυθμιστεί και η διαφορά φάσης τους.

Πειραματική διαδικασία – Λήψη και επεξεργασία μετρήσεων

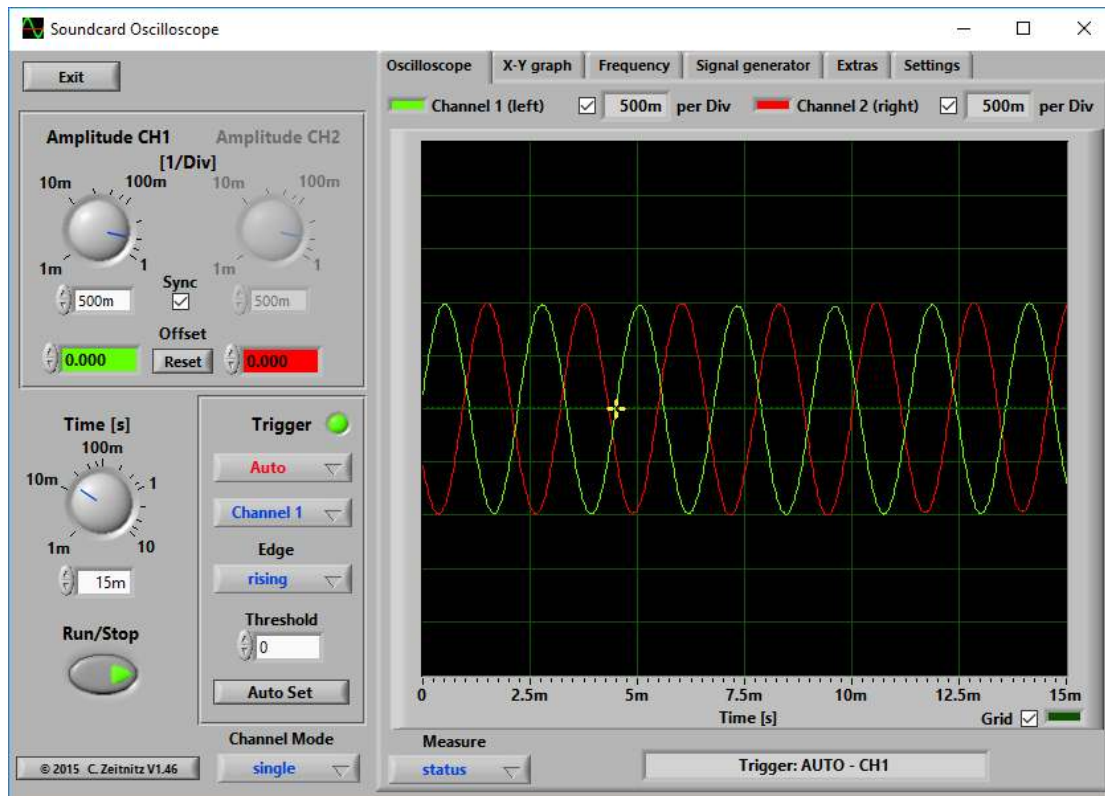
1. Εκτελούμε την εφαρμογή Sound Card Oscilloscope και στην καρτέλα «Signal generator» (Εικόνα 61) επιλέγουμε:
 - Ημιτονοειδή κυματομορφή (Sine) και για τις δύο κυματομορφές.

- Πλάτος μέγιστο (1) και στα δύο κανάλια της γεννήτριας συχνοτήτων.
- Συχνότητα 440Hz για το 1^ο κανάλι της γεννήτριας (Channel 1), και 440,5Hz για το 2^ο κανάλι (Channel 2).
- Στην περιοχή «Send to Scope» επιλέγουμε CH1 για το 1^ο κανάλι και CH2 για το 2^ο κανάλι της γεννήτριας.
- Ενεργοποιούμε (στην περιοχή On) και τα δύο κανάλια της γεννήτριας συχνοτήτων.

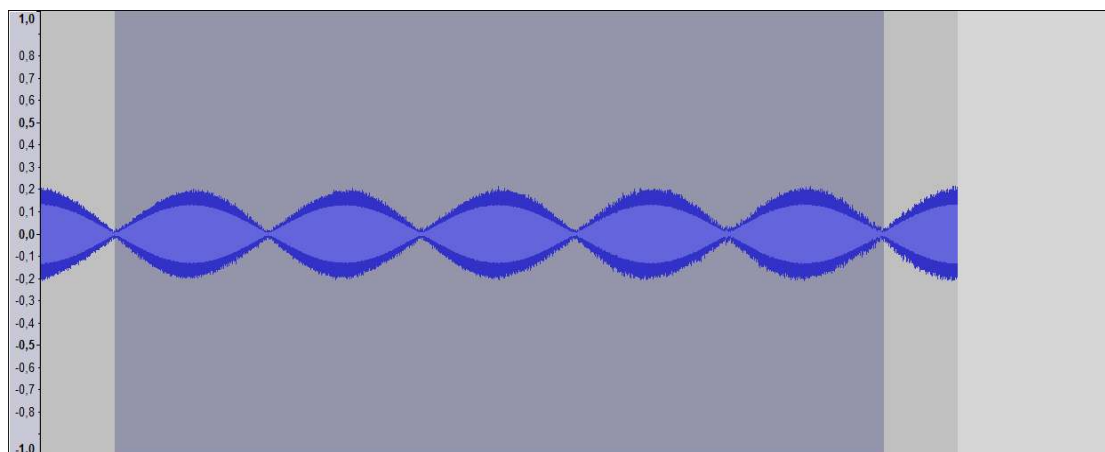


Εικόνα 61: Η διπλή ψηφιακή γεννήτρια συχνοτήτων

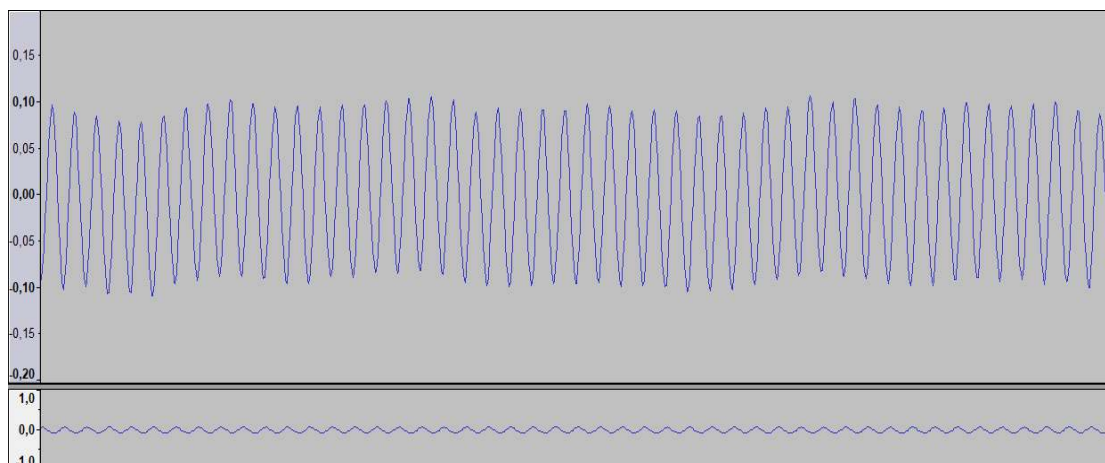
2. Επιλέγοντας την καρτέλα «Oscilloscope» στην οθόνη του ψηφιακού παλμογράφου του υπολογιστή μας μπορούμε να δούμε τις δύο κυματομορφές που παράγει η ψηφιακή γεννήτρια συχνοτήτων. Στιγμιότυπο της οθόνης φαίνεται στην (Εικόνα 62). Συμβάλλει οπωσδήποτε στην κατανόηση του φαινομένου να παρακολουθήσουμε στην οθόνη του ψηφιακού παλμογράφου πώς μεταβάλλονται οι δύο κυματομορφές, καθώς η διαφορά φάσης τους μεταβάλλεται με το χρόνο, και ταυτόχρονα να ακούμε τον παραγόμενο ήχο.
3. Στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου Audacity επιλέγουμε ηχογράφηση μονοφωνικού σήματος με ρυθμό δειγματοληψίας 8 kHz, και ηχογραφούμε το αποτέλεσμα της ταυτόχρονης αναπαραγωγής των δύο σημάτων της ψηφιακής γεννήτριας συχνοτήτων (Εικόνα 63). Επιπλέον μπορούμε να ηχογραφήσουμε ανεξάρτητα το σήμα από κάθε κανάλι της γεννήτριας συχνοτήτων (Εικόνα 64), ώστε να μπορέσουμε να μετρήσουμε το πλάτος τους στο Audacity.



Εικόνα 62: Στιγμιότυπο της οθόνης του ψηφιακού παλμογράφου



Εικόνα 63: Καταγραφή του συνολικού σήματος στο Audacity



Εικόνα 64: Ανεξάρτητη καταγραφή των σημάτων κάθε καναλιού της γεννήτριας συχνοτήτων

4. Από την ανεξάρτητη καταγραφή των σημάτων κάθε καναλιού της γεννήτριας συχνοτήτων διαπιστώνουμε πως:

- Τα δύο σήματα έχουν πρακτικά το ίδιο πλάτος $A = 0,1$ αυθαίρετες μονάδες.
- Το συνολικό σήμα που καταγράφεται, όταν ηχούν ταυτόχρονα και τα δύο κανάλια της γεννήτριας συχνοτήτων, έχει μέγιστο πλάτος σχεδόν $A_{max} = 0,2$ αυθαίρετες μονάδες.

Δηλ. για το συνολικό σήμα πρακτικά επιβεβαιώνεται πως: $A_{max} = 2A$.

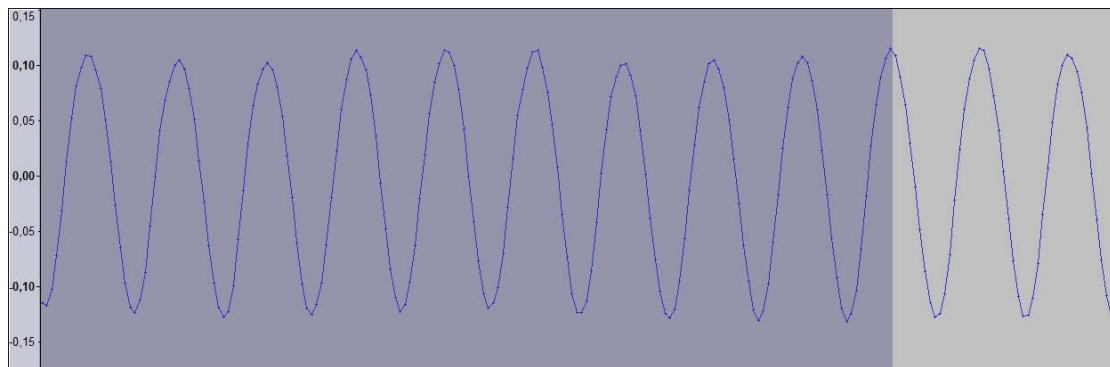
5. Στην καταγραφή του συνολικού σήματος επιλέγουμε ένα τμήμα από ένα μηδενισμό του σήματος μέχρι και τον πέμπτο (μετά τον πρώτο) μηδενισμό, δηλαδή χρονικό διάστημα ίσο με πέντε περιόδους του διακροτήματος. Το Audacity επιστρέφει το αντίστοιχο χρονικό διάστημα:

$$\Delta t = 10,029569 \Rightarrow T_{\delta} = \frac{\Delta t}{5} = 2,006 \text{ s}$$

Η απόκλιση της πειραματικής τιμής από τη θεωρητική τιμή $\left(T_{\delta, \theta} = \frac{1}{|f_2 - f_1|} \right)$

μόλις αγγίζει το 0,3%.

6. Στην καταγραφή του συνολικού σήματος επιλέγουμε ένα τμήμα που αντιστοιχεί σε πενήντα (50) περιόδους του ηχητικού σήματος (Εικόνα 65).



Εικόνα 65: Λεπτομέρεια από τον υπολογισμό της περιόδου του σήματος

Το Audacity επιστρέφει το αντίστοιχο χρονικό διάστημα:

$$\Delta t = 0,113605 \Rightarrow T = \frac{\Delta t}{50} = 0,002272 \text{ s} \Rightarrow f = \frac{1}{T} = 440,12 \text{ Hz}$$

Η απόκλιση της πειραματικής τιμής από τη θεωρητική $\left(f_{\sigma, \theta} = \frac{f_1 + f_2}{2} \right)$ μόλις

που αγγίζει το 0,03%.

Π.7 - Σχήματα Lissajous

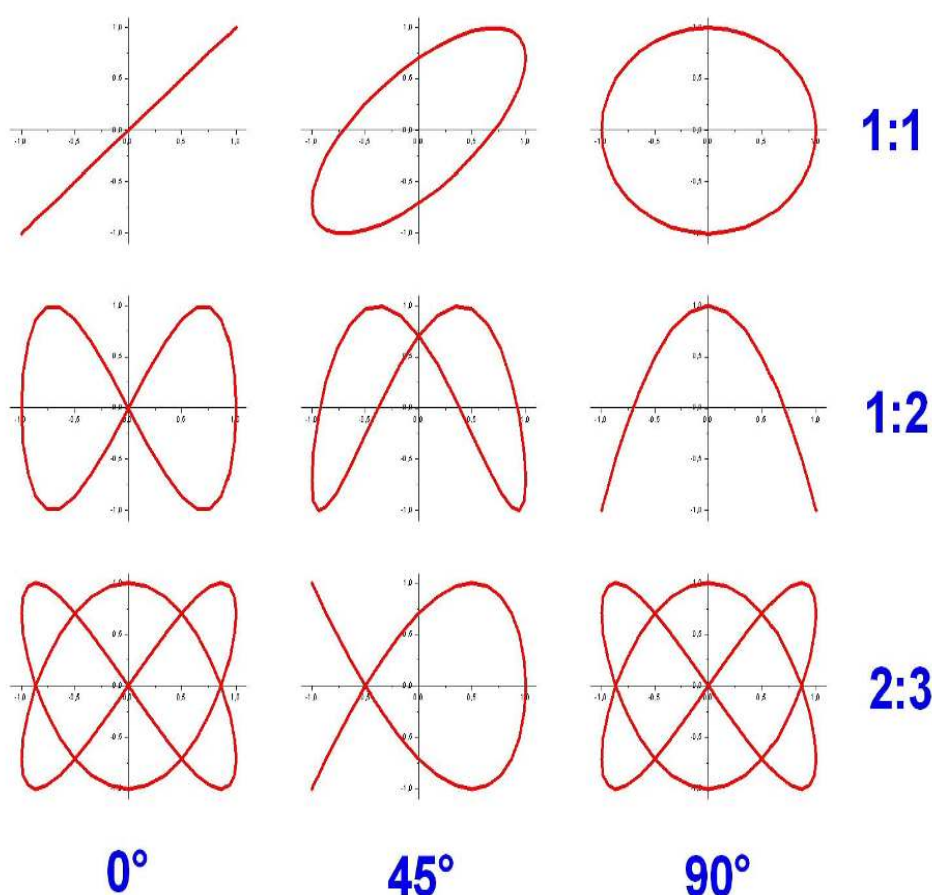
Γενικά

Στα Μαθηματικά τα σχήματα Lissajous είναι γραφικές παραστάσεις ενός συστήματος παραμετρικών εξισώσεων:

$$x = A \cdot \eta\mu(\alpha t + \delta), \quad y = B \cdot \eta\mu(\beta t)$$

Από άποψη Φυσικής μια τέτοια γραφική παράσταση εκφράζει το αποτέλεσμα της υπέρθεσης δύο απλών αρμονικών ταλαντώσεων, που εξελίσσονται σε κάθετες διευθύνσεις.

Η μορφή των σχημάτων παρουσιάζει ισχυρή εξάρτηση από το λόγο α/β , όπως γίνεται φανερό από την Εικόνα 66.



Εικόνα 66: Σχήματα Lissajous για διάφορες τιμές του λόγου των συχνοτήτων

Πειραματική διαδικασία - Παραδείγματα

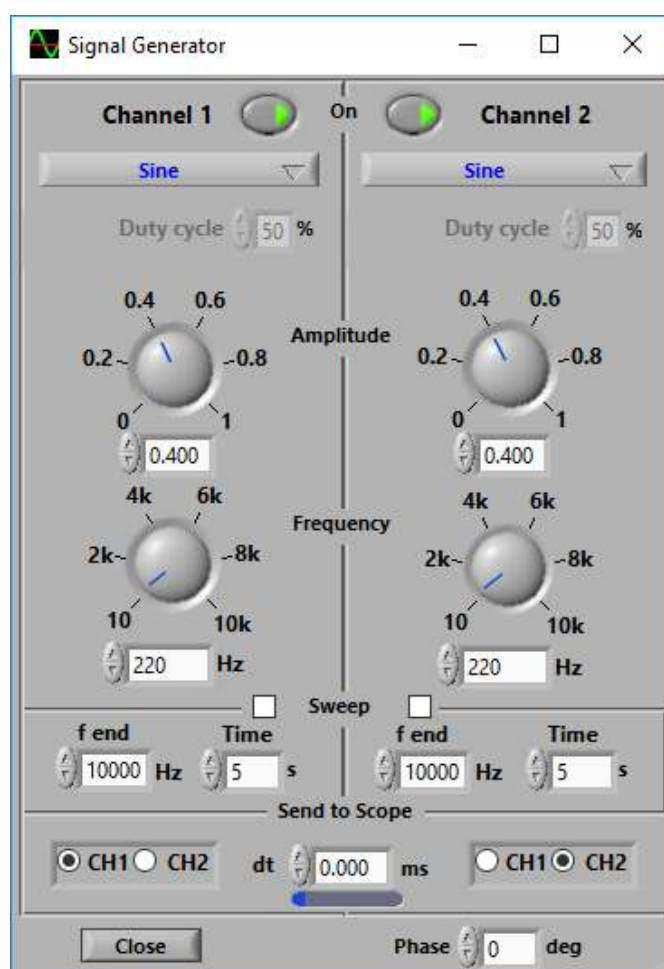
Θα χρησιμοποιήσουμε το λογισμικό Sound Card Oscilloscope του Christian Zeitnitz για τη δημιουργία σχημάτων Lissajous, για διάφορες περιπτώσεις του λόγου των πλατών και της διαφοράς φάσης. Με την ενσωματωμένη στο λογισμικό διπλή γεννήτρια συχνοτήτων μπορούμε να δημιουργήσουμε τις δύο παραμετρικές εξισώσεις (δηλ. δύο εξισώσεις απομάκρυνσης για τις δύο κάθετα διαδιδόμενες απλές αρμονικές ταλαντώσεις). Η γραφική παράσταση των παραμετρικών εξισώσεων γίνεται στην καρτέλα «X-Y Graph» του ίδιου λογισμικού.

Στην περίπτωση των εξισώσεων:

$$x = A \cdot \eta\mu(\omega t), \quad y = A \cdot \eta\mu(\omega t) \quad (13)$$

οι ρυθμίσεις στη γεννήτρια συχνοτήτων έχουν ως εξής (Εικόνα 67):

- Στην περιοχή «Amplitude» επιλέγουμε και στα δύο κανάλια την ίδια τιμή (0,400 στην περίπτωσή μας), ώστε οι δύο εξισώσεις να έχουν το ίδιο πλάτος.
- Στην περιοχή «Frequency» επιλέγουμε και στα δύο κανάλια την ίδια τιμή (220Hz στην περίπτωσή μας), ώστε οι δύο εξισώσεις να έχουν την ίδια κυκλική συχνότητα $\omega = 440\pi \text{ rad} / \text{s}$.
- Στην περιοχή «Send to Scope» για το κανάλι 1 της γεννήτριας συχνοτήτων επιλέγουμε «CH1», και για το κανάλι 2 επιλέγουμε «CH2».
- Στην περιοχή «Phase» δίνουμε την τιμή μηδέν, ώστε οι δύο εξισώσεις να παρουσιάζουν διαφορά φάσης μηδέν.

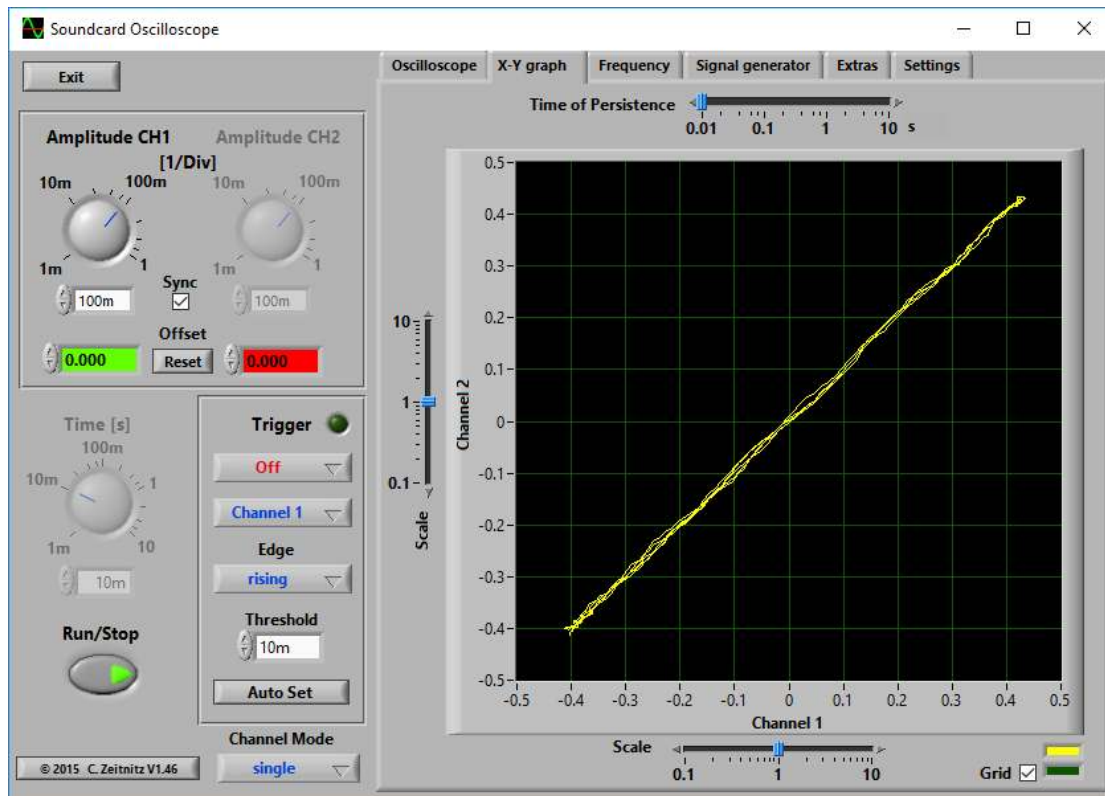


Εικόνα 67: Ρυθμίσεις στη γεννήτρια συχνοτήτων (εξισώσεις 13)

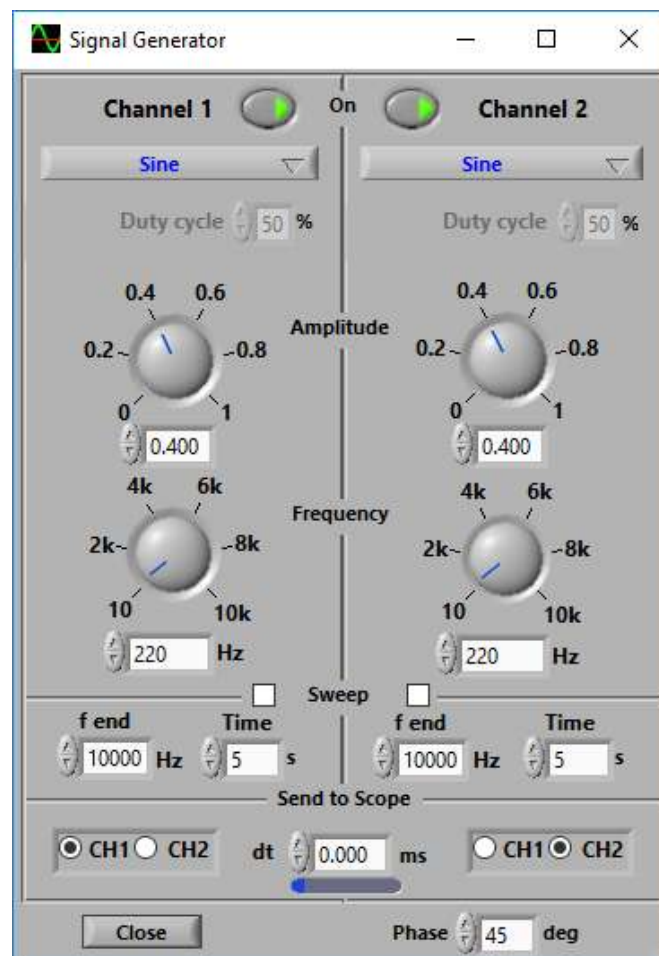
Στην Εικόνα 68 απεικονίζεται η αντίστοιχη γραφική παράσταση των παραμετρικών εξισώσεων (14), καθώς και οι ρυθμίσεις του παραθύρου «X-Y Graph».

Στην Εικόνα 69 φαίνονται οι ρυθμίσεις της γεννήτριας συχνοτήτων, και στην εικόνα 70 η σχετική γραφική παράσταση για το σύστημα των εξισώσεων:

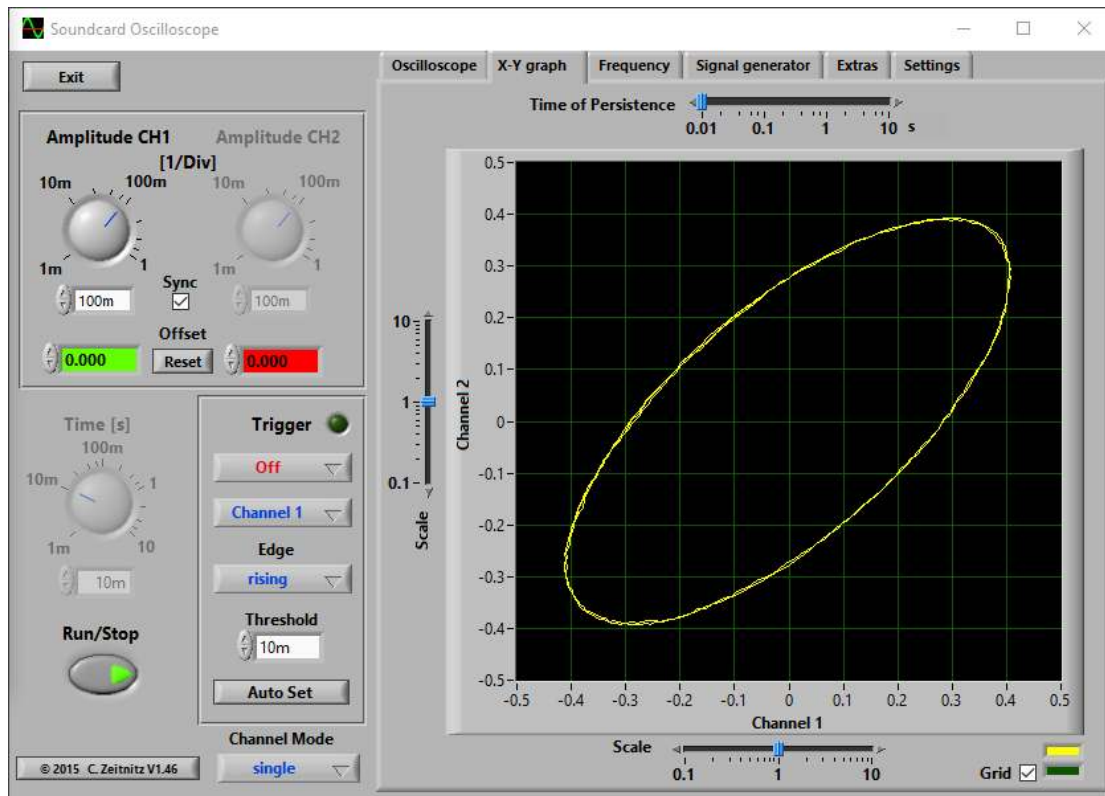
$$x = A \cdot \eta\mu(\omega t), \quad y = A \cdot \eta\mu\left(\omega t + \frac{\pi}{4}\right) \quad (14)$$



Εικόνα 68: Το παράθυρο X-Y Graph (εξισώσεις 14)



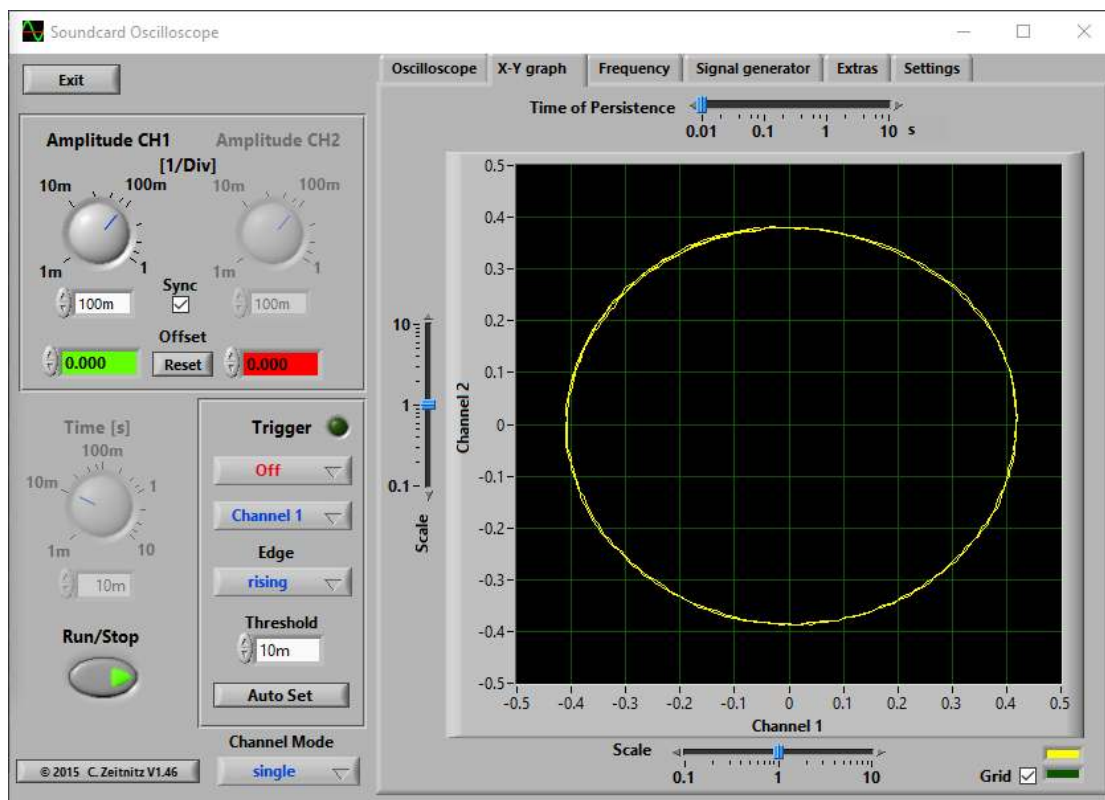
Εικόνα 69: Ρυθμίσεις στη γεννήτρια συχνοτήτων (εξισώσεις 14)



Εικόνα 70: Το παράθυρο X-Y Graph (εξισώσεις 15)

Στην Εικόνα 71 φαίνεται η γραφική παράσταση για τις εξισώσεις:

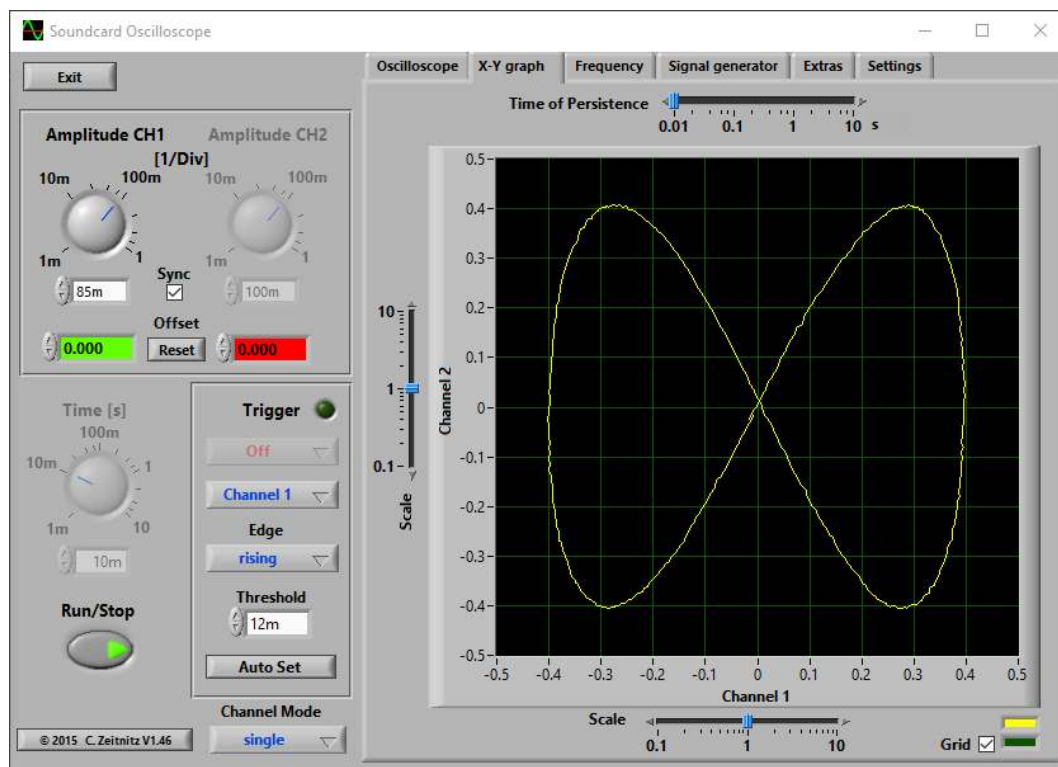
$$x = A \cdot \eta\mu(\omega t), \quad y = A \cdot \eta\mu\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (15)$$



Εικόνα 71: Το παράθυρο X-Y Graph (εξισώσεις 16)

Στην Εικόνα 72 φαίνεται η γραφική παράσταση για τις εξισώσεις:

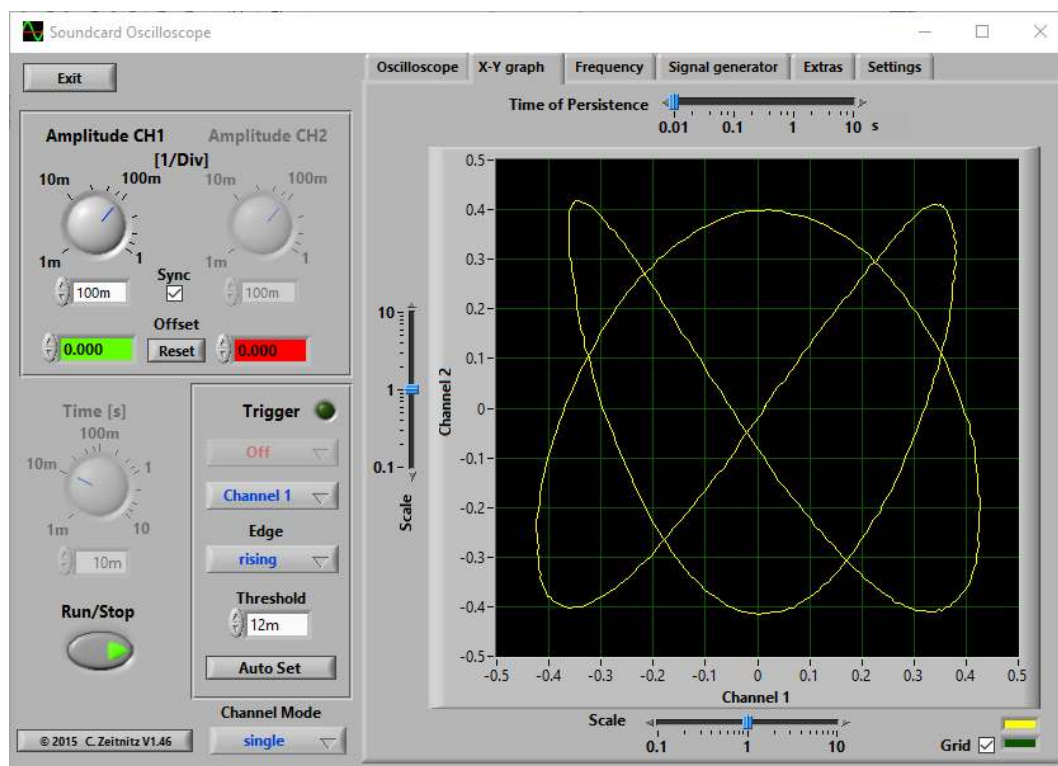
$$x = A \cdot \eta\mu(\omega t), \quad y = A \cdot \eta\mu(2\omega t) \quad (16)$$



Εικόνα 72: Το παράθυρο X-Y Graph (εξισώσεις 17)

Στην Εικόνα 73 φαίνεται η γραφική παράσταση για τις εξισώσεις:

$$x = A \cdot \eta\mu(2\omega t), \quad y = A \cdot \eta\mu(3\omega t) \quad (17)$$



Εικόνα 73: Το παράθυρο X-Y Graph (εξισώσεις 18)

Βιβλιογραφία

- Aguiar, C. E., & Laudares, F. (2003, Μάιος). Listening to the coefficient of restitution and the gravitational acceleration. *American Journal of Physics*, 71(5), σσ. 499-501.
- Aguiar, C. E., & Pereira, M. M. (2011, Ιανουάριος). Using the Sound Card as a Timer. *The Physics Teacher*, 49, σσ. 33-35.
- Aljalal, A. (2014, Σεπτέμβριος). Time of flight measurement of speed of sound in air with a computer sound card. *European Journal of Physics*, 35(6).
- Barros, E., Souto, C., Camargo, L., & Mathias, M. (2015). Application of a computer sound card for measurement of mechanical vibrations. *Revista Brasileira de Ensino de Fisica*, 37(4), σ. 4313.
- Carvalho, C., Lopes dos Santos, J. M., & Marques, M. J. (2007, Δεκέμβριος). A Time-of-Flight Method To Measure the Speed of Sound Using a Stereo Sound Card. *Physics Teacher*.
- Cavalcante, M., Bonizzia, A., & Gomes, L. (2008). Data acquisition in the physics laboratory: an easy, simple and low-cost method for experiments in mechanics. *Revista Brasileira de Ensino de Fisica*, 30(2), σ. 2501.
- Courtney, M. W., & Courtney, E. R. (2011, Μάρτιος). An Acoustic Demonstration of Galileo's Law of Falling Bodies. *Physics Education*, 46(2).
- Courtney, M., & Edwards, B. (2006, Ιανουάριος). Measuring Bullet Velocity with a PC Soundcard. *Physics Education*.
- Gingl, Z. (2011, Μάρτιος). Sub-\$10 sound card photogate variants. *The Physics Teacher*, 49, σσ. 390-393.
- Gingl, Z., & Kopasz, K. (2011). High resolution stopwatch for cents. *Physics Education*, 46(4), σσ. 430-432.
- Gingl, Z., Mingesz, R., Makra, P., & Mellar, J. (2011, Μάιος). Review of sound card photogates. *European Journal of Physics*, 32, σσ. 905-924.
- Gingl, Z., Mingesz, R., Mellár, J., Lupsic, B., & Kopasz, K. (2011). Efficient Sound Card Based Experimentation At Different Levels Of Natural Science Education. Στο *Proceeding Book of the Joint International Conference MPTL '16 - HSCI 2011* (σσ. 138-143). Ljubljana, Szlovénia.
- Horton, M. (2010, Δεκέμβριος). The \$10 photogate. *The Physics Teacher*, 48, σ. 615.
- Hunt, J. L. (2005, Οκτώβριος). Five Quantitative Physics Experiments (Almost) Without Special Apparatus. *The Physics Teacher*, 43.
- Khairurrijal, Eko Widiatmoko, Srigutomo, W., & Kurniasih, N. (2012, Νοέμβριος). Measurement of gravitational acceleration using a computermicrophone port. *Physics Education*, 47(6), σσ. 709-713.
- Kopasz, K., Makra, P., & Gingl, Z. (2012). High Resolution Sound Card Stopwatch Extends School Experimentation. *Acta Didacta Naposencia*, 5(2).

- Kraus, G. (2010). *Messung mit Soundkarte*. Ανάκτηση Απρίλιος 2016, από http://www.gunthard-kraus.de/DSP/Dsp_CD/DSP_and_FFT_and_Digital_Filter_Programs/Goldwave/sound.pdf
- Nagurka, M. L. (2002). A simple dynamics experiment based on acoustic emission. *Mechatronics*, 12, σσ. 229-239.
- Oprea, M., & Miron, C. (2014). Mobile Phones In The Modern Teaching Of Physics. *Romanian Reports In Physics*, 66(4), σσ. 1236–1252.
- Ramey, R. D. (2005, Μάρτιος). An Inexpensive Computer-Controlled Photogate. *The Physics Teacher*, 43, σσ. 169-171.
- Reagan, A. M. (2012). Online Introductory Physics: Status and Methods. Στο *Spring 2012 Proceedings of the Washington Academy of Sciences* (σσ. 31-46).
- Stensgaard, I., & Lægsgaard, E. (2001, Μάρτιος). Listening to the coefficient of restitution - revisited. *American Journal of Physics*, 69(3), σσ. 301-305.
- Velasco, S., Santos, M. J., Gonzalez, A., & White, J. A. (2011, Μάρτιος). Timing the oscillations of a pendulum. *Physics Education*, σσ. 133-134.
- Vicha, V. (2004). Utilization of a microphone for measurements in mechanics. Στο *Proceedings of Physics teachers' inventions fair 9*. Brno.
- White, J. A., Medina, A., Roman, F. L., & Velasco, S. (2007, Μάρτιος). A measurement of g listening to falling balls. *The Physics Teacher*, 45, σσ. 175-177.

ISBN : 978-618-83502-1-2