



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Σχολή Μηχανικών
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Διπλωματική εργασία

*Ανάπτυξη πειραμάτων εργαστηρίου φυσικής με τη χρήση
κινητού τηλεφώνου.*

Development of physics experiments using a cell phone.

Συγγραφέας:

Τζάνος Αθανάσιος

ΑΜ:46700

Επιβλέπων καθηγητής:

Παναγιωτάτος Γεράσιμος

Αθήνα, 2021

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Παναγιωτάτος Γεράσιμος,

Καθηγητής τμήματος
Μηχανολόγων Μηχανικών
Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής

Ψυλλάκη Πανδώρα,

Καθηγήτρια τμήματος
Μηχανολόγων Μηχανικών
Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής

Δρ Πετράκη Μαριάνθη

Ακαδημαϊκός Υπότροφος τμήματος
Μηχανολόγων Μηχανικών
Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής

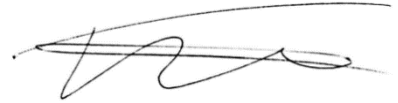
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Τζάνος Αθανάσιος του Χρήστου, με αριθμό μητρώου 46700 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



Τζάνος Αθανάσιος

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	11
Πρόλογος.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - Αισθητήρες Κινητού Τηλεφώνου	17
1.1 Αισθητήρας Εγγύτητας.....	17
1.2 Επιταχυνσιόμετρο	18
1.3 Γυροσκόπιο.....	18
1.4 Μαγνητόμετρο	19
1.5 Μικρόφωνο	19
1.6 Αισθητήρας Φωτός.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Ρhyrhox.....	22
2.1 Λήψη Εφαρμογής Ρhyrhox	22
2.2 Χρήση Εφαρμογής Ρhyrhox	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Υπολογισμός της Επιτάχυνσης της Βαρύτητας με Εκκρεμές	29
3.1 Σκοπός	29
3.2 Ιστορική Αναδρομή	29
3.3 Θεωρία	30
3.4 Πειραματική Διάταξη 1	31
3.5 Πειραματική Διαδικασία 1	32
3.6 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.....	36
3.7 Πειραματική Διάταξη 2	37
3.8 Πειραματική Διαδικασία 2	37
3.9 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - Υπολογισμός Ταχύτητας του Ήχου με Γεννήτρια Συχνοτήτων.....	43
4.1 Σκοπός	43
4.2 Ιστορική Αναδρομή	43
4.3 Θεωρία	44
4.4 Πειραματική Διάταξη	45
4.5 Πειραματική Διαδικασία	45
4.6 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.....	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - Υπολογισμός Σταθεράς Ελατηρίου.....	51
5.1 Σκοπός	51
5.2 Ιστορική Αναδρομή	51
5.3 Θεωρία	51
5.4 Πειραματική Διάταξη	53
5.5 Πειραματική Διαδικασία	54

5.6 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.....	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - Ελεύθερη Πτώση Σωμάτων	61
6.1 Σκοπός	61
6.2 Ιστορική Αναδρομή	61
6.3 Θεωρία	62
6.4 Πειραματική Διάταξη	63
6.5 Πειραματική Διαδικασία	63
6.6 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.....	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - Υπολογισμός Απόστασης με τη Χρήση Σόναρ.....	69
7.1 Σκοπός	69
7.2 Ιστορική Αναδρομή	69
7.3 Θεωρία	70
7.4 Πειραματική Διάταξη	71
7.5 Πειραματική Διαδικασία	71
7.6 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.....	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 - Ελαστική Κρούση Σφαίρας με Οριζόντιο Δάπεδο.....	77
8.1 Σκοπός	77
8.2 Θεωρία	77
8.3 Πειραματική Διάταξη	81
8.4 Πειραματική Διαδικασία	81
8.5 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.....	85
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 - Υπολογισμός Στατικής Τριβής	87
9.1 Σκοπός	87
9.2 Ιστορική Αναδρομή	87
9.3 Θεωρία	88
9.3.1. Στατική Τριβή.....	88
9.3.2 Τριβή Ολίσθησης.....	88
9.3.3 Τριβή Κύλισης.....	89
9.4 Πειραματική Διάταξη	91
9.5 Πειραματική Διαδικασία	91
9.6 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.....	98
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 - Υπολογισμός Δείκτη Διάθλασης Νερού	99
10.1 Σκοπός	99
10.2 Ιστορική Αναδρομή	99
10.3 Θεωρία	99
10.4 Πειραματική Διάταξη	101

10.5 Πειραματική Διαδικασία	102
10.6 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.....	105
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 - Ένταση Φωτός Συναρτήσει Απόστασης	107
11.1 Σκοπός	107
11.2 Ιστορική Αναδρομή	107
11.3 Θεωρία	107
11.4 Πειραματική Διάταξη	109
11.5 Πειραματική Διαδικασία	109
11.6 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.....	113
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12 – Συμπεράσματα και Προτάσεις	115
Βιβλιογραφία	117

Περίληψη

Η φυσική αποτελεί αντικείμενο μελέτης και έρευνας σε ευρύ φάσμα επιστημών, από την αρχαιότητα μέχρι και σήμερα. Οι πειραματικές διαδικασίες, που αποτελούν τρόπο απόδειξης των φυσικών μεγεθών, απαιτούν τη χρήση διαφόρων οργάνων και συσκευών, τα οποία διαρκώς βελτιώνονται με τη ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας, αποσκοπώντας στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Το κινητό τηλέφωνο, αποτελεί ίσως την πιο εύχρηστη και προσιτή συσκευή καθημερινής χρήσης, το οποίο διαρκώς αναβαθμίζεται παρέχοντας νέες δυνατότητες. Στην παρούσα εργασία, γίνεται χρήση του κινητού τηλεφώνου για την μελέτη διαφόρων φυσικών μεγεθών, με τη βοήθεια των αισθητήρων που είναι ενσωματωμένοι σε αυτό και μπορούν πλέον να συναγωνιστούν ή ακόμα και να αντικαταστήσουν τα μετρητικά όργανα, που χρησιμοποιούνται σε πανεπιστημιακά ιδρύματα

Σκοπός της εργασίας είναι η ανάδειξη της αποτελεσματικότητας του κινητού τηλεφώνου στην εκτέλεση πειραμάτων φυσικής. Η ευκολία χρήσης του σε συνδυασμό με την ακρίβεια των αποτελεσμάτων, το καθιστά σημαντικό εργαλείο στην απόδειξη φυσικών μεγεθών, ενώ η συνεχής ανάπτυξη της τεχνολογίας, μειώνει ολοένα το κόστος του.

Για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, επιλέχθηκε μια εφαρμογή που προσφέρει τη δυνατότητα στο χρήστη να εξαγάγει τα αποτελέσματα που καταγράφονται από τους αισθητήρες του κινητού τηλεφώνου, η οποία ονομάζεται «Phyphox». Επιπλέον, έχει προγραμματιστεί κατάλληλα ώστε να συνδέεται απομακρυσμένα με ηλεκτρονικό υπολογιστή, κάνοντας έτσι ευκολότερη την εκτέλεση των πειραμάτων. Πραγματοποιούνται συνολικά εννέα πειράματα φυσικής με τη βοήθεια του κινητού τηλεφώνου, από τα οποία εξάγονται βάσει θεωρίας οι πειραματικές μετρήσεις. Αφού γίνει κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων, συγκρίνονται τα αποτελέσματα με τα αντίστοιχα θεωρητικά και υπολογίζεται η απόκλιση. Τέλος, υπολογίζεται και ερμηνεύεται το σφάλμα που προκύπτει σε κάθε πείραμα.

Abstract

Physics is the subject of study and research in a wide range of sciences, from antiquity until today. Experimental procedures, which are a way of proving physical quantities, require the use of various instruments and devices, which are constantly improving with the rapid development of technology, aiming at the accuracy of the results. The mobile phone is probably the most user-friendly and affordable device for everyday use, which is constantly being upgraded to provide new features. In the present work, the mobile phone is used to study various physical quantities, with the help of sensors that are integrated in it and can now compete or even replace the measuring instruments, used in university institutions.

The purpose of this paper is to highlight the effectiveness of the mobile phone in performing physics experiments. Its ease of use combined with the accuracy of the results, makes it an important tool in proving physical quantities, while the continuous development of technology, always reduces its cost.

For this thesis, an application was selected that offers the user the ability to extract the results gathered by the sensors of the mobile phone, which is called "Phyphox". In addition, it is properly programmed to connect remotely to a computer, making it easier to perform experiments. A total of nine physics experiments are performed with the help of the mobile phone, from which the experimental measurements are extracted based on theory. After proper processing of the measurements, the results are compared with the corresponding theoretical ones and the deviation is calculated. Finally, the error that occurs in each experiment is calculated and interpreted.

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία, με θέμα « Ανάπτυξη πειραμάτων εργαστηρίου φυσικής με τη χρήση κινητού τηλεφώνου.» εκπονήθηκε στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Παναγιωτάτο Γεράσιμο, τόσο για το πολύ ενδιαφέρον θέμα που επέλεξε, όσο και για την διαρκή και αποτελεσματική καθοδήγησή του.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες τόσο στην τριμελή επιτροπή, όσο και στους καθηγητές του τμήματος της μηχανολογίας, για την συνεχή προσπάθειά τους να μου μεταδώσουν τις γνώσεις τους.

Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και όσους στάθηκαν δίπλα μου όλα αυτά τα χρόνια, οι οποίοι με στήριζαν με κάθε δυνατό τρόπο, έτσι ώστε να βρεθώ ένα βήμα πιο κοντά στο στόχο μου.

Πρόλογος

Από τα αρχαία χρόνια, η φυσική αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης καθώς οι άνθρωποι μέσω αυτής προσπαθούσαν να εξηγήσουν τα φυσικά φαινόμενα. Οι πρώτες προσπάθειες έγιναν από φιλοσόφους, οι οποίοι αναφέρθηκαν στην ύπαρξη τους, χωρίς όμως να μπορέσουν να τα αποδείξουν. Αρκετούς αιώνες αργότερα, ορισμένοι επιστήμονες με την εκτέλεση πειραμάτων, κατάφεραν να αποδείξουν την ύπαρξη κάποιων φυσικών μεγεθών, τα οποία στο σύνολό τους απαρτίζουν την επιστήμη της φυσικής.

Ως πείραμα, ορίζεται η πρακτική εφαρμογή μιας θεωρίας, προς απόδειξη ή μελέτη. Για την εκτέλεση ενός πειράματος, κρίνεται αναγκαία η ύπαρξη ενός θεωρητικού υπόβαθρου, πάνω στο οποίο πρόκειται να βασιστεί η υλοποίησή του. Κατά τη μέτρηση των απαραίτητων μεγεθών ενός πειράματος, παρεμβαίνει ο ανθρώπινος παράγοντας και η ακρίβεια των αποτελεσμάτων μπορεί να μεταβληθεί σημαντικά. Πλέον ένα πείραμα φυσικής μπορεί να εκτελεστεί με τη χρήση ορισμένων ηλεκτρονικών οργάνων, τα οποία καλούνται αισθητήρες και αντικαθιστούν τον ανθρώπινο παράγοντα. Αυτά λειτουργούν ως μετατροπείς ενός φυσικού μεγέθους σε ένα μετρήσιμο μέγεθος και τα βασικά είδη αυτών είναι: αισθητήρες θερμοκρασίας, οπτικοί αισθητήρες, αισθητήρες πίεσης, αισθητήρες υπέρυθρης ακτινοβολίας, αισθητήρες ροής και ηλεκτρομαγνητικοί αισθητήρες.

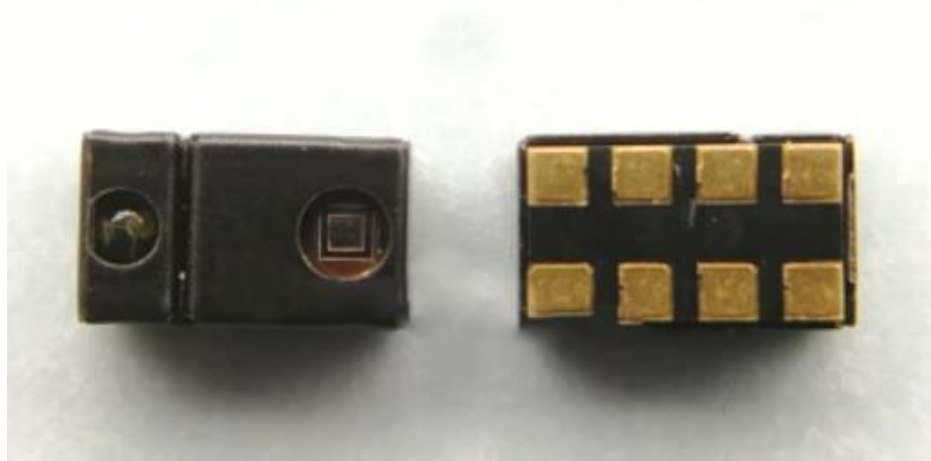
Κατά την εκτέλεση ενός πειράματος φυσικής, μπορεί να γίνει η χρήση ενός ή και περισσότερων αισθητήρων, με σκοπό τον υπολογισμό των διαφόρων μεγεθών. Με τη ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας, οι αισθητήρες αυτοί έχουν ενσωματωθεί στα κινητά τηλέφωνα, τα οποία χρησιμοποιούνται από την πλειοψηφία των ανθρώπων παγκοσμίως. Με την πάροδο των χρόνων, οι αισθητήρες αυτοί ολοένα και βελτιώνονται σε ακρίβεια μετρήσεων, ενώ παράλληλα μειώνεται το κόστος των κινητών τηλεφώνων. Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό που τα καθιστά πιο εύχρηστα, είναι το μικρό τους μέγεθος και βάρος, σε σχέση με τη μεγάλη υπολογιστική ισχύ που μπορούν να προσφέρουν στον χρήστη. Τέλος, το κόστος ενός κινητού τηλεφώνου σε σύγκριση με αυτό ενός αισθητήρα, είναι κατά πολύ μικρότερο, ενώ η ακρίβειά τους δεν παρουσιάζει σημαντικές αποκλίσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - Αισθητήρες Κινητού Τηλεφώνου

Το κινητό τηλέφωνο αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές τεχνολογικές ανακαλύψεις των τελευταίων χρόνων. Με αυτό δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να εκτελεί διαδικασίες οι οποίες υπό άλλες συνθήκες θα ήταν δυσκολότερες. Αρχικά, το κινητό τηλέφωνο αποτελεί μια ηλεκτρονική συσκευή η οποία μπορεί να μεταφέρεται οπουδήποτε, αφού το μέγεθος αυτού έχει πλέον γίνει αρκετά μικρό, σε σχέση με παλαιότερα. Οι βασικότεροι αισθητήρες αυτού είναι το ρολόι, η κάμερα και το μικρόφωνο, οι οποίοι εμφανίζονται και στα πιο φθηνά κινητά τηλέφωνα. Στα σύγχρονα κινητά τηλέφωνα, οι αισθητήρες αυτοί είναι κάποια μικροτσιπ, τα οποία είναι ενσωματωμένα στην μητρική πλακέτα που βρίσκεται στο εσωτερικό του. Αναλυτικότερα, οι αισθητήρες αυτοί αναλύονται στη συνέχεια.

1.1 Αισθητήρας Εγγύτητας

Ο αισθητήρας αυτός βρίσκεται δίπλα από το ακουστικό του κινητού τηλεφώνου και στην Εικόνα 1.1 φαίνεται η συνήθης μορφή αυτού. Όταν ένα αντικείμενο πλησιάζει σε απόσταση μικρότερη από μια δεδομένη τιμή, τότε στέλνεται ένα σήμα στον επεξεργαστή του κινητού τηλεφώνου, το οποίο παίρνει την τιμή «Αληθής» [1.1]. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει κάποιο αντικείμενο κοντά στον αισθητήρα, η τιμή της μεταβλητής που στέλνεται στον επεξεργαστή είναι «Ψευδής» και εκτελούνται οι επιθυμητές ενέργειες. Δυο βασικές κατηγορίες αυτών, είναι οι αισθητήρες χωρητικότητας, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να ανιχνεύουν το μέγεθος και την απόσταση του αντικειμένου και οι επαγωγικοί αισθητήρες, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να ανιχνεύουν μεταβολές στο μαγνητικό πεδίο. Ο αισθητήρας εγγύτητας, συνήθως χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια των κλήσεων, όπου ανιχνεύεται η προσέγγιση του κεφαλιού του χρήστη στο ηχείο του κινητού τηλεφώνου και απενεργοποιείται η οθόνη, προς αποφυγή ανεπιθύμητων αγγιγμάτων στην οθόνη και εξοικονόμηση μπαταρίας.

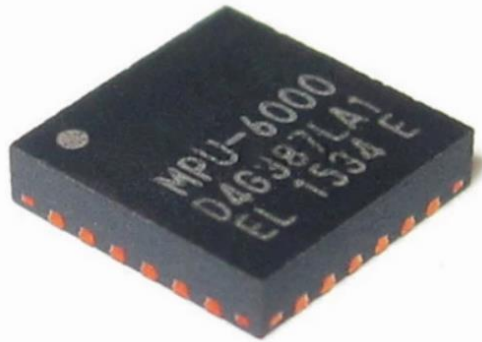


Εικόνα 1.1: Αισθητήρας Εγγύτητας

Κατά την εκτέλεση ενός πειράματος φυσικής, ο αισθητήρας αυτός μπορεί να λειτουργήσει ενεργοποιώντας ή απενεργοποιώντας την οθόνη του κινητού τηλεφώνου. Με αυτό τον τρόπο και προγραμματίζοντας κατάλληλα μια εφαρμογή, μπορεί να γίνει υπολογισμός του χρόνου που χρειάστηκε το κινητό να διανύσει μια απόσταση, πλησιάζοντας στον οθόνη του ένα αντικείμενο. Με δυο διαδοχικές προσεγγίσεις του αντικειμένου, μπορούν να καθοριστούν δυο δεδομένες χρονικές στιγμές και να εκτελεστούν οποιεσδήποτε επιθυμητές ενέργειες.

1.2 Επιταχυνσιόμετρο

Ο αισθητήρας αυτός (Εικόνα 1.2) υπολογίζει την γραμμική επιτάχυνση του κινητού τηλεφώνου στους 3 άξονες, με τη μέθοδο του πιεζοηλεκτρισμού. [1.2] Στην ουσία είναι ένα κύκλωμα, το οποίο αποτελείται από μικροσκοπικές κρυσταλλικές δομές, που μεταβάλλουν την πίεσή τους λόγω των δυνάμεων επιτάχυνσης. Έτσι, δημιουργείται μια τάση λόγω πίεσης, η οποία μπορεί να μεταφραστεί σε ταχύτητα και σε προσανατολισμό. Αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους αισθητήρες και συνήθως συνεργάζεται με την κάμερα για αλλαγές σε οριζόντια ή σε κάθετη λήψη. Οι εφαρμογές που βρίσκει το επιταχυνσιόμετρο είναι στην περιστροφή της οθόνης ή στον υπολογισμό της ταχύτητας κίνησης.

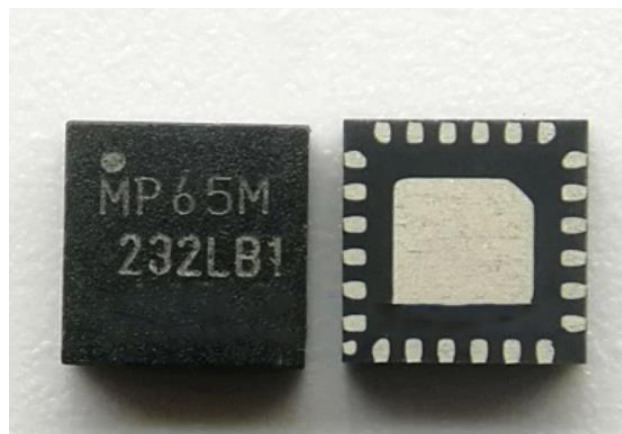


Εικόνα 1.2: Αισθητήρας επιτάχυνσης

Στην εκτέλεση κάποιου πειράματος που απαιτείται η εύρεση της επιτάχυνσης, ο αισθητήρας αυτός μπορεί να εξάγει τα απαραίτητα δεδομένα για τον υπολογισμό των επιθυμητών μεγεθών. Παραδείγματος χάρη, κατά την κίνηση του κινητού τηλεφώνου με μεταβλητή ταχύτητα, μπορεί να γίνει εφικτή η καταγραφή της επιτάχυνσής του, οποιαδήποτε χρονική στιγμή.

1.3 Γυροσκόπιο

Το γυροσκόπιο είναι άμεσα συνδεδεμένο με το επιταχυνσιόμετρο, καθώς το ένα συνεργάζεται με το άλλο, ώστε να προσδιοριστεί η κατεύθυνση με την οποία περιστρέφεται το κινητό τηλέφωνο. [1.3] Εκφράζει δηλαδή το διάνυσμα της κίνησης του κινητού τηλεφώνου, ενώ το επιταχυνσιόμετρο εκφράζει το μέτρο αυτής. Αποτελείται από μια μικροσκοπική δονούμενη πλάκα τοποθετημένη σε ένα τσιπ (Εικόνα 1.3), η οποία στέλνει δεδομένα σε αυτό, για οποιαδήποτε μεταβολή στον προσανατολισμό του κινητού τηλεφώνου. Οι πιο συνήθεις χρήσεις του αισθητήρα αυτού είναι για σταθεροποίηση εικόνας, παιχνίδια ή πλοήγηση μέσω GPS.

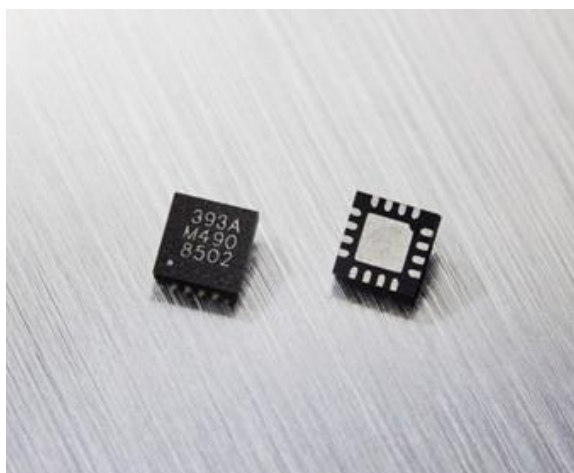


Εικόνα 1.3: Γυροσκόπιο

Εκτελώντας κάποιο πείραμα στο οποίο απαιτείται η εύρεση της γωνιακής ταχύτητας του κινητού τηλεφώνου, το γυροσκόπιο στέλνοντας δεδομένα στον επεξεργαστή του κινητού τηλεφώνου, μπορεί να υπολογίσει τη γωνιακή ταχύτητα ή επιτάχυνσή του, με κατάλληλο προγραμματισμό μιας εφαρμογής.

1.4 Μαγνητόμετρο

Πλέον κάθε κινητό τηλέφωνο έχει αυτό τον αισθητήρα και στην Εικόνα 1.4 φαίνεται ένα μικροτσίπ του μαγνητόμετρου. Αποτελείται από έναν ηλεκτρομαγνήτη, ο οποίος στέλνει δεδομένα στον επεξεργαστή, σύμφωνα με τα σήματα που παράγονται από αυτόν. [1.4] Η μοναδική χρήση αυτού είναι στον προσανατολισμό του χρήστη πάνω στη γη, αφού χρησιμοποιώντας το μαγνητικό πεδίο της, εντοπίζεται ο βορράς. Έτσι, το κινητό τηλέφωνο γνωρίζοντας τη θέση του βορρά, επιτρέπει στους χάρτες να περιστρέφονται σύμφωνα με την πραγματική θέση του χρήστη.

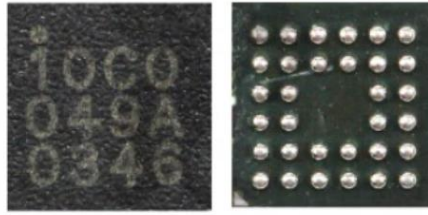


Εικόνα 1.4: Μαγνητόμετρο

Κατά την εκτέλεση κάποιου πειράματος φυσικής, στο οποίο κρίνεται αναγκαίος ο υπολογισμός της έντασης του μαγνητικού πεδίου, χρησιμοποιείται το μαγνητόμετρο. Προγραμματίζοντας κατάλληλα μια εφαρμογή, μπορεί να γίνει εφικτός ο προσδιορισμός του χρόνου μεταξύ δυο μαγνητικών γεγονότων. Για παράδειγμα, όταν η ένταση του μαγνητικού πεδίου ξεπεράσει μια δεδομένη τιμή, το χρονομέτρο μπορεί να σταματάει και να προβάλλει τον υπολογιζόμενο χρόνο στο χρήστη.

1.5 Μικρόφωνο

Το μικρόφωνο (Εικόνα 1.5), αποτελεί τον πιο σημαντικό αισθητήρα των κινητών τηλεφώνων, καθώς εμφανίζεται στα πρώτα κινητά τηλέφωνα που κατασκευάστηκαν. [1.5] Ο τρόπος λειτουργίας του βασίζεται στη μετατροπή του λαμβάνοντα ήχου σε ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο προσκρούει σε ένα διάφραγμα, το οποίο δονείται. Στο διάφραγμα αυτό, υπάρχει ένα μαγνήτης κοντά σε ένα σπείρωμα, το οποίο ταλαντώνεται ανάλογα με τις ταλαντώσεις που γίνονται και αφού το σήμα εισέλθει στον επεξεργαστή του κινητού τηλεφώνου, μεταφράζεται σε ήχο. Συνήθεις εφαρμογές του είναι κατά τις κλήσεις, στην ηχογράφηση φωνής ή εκφώνηση εντολών από άτομα με ειδικές ανάγκες, για ευκολότερη χρήση του κινητού τηλεφώνου.

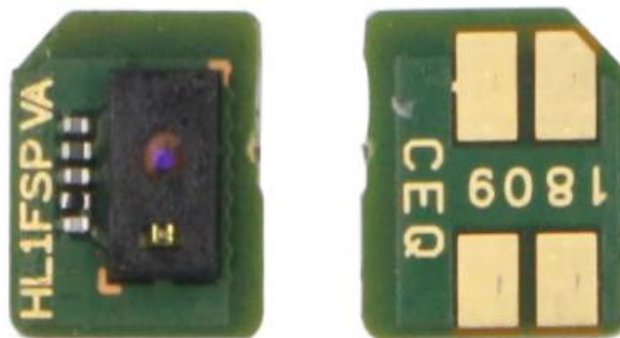


Εικόνα 1.5: Αισθητήρας μικροφώνου

Σε κάποιο πείραμα φυσικής, το μικρόφωνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μέτρηση χρονικής διάρκειας μεταξύ δυο ακουστικών γεγονότων, ή στην εύρεση της έντασης του ήχου. Είναι από τους πιο εύχρηστους αισθητήρες του κινητού τηλεφώνου και χωρίς αυτόν το κινητό τηλέφωνο θα θεωρούνταν ένας απλός υπολογιστής.

1.6 Αισθητήρας Φωτός

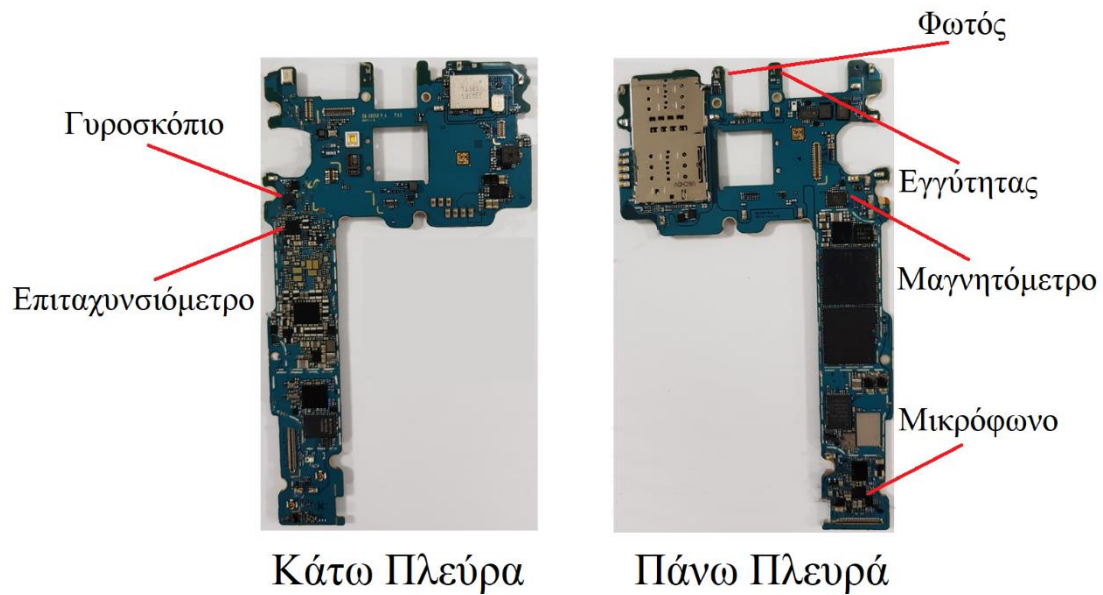
Ο αισθητήρας αυτός (Εικόνα 1.6), βρίσκεται δίπλα στο ακουστικό του κινητού τηλεφώνου, όπως και ο αισθητήρας εγγύτητας. [1.6] Η λειτουργία αυτού είναι η ανίχνευση του φωτός από το περιβάλλον και η εκτέλεση των επιθυμητών ενεργειών. Στο σκοτάδι, η ένδειξη αυτού του αισθητήρα θα είναι μηδενική, ενώ σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού, η ένταση του φωτός θα μεταβάλλεται. Κύρια χρήση αυτού του αισθητήρα είναι στη ρύθμιση του φωτισμού της οθόνης του κινητού τηλεφώνου. Όταν ο χρήστης βρίσκεται σε μειωμένο φωτισμό του περιβάλλοντα χώρου, το κινητό πρέπει να προσαρμοστεί και να μειώσει τον φωτισμό, για αποφυγή βλάβης της όρασης από συνεχόμενη έκθεση σε φωτεινή πηγή μεγάλης έντασης.



Εικόνα 1.6: Αισθητήρας φωτός

Στην εκτέλεση ενός πειράματος που απαιτείται η εύρεση της έντασης του φωτός, χρησιμοποιείται ο παραπάνω αισθητήρας. Προγραμματίζοντας κάποια εφαρμογή, είναι εφικτό να υπολογιστεί ο χρόνος μεταξύ δυο εντάσεων φωτισμού. Παραδείγματος χάρη, όταν η ένταση του φωτός ξεπεράσει μια μέγιστη τιμή μπορεί να ενεργοποιείται το χρονόμετρο και κατά την δεύτερη ανίχνευση αυτής της τιμής να απενεργοποιείται.

Στη συνέχεια, στην Εικόνα 1.7 φαίνεται η μητρική πλακέτα ενός σύγχρονου κινητού τηλεφώνου, με τους αισθητήρες του.



Εικόνα 1.7: Αισθητήρες κινητού τηλεφώνου

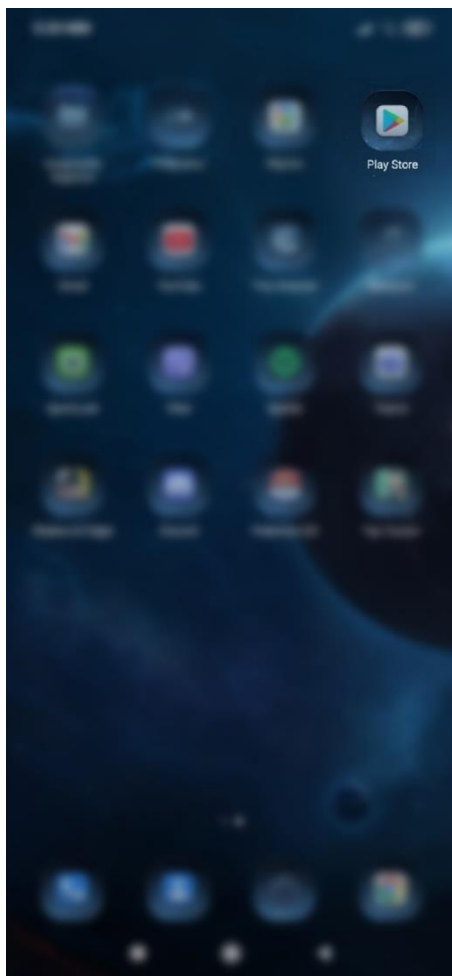
Χρησιμοποιώντας τους παραπάνω αισθητήρες που αναλύθηκαν και συνδυάζοντάς τους, μπορεί να γίνει δυνατή η εκτέλεση ορισμένων πειραμάτων. Για την διεκπεραίωση των πειραμάτων αυτών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποια εφαρμογή, η οποία παίρνει τα δεδομένα των αισθητήρων αυτών, και με τον κατάλληλο προγραμματισμό υπολογίζονται τα επιθυμητά μεγέθη. Κάνοντας έρευνα στο διαδίκτυο και συγκρίνοντας διάφορες εφαρμογές κινητού τηλεφώνου που μπορούν να επιτύχουν τα παραπάνω, έγινε επιλογή μιας από αυτές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Phyphox

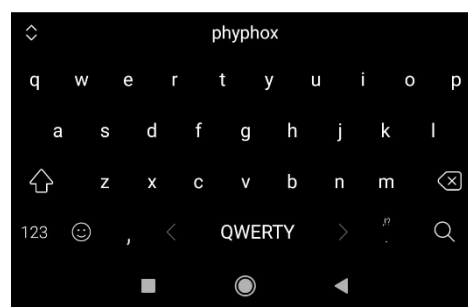
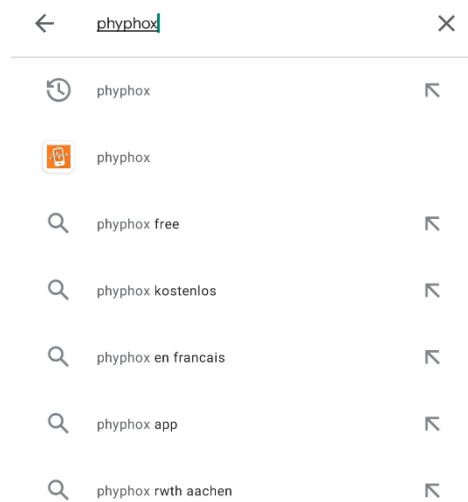
Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, έγινε η επιλογή της εφαρμογής «Phyphox», η οποία χρησιμοποιώντας τους παραπάνω αισθητήρες του κινητού τηλεφώνου που αναλύθηκαν, τόσο μεμονωμένα, όσο και συνδυαστικά, υπολογίζει και παρουσιάζει τα αποτελέσματα των μετρήσεων. [2.1] [2.2] Η εφαρμογή αυτή αναπτύχθηκε από το πολυτεχνείο Άαχεν της Γερμανίας και είναι ελεύθερη για λήψη και για χρήση. Στη συνέχεια παρατίθενται τα βήματα που απαιτούνται για τη λήψη της εφαρμογής.

2.1 Λήψη Εφαρμογής Phyphox

Α) Αρχικά, γίνεται εκκίνηση της εφαρμογής «Play Store» στο κινητό τηλέφωνο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.1.α και στο πλαίσιο της αναζήτησης, σύμφωνα με την Εικόνα 2.1.β πληκτρολογείται το όνομα της εφαρμογής «Phyphox».

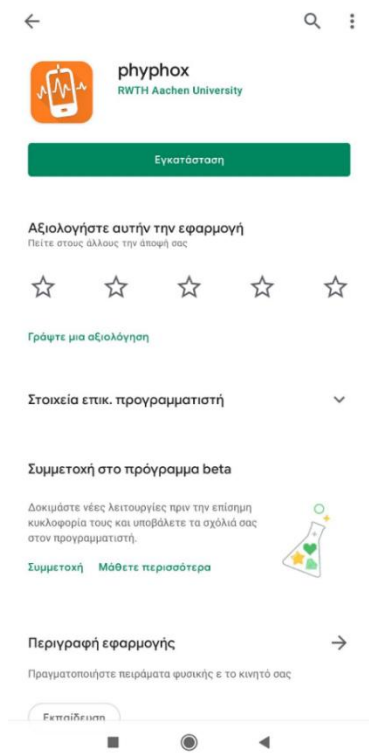


Εικόνα 2.1 α) Εκκίνηση του Play Store

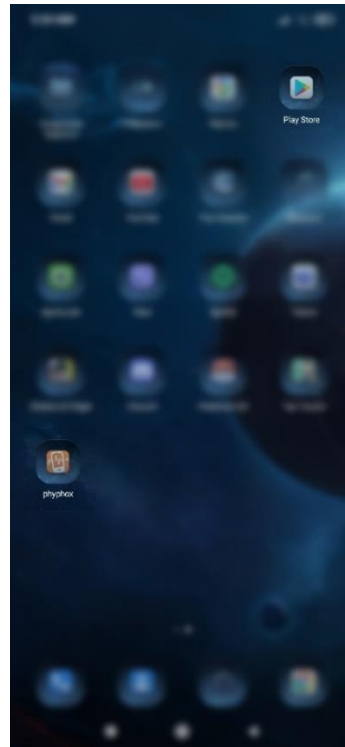


β) Πληκτρολόγηση ονόματος εφαρμογής

Β) Επιλέγεται «Εγκατάσταση» σύμφωνα με την Εικόνα 2.2.α και αφού γίνει λήψη της εφαρμογής, γίνεται εκκίνησή αυτής. (Εικόνα 2.2.β)



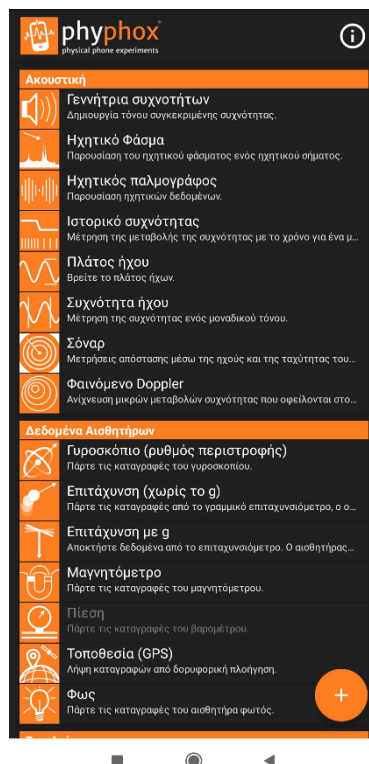
Εικόνα 2.2 α) Λήψη εφαρμογής



β) Εκκίνηση εφαρμογής

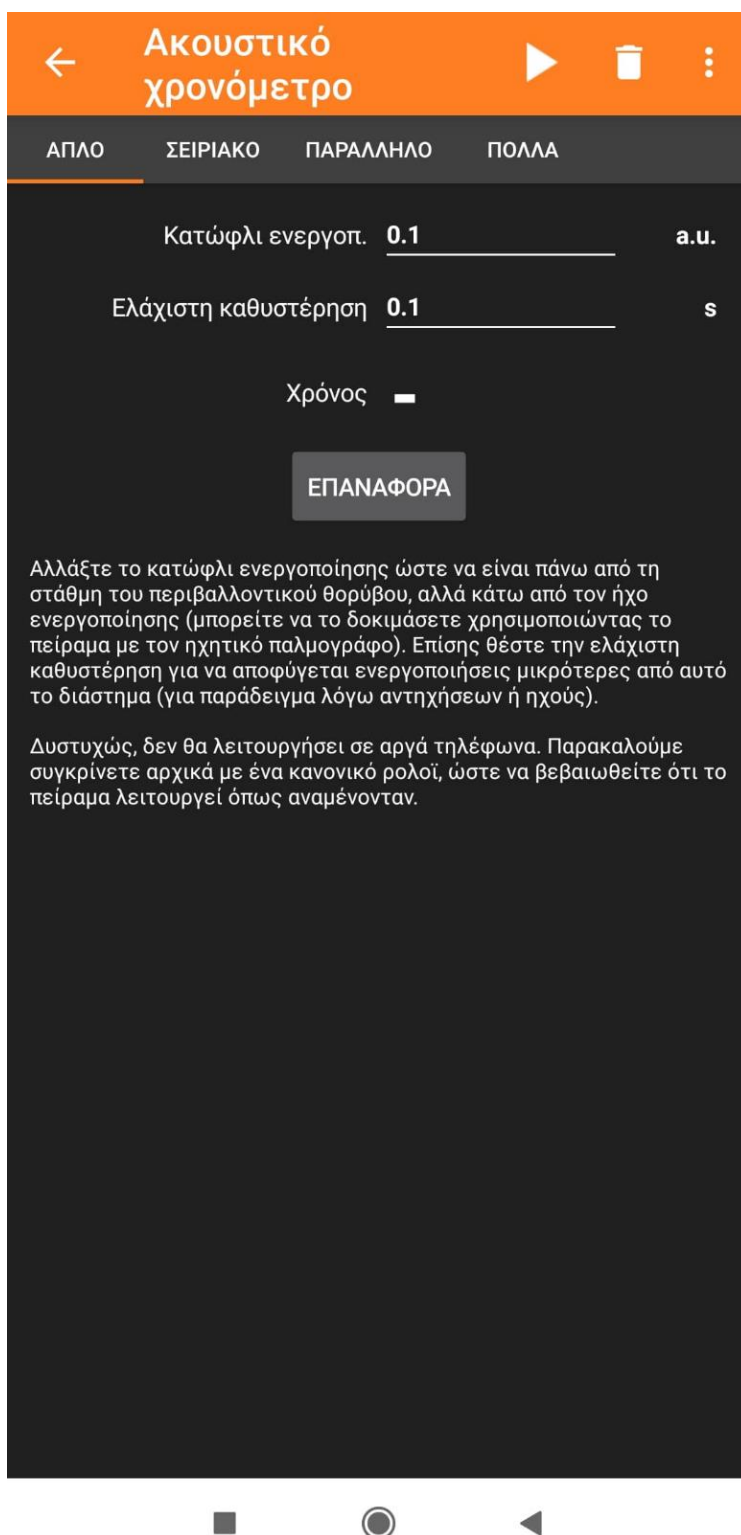
2.2 Χρήση Εφαρμογής Phyrhox

Γ) Στην Εικόνα 2.3 φαίνεται το περιβάλλον της εφαρμογής, με το εύρος των πειραμάτων που προσφέρει.



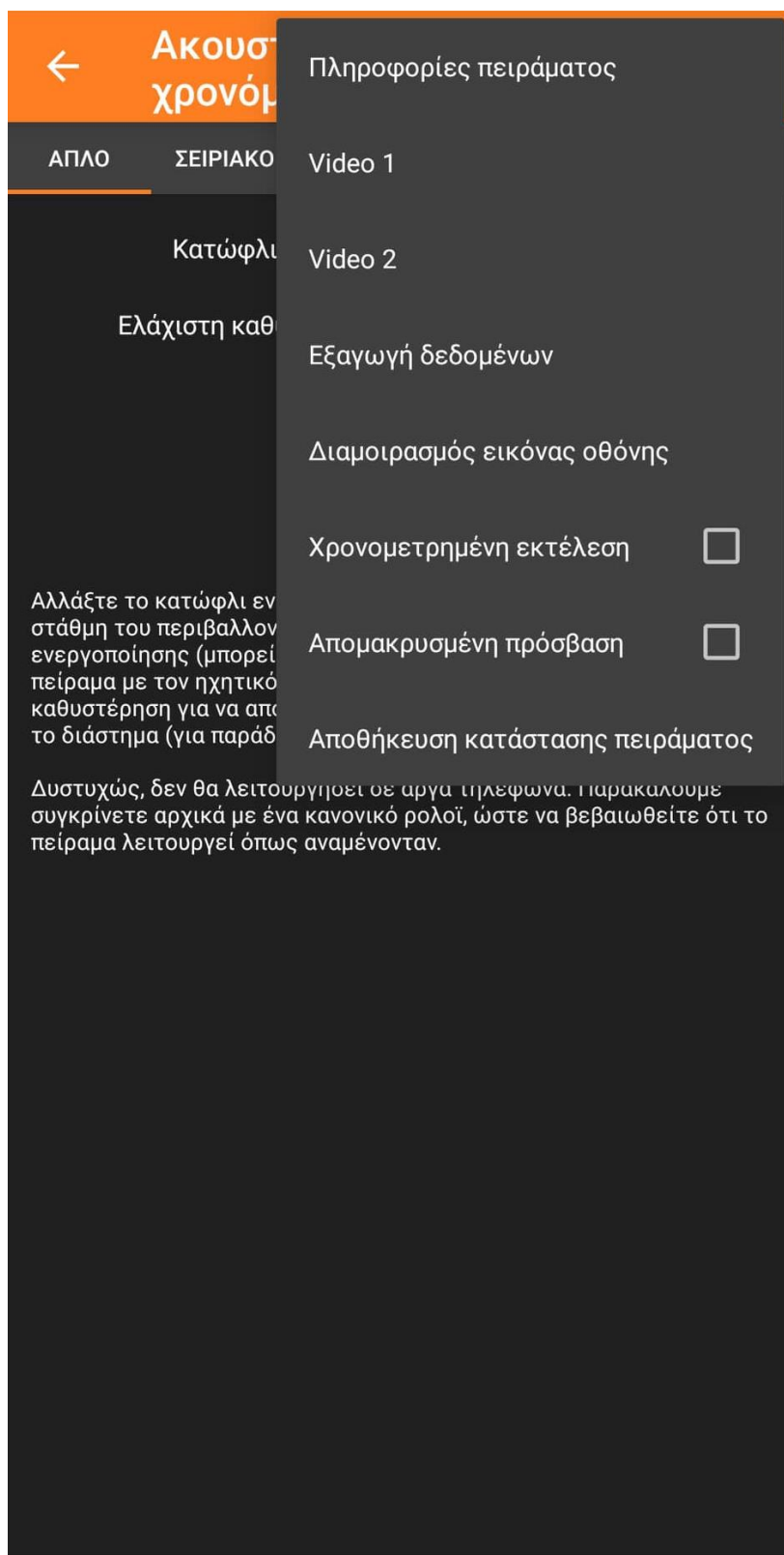
Εικόνα 2.3: Περιβάλλον εφαρμογής Phyrhox

Η εφαρμογή αυτή, δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να εξάγει τα αποτελέσματα σε μια δεύτερη ηλεκτρονική συσκευή. Για την εκτέλεση των πειραμάτων, κρίνεται αναγκαία η σύνδεση του κινητού τηλεφώνου με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, για την ευκολότερη καταγραφή των αποτελεσμάτων και των γραφικών παραστάσεων. Επιλέγοντας τυχαία το πείραμα «Ακουστικό χρονόμετρο» εμφανίζεται το περιβάλλον του πειράματος, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.4.



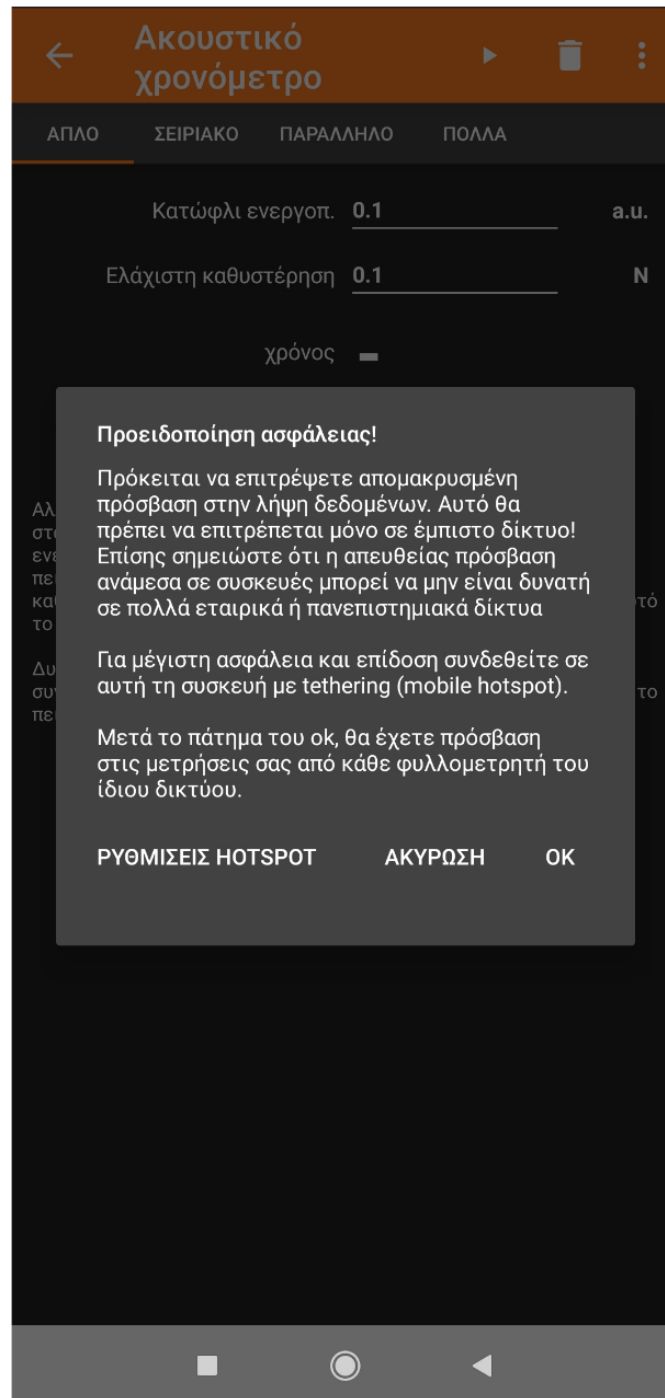
Εικόνα 2.4: Περιβάλλον πειράματος Ακουστικού Χρονομέτρου

Επιλέγοντας τις 3 κουκίδες που φαίνονται στο πάνω δεξί μέρος της οθόνης εμφανίζεται ένα μενού, σύμφωνα με την Εικόνα 2.5.



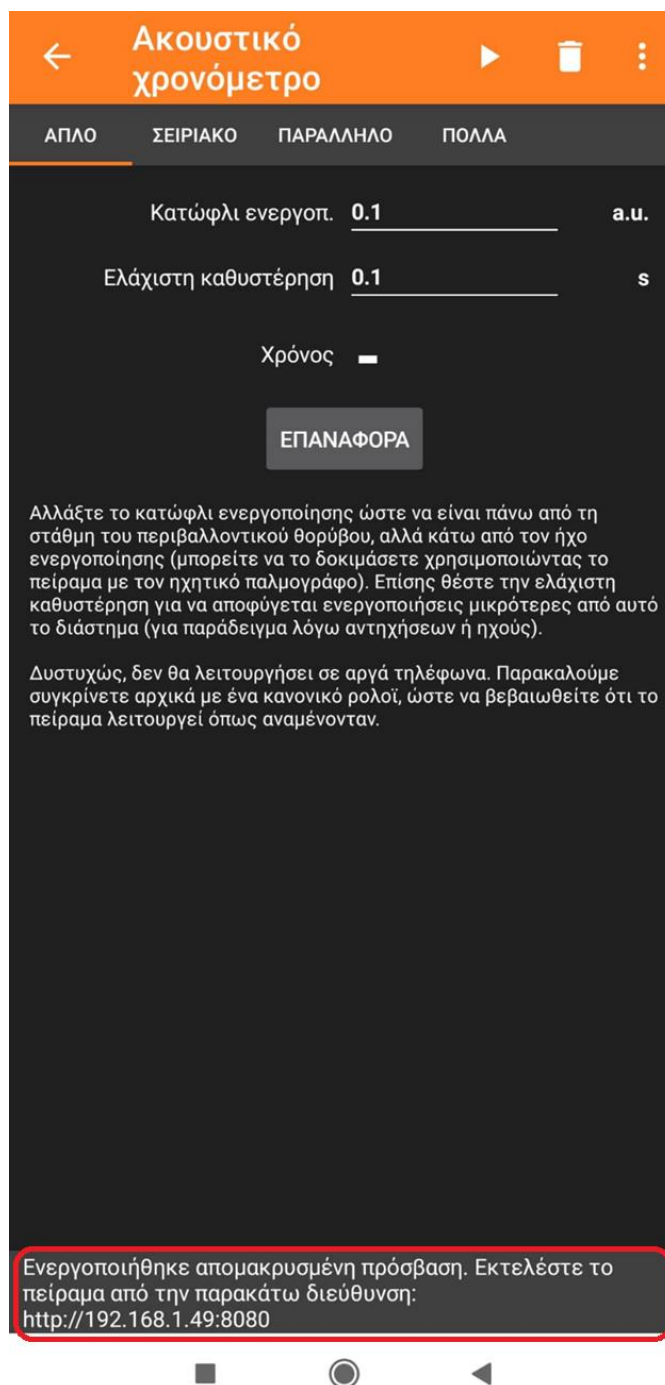
Εικόνα 2.5: Μενού πειράματος Ακουστικού Χρονομέτρου

Έπειτα, επιλέγεται η απομακρυσμένη πρόσβαση από το μενού της Εικόνα 2.5 και αφού γίνει σύνδεση με το σωστό δίκτυο ίντερνετ, επιλέγεται το «ΟΚ» στην προειδοποίηση ασφαλείας όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.6.



Εικόνα 2.6: Προειδοποίηση ασφαλείας της εφαρμογής Phyrphox

Τέλος, στο κάτω μέρος της οθόνης του κινητού τηλεφώνου εμφανίζεται η ηλεκτρονική διεύθυνση όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.7, μέσω της οποίας μπορεί να γίνει απομακρυσμένος έλεγχος της εφαρμογής.



Εικόνα 2.7: Ηλεκτρονική διεύθυνση εκτέλεσης πειράματος

Αφού γίνουν τα παραπάνω βήματα, εκκινείται ο περιηγητής από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή και στο πλαίσιο αναζήτησης πληκτρολογείται η ηλεκτρονική διεύθυνση που απεικονίζεται στην εικόνα 2.7. Έτσι γίνεται εφικτός ο έλεγχος του κινητού τηλεφώνου μέσω απομακρυσμένης πρόσβασης, χωρίς να απαιτείται η παρέμβαση του χρήστη σε αυτό, καθιστώντας το πλέον ασύρματο αισθητήρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Υπολογισμός της Επιτάχυνσης της Βαρύτητας με Εκκρεμές

3.1 Σκοπός

Το συγκεκριμένο πείραμα έχει ως στόχο τον υπολογισμό της επιτάχυνσης της βαρύτητας, με τη μέθοδο του εκκρεμούς. Αυτή μπορεί εύκολα να υπολογιστεί, χρησιμοποιώντας το κινητό τηλέφωνο ως βάρος, αλλά και ως αισθητήρα παράλληλα.

3.2 Ιστορική Αναδρομή

Από τα αρχαία χρόνια, υπήρχε η ανάγκη του ανθρώπου να καταλάβει τους νόμους που διέπουν τη φύση. Μια βασική ανάγκη ήταν η εύρεση του λόγου για τον οποίο τα σώματα δεν περιφέρονται στον αέρα, αλλά βρίσκονται μονίμως στο έδαφος. Πλέον είναι γνωστό πως η βαρύτητα της γης έλκει τα σώματα προς το κέντρο της. Οι πρώτες προσπάθειες εξήγησης αυτού του φαινομένου ξεκίνησαν από την αρχαία Ελλάδα από Έλληνες φιλοσόφους, οι οποίοι παρατηρώντας τα άστρα, προσπάθησαν να εξηγήσουν την κίνησή τους. Ο Αριστοτέλης τον 4^ο αιώνα πΧ, πίστευε πως τα σώματα τείνουν να κινούνται προς το σημείο στο οποίο βρίσκεται το κέντρο βάρους τους. [3.1] Μερικούς αιώνες αργότερα, ο Marcus Vitruvius Pollio, γνωστός και ως Vitruvius, τον 1^ο αιώνα πΧ κατάλαβε πως η πτώση των σωμάτων εξαρτάται από το ειδικό τους βάρος, το οποίο είναι ο λόγος της πυκνότητας ενός υλικού, προς την πυκνότητα ενός υλικού αναφοράς. [3.2]

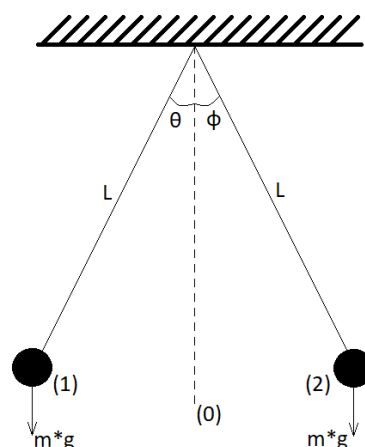
Τον 7^ο αιώνα μΧ, ο Ινδός μαθηματικός και αστρονόμος Brahmagupta, υποστήριξε πως η βαρύτητα είναι μια ελκτική δύναμη. [3.3] Στη συνέχεια ο Πέρσης Ibn Sina, γνωστός και ως Abu Ali Sina, απέρριψε τη θεωρία του Αριστοτέλη παρουσιάζοντας μια δική του θεωρία της ώθησης, η οποία μπορούσε να εξηγήσει την κίνηση ενός αντικείμενου ενάντια στη βαρύτητα. [3.4] Στις αρχές του 17^{ου} αιώνα, ο Ιταλός αστρονόμος, φυσικός και μηχανικός Galileo Galilei, απέδειξε πως όλα τα σώματα έχουν την τάση να επιταχύνονται όμοια στην περίπτωση της ελεύθερης πτώσης, δηλαδή στην περίπτωση όπου δεν υπάρχει καμία εξωτερική δύναμη. [3.5] Ο ίδιος ήταν ο πρώτος ο οποίος εισήγαγε την έννοια της σχετικότητας, συναρτήσε της επιτάχυνσης της βαρύτητας, ενώ η ύπαρξη της σταθεράς αυτής επιβεβαιώθηκε και από τον Isaac Newton, γνωστό μαθηματικό και φυσικό της εποχής. [3.6] Όπως λέγεται, ο Newton ανακάλυψε τη βαρύτητα βλέποντας ένα μήλο να πέφτει από ένα δέντρο, κατανοώντας έτσι την ύπαρξη μιας ελκτικής δύναμης, η οποία δρά σε όλα τα αντικείμενα, όπως αυτό το μήλο. Παράλληλα, κατανόησε πως το φεγγάρι θα απομακρυνόταν από τη γη εφ'απτομενικά, αν δεν υπήρχε μια δύναμη να το έλκει προς τη γη. Πρόκειται ουσιαστικά για ένα αντικείμενο με αρχική ταχύτητα το οποίο ακολουθεί μια κυκλική τροχιά γύρω από τη γη, όπως ακριβώς λειτουργούν και οι δορυφόροι που στέλνονται από τους ανθρώπους. Τέλος, ο Γερμανός θεωρητικός φυσικός Albert Einstein ανέπτυξε μια δική του εντελώς διαφορετική άποψη για τη βαρύτητα. [3.7] Σύμφωνα με τη θεωρία του, η βαρύτητα προκύπτει από τη στρέβλωση του χώρου και του χρόνου, ενώ χρησιμοποιώντας αυτή, οι νόμοι του Isaac Newton παραβιάζονται, παρά το γεγονός ότι εξηγούνται άλλα φαινόμενα.

3.3 Θεωρία

Ως βαρύτητα ορίζεται το φυσικό φαινόμενο, το οποίο εκφράζει τη δύναμη έλξης που προκύπτει μεταξύ δυο σωμάτων. Αυτά μπορεί να είναι το πιο μικρό έως και το πιο μεγάλο, όπως είναι οι πλανήτες, ενώ με την αύξηση της μάζας των σωμάτων αυξάνεται και η ελκτική τους δύναμη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτών, αποτελεί ο δορυφόρος της γης, η Σελήνη, η οποία επηρεάζει το ύψος των υδάτων της γης. Δύναμη πεδίου ενός σώματος, καλείται ο τρισδιάστατος χώρος, στον οποίο δυο σώματα αλληλεπιδρούν. Σε ένα σφαιρικό συμμετρικό πλανήτη, η δύναμη πεδίου σε οποιοδήποτε σημείο πάνω στην επιφάνεια αυτού, είναι ανάλογη της μάζας του σώματος και αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης από το κέντρο του σώματος. Αυτή μπορεί να θεωρηθεί αριθμητικά ίση με την επιτάχυνση ενός σώματος στην επιφάνεια του πλανήτη, ενώ για δυο σώματα σε διαφορετικό γεωγραφικό πλάτος υπάρχουν ασήμαντες αποκλίσεις στην τιμή αυτή. Το 1901 σύμφωνα με το Διεθνές Γραφείο Μέτρων και Σταθμών (BIPM), η επιτάχυνση της βαρύτητας στην επιφάνεια της γης ισούται με $g = 9,80665 \text{ m/sec}^2$, σταθερά η οποία χρησιμοποιείται και στη μετεωρολογία. [3.8] Αυτό σημαίνει πως για ένα σώμα το οποίο ρίπτεται χωρίς αρχική ταχύτητα από ένα ύψος και αμελώντας την αντίσταση του αέρα, η ταχύτητά του θα αυξάνεται κάθε ένα δευτερόλεπτο κατά $9,80665 \text{ m/sec}$. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι με τη ρίψη δυο σωμάτων διαφορετικής μάζας σε δωμάτιο χωρίς ατμοσφαιρική πίεση, αυτά θα κινούνται παράλληλα, με αποτέλεσμα να φτάσουν ταυτόχρονα στο έδαφος. Σύμφωνα με τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα περί δράσης - αντίδρασης, όταν ένα ριπτόμενο σώμα αλληλεπιδρά με τη βαρύτητα της γης, τότε και η γη τείνει να πλησιάσει το σώμα, χωρίς όμως να επιτυγχάνεται. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οποιοδήποτε σώμα το οποίο ρίπτεται έχει αμελητέα μάζα σε σχέση με τη μάζα της γης.

Έστω νήμα αβαρές και μη εκτατό. Ως απλό εκκρεμές ορίζεται το σύστημα μάζας – νήματος, το οποίο στερεωμένο από ένα σταθερό σημείο διανύει σταθερό τόξο γύρω από αυτό. Ως σημείο ισορροπίας ενός εκκρεμούς, καλείται η θέση στην οποία το σώμα ηρεμεί, χωρίς την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων και η θέση αυτή βρίσκεται πάντα στη νοητή ευθεία που ενώνει το κέντρο περιστροφής, το κέντρο μάζας του σώματος και το κέντρο της γης. Όταν ένα εκκρεμές μετατοπίζεται από το σημείο ισορροπίας του και αφήνεται ελεύθερο, η επιτάχυνση της βαρύτητας τείνει να το επαναφέρει στην αρχική του θέση. Κατά το πρώτο πέρασμα από αυτή τη θέση, το εκκρεμές δε μπορεί να σταματήσει ακαριαία, με αποτέλεσμα να ανέρχεται στην αντίθετη θέση, όπου και τελικά θα σταματήσει στιγμιαία και στη συνέχεια θα ακολουθηθεί η ίδια αντίστροφη διαδικασία. Σε κάθε πέρασμα από τη θέση ισορροπίας, η γωνία θ που σχηματίζεται μεταξύ της θέσης αυτής και της θέσης στην οποία το εκκρεμές αποκτά μηδενική ταχύτητα, ολοένα και μικραίνει λόγω των τριβών του νήματος και της αντίστασης του αέρα. Στην περίπτωση όπου μπορούσε να επιτευχθεί μηδενική τριβή του νήματος με το κέντρο περιστροφής και απουσία ατμοσφαιρικού αέρα, τότε το εκκρεμές θα μπορούσε να παλινδρομεί, χωρίς να σταματήσει ποτέ και χωρίς να παρατηρείται μείωση στη γωνία θ . Ένα εκκρεμές μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως επιστημονικό όργανο σαν επιταχυνσιόμετρο ή ως σειсмоγράφος, ενώ τον 17^ο αιώνα έβρισκε εφαρμογή ως ρολόι. Ο Ολλανδός εφευρέτης Christiaan Huygens κατάφερε να μετρά την ώρα με απόκλιση ενός δευτερολέπτου κάθε χρόνο και μάλιστα το ρολόι του έβρισκε εφαρμογή σε σπίτια και γραφεία για 270 ολόκληρα χρόνια. [3.9]

Έστω ένα εκκρεμές με μήκος νήματος L και μάζας σώματος m (Εικόνα 3.1). Η περίοδος του εκκρεμούς (T) είναι ο χρόνος που χρειάζεται το σώμα να εκτελέσει μια πλήρη ταλάντωση, δηλαδή να εκτελέσει τη διαδρομή $(1) \Rightarrow (0) \Rightarrow (2) \Rightarrow (0) \Rightarrow (1)$ και να μηδενιστεί ακαριαία η ταχύτητά του. Πιο συγκεκριμένα, όταν αφήνεται από το σημείο (1) με μηδενική αρχική ταχύτητα και επιταχυνόμενο θα διέλθει πρώτα από τη θέση (0) στην οποία θα έχει αποκτήσει τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα. Στη συνέχεια επιβραδυνόμενο φτάνει στη θέση (2), όπου στιγμιαία η ταχύτητά του μηδενίζεται και έπειτα λόγω της βαρύτητας κατέρχεται προς το σημείο (0), όπου εκτελεί την ίδια κίνηση αλλά αντίστροφα.



Εικόνα 3.1: Απλό εκκρεμές

Στην πραγματικότητα βέβαια, οι γωνίες θ και ϕ δε μπορούν σε καμία περίπτωση να είναι ίσες, παρά μόνο στην περίπτωση της πραγματοποίησης του πειράματος υπό ιδανικές συνθήκες. Αναλύοντας τις δυνάμεις οι οποίες ασκούνται στο σώμα στη θέση (1) αποδεικνύεται πως η περίοδος (T) προκύπτει από τη σχέση:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (3,1)$$

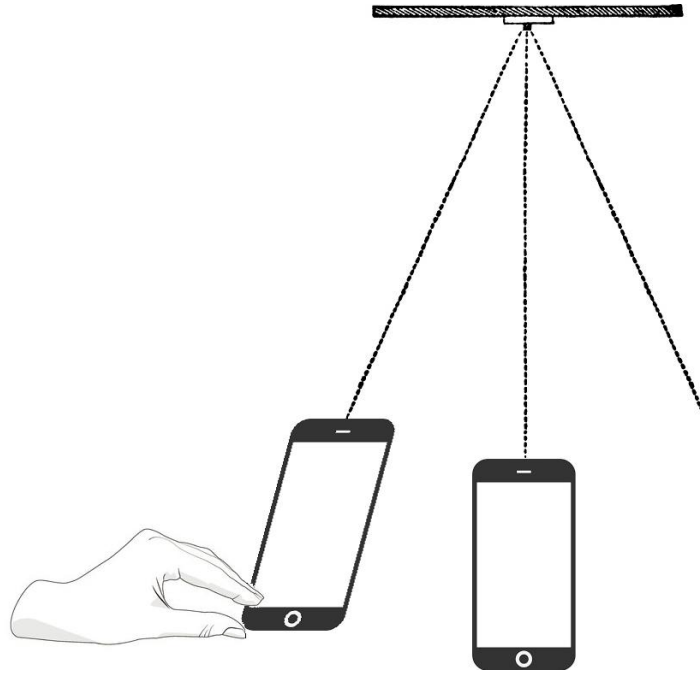
όπου g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας. Σημαντική παρατήρηση, είναι πως στη σχέση αυτή δεν προσμετράται η μάζα του σώματος, συνεπώς λύνοντας την εξίσωση ως προς το g , μπορεί να υπολογιστεί η ζητούμενη επιτάχυνση της βαρύτητας της γης. Η εφαρμογή Phyrhox, εκτελεί τις πράξεις αυτόματα μετρώντας την περίοδο του εκκρεμούς και εισάγοντας το εκάστοτε μήκος του νήματος.

3.4 Πειραματική Διάταξη 1

Για την εκτέλεση του πειράματος απαιτούνται τα κάτωθι όργανα και συσκευές.

- Κινητό τηλέφωνο
- Μέτρο
- Νήμα ή σχοινί
- Σταθερός άξονας περιστροφής

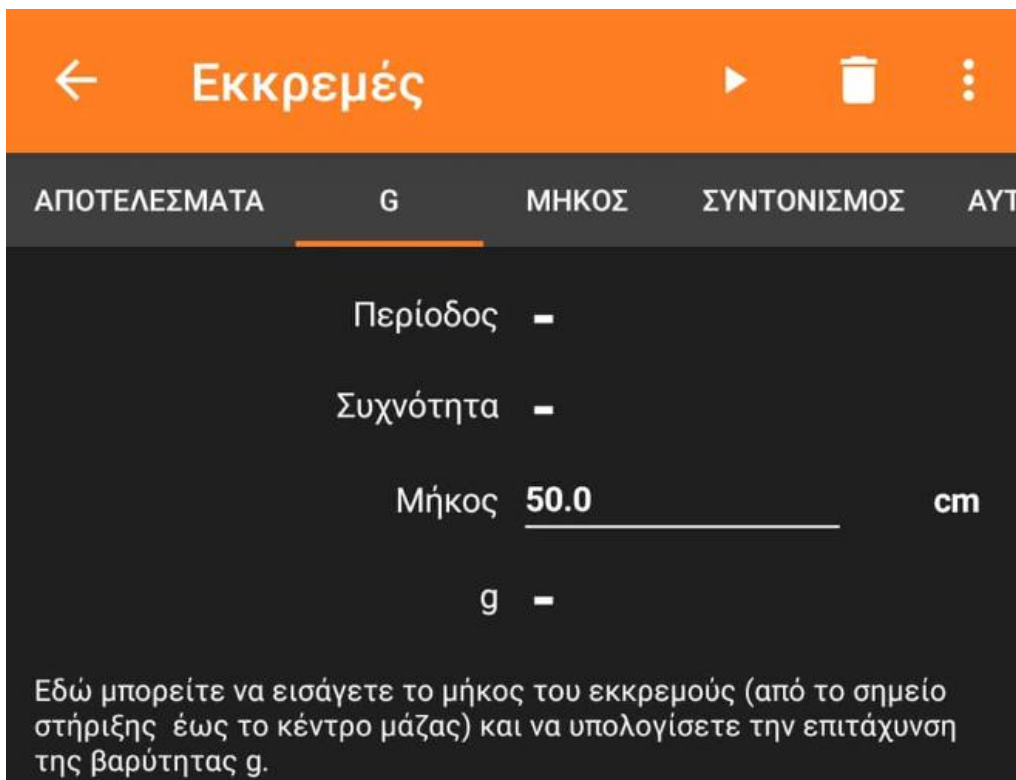
Αρχικά, για τη στήριξη του εκκρεμούς κρίνεται αναγκαία η εύρεση ενός σταθερού άξονα περιστροφής, χωρίς μεγάλο συντελεστή τριβής μεταξύ αυτού και του νήματος που πρόκειται να έρθει σε επαφή με αυτόν. Στη συνέχεια, δένεται το νήμα γύρω από τον άξονα περιστροφής και αφού γίνει εκκίνηση της εφαρμογής Phyrhox, στο πείραμα «Εκκρεμές», δένεται στο κάτω άκρο του νήματος το κινητό τηλέφωνο. Για την έναρξη του πειράματος, μετακινείται η βάση του κινητού τηλεφώνου σε μικρή γωνία και αφήνεται να κινηθεί ελεύθερο. Προσοχή πρέπει να δοθεί στο νήμα, η τάση του οποίου πρέπει να είναι πάντα μέγιστη, προκειμένου να μην υπάρχουν αποκλίσεις στα αποτελέσματα των μετρήσεων. Σχηματικά, η εκτέλεση του πειράματος φαίνεται στην Εικόνα 3.2.



Εικόνα 3.2: Σχηματική αναπαράσταση πειράματος απλού εκκρεμούς

3.5 Πειραματική Διαδικασία 1

- 1) Εκκίνηση της εφαρμογής Rhyrhox, επιλογή του πειράματος «Εκκρεμές» και επιλογή καρτέλας «G» σύμφωνα με την Εικόνα 3.3.



Εικόνα 3.3: Πείραμα «Εκκρεμές» στην εφαρμογή Rhyrhox

- 2) Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.4, κρεμάται το κινητό τηλέφωνο στο κάτω μέρος του νήματος και αφήνεται ελεύθερο να ηρεμήσει στη θέση ισορροπίας του.



Εικόνα 3.4: Τελική πειραματική διάταξη εκκρεμούς

- 3) Μέτρηση μήκους νήματος από το κατώτερο (Εικόνα 3.5.β) έως και το ανώτερο σημείο πρόσδεσής του. (Εικόνα 3.5.α)

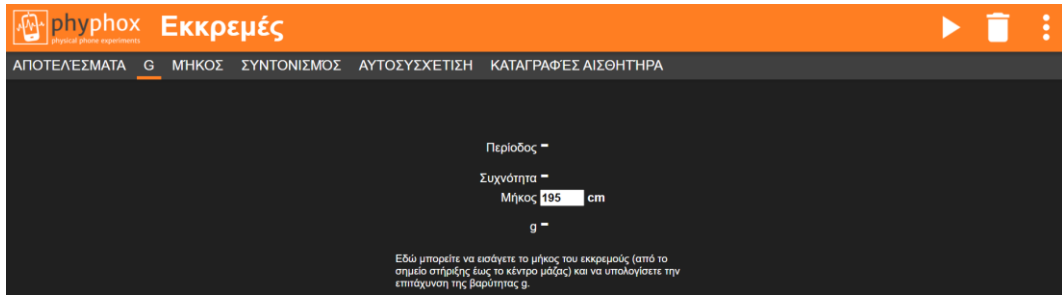


Εικόνα 3.5 α) Άνω σημείο πρόσδεσης μέτρου



β) Κάτω σημείο πρόσδεσης

- 4) Στην Εικόνα 3.6 φαίνεται η καταχώρηση του μετρούμενου μήκους νήματος στην εφαρμογή, μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή.



Εικόνα 3.6: Καταχώρηση μήκους νήματος πειράματος Εκκρεμούς

- 5) Τέλος, γίνεται μετακίνηση του κινητού τηλεφώνου σε τυχαία γωνία θ από τη θέση ισορροπίας, σύμφωνα με την Εικόνα 3.7 και απελευθέρωση αυτού με μηδενική αρχική ταχύτητα.



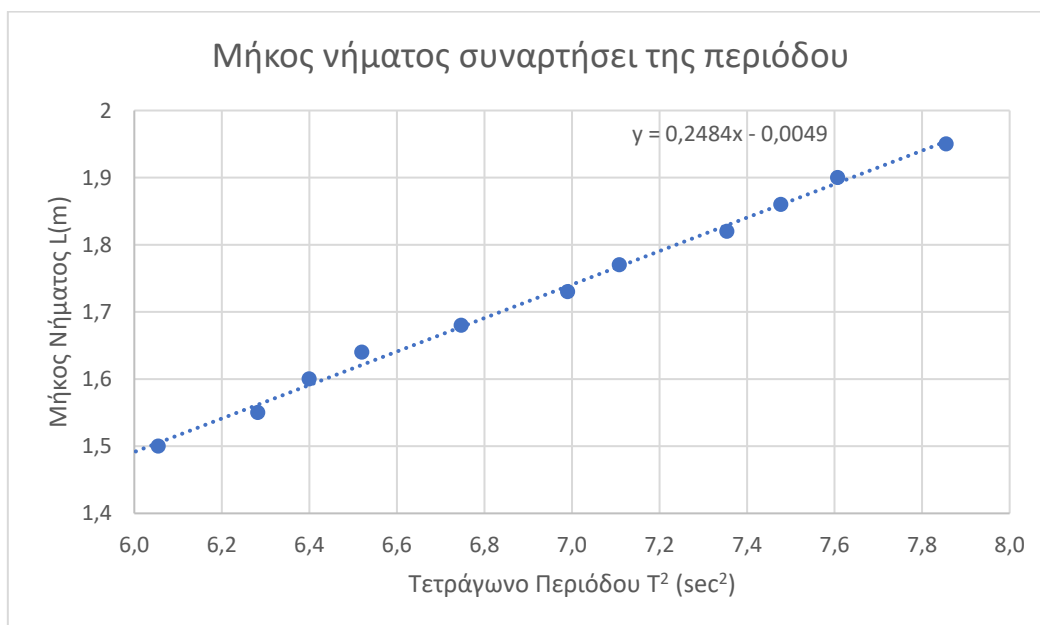
Εικόνα 3.7: Εκτροπή κινητού τηλεφώνου από τη θέση ισορροπίας

Εκτελώντας το πείραμα για διαφορετικές τιμές μήκους νήματος σημειώνεται η επιτάχυνση της βαρύτητας και το τετράγωνο της περιόδου, σύμφωνα με την εφαρμογή Phyrhox. Έτσι, γίνεται συμπλήρωση του Πίνακα 3.1 προκειμένου να γίνει εφικτός ο υπολογισμός της επιτάχυνσης της βαρύτητας.

Πίνακας 3.1: Αποτελέσματα μετρήσεων πειράματος απλού εκκρεμούς

A/A	Μήκος l (m)	Επιτάχυνση Βαρύτητας g (m/sec ²)	Τετράγωνο Περιόδου T ² (sec ²)
1	1,95	9,80	7,85
2	1,90	9,86	7,60
3	1,86	9,82	7,47
4	1,82	9,77	7,35
5	1,77	9,83	7,10
6	1,73	9,77	6,99
7	1,68	9,83	6,74
8	1,64	9,93	6,52
9	1,60	9,87	6,39
10	1,55	9,74	6,28
11	1,50	9,78	6,05
12	1,46	9,88	5,83
13	1,41	9,73	5,72

Η εύρεση της επιτάχυνσης της βαρύτητας πειραματικά, μπορεί να γίνει από τον σχεδιασμό της γραφικής παράστασης του μήκους του νήματος, με το τετράγωνο της περιόδου που υπολογίστηκε. Η γραφική παράσταση των αποτελεσμάτων φαίνεται στην Εικόνα 3.8.



Εικόνα 3.8: Γράφημα τετραγώνου περιόδου ταλάντωσης και μήκους νήματος

Για την κλίση της ευθείας ισχύει:

$$\text{κλίση}(\alpha) = \frac{dL}{dT^2} \quad (3,3)$$

Ενώ, για την επιτάχυνση τις βαρύτητας g , ισχύει η εξίσωση:

$$g = 4 * \pi^2 * \frac{dL}{dT^2} \quad (3,4)$$

Συνδυάζοντας τις σχέσεις (3,3) και (3,4) προκύπτει:

$$g = 4 * \pi^2 * \text{κλίση}(\alpha) \Leftrightarrow (3,5)$$
$$\Leftrightarrow g = 4 * \pi^2 * 0,2484 \text{ m/sec}^2 \Leftrightarrow g = 9,8064 \text{ m/sec}^2$$

Συγκριτικά με την πραγματική επιτάχυνση τις βαρύτητας, η οποία είναι $g = 9,80665 \frac{m}{sec^2}$,

η απόκλιση που προκύπτει είναι: $\text{απόκλιση} = \frac{|\text{θεωρητική Τιμή} - \text{Πειραματική Τιμή}|}{\text{θεωρητική Τιμή}} * 100\% \Leftrightarrow$

$$\Leftrightarrow \text{απόκλιση} = \frac{|9,80665 - 9,8064|}{9,80665} * 100\% \Leftrightarrow \text{απόκλιση} = 0,0025\%$$

3.6 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα

Φαίνεται πως η απόκλιση μεταξύ πραγματικής και μετρούμενης τιμής είναι πολύ μικρή, ενώ υπάρχουν ορισμένοι παράγοντες οι οποίοι μεταβάλλουν τα αποτελέσματα. Αναλυτικότερα:

- Η τριβή που δημιουργείται μεταξύ νήματος και άξονα περιστροφής δε μπορεί σε καμία περίπτωση να είναι μηδενική και γι' αυτό το λόγο η ταλάντωση θεωρείται φθίνουσα.
- Επιπλέον, ο ανθρώπινος παράγοντας παίζει καθοριστικό ρόλο στα αποτελέσματα των μετρήσεων, καθώς κατά τη μέτρηση του μήκους του νήματος, είναι δυνατό να υπάρξουν πιθανά σφάλματα.
- Τέλος, το γεωδαιτικό ύψος στο οποίο λαμβάνει χώρα το πείραμα δεν είναι το επίπεδο της θάλασσας, καθώς η επιτάχυνση της βαρύτητας παρουσιάζει μικρές μεταβολές στην τιμή της, ανάλογα με το υψόμετρο.

3.7 Πειραματική Διάταξη 2

Τα όργανα και οι συσκευές που απαιτούνται για την εκτέλεση του πειράματος, φαίνονται στη συνέχεια.

- Κινητό τηλέφωνο
- Βάση στήριξης
- Μαγνήτης
- Νήμα ή σχοινί

Αρχικά, δένεται το νήμα στη βάση στήριξης με δυνατότητα μεταβολής του μήκους του. Στη συνέχεια, στο κάτω άκρο αυτού και αφού έχει γίνει η εκκίνηση της εφαρμογής Phyrhox στο πείραμα «Μαγνητόμετρο», προσδένεται το κινητό τηλέφωνο. Αφού αφεθεί ελεύθερο και ηρεμήσει στη θέση ισορροπίας του, τοποθετείται στο οριζόντιο δάπεδο ο μαγνήτης, με την ελάχιστη δυνατή απόσταση από το κινητό τηλέφωνο, ώστε να είναι δυνατή η καταγραφή των μετρήσεων. Ο μαγνήτης μεταβάλλει την ένδειξη του μαγνητόμετρου κατά την εκτέλεση ταλαντώσεων. Όσο το κινητό τηλέφωνο βρίσκεται πάνω από το μαγνήτη στη θέση ισορροπίας, η ένδειξη του μαγνητόμετρου είναι η μέγιστη, ενώ όσο το κινητό απομακρύνεται από αυτήν, μειώνεται. Με αυτό τον τρόπο, μπορεί να υπολογιστεί από το γράφημα ο χρόνος που απαιτείται από το κινητό τηλέφωνο να εκτελέσει μια ταλάντωση. Έπειτα, εκτρέπεται το κινητό τηλέφωνο κατά μια μικρή γωνία και αφήνεται να εκτελέσει 20 ταλαντώσεις. Από το γράφημα που εξάγεται από την εφαρμογή Phyrhox, μπορεί να υπολογιστεί ο χρόνος της κάθε ταλάντωσης από τις εξάρσεις και τις βυθίσεις. Δηλαδή για μια ταλάντωση, η διαφορά χρόνου μεταξύ δυο διαδοχικών εξάρσεων, ισούται με την περίοδο της ταλάντωσης. Αφού γίνει μεταβολή του μήκους του νήματος, επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για 10 διαφορετικές τιμές αυτού.

3.8 Πειραματική Διαδικασία 2

- 1) Πρόσδεση νήματος γύρω από σταθερό οριζόντιο άξονα, σύμφωνα με την Εικόνα 3.9.



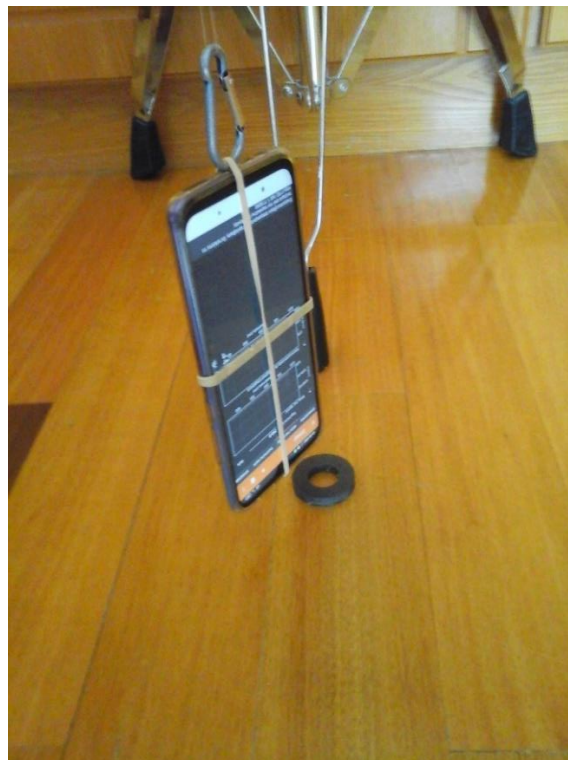
Εικόνα 3.9: Πρόσδεση νήματος σε οριζόντιο βάση

- 2) Στην Εικόνα 3.10, γίνεται τοποθέτηση του κινητού τηλεφώνου στο κάτω άκρο του νήματος.



Εικόνα 3.10: Τοποθέτηση κινητού τηλεφώνου στο άκρο του νήματος

- 3) Τοποθέτηση μαγνήτη σε μικρή απόσταση κάτω από το κινητό τηλέφωνο στη θέση ισορροπίας του, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.11.



Εικόνα 3.11: Τελική πειραματική διάταξη εκκρεμούς

- 4) Έπειτα, μετράται το μήκος του νήματος από το ανώτερο έως το κατώτερο σημείο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.21 και σημειώνεται.



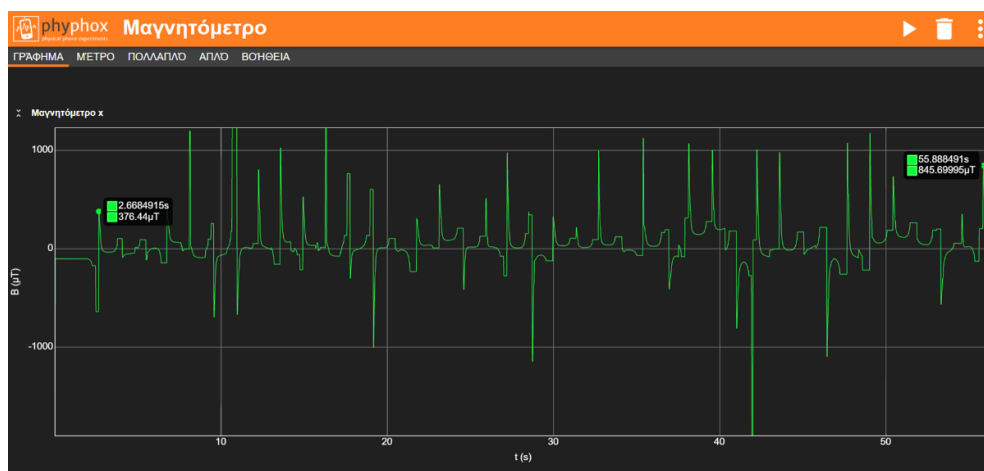
Εικόνα 3.12: Μέτρηση μήκους νήματος εκκρεμούς

- 5) Στη συνέχεια, γίνεται εκτροπή του κινητού τηλεφώνου σε μικρή γωνία και απελευθέρωσή του, σύμφωνα με την Εικόνα 3.13.



Εικόνα 3.13: Εκτροπή κινητού τηλεφώνου

- 6) Τέλος, γίνεται εξαγωγή της γραφικής παράστασης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.14, για μήκος νήματος 1,71 m.



Εικόνα 3.14: Αποτελέσματα μετρήσεων για μήκος νήματος 1,71m

Μεταβάλλοντας το μήκος του νήματος για διάφορες τιμές από 1,50 έως 2 μέτρα, εξάγονται οι γραφικές παραστάσεις του μαγνητόμετρου και υπολογίζεται ο χρόνος. Η χρονική περίοδος που απαιτείται από το κινητό τηλέφωνο να εκτελέσει 20 ταλαντώσεις, υπολογίζεται από τη διαφορά μεταξύ της 20^{ης} και της 1^{ης} μέγιστης ένδειξης του μαγνητικού πεδίου από τα γραφήματα. Έτσι συμπληρώνεται ο Πίνακας 3.2, βάσει του οποίου μπορεί να υπολογιστεί η επιτάχυνση της βαρύτητας.

Πίνακας 3.2: Αποτελέσματα μετρήσεων πειράματος εκκρεμούς

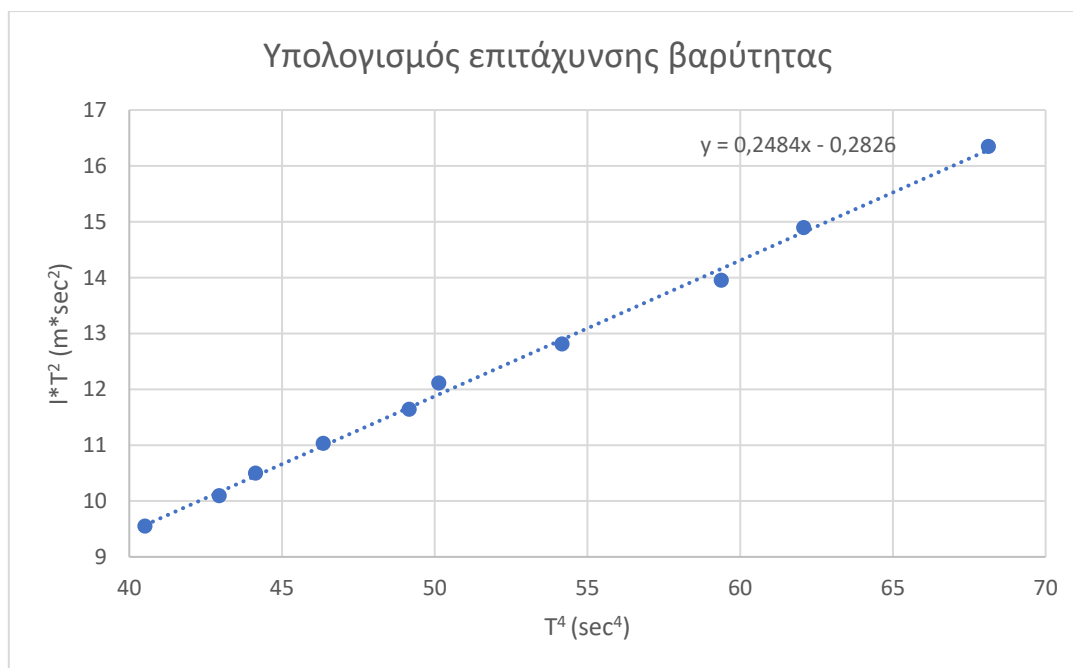
A/A	Μήκος νήματος l (m)	Χρόνος t (sec)
1	1,98	57,46
2	1,89	56,14
3	1,81	55,51
4	1,74	54,26
5	1,71	53,22
6	1,66	52,96
7	1,62	52,18
8	1,58	51,55
9	1,54	51,19
10	1,50	50,45

Για τον υπολογισμό της επιτάχυνσης της βαρύτητας, κρίνεται αναγκαία η συμπλήρωση του Πίνακα 3.3, βάσει του οποίου μπορεί να υπολογιστεί η κλίση της ευθείας θεωρητικά και να συγκριθεί με τα αποτελέσματα της γραφικής παράστασης στη συνέχεια.

Πίνακας 3.3: Επεξεργασία μετρήσεων πειράματος εκκρεμούς

A/A	Μήκος νήματος l (m)	Χρόνος t (sec)	Περίοδος T (sec)	T ² (sec ²)	T ⁴ (sec ⁴)	l*T ² (m*sec ²)	Κλίση
1	1,98	57,46	2,87	8,25	68,13	16,34	0,25
2	1,89	56,14	2,80	7,87	62,08	14,89	
3	1,81	55,52	2,77	7,70	59,38	13,94	
4	1,74	54,26	2,71	7,36	54,17	12,80	
5	1,71	53,22	2,66	7,08	50,13	12,10	
6	1,66	52,96	2,64	7,01	49,16	11,63	
7	1,62	52,19	2,60	6,80	46,35	11,02	
8	1,58	51,55	2,57	6,64	44,13	10,49	
9	1,54	51,20	2,56	6,55	42,94	10,09	
10	1,50	50,46	2,52	6,36	40,51	9,54	
Σύνολο	17,03			71,66	516,98	122,90	

Για τον υπολογισμό της επιτάχυνσης της βαρύτητας, σχεδιάζεται το γράφημα που απεικονίζει το γινόμενο του τετραγώνου της περιόδου της ταλάντωσης με το μήκος του νήματος στον άξονα των y και το τετράγωνο του τετραγώνου της περιόδου στον άξονα x, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.15. Με τη βοήθεια της κλίσης της καμπύλης του Πίνακα 3.3 και του Γραφήματος 3.2, μπορεί να υπολογιστεί η επιτάχυνση της βαρύτητας και να συγκριθεί με την αντίστοιχη θεωρητική.



Εικόνα 3.15: Γράφημα υπολογισμού επιτάχυνσης βαρύτητας μέσω της γωνίας κλίσης

Όπως προαναφέρθηκε στη θεωρία, η επιτάχυνση της βαρύτητας από τη σχέση (3,5) υπολογίζεται ως:

$$g = 4 * \pi^2 * κλίση(\alpha) \Leftrightarrow g = 4 * \pi^2 * 0,2484 \text{ m/sec}^2 \Leftrightarrow g = 9,8064 \text{ m/sec}^2$$

Συγκριτικά με την πραγματική επιτάχυνση της βαρύτητας, η οποία είναι $g = 9,80665 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$,

η απόκλιση που προκύπτει είναι: $\text{απόκλιση} = \frac{|\text{θεωρητική Τιμή} - \text{Πειραματική Τιμή}|}{\text{θεωρητική Τιμή}} * 100\% \Leftrightarrow$

$$\Leftrightarrow \text{απόκλιση} = \frac{|9,80665 - 9,8064|}{9,80665} * 100\% \Leftrightarrow \text{απόκλιση} = 0,034\%$$

3.9 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα

Η απόκλιση που υπολογίστηκε οφείλεται σε παράγοντες οι οποίοι αναλύονται στη συνέχεια.

- Κατά την εκτέλεση του πειράματος, το σφάλμα του ανθρώπινου παράγοντα παρεισέργεται, το οποίο όμως έχει μειωθεί σημαντικά, αφού για τον υπολογισμό του χρόνου των ταλαντώσεων, χρησιμοποιήθηκε ο μαγνήτης. Παρ' όλα αυτά, κατά τη μέτρηση του μήκους του νήματος, ο άνθρωπος παράγοντας υπάρχει και δε μπορεί να θεωρηθεί αμελητέος.
- Παράλληλα, ο μαγνήτης αλληλεπιδρά με το κινητό τηλέφωνο. Κατά την κίνηση του εκκρεμούς, μεταβάλλεται ανεπαίσθητα η παλινδρόμησή του, αφού τα μαγνητικά πεδία των δυο αυτών αντικειμένων αλληλεπιδρούν, όταν βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους.
- Να σημειωθεί πως κατά την εκτέλεση του δεύτερου πειράματος, έγινε η επιλογή του μαγνήτη, διότι η εφαρμογή Phyphox, δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να υπολογίζει τον απαιτούμενο χρόνο των ταλαντώσεων, σύμφωνα με τις εξάρσεις και τις βυθίσεις του διαγράμματος. Δηλαδή, για τις 20 ταλαντώσεις υπολογίστηκε ο χρόνος μεταξύ της 1^{ης} και 20^{ης} έξαρσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - Υπολογισμός Ταχύτητας του Ήχου με Γεννήτρια Συχνοτήτων

4.1 Σκοπός

Σκοπός του πειράματος είναι η μέτρηση της ταχύτητας του ήχου σε ξηρό αέρα, με τη χρήση δυο κινητών τηλεφώνων. Με την εκτέλεση του, γίνεται εφικτός ο προσδιορισμός της ταχύτητας του ήχου και η σύγκριση αυτού με την θεωρητική.

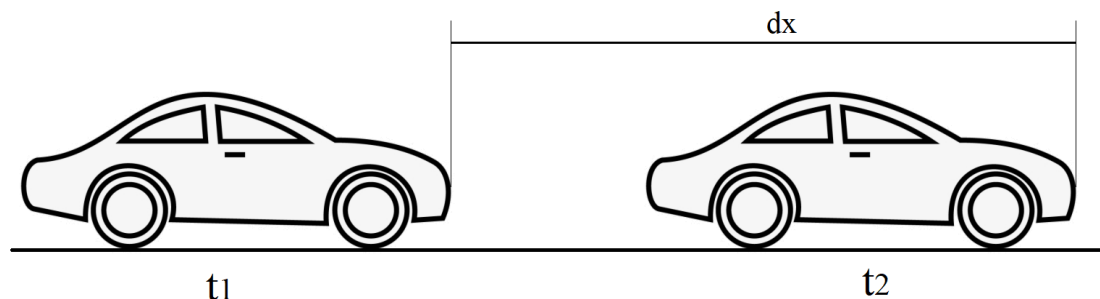
4.2 Ιστορική Αναδρομή

Η πρώτες αναφορές περί μελέτης του ήχου ξεκινούν από την αρχαία Ελλάδα. Ο Πυθαγόρας (570-497 πΧ) ήταν ο πρώτος ο οποίος διατύπωσε την άποψή του πως ο ήχος δημιουργείται από ταλαντευόμενα σωματίδια, ενώ τον χρησιμοποίησε για θεραπευτικούς σκοπούς μέσω συχνοτήτων. Παράλληλα, ήταν ο πρώτος στον κόσμο ο οποίος ασχολήθηκε με τη μουσική, χωρίζοντας τις νότες σε μισά και σε τέταρτα. [4.1] Μερικά χρόνια αργότερα, ο Αριστοτέλης (384-322 πΧ) εξέφρασε την άποψη πως η διάδοση του ήχου γίνεται με κύματα, ενώ όρισε πως προκειμένου να προκληθεί ο ήχος απαιτείται μια ηχητική πηγή, η οποία προκαλεί τον ήχο μέσω δονήσεων σπρώχνοντας τον αέρα, με σκοπό την αναλλοίωτη μετάδοση του σε ορισμένη απόσταση, η οποία είναι ανάλογη με τη διάρκεια της διαταραχής. [4.2] Ο ίδιος πίστευε πως οι υψηλότερες συχνότητες ταξιδεύουν ταχύτερα από τις χαμηλότερες, ενώ στην πραγματικότητα στο ίδιο μέσο όλα τα μήκη κύματος ταξιδεύουν με την ίδια ταχύτητα.

Το 1635 έγινε η πρώτη απόπειρα υπολογισμού της ταχύτητας του ήχου στον αέρα, από τον Γάλλο Pierre Gassendi. [4.3] Αυτός, θεωρώντας πως η ταχύτητα του φωτός συγκριτικά με την ταχύτητα του ήχου είναι απείρως μεγαλύτερη, μέτρησε σε μια καθαρή μέρα τη χρονική καθυστέρηση που προκύπτει από τη λάμψη που προκαλείται με την εκπυρσοκρότηση ενός όπλου και την ακοή του. Έτσι κατέληξε στο αποτέλεσμα ότι η ταχύτητα του ήχου ισούται με $478,4 \text{ m/sec}$ το οποίο αν και έχει απόκλιση από την πραγματική τιμή, υπολογίστηκε με τις σωστές παραδοχές. Το 1656 οι φυσικοί Giovanni Alfonso Borelli και ο Vincenzo Viviani χρησιμοποιώντας την ίδια τεχνική κατέληξαν στην τιμή των 350 m/sec η οποία είναι πολύ πιο κοντά στην πραγματική ταχύτητα του ήχου. [4.4] Σε συνέχεια του πειράματος των παραπάνω, το 1740 ο συμπατριώτης τους Giovanni Ludovico Bianconi απέδειξε πειραματικά πως με την αύξηση της θερμοκρασίας, αυξάνεται η ταχύτητα του ήχου στον αέρα. [4.5] Σημαντική μορφή στον υπολογισμό της ταχύτητας, είναι ο Isaac Newton, ο οποίος το 1686 την υπολόγισε ίση με 298 m/sec χρησιμοποιώντας ένα εκρεμμές και μετρώντας το χρόνο που χρειάζεται η ηχώ να επιστρέψει σε αυτό. [4.6] Ο ίδιος υποστήριξε πως τα ηχητικά κύματα είναι ισοθερμικά, ενώ το 1816 ο γάλλος μαθηματικός Pierre – Simon Laplace διόρθωσε τη θεωρία του Isaac Newton, εισάγοντας την ιδέα πως η διαδικασία είναι αδιαβατική.

4.3 Θεωρία

Έστω κινητό αντικείμενο το οποίο κινείται με σταθερή ταχύτητα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1. Ως ταχύτητα ενός σώματος (u), ορίζεται ο ρυθμός μεταβολής της θέσης αυτού ως προς τον χρόνο, δηλαδή πόσο διάστημα διανύει (dx) στη μονάδα του χρόνου (dt), όπου ο χρόνος dt υπολογίζεται ως η διαφορά $t_2 - t_1$.



Εικόνα 4.1: Σχηματική αναπαράσταση κινητού αντικειμένου

Στη μηχανική των ρευστών, η ταχύτητα του ήχου ορίζεται ως η απόσταση η οποία διανύεται από ένα ηχητικό κύμα προς τον χρόνο που χρειάστηκε ώστε να μεταδοθεί η διαταραχή αυτή. Σημαντικοί παράγοντες οι οποίοι την επηρεάζουν είναι η θερμοκρασία και το μέσο στο οποίο διαδίδεται, ενώ σε μικρότερη κλίμακα εξαρτάται και από παράγοντες όπως η συχνότητα και η πίεση. Αξίζει να σημειωθεί πως οι χαμηλές συχνότητες ταξιδεύουν πιο μακριά σε σχέση με τις υψηλές συχνότητες στο ίδιο μέσο, καθώς υπάρχει μικρότερη μεταφορά ενέργειας σε αυτό. Η ταχύτητα του ήχου στον αέρα και στους 20°C είναι περίπου ίση με 343 m/sec . [4.7] Άλλα μέσα, στα οποία μπορεί να διαδοθεί το ηχητικό κύμα είναι τα υγρά και τα στερεά. Συγκρίνοντας την ταχύτητα του ήχου στα τρία αυτά μέσα, προκύπτει πως στα αέρια ο ήχος μεταδίδεται πιο αργά από τα άλλα δυο, ενώ στα στερεά μεταδίδεται πιο γρήγορα. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως στην θάλασσα μπορεί κανείς να ακούσει τον κινητήρα μιας βάρκας σε μεγάλη απόσταση πιο εύκολα, παρά στον αέρα, αφού η ταχύτητα αυτού στο νερό είναι περίπου 4,3 φορές μεγαλύτερη. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό, είναι διότι όταν τα μόρια του μέσου στο οποίο γίνεται η μετάδοση του κύματος είναι πιο πυκνά, η ταλάντωση δυο διαδοχικών μορίων εκτελείται γρηγορότερα. Στο κενό ο ήχος δε μπορεί να διαδοθεί καθώς δεν υπάρχουν μόρια τα οποία μπορούν να υποστούν ταλάντωση και να λειτουργήσουν ως μέσο διάδοσης του.

Η ταχύτητα του ήχου μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μέτρο σύγκρισης, όπως για παράδειγμα ο αριθμός Mach, ο οποίος εκφράζει την ταχύτητα ενός αντικειμένου προς την ταχύτητα του ήχου. Όταν ο αριθμός Mach είναι μικρότερος της μονάδας το αντικείμενο λέγεται ότι κινείται με υποηχητική ταχύτητα, ενώ όταν είναι μεγαλύτερος της μονάδας, κινείται με υπερηχητική ταχύτητα. Σημαντικό μέγεθος που χαρακτηρίζει τον ήχο, είναι το μήκος κύματος. Ως μήκος κύματος (λ), ορίζεται η απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών ορέων ή κοιλάδων ενός κύματος. Αυτό, μπορεί να χαρακτηρίσει οποιοδήποτε κύμα το οποίο διαδίδεται με ορισμένη συχνότητα και ανάλογα με το μέγεθος αυτής, χαρακτηρίζεται το μήκος κύματος, το οποίο είναι αντιστρόφως ανάλογο της συχνότητας. Συνεπώς με την αύξηση της συχνότητας, μειώνεται το μήκος κύματος, ενώ η σχέση που τα συνδέει είναι η $f = \frac{u}{\lambda}$ (4.1), όπου u είναι η ταχύτητα διάδοσης του κύματος σε ένα μέσο και ανάλογα με το μέσο αυτό, μεταβάλλεται η ταχύτητα διάδοσης του κύματος. Χαρακτηριστικά, στο νερό η ταχύτητα του ήχου είναι ίση με 1480 m/sec , ενώ στο ξύλο είναι 3300 m/sec . Σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν το μήκος κύματος είναι η πίεση και η θερμοκρασία του μέσου στο οποίο γίνεται η διάδοσή του. [4.8]

4.4 Πειραματική Διάταξη

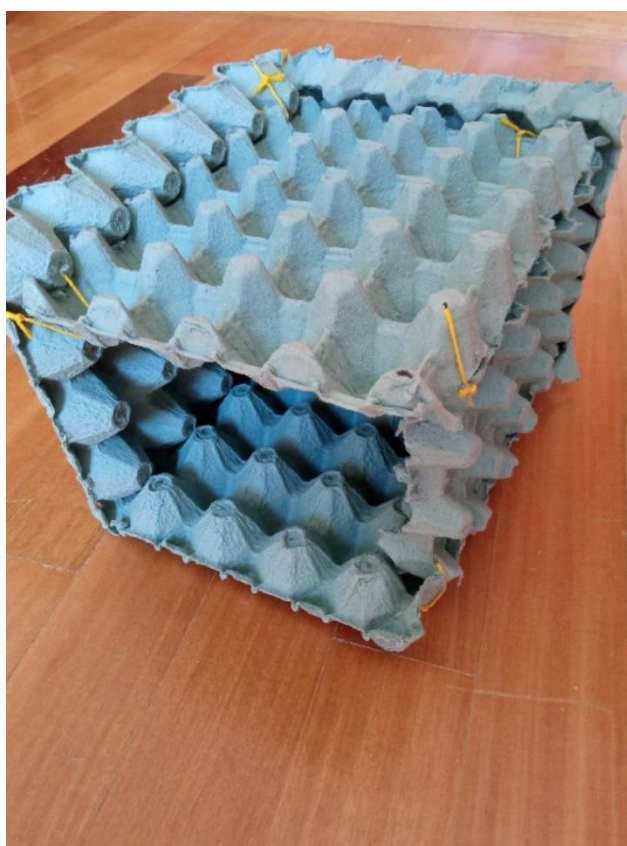
Για την εκτέλεση του πειράματος είναι απαραίτητη η χρήση των κάτωθι οργάνων και συσκευών:

- 2 κινητά τηλέφωνα
- Ηχομονωτικό κουτί
- Βάση ανύψωσης κινητού τηλεφώνου

Αρχικά, εκκινείται η εφαρμογή Phyrhox και επιλέγεται το πείραμα «Γεννήτρια συχνοτήτων» στο ένα κινητό τηλέφωνο. Αφού συνδεθεί με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, τοποθετείται μέσα σε ηχομονωτικό κουτί, προκειμένου να μειώνονται οι εξωτερικοί θόρυβοι. Το ηχομονωτικό κουτί είναι κατασκευασμένο από χάρτινες θήκες αυγών, οι οποίες εκτός από οικονομικές, είναι αρκετά αποδοτικές στη μείωση των θορύβων του περιβάλλοντος. Στη συνέχεια, γίνεται εκκίνηση της εφαρμογής Phyrhox στο δεύτερο κινητό τηλέφωνο, και επιλέγεται το πείραμα «Συχνότητα Ήχου». Αυτό αφήνεται αντικρυστά και σε μικρή απόσταση από το άλλο κινητό, προκειμένου το ένα να παράγει το ηχητικό κύμα και το άλλο να το ανιχνεύει. Επιλέγεται μια συχνότητα που παράγεται από το κινητό – πηγή το οποίο βρίσκεται μέσα στο κουτί και αυτή ανιχνεύεται από το άλλο κινητό τηλέφωνο. Σημειώνεται η συχνότητα η οποία παράγεται και η συχνότητα η οποία ανιχνεύεται. Τέλος, επαναλαμβάνεται το πείραμα μεταβάλλοντας τη συχνότητα του κινητού – πηγής και σημειώνονται τα αποτελέσματα.

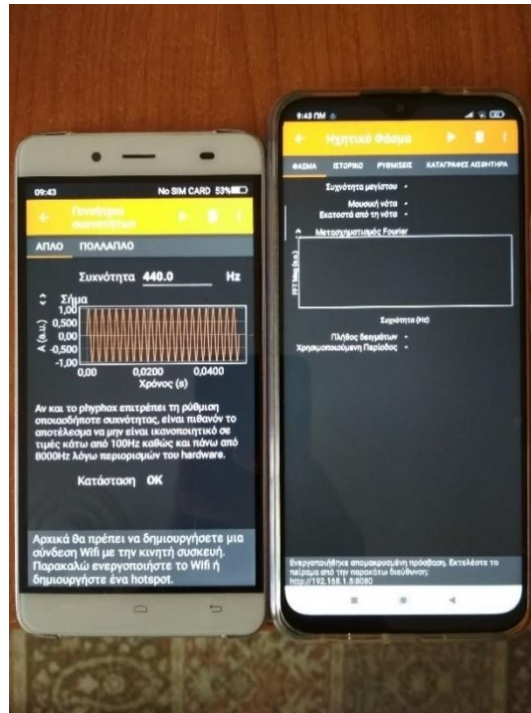
4.5 Πειραματική Διαδικασία

- 1) Στην Εικόνα 4.2 φαίνεται η κατασκευή του ηχομονωτικού κουτιού, η οποία έγινε από θήκες αυγών, οι οποίες είναι τόσο φθηνές, όσο και αποδοτικές.



Εικόνα 4.2: Ηχομονωτικό κουτί

- 2) Γίνεται εκκίνηση της εφαρμογής Rhyrhox και στις δυο συσκευές και επιλέγονται τα πειράματα «Γεννήτρια Συχνοτήτων» και «Ηχητικό Φάσμα», σύμφωνα με την Εικόνα 4.3.



Εικόνα 4.3: Εκκίνηση εφαρμογής Rhyrhox στα δυο κινητά τηλέφωνα

- 3) Στην Εικόνα 4.4 φαίνεται η τοποθέτηση του κινητού τηλεφώνου το οποίο θα χρησιμοποιηθεί σαν πηγή, στο κέντρο του ηχομονωτικού κουτιού.



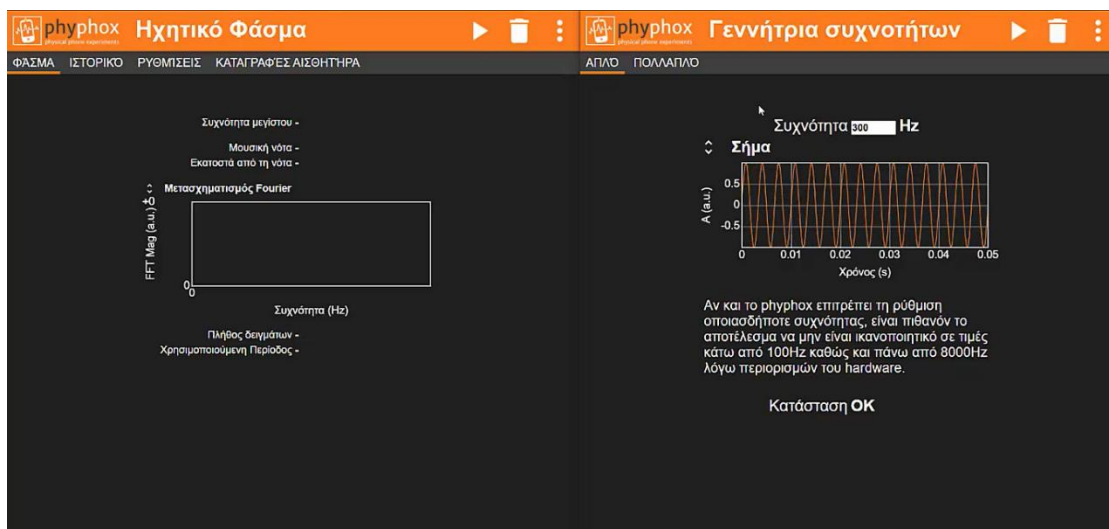
Εικόνα 4.4: Τοποθέτηση κινητού τηλεφώνου μέσα στο ηχομονωτικό κουτί

- 4) Τοποθέτηση του δεύτερου κινητού τηλεφώνου σε μικρή απόσταση αντικρουστά, με τέτοιο τρόπο ώστε τα ηχεία των δυο κινητών τηλεφώνων να προβάλλουν το ένα το άλλο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.5.



Εικόνα 4.5: Τελική πειραματική διάταξη μέτρησης ταχύτητας ήχου

- 5) Παράγεται μια συχνότητα από την ηχητική πηγή, η οποία ανιχνεύεται από το δεύτερο κινητό τηλέφωνο μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή σύμφωνα με την Εικόνα 4.6 και στη συνέχεια σημειώνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων.



Εικόνα 4.6: Εκτέλεση πειράματος υπολογισμού ταχύτητας ήχου

Αφού σημειωθούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων του πειράματος, γίνεται μεταβολή της συχνότητας της πηγής και σημειώνονται οι ενδείξεις του δεύτερου κινητού τηλεφώνου. Στον Πίνακα 4.1 φαίνονται οι μετρήσεις, όπου Πραγματική Συχνότητα είναι η συχνότητα που παράγεται από το κινητό τηλέφωνο που βρίσκεται μέσα στο ηχομονωτικό κουτί, και Μετρούμενη Συχνότητα, είναι η συχνότητα που εμφανίζει το κινητό τηλέφωνο που βρίσκεται έξω από αυτό και λειτουργεί ως δέκτης.

Πίνακας 4.1: Αποτελέσματα μετρήσεων πειράματος ταχύτητας ήχου

A/A	Πραγματική Συχνότητα $f_{\text{πραγμ}}$ (Hz)	Μετρούμενη Συχνότητα $f_{\text{μετρ}}$ (Hz)	Σφάλμα επί τοις εκατό %
1	300	299,94	0,020
2	350	349,87	0,037
3	400	399,92	0,020
4	450	450,08	0,018
5	500	499,90	0,020
6	550	549,71	0,053
7	600	599,88	0,020
8	650	649,98	0,003
9	700	700,19	0,027

Χρησιμοποιώντας τη σχέση (4,1) με ταχύτητα ήχου $u_{\text{ήχου}} = 343 \text{ m/sec}$ υπολογίζεται το μήκος κύματος της πραγματικής συχνότητας και το αντίστροφο αυτού. Για συχνότητα $f_{\text{πραγμ}} = 300 \text{ Hz}$ προκύπτει:

$$f = \frac{u_{\text{ήχου}}}{\lambda} \Leftrightarrow \lambda = \frac{u_{\text{ήχου}}}{f} \Leftrightarrow \lambda = \frac{343}{300} \Leftrightarrow \lambda = 1,1433 \text{ m}$$

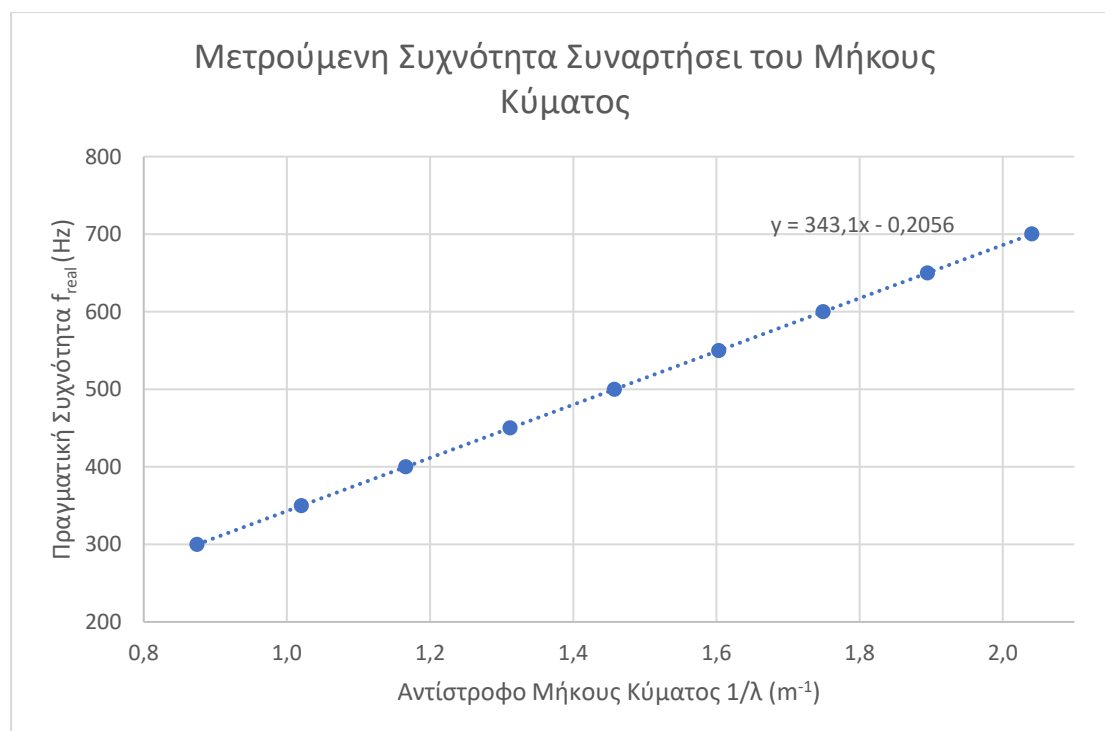
, ενώ το αντίστροφο του μήκους κύματος ισούται με: $\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1,1433} = 0,874636$.

Με τη βοήθεια του προγράμματος Excel γίνεται η επεξεργασία των μετρήσεων, οι οποίες φαίνονται στον Πίνακα 4.2. Με τη βοήθεια του πίνακα αυτού σχεδιάζεται η γραφική παράσταση, σύμφωνα με την οποία υπολογίζεται η ταχύτητα του ήχου.

Πίνακας 4.2: Επεξεργασία αποτελεσμάτων πειράματος ταχύτητας ήχου

A/A	Πραγματικό Μήκος Κύματος $\lambda_{\text{πραγμ}}$ (m)	Αντίστροφο Μήκους Κύματος $1/\lambda_{\text{πραγμ}}$ (1/m)
1	1,143	0,875
2	0,980	1,020
3	0,858	1,166
4	0,762	1,312
5	0,686	1,458
6	0,624	1,603
7	0,572	1,749
8	0,528	1,895
9	0,490	2,041

Από τον Πίνακα 4.2, και με τη βοήθεια του προγράμματος Excel, μπορεί να σχεδιαστεί η γραφική παράσταση μεταξύ των δυο τιμών που υπολογίστηκαν. Στην Εικόνα 4.7, φαίνεται η ευθεία που χαρακτηρίζει τη μετρούμενη συχνότητα συναρτήσει του μήκους κύματος, βάσει της οποίας μπορεί να υπολογιστεί η πειραματική ταχύτητα του ήχου.



Εικόνα 4.7: Γραφική παράσταση αντίστροφου μήκους κύματος συναρτήσει πραγματικής συχνότητας

Η εξίσωση της ευθείας είναι της μορφής $y = a * x + \beta$, όπου η κλίση της ευθείας a ισούται με την ταχύτητα του ήχου, αφού:

$$\text{κλίση} = \frac{f}{\frac{1}{\lambda}} \Leftrightarrow \text{κλίση} = f * \lambda \Leftrightarrow \text{κλίση} = u_{\text{ήχου}}$$

Συνεπώς η πειραματική ταχύτητα του ήχου είναι $u_{\text{ήχου}} = 343,100 \text{ m/sec}$.

Συγκριτικά με την πραγματική ταχύτητα του ήχου, η οποία είναι $u = 343 \frac{m}{sec}$,

η απόκλιση που προκύπτει είναι: $\text{απόκλιση} = \frac{|\text{Θεωρητική Τιμή} - \text{Πειραματική Τιμή}|}{\text{Θεωρητική Τιμή}} * 100\% \Leftrightarrow$

$$\Leftrightarrow \text{απόκλιση} = \frac{|343 - 343,100|}{343} * 100\% \Leftrightarrow \text{απόκλιση} = 0,029\%$$

4.6 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα

Οι λόγοι για τους οποίους υπάρχει αυτή η απόκλιση μεταξύ πειραματικής και θεωρητικής ταχύτητας του ήχου, απορρέουν από κάποιους παράγοντες οι οποίοι αναλύονται στη συνέχεια.

- Η έλλειψη ιδανικών συνθηκών στις οποίες πραγματοποιείται το πείραμα, καθώς δεν μπορούν να ελεγχθούν πλήρως. Όπως αναφέρθηκε και στη θεωρία, η θερμοκρασία του μέσου μετάδοσης επηρεάζει σημαντικά την ταχύτητα του ήχου. Σαφώς, έγινε προσπάθεια να ελεγχθούν οι συνθήκες κάτω από τις οποίες διεξήχθει το πείραμα και η θερμοκρασία να μείνει σταθερή περί των 20°C. Για τους εξωτερικούς ήχους οι οποίοι μπορεί να προκλήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος, έγινε μια μικρή αύξηση του κατωφλίου ενεργοποίησης των χρονομέτρων για την αποφυγή της ανεπιθύμητης ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης αυτών.
- Επίσης το σφάλμα των αισθητηρίων οργάνων του κινητού τηλεφώνου μπορεί να είναι μικρό, όμως σε πειράματα τα οποία απαιτούν μεγάλη ακρίβεια θα υπάρξει απόκλιση στο αποτέλεσμα. Παρ' όλα αυτά όμως, η απόκλιση που υπολογίστηκε είναι μικρή και αποδεκτή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - Υπολογισμός Σταθεράς Ελατηρίου

5.1 Σκοπός

Ο στόχος του πειράματος αυτού, είναι ο υπολογισμός της σταθεράς ελατηρίου και η σύγκριση αυτής με την θεωρητική τιμή της.

5.2 Ιστορική Αναδρομή

Το ελατήριο έχει χρησιμοποιηθεί από τα παλιά χρόνια και βρίσκει χρήση σε ποικίλες εφαρμογές. Το βασικό χαρακτηριστικό αυτού είναι η ελαστικότητα, δηλαδή το γεγονός πως μπορεί να επανέλθει στο αρχικό του μήκος με την παύση της επιβολής μιας δύναμης. Μια χρήση των ελαστικών αντικειμένων, η οποία χρονολογείται πολλά χρόνια πριν και υπάρχει ακόμα και σήμερα, είναι το τόξο. Από στοιχεία τα οποία βρέθηκαν σε σπηλιές της Νοτίου Αφρικής, μαρτυρούν πως τα πρώτα βέλη εμφανίστηκαν πριν από 72.000 έως 60.000 χρόνια, εύρημα το οποίο δείχνει την ύπαρξη τόξων. [5.1] Κατά την εποχή του χαλκού, η ελαστικότητα των υλικών βρήκε εφαρμογή σε αντικείμενα περιποίησης των γυναικών, τα οποία δεν έχουν τροποποιηθεί σημαντικά μέχρι και σήμερα. Το 1333 πΧ εξελίχθηκε ένα είδος άρματος, το οποίο στους τροχούς του είχε εγκατασταθεί ένα είδος ανάρτησης, προκειμένου να απορροφά τους κραδασμούς κατά τη ρυμούλκηση αυτού. [5.2] Το σύστημα αυτό χρησιμοποιήθηκε σημαντικά από τους Αιγύπτιους, ενώ κατά τη Ρωμαϊκή εποχή τα ελατήρια με σούστα έπαιξαν το ρόλο της ανάρτησης στα άρματα, τα οποία αποτελούνταν από ένα σύνολο οριζόντιων πλακών κατασκευασμένες συνήθως από σίδηρο. Βασικό μειονέκτημα της σούστας είναι πως απαιτείται συχνή λίπανση των μερών που την απαρτίζουν.

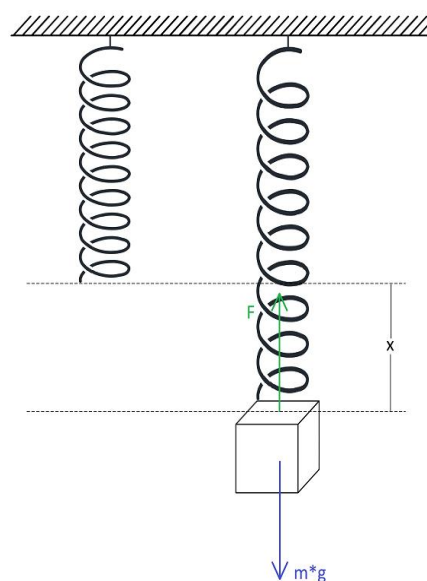
Αρκετούς αιώνες αργότερα κατά την εποχή της Αναγέννησης στα τέλη του 15^ο αιώνα μΧ, ο Ιταλός επιστήμονας Leonardo da Vinci, γνωστός για τη συνεισφορά του στην αστρονομία, τη ζωγραφική και τα μαθηματικά, δημιούργησε ένα ελατήριο το οποίο χρησιμοποιήθηκε στα όπλα. [5.1] Αυτό, επέτρεψε στα πιστόλια της εποχής να κρατούνται πλέον με το ένα χέρι, κάτι το οποίο αποτέλεσε επανάσταση για τα τότε δεδομένα. Το 1763 ο R. Tradwell ήταν ο πρώτος ο οποίος εφηύρε το σπειρωειδές ελατήριο όπως είναι γνωστό στις μέρες μας, το οποίο δε χρειάζονταν λίπανση, όπως η προαναφερθείσα σούστα. Μερικά χρόνια αργότερα, αυτά χρησιμοποιήθηκαν στις καρέκλες, στα στρώματα και στα ρολόγια, ενώ σήμερα οι εφαρμογές αυτών έχουν επεκταθεί.

5.3 Θεωρία

Ως ελατήριο μπορεί να θεωρηθεί το εξάρτημα το οποίο έχει την ικανότητα υπό την επίδραση μιας εξωτερικής δύναμης (F) να αποθηκεύσει μηχανική ενέργεια, την οποία μπορεί να απελευθερώσει ως κινητική, όταν παύσει να δρα πάνω του η εξωτερική αυτή δύναμη. Τα είδη των ελατηρίων είναι ποικίλα αναλόγως με την εφαρμογή τους, ενώ αυτά συνήθως είναι κατασκευασμένα από χάλυβα. Μερικές κατηγορίες αυτών είναι τα ελατήρια στρέψης, συμπίεσης, τάσης, εφελκυσμού και κλίσης, με τις βασικότερες αυτών να είναι τα ελατήρια συμπίεσης και στρέψης. Σύμφωνα με τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα, όταν σε ένα σώμα ασκείται μια δύναμη, τότε και το σώμα θα ασκήσει δύναμη με το ίδιο μέτρο, αλλά με αντίθετη φορά της αρχικής. Συνεπώς για την πρώτη κατηγορία, όταν ένα ελατήριο συμπιέζεται ή τεντώνεται από τη θέση ηρεμίας του, με την επίδραση μιας εξωτερικής δύναμης, τότε και αυτό ασκεί την ίδια αλλά αντίθετη δύναμη από αυτή.

Η βασική έννοια η οποία κρίνεται αναγκαίο να οριστεί, είναι η σταθερά του ελατηρίου (k). Αυτή ορίζεται ως το πηλίκο της δύναμης που ασκείται σε αυτό, ή αλλιώς η κλίση της καμπύλης της δύναμης, προς την εκτροπή αυτού και έχει ως συνήθη μονάδα μέτρησης το N/m . Η δεύτερη κατηγορία ελατηρίων στρέψης, είναι αυτά που παράγουν ροπή και λειτουργούν περιστρεφόμενα γύρω από τον άξονά τους. Αυτά παράγουν ροπή ανάλογη της γωνίας στρέψης, στην προσπάθειά τους να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση. Τα ελατήρια συμπίεσης έχουν πιο συχνή εφαρμογή από τα ελατήρια στρέψης, χωρίς όμως να καθιστούν τα δεύτερα δύσχηστα. Στη μελέτη των ελατηρίων συνέβαλε σημαντικά ο Άγγλος φυσικός και αρχιτέκτονας Robert Hooke, ο οποίος το 1676 διατύπωσε την αρχή στην οποία υπακούουν τα ελατήρια που δέχονται μη μόνιμη παραμόρφωση. [5.3] Η αρχή αυτή ονομάστηκε «Νόμος του Hooke» προς τιμήν του ίδιου και μπορεί να συνδεθεί άμεσα με τον δεύτερο νόμο του Νεύτωνα. Σύμφωνα με αυτόν, η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται σε ένα σώμα ισούται με το ρυθμό μεταβολής της ορμής του σώματος ή αλλιώς ισούται με το γινόμενο της μάζας του επί την επιτάχυνση που αποκτά.

Έστω ελατήριο με σταθερά k το οποίο κρέμεται από σταθερό σημείο (Εικόνα 5.1). Η θέση αυτή στην οποία το ελατήριο ηρεμεί χωρίς την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων καλείται αρχική θέση του ελατηρίου. Όταν στο κάτω μέρος αυτού προσδεθεί σώμα μάζας m , τότε αυτό μετατοπίζεται κατακόρυφα προς τα κάτω κατά μια απόσταση x , η οποία εξαρτάται τόσο από τη μάζα m , όσο και από τη σταθερά k . Αφήνοντας το σύστημα ελατήριο – μάζα να ηρεμήσει, προκύπτει μια δύναμη F η οποία είναι ίση με το γινόμενο $m \cdot g$, αλλά έχει αντίθετη κατεύθυνση προς αυτή. Η θέση αυτή καλείται θέση ισορροπίας του συστήματος και στην περίπτωση που το σώμα απελευθερωθεί από το ελατήριο, αυτό λόγω της δύναμης F θα τείνει να επιστρέψει στην αρχική του θέση. Η σχέση η οποία συνδέει τα παραπάνω ονομάζεται νόμος του Hooke και ισχύει



Εικόνα 5.1: Σχεδιάγραμμα ελατηρίου

$$F = -k * x \Leftrightarrow m * g = -k * x \quad (5,1)$$

Έστω το παραπάνω σύστημα μάζας – ελατηρίου, το οποίο μετατοπίζεται περαιτέρω κατά μια απόσταση x_1 προς τα κάτω, με την επίδραση μιας εξωτερικής δύναμης. Αν αφηθεί ελεύθερο να κινηθεί, τότε αυτό θα εκτελέσει Απλή Αρμονική Ταλάντωση γύρω από τη θέση ισορροπίας του με πλάτος ταλάντωσης όσο η μετατόπιση x_1 . Ως πλάτος ταλάντωσης (A) ονομάζεται η μετατόπιση x_1 για την οποία ισχύει η γενική εξίσωση της απλής αρμονικής ταλάντωσης $x_1(t) = A * \cos(\omega * t)$. Στη θέση ισορροπίας του συστήματος, το σώμα θα διέρχεται με τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα, για την οποία θα ισχύει ότι $u_{max} = \omega * A$, ενώ στις ακραίες θέσεις, το σώμα θα αποκτά μηδενική ταχύτητα, αντιστρέφοντας τη διεύθυνση κίνησής του. Περίοδος ταλάντωσης (T) είναι ο χρόνος τον οποίο χρειάζεται το σύστημα να επανέλθει στην αρχική του θέση από την οποία ξεκίνησε να κινείται και με το διάστημα της ταχύτητάς του να έχει ίδια κατεύθυνση με το αρχικό. Με την προϋπόθεση ότι η κίνηση του ελατηρίου γίνεται υπό ιδανικές συνθήκες, αυτό θα εκτελέσει αμείωτη ταλάντωση με σταθερή περίοδο.

Στην περίπτωση αυτή για την περίοδο ισχύει η σχέση

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Παράλληλα, από το νόμο του Hooke για τη δύναμη F θα ισχύει:

$$F = -k(x + x_1),$$

ενώ εισάγοντας το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα ή θεμελιώδη νόμο της Μηχανικής προκύπτει:

$$\Sigma F = m * a \Leftrightarrow F - m * g = m * a \Leftrightarrow -k(x + x_1) - m * g = m * a \Leftrightarrow -k * x - k * x_1 - m * g = m * a \Leftrightarrow (6,1) \Leftrightarrow -k * x - k * x_1 - (-k * x) = m * a \Leftrightarrow -k * x_1 = m * a$$

Η σχέση αυτή ονομάζεται εξίσωση απλής αρμονικής ταλάντωσης και ισχύει για ιδανικές συνθήκες. Πειραματικά κρίνεται αναγκαίο να γίνει μια προσέγγιση στην πραγματική σχέση των μεγεθών, καθώς προστίθεται και η μάζα του ελατηρίου. Συνεπώς, για δεδομένη μάζα ελατηρίου ($m_{ελ}$) μια πιο σωστά προσεγγιστική σχέση για την περίοδο της ταλάντωσης είναι η

$$T = 2 * \pi * \sqrt{\frac{m + \frac{m_{ελ}}{3}}{k}}$$

Λύνοντας την παραπάνω σχέση ως προς τη σταθερά ελατηρίου k γίνεται:

$$T^2 = 4 * \pi^2 * \frac{m + \frac{m_{ελ}}{3}}{k} \Leftrightarrow k = \frac{4 * \pi^2 * (m + \frac{m_{ελ}}{3})}{T^2} \quad (5,2)$$

5.4 Πειραματική Διάταξη

Τα όργανα και οι συσκευές που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση του πειράματος, παρουσιάζονται στη συνέχεια.

- Ελατήριο
- Σταθερή βάση στήριξης ελατηρίου
- Κινητό τηλέφωνο
- Διάφορες μάζες
- Επιφάνεια τοποθέτησης μαζών και κινητού
- Ζυγαριά ακριβείας

Το πείραμα ξεκινά με τη στήριξη του ελατηρίου στην οριζόντια βάση και στο κάτω μέρος αυτού προσδένεται η επιφάνεια τοποθέτησης μαζών. Στη συνέχεια επιλέγονται 10 μάζες, οι οποίες πρόκειται να τοποθετηθούν στην οριζόντια επιφάνεια, η μάζα των οποίων μετράται με τη ζυγαριά ακριβείας. Προς διευκόλυνση, αυτές προτιμάται να είναι ίδιου βάρους και όσο το δυνατόν πανομοιότυπες μεταξύ τους, προς αποφυγή σφάλματος. Εκτός από τις εκάστοτε μάζες, με τη ζυγαριά ακριβείας, ζυγίζονται το κινητό τηλέφωνο και η επιφάνεια τοποθέτησης των μαζών, προκειμένου να υπολογιστεί το απόβαρο των αντικειμένων που θα ασκούν δύναμη στο ελατήριο. Στη συνέχεια και αφού βεβαιωθεί η σταθερότητα του κινητού τηλεφώνου στην επιφάνεια, γίνεται εκκίνηση της εφαρμογής Phyrhox και επιλογή του πειράματος «Ελατήριο», ενώ για μεγαλύτερη ευκολία διεξαγωγής του πειράματος η εφαρμογή συνδέεται με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω απομακρυσμένης πρόσβασης. Έπειτα, τοποθετείται η πρώτη μάζα πάνω στην επιφάνεια, μετράται η κάθετη μετατόπιση του ελατηρίου και ασκώντας μια κάθετη δύναμη, αφήνεται το σύστημα να κινηθεί ελεύθερο. Αφού εκτελέσει έναν αριθμό ταλαντώσεων, έως ότου η ένδειξη της περιόδου στον ηλεκτρονικό υπολογιστή σταθεροποιηθεί. Η τιμή αυτή σημειώνεται παράλληλα με το βάρος το οποίο τοποθετήθηκε στην επιφάνεια. Αφού ολοκληρωθούν τα παραπάνω, επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία τοποθετώντας μια επιπλέον μάζα σε κάθε επανάληψη. Κατά την τελευταία μέτρηση, η συνολική μάζα που τοποθετείται στην επιφάνεια, πρέπει να ισούται με το άθροισμα και των 10 μαζών και έτσι υπολογίζεται η σταθερά ελατηρίου από την εξίσωση (5,2).

5.5 Πειραματική Διαδικασία

- 1) Αρχικά, κατασκευάζονται 10 πανομοιότυπες μάζες από διάφορα κέρματα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.2. Οι μάζες αυτές μετρούνται ξεχωριστά και βρίσκονται ίσες με 150 γραμμάρια η μία.



Εικόνα 5.2: Πανομοιότυπες μάζες

- 2) Στη συνέχεια μετράται η μάζα του ελατηρίου και όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.3.α είναι ίση με 240 γραμμάρια. Έπειτα μετράται η μάζα του κινητού τηλεφώνου και της επιφάνειας (κουτί) και ισούται με 534 γραμμάρια, σύμφωνα με την Εικόνα 5.3.β.



Εικόνα 5.3 α) Μάζα ελατηρίου

β) Μάζα κινητού και κουτιού

- 3) Αφού τοποθετηθεί το κινητό τηλέφωνο πάνω στην επιφάνεια τοποθέτησης μαζών, κρεμάται από την οριζόντια βάση στήριξης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.4.



Εικόνα 5.4: Τελική πειραματική διάταξη μέτρησης σταθεράς ελατηρίου

- 4) Έπειτα, τοποθετούνται διαδοχικά οι μάζες πάνω στην επιφάνεια μια προς μια (Εικόνα 5.5) και αφού εκτραπεί κατά μια μικρή απόσταση το κουτί, αφήνεται να εκτελέσει ταλάντωση με 10 διαφορετικά φορτία.



Εικόνα 5.5: Τοποθέτηση μαζών στην επίπεδη επιφάνεια

- 5) Τέλος, για τον υπολογισμό της σταθεράς του ελατηρίου θεωρητικά, μετράται η μετατόπιση της επιφάνειας χωρίς επιπρόσθετες μάζες (Εικόνα 5.6.α) και με όλες τις επιπλέον μάζες (Εικόνα 5.6.β)



Εικόνα 5.6 α) Αρχική θέση επιφάνειας



β) Τελική θέση επιφάνειας

Στον Πίνακα 5.1, φαίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Στην πρώτη μέτρηση, η ταλάντωση της επιφάνειας γίνεται χωρίς επιπλέον μάζα, αλλά μόνο με την επίδραση του κινητού τηλεφώνου και του κουτιού. Αφού εκτραπεί κατά μια μικρή απόσταση από τη θέση ισορροπίας εκτελεί ταλάντωση, μέχρι η περίοδος που εμφανίζει η εφαρμογή Phyrhox να σταθεροποιηθεί. Στη συνέχεια για τη δεύτερη μέτρηση προστίθεται μια μάζα και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία. Σημειώνονται τα αποτελέσματα, μέχρι να προστεθούν όλες οι μάζες πάνω στην επιφάνεια, όπου θα εκτελεστεί για τελευταία φορά η ταλάντωση του κουτιού.

Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα μετρήσεων σταθεράς ελατηρίου

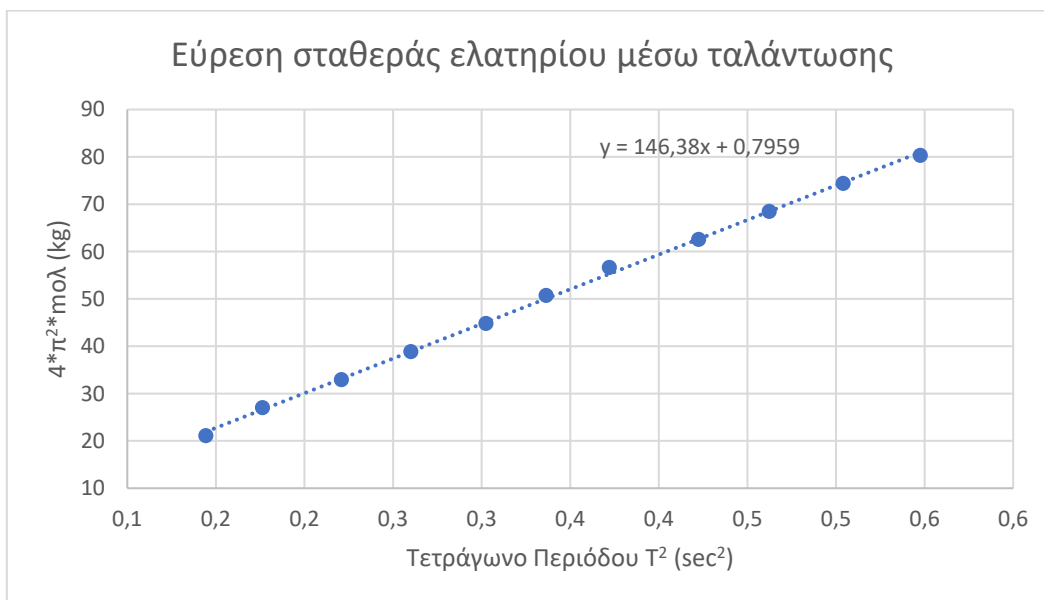
A/A	Συνολική Μάζα (kg)	Υπολογισθείσα Περίοδος (sec)	Πραγματική Θέση (cm)	Κατακόρυφη Απόσταση (m)
1	0,53	0,38	34,30	0,00
2	0,68	0,42	35,20	0,01
3	0,83	0,47	36,30	0,02
4	0,98	0,51	37,10	0,03
5	1,13	0,55	38,10	0,04
6	1,28	0,58	39,10	0,05
7	1,43	0,61	40,10	0,06
8	1,58	0,65	41,20	0,07
9	1,73	0,68	42,10	0,08
10	1,88	0,71	43,30	0,09
11	2,03	0,74	44,40	0,10

Για τον πειραματικό υπολογισμό της σταθεράς του ελατηρίου, τόσο με την περίοδο, όσο και με την κάθετη μετατόπιση, κρίνεται αναγκαία η συμπλήρωση του Πίνακα 5.2, βάσει του οποίου μπορεί να σχεδιαστεί η απαιτούμενη γραφική παράσταση.

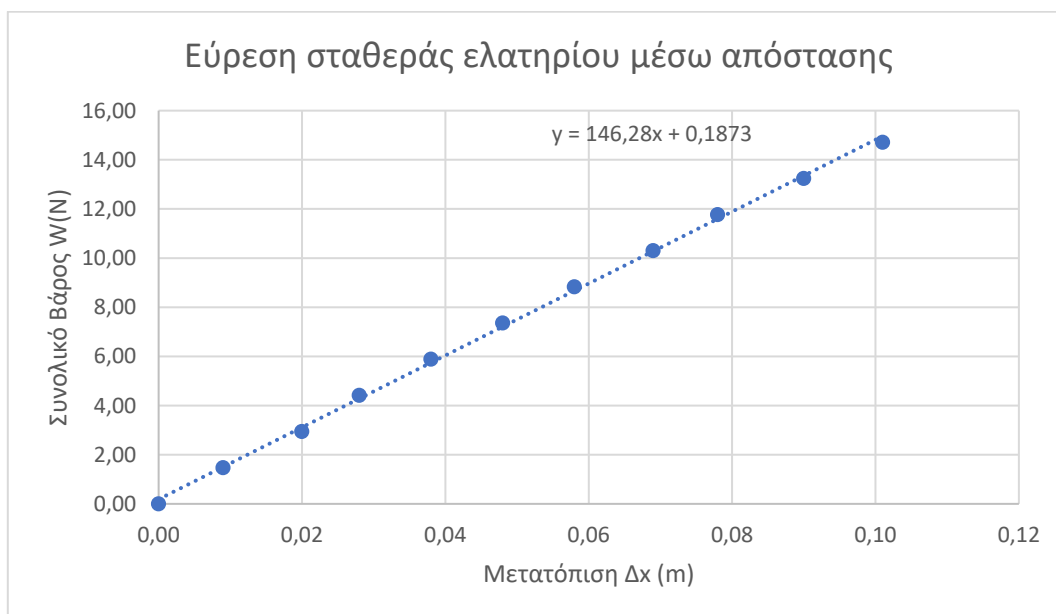
Πίνακας 5.2: Επεξεργασία μετρήσεων πειράματος σταθεράς ελατηρίου

A/A	$4*\pi^2*m_{ολ}$ (kg)	T^2 (sec ²)	$m*g$ (N)	Δx (m)
1	21,08	0,14	0,00	0,00
2	27,00	0,18	1,47	0,01
3	32,93	0,22	2,94	0,02
4	38,85	0,26	4,41	0,03
5	44,77	0,30	5,88	0,04
6	50,69	0,34	7,35	0,05
7	56,61	0,37	8,83	0,06
8	62,53	0,42	10,30	0,07
9	68,46	0,46	11,77	0,08
10	74,38	0,50	13,24	0,09
11	80,30	0,55	14,71	0,10

Στη συνέχεια με τη χρήση του προγράμματος Excel, κατασκευάζονται τα γραφήματα σύμφωνα με την εξίσωση (5.2), με σκοπό να βρεθεί η σταθερά του ελατηρίου πειραματικά. Στην Εικόνα 5.7 υπολογίζεται η σταθερά του ελατηρίου βάσει των περιόδων ταλάντωσης και στην Εικόνα 5.8 βάσει της κάθετης μετατόπισης.



Εικόνα 5.7: Γράφημα χαρακτηριστικής ευθείας πειραματικού υπολογισμού σταθεράς ελατηρίου



Εικόνα 5.8: Γράφημα χαρακτηριστικής ευθείας θεωρητικού υπολογισμού σταθεράς ελατηρίου

Σύμφωνα με τις εξισώσεις (5,1) και (5,2), οι κλίσεις των καμπυλών που φαίνονται στις Εικόνες 5.7 και 5.8, εμφανίζουν τη σταθερά του ελατηρίου και με τους δυο τρόπους. Πιο αναλυτικός είναι η εύρεση της σταθεράς του ελατηρίου με την ταλάντωση, καθώς λαμβάνονται κάποιες μετρήσεις και γίνεται επεξεργασία αυτών. Γι' αυτό το λόγο η εύρεση της σταθεράς του ελατηρίου με ταλάντωση χαρακτηρίζεται ως πειραματική, ενώ με την απόσταση ως θεωρητική.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η σταθερά του ελατηρίου και με τις δυο μεθόδους είναι ίση με:

$$k_{\text{πειρ}} = 146,38 \text{ N/m και } k_{\text{θεωρ}} = 146,28 \text{ N/m}$$

Συγκρίνοντας τις δυο υπολογιζόμενες τιμές της σταθεράς ελατηρίου υπάρχει μια απόκλιση της

$$\text{τάξης του: } \text{απόκλιση} = \frac{|\text{θεωρητική Τιμή} - \text{Πειραματική Τιμή}|}{\text{θεωρητική Τιμή}} * 100\% \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \text{απόκλιση} = \frac{|146,28 - 146,38|}{146,28} * 100\% \Leftrightarrow \text{απόκλιση} = 0,068\%$$

5.6 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα

Η απόκλιση που υπολογίστηκε, οφείλεται σε κάποιους παράγοντες οι οποίοι αναφέρονται στη συνέχεια και μεταβάλλουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Αναλυτικότερα:

- Ο ανθρώπινος παράγοντας παρεμβαίνει στο πείραμα κατά τη μέτρηση της κάθετης απόστασης. Η απόσταση αυτή δε μπορεί σε καμία περίπτωση να υπολογιστεί ορθά, καθώς το σφάλμα του ανθρώπου δε μπορεί να μηδενιστεί. Φυσικά, η απόκλιση μπορεί να μειωθεί χρησιμοποιώντας ελατήριο με ενσωματωμένο χάρακα, το οποίο εμφανίζει τη μετατόπιση του ελατηρίου από τη θέση ισορροπίας.
- Επίσης, η τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ της βάσης στήριξης μαζών και των μορίων του αέρα, μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα, χωρίς όμως να είναι. Είναι προφανές πως όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια, τόσο θα αυξάνει η αντίσταση του αέρα κατά την κίνησή της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - Ελεύθερη Πτώση Σωμάτων

6.1 Σκοπός

Η παρούσα άσκηση έχει ως στόχο τη μελέτη της *ελεύθερης πτώσης σωμάτων*. Αποδεικνύεται πως είναι ανεξάρτητη της μάζας του κατερχόμενου σώματος και εξαρτάται μόνο από την απόσταση που διανύεται.

6.2 Ιστορική Αναδρομή

Η πτώση των σωμάτων απασχόλησε τους ανθρώπους με την κατανόηση της ύπαρξης της βαρύτητας. Από τα αρχαία χρόνια, οι Έλληνες φιλόσοφοι προσπάθησαν να κατανοήσουν το λόγο για τον οποίο τα σώματα κινούνται προς τα κάτω και από τί επηρεάζεται αυτή η κίνηση. Ο αρχαίος Έλληνας φιλόσοφος Αριστοτέλης, κατανόησε τη διαφορά ενός σώματος το οποίο κινείται με αρχική ταχύτητα συγκριτικά με ένα το οποίο κινείται μόνο με την επίδραση του βάρους του. [6.1] Κατά τα λεγόμενά του, μια σταθερή δύναμη παράγει μια ομοιόμορφη κίνηση, δηλαδή η δύναμη που ασκείται σε ένα σώμα ισούται με το γινόμενο της μάζας επί την ταχύτητα αυτού, κάτι το οποίο είναι πλέον γνωστό πως δεν ισχύει. Επιπλέον, θεώρησε πως η ταχύτητα ενός ριπτόμενου σώματος, είναι ανάλογη του βάρους του, αλλά αντιστρόφως ανάλογη της πυκνότητάς του και μάλιστα επισήμανε πως με την έλπιση ατμόσφαιρας το σώμα αυτό θα μπορεί να κινείται αέναα. Ο ίδιος επισήμανε πως το βάρος είναι ο καθοριστικότερος παράγοντας ο οποίος επηρεάζει την ταχύτητα του ριπτόμενου σώματος, κάτι το οποίο θεωρήθηκε δεδομένο για πολλούς αιώνες αργότερα.

Κατά τον 12^ο αιώνα ο Ιρανός φυσικός Abu'l-Barakāt al-Baghdādī υποστήριξε πως η επιτάχυνση των σωμάτων κατά την ελεύθερη πτώση τους, οφείλεται στη διαδοχική αύξηση της συσσώρευσης της ισχύος τους με τη διαδοχική αύξηση της ταχύτητας. [6.2] Για πρώτη φορά στην ιστορία αμφισβητήθηκαν τα λεγόμενα του Αριστοτέλη, τα οποία μέχρι τότε θεωρούνταν δεδομένα, εισάγοντας το θεμελιώδη νόμο της μηχανικής. Σύμφωνα με αυτόν, μια δύναμη που εφαρμόζεται συνεχώς σε ένα σώμα παράγει επιτάχυνση, σχέση την οποία ο Γαλιλέος απέδειξε μερικούς αιώνες αργότερα. Ο Ιταλός φυσικός και αστρονόμος Galileo di Vincenzo Bonaiuti de' Galilei (1564 – 1642), κατέρριψε τη σχέση που είχε παρουσιάσει ο Αριστοτέλης, αποδεικνύοντας πως η επιτάχυνση προκαλείται από τη δύναμη. Ρίπτοντας δυο σώματα διαφορετικής μάζας από τον πύργο της Πίζας, παρατήρησε πως αυτά φτάνουν στο έδαφος με ελάχιστη χρονική καθυστέρηση. [6.3] Συνεπώς, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα σώματα πέφτουν προς την επιφάνεια της γης με σταθερή επιτάχυνση και η δύναμη η οποία ασκείται σε αυτά είναι σταθερή δύναμη. Παράλληλα, υποστήριξε πως όταν ένα κινούμενο σώμα στο οποίο ασκείται μια σταθερή δύναμη και στιγμιαία παύσει η άσκηση της, τότε το σώμα αυτό θα συνεχίσει να κινείται με την ίδια ταχύτητα.

Περίπου μισό αιώνα αργότερα, ο Άγγλος πολυμαθής Sir Isaac Newton (1642 – 1726), ανέπτυξε τη θεωρία της βαρύτητας και το λόγο για τον οποίο τα σώματα κινούνται προς τα κάτω, βάσει της θεωρίας του Γαλιλαίου. [6.4] Ο ίδιος ανέπτυξε τον θεμελιώδη νόμο της μηχανικής, γνωστός και ως 2^{ος} νόμος του Νεύτωνα και αποτελεί βασική αρχή της σύγχρονης φυσικής.

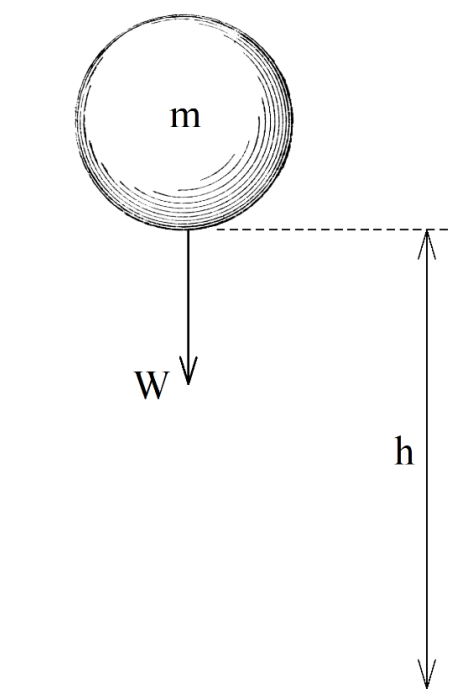
6.3 Θεωρία

Η ελεύθερη πτώση των σωμάτων, είναι πλέον γνωστό πως οφείλεται στη βαρύτητα της γης. Με την ύπαρξη της ατμόσφαιρας βέβαια, η τριβή μεταξύ του κινούμενου σώματος και των σωματιδίων του αέρα αντιτίθεται στην κίνηση, προκαλώντας μια μικρή μεταβολή στην ιδανική κίνηση. Ως ελεύθερη πτώση, ορίζεται η κίνηση ενός σώματος υπό την επίδραση της βαρύτητας πάνω σε αυτό. Στην περίπτωση που ένα σώμα αφεθεί ελεύθερο να κινηθεί στο διάστημα, όπου δεν υπάρχει επίδραση βαρυτικών δυνάμεων σε αυτό, τότε δεν παρατηρείται καμία μεταβολή στην κινητική του κατάσταση. Στην περίπτωση όπου ένα σώμα ριφθεί κατακόρυφα προς τα πάνω, τότε αυτό εκτελεί επιβραδυνόμενη κίνηση μέχρι το ανώτερο σημείο, όπου η ταχύτητά του στιγμιαία μηδενίζεται και στη συνέχεια κατέρχεται εκτελώντας επιταχυνόμενη κίνηση, δηλαδή ελεύθερη πτώση. Η ύπαρξη του βαρυτικού πεδίου της γης αποτελεί βασική προϋπόθεση για την κίνηση αυτή, ενώ όσο το σώμα απομακρύνεται από το κέντρο της, τόσο πιο πολύ μειώνεται η επίδραση της βαρύτητας, μέχρι που τελικά μηδενίζεται σε ύψος ίσο με το μισό της ακτίνας της. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η αντίσταση του αέρα παίζει σημαντικό ρόλο στην ελεύθερη πτώση ενός σώματος. Η μορφή του σώματος το οποίο ρίπτεται μπορεί να συμβάλλει είτε θετικά είτε αρνητικά στην επίδραση της βαρύτητας, καθώς η αεροδυναμική του αντίσταση δε μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα.

Έστω σώμα μάζας m , το οποίο βρίσκεται ακίνητο σε ύψος h πάνω από οριζόντιο επίπεδο (Εικόνα 6.1). Υποθέτοντας πως οι συνθήκες του πειράματος είναι ιδανικές, δηλαδή δεν υπάρχουν τριβές μεταξύ του σώματος και των σωματιδίων του αέρα, η μόνη δύναμη η οποία επιδρά πάνω του είναι το βάρος W . Αφήνοντάς το ελεύθερο να κινηθεί με μηδενική αρχική ταχύτητα, θα εκτελέσει επιταχυνόμενη κίνηση με επιτάχυνση ίση με την επιτάχυνση της βαρύτητας. Συνεπώς για το ύψος h , ισχύει η σχέση:

$$h = \frac{1}{2} * a * t_1^2 \Leftrightarrow h = \frac{1}{2} * g * t_1^2 \quad (6,1) ,$$

όπου t_1 είναι ο χρόνος που απαιτείται από το σώμα ώστε να διανύσει την απόσταση h . Για την ταχύτητα του σώματος σε κάθε χρονική στιγμή, ισχύει η σχέση: $u = a * t \Leftrightarrow u = g * t$, όπου t είναι κάποια χρονική στιγμή μεταξύ των τιμών μηδέν και t_1 . Συνεπώς, από τις παραπάνω σχέσεις φαίνεται πως η μάζα του σώματος δεν επηρεάζει τις εξισώσεις κίνησής του.



Εικόνα 6.1: Ελεύθερη πτώση σώματος

6.4 Πειραματική Διάταξη

Τα απαιτούμενα όργανα και συσκευές για την εκτέλεση του πειράματος φαίνονται στη συνέχεια:

- Κινητό τηλέφωνο
- Μέτρο
- Όμοια σώματα με διαφορετικές μάζες
- Νήμα ή σχοινί
- Ψαλίδι

Αρχικά τοποθετείται το μέτρο παράλληλα στη βάση μεταβλητού ύψους, προκειμένου να μετράται η απόσταση μεταξύ εδάφους και μάζας. Στο πάνω μέρος της βάσης, δένεται η μάζα με τη βοήθεια του σχοινιού και με δυνατότητα ελεύθερης κίνησης μέχρι το έδαφος. Στη συνέχεια τοποθετείται το κινητό τηλέφωνο σε ύψος τέτοιο ώστε να βρίσκεται στη μέση της απόστασης η οποία θα διανυθεί από το κάθε σώμα και εκκινείται η εφαρμογή Phyrhox στο πείραμα «Ακουστικό χρονόμετρο». Έπειτα, κόβεται το νήμα με τη βοήθεια του ψαλιδιού ώστε να δημιουργηθεί ηχητικό κύμα και να ενεργοποιηθεί το χρονόμετρο. Έτσι κατέρχεται η μάζα με μηδενική αρχική ταχύτητα και όταν προσκρούει στο έδαφος δημιουργείται ένα δεύτερο ηχητικό κύμα, με αποτέλεσμα να απενεργοποιείται το χρονόμετρο. Ακολουθεί η ρίψη της επόμενης μάζας από το ίδιο ύψος και τέλος επαναλαμβάνεται η ρίψη των δυο μαζών από διάφορα ύψη.

6.5 Πειραματική Διαδικασία

- 1) Στις Εικόνες 6.2.α και 6.2.β φαίνονται οι δυο πανομοιότυπες μάζες, οι οποίες είναι κατασκευασμένες από διάφορα κέρματα, έτσι ώστε να έχουν όμοιο σχήμα, αλλά διαφορετικό βάρος.



Εικόνα 6.2 α) Κατασκευασμένη μάζα 1



β) Κατασκευασμένη μάζα 2

- 2) Έπειτα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.3, τοποθετείται παράλληλα στην βάση στήριξης το μέτρο.



Εικόνα 6.3: Παράλληλη τοποθέτηση μέτρου με την κάθετη βάση στήριξης

- 3) Στη συνέχεια, κρεμάται η πρώτη μάζα με τη βοήθεια νήματος από σταθερό αρχικό σημείο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.4, το οποίο πρόκειται να κοπεί.



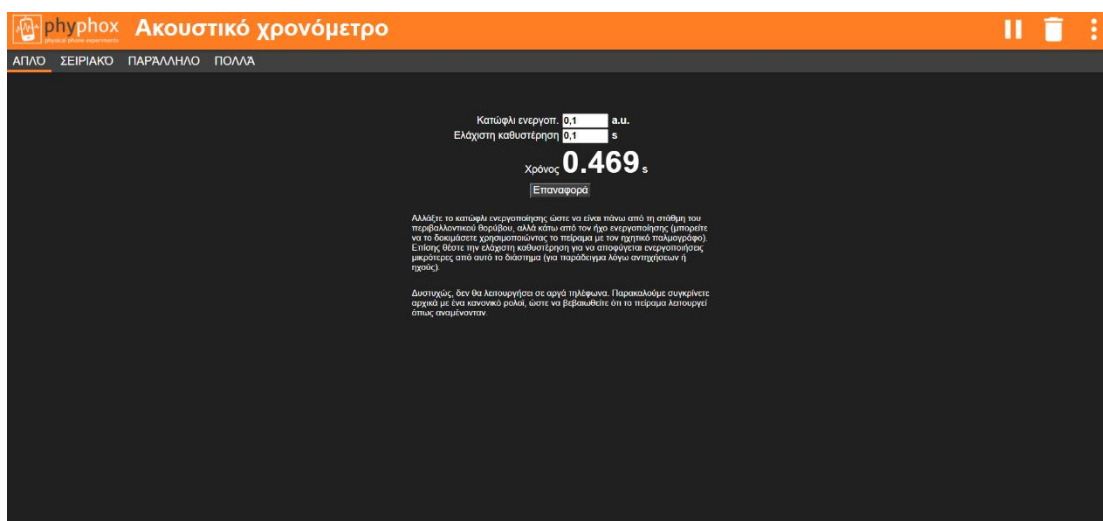
Εικόνα 6.4: Αρχική θέση ρίψης της πρώτης μάζας

- 4) Τέλος, γίνεται εκκίνηση του πειράματος «Ακουστικό Χρονόμετρο» και τοποθετείται σε μια μέση απόσταση, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.5.



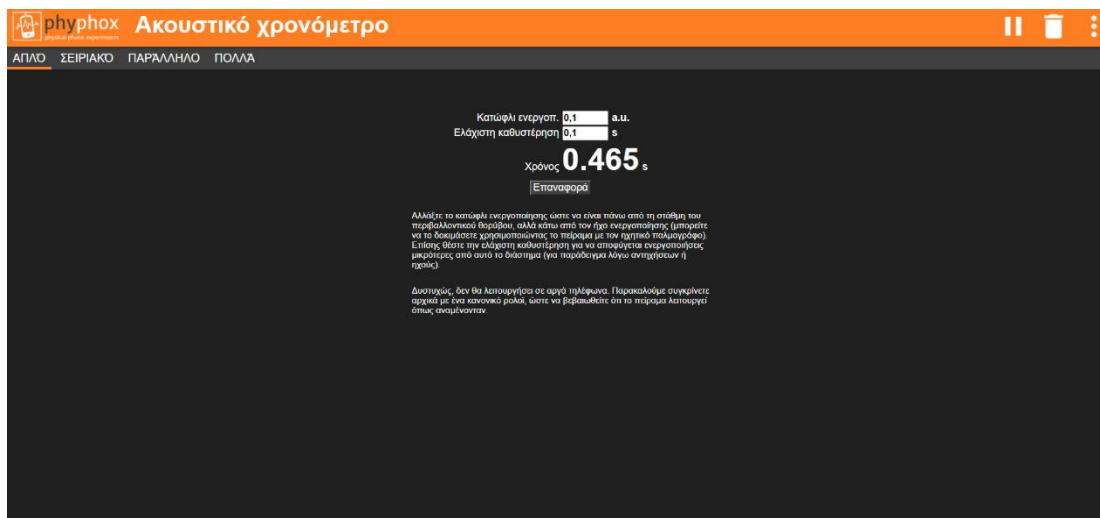
Εικόνα 6.5: Τελική πειραματική διάταξη πειράματος ελεύθερης πτώσης

- 5) Αφού γίνει απομακρυσμένη σύνδεση του κινητού τηλεφώνου με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, σημειώνεται ο χρόνος που χρειάστηκε η μάζα να διανύσει την αρχική απόσταση. Στην Εικόνα 6.6, φαίνεται ο χρόνος καθόδου που χρειάστηκε η μάζα των 7 γραμμαρίων να διανύσει απόσταση ενός μέτρου, και στην Εικόνα 6.7 ο αντίστοιχος χρόνος της μάζας των 13 γραμμαρίων.



Εικόνα 6.6: Αποτέλεσμα ρίψης σφαίρας 7 gr από ύψος ενός μέτρου

- 6) Στη συνέχεια επαναλαμβάνεται το πείραμα χρησιμοποιώντας τη δεύτερη μάζα και ρίπτοντάς την από το ίδιο αρχικό ύψος. Το αποτέλεσμα που προκύπτει φαίνεται στην Εικόνα 6.7.



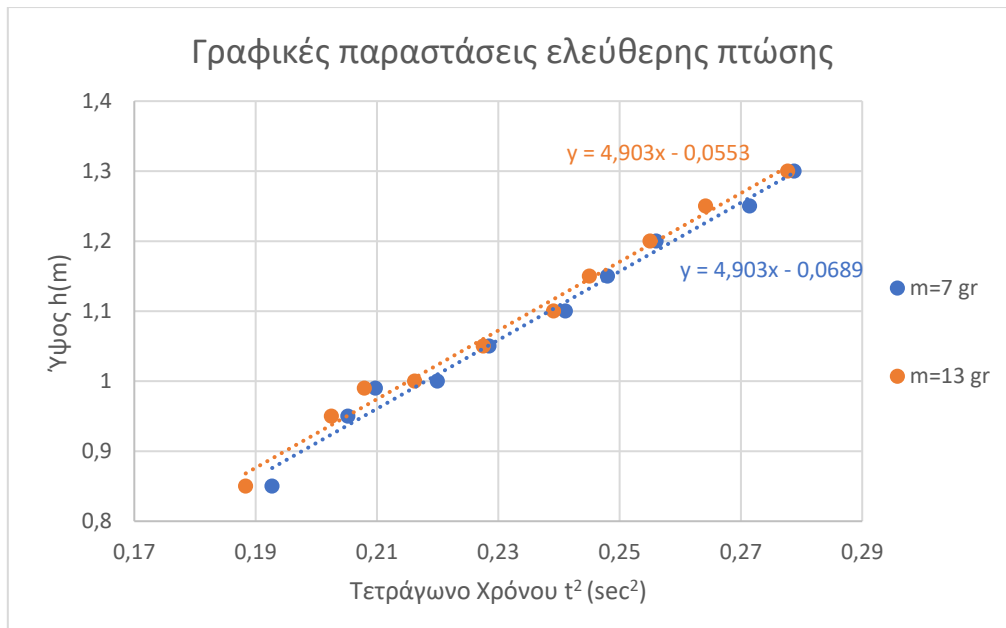
Εικόνα 6.7: Αποτέλεσμα ρίψης σφαίρας 13 gr από ύψος ενός μέτρου

Μεταβάλλοντας το αρχικό ύψος ρίψης των δυο σφαιρών μεταξύ 85 και 130 εκατοστών, επαναλαμβάνεται η ρίψη τους και συμπληρώνεται ο Πίνακας 6.1. Βάσει αυτού και σχεδιάζοντας τη γραφική παράσταση με τη βοήθεια του προγράμματος Excel, μπορεί να γίνει σύγκριση της επιτάχυνσης της βαρύτητας για κάθε σειρά μετρήσεων.

Πίνακας 6.1: Πειραματικές μετρήσεις πειράματος ελεύθερης πτώσης

Α/Α	Υψος x (m)	Χρόνος t (sec)		t ² (sec ²)	
		m=7 gr	m=13 gr	m=7 gr	m=13 gr
1	1,300	0,528	0,527	0,279	0,278
2	1,250	0,521	0,514	0,271	0,264
3	1,200	0,506	0,505	0,256	0,255
4	1,150	0,498	0,495	0,248	0,245
5	1,100	0,491	0,489	0,241	0,239
6	1,050	0,478	0,477	0,228	0,228
7	1,000	0,469	0,465	0,220	0,216
8	0,990	0,458	0,456	0,210	0,208
9	0,950	0,453	0,450	0,205	0,203
10	0,850	0,439	0,434	0,193	0,188

Στην Εικόνα 6.8, παρουσιάζονται οι δυο ευθείες που χαρακτηρίζουν τις δυο μάζες. Στον άξονα των τετμημένων έχει εισαχθεί το τετράγωνο του χρόνου, και στον άξονα των τεταγμένων το αρχικό ύψος ρίψης. Σύμφωνα με την Εξίσωση (6,1), η κλίση της καμπύλης που εμφανίζεται, εκφράζει το μισό της επιτάχυνσης της βαρύτητας, που δρα στα σώματα.



Εικόνα 6.8: Γράφημα τετραγώνου χρόνου πτώσης συναρτήσει του αρχικού ύψους ρίψης

Από τις παραπάνω υπολογισθείσες εξισώσεις που χαρακτηρίζουν την ελεύθερη πτώση των δυο σωμάτων φαίνεται πως αυτές πλησιάζουν μεταξύ τους, χωρίς όμως να ταυτίζονται. Στην πραγματικότητα οι εξισώσεις αυτές πρέπει να είναι ίδιες μεταξύ τους με την προϋπόθεση ιδανικών συνθηκών. Συγκρίνοντας τη γενική εξίσωση της απόστασης

$$h = \frac{1}{2} * g * t^2$$

με τις παραπάνω, φαίνεται πως η μορφή και των δυο είναι η

$$y = a * x^2$$

όπου το y χαρακτηρίζει την απόσταση h και το x τον χρόνο t. Συνεπώς για την πρώτη μάζα των 7 γραμμαρίων προκύπτει:

$$a = \frac{1}{2} * g \Leftrightarrow g = 2a \Leftrightarrow g = 2 * 4,903 \text{ m/sec}^2 \Leftrightarrow g = 9,806 \text{ m/sec}^2$$

και για τη δεύτερη μάζα των 13 γραμμαρίων:

$$a = \frac{1}{2} * g \Leftrightarrow g = 2a \Leftrightarrow g = 2 * 4,903 \text{ m/sec}^2 \Leftrightarrow g = 9,806 \text{ m/sec}^2$$

Συγκρίνοντας τις δυο υπολογιζόμενες τιμές επιτάχυνσης της βαρύτητας η απόκλιση είναι ίδια και στις δυο περιπτώσεις και ισούται με: $\text{απόκλιση} = \frac{|\text{θεωρητική Τιμή} - \text{Πειραματική Τιμή}|}{\text{θεωρητική Τιμή}} * 100\% \Leftrightarrow \text{απόκλιση} = \frac{|9,80665 - 9,806|}{9,80665} * 100\% \Leftrightarrow \text{απόκλιση} = 0,0066\%$

6.6 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα

Όπως αναφέρθηκε και στη θεωρία, η επιτάχυνση της βαρύτητας είναι ίση με $g = 9,80665 \text{ m/sec}^2$ και φαίνεται πως υπάρχει ελάχιστη απόκλιση μεταξύ αυτής της τιμής και της υπολογισθείσας. Οι λόγοι για τους οποίους υπάρχει αυτή η απόκλιση αναφέρονται παρακάτω.

- Ο χρόνος καθόδου είναι ανεξάρτητος της μάζας των σωμάτων και εξαρτάται μόνο από το αρχικό ύψος ρίψης τους. Σε ιδανικές συνθήκες, αυτός παραμένει αμετάβλητος για οποιοδήποτε ριπτόμενο σώμα και για οποιεσδήποτε διαστάσεις του. Οι συνθήκες αυτές περιλαμβάνουν την απουσία ατμόσφαιρας προκειμένου να μην υπάρχει τριβή μεταξύ των σωμάτων και των σωματιδίων του αέρα, κάτι το οποίο μπορεί να επιτευχθεί μόνο σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους.
- Το σφάλμα του ανθρώπινου παράγοντα κατά τη ρίψη των σωμάτων μεταβάλλει τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Για την αποφυγή λανθασμένων αποτελεσμάτων, η ρίψη των σφαιρών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση νήματος. Και οι δυο σφαίρες προσδέθηκαν με νήμα από το ανώτερο σημείο της βάσης στήριξης και αφέθηκαν ελεύθερες ακαριαία με το κόψιμο αυτού. Έτσι τα αποτελέσματα που συλλέχθηκαν είναι αξιόπιστα, αφού εξαλείφθηκε το σφάλμα του ανθρώπινου παράγοντα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - Υπολογισμός Απόστασης με τη Χρήση Σόναρ

7.1 Σκοπός

Το παρακάτω πείραμα έχει ως σκοπό τον υπολογισμό της απόστασης μιας ηχητικής πηγής από ένα επίπεδο με τη χρήση του σόναρ και με μέσο τον ατμοσφαιρικό αέρα. Έπειτα, η σύγκριση των υπολογισθέντων τιμών των αποστάσεων με τις πραγματικές, μπορούν να καθορίσουν την ακρίβεια του συστήματος.

7.2 Ιστορική Αναδρομή

Το σόναρ βρίσκει εφαρμογές στην εξερεύνηση του υποθαλάσσιου πυθμένα σε μεγάλα βάθη, καθώς δεν είναι εφικτή η προσέγγιση του λόγω των υψηλών πιέσεων που αναπτύσσονται. Συνεπώς τα ηχητικά κύματα που προκαλεί αυτό, αποτελούν μια καλή λύση στον ασφαλή και ορθό υπολογισμό του βάθους της θάλασσας. Είναι γνωστό πως ορισμένα ζώα, όπως τα δελφίνια, χρησιμοποιούν τα ηχητικά κύματα προκειμένου να επικοινωνήσουν μεταξύ τους, αλλά και να πλοηγηθούν στο χώρο εντοπίζοντας τα πιθανά εμπόδια. Το σόναρ χρησιμοποιεί την ίδια ακριβώς μέθοδο που χρησιμοποιούν και τα ζώα και έχει αποδειχθεί σημαντικό εργαλείο μέχρι σήμερα. Ο πρώτος ο οποίος διαπίστωσε πως ο ήχος ταξιδεύει πιο γρήγορα στο νερό σε σχέση με τον αέρα, ήταν ο Ιταλός πολυμαθής Leonardo da Vinci. [7.1] Ο ίδιος το 1490, εισάγωντας το ήμισυ ενός σωλήνα μέσα στο νερό, μπορούσε να ανιχνεύσει τα πλοία που βρίσκονταν μακριά, τοποθετώντας το αυτί του στο άλλο άκρο του σωλήνα.

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, αναπτύχθηκε ένα σύστημα το οποίο βυθισμένο στο νερό μπορούσε να δίνει σήματα στα πλοία που βρίσκονταν σε κοντινή απόσταση, με σκοπό την αποφυγή κάποιας σύγκρουσης. Το 1912 ο Γερμανός φυσικός Alexander Behm και ο Καναδός Reginald Aubrey Fessenden προσπαθούσαν να αναπτύξουν μια συσκευή εντοπισμού υποθαλάσσιων εμποδίων, βασισμένη στα ηχητικά κύματα. [7.2] Οι δυο επηρεασμένοι από το γεγονός της βύθισης του πλοίου «Τιτανικός», αποφάσισαν πως έπρεπε να αναπτυχθεί ένα τέτοιο εργαλείο, προς αποφυγή περαιτέρω ατυχημάτων. Τελικά, ο Reginald Aubrey Fessenden ανέπτυξε πρώτος τη συσκευή, η οποία είναι γνωστή ως «ταλαντωτής Fessenden», ενώ ο Alexander Behm το 1913 ανέπτυξε τη δική του συσκευή. [7.3] Κατά τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο, ήταν επιτακτική η ανάγκη εντοπισμού υποβρυχίων, όμως οι προσπάθειες ανακάλυψης μιας τέτοιας συσκευής δεν ήταν πλήρως επιτυχείς.

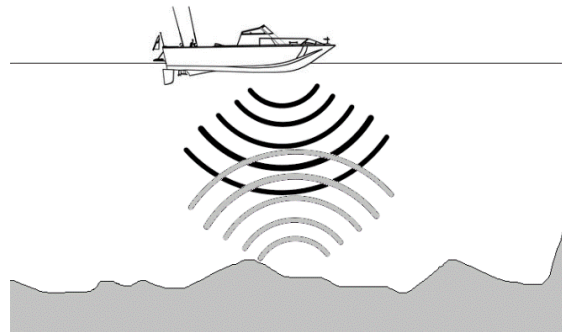
Τη δεκαετία του 1930, η Αμερική με επικεφαλής τον καθηγητή του πανεπιστημίου του Harvard, Frederick Hunt, ανέπτυξαν τη δική τους συσκευή υποθαλάσσιας πλοήγησης, ενώ ήταν οι πρώτοι οι οποίοι χρησιμοποίησαν τον όρο «SONAR» για τα συστήματα αυτά. [7.4] Τέλος, για την ευκολότερη εξερεύνηση του υποθαλάσσιου εδάφους, σημαντικό ρόλο έπαιξε ο ηχοσημαντήρας (sonobuoy). Είναι μια σχετικά μικρή, πλωτή συσκευή, η οποία ρίπτεται είτε από αεροσκάφη, είτε από πλοία στην επιφάνεια της θάλασσας. Ο ραδιοπομπός ο οποίος πλέει στέλνει τις μετρήσεις που λαμβάνει το μετρητικό όργανο, το οποίο είναι βυθισμένο σε επιλεγμένο βάθος. Έτσι από το κέντρο λήψης των μετρήσεων γίνεται καταγραφή αυτών και η χαρτογράφηση του υποθαλάσσιου περιβάλλοντος.

7.3 Θεωρία

Τα συστήματα σόναρ χρησιμοποιούνται πλέον σε όλα τα πλοία και ο τρόπος λειτουργίας τους δεν έχει μεταβληθεί σημαντικά. Ως σόναρ (Sound Navigation and Ranging), ορίζεται η συσκευή η οποία μέσω διάδοσης των ηχητικών κυμάτων σε ένα μέσο, υπολογίζει την απόσταση ενός αντικειμένου από τη συσκευή αυτή. Αυτά λειτουργούν όπως τα ραντάρ, δηλαδή μέσω διάδοσης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στην ατμόσφαιρα και επιστροφή αυτών στη συσκευή. Βασικές χρήσεις των συστημάτων σόναρ, είναι ο εντοπισμός ή παρακολούθηση αντικειμένων σε μεγάλα βάθη, η χαρτογράφηση του βυθού ή οι υποθαλάσσιες επικοινωνίες. Τα συστήματα αυτά χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, τα ενεργητικά και τα παθητικά. Ενεργητικό σόναρ είναι αυτό το οποίο εκπέμπει τα ηχητικά κύματα αλλά και τα λαμβάνει παράλληλα, ενώ αντίθετα το παθητικό μόνο λαμβάνει τα ηχητικά κύματα που προκαλούνται από μια πηγή. Δηλαδή, το πρώτο λειτουργεί σαν πηγή και σαν δέκτης, ενώ το δεύτερο λειτουργεί μόνο σαν δέκτης. Στα πλοία το σόναρ είναι ενεργητικού τύπου, καθώς για τον υπολογισμό του βάρους στο οποίο βρίσκεται αυτό, πρέπει να ενεργοποιείται ένα ηχητικό κύμα το οποίο αντικρουόμενο σε κάποια επιφάνεια υπολογίζει την απόσταση αυτή.

Ο τρόπος λειτουργίας του είναι απλός και η ακρίβεια μέτρησης της απόστασης εξαρτάται από την ακρίβεια του αισθητήρα. Ένα ενεργητικό σόναρ παράγει παλμικά ηχητικά κύματα ανά ορισμένο χρόνο, τα οποία αντικρουόμενα σε μια επίπεδη επιφάνεια επιστρέφουν σε αυτό με αποτέλεσμα ο αισθητήρας του οργάνου να υπολογίζει τον χρόνο (Δt) που χρειάστηκε το ηχητικό κύμα να επιστρέψει σε αυτό. Γνωρίζοντας την ταχύτητα του ήχου στο εκάστοτε μέσο ($u_{\text{ήχου}}$), πολλαπλασιάζεται με τον χρόνο (Δt) και έτσι από την εξίσωση $\Delta x = \frac{u_{\text{ήχου}} * \Delta t}{2}$, υπολογίζεται η ζητούμενη απόσταση Δx . Το μέσο διάδοσης μπορεί να είναι είτε υγρό είτε αέριο και για τον υπολογισμό της απόστασης απαιτείται η εύρεση της ταχύτητας του ήχου στο μέσο αυτό.

Έστω συσκευή παραγωγής και ανίχνευσης ηχητικών κυμάτων, προσαρτημένη σε ένα πλοίο (Εικόνα 7.1). Το πλοίο παράγει ηχητικό κύμα τη χρονική στιγμή $t_0=0$ το οποίο κατευθυνόμενο προς τον πυθμένα της θάλασσας εντοπίζει το πρώτο εμπόδιο. Το ηχητικό κύμα αποκρούεται σε αυτό και επιστρέφει προς την επιφάνεια της θάλασσας, προκειμένου να ανιχνευθεί από το σόναρ του πλοίου τη χρονική στιγμή $t_1=x$ sec.



Εικόνα 7.1: Σχηματική αναπαράσταση σόναρ

Γνωρίζοντας πως η ταχύτητα του ήχου στο νερό ισούται με 1493 m/sec, γίνεται ο υπολογισμός του βάρους της θάλασσας (Δx) σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\Delta x = \frac{u_{\text{ήχου}} * (t_1 - t_0)}{2} \Leftrightarrow \Delta x = \frac{1493 * (t_1 - t_0)}{2} \Leftrightarrow \Delta x = 746,5 * dt$$

Η απόσταση αυτή διαιρείται με τον αριθμό 2, καθώς το ηχητικό κύμα διανύει τη διπλάσια απόσταση από τη ζητούμενη, ενώ ο χρόνος t_1 είναι ο χρόνος που χρειάστηκε το ηχητικό κύμα να φτάσει στον πυθμένα της θάλασσας και να επιστρέψει στην επιφάνεια. Συνεπώς για την εύρεση του βάρους πρέπει το γινόμενο αυτό να διαιρεθεί με τον αριθμό 2, προκειμένου να υπολογισθεί το πραγματικό βάθος.

7.4 Πειραματική Διάταξη

Για την εκτέλεση του πειράματος κρίνεται αναγκαία η χρήση των κάτωθι οργάνων και συσκευών.

- Κινητό τηλέφωνο
- Επίπεδη επιφάνεια
- Μέτρο
- Επιφάνεια ανύψωσης κινητού

Αρχικά, σταθεροποιείται κάθετα η επίπεδη επιφάνεια με τέτοιο τρόπο ώστε το ηχητικό κύμα να προσπίπτει σε αυτήν κάθετα. Στη συνέχεια, τοποθετείται το μέτρο με σημείο αναφοράς την κάθετη επιφάνεια (σημείο μηδέν). Έπειτα η επιφάνεια ανύψωσης του κινητού τηλεφώνου τοποθετείται παράλληλα στο μέτρο, με σκοπό να αποτρέπει τα ηχητικά κύματα από το να προσκρούουν στο δάπεδο και να μειωθούν τα πιθανά σφάλματα. Κατόπιν πραγματοποιείται εκκίνηση της εφαρμογής Phyrhox στο πείραμα «Σόναρ» και επιλέγεται η καρτέλα «Θέση της ηχούς». Στη συνέχεια, το κινητό τηλέφωνο αφήνεται πάνω στην επιφάνεια ανύψωσης, με τέτοιο τρόπο ώστε το ηχείο του, να έχει φορά προς την επίπεδη επιφάνεια. Προκειμένου να γίνει ευκολότερη η λήψη των μετρήσεων αλλά και η εκτέλεση του πειράματος, γίνεται σύνδεση της εφαρμογής με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Με την εκκίνηση του πειράματος, παλμικά ηχητικά κύματα κατευθύνονται προς την κάθετη επιφάνεια, τα οποία αντικρούουν σε αυτήν και ανιχνεύονται από το κινητό τηλέφωνο. Έτσι, μέσω της εφαρμογής Phyrhox καταγράφονται και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε γραφική παράσταση. Τέλος, αφού γίνει εξαγωγή του γραφήματος, επαναλαμβάνεται το πείραμα για 9 διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ τριάντα εκατοστών και ενός μέτρου. Σημαντικό είναι να γίνει τοποθέτηση του κινητού τηλεφώνου, με τέτοιο τρόπο ώστε τα ηχητικά κύματα, να προσκρούουν κάθετα στην κάθετη επιφάνεια.

7.5 Πειραματική Διαδικασία

- 1) Αρχικά, τοποθετείται το μέτρο κατά μήκος του δαπέδου, με αρχή αυτού την οριζόντια επιφάνεια, σύμφωνα με την Εικόνα 7.2.



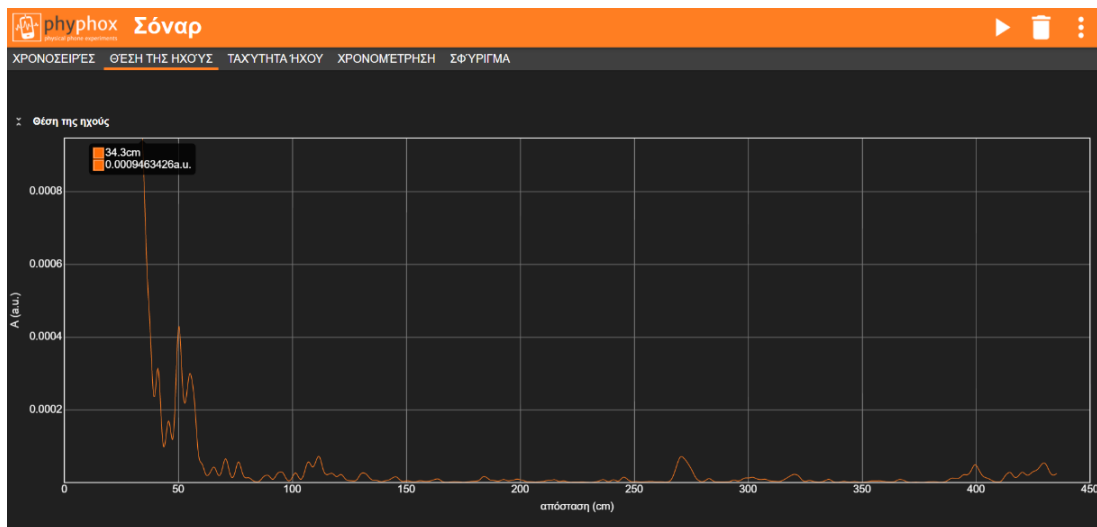
Εικόνα 7.2: Τοποθέτηση μέτρου στο δάπεδο

- 2) Στη συνέχεια παράλληλα στο μέτρο, τοποθετείται μια επιφάνεια ανύψωσης και πάνω σε αυτή το κινητό τηλέφωνο, αφού πρώτα γίνει εκκίνηση της εφαρμογής Phyrhox στο πείραμα «Σόναρ», όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.3.

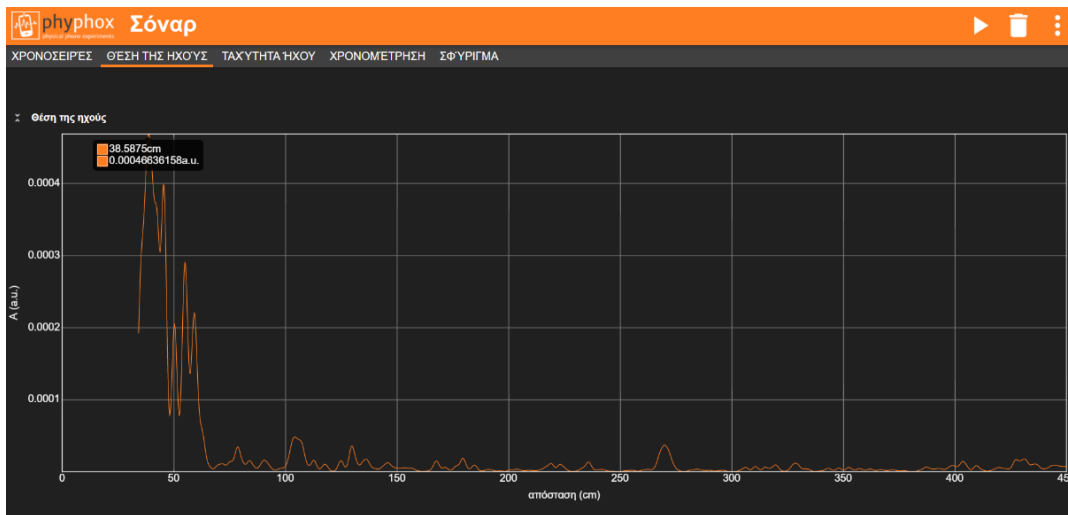


Εικόνα 7.3: Τελική πειραματική διάταξη πειράματος σόναρ

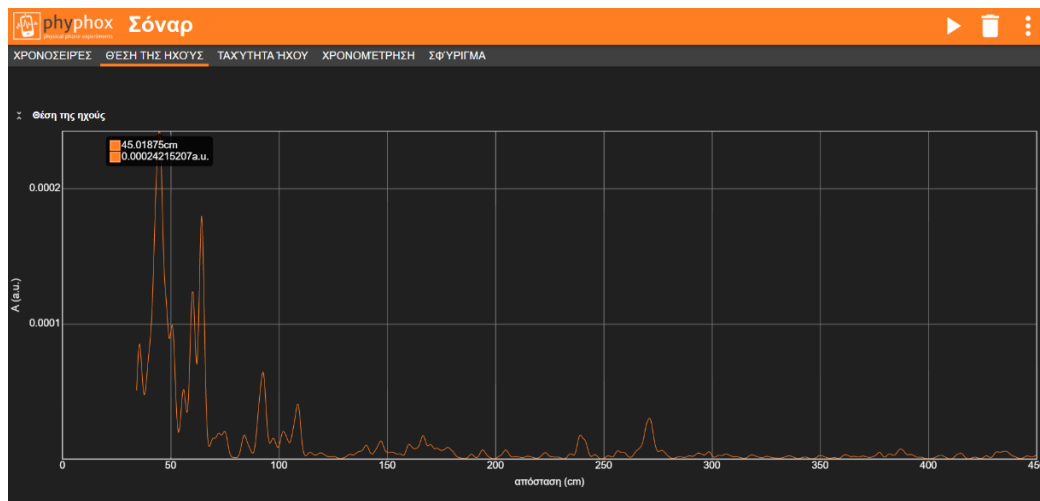
- 3) Τέλος, γίνεται μετατόπιση της επιφάνειας σε διάφορες θέσεις μεταξύ 35 και 75 εκατοστών και εξάγονται οι γραφικές παραστάσεις για κάθε μία από αυτές. Στις Εικόνες 7.4 έως 7.12 παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις του πειράματος «Σόναρ».



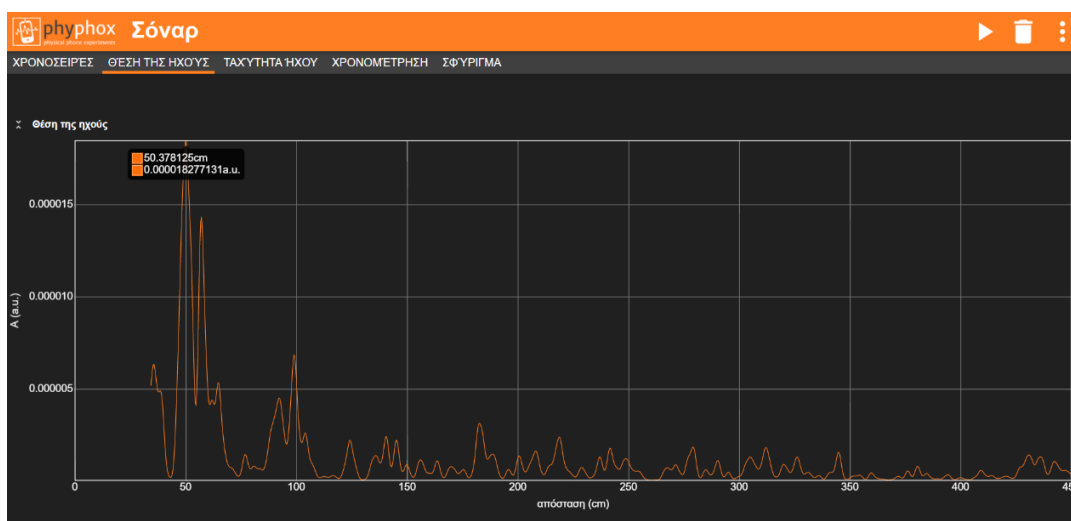
Εικόνα 7.4: Αποτελέσματα μετρήσεων για απόσταση 35 cm



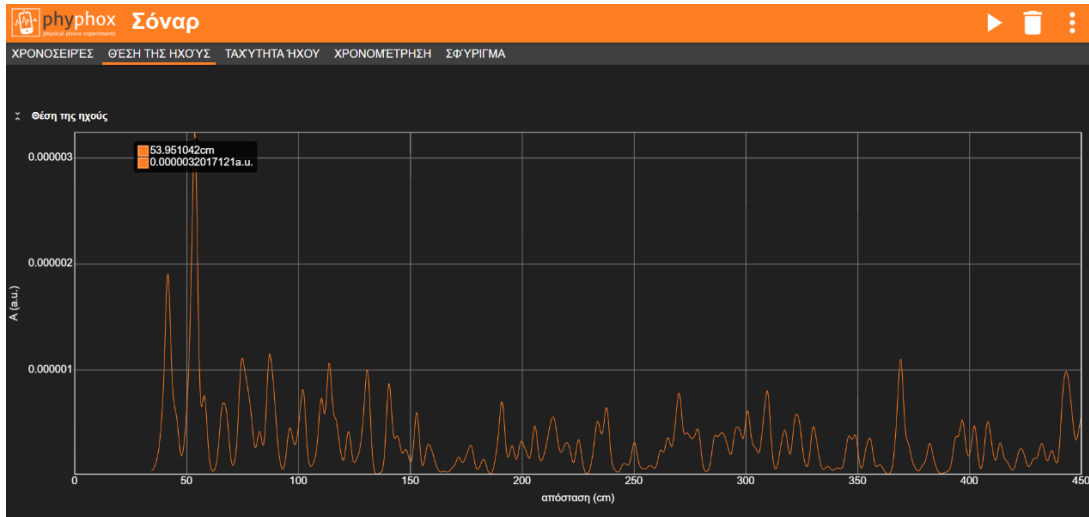
Εικόνα 7.5: Αποτελέσματα μετρήσεων για απόσταση 40 cm



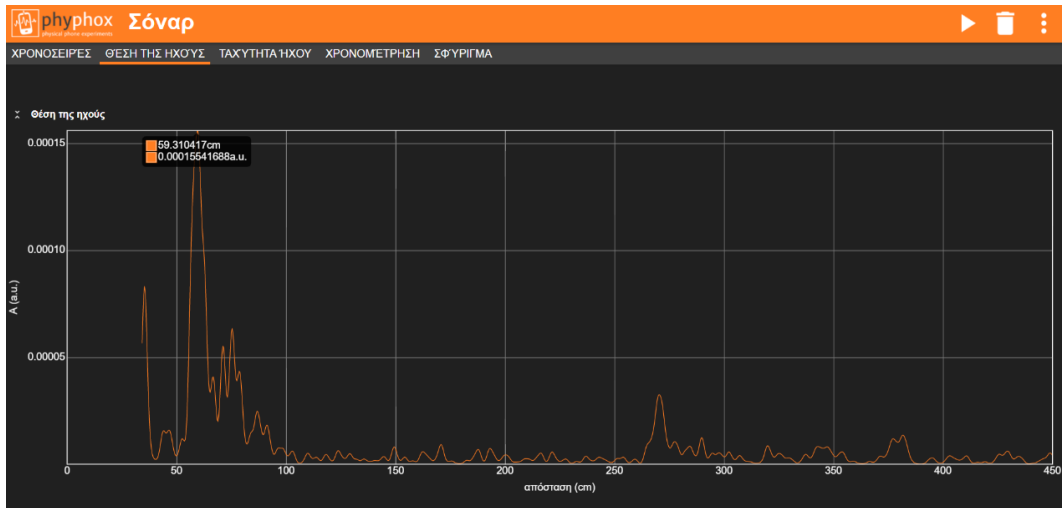
Εικόνα 7.6: Αποτελέσματα μετρήσεων για απόσταση 45 cm



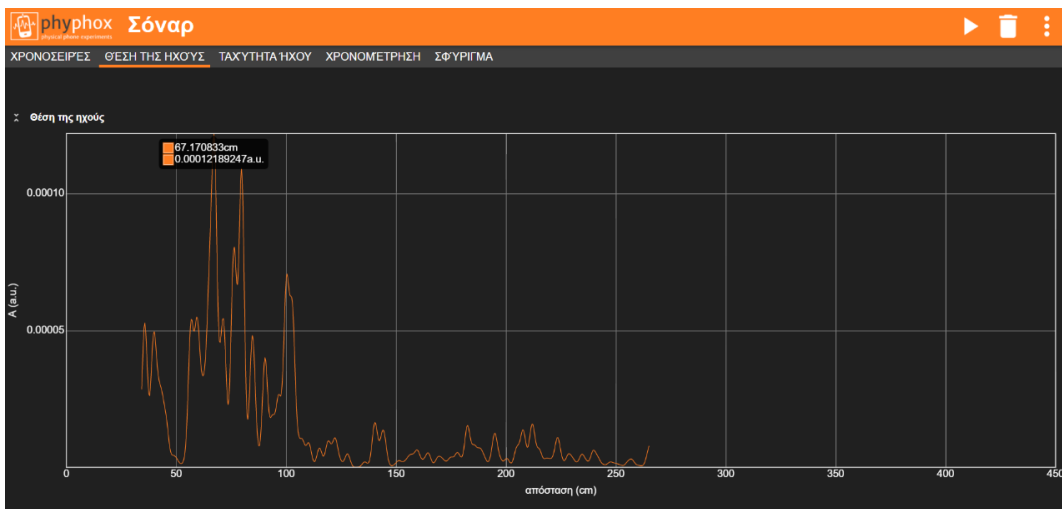
Εικόνα 7.7: Αποτελέσματα μετρήσεων για απόσταση 50 cm



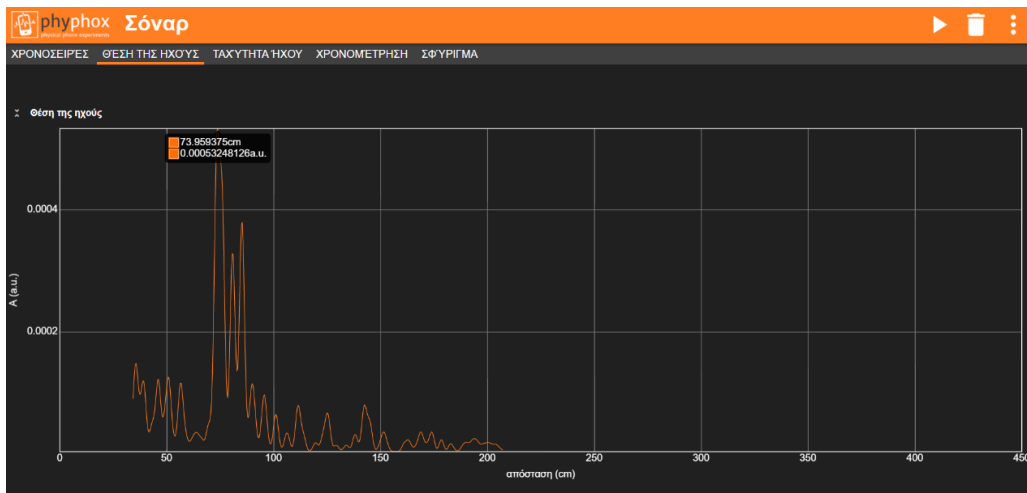
Εικόνα 7.8: Αποτελέσματα μετρήσεων για απόσταση 55 cm



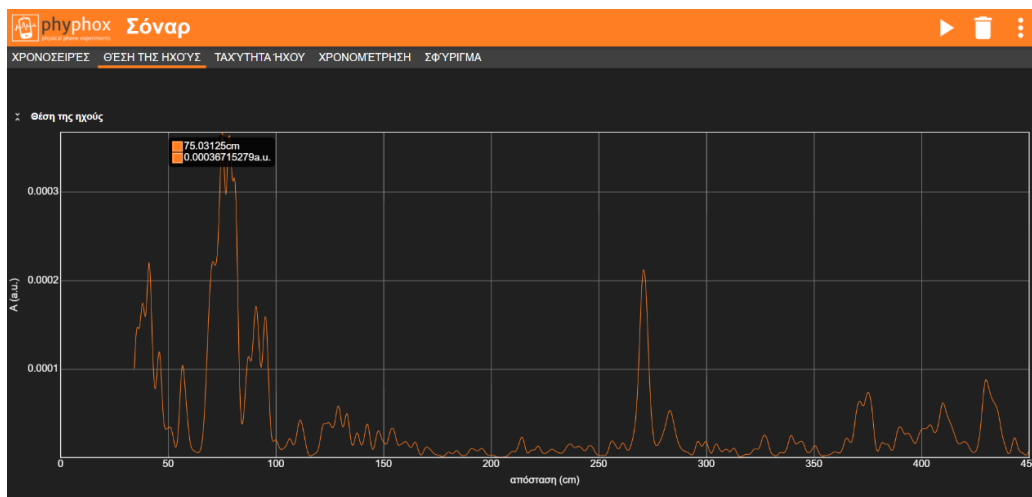
Εικόνα 7.9: Αποτελέσματα μετρήσεων για απόσταση 60 cm



Εικόνα 7.10: Αποτελέσματα μετρήσεων για απόσταση 65 cm



Εικόνα 7.11: Αποτελέσματα μετρήσεων για απόσταση 70 cm



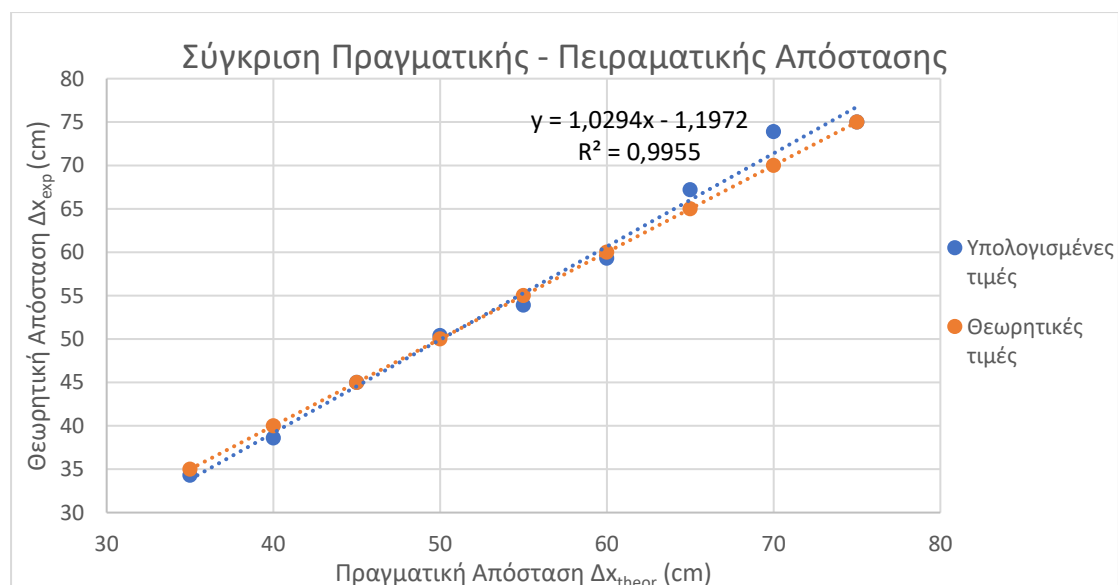
Εικόνα 7.12: Αποτελέσματα μετρήσεων για απόσταση 75 cm

Στον Πίνακα 7.1, φαίνονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των θεωρητικών και πειραματικών τιμών του πειράματος του Σόναρ. Βάσει αυτών σχεδιάζεται η γραφική παράσταση που παρουσιάζει την απόκλιση των θεωρητικών και πειραματικών μετρήσεων.

Πίνακας 7.1: Αποτελέσματα μετρήσεων πειράματος σόναρ

A/A	Πραγματική Απόσταση dx_{th} (cm)	Πειραματική Απόσταση dx_{exp} (cm)
1	35,0	34,3
2	40,0	38,6
3	45,0	45,0
4	50,0	50,4
5	55,0	53,9
6	60,0	59,3
7	65,0	67,2
8	70,0	73,9
9	75,0	75,0

Με τη βοήθεια του προγράμματος Excel, μπορεί να γίνει ευκολότερη η επεξεργασία των δεδομένων, με τον σχεδιασμό της γραφικής τους παράστασης και της εύρεσης των εξισώσεων που τις χαρακτηρίζουν. Στην Εικόνα 7.13, παρουσιάζεται η θεωρητική και πειραματική ευθεία που συνδέει τις διάφορες αποστάσεις, για τις οποίες διεξήχθη το πείραμα.



Εικόνα 7.13: Γράφημα πραγματικής απόστασης μεταξύ πηγής και επιφάνειας συναρτήσει υπολογιζόμενης απόστασης

7.6 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα

Όπως φαίνεται από την εξίσωση ο συντελεστής συσχέτισης είναι πολύ κοντά στη μονάδα, γεγονός το οποίο δείχνει την ορθότητα των μετρήσεων. Αναφορικά με τις εξισώσεις, αυτή των πραγματικών τιμών χαρακτηρίζεται από την $y=x$, ενώ όπως υπολογίστηκε από το πρόγραμμα Excel, αυτή των πειραματικών μετρήσεων είναι η

$$y = 1,0294x - 1,1972$$

Συγκρίνοντας αυτή με την $y=x$, η κλίση της είναι $\alpha=1,0294$ δηλαδή προσεγγίζει την κλίση της ευθείας των πραγματικών τιμών. Τα παραπάνω αποδεικνύουν πως το πείραμα διεξήχθη ορθά αν και οι συνθήκες δεν ήταν οι ιδανικές. Σημαντικότερος παράγοντας που συμβάλλει στη μεταβολή των μετρήσεων για το συγκεκριμένο πείραμα, είναι η απώλεια ηχομόνωσης. Προκειμένου να γίνουν ορθά οι μετρήσεις κρίνεται αναγκαία η αποφυγή εξωτερικών ηχητικών κυμάτων, τα οποία επηρεάζουν το μικρόφωνο του κινητού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 - Ελαστική Κρούση Σφαίρας με Οριζόντιο Δάπεδο

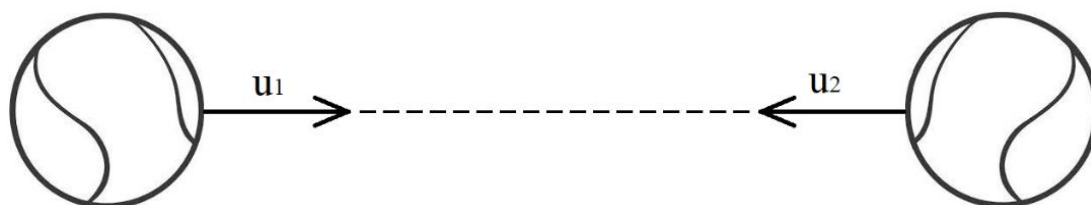
8.1 Σκοπός

Το παρακάτω πείραμα, έχει ως σκοπό τη μελέτη ελαστικής κρούσης σώματος σε επίπεδη οριζόντια επιφάνεια. Με την εκτέλεση του πειράματος, υπολογίζεται το ύψος του σώματος σε κάθε αναπήδηση και συγκρίνεται με τα αντίστοιχα θεωρητικά αποτελέσματα.

8.2 Θεωρία

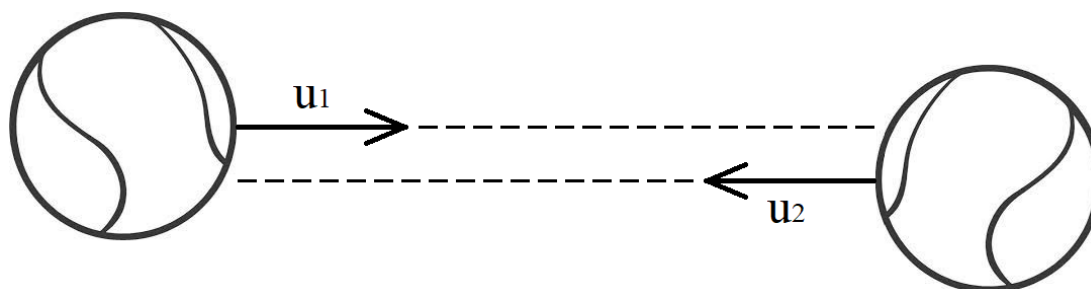
Οι κρούσεις είναι ένα φαινόμενο το οποίο παρατηρείται τόσο στον μακρόκοσμο, όσο και στον μικρόκοσμο σε επίπεδο ατόμων. Ως κρούση ορίζεται η αλληλεπίδραση μεταξύ δυο σωμάτων, η οποία διαρκεί απειροελάχιστα και εξαιτίας των τεράστιων εσωτερικών δυνάμεων που αναπτύσσονται, με αποτέλεσμα να αλλάζει η κινητική τους κατάσταση. Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ των σωμάτων που συμμετέχουν σε μια κρούση, καλούνται δυνάμεις κρούσης ή ωστικές δυνάμεις και είναι πολύ μεγαλύτερες από κάθε εξωτερική δύναμη, καθώς προκαλούν μεταβολή της κινητικής κατάστασης των σωμάτων. Μακροσκοπικά, για την κρούση δυο σωμάτων απαιτείται η στιγμιαία επαφή τους, σε αντίθεση με το μικρόκοσμο, όπου η μεταβολή της κινητικής κατάστασης ενός ατόμου μπορεί να προκύψει με μια απωστική ηλεκτροστατική δύναμη.

Οι κρούσεις διακρίνονται ανάλογα με τη διεύθυνση των ταχυτήτων των κρούσεων σε κεντρικές ή μετωπικές, σε έκκεντρες και σε πλάγιες. Στην πρώτη κατηγορία κρούσεων, οι ταχύτητες των σωμάτων πριν και μετά την κρούση, έχουν διεύθυνση την ευθεία που ενώνει τα κέντρα μάζας τους, όπως φαίνεται στην Εικόνα 8.1. Στην περίπτωση που τα σώματα αυτά είναι σφαίρες, τότε και μετά την κρούση τα διανύσματα των ταχυτήτων τους θα εξακολουθήσουν να βρίσκονται στον ίδιο φορέα, αφού η επαφή τους γίνεται σε ένα μοναδικό σημείο.



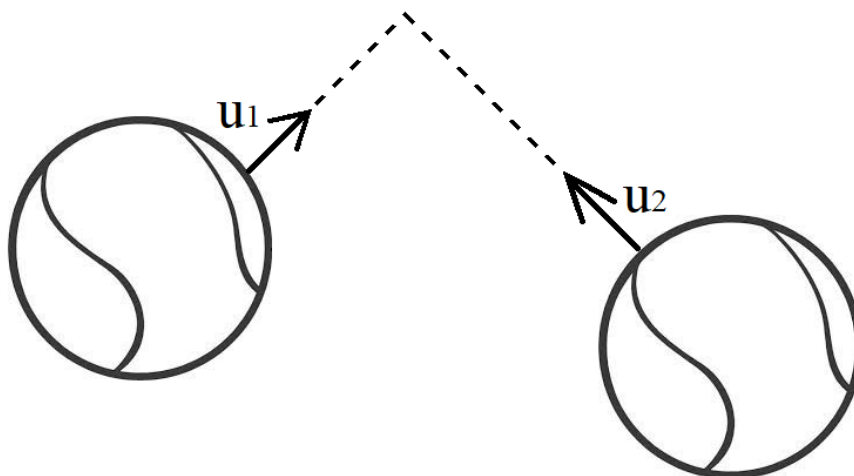
Εικόνα 8.1: Κεντρική ή μετωπική κρούση σωμάτων

Στην έκκεντρη κρούση, οι ταχύτητες των σωμάτων πριν την κρούση είναι παράλληλες χωρίς όμως να ταυτίζονται, όπως φαίνεται στην Εικόνα 8.2.



Εικόνα 8.2: Έκκεντρη κρούση σωμάτων

Η τελευταία κατηγορία κρούσεων αφορά την πλάγια κρούση, στην οποία οι διευθύνσεις των ταχυτήτων των σωμάτων είναι τυχαίες, τόσο πριν όσο και μετά την κρούση, σύμφωνα με την Εικόνα 8.3.



Εικόνα 8.3: Πλάγια κρούση σωμάτων

Ανάλογα με το αν διατηρείται η μηχανική ενέργεια του συστήματος των συγκρουόμενων σωμάτων, οι κρούσεις διακρίνονται σε ελαστικές και σε ανελαστικές. Στην ελαστική κρούση σωμάτων, η μηχανική ενέργεια του συστήματος των σωμάτων παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια της κρούσης και ισχύει η Αρχή Διατήρησης της Μηχανικής Ενέργειας (ΑΔΜΕ), δηλαδή:

$$E_{μηχ_{αρχ}} = E_{μηχ_{τελ}} \Leftrightarrow K_{αρχ} - U_{αρχ} = K_{τελ} - U_{τελ}$$

Κατά την κρούση θεωρώντας πως η θέσεις των σωμάτων αρχικά και τελικά δεν αλλάζουν και ότι η διάρκεια αυτής είναι μηδενική, τότε προκύπτει:

$$K_{συστ_{αρχ}} = K_{συστ_{τελ}} \Leftrightarrow K_1 + K_2 = K_1' + K_2' \Leftrightarrow K_1 - K_1' = K_2 - K_2' \Leftrightarrow \Delta K_1 = -\Delta K_2$$

Κατά την ανελαστική κρούση σωμάτων, υπάρχει απώλεια ενέργειας με τη μορφή θερμότητας, η οποία μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση:

$$Q = E_{απωλ} = E_{μηχ_{αρχ}} - E_{μηχ_{τελ}} \Leftrightarrow Q = (K_{συστ_{αρχ}} + U_{συστ_{αρχ}}) - (K_{συστ_{τελ}} + U_{συστ_{τελ}}) \Leftrightarrow Q = K_{συστ_{αρχ}} - K_{συστ_{τελ}}$$

Μια ειδική περίπτωση της ανελαστικής κρούσης είναι η πλαστική, η οποία οδηγεί σε συσσωμάτωμα, δηλαδή τα σώματα μετά την κρούση κινούνται μαζί με μάζα $M = m_1 + m_2$. Σημαντική εξίσωση που εφαρμόζεται κατά την κρούση σωμάτων, είναι η Αρχή Διατήρησης της Ορμής (ΑΔΟ). Σύμφωνα με αυτή το διανυσματικό άθροισμα των ορμών ενός συστήματος παραμένει πάντα σταθερό, με την προϋπόθεση ότι η συνισταμένη των εξωτερικών δυνάμεων που διενεργούν στο σύστημα είναι μηδέν ή η συνισταμένη αυτών είναι μηδέν. Δηλαδή για το σύστημα ισχύει:

$$\overline{\Sigma \vec{F}} = \frac{d\overline{P}}{dt} \Leftrightarrow \overline{\Sigma \vec{F}_{εσωτ}} + \overline{\Sigma \vec{F}_{εξωτ}} = \frac{d\overline{P}_{συστ}}{dt} \quad (8,1)$$

Λόγω δράσης – αντίδρασης, η $\overline{\Sigma \vec{F}_{εσωτ}}$ θεωρείται ίση με το μηδέν και η (8,1) γίνεται:

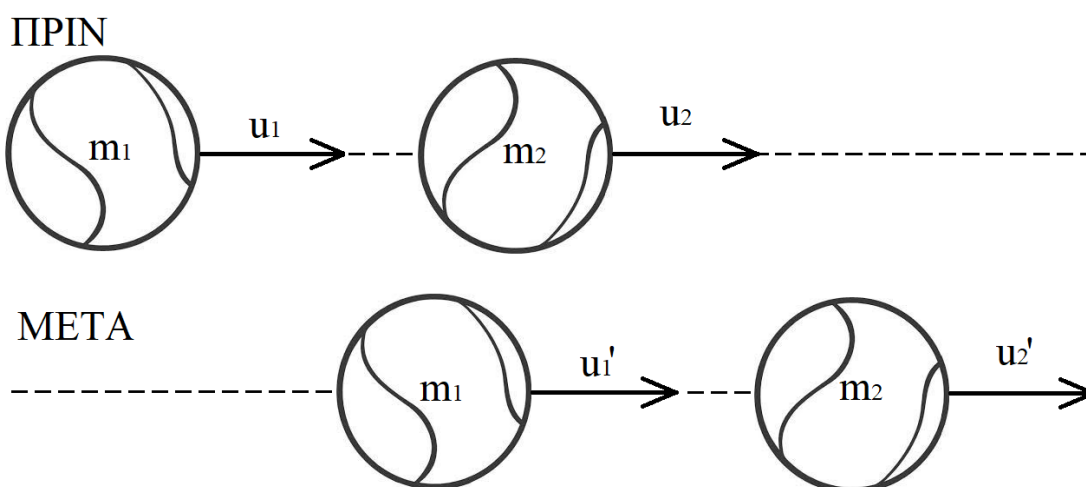
$$\overline{\Sigma \vec{F}_{εξωτ}} = \frac{d\overline{P}_{συστ}}{dt} \quad (8,2)$$

Στην περίπτωση που δεν ασκούνται εξωτερικές δυνάμεις ή ασκούνται και η συνισταμένη τους είναι ίση με μηδέν ή ασκούνται αλλά δεν επηρεάζουν την κίνηση κατά τη διάρκεια της κρούσης, τότε η (8,2) γίνεται:

$$\frac{d\vec{P}_{\text{συστ}}}{dt} = 0 \Leftrightarrow \vec{P}_{\text{συστ}_{\alpha\rho\chi}} = \vec{P}_{\text{συστ}_{\tau\epsilon\lambda}} \Leftrightarrow \vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}'_1 + \vec{P}'_2 \Leftrightarrow \vec{P} - \vec{P}'_1 = \vec{P} - \vec{P}'_2 \Leftrightarrow \Delta\vec{P}_1 = -\Delta\vec{P}_2$$

όπου η ορμή ενός σώματος ισούται με το γινόμενο της μάζας του επί την ταχύτητά του.

Έστω δυο σφαίρες με μάζες m_1 και m_2 , οι οποίες έχουν λείες επιφάνειες και κινούνται χωρίς να περιστρέφονται. Οι φορείς αυτών είναι παράλληλοι και οι σφαίρες συγκρούονται ελαστικά και κεντρικά, με τις δυνάμεις που αναπτύσσονται λόγω δράσης αντίδρασης να έχουν την ίδια διεύθυνση με αυτή της κίνησης. Πριν την κρούση τα σώματα κινούνται με ταχύτητες u_1 και u_2 αντίστοιχα, ενώ μετά την κρούση οι ταχύτητές τους γίνονται u_1' και u_2' και έχουν διεύθυνση ίδια με πριν. Σχηματικά το φαινόμενο της κρούσης αυτών φαίνεται στην Εικόνα 8.4.



Εικόνα 8.4: Κεντρική ελαστική κρούση σωμάτων

Εφαρμόζοντας την Αρχή Διατήρησης της Ορμής (ΑΔΟ) για την κρούση προκύπτει:

$$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}'_1 + \vec{P}'_2 \Leftrightarrow m_1 * u_1 + m_2 * u_2 = m_1 * u_1' + m_2 * u_2' \Leftrightarrow m_1 * u_1 - m_1 * u_1' = m_2 * u_2 - m_2 * u_2' \Leftrightarrow m_1 * (u_1 - u_1') = m_2 * (u_2 - u_2') \quad (8,3)$$

Εφαρμόζοντας την Αρχή Διατήρησης της Μηχανικής Ενέργειας προκύπτει:

$$K_{\text{συστ}_{\alpha\rho\chi}} = K_{\text{συστ}_{\tau\epsilon\lambda}} \Leftrightarrow K_1 + K_2 = K_1' + K_2' \Leftrightarrow \frac{1}{2} * m_1 * u_1^2 + \frac{1}{2} * m_2 * u_2^2 = \frac{1}{2} * m_1 * u_1'^2 + \frac{1}{2} * m_2 * u_2'^2 \Leftrightarrow m_1 * u_1^2 - m_1 * u_1'^2 = m_2 * u_2'^2 - m_2 * u_2^2 \Leftrightarrow m_1 * (u_1^2 - u_1'^2) = m_2 * (u_2'^2 - u_2^2) \Leftrightarrow \Leftrightarrow m_1 * (u_1 + u_1') * (u_1 - u_1') = m_2 * (u_2 + u_2') * (u_2 - u_2') \quad (8,4)$$

Από τις σχέσεις (8,3) και (8,4) προκύπτει:

$$-(u_1 + u_1') = (u_2 + u_2') \Leftrightarrow u_1 + u_1' = u_2 + u_2' \Leftrightarrow u_2' = u_1 + u_1' - u_2.$$

$$\text{Έτσι η (9,3) γίνεται: } m_1 * (u_1 - u_1') = m_2 * (u_1 + u_1' - u_2 - u_2) \Leftrightarrow m_1 * u_1 - m_1 * u_1' =$$

$$m_2 * u_1 + m_2 * u_1' - 2 * m_2 * u_2 \Leftrightarrow m_1 * u_1 - m_2 * u_1 + 2 * m_2 * u_2 = u_1' * (m_1 + m_2)$$

$$\Leftrightarrow u_1' = \frac{(m_1 - m_2) * u_1 + 2 * m_2 * u_2}{m_1 + m_2} \quad (8,5).$$

Όμοια αποδεικνύεται για τη σφαίρα 2 ότι:

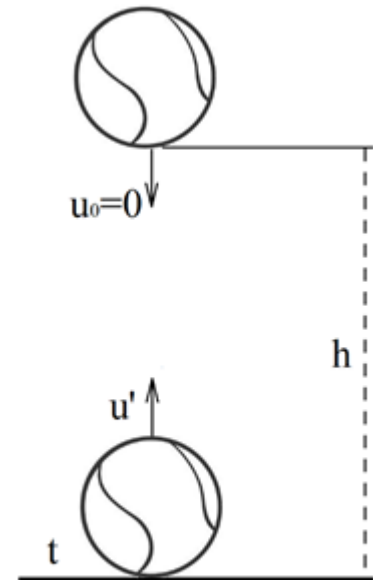
$$u_2' = \frac{(m_2 - m_1) * u_2 + 2 * m_1 * u_1}{m_1 + m_2} \quad (8,6)$$

Σημαντική σημείωση είναι πως οι σχέσεις (8,5) και (8,6) ισχύουν μόνο στην κεντρική ελαστική κρούση δυο σωμάτων. Στην περίπτωση όπου η μάζα του ενός σώματος είναι κατά πολύ μεγαλύτερη του άλλου, τότε η σχέση (8,5) γίνεται:

$$u_1' = \frac{-(m_2 * u_1)}{m_2} \Leftrightarrow u_1' = -u_1$$

Δηλαδή το σώμα m_1 αντιστρέφει τη φορά της κίνησής του, ενώ έχει ταχύτητα ίσου μέτρου με την αρχική. Αντίθετα, το σώμα m_2 παραμένει ακίνητο και μετά την κρούση.

Έστω σώμα μάζας m , το οποίο ρίπτεται από ύψος h , όπως φαίνεται στην Εικόνα 8.5. Έστω t_0 η χρονική στιγμή την οποία ξεκινάει να κινείται με μηδενική αρχική ταχύτητα. Θεωρώντας πως η κρούση είναι ελαστική και δεν υπάρχουν απώλειες, αυτό θα εκτελέσει ελεύθερη πτώση, καθώς πάνω του ενεργεί μόνο το βάρος του και μετά από χρόνο t προσκρούει στο έδαφος και εκτελεί οριζόντια βολή με αρχική ταχύτητα ίση με αυτή που είχε στιγμιαία λίγο πριν φτάσει στο έδαφος. Έτσι εκτελεί επιβραδυνόμενη κίνηση ανερχόμενο προς τα πάνω μέχρι που η ταχύτητά του στιγμιαία μηδενίζεται. Σε ιδανικές συνθήκες και για πλήρως ελαστικό σώμα, το ύψος της αναπήδησης είναι ίσο με το αρχικό ύψος ρίψης της σφαίρας, κάτι το οποίο πρακτικά δε μπορεί να συμβεί, λόγω απωλειών. Έστω ριπτόμενο σώμα από ύψος h , h_1 το ύψος αναπήδησης και u' η ταχύτητα που αποκτά στιγμιαία πριν φτάσει στο έδαφος. Από τις εξισώσεις ελεύθερης πτώσης ενός σώματος ισχύει:



Εικόνα 8.5: Ελεύθερη πτώση σώματος και κρούση με το έδαφος

$$h = \frac{1}{2} * g * t^2 \text{ και } u' = g * t, \text{ άρα } u' = g * \sqrt{\frac{2 * h}{g}} \Leftrightarrow u' = \sqrt{2 * g * h}.$$

Η ταχύτητα αυτή γίνεται αρχική ταχύτητα της επιβραδυνόμενης κίνησης που αυτό θα εκτελέσει προς τα πάνω, μετά την κρούση. Το ύψος h_1 ισούται με:

$$h_1 = \left(u' * t' - \frac{1}{2} * g * t'^2 \right) * E_{\delta i a t}$$

,ενώ για ελαστική σφαίρα με γνωστή τη μέση διατηρούμενη ενέργεια ισχύει:

$$h_1 = \frac{u'^2}{2 * g} \quad (8,7)$$

8.3 Πειραματική Διάταξη

Τα όργανα και οι συσκευές που χρειάζονται για την εκτέλεση του πειράματος φαίνονται παρακάτω.

- Κινητό τηλέφωνο
- Μέτρο
- Ελαστική σφαίρα

Αρχικά τοποθετείται κάθετα το μέτρο, προκειμένου να υπολογίζεται η απόσταση από το έδαφος. Στη συνέχεια τοποθετείται το κινητό τηλέφωνο στο μέσο της απόστασης και πραγματοποιείται εκκίνηση της εφαρμογής Phyrhox στο πείραμα «(Αν)ελαστική κρούση» με το μικρόφωνο του στραμμένο προς το επίπεδο που πραγματοποιείται η ρίψη. Έπειτα αφήνεται η σφαίρα να ριφθεί από συγκεκριμένο ύψος, χωρίς αρχική ταχύτητα, το οποίο και σημειώνεται. Αυτή χτυπώντας στο έδαφος ελαστικά προκαλεί ηχητικό κύμα, που ανιχνεύεται από το κινητό τηλέφωνο και υπολογίζεται ο χρόνος που χρειάζεται για να κατέλθει για δεύτερη φορά. Η εφαρμογή Phyrhox έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει πέντε συνεχείς αναπήδησεις και να υπολογιστεί τόσο το ύψος αναπήδησης, όσο και η μέση διατηρούμενη ενέργεια.

8.4 Πειραματική Διαδικασία

- 1) Αρχικά, τοποθετείται κάθετα το μέτρο και παράλληλα στη βάση στήριξης, σύμφωνα με την Εικόνα 8.6, προκειμένου να υπολογίζονται οι διάφορες θέσεις αναπήδησης της σφαίρας.



Εικόνα 8.6: Κάθετη τοποθέτηση μέτρου

- 2) Εκκίνηση του πειράματος «(Αν)ελαστική κρούση» και τοποθέτηση του κινητού τηλεφώνου στο μέσο της απόστασης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 8.7, προκειμένου να λαμβάνονται τα ηχητικά κύματα που δημιουργούνται από την κρούση της σφαίρας με το οριζόντιο δάπεδο και να υπολογίζεται η αναπήδηση.



Εικόνα 8.7: Τελική πειραματική διάταξη ελαστικής κρούσης

- 3) Τέλος, αφήνεται η σφαίρα από δεδομένο αρχικό ύψος (Εικόνα 8.8) να εκτελέσει ελεύθερη πτώση και καταγράφονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή Phyrhox.



Εικόνα 8.8: Αρχικό ύψος πτώσης σφαίρας

Αφού γίνει καταγραφή των αποτελεσμάτων με τη βοήθεια της εφαρμογής Pphyrox, επαναλαμβάνεται η ρίψη της ίδιας σφαίρας από διαφορετικά αρχικά ύψη. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του πειράματος, παρουσιάζονται στην Εικόνα 8.9 και με τη βοήθεια αυτών μπορεί να γίνει σύγκριση των θεωρητικών τιμών με τις αντίστοιχες πειραματικές.

50 cm	60 cm	70 cm
Ύψος 0 51.16 cm	Ύψος 0 63.57 cm	Ύψος 0 70.71 cm
Ύψος 1 41.13 cm Χρόνος 1 0.579 N	Ύψος 1 49.40 cm Χρόνος 1 0.635 N	Ύψος 1 56.79 cm Χρόνος 1 0.680 N
Ύψος 2 33.07 cm Χρόνος 2 0.519 N	Ύψος 2 38.39 cm Χρόνος 2 0.560 N	Ύψος 2 45.60 cm Χρόνος 2 0.610 N
Ύψος 3 26.66 cm Χρόνος 3 0.466 N	Ύψος 3 31.49 cm Χρόνος 3 0.507 N	Ύψος 3 37.41 cm Χρόνος 3 0.552 N
Ύψος 4 21.71 cm Χρόνος 4 0.421 N	Ύψος 4 24.49 cm Χρόνος 4 0.447 N	Ύψος 4 30.45 cm Χρόνος 4 0.498 N
Ύψος 5 17.46 cm Χρόνος 5 0.377 N	Ύψος 5 19.11 cm Χρόνος 5 0.395 N	Ύψος 5 24.51 cm Χρόνος 5 0.447 N
80 cm	90 cm	100 cm
Ύψος 0 81.00 cm	Ύψος 0 90.22 cm	Ύψος 0 106.38 cm
Ύψος 1 63.89 cm Χρόνος 1 0.722 N	Ύψος 1 71.67 cm Χρόνος 1 0.764 N	Ύψος 1 80.81 cm Χρόνος 1 0.812 N
Ύψος 2 50.39 cm Χρόνος 2 0.641 N	Ύψος 2 56.92 cm Χρόνος 2 0.681 N	Ύψος 2 61.38 cm Χρόνος 2 0.708 N
Ύψος 3 40.49 cm Χρόνος 3 0.575 N	Ύψος 3 46.43 cm Χρόνος 3 0.615 N	Ύψος 3 46.84 cm Χρόνος 3 0.618 N
Ύψος 4 32.82 cm Χρόνος 4 0.517 N	Ύψος 4 35.66 cm Χρόνος 4 0.539 N	Ύψος 4 35.60 cm Χρόνος 4 0.539 N
Ύψος 5 26.43 cm Χρόνος 5 0.464 N	Ύψος 5 28.40 cm Χρόνος 5 0.481 N	Ύψος 5 27.56 cm Χρόνος 5 0.474 N

Εικόνα 8.9: Αποτελέσματα μετρήσεων ελαστικής κρούσης

Εισάγοντας τα παραπάνω δεδομένα στο πρόγραμμα Excel προκύπτει ο Πίνακας 8.1, βάσει του οποίου μπορεί να γίνει επεξεργασία των μετρήσεων.

Πίνακας 8.1: Αποτελέσματα μετρήσεων πειράματος ελαστικής κρούσης

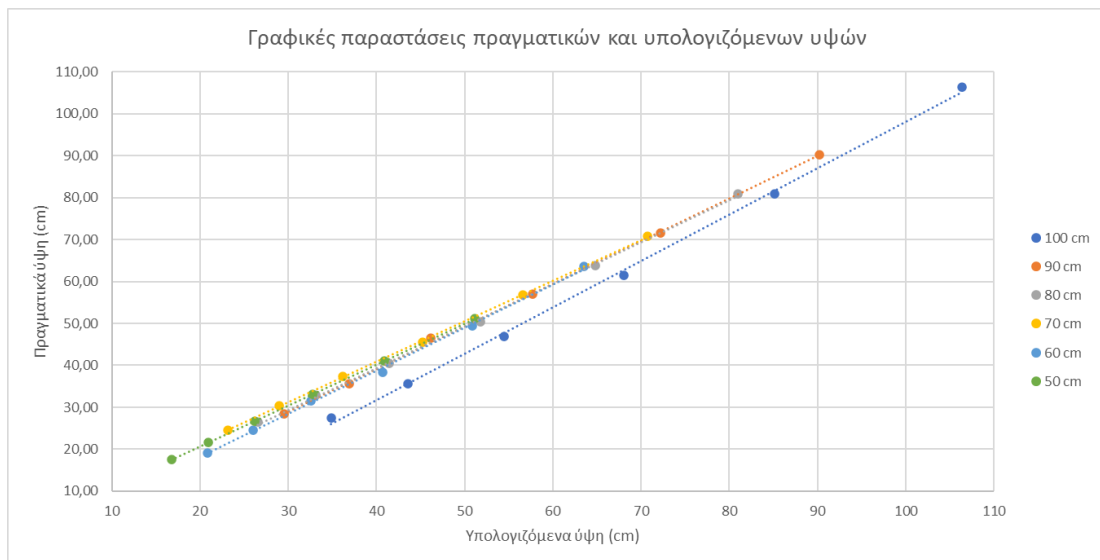
A/A	Αρχικό Ύψος h (cm)	1η αναπήδηση	2η αναπήδηση	3η αναπήδηση	4η αναπήδηση	5η αναπήδηση
		h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	h4 (cm)	h5 (cm)
1	106,38	80,81	61,38	46,84	35,60	27,56
2	90,22	71,67	56,92	46,43	35,66	28,40
3	81,00	63,89	50,39	40,49	32,82	26,43
4	70,71	56,79	45,60	37,41	30,45	24,51
5	63,57	49,40	38,39	31,49	24,49	19,11
6	51,16	41,13	33,07	26,66	21,71	17,46

Χρησιμοποιώντας τη σχέση (8,7), μπορεί να υπολογιστεί θεωρητικά το ύψος αναπήδησης της σφαίρας και να συγκριθεί με το αντίστοιχο πειραματικό, δεδομένου ότι η μέση διατηρούμενη ενέργεια της σφαίρας είναι 80%. Τα αποτελέσματα των επεξεργασμένων μετρήσεων, φαίνονται στον Πίνακα 8.2, βάσει των οποίων θα σχεδιαστούν οι απαραίτητες ευθείες.

Πίνακας 8.2: Επεξεργασμένα αποτελέσματα μετρήσεων πειράματος ελαστικής κρούσης

A/A	h (cm)	1η αναπήδηση		2η αναπήδηση		3η αναπήδηση		4η αναπήδηση		5η αναπήδηση	
		u1 (m/sec)	h1 (m)	u2 (m/sec)	h2 (m)	u3 (m/sec)	h3 (m)	u4 (m/sec)	h4 (m)	u5 (m/sec)	h5 (m)
1	106,38	45,68	85,10	40,86	68,08	36,54	54,47	32,68	43,57	29,23	34,86
2	90,22	42,07	72,18	37,62	57,74	33,65	46,19	30,10	36,95	26,92	29,56
3	81,00	39,86	64,80	35,65	51,84	31,89	41,47	28,52	33,18	25,51	26,54
4	70,71	37,24	56,57	33,31	45,25	29,79	36,20	26,65	28,96	23,83	23,17
5	63,57	35,31	50,86	31,58	40,68	28,25	32,55	25,27	26,04	22,60	20,83
6	51,16	31,68	40,93	28,33	32,74	25,34	26,19	22,67	20,96	20,27	16,76

Στην Εικόνα 8.10 φαίνονται οι ευθείες για τα διάφορα αρχικά ύψη, βάσει των οποίων μπορούν να υπολογιστούν οι χαρακτηριστικές εξισώσεις και οι συντελεστές συσχέτισης. Στο γράφημα αυτό, γίνεται μια ποιοτική απεικόνιση των μετρούμενων τιμών και σύγκριση αυτών με τις αντίστοιχες θεωρητικές.



Εικόνα 8.10: Γράφημα υπολογιζόμενου ύψους αναπήδησης συναρτήσει πραγματικού ύψους

Στον παρακάτω Πίνακα 8.3 φαίνονται οι εξισώσεις που χαρακτηρίζουν την κάθε ευθεία, καθώς επίσης και οι συντελεστές συσχέτισης αυτών.

Πίνακας 8.3: Εξισώσεις ευθειών

A/A	Αρχικό Ύψος Ρίψης (cm)	Χαρακτηριστική Εξίσωση ($y=a*x+\beta$)	Συντελεστής Συσχέτισης R^2
1	100	$y = 0,9062x + 9,6192$	0,9950
2	90	$y = 0,8849x + 8,1291$	0,9995
3	80	$y = 0,9813x + 2,0658$	0,9984
4	70	$y = 0,8274x + 10,047$	0,9937
5	60	$y = 0,8977x + 8,2664$	0,9957
6	50	$y = 0,9074x + 6,1562$	0,9989

8.5 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων με τα αντίστοιχα θεωρητικά, φαίνεται πως υπάρχει μικρή απόκλιση μεταξύ τους. Ο συντελεστής συσχέτισης των ευθειών είναι σε κάθε περίπτωση σχεδόν ίσος με τη μονάδα, γεγονός το οποίο δείχνει την ορθότητα των μετρήσεων. Σημαντική σημείωση είναι πως η μάζα της σφαίρας δε χρησιμοποιήθηκε στην επεξεργασία των μετρήσεων, αφού δεν επηρεάζει την ελαστική κρούση. Οι λόγοι για τους οποίους παρατηρούνται οι αποκλίσεις αυτές, παρατίθενται παρακάτω.

- Οι μετρήσεις των υψών με το κινητό τηλέφωνο γίνονται με τη χρήση του μικροφώνου. Συνεπώς όταν η σφαίρα προσκρούει στο έδαφος, το ηχητικό κύμα χρειάζεται κάποιο χρόνο να φτάσει στο κινητό τηλέφωνο, ο οποίος όμως δεν συμπεριλαμβάνεται στις μετρήσεις. Μπορεί βέβαια να θεωρηθεί αμελητέος, αφού η ταχύτητα αυτού είναι πάρα πολύ μεγάλη σε μια τόσο μικρή απόσταση.
- Οι δυνάμεις λόγω τριβών που αναπτύσσονται μεταξύ της σφαίρας και των μορίων του αέρα μπορούν επίσης να θεωρηθούν αμελητέες, καθώς ένα τόσο μικρό σώμα έχει πολύ καλή αεροδυναμική.
- Προκειμένου η μέση διατηρούμενη ενέργεια της σφαίρας να είναι ίδια σε όλες τις ρίψεις, πρέπει αυτή να γίνεται χωρίς αρχική περιστροφή της. Αυτό δε μπορεί να επιτευχθεί, καθώς ο ανθρώπινος παράγοντας καθορίζει το αρχικό ύψος, άρα και την αρχική κατάσταση της σφαίρας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 - Υπολογισμός Στατικής Τριβής

9.1 Σκοπός

Το παρακάτω πείραμα έχει ως σκοπό τον υπολογισμό της τριβής που αναπτύσσεται μεταξύ ενός κινούμενου σώματος και μιας επιφάνειας σε τυχαία γωνία κλίσης, καθώς επίσης και η σύγκριση αυτού με τη μεταβολή της γωνίας αυτής.

9.2 Ιστορική Αναδρομή

Η τριβή απασχόλησε τους ανθρώπους από τα πολύ παλιά χρόνια. Τοποθετώντας δυο σώματα στο ίδιο επίπεδο, εκ των οποίων το ένα έχει μεγαλύτερη επιφάνεια, παρατηρήθηκε πως αυτό απαιτεί την επίδραση μεγαλύτερης δύναμης, προκειμένου να κινηθεί. Οι αρχαίοι Έλληνες προσπάθησαν να κατανοήσουν την αιτία που προκαλεί την αύξηση της τριβής, αλλά και να την μετριάσουν. Από πηγές, έχει καταγραφεί πως οι Έλληνες γνώριζαν τη διαφορά μεταξύ στατικής και κινητικής τριβής, καθώς το 350 μΧ ο Θεμίστιος ή Ευφράδης, γνωστός φιλόσοφος της εποχής, δήλωσε πως είναι πιο εύκολο να κινηθεί ένα αρχικά κινούμενο σώμα, από το να κινηθεί ένα σώμα σε κατάσταση ηρεμίας. [9.1] Ο Ιταλός πολυμαθής Leonardo da Vinci, ασχολήθηκε για πάνω από 20 χρόνια με τους νόμους που διέπουν την τριβή, καθώς αυτή επηρέαζε σημαντικά τις ανακαλύψεις του. [9.2] Ο ίδιος διαχώρισε τη στατική από την κινητική τριβή, ενώ διεξάγοντας και σχεδιάζοντας πειράματα, το 1493 κατάφερε να καταγράψει τους νόμους και τις εξισώσεις που την διέπουν.

Οι σημειώσεις αυτές παρέμειναν κρυμμένες, μέχρι που το 1979 δημοσιεύτηκαν στο βιβλίο του Βρετανού μηχανικού Duncan Dowson, με τίτλο «Ιστορία της τριβολογίας». [9.3] Το 1699, ο Γάλλος φυσικός Guillaume Amontons δημοσίευσε τις σημειώσεις του περί τριβής, οι οποίες βασίζονταν σε αυτές του Leonardo da Vinci και επιβεβαιώθηκαν το 1781 από τον επίσης Γάλλο φυσικό Charles-Augustin de Coulomb. [9.4] Ο ίδιος, το 1785 διερεύνησε περαιτέρω τους παράγοντες που επηρεάζουν την τριβή, και κατέληξε στη φύση των υλικών τα οποία έρχονται σε επαφή, την επιφάνεια τους, το φορτίο που ασκείται σε αυτά και το χρονικό διάστημα που αυτές παραμένουν σε επαφή. Το 1833, ο Γάλλος φυσικός Arthur Jules Morin, ανέπτυξε την έννοια της τριβής κύλισης και τη διαχώρισε από την τριβή ολίσθησης, επιδεικνύοντας τη χρησιμότητά της. [9.3] Μερικά χρόνια αργότερα, το 1866, ο Βρετανός εφευρέτης Osborne Reynolds εισήγαγε την εξίσωση της ιξώδους ροής και με αυτήν ολοκληρώθηκαν οι εξισώσεις τριβής και στα ρευστά. [9.5]

Τον 20^ο αιώνα οι έρευνες επικεντρώθηκαν στην κατανόηση της επιρροής των φυσικών μηχανισμών στην τριβή. Το 1950 ο Αυστραλός φυσικός Frank Philip Bowden και ο Βρετανός φυσικός David Tabor, απέδειξαν πως η πραγματική επιφάνεια επαφής δυο σωμάτων, σε μικροσκοπικό επίπεδο, είναι ένα πολύ μικρό ποσοστό της φαινομενικής περιοχής. [9.6] Η περιοχή αυτή όπως αποδείχτηκε, μεγαλώνει με την αύξηση της πίεσης μεταξύ των δυο επιφανειών, καθώς μελετώντας την επαφή σε ατομικό επίπεδο εισέρχεται και η έννοια της διατμητικής τάσης.

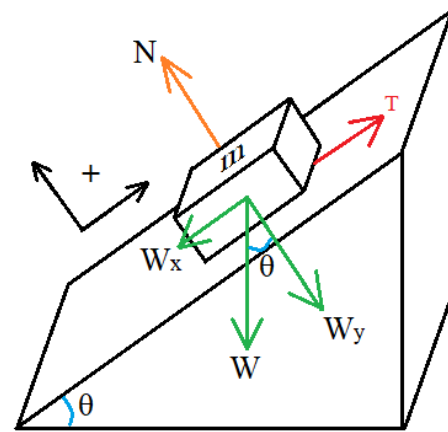
9.3 Θεωρία

Οι προσπάθειες των μελετών για την κατανόηση των εννοιών που διέπουν την τριβή μεταξύ των σωμάτων, ήταν σημαντικές και συνέβαλαν σημαντικά στην επιστημονική έρευνα. Ως τριβή (T ή t), ορίζεται η δύναμη η οποία αντιστέκεται στην κίνηση μεταξύ δυο επιφανειών που έρχονται σε επαφή και έχει ως μονάδα μέτρησης το Newton (N). Η τριβή, δημιουργείται πάντα μεταξύ δυο σωμάτων τα οποία έρχονται σε επαφή και εμφανίζεται σε όλες τις καταστάσεις των σωμάτων της ύλης (στερεά, υγρά, αέρια). Η ξηρά τριβή ή αλλιώς τριβή Coulomb, εμφανίζεται μεταξύ δυο στερεών σωμάτων και τα είδη αυτής είναι, η στατική τριβή, η τριβή ολίσθησης και η τριβή κύλισης. Στη συνέχεια αναλύονται τα τρία αυτά είδη τριβής για κάθε περίπτωση.

9.3.1. Στατική Τριβή

Έστω σώμα μάζας m , το οποίο κινείται σε κεκλιμένο επίπεδο γωνίας θ (Εικόνα 9.1). Η τριβή (T) έχει τη φορά που φαίνεται στο διπλανό σχήμα και αναπτύσσεται μεταξύ του σώματος και του επιπέδου. Η γωνία του επιπέδου θ , μεταφέρεται μεταξύ των W και W_y , ως οξείες γωνίες με πλευρές κάθετες. Εφαρμόζοντας τις εξισώσεις ισορροπίας στους άξονες $x'x$ και $y'y$ και θεωρώντας θετικές φορές αυτές που φαίνονται στο σχήμα, προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$\begin{cases} \Sigma F_x = 0 \\ \Sigma F_y = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} W_x - T = 0 \\ N - W_y = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} W * \sin(\theta) = T \\ N = W * \cos(\theta) \end{cases} \Leftrightarrow$$



Εικόνα 9.1: Στατική τριβή σώματος

$$\Leftrightarrow \begin{cases} W = \frac{T}{\sin(\theta)} \\ W = \frac{N}{\cos(\theta)} \end{cases} \Leftrightarrow \frac{T}{\sin(\theta)} = \frac{N}{\cos(\theta)} \Leftrightarrow T * \cos(\theta) = N * \sin(\theta) \Leftrightarrow T = \frac{\sin(\theta)}{\cos(\theta)} * N \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow T = \tan(\theta) * N \Leftrightarrow T = \mu_{\sigma\tau} * N \quad (9,1)$$

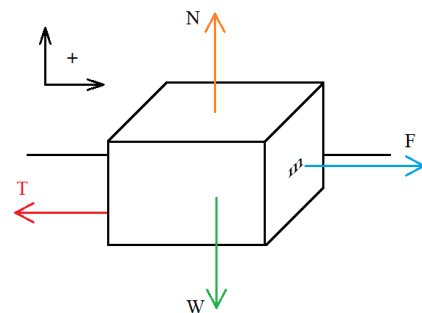
Δηλαδή η τριβή T είναι ίση με το γινόμενο της αντίστασης που ασκεί το επίπεδο στο σώμα, επί έναν σταθερό συντελεστή μ , ο οποίος εξαρτάται από τη γωνία θ . Ο συντελεστής αυτός καλείται συντελεστής στατικής τριβής ($\mu_{\sigma\tau}$) και ισχύει $\mu_{\sigma\tau} = \tan(\theta)$, όπου η γωνία θ είναι η μέγιστη δυνατή γωνία που μπορεί να σχηματιστεί, χωρίς να προκληθεί κίνηση του σώματος.

9.3.2 Τριβή Ολίσθησης

Έστω σώμα μάζας m , το οποίο κινείται με σταθερή ταχύτητα σε οριζόντια επιφάνεια, υπο την επίδραση οριζόντιας σταθερής δύναμης F και θεωρώντας θετική τη φορά που φαίνεται στο διπλανό σχήμα (Εικόνα 9.2). Στον άξονα $y'y$, το σώμα ηρεμεί, επομένως θα ισχύει:

$$\Sigma F_y = 0 \Leftrightarrow N - W = 0 \Leftrightarrow N = W \Leftrightarrow N = m * g$$

όπου g η επιτάχυνση της βαρύτητας.



Εικόνα 9.2: Τριβή ολίσθησης σώματος

Εφαρμόζοντας τον θεμελιώδη νόμο της μηχανικής, στο επίπεδο $x'x$ προκύπτει:

$$\Sigma F_x = m * a \Leftrightarrow F - T = m * a \quad (9,2)$$

Αφού θεωρήθηκε πως το σώμα κινείται με σταθερή ταχύτητα, η επιτάχυνσή του θα ισούται με μηδέν. Έτσι η εξίσωση (9,2) γίνεται:

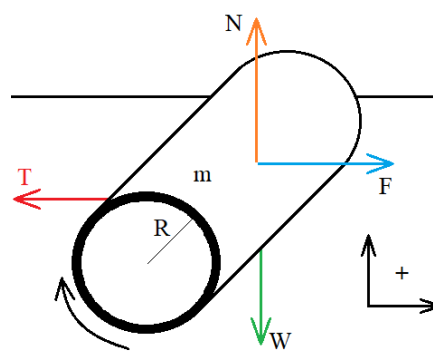
$$F - T = 0 \Leftrightarrow F = T$$

Η δύναμη τριβής που εμφανίζεται κατά την κίνηση του σώματος ονομάζεται τριβή ολίσθησης ή κινητική τριβή και ισχύει η σχέση: $T_k = \mu_k * N$, με το συντελεστή τριβής (μ_k) να παραμένει σταθερός καθ' όλη τη διάρκεια της κίνησης του σώματος.

9.3.3 Τριβή Κύλισης

Έστω κύλινδρος μάζας m και ακτίνας R , ο οποίος κυλίεται σε επίπεδη επιφάνεια όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα (Εικόνα 9.3). Στον $y'y$ το σώμα ισορροπεί, άρα:

$$\Sigma F_y = 0 \Leftrightarrow N - W = 0 \Leftrightarrow N = W \Leftrightarrow N = m * g \quad (9,3)$$



Εικόνα 9.3: Τριβή κύλισης σώματος

Διακρίνονται δυο περιπτώσεις κίνησης του κυλίνδρου.

➤ Κύλιση χωρίς ολίσθηση.

Σε αυτό το είδος κίνησης, ο κύλινδρος δεν περιστρέφεται γύρω από τον εαυτό του παραμένοντας στο ίδιο σημείο πάνω στην επιφάνεια και η κίνηση αυτού προκαλείται λόγω της στατικής τριβής. Για να ισχύει η κύλιση χωρίς ολίσθηση, πρέπει:

$$T < T_{ολ} \Leftrightarrow T < \mu * N$$

και λόγω της (9,3)

$$T < \mu * m * g$$

Στον άξονα $x'x$, όπου συμβαίνει η κίνηση ισχύει:

$$\Sigma F_x = m * a_k \quad (9,4)$$

όπου a_k η επιτάχυνση του κέντρου του κυλίνδρου και λόγω περιστροφικής κίνησης:

$$\Sigma \tau_k = I_k * a_\gamma \quad (9,5)$$

όπου a_γ η γωνιακή επιτάχυνση και I_k η αδράνειά του. Η σχέση που συνδέει τις επιταχύνσεις αυτές είναι $a_k = a_\gamma * R$ (9,6) και έτσι από τις σχέσεις (9,4), (9,5) και (9,6) προκύπτει:

$$\Sigma F_x = m * a_\gamma * R \Leftrightarrow \Sigma F_x = \frac{m * \Sigma \tau_k * R}{I_k}$$

➤ Κύλιση με ολίσθηση

Όμοια με το παραπάνω είδος κύλισης, με μόνη διαφορά ότι ο τροχός περιστρέφεται γύρω από τον εαυτό του παραμένοντας στο ίδιο σημείο. Ισχύουν όλες οι παραπάνω σχέσεις εκτός από την (9,6) και στην περίπτωση που αυτή αρχίσει να ισχύει, θεωρείται πως αλλάζει το είδος της κύλισης.

Στην εφαρμογή αυτή, πρόκειται να υπολογιστεί πειραματικά ο συντελεστής τριβής ενός κατερχόμενου κινητού αντικειμένου, πάνω στο οποίο εφαρμόζονται διαφορετικές δυνάμεις. Εφαρμόζοντας τον δεύτερο νόμο του Νεύτωνα σε κινούμενο σώμα σε κεκλιμένο επίπεδο, προκύπτει:

$$\begin{aligned} \Sigma F_x = m * a &\Leftrightarrow W_x - T = m * a \Leftrightarrow W * \sin(\theta) - \mu * N = m * a \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow m * g * \sin(\theta) - \mu * m * g * \cos(\theta) &= m * a \Leftrightarrow g * \sin(\theta) - \mu * g * \cos(\theta) = a \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \mu * g * \cos(\theta) &= g * \sin(\theta) - a \Leftrightarrow \mu = \frac{g * \sin(\theta) - a}{g * \cos(\theta)} \Leftrightarrow \mu = \frac{g * \sin(\theta)}{g * \cos(\theta)} - \frac{a}{g * \cos(\theta)} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \mu &= \tan(\theta) - \frac{a}{g * \cos(\theta)} \quad (9,7) \end{aligned}$$

Συνεπώς ο συντελεστής τριβής των επιφανειών είναι ανεξάρτητος από τη μάζα, ενώ για την επιτάχυνση του σώματος στο κατώτερο σημείο ισχύει:

$$dx = \frac{1}{2} * a * t^2 \Leftrightarrow a = \frac{2 * dx}{t^2} \Leftrightarrow a = \frac{2}{t^2} \quad (9,8)$$

Από τις εξισώσεις (9,7) και (9,8) και κρατώντας σταθερή την απόσταση που θα διανύσει το σώμα, ίση με 1 μέτρο, προκύπτει:

$$\mu = \tan(\theta) - \frac{\frac{2}{t^2}}{g * \cos(\theta)} \Leftrightarrow \mu = \tan(\theta) - \frac{2}{g * \cos(\theta) * t^2} \quad (9,9)$$

9.4 Πειραματική Διάταξη

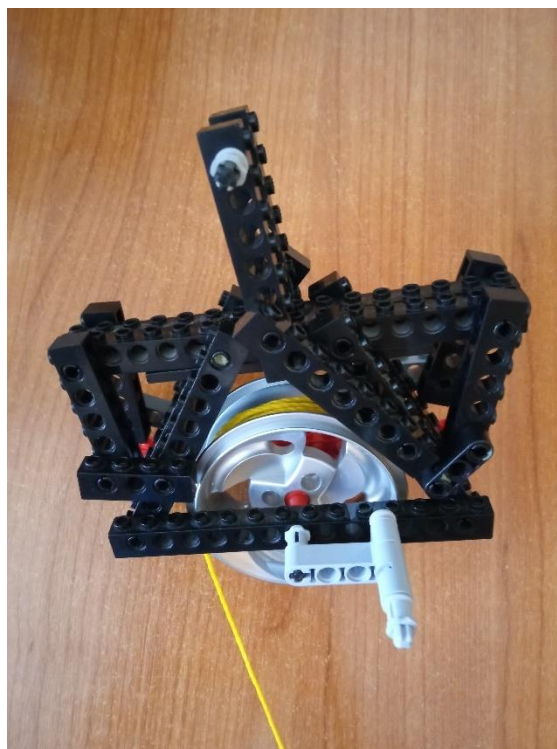
Τα όργανα και οι συσκευές που απαιτούνται για την εκτέλεση του πειράματος είναι:

- Κινητό τηλέφωνο
- Τροχαλία με μανιβέλα
- Σταθερή βάση στήριξης
- Δυο διαφορετικές επιφάνειες
- Νήμα ή σχοινί
- Γυαλόχαρτο

Αρχικά, κατασκευάζεται μια τροχαλία με μανιβέλα και στο εσωτερικό της τυλίγεται νήμα μήκους 2 μέτρων. Το σύστημα μανιβέλας – τροχαλίας στερεώνεται στη βάση στήριξης με τέτοιο τρόπο, ώστε το νήμα να κινείται ελεύθερα στον κάθετο άξονα. Στο κάτω μέρος αυτού, προσδένεται μια επίπεδη επιφάνεια, πάνω στην οποία θα τοποθετηθεί το κινητό τηλέφωνο, με τέτοιο τρόπο ώστε η οθόνη του να είναι ορατή. Η επιφάνεια αυτή, πρόκειται να ανυψωθεί από τη μια της άκρη προκειμένου να σχηματίζει γωνία με το οριζόντιο δάπεδο. Αφού γίνει εκκίνηση της εφαρμογής Phyrhox στο κινητό τηλέφωνο και στο πείραμα «Κλίση», συνδέεται με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή για ευκολότερη καταγραφή των αποτελεσμάτων. Περιστρέφεται η μανιβέλα σταδιακά και με αργό ρυθμό, ώστε να ανυψώνεται η επίπεδη επιφάνεια, μέχρι να ολισθήσει το κινητό τηλέφωνο πάνω σε αυτή. Τέλος, αφού γίνει εξαγωγή της γραφικής παράστασης, επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία με τη δεύτερη επίπεδη επιφάνεια και συγκρίνονται τα αποτελέσματα. Προκειμένου να υπάρξει ορατή μεταβολή στα αποτελέσματα μεταξύ των δυο επιφανειών, τοποθετείται στην πίσω πλευρά του κινητού τηλεφώνου ένα κομμάτι από γυαλόχαρτο.

9.5 Πειραματική Διαδικασία

- 1) Στην Εικόνα 9.4, φαίνεται η τροχαλία η οποία κατασκευάστηκε, προκειμένου να γίνεται σταδιακή ανύψωση της οριζόντιας επιφάνειας.



Εικόνα 9.4: Τροχαλία ανύψωσης επιφάνειας

- 2) Στη συνέχεια γίνεται τοποθέτηση της τροχαλίας στη βάση στήριξης και πρόσδεση της επίπεδης επιφάνειας στο κάτω μέρος του νήματος σύμφωνα με την Εικόνα 9.5



Εικόνα 9.5: Τελική πειραματική διάταξη υπολογισμού στατικής τριβής

- 3) Τέλος, γίνεται σταδιακή περιστροφή της μανιβέλας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 9.6 και ανυψώνεται η οριζόντια επιφάνεια.



Εικόνα 9.6: Σταδιακή ανύψωση επιφάνειας

- 4) Προσκόλληση γυαλόχαρτου στην πίσω επιφάνεια του κινητού τηλεφώνου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 9.7.



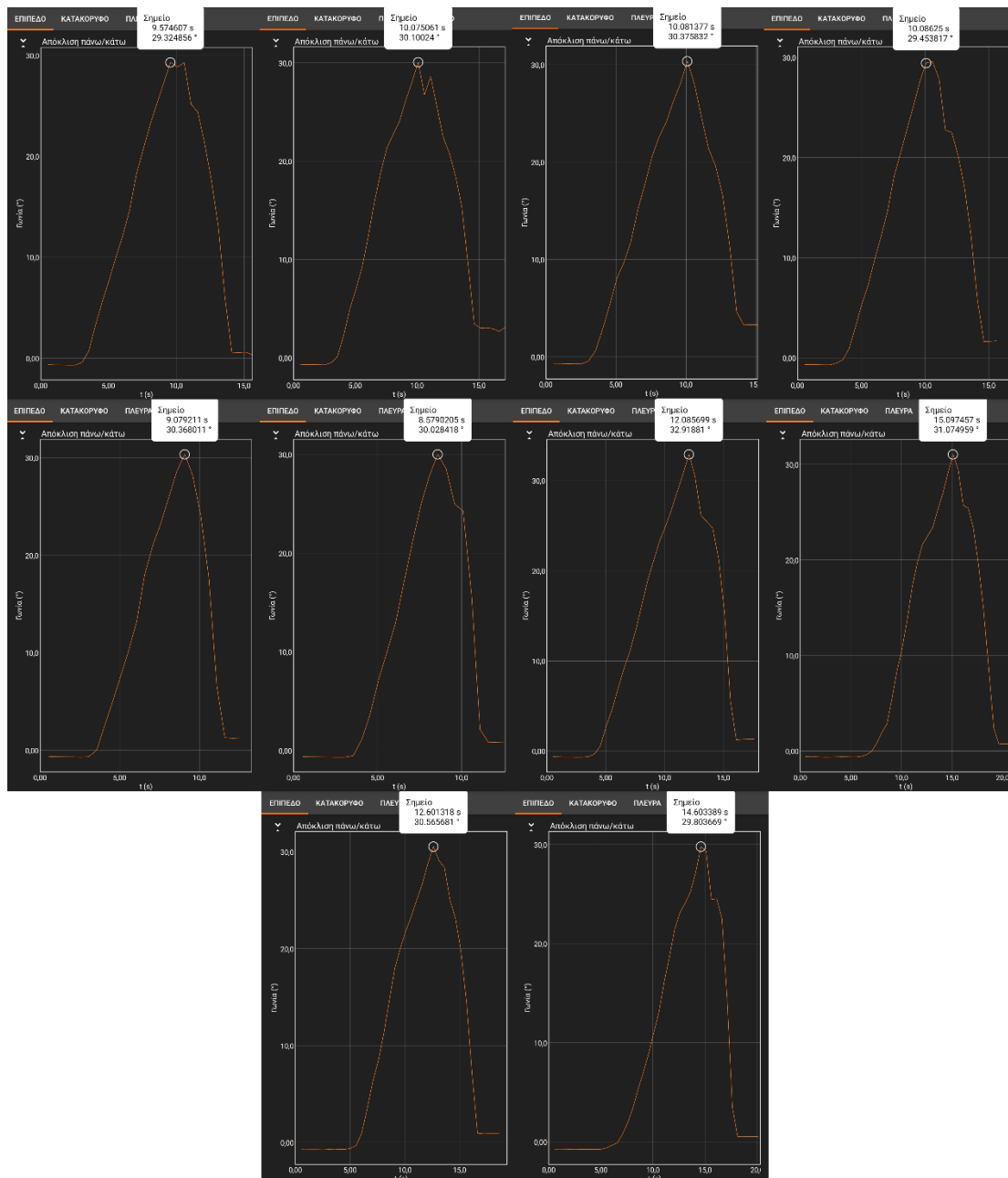
Εικόνα 9.7: Γυαλόχαρτο στην πίσω πλευρά του κινητού τηλεφώνου

- 5) Αλλαγή υλικού επίπεδης επιφάνειας. (Εικόνα 9.8)

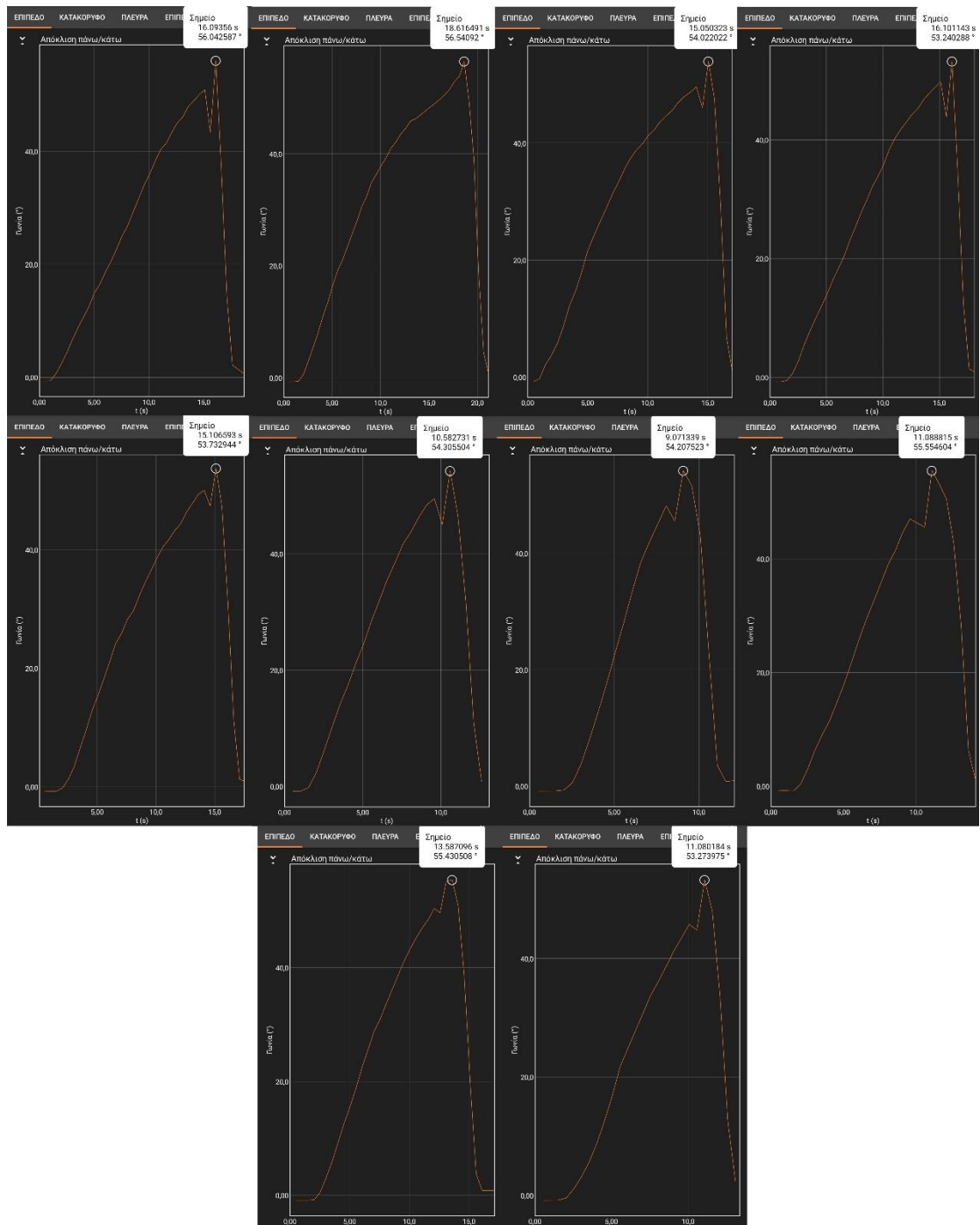


Εικόνα 9.8: Τελική πειραματική διάταξη εύρεσης στατικής τριβής για τη δεύτερη επιφάνεια

Με το πέρας του πειράματος, εξάγονται οι γραφικές παραστάσεις για 10 επαναλήψεις, οι οποίες φαίνονται στις Εικόνες 9.9 και 9.10 για υλικό επιφάνειας χαρτόνι και ξύλο αντίστοιχα. Γίνεται μια συσχέτιση του ημιτόνου και του συνημιτόνου της γωνίας που υπολογίζεται, προκειμένου να υπολογιστεί ο συντελεστής στατικής τριβής.



Εικόνα 9.9: Αποτελέσματα πειράματος μέγιστης γωνίας κλίσης για χαρτόνι



Εικόνα 9.10: Αποτελέσματα πειράματος μέγιστης γωνίας κλίσης για ξύλο

Στον Πίνακα 9.1, έχουν συγκεντρωθεί όλες οι τιμές των μέγιστων γωνιών για τα δυο υλικά και με τη βοήθεια αυτών, σχεδιάζεται η απαραίτητη γραφική παράσταση.

Πίνακας 9.1: Πίνακας αποτελεσμάτων πειράματος στατικής τριβής

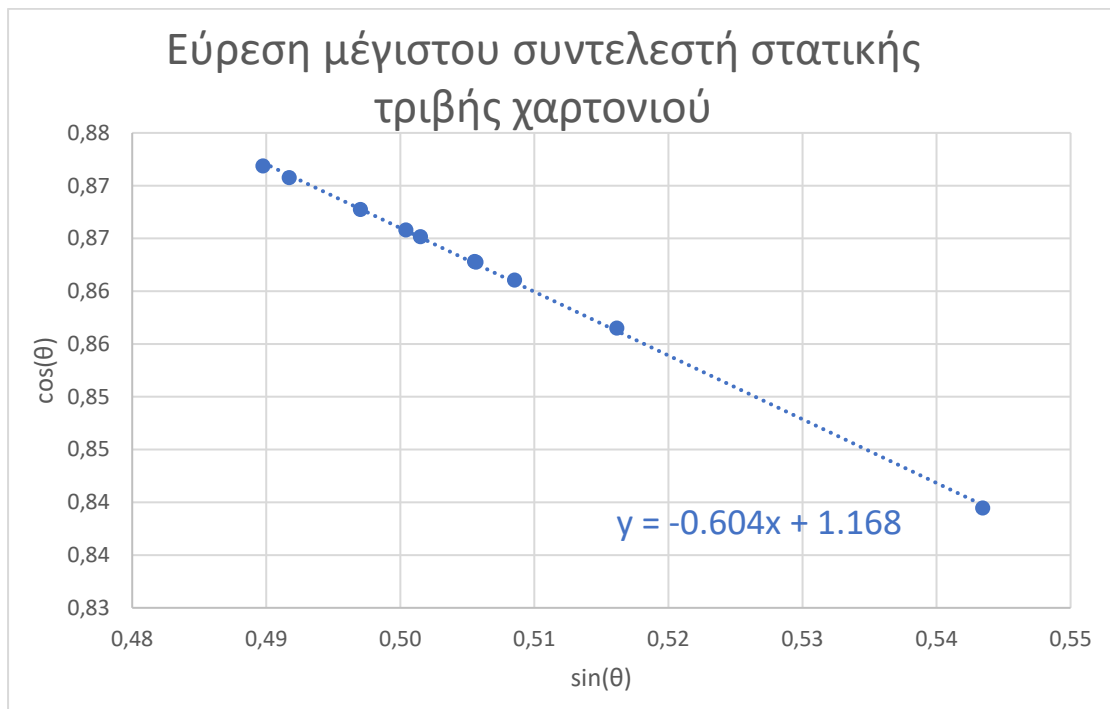
A/A	Μέγιστη Γωνία Κλίσης για Χαρτόνι $\text{deg}_{\text{χαρτ}} (^{\circ})$	Μέγιστη Γωνία Κλίσης για Ξύλο ($\text{deg}_{\text{ξυλ}} (^{\circ})$)
1	29,325	56,043
2	30,100	56,541
3	30,375	54,022
4	29,454	53,240
5	30,368	53,733
6	30,028	54,306
7	32,919	54,208
8	31,075	55,555
9	30,566	55,431
10	29,804	53,274

Προκειμένου να υπολογιστεί ο μέγιστος συντελεστής στατικής τριβής για τις δυο επιφάνειες, κρίνεται αναγκαία η συμπλήρωση του παρακάτω Πίνακα 9.2, βάσει του οποίου μπορούν να κατασκευαστούν οι γραφικές παραστάσεις, προκειμένου να υπολογιστούν οι συντελεστές στατικής τριβής.

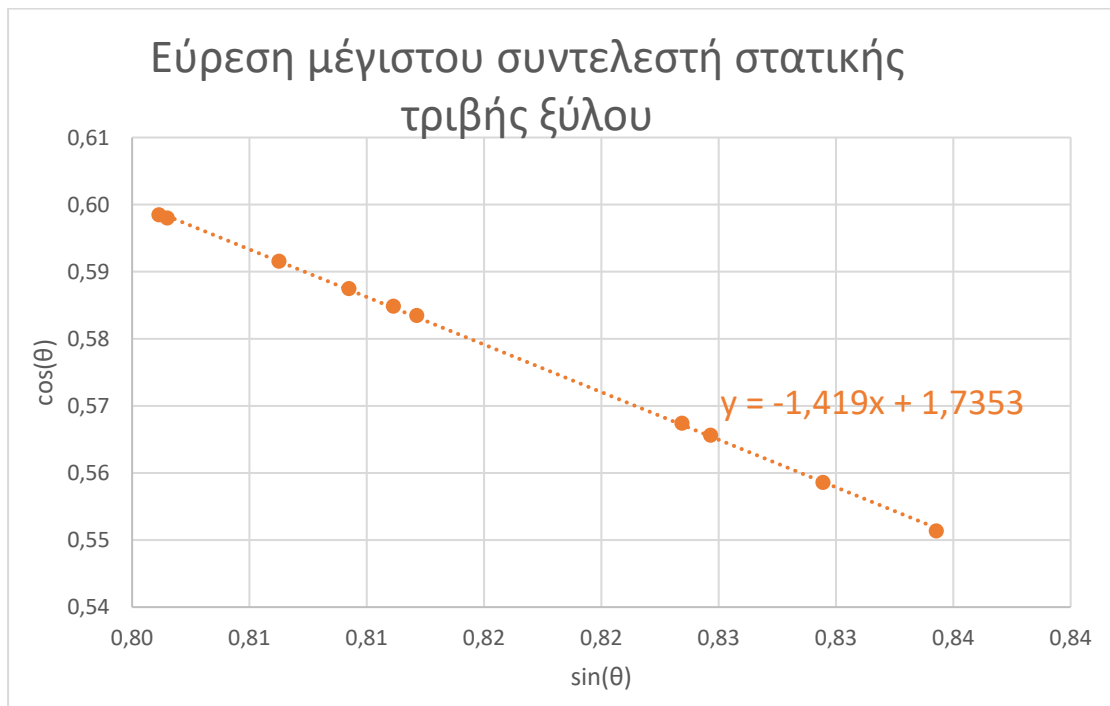
Πίνακας 9.2: Επεξεργασμένες αποτελέσματα μετρήσεων στατικής τριβής

A/A	Χαρτόνι		Ξύλο	
	$\sin(\theta_{\text{χαρτ}})$	$\cos(\theta_{\text{χαρτ}})$	$\sin(\theta_{\text{ξυλ}})$	$\cos(\theta_{\text{ξυλ}})$
1	0,490	0,872	0,829	0,559
2	0,502	0,865	0,834	0,551
3	0,506	0,863	0,809	0,587
4	0,492	0,871	0,801	0,598
5	0,506	0,863	0,806	0,592
6	0,500	0,866	0,812	0,583
7	0,543	0,839	0,811	0,585
8	0,516	0,856	0,825	0,566
9	0,509	0,861	0,823	0,567
10	0,497	0,868	0,802	0,598

Εισάγοντας τα παραπάνω δεδομένα στο πρόγραμμα Excel, μπορούν να κατασκευαστούν τα απαραίτητα γραφήματα για τον υπολογισμό του συντελεστή στατικής τριβής. Στην Εικόνα 9.11 φαίνεται η ευθεία που χαρακτηρίζει τις μετρήσεις που έγιναν για το χαρτόνι, ενώ στην Εικόνα 9.12 φαίνεται η ευθεία που χαρακτηρίζει το ξύλο. Από τις ευθείες αυτές και σύμφωνα με τη θεωρία που αναλύθηκε στην παράγραφο 9.3, μπορούν να υπολογιστούν οι συντελεστές στατικής τριβής.



Εικόνα 9.11: Γράφημα ημιτόνου μέγιστης γωνίας συναρτήσει συνημιτόνου για χαρτόνι



Εικόνα 9.12: Γράφημα ημιτόνου μέγιστης γωνίας συναρτήσει συνημιτόνου για ξύλου

Όπως προαναφέρθηκε από τη θεωρία, η κλίση της ευθείας, παρουσιάζει τον μέγιστο συντελεστή στατικής τριβής, λίγο πριν το κινητό τηλέφωνο ολισθήσει πάνω στην επίπεδη επιφάνεια. Ισχύει:

$$\mu_{στ} = \tan\theta \Leftrightarrow \mu_{στ} = \frac{\sin\theta}{\cos\theta} \Leftrightarrow \mu_{στ} = \alpha$$

Συνεπώς ο συντελεστής μέγιστης στατικής τριβής για τις δυο επιφάνειες είναι:

$$\mu_{στ\text{χαρτόνι}} = \alpha = 0,604 \text{ και } \mu_{στ\text{ξύλο}} = \alpha = 1,419$$

9.6 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα

Από το παραπάνω πείραμα, προκύπτει πως ο συντελεστής στατικής τριβής για το χαρτόνι είναι μεγαλύτερος από αυτόν του ξύλου.

- Το πρόσημο (-) στον μέγιστο συντελεστή στατικής τριβής, εκφράζει την κατεύθυνση της δύναμης που ενεργεί στο σύστημα κινητό τηλέφωνο – επιφάνεια και αντιστέκεται στην κίνηση.
- Ο ανθρώπινος παράγοντας αυξάνει την πιθανότητα σφάλματος, καθώς η ανύψωση της επιφάνειας σε κάθε μέτρηση, γινόταν χειροκίνητα. Επομένως, ο ρυθμός μεταβολής της γωνίας δεν ήταν σταθερός, ενώ παράλληλα η θέση του κινητού τηλεφώνου πιθανός να μεταβαλλόταν στο ελάχιστο.
- Προκειμένου να βρεθεί ο πραγματικός συντελεστής τριβής μεταξύ κινητού τηλεφώνου και επιφάνειας, κρίνεται αναγκαία η χρήση κάποιου ηλεκτροκίνητου μηχανισμού που θα έχει τη δυνατότητα να ανυψώνει με σταθερό ρυθμό την επίπεδη επιφάνεια, σε κάθε μέτρηση. Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας αυτό δεν είναι εφικτό, καθώς απαιτείται ειδικός εξοπλισμός.
- Τέλος, προς αποφυγή λάθους, κατά την επανατοποθέτηση του κινητού τηλεφώνου στην οριζόντιο επιφάνεια, απομακρύνονταν πιθανοί ρύποι από την κάτω επιφάνεια αυτού, με τη χρήση πετσέτας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 - Υπολογισμός Δείκτη Διάθλασης Νερού

10.1 Σκοπός

Το παρακάτω πείραμα, έχει ως σκοπό τον υπολογισμό του δείκτη διάθλασης του νερού, για διάφορες γωνίες πρόσπτωσης μιας δέσμης φωτός, πάνω στην επίπεδη επιφάνειά του

10.2 Ιστορική Αναδρομή

Ο δείκτης διάθλασης, πρωτοεμφανίστηκε ως έννοια το 1807 από τον Βρετανό πολυμαθή, Thomas Young. Αυτός ασχολήθηκε ιδιαίτερα με οπτικά φαινόμενα και εισήγαγε κάποιες έννοιες οι οποίες αποτέλεσαν της βάση για τη σημερινή φυσική. Ήταν ο πρώτος ο οποίος χρησιμοποίησε τον όρο του δείκτη διάθλασης, ενώ θεωρείται πως είναι ο εφευρέτης της έννοιας αυτής. [10.1] Παράλληλα, άλλαξε τη μέχρι τότε έκφραση του δείκτη διάθλασης σε μία τιμή, ενώ τα προηγούμενα χρόνια αυτός εκφραζόταν ως πηλίκο αριθμών. Συγκεκριμένα ο Άγγλος πολυμαθής Isaac Newton, χρησιμοποιούσε την παραπάνω έκφραση και καλούσε τον όρο αυτόν ως «αναλογία των ημιτόνων πρόσπτωσης και διάθλασης». [10.2] Ο Francis Hauksbee, ήταν Άγγλος εφευρέτης ο οποίος καλούσε τον όρο αυτόν ως «αναλογία διάθλασης» και για όλα τα υλικά χρησιμοποιούσε ως σταθερό όρο τον αριθμητή. [10.3] Αντίθετα, ο Άγγλος μαθηματικός Charles Hutton, χρησιμοποιούσε μια συγκεκριμένη τιμή στον παρονομαστή, προκειμένου να εκφράζει τους δείκτες διάθλασης των υλικών. [10.4]

10.3 Θεωρία

Ως δείκτης διάθλασης (n), ορίζεται ο αδιάστατος αριθμός ο οποίος εκφράζει την ταχύτητα του φωτός, μέσα σε ένα υλικό. Η σχέση που ισχύει είναι:

$$n = \frac{c}{u} \quad (10,1)$$

, όπου c η ταχύτητα του φωτός στο κενό και ισούται με 299.792,458 m/sec και u η ταχύτητα του φωτός στο εξεταζόμενο μέσο.

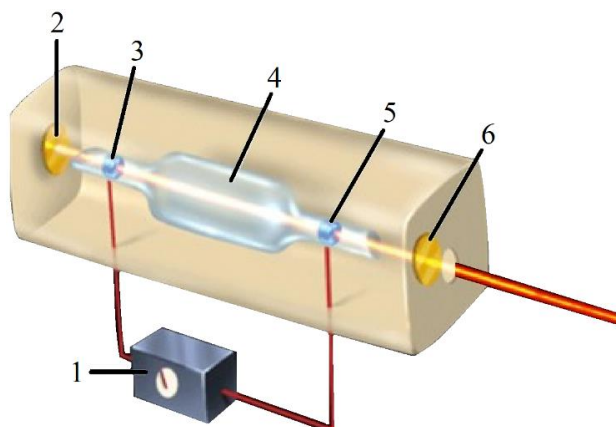
Κάθε διαφανές ή ημιδιαφανές υλικό, έχει έναν μοναδικό δείκτη διάθλασης, ο οποίος μπορεί να βρεθεί με πειραματικές διατάξεις. Ο δείκτης διάθλασης των υλικών είναι πάντα μεγαλύτερος της μονάδας, καθώς η ταχύτητα του φωτός, σύμφωνα με τους νόμους της φυσικής, δε μπορεί να ξεπεραστεί. Στον Πίνακα 10.1, φαίνονται ενδεικτικά κάποιοι δείκτες διάθλασης, όπως αυτοί υπολογίστηκαν από τη βιβλιογραφία.

Πίνακας 10.1: Δείκτες διάθλασης διαφόρων υλικών

A/A	Υλικό	Δείκτης Διάθλασης (n)
1	Κενό	1
2	Αέρας	1,000277
3	Νερό	1,333333
4	Πάγος	1,31
5	Γυαλί	1,52
6	Διαμάντι	2,417
7	Πλεξιγκλάς	1,51
8	Οινόπνευμα	1,36
9	Ελαιόλαδο	1,47

Για την εκτέλεση του πειράματος, κρίνεται αναγκαία η εύρεση μιας συγκεντρωμένης δέσμης φωτός, η οποία πρόκειται να προσπέσει στην επιφάνεια ενός ημιδιαφανούς υλικού. Για το σκοπό αυτό, θα χρησιμοποιηθεί ένα laser pointer, η αρχή λειτουργίας του οποίου αναλύεται στη συνέχεια. Ο όρος «Laser» προκύπτει από τα αρχικά των αγγλικών λέξεων Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation και μεταφράζεται ως εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας. Σχηματικά, η δομή ενός laser pointer, φαίνεται στην Εικόνα 10.1.

- 1 → Εξωτερική ηλεκτρική πηγή
- 2 → Κάτοπτρο με δυνατότητα ολικής ανάκλασης φωτός
- 3 → Άνοδος ρεύματος, θετικά φορτισμένη περιοχή (+)
- 4 → Θάλαμος μίγματος He – Ne με αναλογία 10:1
- 5 → Κάθοδος ρεύματος, αρνητικά φορτισμένη περιοχή (-)

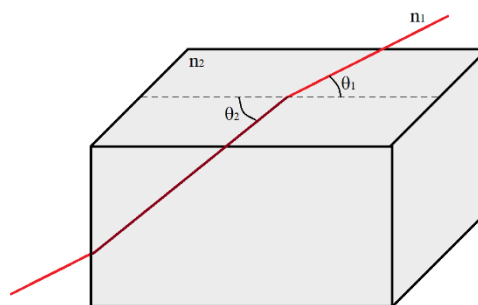


Εικόνα 10.1: Σχηματική αναπαράσταση Laser

- 6 → Κάτοπτρο με δυνατότητα μερικής ανάκλασης του φωτός

Αρχικά, η πηγή ρεύματος δημιουργεί ηλεκτρική εκκένωση και διεγείρει τα άτομα του ηλίου (He). Κατά την εφαρμογή του υψηλού ηλεκτρικού φορτίου, τα ηλεκτρόνια του ηλίου εγκαταλείπουν την κάθοδο και κινούνται επιταχυνόμενα προς την άνοδο. Στη συνέχεια συγκρούονται με τα μόρια του νέου (Ne), μεταδίδοντας την κινητική τους ενέργεια και διεγείροντάς τα. Με τη διέγερση των ατόμων του νέου, αυτά μεταπηδούν σε υψηλότερη ενεργειακή στοιβάδα. Εξαιτίας της τάσης των ατόμων να βρίσκονται πιο κοντά στον πυρήνα, αυτά μεταπηδούν ακαριαία στη θεμελιώδη τους κατάσταση, εκπέμποντας έτσι ακτινοβολία. Η ενέργεια αυτή, κινείται μέσα στο θάλαμο με μόνες εξόδους τα κάτοπτρα, πάνω στα οποία αντανακλά. Στο κάτοπτρο με δυνατότητα μερικής ανάκλασης, μέρος της ακτινοβολίας που προσπίπτει, εξέρχεται από αυτό, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό, επιστρέφει πίσω στον θάλαμο. Η διαδικασία αυτή γίνεται σε χιλιοστά του δευτερολέπτου και συνεχίζει να εκπέμπεται ακτινοβολία όσο δημιουργείται ηλεκτρική εκκένωση. Έτσι, δημιουργείται μια δέσμη φωτός με βασικές χαρακτηριστικές ιδιότητες τη μονοχρωματικότητα, τη συμφωνία, τη λαμπρότητα και την κατευθυντικότητα.

Έστω τυχαίο ημιδιαφανές στερεό υλικό με δείκτη διάθλασης n_2 και δέσμη φωτός η οποία προσπίπτει σε αυτό υπό γωνία θ_1 , όπως φαίνεται στην Εικόνα 10.2. Σύμφωνα με το νόμο του Snell, τα ημίτονα των γωνιών που σχηματίζονται, ισούνται με το πηλίκο των ταχυτήτων τους (u) ή το ανάστροφο των δεικτών διάθλασης (n). Δηλαδή η σχέση η οποία συνδέει τα παραπάνω μεγέθη είναι η:



Εικόνα 10.2: Σχηματική αναπαράσταση του νόμου του Snell

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{u_2}{u_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (10,1)$$

Γνωρίζοντας τη γωνία θ_1 και το δείκτη διάθλασης n_1 , μπορεί να βρεθεί ο δείκτης διάθλασης n_2 υπολογίζοντας τη γωνία θ_2 . Από την εξίσωση (11.1) προκύπτει ότι:

$$n_2 = \frac{n_1 \cdot \sin\theta_1}{\sin\theta_2} \quad (10,2)$$

10.4 Πειραματική Διάταξη

Τα όργανα και οι συσκευές που απαιτούνται για την εκτέλεση του πειράματος, παρουσιάζονται στη συνέχεια.

- Κινητό τηλέφωνο
- Laser Pointer
- Σταθερή βάση με δυνατότητα περιστροφής
- Διαφανές δοχείο με νερό
- Μοιρογνωμόνιο

Αρχικά, γεμίζεται με νερό ένα διαφανές πλαστικό δοχείο και αφήνεται στο οριζόντιο δάπεδο. Προσδένεται στην πίσω επιφάνεια του κινητού τηλεφώνου το laser pointer και με τη βοήθεια της εφαρμογής Phyrhox υπολογίζεται η γωνία πρόσπτωσης της δέσμης φωτός. Αυτή, πρέπει να προσπίπτει στην ελεύθερη επιφάνεια του νερού και όχι σε κάποιο πλαστικό μέρος του δοχείου, προκειμένου να υπολογιστεί σωστά ο δείκτης διάθλασης του νερού. Αφού γίνει εκκίνηση της εφαρμογής Phyrhox στο πείραμα «Κλίση» και συνδεθεί με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, το σύστημα κινητό τηλέφωνο – laser pointer προσδένεται στη βάση στήριξης. Έπειτα, αυτή περιστρέφεται σε μια τυχαία γωνία και αφού σημειωθεί η κλίση της, τοποθετείται το πλαστικό δοχείο σε τέτοια θέση, ώστε η δέσμη φωτός να προσπίπτει στην ελεύθερη επιφάνεια του νερού. Παράλληλα με το διαφανές δοχείο, τοποθετείται το μοιρογνωμόνιο, με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνει εφικτός ο υπολογισμός της γωνίας της δέσμης φωτός, μέσα στο νερό. Σημειώνεται η γωνία αυτή και αφού περιστραφεί η βάση στήριξης σε μια άλλη τυχαία γωνία, επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία. Για την ευκολότερη διεξαγωγή του πειράματος, είναι προτιμότερο να υπάρχει μειωμένος φωτισμός του χώρου, προκειμένου να είναι πιο εμφανής η δέσμη του φωτός, εντός του νερού.

10.5 Πειραματική Διαδικασία

- 1) Αρχικά, βρίσκεται ένα πλαστικό διαφανές δοχείο το οποίο πρόκειται να γεμίσει με νερό, όπως φαίνεται στην Εικόνα 10.3



Εικόνα 10.3: Πλαστικό διαφανές δοχείο

- 2) Στη συνέχεια, προσδένεται το laser pointer στην πίσω επιφάνεια του κινητού τηλεφώνου και δημιουργείται συσσωμάτωμα, όπως αυτό παρουσιάζεται στην Εικόνα 10.4.



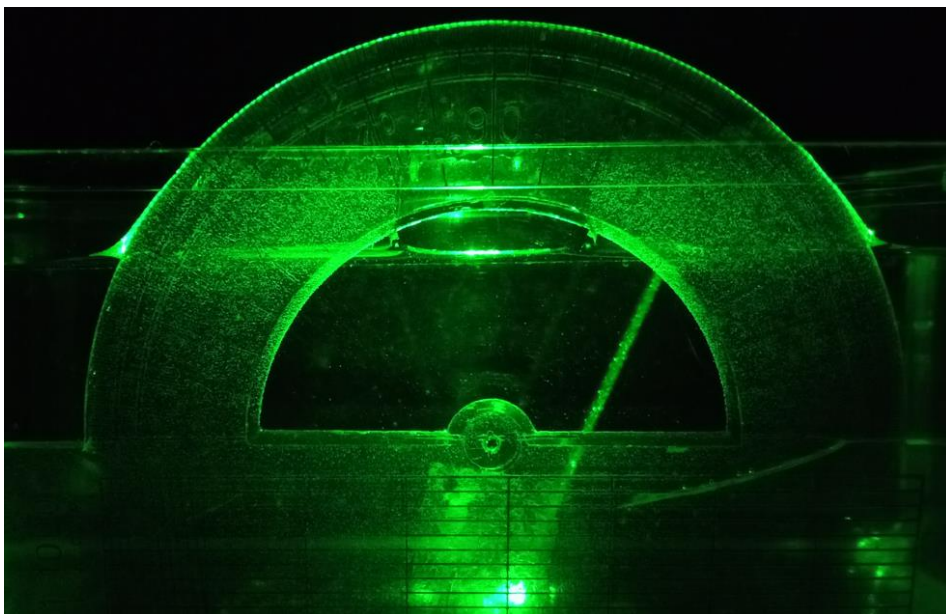
Εικόνα 10.4: Συσσωμάτωμα κινητού τηλεφώνου – laser pointer

- 3) Αφού γεμίσει το πλαστικό δοχείο με νερό, προσδένεται το κινητό τηλέφωνο μαζί με το laser pointer στην οριζόντια βάση στήριξης, με τέτοιο τρόπο ώστε η δέσμη του φωτός να προσπίπτει στην ελεύθερη επιφάνεια του νερού. Γίνεται εκκίνηση της εφαρμογής Rhyrhox στο πείραμα «Κλίση», ώστε να υπολογίζεται η αρχική γωνία δέσμης φωτός στον αέρα. (Εικόνα 10.5)



Εικόνα 10.5: Τελική πειραματική διάταξη πειράματος δείκτη διάθλασης

- 4) Στην Εικόνα 10.6, φαίνεται η γωνία που σχηματίζεται μέσα στο νερό, η οποία αφού σημειωθεί μεταβάλλεται σε άλλες 9 τυχαίες γωνίες μεταξύ 0 και 90 μοιρών.



Εικόνα 10.6: Γωνία πρόσπτωσης δέσμης φωτός στο νερό

Αφού σημειωθούν όλες οι γωνίες που σχηματίζει η δέσμη φωτός στο νερό και στον αέρα για 10 διαφορετικές αρχικές γωνίες, συμπληρώνεται ο Πίνακας 10.2, βάσει του οποίου μπορεί να υπολογιστεί ο δείκτης διάθλασης του εξεταζόμενου μέσου (νερό).

Πίνακας 10.2: Αποτελέσματα μετρήσεων πειράματος δείκτη διάθλασης

A/A	Γωνία δέσμης φωτός στον αέρα θ_1 (°)	Γωνία δέσμης φωτός στο νερό θ_2 (°)
1	15	11
2	21	16
3	27	20
4	33	24
5	38	28
6	45	32
7	51	36
8	57	39
9	64	42
10	70	45

Προκειμένου να υπολογιστεί ο δείκτης διάθλασης του νερού, πρέπει να κατασκευαστεί ο παρακάτω πίνακας, όπου n_1 είναι ο δείκτης διάθλασης του αέρα και είναι ίσος με

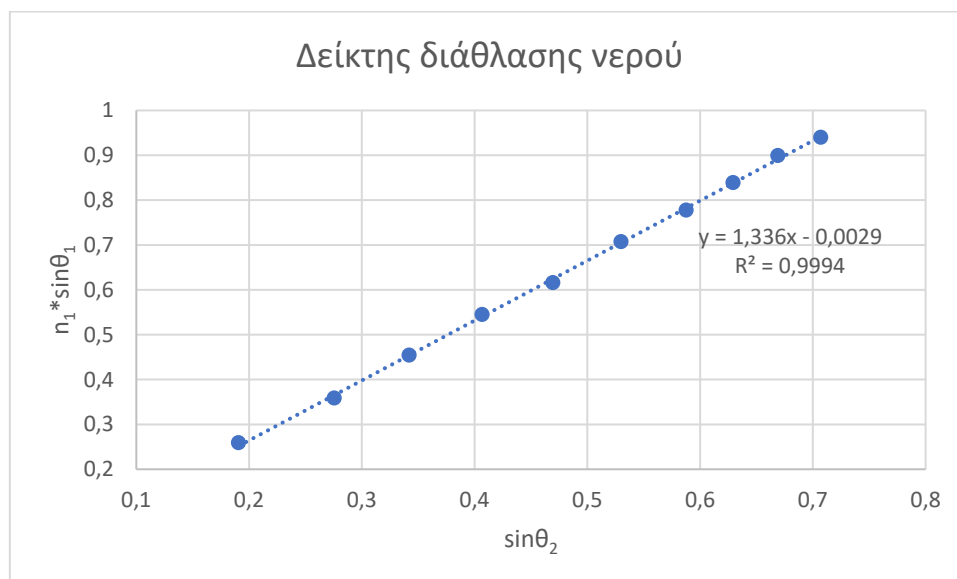
$$n_1 = 1,00027$$

Σύμφωνα με την εξίσωση (10,2) προκειμένου να υπολογιστεί ο δείκτης διάθλασης του νερού, κρίνεται αναγκαίο να συμπληρωθεί ο Πίνακας 10.3, με τη βοήθεια του οποίου κατασκευάζεται η απαιτούμενη γραφική παράσταση για την εύρεση του δείκτη διάθλασης.

Πίνακας 10.3: Πίνακας επεξεργασμένων μετρήσεων δείκτη διάθλασης

A/A	$\sin\theta_1$	$\sin\theta_2$	$n_1*\sin\theta_1$
1	0,258	0,190	0,258
2	0,358	0,275	0,358
3	0,453	0,342	0,454
4	0,544	0,406	0,544
5	0,615	0,469	0,615
6	0,707	0,529	0,707
7	0,777	0,587	0,777
8	0,838	0,629	0,838
9	0,898	0,669	0,899
10	0,939	0,707	0,939

Προκειμένου να υπολογιστεί ο δείκτης διάθλασης του νερού, κρίνεται αναγκαία η δημιουργία του γραφήματος του ημίτονου της γωνίας θ_2 συναρτήσει του γινομένου του δείκτη διάθλασης του αέρα με το ημίτονο της γωνίας θ_1 . Η ευθεία αυτή παρουσιάζεται στην Εικόνα 10.7 και χρησιμοποιώντας την εξίσωση της ευθείας, μπορεί να υπολογιστεί ο ζητούμενος δείκτης διάθλασης του νερού.



Εικόνα 10.7: Γράφημα πειράματος δείκτη διάθλασης νερού

Σύμφωνα με την εξίσωση (10,2), η κλίση της ευθείας ισούται με $\alpha = \frac{n_1 \cdot \sin\theta_1}{\sin\theta_2} = 1,336$ και εκφράζει τον δείκτη διάθλασης του νερού (n_2).

Συγκριτικά με τον θεωρητικό δείκτη διάθλασης του νερού, ο οποίος είναι $n_{theor} = 1,333$ υπάρχει απόκλιση της τάξης του: $\text{απόκλιση} = \frac{|\text{θεωρητική Τιμή} - \text{Πειραματική Τιμή}|}{\text{θεωρητική Τιμή}} * 100\% \Leftrightarrow$

$$\Leftrightarrow \text{απόκλιση} = \frac{|1,333 - 1,336|}{1,333} * 100\% \Leftrightarrow \text{απόκλιση} = 0,225\%$$

10.6 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα

Από την παραπάνω πειραματική άσκηση προκύπτουν ορισμένα συμπεράσματα, τα οποία μπορούν να σημειωθούν.

- Αρχικά, ο δείκτης διάθλασης που υπολογίστηκε, έχει απόκλιση της τάξης του 0,225% η οποία είναι πολύ μικρή, γεγονός το οποίο φανερώνει την αξιοπιστία του πειράματος. Για την αποφυγή ενός μεγάλου ποσοστού του σφάλματος, πρέπει το κουτί να είναι κατασκευασμένο από πολύ λεπτά διαφανή τοιχώματα.
- Επίσης, ο συντελεστής συσχέτισης είναι πολύ κοντά στη μονάδα, που σημαίνει πως οι μετρήσεις είναι πολύ κοντά στις πραγματικές και το σφάλμα είναι ελάχιστο.
- Τέλος, το σφάλμα του ανθρώπινου παράγοντα στον υπολογισμό της γωνίας θ_2 , μεταβάλλει τα αποτελέσματα, καθώς η γωνία αυτή μπορεί να υπολογιστεί μόνο με το μάτι και χωρίς κάποιο ηλεκτρονικό όργανο. Προκειμένου να μετρηθεί το σφάλμα αυτό, τοποθετείται το μοιρογνώμονιο μέσα στο δοχείο με το νερό και σημειώνεται η μέτρηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 - Ένταση Φωτός συναρτήσει Απόστασης

11.1 Σκοπός

Στο πείραμα αυτό γίνεται υπολογισμός της έντασης του φωτός συναρτήσει της απόστασης και συγκρίνονται τα αποτελέσματα πειραματικά, με τα αντίστοιχα θεωρητικά.

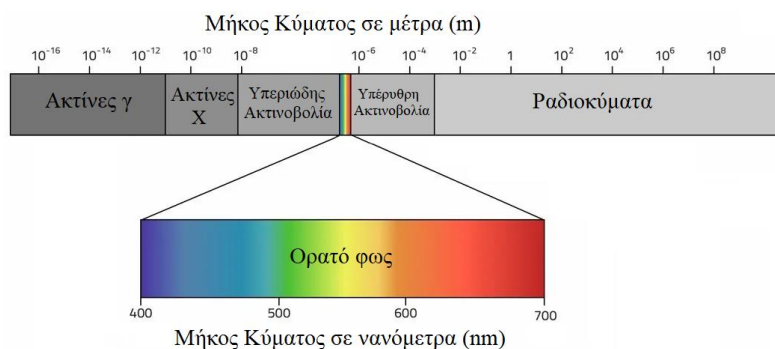
11.2 Ιστορική Αναδρομή

Το φως απασχόλησε την ανθρωπότητα από τα αρχαία χρόνια και εξακολουθεί να αποτελεί αντικείμενο μελέτης, μέχρι και σήμερα. Τον 5^ο αιώνα π.Χ. ο αρχαίος Έλληνας φιλόσοφος Εμπεδοκλής, πίστευε πως το φως αποτελούσε ένα από τα 4 βασικά στοιχεία της φύσης και πως η θεά Αφροδίτη ήταν αυτή η οποία άναβε τη φλόγα των ανθρώπων προκειμένου να μπορούν να δουν. [11.1] Τον 3^ο αιώνα π.Χ. ο Έλληνας μαθηματικός Ευκλείδης, μελέτησε τις ιδιότητες του φωτός και υποστήριξε πως αυτό ταξιδεύει σε ευθεία γραμμή, ενώ εξέτασε μαθηματικά τους νόμους της αντανάκλασης. [11.2] Το 55 π.Χ. ο Ιταλός ποιητής και φιλόσοφος Titus Lucretius Carus, έγραψε πως το φως αποτελείται από πολύ μικρά άτομα τα οποία όταν απομακρυνθούν από την πηγή προέλευσής τους, απελευθερώνονται στο διάστημα με φορά αυτή που τους έχει προσδοθεί από την πηγή. [11.3]

Το 1660 δημοσιεύτηκε η δουλειά του Γάλλου πολυμαθή Pierre Gassendi, στην οποία ο ίδιος υποστήριξε την ατομική θεωρία του φωτός. Το 1675 Άγγλος πολυμαθής Sir Isaac Newton επηρεαζόμενος από τον Gassendi, εισήγαγε την ατομική θεωρία του φωτός, σύμφωνα με την οποία το φως αποτελείται από μικρά σωματίδια τα οποία ταξιδεύουν σε ευθεία γραμμή με τεράστια ταχύτητα και ώθηση. [11.4] Το 1672 ο Άγγλος πολυμαθής Robert Hooke, εισήγαγε την παλμική θεωρία του φωτός, στην οποία υποστηρίζεται πως το φως μεταδίδεται όπως τα κύματα στο νερό και μάλιστα είναι κάθετα στην κατεύθυνση της διάδοσης. Ο Ολλανδός μαθηματικός Christiaan Huygens, κατά το 1678 επεξεργάστηκε μια μαθηματική θεωρία του φωτός, δημοσιεύοντας τη δουλειά του σε βιβλίο. Υποστήριξε πως το φως μεταδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις και σε μια σειρά από κύματα, μέσα σε ένα μέσο που αποκαλείται «φωτεινός αιθέρας». [11.5]

11.3 Θεωρία

Ως φως ορίζεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, εντός του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, που γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι. [11.6] Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι ίση με 299.792.458 μέτρα το δευτερόλεπτο και αποτελεί μια από τις θεμελιώδεις σταθερές στην φύση. Είναι αδύνατο για ένα σώμα με μάζα να πλησιάσει ή να ξεπεράσει την ταχύτητα αυτή, καθώς προκειμένου να γίνει αυτό απαιτείται άπειρο ποσό προσδιδόμενης ενέργειας, κάτι το οποίο είναι πρακτικά αδύνατο να επιτευχθεί. Ανάλογα με το μήκος κύματος του φωτός, αυτό χωρίζεται σε ακτινοβολίες όπως φαίνεται στην Εικόνα 11.1.



Εικόνα 11.1: Φάσμα φωτός

Οι ακτίνες γ , είναι αυτές με τη μεγαλύτερη συχνότητα και παράγονται από αστέρες στον διαστημικό χώρο. Ανακαλύφθηκαν το 1900 από τον Γάλλο φυσικό Paul Villard και βρίσκουν εφαρμογές στην ιατρική, τη βιομηχανία και την πυρηνική ενέργεια. [11.7]

Οι ακτίνες χ ή ακτινοβολία Ρέντγκεν, οφείλουν την ονομασία τους στον Γερμανό μηχανολόγο μηχανικό Wilhelm Conrad Rontgen, ο οποίος και τις ανακάλυψε. Βρίσκουν εφαρμογές μέχρι και σήμερα στην ιατρική, τα αεροδρόμια και την τέχνη. [11.8]

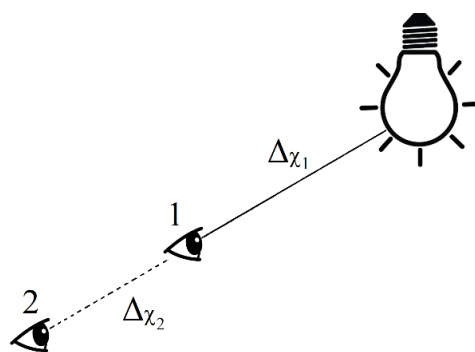
Η υπεριώδης ακτινοβολία εκπέμπεται από ιδιαίτερα θερμά σώματα, όπως τα άστρα και είναι ιδιαίτερα επιβλαβής για τους ζωντανούς οργανισμούς. Διαχωρίζεται σε UV-A, UV-B και UV-Γ, με την τελευταία να είναι υπεύθυνη για μεταλλάξεις σε έμβια όντα, ενώ την πρώτη να προκαλεί εγκαύματα ή μελανώματα. [11.9]

Οι ιδιότητες του ορατού φωτός είναι η ένταση, η κατεύθυνση διάδοσης, το φάσμα της συχνότητας και η πόλωση. Αναλυτικότερα, η ένταση του φωτός ορίζεται ως η φωτεινή ροή η οποία προσπίπτει πάνω σε μια επιφάνεια, προς το εμβαδόν της επιφάνειας αυτής. Η κατεύθυνση διάδοσης του φωτός είναι το σημείο προς το οποίο κινείται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, χωρίς να παρεμβαίνει κάποιο εμπόδιο. Το φάσμα της συχνότητας, αναφέρεται στο εύρος συχνοτήτων βάσει των οποίων το φως διαχωρίζεται σε περιοχές φάσματος. Τέλος, η πόλωση καθορίζει τον γεωμετρικό προσανατολισμό των ταλαντώσεων του φωτός. [11.10]

Η υπέρυθρη ακτινοβολία μπορεί να ανιχνευθεί από όλα τα σώματα και οφείλεται στη θερμότητα. Βασικές εφαρμογές αυτής είναι η αρχαιολογία, η γεωργία και η γεωλογία. Τα ραδιοκύματα, αποτελούν το πιο αβλαβές είδος ακτινοβολίας και χρησιμοποιείται κυρίως στις τηλεπικοινωνίες. Ανάλογα το μήκος κύματος, τα ραδιοκύματα βρίσκουν εφαρμογές σε διαφορετικά είδη τηλεπικοινωνιών, όπως τα κινητά τηλέφωνα, οι ασύρματοι, τα ραδιόφωνα ή τα ασύρματα δίκτυα ίντερνετ.

Έστω μια φωτεινή πηγή και ένας παρατηρητής σε μια απόσταση $\Delta\chi_1$ από αυτήν, όπως φαίνεται στην Εικόνα 11.2. Γνωρίζοντας την ένταση I_1 του φωτός που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής στη θέση 1, μπορεί να υπολογιστεί η ένταση του φωτός που θα αντιλαμβάνεται ο ίδιος στη θέση 2. Σύμφωνα με το νόμο των αντίστροφων τετραγώνων, η ένταση του φωτός I_2 στη θέση 2 θα είναι:

$$I_2 = \frac{I_1 * \Delta\chi_1^2}{(\Delta\chi_1 + \Delta\chi_2)^2}$$



Εικόνα 11.2: Σχηματική αναπαράσταση έντασης φωτός συναρτήσει απόστασης

11.4 Πειραματική Διάταξη

Για την εκτέλεση του πειράματος απαιτείται η χρήση των παρακάτω οργάνων και συσκευών.

- Φωτεινή πηγή
- Κινητό τηλέφωνο
- Βάση μεταβλητού ύψους
- Μέτρο

Αρχικά, για την εκτέλεση του πειράματος κρίνεται αναγκαία η αποφυγή εξωτερικών πηγών φωτός, έτσι ώστε να μην επηρεάζονται οι μετρήσεις. Αφού στερεωθεί η φωτεινή πηγή στη βάση μεταβλητού ύψους, με τέτοιο τρόπο ώστε να φωτίζεται το οριζόντιο δάπεδο, γίνεται έναυσή της. Γίνεται εκκίνηση της εφαρμογής Phyrhox στο πείραμα «Φως» και τοποθετείται στο οριζόντιο δάπεδο με την οθόνη προς τα πάνω και στην ίδια νοητή ευθεία με τη φωτεινή πηγή. Στη συνέχεια, μετράται η απόσταση από την οθόνη του κινητού τηλεφώνου με την φωτεινή πηγή και αφού σημειωθεί αυτή, καθώς επίσης και η ένδειξη της έντασης του φωτός, μεταβάλλεται το ύψος της βάσης. Τέλος, επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για διαφορετικά ύψη της φωτεινής πηγής.

11.5 Πειραματική Διαδικασία

- 1) Αρχικά, στερεώνεται η φωτεινή πηγή πάνω σε οριζόντια βάση στήριξης μεταβλητού ύψους, όπως φαίνεται στην Εικόνα 11.3.



Εικόνα 11.3: Πρόσδεση φωτεινής πηγής

- 2) Στη συνέχεια, τοποθετείται στη νοητή κατακόρυφη ευθεία από το κέντρο της φωτεινής πηγής ο αισθητήρας φωτός του κινητού τηλεφώνου, ο οποίος βρίσκεται δίπλα από το ακουστικό του. Η διάταξη αυτή φαίνεται σχηματικά στην Εικόνα 11.4.



Εικόνα 11.4: Τελικές θέσεις κινητού τηλεφώνου και φωτεινής πηγής

- 3) Έπειτα μετράται και καταγράφεται η απόσταση της φωτεινής πηγής από την οθόνη του κινητού τηλεφώνου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 11.5.



Εικόνα 11.5: Μέτρηση κατακόρυφης απόστασης φωτεινής πηγής – κινητού τηλεφώνου

- 4) Προς αποφυγή ανεπιθύμητης ακτινοβολίας από το περιβάλλον, τοποθετείται στην οθόνη του κινητού τηλεφώνου ένας κύλινδρος, ο οποίος εξυπηρετεί τον παραπάνω σκοπό. Στην Εικόνα 11.6 φαίνεται η τελική πειραματική διάταξη.



Εικόνα 11.6: Τελική πειραματική διάταξη έντασης φωτός, συναρτήσει απόστασης

- 5) Γίνεται εκκίνηση της εφαρμογής Phyrhox στο πείραμα «Φως» και αφού γίνει έναυση της φωτεινής πηγής, σημειώνεται η ένταση του φωτός για τη δεδομένη απόσταση. Στην Εικόνα 11.7 φαίνεται η διαδικασία της πρώτης μέτρησης.



Εικόνα 11.7: Πρώτη μέτρηση πειράματος έντασης φωτός συναρτήσει απόστασης

Αφού σημειωθεί η απόσταση μεταξύ φωτεινής πηγής και κινητού τηλεφώνου μαζί με την ένταση του φωτός που υπολογίστηκε, μεταβάλλεται το ύψος της φωτεινής πηγής, χωρίς να μετατοπιστεί το κινητό τηλέφωνο. Στον Πίνακα 11.1, φαίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του πειράματος για 10 διαφορετικές αποστάσεις.

Πίνακας 11.1: Αποτελέσματα μετρήσεων πειράματος έντασης φωτός

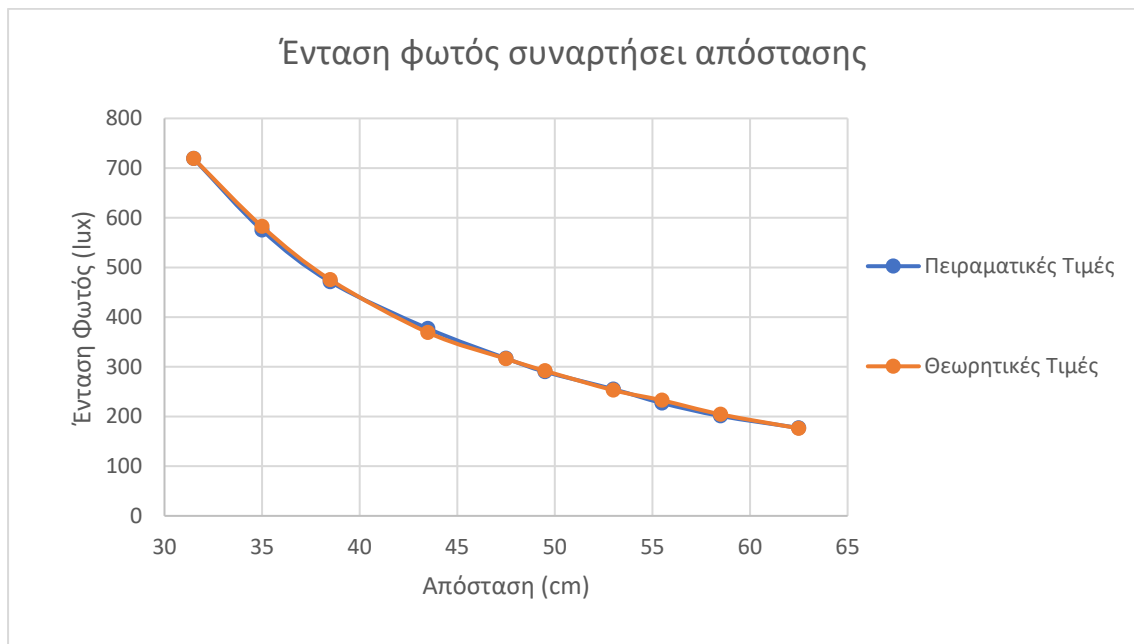
A/A	Απόσταση Δχ (cm)	Ένταση Φωτός I_{exp} (lux)
1	31,5	719,0
2	35,0	575,0
3	38,5	471,0
4	43,5	377,0
5	47,5	317,0
6	49,5	290,0
7	53,0	255,0
8	55,5	227,0
9	58,5	201,0
10	62,5	177,0

Για την εύρεση των θεωρητικών τιμών της έντασης του φωτός στις διάφορες αποστάσεις, κρίνεται αναγκαία η συμπλήρωση του πίνακα 11.2, βάσει του οποίου θα σχεδιαστούν οι χαρακτηριστικές καμπύλες, θεωρητικά και πειραματικά.

Πίνακας 11.2: Θεωρητικές τιμές έντασης του φωτός

A/A	d^2 (m ²)	$I \cdot d^2$ (lux*m ²)	Θεωρητική Ένταση Φωτός I_{theor} (lux)
1	0,099	71,343	719,000
2	0,123	70,438	582,390
3	0,148	69,814	475,207
4	0,189	71,338	368,947
5	0,226	71,523	316,179
6	0,245	71,057	291,901
7	0,281	71,630	252,963
8	0,308	69,922	232,544
9	0,342	68,787	204,315
10	0,391	69,141	176,095

Εισάγοντας τα δεδομένα στο πρόγραμμα Excel, γίνεται εφικτός ο σχεδιασμός της γραφικής παράστασης μεταξύ θεωρητικής και πειραματικής έντασης του φωτός, συναρτήσεως της απόστασης. Στην Εικόνα 11.8 φαίνεται το γράφημα των δυο καμπυλών που σχηματίζονται, βάσει των οποίων μπορεί να γίνει σύγκριση των υπολογιζόμενων τιμών έντασης φωτός.



Εικόνα 11.8: Γράφημα έντασης φωτός συναρτήσει απόστασης μεταξύ κινητού τηλεφώνου και φωτεινής πηγής

11.6 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα

Από το παραπάνω πείραμα, μπορούν να σημειωθούν ορισμένα συμπεράσματα. Αρχικά, φαίνεται πως οι πειραματικές τιμές της έντασης του φωτός σχεδόν ταυτίζονται με τις αντίστοιχες πειραματικές. Αυτό φανερώνει πως το πείραμα διεξήχθη ορθά και σε ελεγχόμενες συνθήκες φωτισμού. Επίσης, επιλέχθηκε φωτεινή πηγή η οποία τροφοδοτείται από το ηλεκτρικό δίκτυο και όχι κάποιος φακός με μπαταρίες, προκειμένου η ένταση του φωτός να μην μεταβάλλεται λόγω αποφόρτισης των μπαταριών. Τέλος, να σημειωθεί πως πριν γίνει έναυση της φωτεινής πηγής η ένδειξη της έντασης του φωτός ήταν μηδενική, έτσι ώστε να γίνει βέβαιο πως δεν υπάρχουν εξωτερικές πηγές φωτός.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12 – Συμπεράσματα και Προτάσεις

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, έγινε μια προσπάθεια ανάδειξης των αισθητήρων του κινητού τηλεφώνου, των δυνατοτήτων που αυτοί προσφέρουν και με ποιο τρόπο μπορούν να καταστήσουν ένα πείραμα φυσικής προσιτό σε ένα ευρύτερο κοινό. Παράλληλα, με τη ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας, βελτιώνονται οι δυνατότητες των κινητών τηλεφώνων, ενώ η τιμή τους μειώνεται. Είναι πολύ πιθανό στο άμεσο μέλλον, να καταστεί εφικτή η εκτέλεση πειραμάτων φυσικής με τη χρήση του κινητού τηλεφώνου, που τώρα φαίνεται αδύνατη. Κατά την εκτέλεση των πειραμάτων, χρησιμοποιήθηκαν τόσο μεμονωμένα, όσο και σε συνδυασμό όλοι οι αισθητήρες ενός σύγχρονου κινητού τηλεφώνου, αποδεικνύοντας τις πολλές δυνατότητες που έχουν. Ολοκληρώνοντας την παραπάνω διπλωματική εργασία, με τίτλο «Ανάπτυξη πειραμάτων εργαστηρίου φυσικής με τη χρήση κινητού τηλεφώνου», γίνεται κατανοητό πως τα σύγχρονα κινητά τηλέφωνα μπορούν κάλλιστα να αντικαταστήσουν τους επαγγελματικούς αισθητήρες που χρησιμοποιούνται σε πειράματα φυσικής.

Κατά την εκτέλεση των πειραμάτων, παρουσιάστηκαν ορισμένα προβλήματα, τα οποία παρά το γεγονός ότι έγινε προσπάθεια να μετριαστούν, συμβάλλουν αναπόφευκτα στην αλλοίωση των αποτελεσμάτων. Βασικότερος παράγοντας από όλους, είναι ο ανθρωπογενής. Είναι προφανές πως προκειμένου να εκτελεστεί ένα πείραμα φυσικής, απαιτείται η παρέμβαση του ανθρώπου, εκτός αν όλες οι διαδικασίες που είναι απαραίτητες να γίνουν για την προετοιμασία και την εκτέλεση του πειράματος, γίνονται από μηχανήματα. Σε αυτή την περίπτωση βέβαια, τα πειράματα αντί για εκπαιδευτικό χαρακτήρα, στοχεύουν στην απόδειξη μιας θεωρίας, που απλώς την επαληθεύουν. Έπειτα, οι συνθήκες κάτω από τις οποίες γίνονται τα πειράματα δεν είναι ελεγχόμενες. Για παράδειγμα, σε κάποιο πείραμα που απαιτείται απόλυτο σκοτάδι, προκειμένου οι ενδείξεις που λαμβάνονται από τον αισθητήρα του κινητού τηλεφώνου να είναι οι πραγματικές, χρειάστηκε να εκτελεστεί βραδινές ώρες, έτσι ώστε να μειωθεί το προσλαμβανόμενο φως από το περιβάλλον. Για την άρτια εκτέλεση οποιουδήποτε πειράματος, κρίνονται αναγκαίες οι ελεγχόμενες συνθήκες πίεσης, φωτισμού, θερμοκρασίας, υγρασίας και ηχομόνωσης. Τέλος, η έλλειψη επαγγελματικού εξοπλισμού κατά την εκτέλεση των πειραμάτων, αποτέλεσε σημαντικό πρόβλημα, το οποίο χρειάστηκε να ξεπεραστεί με ορισμένες παρεμβάσεις. Σε κάθε πείραμα, τα όργανα και οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν αποτελούσαν αντικείμενα καθημερινής χρήσης, τα οποία διαθέτει κάθε σπίτι. Στην περίπτωση που ένα πείραμα δεν εξήγαγε ακριβή αποτελέσματα, κρίθηκε αναγκαία η εύρεση κάποιου άλλου τρόπου μέτρησης των μεγεθών. Προφανώς, σε ένα πανεπιστημιακό εργαστήριο φυσικής υπάρχει ο εξοπλισμός και οι ιδανικές – ελεγχόμενες συνθήκες, προκειμένου να πραγματοποιείται πιο εύκολα και με μεγαλύτερη ακρίβεια η εκτέλεση περισσότερων πειραμάτων.

Η εκτέλεση πειραμάτων φυσικής, μέσω κινητού τηλεφώνου, θα μπορούσε να συσχετιστεί και με άλλες επιστήμες, όπως ο προγραμματισμός. Γνωρίζοντας την κατάλληλη γλώσσα προγραμματισμού και έχοντας κάποιες βασικές γνώσεις φυσικής, μπορεί να καταστεί δυνατή η ανάπτυξη κάποιας εφαρμογής κινητού τηλεφώνου, η οποία χρησιμοποιώντας τους αισθητήρες του, να λαμβάνει δεδομένα και να εξαγάγει αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί να γίνει εκτέλεση ενός πειράματος φυσικής με κάποια από τις μεθόδους που αναλύθηκαν παραπάνω και στη συνέχεια κάνοντας προγραμματισμό μιας εφαρμογής, μπορεί να γίνει επανεκτέλεση του πειράματος, με τη χρήση αυτής. Γνωρίζοντας επαρκώς μια γλώσσα προγραμματισμού, μπορεί ο χρήστης να αναβαθμίσει τα ήδη υπάρχοντα πειράματα, συνδυάζοντάς τα με άλλους αισθητήρες του κινητού τηλεφώνου. Οι δυνατότητες του προαναφερθέντος συσχετισμού, θα μπορούσαν να αποτελέσουν αντικείμενο μελλοντικής μελέτης.

Βιβλιογραφία

Κεφάλαιο 1

- [1.1] Chia-Yu Lin, Yu-Jia Chen, Li-Chun Wang, and Yu-Chee Tseng. 2012. *A Proximity Sensor Based No-Touch Mechanism for Mobile Applications on Smart Phones*
- [1.2] Jennifer R. Kwapisz, Gary M. Weiss, Samuel A. Moore. 2010. *Activity Recognition Using Cell Phone Accelerometers*
- [1.3] Emily Huang, Jukka-Pekka Onnela. 2019. *Activity Classification Using Smartphone Gyroscope and Accelerometer Data*
- [1.4] Seungyeon Jeong, Seungho Kuk, Hyogon Kim. 2018. *A Smartphone Magnetometer-Based Diagnostic Test for Automatic Contact Tracing in Infectious Disease Epidemics*
- [1.5] Wahbi Nabi, Nouredine Aloui, Adnane Cherif. 2016. *Speech enhancement in dual-microphone mobile phones using Kalman filter*. Applied Acoustics, 109, 1-4
- [1.6] Ijaz Gul, Lizhu Aer, Min Zhang, Hanjia Jiang, Abdullah Aman Khan, Muhammad Bilal, Ruiqing Fang, Juan Feng, Hongjuan Zeng, Lixia Tang. 2021. *Multifunctional 3D-printed platform integrated with a smartphone ambient light sensor for halocarbon contaminants monitoring*.
- [1.7] Vaughn, A., Biocco, P., Liu, Y., & Anwar, M. 2018. *Activity Detection and Analysis Using Smartphone Sensors*. 2018 IEEE International Conference on Information Reuse and Integration (IRI).

Κεφάλαιο 2

- [2.1] S. Staacks, S Hütz, H. Heinke, C. Stampfer. 2018. *Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox*. 8 Phys. Educ. 53 045009
- [2.2] Sebastian Staacks, Christoph Stampfer, Heidrun Heinke, Robin Bläsing, Dominik Dorsel, Dustin Kirwald, Jens Noritzsch, Johannes Schlaf, Passy Paolla Djionkou Ngansop, Marcel Hagedorn, Jakob Krause, Edward Leier, Luke Römer. 2018. <https://phyphox.org/>. RWTH Aachen University

Κεφάλαιο 3

- [3.1] CJ Tuplin, L. W. (2002). *Science and Mathematics in Ancient Greek Culture*. Hachette UK.
- [3.2] Herbert Langford Warren, N. R. (1914). *De Architectura libri decem [Ten Books on Architecture]*. VII. Harvard University Press, 215.
- [3.3] Bose, M. K. (1988). *Late classical India*. A. Mukherjee & Co.
- [3.4] Sayili, A. (1987). *Ibn Sīnā and Buridan on the Motion of the Projectile*. New York.
- [3.5] Crombie, A. C. (n.d.). *Augustine to Galileo* 2. 67.
- [3.6] Cohen, I. B., & Smith, G. E. (2002). *The Cambridge Companion to Newton*. Cambridge University Press.

- [3.7] Einstein, A. (1916). *The Foundation of the General Theory of Relativity*. Annalen der Physik.
- [3.8] Mesures, B. I. (2006). *The International System of Units (SI)*.
- [3.9] Yoder, J. G. (2005). *Chapter 3 - Christiaan Huygens, book on the pendulum clock (1673)*. Amsterdam.
- [3.10] Giorgio Previati. October 2020. *Large oscillations of the trifilar pendulum: Analytical and experimental study, Mechanism and Machine Theory Volume 156* (Cover date: February 2021). Article 104157
- [3.11] Tao Li, Wen-Bin Shangguan, Zhihong Yin. April 2021. *Error analysis of inertia parameters measurement for irregular-shaped rigid bodies using suspended trifilar pendulum*, Volume 174 Article 108956
- [3.12] Benjamin Jahn, Lars Watermann, Johann Reger. December 2020. *On the design of stable periodic orbits of a triple pendulum on a cart with experimental validation*. Volume 125, Article 109403
- [3.13] Zhiyuan Liu, Yue Xu, Raphaël Akamavi. December 2016. *A pendulum gravity model of outward FDI and export*. Volume 25, Issue 6, Pages 1356-1371
- [3.14] Sayaka Hashimoto, Akinori Sasaki, Yasuhiro Ohyama. (2010). *Motion Control of Inverted Pendulum Using Estimation of Center of Gravity*. Volume 42, Issue 24, Pages 125-130
- [3.15] Liang Tang, Wen-Bin. December 2011. *An improved pendulum method for the determination of the center of gravity and inertia tensor for irregular-shaped bodies*. Volume 44, Issue 10, Pages 1849-1859
- [3.16] K. Ghose, H. R. Shea. September 2009. *Using a MEMS pendulum to measure the gravity gradient in orbit: a new concept for a miniaturized Earth sensor*. Issue 1, Pages 548-551

Κεφάλαιο 4

- [4.1] Bruce Benward, M. N. (2003). *Music: In Theory and Practice, seventh edition, 2 vols*. Boston.
- [4.2] Press, P. U. (2016). *How Sound Propagates*.
- [4.3] Murdin, P. (2008). *Full Meridian of Glory: Perilous Adventures in the Competition to Measure the Earth*. Springer Science & Business Media.
- [4.4] Boschiero, L. (2005). *Post-Galilean Thought and Experiment in Seventeenth-century Italy: The Life and Work of Vincenzo Viviani*. History of Science.
- [4.5] Perini, G. (1993). *Dresden and the Italian Art Market in the Eighteenth Century: Ignazio Hugford and Giovanni Ludovico Bianconi*.
- [4.6] Bannon, M., & Kaputa, F. (2015). *The Newton-Laplace Equation and Speed of Sound*. Thermal Jackets.
- [4.7] Toolbox, T. E. (n.d.). *Speed of Sound in Water at Temperatures between 32–212 oF (0–100 oC) — imperial and SI units*.

- [4.8] Del Grosso, V. A. (1974). New equation for speed of sound in natural waters (with comparisons to other equations). *Journal of the Acoustical Society of America*.
- [4.9] G. Cavuoto, S. Lago, P. A. Giuliano Albo. May 2021. *Towards a new transfer standard for speed of sound measurements in liquids at cryogenic temperatures*. Article 109526
- [4.10] Alex Benjamin, Gregory Ely, Brian W. Anthony. February 2021. *2D speed of sound mapping using a multilook reflection ultrasound tomography framework*. Volume 114, (Cover date: July 2021), Article 106393
- [4.11] G. Costigan, P. B. Whalley. February 1997. *Measurements of the speed of sound in air-water flows*. Volume 66, Issue 2, Pages 131-135
- [4.12] P. U. P. A Gilbert. February 2021. *Chapter 10: Sound waves*. Pages 187-201

Κεφάλαιο 5

- [5.1] White, L. J. (1966). *Medieval Technology and Social Change*. New York: Oxford Univ. Press.
- [5.2] Usher, A. P. (1988). *A History of Mechanical Inventions*. Courier Dover.
- [5.3] Hooke, R. (1678). *De Potentia Restitutiva, or of Spring. Explaining the Power of Springing Bodies*. London.
- [5.4] Tomasz Nabagło, Andrzej Jurkiewicz, Janusz Kowal. December 2020. *Modeling verification of an advanced torsional spring for tracked vehicle suspension in 2S1 vehicle model*. Volume 229, Article 111623
- [5.5] Khashayar Mansourizadeh, Ayda Golahmadi, Maria Anishchenko. October 2020. *Design of a passive mechanical system actuated by the nitinol helical springs for shading and sustainable development purposes of the buildings*. Volume 187, Article 107385
- [5.6] Mikhail Korobko, F. Ya. Khalili, Roman Schnabel. August 2017. *Engineering the optical spring via intra-cavity optical-parametric amplification*, Volume 382, Issue 33, Pages 2238-2244
- [5.7] Li Z., Zhu, D.M., Wang, B.J. 1994. *The fatigue property and mode III fracture of ultra-fine grained LTMT wire made springs*. Volume 16, Issue 7, Page 515
- [5.8] C.A. Brebbia, A. Chaudouet-Miranda. July 1991. *Boundary elements in mechanical and electrical engineering*. Volume 33, Issue 1, Page 79
- [5.9] Liu Ruitang, He Shuiqing. 1990. *Fatigue life prediction of ammunition feeding springs by logarithmic cumulative damage theory*. *International Journal of Mechanical Sciences*, Volume 32, Issue 11, Page 964

Κεφάλαιο 6

- [6.1] Rovelli, C. (2015). *Aristotle's Physics: A Physicist's Look*. *Journal of the American Philosophical Association*.
- [6.2] Pines, S. (1970). *Abu'l-Barakāt al-Baghādāī , Hibat Allah*. New York: Charles Scribner's Sons.
- [6.3] Viviani, V. (1717). *Racconto storico della vita di Galileo Galilei*.

- [6.4] Brackenridge, J. B. (1995). *The key to Newton's dynamics: the Kepler problem and the Principia*. University of California Press.
- [6.5] Ahmad Fauzan Zakki, Aulia Windyandari, Dong Myung Bae. 2015. *The Investigation of Launching Parameters on the Motion Pattern of Freefall Lifeboat Using FSI Analysis*. *Procedia Earth and Planetary Science*, Volume 14, Pages 110-117
- [6.6] Xin Zhao, Bo Dong, Weizhong Li. March 2017. *Numerical investigation on freezing process of a single freefalling droplet based on the lattice Boltzmann method*. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Volume 109, Pages 807-811
- [6.7] Juan García-Abdeslem. October 2020. *On the seawater density in gravity calculations*. *Journal of Applied Geophysics*. Volume 183, Article 104200
- [6.8] Wei Liang, Jiancheng Li, Yongqi Zhao. June 2020. *A High-Resolution Earth's Gravity Field Model SGG-UGM-2 from GOCE, GRACE, Satellite Altimetry, and EGM2008*. *Engineering*. Volume 6, Issue 8, Pages 860-878
- [6.9] Pavel Ditmar, Xianglin Liu. March 2007. *Dependence of the Earth's gravity model derived from satellite accelerations on a priori information*. *Journal of Geodynamics*. Volume 43, Issue 2, Pages 189-199
- [6.10] Shuo Wang, Isabelle Panet, Frédéric Guilloux. February 2017. *Multi-scale modeling of Earth's gravity field in space and time*. *Journal of Geodynamics*. Volume 106, Pages 46-65

Κεφάλαιο 7

- [7.1] Fahy, F. (1998). *Fundamentals of noise and vibration*. John Gerard Walker. Taylor & Francis.
- [7.2] Hill, M. N. (n.d.). *Physical Oceanography*. Harvard University Press.
- [7.3] Seitz, F. (1999). *The cosmic inventor: Reginald Aubrey Fessenden (1866–1932)*.
- [7.4] Hunt, F. (1965, January 8). *Frederick Hunt - Session II*. (C. W. Leo Beranek, Interviewer)
- [7.5] Zhijie Tang, Jiaqi Lu, Gaoqian Ma. July 2020. *Three dimensional height information reconstruction based on mobile active sonar detection*. *Applied Acoustics*. Volume 169, Article 107459
- [7.6] Peng Wang, Cheng Chi, Haining Huang. December 2020. *Improving performance of three-dimensional imaging sonars through deconvolution*. *Applied Acoustics*. Volume 175, Article 107812
- [7.7] Minsung Sung, Meungsuk Lee, Son-Cheol Yu. 2020. *Imaging-sonar-based Underwater Object Recognition Utilizing Object's Yaw Angle Estimation with Deep Learning*. *IFAC-PapersOnLine*. Volume 53, Issue 2, Pages 15475-15480
- [7.8] Minsung Sung, Jason Kim, Son-Cheol Yu. December 2019. *Realistic Sonar Image Simulation Using Generative Adversarial Network*. *IFAC-PapersOnLine*. Volume 52, Issue 21, Pages 291-296
- [7.9] Xiaoxu Du, Hang Cui, Zhengdong Zhang. February 2019. *A numerical method for analyzing the influence of underwater vehicle flow field on dynamic behavior of towed sonar cable array*, *Ocean Engineering*. Volume 175, Pages 163-175

Κεφάλαιο 8

- [8.1] Youhe Zhou. 2011. *A theoretical model of collision between soft-spheres with Hertz elastic loading and nonlinear plastic unloading*. Theoretical and Applied Mechanics. Volume 1, Issue 4, Article 041006
- [8.2] K. A. Buist, L. J. H. Seelen, J. A. M. Kuipers. October 2016. *On an efficient hybrid soft and hard sphere collision integration scheme for DEM*. Chemical Engineering Science. Volume 153, Pages 363-373
- [8.3] Zhenning Cai, Manuel Torrilhon. August 2015. *Approximation of the linearized Boltzmann collision operator for hard-sphere and inverse-power-law models*. Journal of Computational Physics. Volume 295, Pages 617-643
- [8.4] Massimo Tassarotto, Claudio Cremaschini. May 2014. *First-principle proof of the modified collision boundary conditions for the hard-sphere system*. Physics Letters. Volume 378, Issues 26–27, Pages 1760-1766
- [8.5] R. E. Stratton, C. M. Wensrich. April 2010. *Modelling of multiple intra-time step collisions in the hard-sphere discrete element method*. Powder Technology. Volume 199, Issue 2, Pages 120-130
- [8.6] A. B. Stevens, C. M. Hrenya. July 2015. *Comparison of soft-sphere models to measurements of collision properties during normal impacts*. Powder Technology. Volume 154, Issues 2–3, Pages 99-109
- [8.7] December 1997. *Elastohydrodynamic collisions of solid spheres*. International Journal of Multiphase Flow. Volume 23, Issue 7, Page 107
- [8.8] Hanqing Sun, Yang Ye, Xuemei Liu. April 2021. *Experimental study on the fragment characteristics of marble spheres under repeated impacts*. Engineering Geology. Article 106162

Κεφάλαιο 9

- [9.1] Fishbane, P. M., Gasiorowicz, S., & Thornton, S. T. (1993). *Physics for Scientists and Engineers*. New Jersey.
- [9.2] Hutchings, I. M. (2016). *Leonardo da Vinci's studies of friction*.
- [9.3] Dowson, D. (1997). *History of Tribology*. Professional Engineering Publishing.
- [9.4] Popova, E., & Popov, V. L. (2015). *The research works of Coulomb and Amontons and generalized laws of friction*.
- [9.5] Armstrong-Hélouvry, B. (1991). *Control of machines with friction*.
- [9.6] van Beek, A. (2011, March 24). Retrieved from tribology-abc: tribology-abc.com
- [9.7] Chuanbing Zhang, Jian Wu, Hongrui Ao. April 2021. *Theoretical and experimental characterization for macro-micro friction behaviors of EPDM rubber*. Polymer Testing. Volume 99, Article 107213
- [9.8] Weining Sui, Xueli Wang, Zhanfei Wang. January 2021. *Experimental study on mechanical properties of the steel friction pads used in a rotational friction damper*. Structures. Volume 29, Pages 1808-1818

[9.9] Yao Yan, Guojun Liu, Jian Xu. April 2021. *Safety estimation for a new model of regenerative and frictional cutting dynamics*. International Journal of Mechanical Sciences. Article 106468

[9.10] Xin Zhou, Zhi Chen, Jihui Wang. April 2021. *Thermo-mechanical coupling analysis of the end faces for a mechanical seal under dry friction*. Tribology International. Volume 160, Article 107050

[9.11] Jianjun Li, Tingting Chen, Wenjun Lu. April 2021. *Enhanced frictional performance in gradient nanostructures by strain delocalization*. International Journal of Mechanical Sciences. Volume 201, Article 106458

Κεφάλαιο 10

[10.1] Young, T. (1807). A course of lectures on natural philosophy and the mechanical arts.

[10.2] Newton, I. (1730). *Opticks: Or, A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light*. William Innys at the West-End of St. Paul's.

[10.3] Hauksbee, F. (1710). A Description of the Apparatus for Making Experiments on the Refractions of Fluids. Philosophical Transactions of the Royal Society of London.

[10.4] Hutton, C. (1795). Philosophical and mathematical dictionary.

[10.5] Thomas Young. 1807. *A course of lectures on natural philosophy and the mechanical arts*. J. Johnson. page 413

[10.6] Isaac Newton. 1730. *Opticks: Or, A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light*. William Innys at the West-End of St. Paul's. Page 247

[10.7] Francis Hauksbee. 1710. *A Description of the Apparatus for Making Experiments on the Refractions of Fluids*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Pages 204-207

[10.8] Charles Hutton. 1795. *Philosophical and mathematical dictionary*. Page 299

[10.9] Wiley, Blackwell. 2007. *Laser and Photonics Reviews*. ISSN:1863-8880

[10.10] Elsevier. 1970. *Optics and Laser Technology*. ISSN:0030-3992

[10.11] Cambridge University Press. 2013. *High Power Laser Science and Engineering*. ISSN:2095-4719

Κεφάλαιο 11

[11.1] Singh, S. (2009). Fundamentals of Optical Engineering.

[11.2] O'Connor, J. J., & Robertson, E. F. (2002). Light through the ages: Ancient Greece to Maxwell.

[11.3] Smith, P. a. (1996). Ptolemy's Theory of Visual Perception: An English Translation of the Optics with Introduction and Commentary.

[11.4] Sabra, A. (1981). Theories of light, from Descartes to Newton.

[11.5] Dijksterhuis, F. J. (2004). Lenses and Waves: Christiaan Huygens and the Mathematical Science of Optics in the 17th Century. Kluwer Academic Publishers.

- [11.6] CIE. 1987. *International Lightning Vocabulary*. ISBN 978-3-900734-07-7
- [11.7] Villard P. 1900. *Sur la réflexion et la réfraction des rayons cathodiques et des rayons déviés du radium*. Pages 1178-1179
- [11.8] Novelize, Robert. 1997. *Squire's Fundamentals of Radiology*. Harvard University Press. ISBN 0-674-83339-2
- [11.9] The Center for research & Tecnology Hellas. 2010. *Ακτινοβολία, Βασικές Γνώσεις Εργασίας με Υπεριώδη*.
- [11.10] Uzan, J-P; Leclercq, B. 2008. *The Natural Laws of the Universe: Understanding Fundamental Constants*. Pages 43-44. ISBN 978-0-387-73454-5
- [11.11] Ptolemy and A. Mark Smith. 1996. *Ptolemy's Theory of Visual Perception: An English Translation of the Optics with Introduction and Commentary*. ISBN 978-0-87169-862-9
- [11.12] A.I. Sabra. 1981. *Theories of light, from Descartes to Newton*. Page 48. ISBN 0-521-28436-8
- [11.13] Fokko Jan Dijksterhuis. 2004. *Lenses and Waves: Christiaan Huygens and the Mathematical Science of Optics in the 17th Century*. Kluwer Academic Publishers. ISBN 1-4020-2697-8