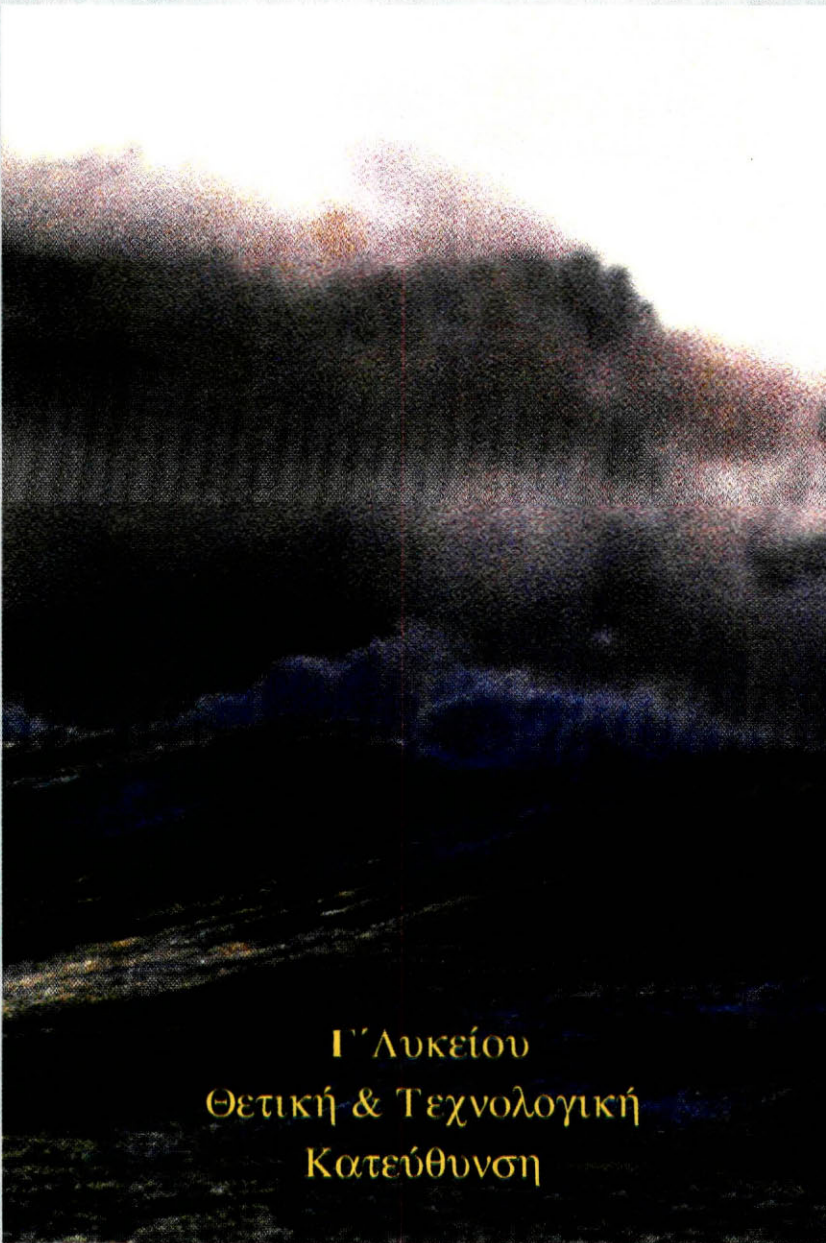


Εργαστηριακός οδηγός Φυσικής

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ
ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ
ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ
ΕΚΔΟΣΕΩΣ
ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ
ΒΙΒΛΙΩΝ



Γ' Λυκείου
Θετική & Τεχνολογική
Κατεύθυνση

Εργαστηριακός Οδηγός Φυσικής
Θετικής & Τεχνολογικής
κατεύθυνσης

Γ' τάξη

Γενικού Λυκείου

**Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και
Θρησκευμάτων
Παιδαγωγικό Ινστιτούτο**

**ΑΛΕΚΟΣ ΙΩΑΝΝΟΥ - ΓΙΑΝΝΗΣ ΝΤΑΝΟΣ
ΑΓΓΕΛΟΣ ΠΗΤΤΑΣ - ΣΤΑΥΡΟΣ ΡΑΠΤΗΣ**

**Εργαστηριακός Οδηγός Φυσικής
Θετικής & Τεχνολογικής
κατεύθυνσης**

**Γ' τάξη
Γενικού Λυκείου**

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΟΣΕΩΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ

ΑΘΗΝΑ

Ε.Π.Ε.Α.Ε.Κ.

Υποπρόγραμμα 1: ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

**Μέτρο 1.1: ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΓΕΝΙΚΗΣ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ**

Ενέργεια 1.1α: Προγράμματα – βιβλία

ΕΡΓΟ: ΑΝΑΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΚΑΙ ΕΚΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΤΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ
ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το εργαστήριο της φυσικής θα σας προσφέρει μοναδική εμπειρία σχετικά με φυσικά φαινόμενα που εξετάζονται θεωρητικά στο σχολικό σας βιβλίο.

Θα σας δοθεί η ευκαιρία να παρακολουθήσετε τη διαδικασία με την οποία οι φυσικοί κατέκτησαν τη γνώση που μας κληρονόμησαν και να επαληθεύσετε τους νόμους που διατύπωσαν επιστήμονες πριν από σας. Η πρόοδος της φυσικής οφείλεται στην επινοητικότητα την εργατικότητα και την υπομονή με την οποία οι φυσικοί πραγματοποίησαν τα πειράματά τους. Οι πρώτοι πειραματιστές κατέγραψαν τα αποτελέσματα των μετρήσεών τους, με ειλικρίνεια κι αυτό επιτρέπει και σε μας να επαναλάβουμε τις ίδιες μετρήσεις και να επιβεβαιώσουμε- ή να διαψεύσουμε- τα συμπεράσματά τους.

A. Μετρήσεις - σφάλματα

Αυτό που κάνουμε στο εργαστήριο, όταν εκτελούμε ένα πείραμα, είναι να **μετράμε** διάφορα φυσικά μεγέθη. Δηλαδή να συγκρίνουμε ένα μέγεθος με ένα άλλο, ομοειδές προς αυτό, που το παίρνουμε ως **μονάδα**.

Οι μετρήσεις μας μπορεί να είναι **άμεσες**, όπως στην περίπτωση που μετράμε κάποιο μήκος με βαθμολογημένο κανόνα ή **έμμεσες**, προκύπτουν δηλαδή ως αποτέλεσμα υπολογισμού από άλλες μετρήσεις.

Η ακρίβεια στις μετρήσεις μας εξαρτάται από την πιστότητα των οργάνων αλλά και από την ικανότητα του παρατηρητή. Σε καμιά περίπτωση, όμως, δεν μπορούμε να πραγματοποιήσουμε μετρήσεις απαλλαγμένες από σφάλματα.

Στην καθημερινή γλώσσα η λέξη σφάλμα είναι συνώνυμη με το λάθος, στη γλώσσα της φυσικής όμως σημαίνει αβεβαιότητα.

Μετράμε μεγέθη όπως η θερμοκρασία, το ηλεκτρικό ρεύμα, απόσταση ταχύτητα κ.λπ χρησιμοποιώντας όργανα όπως θερμόμετρα, αμπερόμετρα, μετροταινίες, χρονόμετρα κ.λπ. Κάθε φορά που μετράμε ένα μέγεθος πρέπει να ελέγχουμε πόσο κοντά στην πραγματική τιμή βρίσκεται το αποτέλεσμα της μέτρησής μας.

Η εκτίμηση του σφάλματος στις μετρήσεις που γίνονται στο εργαστήριο είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Ο παρατηρητής, κυρίως εξαιτίας της απειρίας του, μπορεί να εισαγάγει στις μετρήσεις του λάθη, είτε λόγω εσφαλμένης ανάγνωσης των οργάνων είτε λόγω λανθασμένης μεταφοράς των μετρήσεών του στο φύλλο εργασίας.

Αυτά τα **ακούσια σφάλματα** περιορίζονται, αλλά δε μηδενίζονται με την απόκτηση εμπειρίας από τον παρατηρητή και την αύξηση της προσοχής εκ μέρους του.

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιούμε κάποιο όργανο μέτρησης. Παρά τις προσπάθειες του κατασκευαστή, τα όργανα δεν είναι απαλλαγμένα από σφάλματα και εισάγουν στις μετρήσεις μας κάποιο σφάλμα, που δεν μπορούμε να το αποφύγουμε, όσες φορές κι αν επαναλάβουμε την αντίστοιχη μέτρηση. Αυτά τα σφάλματα, που επηρεάζουν όλες τις μετρήσεις μας με παρόμοιο τρόπο, τα λέμε **συστηματικά**.

Ένα αμπερόμετρο που όταν δεν διαρρέεται από ρεύμα δείχνει κάτι λιγότερο από το μηδέν, θα δίνει σε όλες τις μετρήσεις ρεύμα μικρότερο από το πραγματικό.

Σε ορισμένες περιπτώσεις τα συστηματικά σφάλματα οφείλονται στο ότι τα όργανα χρησιμοποιούνται σε συνθήκες διαφορετικές από αυτές στις οποίες βαθμολογήθηκαν. Αν, για παράδειγμα, ο κατασκευαστής βαθμολόγησε ένα κανόνα στους 20°C σε κάθε άλλη θερμοκρασία ο κανόνας θα μας δίνει λανθασμένες τιμές για το μήκος που μετράμε.

Σφάλματα μπορεί να έχουμε επίσης γιατί σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούμε προσεγγίσεις στους υπολογισμούς μας.

Άλλοτε, πάλι, τα σφάλματα οφείλονται στο ότι δεν παίρνουμε υπόψη όλες τις παραμέτρους που επηρεάζουν τις μετρήσεις μας. Αν, για παράδειγμα μετρήσουμε την ταχύτητα του ήχου μετρώντας πόσο χρόνο κάνει ο ήχος να διατρέξει ορισμένη απόσταση, χωρίς να πάρουμε υπόψη την ταχύτητα του αέρα, το αποτέλεσμα της μέτρησής μας θα έχει σφάλμα.

Η εκτίμηση του συστηματικού σφάλματος σε μια μέτρηση δεν είναι πάντοτε εφικτή. Αν μετράμε, π.χ. το χρονικό διάστημα με ένα χρονόμετρο που δεν είναι ακριβές, δεν μπορούμε να εκτιμήσουμε το λάθος στη μέτρηση. Ξέρουμε μόνο πως το σφάλμα αυτό θα είναι ίδιο για όλες τις μετρήσεις που θα πραγματοποιήσουμε με αυτό το χρονόμετρο.

Αν θέλουμε να βεβαιωθούμε για την ακρίβεια των μετρήσεών μας πρέπει να συγκρίνουμε το όργανο που χρησιμοποιούμε στις μετρήσεις μας με ένα άλλο, που το θεωρούμε αξιόπιστο.

Στην ίδια κατηγορία μπορούμε να εντάξουμε και τα σφάλματα που οφείλονται στην αδυναμία μας να αναγνώσουμε με ακρίβεια το αποτέλεσμα μιας μέτρησης. Έτσι, για παράδειγμα, αν ο δείκτης του αμπερομέτρου

βρίσκεται ανάμεσα στην ένδειξη 2,1 A και 2,2 A, δεν μπορούμε να είμαστε σίγουροι για την ακριβή τιμή της έντασης. Σ' αυτή την περίπτωση το σφάλμα της μέτρησης θα είναι ίσο με το μισό της μικρότερης αναγνώσιμης υποδιαίρεσης του οργάνου (στην περίπτωσή μας 0,05A).

Το αποτέλεσμα μιας μέτρησης εξαρτάται και από τη θέση από την οποία βλέπουμε το όργανο. Για να περιορίσουν αυτό το σφάλμα, οι κατασκευαστές των οργάνων τοποθετούν ένα κάτοπτρο. Η ανάγνωση σε αυτή την περίπτωση είναι σωστή μόνο όταν κοιτάζουμε το όργανο από τη θέση εκείνη στην οποία δεν φαίνεται μέσα στο κάτοπτρο το είδωλο της βελόνας.

Ενώ τα συστηματικά σφάλματα επηρεάζουν πάντα με τον ίδιο τρόπο τις μετρήσεις μας, δεν συμβαίνει το ίδιο με την άλλη κατηγορία σφαλμάτων που υπεισέρχονται στις μετρήσεις μας, τα **τυχαία ή στατιστικά σφάλματα**. Έτσι λέγονται τα σφάλματα που οφείλονται σε συνδυασμό διαφόρων αστάθμητων αιτιών, όπως οι ατέλειες των αισθήσεών μας.

Αν υποθέσουμε ότι μετράμε το χρόνο που χρειάζεται ένα σώμα να πέσει από ύψος μερικών μέτρων. Κάθε φορά που επαναλαμβάνουμε τη μέτρηση βρίσκουμε διαφορετικό αποτέλεσμα, αφού δεν είναι πάντα ίδιος ο χρόνος που χρειαζόμαστε για να αντιδράσουμε σε ένα ερέθισμα, στην περίπτωσή μας να πατήσουμε το κουμπί του χρονομέτρου. Υπάρχουν και άλλοι αστάθμητοι παράγοντες που επηρεάζουν, έστω και ανεπαίσθητα την εξέλιξη του φαινομένου.

Για να ελαχιστοποιήσουμε την πιθανότητα λάθους στις μετρήσεις μας πραγματοποιούμε το πείραμα κ φορές. Αν στο προηγούμενο πρόβλημα, για το χρόνο μετρήσουμε τις τιμές $t_1, t_2, t_3, \dots, t_\kappa$, ως αποτέλεσμα της μέτρησής μας θα θεωρήσουμε την τιμή

$$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_\kappa}{\kappa}$$

που είναι η **μέση τιμή** των μετρήσεών μας.

Η διαφορά

$$\Delta t = \bar{t} - t_i$$

(όπου t_i είναι μια από τις μετρήσεις μας) ονομάζεται **απόκλιση από τη μέση τιμή**, μπορεί να πάρει θετικές ή αρνητικές τιμές. και δίνει ένα μέτρο της ποιότητας της μέτρησης t_i .

Τον ίδιο μέσο όρο μπορούν να μας δώσουν διαφορετικές μετρήσεις, με μικρές ή μεγάλες αποκλίσεις από τη μέση τιμή.

B. Απόλυτο και σχετικό σφάλμα

Φανταστείτε ότι μετράμε το χρόνο που απαιτείται για να θερμανθεί ορισμένη ποσότητα νερού, με ένα χρονόμετρο το οποίο δεν είναι ακριβές. Έστω ότι η σύγκριση του δικού μας χρονομέτρου με ένα ακριβές χρονόμετρο μας δίνει την πληροφορία ότι το χρονόμετρό μας μετράει με ακρίβεια 1s.

Εάν μετρήσαμε με το δικό μας χρονόμετρο και βρήκαμε λ.χ. 20 s. Τότε το αποτέλεσμα της μέτρησής μας θα κυμαίνεται ανάμεσα στα 19 s και τα 21 s και η μέτρηση καταγράφεται με τη μορφή $20\text{ s} \pm 1\text{ s}$. Αν όμως μετρούσαμε πάλι ένα χρονικό διάστημα 2 s, με το ίδιο χρονόμετρο, πάλι θα έπρεπε να γράψουμε ότι η τιμή του χρόνου που μετρήσαμε είναι $2\text{ s} \pm 1\text{ s}$.

Και στις δυο περιπτώσεις το **απόλυτο σφάλμα** Δt της μέτρησης είναι 1 s, όμως το **σχετικό σφάλμα** διαφέρει. Συγκεκριμένα, στην πρώτη μέτρηση, το σχετικό σφάλμα είναι $\Delta t/t_1 = 1/20$ ή 5% ενώ στη δεύτερη $\Delta t/t_2 = 1/2$ ή 50%. Δηλαδή η πρώτη μέτρηση είναι ακριβέστερη από τη δεύτερη.

Γ. Τα σημαντικά ψηφία

Είπαμε πριν ότι στις μετρήσεις που πραγματοποιούνται στο εργαστήριο υπεισέρχονται σφάλματα. Αυτό πρέπει να το παίρνουμε υπόψη όταν καταγράφουμε τα αποτελέσματα των μετρήσεών μας.

Ας υποθέσουμε ότι μετράμε το μήκος ενός μολυβιού χρησιμοποιώντας έναν κανόνα που είναι βαθμολογημένος σε mm. Με ένα τέτοιο κανόνα μπορούμε να βρούμε ότι το μήκος του μολυβιού είναι λ.χ. 97mm. Αυτό σημαίνει ότι το μήκος του μολυβιού βρίσκεται στο διάστημα από 96mm ως 98mm. Δεν έχει νόημα να γράψουμε ότι το μήκος του μολυβιού είναι 97,2 mm ή 97,4 mm. Στην περίπτωση μας έχουμε μετρήσει δύο ψηφία για το μήκος του μολυβιού. Τα ψηφία αυτά λέγονται **σημαντικά**. Αν καταγράφαμε το αποτέλεσμα της μέτρησης του μήκους του μολυβιού με τη μορφή 97,0mm ή με τη μορφή 97,00mm, θα υποδηλώναμε ότι το μήκος του μολυβιού μετρήθηκε με όργανο που έχει ακρίβεια 0,1 mm ή 0,01 mm αντίστοιχα, κάτι που στην περίπτωση μας δεν είναι αληθές.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεών μας πρέπει να γράφονται με τόσα σημαντικά ψηφία όσα πράγματι μπορούμε να μετρήσουμε.

Ο αριθμός των σημαντικών ψηφίων είναι ο ίδιος, όποια μονάδα κι αν χρησιμοποιήσουμε για να εκφράσουμε το μέγεθος. Έτσι, ένα μήκος 2,4m μπορεί να γραφεί και με τη μορφή 0,0024km ή $2,4 \times 10^3\text{mm}$ αλλά όχι και τη μορφή 2400mm, αφού, στην περίπτωση αυτή θα είχε τέσσερα σημαντικά ψηφία και όχι δύο. (Στην πρώτη περίπτωση, τα μηδενικά, τοποθετημένα στην αρχή του αριθμού, προσδιορίζουν απλά τη θέση της υποδιαστολής και δεν είναι

σημαντικά. Στη δεύτερη περίπτωση, όμως, τα μηδενικά, τοποθετημένα στο τέλος του αριθμού είναι σημαντικά).

Αν κατά τη διάρκεια ενός πειράματος προκύψουν ως αποτέλεσμα πράξεων αριθμοί με πολλά ψηφία, στρογγυλοποιούμε το αποτέλεσμα, ώστε να έχει τόσα σημαντικά ψηφία όσα είναι και τα σημαντικά ψηφία των αριθμών που προκύπτουν από τις μετρήσεις μας.

Αν, για παράδειγμα, η μέτρηση του χρόνου έγινε με ακρίβεια 1s και για κάποιο χρονικό διάστημα βρέθηκε η τιμή $t = 20\text{ s}$, δεν έχει κανένα φυσικό περιεχόμενο η έκφραση: «σε χρόνο $\frac{t}{3} = \frac{20\text{ s}}{3} = 6,666\text{ s}$ θα έχει συντελεστεί...». Αν γράφαμε κάτι τέτοιο θα δηλώναμε ότι γνωρίζουμε το χρόνο με ακρίβεια τριών δεκαδικών ψηφίων, πράγμα που δεν είναι αλήθεια. Το σωστό θα ήταν να πούμε: «σε χρόνο $\frac{t}{3} = \frac{20\text{ s}}{3} = 6,7\text{ s}$, θα έχει συντελεστεί.....» δηλαδή να δώσουμε το αποτέλεσμα με δύο σημαντικά ψηφία, όσα είναι και τα σημαντικά ψηφία που βρήκαμε στον προσδιορισμό του χρόνου.

Έστω, επίσης, ότι υπολογίζουμε το εμβαδόν ενός παραλληλογράμμου, για τις πλευρές του οποίου έχουμε βρει τις τιμές $a = 27 \times 10^{-2}\text{ m}$ και $b = 19 \times 10^{-2}\text{ m}$. Το εμβαδόν για το παραλληλόγραμμο αυτό προκύπτει ίσο με $513 \times 10^{-4}\text{ m}^2$. Αφού τα μήκη των πλευρών έχουν δύο σημαντικά ψηφία το εμβαδό θα έχει τη μορφή $A = 51 \times 10^{-3}\text{ m}^2$, δηλαδή θα έχει όσα σημαντικά ψηφία έχουν τα μεγέθη που μετρήσαμε. Αν στη μέτρηση των δύο μηκών είχαμε διαφορετική ακρίβεια (διαφορετικό αριθμό σημαντικών ψηφίων), **το πόσα σημαντικά ψηφία θα έχει το αποτέλεσμα θα καθορίζεται από το μέγεθος που μετρήθηκε με τη μικρότερη ακρίβεια.**

Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση που οι μετρήσεις μας έχουν γίνει με διαφορετική ακρίβεια. Ας υποθέσουμε ότι πρέπει να βρούμε το άθροισμα και τη διαφορά των μηκών $l_1 = 27,09\text{ mm}$ και $l_2 = 2,1\text{ mm}$. Αν γράψουμε ότι το άθροισμα των μηκών αυτών είναι $29,19\text{ mm}$ θα δηλώναμε ότι γνωρίζουμε ότι το δεύτερο δεκαδικό ψηφίο στο μήκος l_2 είναι το μηδέν ενώ στην πραγματικότητα μάς είναι άγνωστο. Έτσι, το αποτέλεσμα της πρόσθεσης γράφεται $29,2\text{ mm}$, θα περιέχει δηλαδή όσα σημαντικά ψηφία έχει το μήκος που μετρήθηκε με τη μικρότερη ακρίβεια. Αντίστοιχα, η διαφορά των δύο μηκών είναι 25 mm και όχι $24,99\text{ mm}$. Το τελευταίο αποτέλεσμα δείχνει ότι η διαφορά των δύο μηκών υπολογίστηκε με ακρίβεια μικρότερη από αυτή με την οποία μετρήθηκαν τα μήκη l_1 και l_2 . Την παρατήρηση αυτή πρέπει να την παίρνουμε υπόψη μας ειδικά στις περιπτώσεις που αφαιρούμε μεγέθη παραπλήσιας τιμής.

Δ. Γραφικές παραστάσεις

Σύνηθες ερώτημα που διερευνάται στο εργαστήριο της φυσικής είναι η επίδραση που έχει σε ένα φυσικό μέγεθος η μεταβολή κάποιου άλλου. Η απάντηση στο ερώτημα αυτό είναι ο φυσικός νόμος που διέπει το φαινόμενο.

Βέβαια, στα φυσικά φαινόμενα υπεισέρχονται πολλοί παράγοντες. Αν θέλουμε να μελετήσουμε το φαινόμενο είμαστε υποχρεωμένοι να κρατάμε όλους τους άλλους παράγοντες σταθερούς, να μεταβάλλουμε τον ένα από αυτούς και να ελέγχουμε την επίδραση που έχει αυτή η μεταβολή στο άλλο μέγεθος.

Παραδείγματος χάρι, οι παράγοντες που επηρεάζουν τη μεταβολή της θερμοκρασίας ενός σώματος όταν το θερμαίνουμε είναι η μάζα του σώματος, το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο και το ποσό της θερμότητας που του προσφέρουμε. Η πλήρης μελέτη του φαινομένου θα περιείχε τη διερεύνηση της σχέσης ανάμεσα στη μεταβολή της θερμοκρασίας του ίδιου σώματος και τη θερμότητα, της σχέσης ανάμεσα στη μεταβολή της θερμοκρασίας και τη μάζα του σώματος, με την προσφορά του ίδιου ποσού θερμότητας σε σώματα από το ίδιο υλικό με διαφορετική μάζα κ.λπ.

Η σχέση που συνδέει τα μεγέθη γίνεται πιο εναργής αν οι τιμές των μεγεθών αυτών μπουν σε μια γραφική παράσταση.

Επιλέγουμε δυο ορθογώνιους άξονες. Στον οριζόντιο άξονα (άξονα των x) θέτουμε τις τιμές του μεγέθους που μεταβάλλεται αυθαίρετα (**ανεξάρτητη μεταβλητή**) και στον κατακόρυφο άξονα (άξονα των y) τις τιμές της **εξαρτημένης μεταβλητής**.

Για τις γραφικές παραστάσεις ισχύει αυτό που λέει η κινέζικη παροιμία για τις εικόνες: **Ένα διάγραμμα λέει όσα λένε χίλιες λέξεις.**

Μια καλή γραφική παράσταση μπορεί να μας βοηθήσει να καταλήξουμε στη σωστή σχέση ανάμεσα στα μεγέθη. Η χάραξη της γραφικής παράστασης απαιτεί προσοχή.

1. Χρησιμοποιούμε χιλιοστομετρικό (millimétré) χαρτί για να είναι ευκολότερη και ακριβέστερη η τοποθέτηση των σημείων.
2. Σχεδιάζουμε τους άξονες, φροντίζοντας να υπάρχει χώρος στο φύλλο εργασίας για να τους προεκτείνουμε αν χρειαστεί. Αυτό ισχύει κυρίως στις περιπτώσεις που τα μεγέθη που εξετάζουμε παίρνουν και αρνητικές τιμές. Στο millimétré χαρτί τους άξονες τους παίρνουμε πάνω στις έντονες γραμμές, που αντιστοιχούν σε εκατοστά.
3. Επιλέγουμε την κατάλληλη κλίμακα. Η καμπύλη που θα σχεδιάσουμε πρέπει να καλύπτει όλη την έκταση του διαγράμματος και, ταυτόχρονα να χωράει σε αυτό. Σε κάθε άξονα γράφουμε το μέγεθος που παριστάνει και τη μονάδα μέτρησής του - ή και τα πολλαπλάσια ή υποπολλαπλάσιά της. Τοποθετούμε

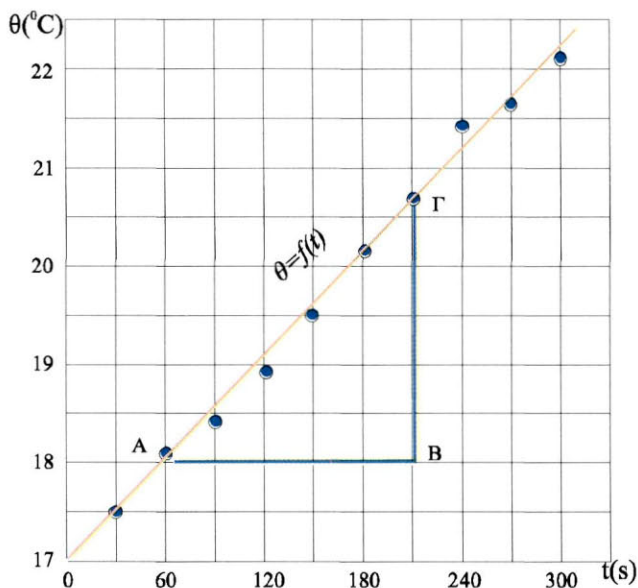
πάνω στους άξονες μερικές χαρακτηριστικές τιμές. Δεν είναι απαραίτητο στην αρχή των αξόνων να αντιστοιχεί το μηδέν της κλίμακας.

4. Τοποθετούμε τα σημεία που αντιστοιχούν στα ζεύγη των τιμών που μετρήσαμε. Συνήθως τα σημεία απεικονίζονται με μια τελεία ή ένα μικρό κύκλο ή ένα σταυρό.
5. Σχεδιάζουμε την πιο κατάλληλη γραμμή που συνδέει τα σημεία αυτά. Η γραμμή αυτή πρέπει να είναι ομαλή και σχεδιάζεται έτσι ώστε να αφήνει και από τις δυο μεριές της σημεία. Το ότι δεν περνάει από όλα τα σημεία δείχνει απλά ότι στις μετρήσεις μας υπεισέρχονται σφάλματα.
6. Μερικές φορές, σε περιπτώσεις που η σχέση ανάμεσα στα μεγέθη είναι εκθετική, εξυπηρετεί, αντί της συνάρτησης $y=f(x)$ να παριστάνουμε γραφικά τη συνάρτηση $\log y = f(x)$ ή την $\ln y = f(x)$. Με τον τρόπο αυτό μια εκθετική καμπύλη μετατρέπεται σε ευθεία γραμμή, που χαράσσεται πιο εύκολα.
7. Όταν χρειαστεί να υπολογίσετε την κλίση της καμπύλης, παίρνετε δυο σημεία που απέχουν αρκετά μεταξύ τους ώστε να είναι εύκολος ο προσδιορισμός των Δx και Δy .

Παράδειγμα

Ένας μαθητής που μελετάει στο εργαστήριο το φαινόμενο του Joule βρίσκει ότι η θερμοκρασία του νερού που περιέχει το θερμιδόμετρο αυξάνει με την πάροδο του χρόνου. Παίρνει τις τιμές της θερμοκρασίας κάθε 30 s και τις καταχωρίζει στον πίνακα που ακολουθεί. Τα δεδομένα αυτά μεταφέρονται στους άξονες και με βάση τα ζεύγη χρόνου-θερμοκρασίας σχεδιάστηκε το διάγραμμα.

t (s)	θ ($^{\circ}\text{C}$)
0	17,0
30	17,5
60	18,1
90	18,4
120	18,9
150	19,5
180	20,2
210	20,7
240	21,4
270	21,6
300	21,1



Παρατηρήσεις

1. Στην αρχή του άξονα των θερμοκρασιών δε βάλαμε την τιμή μηδέν αλλά την τιμή 17°C . Αυτό μας επιτρέπει να τοποθετήσουμε τα σημεία με μεγαλύτερη ακρίβεια.
2. Το διάγραμμα είναι μια ευθεία που δεν περνάει από όλα τα σημεία. Έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε το πλήθος των σημείων που βρίσκονται πάνω από την ευθεία να είναι περίπου ίσο με το πλήθος των σημείων που βρίσκονται κάτω απ' αυτή.
3. Από την ευθεία που σχεδιάσαμε μπορούμε να βρούμε την κλίση $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ που δείχνει με ποιο ρυθμό μεταβάλλεται η θερμοκρασία στο θερμιδόμετρο. Από το διάγραμμα προκύπτει ότι
$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{(B\Gamma)}{(AB)} = \frac{15,2^{\circ}\text{C}}{130\text{s}} \approx 0,1^{\circ}\text{C/s}$$
. Το ακριβές αποτέλεσμα της διαίρεσης είναι 0,11692307. Τέτοιου είδους ακρίβεια όμως δεν έχει καμιά πρακτική αξία αφού οι μετρήσεις μας δεν έγιναν με αντίστοιχη ακρίβεια.

Ε. Ασφάλεια στο εργαστήριο

Το εργαστήριο της φυσικής - που στα σχολεία μας συνυπάρχει με το εργαστήριο χημείας - είναι χώρος μάθησης, επομένως χώρος χαράς.

Επειδή στο εργαστήριο υπάρχουν συσκευές και υλικά τα οποία μπορούν να προκαλέσουν ατυχήματα, επιβάλλεται να τηρούνται με σχολαστικότητα κάποιοι κανόνες που θα ελαχιστοποιήσουν την πιθανότητα πρόκλησης ατυχήματος ή καταστροφής του εξοπλισμού του εργαστηρίου.

1. Δεν πιάνουμε, δε μυρίζουμε, δε βάζουμε στο στόμα μας χημικές ουσίες. Αν κάποια χημική ουσία έρθει σε επαφή με τα μάτια μας ή το δέρμα μας ρίχνουμε άφθονο νερό και στη συνέχεια ζητάμε τη βοήθεια του καθηγητή. Αν μας ζητηθεί, φοράμε την ποδιά εργαστηρίου και προστατευτικά γυαλιά.
2. Δε χρησιμοποιούμε καμιά συσκευή, εκτός από αυτές που είναι απαραίτητες για την εκτέλεση του πειράματος. (Αναφέρονται στον οδηγό).

3. Δε συνδέουμε στην πηγή ένα ηλεκτρικό κύκλωμα αν δεν ελεγχθεί προηγούμενα από τον καθηγητή.
4. Αποφεύγουμε να τοποθετούμε τις συσκευές μας στην άκρη του τραπεζιού στο οποίο γίνεται το πείραμα. Είναι εύκολο να παρασυρθούν και να σπάσουν.
5. Χρησιμοποιούμε ειδικά αντιθερμικά γάντια κάθε φορά που πρέπει να πιάσουμε αντικείμενα που βρίσκονται σε ψηλή θερμοκρασία.
6. Χειριζόμαστε με προσοχή τα γυάλινα σκεύη και δεν τα χρησιμοποιούμε όταν έχουν ραγίσματα.
7. Όταν χρησιμοποιούμε φωτιά φροντίζουμε να μην υπάρχουν κοντά σ' αυτήν εύφλεκτα υλικά.
8. Δεν ανάβουμε τις εστίες θέρμανσης χωρίς την άδεια και την επίβλεψη του καθηγητή.
9. Δε βάζουμε πάνω στη φωτιά δοκιμαστικούς σωλήνες στραμμένους προς το πρόσωπό μας ή προς το πρόσωπο κάποιου άλλου.
10. Δε μετακινούμαστε άσκοπα στο χώρο του εργαστηρίου.

Όταν τελειώσουμε την άσκησή μας αποσυναρμολογούμε την πειραματική διάταξη, καθαρίζουμε τα όργανα και τα τοποθετούμε στη θέση που θα μας υποδείξει ο καθηγητής.

ΔΙΝΕΤΕ ΠΡΟΣΟΧΗ ΟΤΑΝ ΒΛΕΠΕΤΕ ΤΑ ΕΠΟΜΕΝΑ ΣΗΜΑΤΑ

	ΑΠΑΓΟΡΕΥΕΤΑΙ Η ΑΠΟΘΕΣΗ (ΠΕΤΑΜΑ) ΥΛΙΚΩΝ		ΠΡΟΣΟΧΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΛΕΙΖΕΡ
	ΑΠΑΓΟΡΕΥΕΤΑΙ Η ΓΥΜΝΗ ΦΛΟΓΑ		ΠΡΟΣΟΧΗ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΑ ΥΛΙΚΑ
	ΠΡΟΣΟΧΗ ΕΥΦΛΕΚΤΕΣ ΥΛΕΣ		ΠΡΟΣΟΧΗ ΤΟΞΙΚΕΣ ΥΛΕΣ
	ΠΡΟΣΟΧΗ ΚΟΦΤΕΡΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ		ΠΡΟΣΟΧΗ ΕΚΡΗΚΤΙΚΕΣ ΥΛΕΣ
	ΠΡΟΣΟΧΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΕΣ ΑΝΑΘΥΜΙΑΣΕΙΣ		ΠΡΟΣΟΧΗ Ι ΓΕΝΙΚΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΣ
	ΠΡΟΣΟΧΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ		ΥΠΟΧΡΕΩΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΑΝΤΙΘΕΡΜΙΚΩΝ ΓΑΝΤΙΩΝ
	ΠΡΟΣΟΧΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΣ		ΥΠΟΧΡΕΩΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΓΥΑΛΙΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
	ΠΡΟΣΟΧΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΦΥΤΑ		ΥΠΟΧΡΕΩΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΠΟΛΙΔΙΣ

1. ΣΥΜΒΟΛΗ ΚΥΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ - ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΜΟΝΟΧΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

ΣΥΜΒΟΛΗ ΚΥΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

A. Στόχοι:

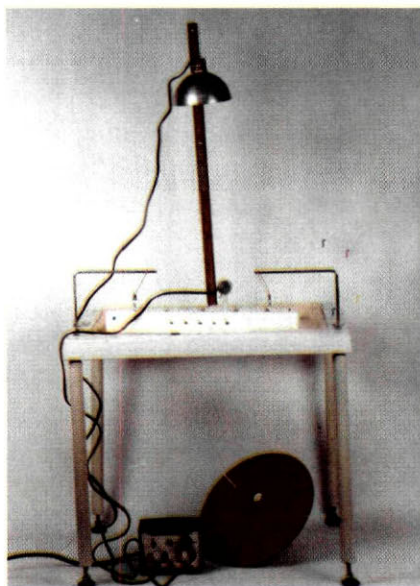
- Η παρατήρηση της συμβολής δύο κυμάτων στην επιφάνεια του νερού.
- Η παρατήρηση των κροσσών συμβολής.
- Ο προσδιορισμός της θέσης των κροσσών συμβολής.

B. Απαραίτητα όργανα και υλικά:

- Συσκευή κυματισμών
- Διπολικός διεγέρτης
- Βαθμολογημένος κανόνας
- Μερικά φύλλα λευκού χαρτιού
- Σελοτέιπ

Γ. Η μέθοδος

Η συσκευή κυματισμών της εικόνας 1.1 αποτελείται από αβαθή διαφανή λεκάνη και ένα διεγέρτη ο οποίος μπορεί να δημιουργήσει κύματα τα μέτωπα των οποίων μπορεί να είναι κυκλικά ή ευθύγραμμα. Τοποθετώντας πάνω στο διεγέρτη δυο όμοιες σφαίρες παίρνουμε δυο σύμφωνες πηγές κυματισμών και να παρακολουθήσουμε το αποτέλεσμα της συμβολής των κυμάτων που δημιουργούνται από αυτές. Ο διεγέρτης ταλαντώνεται με τη βοήθεια ηλεκτρικού κινητήρα, η συχνότητα περιστροφής του οποίου μπορεί να μεταβληθεί με τη μεταβολή της τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα του.



Εικ. 1.1 Η συσκευή κυματισμών. Στην εικόνα φαίνεται το στροβοσκόπιο χεριού με τη βοήθεια του οποίου μπορούμε να “παγώσουμε” την εικόνα που βλέπουμε στην επιφάνεια του νερού.

Σε στέλεχος που υπάρχει στη συσκευή στερεώνεται ηλεκτρικός λαμπτήρας, ο οποίος φωτίζει τη λεκάνη και προβάλλει την εικόνα των κροσσών συμβολής πάνω στο τραπέζι στο οποίο στηρίζεται η συσκευή.

Οι απαραίτητες μετρήσεις διευκολύνονται αν κάτω από τη λεκάνη κυματισμών τοποθετήσουμε ένα φύλλο χαρτιού πάνω στο οποίο μπορούμε να σημειώσουμε τις θέσεις των πηγών των κυμάτων και των σημείων των κροσσών συμβολής.

Δ. Η εκτέλεση του πειράματος:

1. Ρυθμίζουμε το ύψος των στηριγμάτων του διεγέρτη ώστε οι δυο σφαίρες του να ακουμπάν στην επιφάνεια του νερού (Ο διεγέρτης κρέμεται στα στηρίγματά του με τη βοήθεια ελαστικών συνδέσμων, ώστε ταλαντώνεται ελεύθερα).
2. Συνδέουμε τον κινητήρα του διεγέρτη σε τάση 12 V, μέσω ροοστάτη. Ρυθμίζουμε το ροοστάτη ώστε η αρχική τιμή του ρεύματος να είναι η μικρότερη δυνατή.
3. Αυξάνουμε την ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον κινητήρα μέχρις ότου η συχνότητα με την οποία περιστρέφεται να εξασφαλίζει ευκρινή εικόνα των κροσσών συμβολής.
4. Συνδέουμε σε τάση 12 V το λαμπτήρα του προβολέα της διάταξης.
5. Τοποθετούμε κάτω από τη λεκάνη ένα φύλλο χαρτί και το στερεώνουμε με σελοτέιπ.
6. Σημειώνουμε στο χαρτί μας τα σημεία Π_1 και Π_2 που είναι η θέση των προβολών των δύο πηγών (του κέντρου των δύο σφαιρών)
7. Σημειώνουμε πάνω στο χαρτί μας τη θέση τριών σημείων A_1, A_2, A_3 πάνω στον κεντρικό κροσσό συμβολής και μετράμε τις αποστάσεις τους από τα σημεία Π_1 και Π_2 .
8. Σημειώνουμε πάνω στο χαρτί μας τη θέση τριών σημείων B_1, B_2, B_3 πάνω στον πρώτο κροσσό απόσβεσης και μετράμε τις αποστάσεις τους από τα σημεία Π_1 και Π_2 .
9. Σημειώνουμε πάνω στο χαρτί μας τη θέση τριών σημείων $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3$ πάνω στον πρώτο κροσσό ενίσχυσης και μετράμε τις αποστάσεις τους από τα σημεία Π_1 και Π_2 .



Εικ. 1.2

ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΜΟΝΟΧΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

A. Στόχοι:

- Η παρατήρηση του φαινομένου της περίθλασης
- Η αξιοποίηση του φαινομένου της περίθλασης για τη μέτρηση του μήκους κύματος μονοχρωματικής ακτινοβολίας.

B. Απαραίτητα όργανα- υλικά:

- Συσσκευή laser ηλίου –νέου, χαμηλής ισχύος (ΟΠ 235.0)¹
- Οπτικό φράγμα²
- Μετροταινία
- Βαθμολογημένος κανόνας.

Γ. Η μέθοδος

Όταν το φως περνάει από λεπτές σχισμές υφίσταται περίθλαση, φτάνει δηλαδή σε σημεία που δεν προβλέπονται από την ευθύγραμμη διάδοσή του. Το φαινόμενο είναι εντονότερο όταν οι σχισμές έχουν πλάτος συγκρίσιμο με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας.

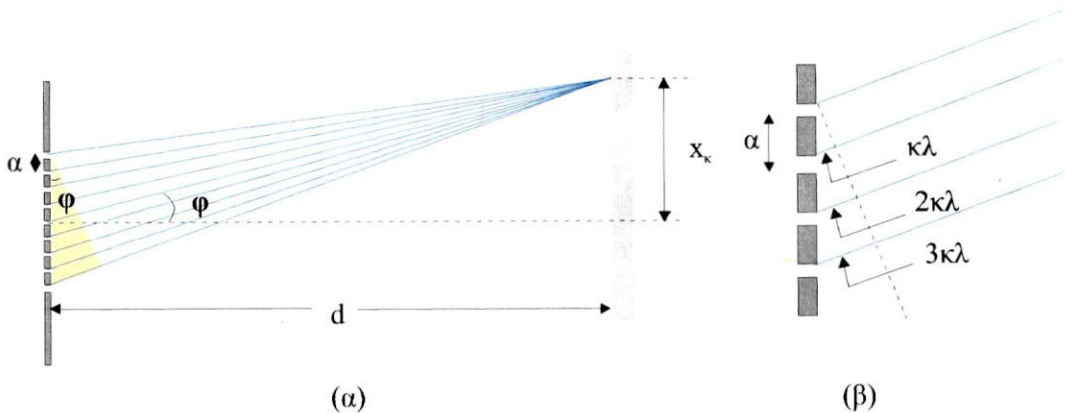
Το φαινόμενο της περίθλασης είναι ιδιαίτερα έντονο αν αντί μιας λεπτής σχισμής έχουμε σύστημα πολλών όμοιων λεπτών σχισμών που βρίσκονται σε ίσες πολύ μικρές αποστάσεις μεταξύ τους. Το σύστημα αυτών των σχισμών αποτελεί ένα **οπτικό φράγμα**.

Αν στην πορεία μιας λεπτής παράλληλης δέσμης μονοχρωματικού φωτός παρεμβληθεί ένα οπτικό φράγμα, πίσω από το φράγμα σε ένα πέτασμα παίρνουμε ένα σύστημα φωτεινών περιοχών που εναλλάσσονται από σκοτεινές περιοχές. Για την ερμηνεία του φαινομένου πρέπει να δεχτούμε ότι οι φωτεινές σχισμές του φράγματος γίνονται σύμφωνες πηγές δευτερευόντων φωτεινών κυμάτων (αυτή η πρόταση είναι γνωστή ως η αρχή του Huygens). Τα φωτεινά κύματα που προκύπτουν με αυτό τον τρόπο διαδίδονται σε όλες τις διευθύνσεις. Σε μερικές από αυτές τις διευθύνσεις οι φωτεινές ακτίνες διατρέχουν αποστάσεις που η διαφορά τους είναι – ανά δύο - ακέραια πολλαπλάσια του μήκους

¹ Το πείραμα πραγματοποιήθηκε με απλό laser- φακό, ερυθρού χρώματος

² Το οπτικό φράγμα μπορεί να κατασκευαστεί με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή με χρήση εκτυπωτή υψηλής ανάλυσης. Το πείραμα που περιγράφεται πραγματοποιήθηκε με τέτοιο φράγμα, στο οποίο η απόσταση μεταξύ των σχισμών είναι 10^{-4} m.

κύματος και σε κάποιες άλλες αποστάσεις που -ανά δύο- είναι περιττά πολλαπλάσια του $\lambda/2$. Στην πρώτη περίπτωση οι ακτίνες, όταν συναντήσουν ένα πέτασμα σχηματίζουν φωτεινούς κροσσούς συμβολής, ενώ στη δεύτερη περίπτωση δίνουν σκοτεινούς κροσσούς.



Σχ. 1.1 (α) Σχηματισμός κ-τάξης φωτεινού κροσσού συμβολής. (β) Στη διεύθυνση που εξετάζεται κάθε περιθλώμενη ακτίνα διατρέχει απόσταση κατά $k\lambda$ μεγαλύτερη από την προηγούμενη.

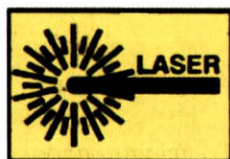
Φωτεινούς κροσσούς παίρνουμε για τις διευθύνσεις εκείνες για τις οποίες ισχύει η σχέση
$$\eta \mu \varphi = \kappa \frac{\lambda}{a},$$
 όπου κ η τάξη του φωτεινού κροσσού και a το πάχος της σχισμής.

Τη γωνία φ μπορούμε να την υπολογίσουμε αν μετρήσουμε την απόσταση x_k του φωτεινού κροσσού κ -τάξης από τον κεντρικό κροσσό και την απόσταση d του φράγματος από το πέτασμα. Ο λόγος x_k/d δίνει την εφαπτομένη της γωνίας φ , αλλά επειδή η γωνία είναι πολύ μικρή ισχύει $\eta \mu \varphi = \epsilon \varphi \varphi = \varphi$.

Ως πηγή παράλληλης μονοχρωματικής δέσμης θα χρησιμοποιήσουμε ένα laser (από τα αρχικά των λέξεων Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, που στα ελληνικά σημαίνει «ενισχυτής φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας»). Το laser έχει την ικανότητα να δημιουργεί πολύ στενή παράλληλη δέσμη μονοχρωματικού φωτός, μεγάλης λαμπρότητας, γι' αυτό και μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε και στο φως της ημέρας, χωρίς να είναι απαραίτητη η συσκότιση του χώρου στον οποίο πραγματοποιείται το πείραμα.

ΠΡΟΣΟΧΗ: ΤΟ LASER ΕΙΝΑΙ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟ ΑΝ Η ΔΕΣΜΗ ΚΑΤΕΥΘΥΝΘΕΙ ΣΤΑ ΜΑΤΙΑ ΜΑΣ.

Δ. Η εκτέλεση του πειράματος



1. Τοποθετούμε το laser σε απόσταση 2 m από ένα πέτασμα (ως πέτασμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας τοίχος) με τον άξονά του κάθετο σε αυτό.
2. Ακριβώς μπροστά στο laser τοποθετούμε το οπτικό φράγμα. Σημειώνουμε την απόσταση ανάμεσα σε δυο διαδοχικές σχισμές του φράγματος (στα οπτικά φράγματα που κατασκευάζονται σε οπτικά εργαστήρια η απόσταση αυτή δίνεται από τον κατασκευαστή).
3. Μετράμε την απόσταση του πρώτου φωτεινού κροσσού από τον κεντρικό κροσσό. Επειδή οι φωτεινές περιοχές έχουν πλάτος που δε γίνεται να αγνοηθεί η μέτρηση αφορά στο κέντρο της φωτεινής περιοχής.

2. ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΓΝΩΣΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΟΝ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟ

A. Στόχοι

Το πείραμα αποσκοπεί:

- Στην εξοικείωση με τον παλμογράφο.
- Στην κατανόηση ότι ο παλμογράφος αποτελεί όργανο μέτρησης.
- Στην παρατήρηση σύνθετων κυματομορφών (διακροτήματα, εικόνες Lissajous)
- Στη μέτρηση της συχνότητας εναλλασσόμενης τάσης.

B. Θα χρειαστούμε

- Παλμογράφο με κλίμακα χρόνου σάρωσης (HΛ676)
- Δύο γεννήτριες χαμηλών συχνοτήτων (κατάλληλες είναι οι BioNik ή Unilamp)
- Καλώδια σύνδεσης.

Γ. Η μέθοδος

Η συχνότητα μιας εναλλασσόμενης τάσης μπορεί να μετρηθεί:

- α) Άμεσα, με την απευθείας παρατήρηση της κυματομορφής της στην οθόνη παλμογράφου που διαθέτει κουμπί για τη μέτρηση του χρόνου σάρωσης.
- β) Έμμεσα, με τη σύγκριση της συχνότητας αυτής με μία πρότυπη συχνότητα (συχνότητα που μας δίνει μια αξιόπιστη πηγή).

α) Συνδέουμε την άγνωστης συχνότητας τάση στους ακροδέκτες κατακόρυφης απόκλισης και ρυθμίζουμε τη συχνότητα σάρωσης ώστε να εμφανιστεί στην οθόνη ευδιάκριτη κυματομορφή, που αντιστοιχεί σε ορισμένο αριθμό περιόδων τάσης. Το κουμπί TIME/DIV μας δείχνει τότε τη σταθερά χρόνου του παλμογράφου. (Προσοχή ο εσωτερικός διακόπτης πρέπει να είναι κλειδωμένος, δηλαδή να είναι στραμμένος στην ακραία θέση του).

Από τη σταθερά χρόνου είναι δυνατό να μετρηθεί η περίοδος της τάσης και, έμμεσα, η συχνότητά της.

Η μέτρηση της περιόδου μπορεί να γίνει με τη μέτρηση της απόστασης μεταξύ δύο διαδοχικών μεγίστων της κυματομορφής. Η μέτρηση αυτή διευκολύνεται με κατάλληλη χρήση των κουμπιών κατακόρυφης και οριζόντιας

απόκλισης, με τη βοήθεια των οποίων μπορούμε να φέρουμε το ένα ακρότατο της κυματομορφής στην αρχή των αξόνων.

Αν π.χ. η απόσταση των δύο διαδοχικών μεγίστων της τάσης είναι 2 υποδιαιρέσεις και η σταθερά χρόνου του παλμογράφου είναι 2ms/υποδιαίρεση, η περίοδος της τάσης θα είναι 2 υποδιαιρέσεις $\times$ 2ms/υποδιαίρεση = 4ms και η συχνότητα $\frac{1}{4 \times 10^{-3} \text{ s}} = 250 \text{ Hz}$.

Σημείωση: Αν ο παλμογράφος δεν έχει βαθμολογημένο κουμπί σταθεράς χρόνου, πριν κάνουμε τη μέτρησή μας πρέπει να προσδιορίσουμε τη σταθερά χρόνου με τη βοήθεια μιας εναλλασσόμενης τάσης που παίρνουμε από αξιόπιστη πηγή. Στην περίπτωση αυτή η πρότυπη συχνότητα πρέπει να επιλεγεί με τέτοιο τρόπο ώστε η προς μέτρηση συχνότητα να έχει περίπου την ίδια συχνότητα με τη συχνότητα της πρότυπης πηγής.

Για τον προσδιορισμό της σταθεράς χρόνου του παλμογράφου, εφαρμόζουμε στους ακροδέκτες κατακόρυφης απόκλισης τάση γνωστής συχνότητας, και επιλέγουμε την περιοχή συχνοτήτων σάρωσης ώστε στην οθόνη να σχηματιστεί ευδιάκριτα κυματομορφή που θα αντιστοιχεί σε ορισμένο αριθμό περιόδων. Μετράμε και πάλι την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών μεγίστων της καμπύλης, που αντιστοιχούν στην περίοδο της τάσης.

Το πηλίκο (περίοδος της τάσης)/(αριθμός υποδιαιρέσεων) δίνει τη σταθερά χρόνου.

β) Αν συνδέσουμε ταυτόχρονα στους ακροδέκτες κατακόρυφης απόκλισης του παλμογράφου δύο αρμονικές τάσεις v_1 και v_2 , η κυματομορφή που θα πάρουμε στην οθόνη θα αντιστοιχεί κάθε φορά στο άθροισμα $v=v_1+v_2$. Η μορφή της τάσης αυτής εξαρτάται από τα πλάτη και τις συχνότητες των δύο τάσεων. Στην ειδική περίπτωση που οι συχνότητες των δύο τάσεων παρουσιάζουν μικρή διαφορά, η κυματομορφή που προκύπτει θα είναι ένα διακρότημα του οποίου μπορούμε να μετρήσουμε, με τη μέθοδο που περιγράψαμε προηγούμενα, την περίοδο, δηλαδή το χρόνο ανάμεσα σε δύο διαδοχικούς μηδενισμούς του πλάτους.

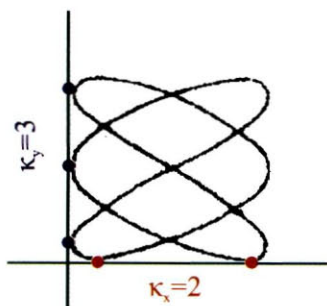
Από την περίοδο του διακροτήματος μπορούμε να υπολογίσουμε τη συχνότητά του και επομένως, από τη σχέση $f_s=f_1-f_2$, να υπολογίσουμε τη συχνότητα της μιας τάσης αν μας είναι γνωστή η συχνότητα της άλλης.

γ) Τη συχνότητα της τάσης μπορούμε να τη μετρήσουμε αν τη συγκρίνουμε με τη συχνότητα μιας πρότυπης πηγής με τη βοήθεια των εικόνων Lissajous. Η μέθοδος προσφέρεται στην περίπτωση που οι δύο συχνότητες έχουν λόγο μικρών ακέραιων αριθμών.

Εφαρμόζουμε την τάση της οποίας τη συχνότητα θέλουμε να μετρήσουμε στους ακροδέκτες κατακόρυφης απόκλισης και την τάση της πρότυπης πηγής στους ακροδέκτες οριζόντιας απόκλισης (με το διακόπτη εσωτερικής σάρωσης στη θέση EXT). Στην οθόνη εμφανίζεται τότε η χαρακτηριστική εικόνα Lissajous από την οποία μπορούμε να υπολογίσουμε την άγνωστη συχνότητα ως εξής:

Ας θεωρήσουμε ότι χαράσσουμε δύο εφαπτόμενες στην κυματομορφή, μια κατακόρυφη και μια οριζόντια. Αν f_x και f_y οι συχνότητες των τάσεων που εφαρμόστηκαν στους ακροδέκτες X και Y θα ισχύει $\kappa_x \cdot f_x = \kappa_y \cdot f_y$ όπου κ_x και κ_y οι αριθμοί των κοινών σημείων της κυματομορφής με τις αντίστοιχες εφαπτόμενες.

Επομένως, αν μια από τις δύο συχνότητες είναι γνωστή (στη δική μας περίπτωση είναι γνωστή η f_y) μπορούμε να υπολογίσουμε την άλλη.



Σχ. 2.1

Δ. Η εκτέλεση του πειράματος

1. Συνδέουμε τους ακροδέκτες μιας γεννήτριας συχνοτήτων στους ακροδέκτες κατακόρυφης απόκλισης του παλμογράφου. Ρυθμίζουμε το κουμπί TIME/DIV ώστε να παρατηρήσουμε στην οθόνη του παλμογράφου σταθερή κυματομορφή της τάσης που αντιστοιχεί σε μικρό αριθμό περιόδων. Με το διακόπτη κατακόρυφου υποβιβασμού της τάσης ρυθμίζουμε την κυματομορφή ώστε να είναι ευκρινής, περίπου 5cm από κορυφή σε κορυφή.
2. Μετράμε την οριζόντια απόσταση ανάμεσα σε δύο διαδοχικά μέγιστα της καμπύλης (η μέτρηση μπορεί να απλοποιηθεί αν μετακινήσουμε την κυματομορφή ώστε ένα μέγιστο της να αντιστοιχεί στην αρχή των αξόνων). Σημειώνουμε την απόσταση αυτή και τη σταθερά χρόνου από το αντίστοιχο κουμπί.
3. Συγκρίνουμε την τιμή της συχνότητας που προκύπτει από τις μετρήσεις με την τιμή της συχνότητας που αναγράφεται στη γεννήτρια.

4. Υπολογίζουμε την περίοδο της εναλλασσόμενης τάσης. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία συνολικά τρεις φορές, επιλέγοντας κάθε φορά διαφορετική τιμή της συχνότητας της γεννήτριας.
5. Συνδέουμε ταυτόχρονα στους ακροδέκτες κατακόρυφης απόκλισης του παλμογράφου δύο όμοιες γεννήτριες χαμηλών συχνοτήτων. Ρυθμίζουμε τη συχνότητα της μιας στα 100Hz ενώ τη συχνότητα της άλλης τη μεταβάλλουμε μέχρις ότου παρατηρήσουμε με ευκρίνεια το σχηματισμό διακροτήματος. (Η τάση εξόδου των δύο γεννητριών ρυθμίζεται στο 1V). Μετράμε και σημειώνουμε την οριζόντια απόσταση ανάμεσα σε δύο διαδοχικούς μηδενισμούς του πλάτους και τη σταθερά χρόνου του παλμογράφου. Επαναλαμβάνουμε τη μέτρηση συνολικά τρεις φορές, επιλέγοντας κάθε φορά διαφορετική τιμή της συχνότητας της γεννήτριας.
6. Με το διακόπτη οριζόντιας σάρωσης στη θέση EXT, συνδέουμε στους ακροδέκτες κατακόρυφης απόκλισης τη γεννήτρια συχνοτήτων, ρυθμισμένη στα 100Hz και στους ακροδέκτες οριζόντιας απόκλισης τη δεύτερη γεννήτρια. Επιλέγουμε τάση εξόδου και στις δύο γεννήτριες το 1V. Αυξάνουμε τη συχνότητα της τάσης της δεύτερης γεννήτριας μέχρι να εμφανιστεί καθαρά εικόνα Lissajous. Μετράμε τα κοινά σημεία της εικόνας με την οριζόντια και κατακόρυφη εφαπτόμενη. Επαναλαμβάνουμε τη μέτρηση για άλλες δύο τιμές της συχνότητας.



Εικ. 2.1 Παλμογράφος διπλής δέσμης

3. ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΑΣΙΜΩΝ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΩΛΗΝΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ

A. Στόχοι

Με το πείραμα αυτό επιδιώκεται:

- Η δημιουργία στάσιμου ηχητικού κύματος σε κλειστό σωλήνα.
- Η μέτρηση της ταχύτητας του ήχου στον αέρα.

B. Απαραίτητα όργανα και υλικά

- Γυάλινος σωλήνας μήκους 100cm και διαμέτρου 3cm.
- Πώμα με το οποίο κλείνει υδατοστεγώς το ένα άκρο του σωλήνα. Από το πώμα διέρχεται λεπτός σωλήνας.
- Δοχείο χωρητικότητας 1L (στο πείραμα που περιγράφουμε χρησιμοποιήθηκε ένα μπουκάλι εμφιαλωμένου νερού). Η βάση του δοχείου συνδέεται με σωλήνα σιλικόνης μήκους 1,2m
- Βάση ορθοστάτη.
- 1 μεταλλική ράβδος 1m (ΓΕ 040.0)
- 1 μεταλλική ράβδος 30cm (ΓΕ 040.4)
- 1 διαπασών και το ελαστικό σφυράκι για τη διέγερση του.
- Μεταλλική λαβίδα απλή (ΓΕ 045.00)
- 1 θερμομέτρο τοίχου.

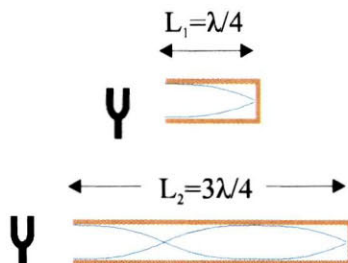
Γ. Η μέθοδος

Αν δημιουργηθεί ένα αρμονικό κύμα στο ανοιχτό άκρο ενός σωλήνα, το άλλο άκρο του οποίου είναι κλειστό, το κύμα ανακλάται στο κλειστό άκρο του σωλήνα και επιστρέφει.

Από τη συμβολή των δύο κυμάτων (του προσπίπτοντος και του ανακλώμενου) είναι δυνατό να σχηματιστεί στάσιμο κύμα. Στην περίπτωση που δημιουργηθεί στάσιμο κύμα, με δεσμό κίνησης στο κλειστό άκρο του σωλήνα και κοιλία κίνησης, στο ανοιχτό άκρο.

Για να δημιουργηθεί στάσιμο κύμα πρέπει το μήκος L του σωλήνα να είναι περιττό πολλαπλάσιο του $\lambda/4$, όπου λ το μήκος του τρέχοντος κύματος. Δηλαδή πρέπει:

$$L = (2k + 1) \frac{\lambda}{4} \quad \text{όπου } k=0,1,2,3,\dots$$



Σχ. 3.1

Στο σχήμα 3.1 φαίνονται οι δύο απλούστερες μορφές στάσιμου ηχητικού κύματος σε ένα τέτοιο σωλήνα. Ο ήχος παράγεται και στις δύο περιπτώσεις από το ίδιο διαπασών που ηχεί κοντά στο ανοιχτό άκρο του σωλήνα.

Στο σχήμα 3.2α το μήκος του σωλήνα είναι

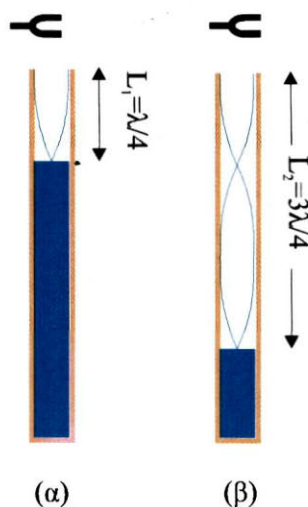
$$L_1 = \frac{\lambda}{4} \quad (3.1)$$

ενώ στο σχήμα 3.2β το μήκος του σωλήνα είναι

$$L_1 = 3 \frac{\lambda}{4} \quad (3.2)$$

Όταν δημιουργηθεί στάσιμο ηχητικό κύμα μέσα σε ένα σωλήνα ο ήχος ακούγεται δυνατός. Οι διάφοροι ήχοι που παράγονται από τα πνευστά όργανα οφείλονται στη δημιουργία στάσιμων κυμάτων στον ηχητικό τους σωλήνα.

Στο πείραμά μας, ως πηγή απλού ήχου θα χρησιμοποιήσουμε ένα διαπασών, από αυτά που διαθέτουν τα σχολικά εργαστήρια. Η συχνότητα του



Σχ. 3.2

ήχου που παράγουν τα διαπασών αναγράφεται στο ένα σκέλος τους ή στο κεντρικό τους στέλεχος. Τα διαπασών που διαθέτουν τα σχολεία, στηριγμένα σε αντηχεία, έχουν συχνότητα 440Hz. Η συχνότητα του κύματος είναι ίδια με τη συχνότητα της πηγής. Γνωρίζοντας τη συχνότητα του διαπασών, γνωρίζουμε τη συχνότητα του ηχητικού κύματος.

Αν το μήκος του σωλήνα είναι κατάλληλο θα δημιουργηθεί στάσιμο κύμα και ο ήχος που θα ακούγεται θα έχει μέγιστη ένταση. Μπορούμε να πετύχουμε μεταβλητό μήκος της στήλης L του αέρα στο σωλήνα, αν ένα μέρος του έχει νερό (σχ. 3.2). Τότε για το μικρότερο μήκος L για το οποίο ακούγεται μέγιστο της έντασης του ήχου θα ισχύει η σχέση (3.1), ενώ για το αμέσως επόμενο μήκος, στο οποίο θα έχουμε πάλι μέγιστο, η σχέση (3.2) (σχ. 3.2). Αφαιρώντας κατά μέλη τις σχέσεις (3.2) και (3.1) προκύπτει

$$L_2 - L_1 = \frac{\lambda}{2} \quad \text{οπότε} \quad \lambda = 2(L_2 - L_1) \quad (3.3)$$

από όπου υπολογίζουμε το μήκος κύματος λ .

Γνωρίζοντας τη συχνότητα f και το μήκος κύματος λ , η ταχύτητα του ήχου υπολογίζεται από το θεμελιώδη νόμο της κυματικής

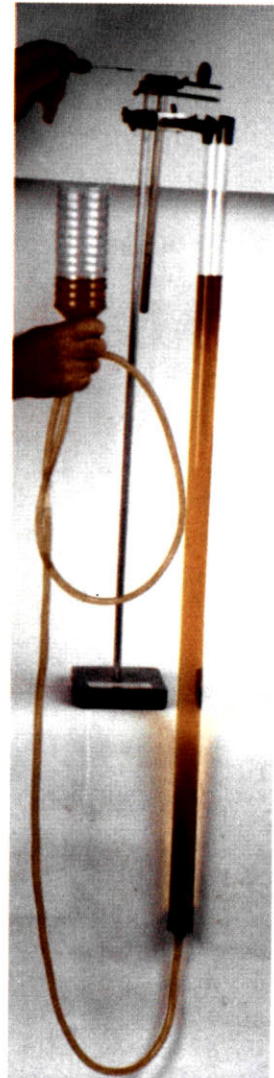
$$v = f \lambda \quad (3.4)$$

Η ταχύτητα του ήχου είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας. Για να μπορούμε να συγκρίνουμε την τιμή που βρήκαμε πειραματικά με αυτή της βιβλιογραφίας ανάγουμε στους 0°C την ταχύτητα που βρήκαμε, από τη σχέση:

$$v_\theta = v_0 \left(1 + \frac{\theta}{273} \right) \quad \text{ή} \quad v_0 = \frac{v_\theta}{1 + \frac{\theta}{273}} \quad (3.5)$$

Το μεταβλητό μήκος του αέρα στο σωλήνα του πειράματος μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους.

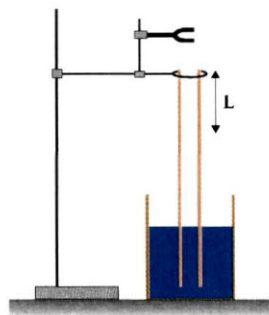
- α) Το κάτω άκρο, ενός ακίνητου κατακόρυφου σωλήνα επικοινωνεί με ένα δοχείο που περιέχει



Εικ. 3.1

νερό. Μετακινώντας το δοχείο κατακόρυφα μεταβάλλεται και το ύψος της στάθμης του νερού στο σωλήνα (εικ. 3.1).

- β) Ένας ανοιχτός και στα δύο του άκρα σωλήνας, τοποθετείται κατακόρυφα, βυθισμένος στο κάτω του μέρος μέσα σε λεκάνη με νερό. Μετακινώντας κατακόρυφα το σωλήνα μεταβάλλεται το μήκος L της στήλης του αέρα (σχ. 3.3). Για να πάρουμε δύο διαδοχικά στάσιμα κύματα με αυτή τη διάταξη προτείνεται να χρησιμοποιηθούν δύο σωλήνες, με μήκη 40cm και 80cm και διαμέτρου 3cm ο καθένας. Η λεκάνη πρέπει να έχει νερό σε ύψος 30cm ή μεγαλύτερο.



Σχ. 3.3

Δ. Η εκτέλεση του πειράματος

1. Σημειώνουμε στο τετράδιο την ένδειξη του θερμομέτρου και τη συχνότητα του διαπασών που χρησιμοποιούμε.
2. Συναρμολογούμε τη διάταξη της εικόνας 3.1 Φροντίζουμε να μην εξέχει ο σωλήνας πάνω από τη λαβή γιατί υπάρχει κίνδυνος να σπάσει από απροσεξία όταν χτυπάμε το διαπασών.
3. Γεμίζουμε με νερό το δοχείο και το μετακινούμε κατακόρυφα μέχρι να γεμίσει ο σωλήνας.
4. Διεγείρουμε το διαπασών. Αρχίζουμε να μετακινούμε αργά προς τα κάτω το δοχείο με το νερό. Όταν ακουστεί για πρώτη φορά, δυνατός ήχος, με μικρές μετατοπίσεις του δοχείου, προσπαθούμε να πετύχουμε τη μεγιστοποίηση της έντασης του ήχου που ακούγεται.
5. Μετράμε το μήκος L_1 της στήλης του αέρα στο σωλήνα για την οποία σημειώθηκε το πρώτο μέγιστο της έντασης του ήχου (δηλαδή το μήκος από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού μέχρι το άνω άκρο του σωλήνα).
6. Επειδή δεν είναι σίγουρο ότι στη θέση αυτή η ένταση είναι η μέγιστη, επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία και τη μέτρηση του μήκους L_1 άλλες τέσσερις φορές.

7. Μετακινώντας προς τα κάτω το δοχείο, βρίσκουμε τη δεύτερη θέση όπου ο ήχος έχει μέγιστο στην ένταση.
8. Μετράμε το μήκος L_2 της στήλης του αέρα στο δοχείο.
9. Επαναλαμβάνουμε την όλη διαδικασία για τη μέτρηση της στήλης L_2 του σωλήνα άλλες τέσσερις φορές.

4. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΡΟΠΗΣ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥ ΠΟΥ ΚΥΛΙΕΤΑΙ ΣΕ ΠΛΑΓΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

A. Στόχοι

- Η εξοικείωση με μετρήσεις χρόνου και μήκους και η εκτίμηση των σφαλμάτων που υπεισέρχονται κατά τη μέτρησή τους.
- Η κατάδειξη της σημασίας των γραφικών παραστάσεων στη μέτρηση μεγεθών.
- Η μέτρηση της ροπής αδράνειας ενός κυλινδρικού σώματος.

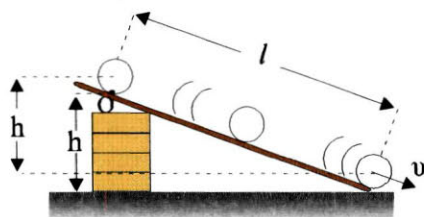
B. Απαραίτητα όργανα και υλικά

- Ένα σανίδι, μήκους 2m περίπου.
- Κύλινδρος. Προτείνεται κύλινδρος από ρολό με ταινία περιτυλίγματος (PVC).
- Ζυγός 2kg.
- Χρονόμετρο.
- Βαθμολογημένος κανόνας.
- Μερικά υποστηρίγματα για τη δημιουργία του πλάγιου επιπέδου.
- Παχύμετρο.

Γ. Η μέθοδος

Από ένα σημείο O πλάγιου επιπέδου, του οποίου την κλίση μπορούμε να αυξομειώνουμε, αφήνουμε τον κύλινδρο. Έστω h το ύψος από το οποίο αφήνεται ο κύλινδρος και l η απόσταση του σημείου O από τη βάση του πλάγιου επιπέδου.

Ο κύλινδρος κυλίζει στο επίπεδο χωρίς να ολισθαίνει. Αυτό σημαίνει ότι κάθε στιγμή η μεταφορική του ταχύτητα (η ταχύτητα με την οποία κινείται το κέντρο του) είναι ίση με τη γραμμική ταχύτητα των σημείων της περιφέρειας του και, επομένως ισχύει:



Σχ. 4.1

$$v = \omega r \quad \text{ή} \quad \omega = \frac{v}{r} \quad (4.1)$$

όπου v η μεταφορική ταχύτητα, ω η γωνιακή ταχύτητα και r η ακτίνα του κυλίνδρου.

Η κινητική ενέργεια του κυλίνδρου είναι κάθε στιγμή το άθροισμα των κινητικών ενεργειών λόγω της μεταφορικής και της περιστροφικής κίνησης.

$$K = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} I \omega^2$$

Τη στιγμή που ο κύλινδρος φτάνει στο κατώτερο σημείο του πλάγιου επιπέδου, η αρχική δυναμική του ενέργεια mgh έχει μετατραπεί σε κινητική.

$$mgh = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (4.2)$$

Η ροπή αδράνειας κάθε σώματος (επομένως και του κυλίνδρου) είναι της μορφής.

$$I = m D^2 \quad (4.3)$$

όπου το D έχει διαστάσεις μήκους.

Η μάζα του σώματος μπορεί να προσδιοριστεί με τη ζύγιση του, επομένως για τον υπολογισμό της ροπής αδράνειας από τη σχέση (4.3) είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός του D .

Λόγω της (4.3) η (4.2) γίνεται :

$$mgh = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} m D^2 \omega^2$$

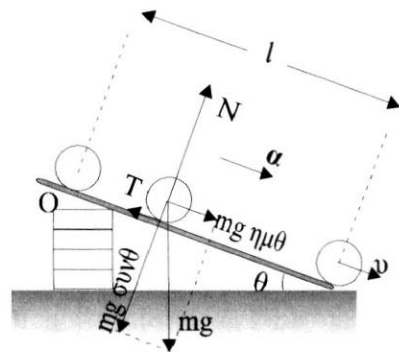
η οποία από την (4.1) γίνεται

$$mgh = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} m D^2 \frac{v^2}{r^2} \quad \text{ή} \quad gh = \frac{v^2}{2} \left(1 + \frac{D^2}{r^2} \right) \quad (4.4)$$

Επειδή οι δυνάμεις που ασκούνται στον κύλινδρο κατά την κίνησή του στο πλάγιο επίπεδο είναι σταθερές, η κίνηση του κέντρου μάζας του είναι ομαλά επιταχυνόμενη. Για την κίνηση του κέντρου μάζας ισχύουν οι εξισώσεις:

$$v = at$$

$$l = \frac{1}{2} at^2$$



Σχ. 4.2

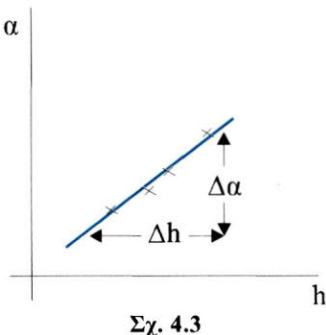
από τις οποίες με απαλοιφή του χρόνου προκύπτει:

$$v^2 = 2la$$

οπότε η (4.4) γίνεται: $gh = la \left(1 + \frac{D^2}{r^2} \right)$ ή $a = \frac{g}{\left(1 + \frac{D^2}{r^2} \right) l} h$ (4.5)

Η σχέση (4.5) δείχνει ότι η επιτάχυνση a του κυλίνδρου είναι ανάλογη του h . Εάν γνωρίζουμε την επιτάχυνση του κυλίνδρου για διάφορες τιμές του h και κατασκευάσουμε το διάγραμμα $a=f(h)$ η κλίση (κ) της γραμμής του διαγράμματος θα είναι η παράσταση

$$\kappa = \frac{g}{\left(1 + \frac{D^2}{r^2} \right) l} \quad (4.6)$$



Σχ. 4.3

Η επιτάχυνση του κυλίνδρου που αντιστοιχεί σε ύψος h , υπολογίζεται από τη σχέση

$$l = \frac{1}{2} at^2$$

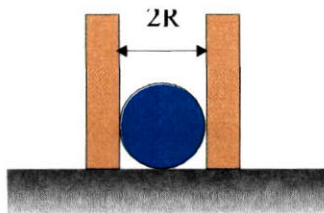
από την οποία προκύπτει $a = \frac{2l}{t^2}$

Αφού υπολογιστεί η κλίση (κ) και επειδή όλα τα άλλα μεγέθη μπορούν να μετρηθούν, η σχέση (4.6) μας επιτρέπει τον προσδιορισμό του D , επομένως και της ροπής αδράνειας του κυλίνδρου.

Δ. Η εκτέλεση του πειράματος

1. Ζυγίζουμε τον κύλινδρο και βρίσκουμε τη μάζα του.
2. Μετράμε την ακτίνα του κυλίνδρου. Η μέτρηση της ακτίνας του μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους:
 - α) Με το παχύμετρο,
 - β) Τυλίγουμε ένα λεπτό σπάγκο στη περιφέρεια του. Όταν τον ξετυλίξουμε μπορούμε να βρούμε το μήκος της περιφέρειάς του και από εκεί την ακτίνα του.

γ) Βάζουμε τον κύλινδρο ανάμεσα σε δύο παράλληλα σανίδια. Για να βεβαιωθούμε ότι είναι παράλληλα ελέγχουμε αν η απόσταση τους είναι ίδια σε διαφορετικές τους θέσεις. Μετράμε την απόσταση αυτή που είναι ίση με τη διάμετρο του κυλίνδρου (σχ. 4.4).



Σχ. 4.4

3. Με τα υποστηρίγματα και τη σανίδα φτιάχνουμε ένα πλάγιο επίπεδο με μικρή κλίση.
4. Χαράσσουμε στο επάνω μέρος της σανίδας μια γραμμή. Από τη γραμμή αυτή θα αφήνουμε τον κύλινδρο να κυλίεται.
5. Μετράμε το ύψος h_1 της γραμμής από τη βάση του πλάγιου επιπέδου καθώς και την απόσταση l της γραμμής από την άλλη άκρη της σανίδας.
6. Αφήνουμε τον κύλινδρο από τη γραμμή που χαράξαμε και μετράμε το χρόνο που χρειάζεται να φτάσει στο κατώτερο σημείο.
7. Επαναλαμβάνουμε τη μέτρηση τέσσερις φορές και σημειώνουμε τις μετρήσεις μας στο τετράδιο.
8. Αλλάζουμε το ύψος των υποστηριγμάτων και μετράμε το νέο ύψος h_2 . Τοποθετούμε τον κύλινδρο στη γραμμή που χαράξαμε και τον αφήνουμε να κυλήσει. Μετράμε το χρόνο που χρειάζεται για να φτάσει στο κατώτερο σημείο. Η μέτρηση επαναλαμβάνεται άλλες τέσσερις φορές. Σημειώνουμε τις μετρήσεις μας στο τετράδιο εργαστηρίων.
9. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία για τρία ακόμα διαφορετικά ύψη. Κάθε φορά μετράμε το ύψος από το οποίο αφήνεται ο κύλινδρος και μετράμε πέντε φορές το χρόνο που χρειάζεται για να φτάσει στο κατώτερο σημείο.

Παρατηρήσεις:

- 1) Το σχετικό σφάλμα στη μέτρηση του χρόνου μειώνεται αν ο χρόνος που μετράμε δεν είναι πολύ μικρός. Γι αυτό το λόγο αποφεύγουμε και μικρά μήκη στο πλάγιο επίπεδο και μεγάλες κλίσεις.
- 2) Φροντίζουμε ο κύλινδρος να κυλίεται χωρίς να ολισθαίνει στο πλάγιο επίπεδο. Γι αυτό το λόγο το σανίδι που θα χρησιμοποιήσουμε δεν πρέπει να είναι λείο.

5. ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΜΗ ΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΡΟΥΣΗΣ.

Στόχοι

- Να επιβεβαιωθεί η αρχή διατήρησης της ορμής σε διάφορες περιπτώσεις κρούσεων.
- Να ελεγχθεί αν διατηρείται η μηχανική ενέργεια στις κρούσεις αυτές.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΡΟΥΣΗΣ ΜΕ ΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΑ ΑΜΑΞΙΔΙΑ.

A. Απαραίτητα όργανα και υλικά

- Δύο εργαστηριακά αμαξίδια με έμβολο.
- Ζυγός (1kg)
- Ηλεκτρικός χρονομετρητής.
- Χαρτοταινία για τον ηλεκτρικό χρονομετρητή.

B. Η μέθοδος

Αν σε ένα από τα αμαξίδια προσαρμοστεί η χαρτοταινία για τον ηλεκτρικό χρονομετρητή, έχουμε τη δυνατότητα να μετρήσουμε την ταχύτητα. Ο χρονομετρητής σημειώνει μία στιγμή (κουκίδα) πάνω στη χαρτοταινία σε σταθερά χρονικά διαστήματα. Μετρώντας με το χάρακα πόσες στιγμές υπάρχουν σε ορισμένο μήκος x της χαρτοταινίας υπολογίζουμε τη μέση ταχύτητα του αμαξιδίου

$$v = \frac{x}{t} \quad \text{ή} \quad v = \frac{x}{\kappa \tau}$$

όπου κ ο αριθμός των στιγμών και τ ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα σε δύο διαδοχικές στιγμές (που είναι 0,2s).

Γνωρίζοντας τις μάζες των αμαξιδίων και υπολογίζοντας με τον τρόπο που αναφέραμε την ταχύτητα τους μπορούμε να ελέγξουμε αν ισχύει η αρχή διατήρησης της ορμής και κατά πόσο διατηρείται η κινητική τους ενέργεια σε διάφορες κρούσεις τους.

Γ. Η εκτέλεση του πειράματος

1. Ζυγίζουμε τα αμαξίδια και σημειώνουμε τις μετρήσεις μας.
2. Αφήνουμε ακίνητο στο τραπέζι το ένα αμαξίδιο και κατευθύνουμε το άλλο έτσι ώστε να συγκρουστούν κεντρικά με το έμβολο. Η κρούση τους είναι ελαστική. Καταγράφουμε τις παρατηρήσεις μας.
3. Αφήνουμε ακίνητο στο τραπέζι το ένα αμαξίδιο. Προσαρμόζουμε στο άλλο χαρτοταινία που περνάει από τον ηλεκτρικό χρονομετρητή και του δίνουμε μία ελαφρά ώθηση, τέτοια ώστε το αμαξίδιο να χτυπήσει το πρώτο με την πλευρά εκείνη που συγκολλούνται μεταξύ τους (πλαστική κρούση).
Προσοχή: Δεν προσπαθούμε να αποσπάσουμε τα δύο αμαξίδια ασκώντας τους δύναμη κατά τη διεύθυνση του κοινού τους άξονα. Υπάρχει κίνδυνος να ξεκολλήσουν οι ειδικές επιφάνειες που τα κρατούν ενωμένα.
4. Φυλάσσουμε τη χαρτοταινία (η οποία θα πρέπει να έχει τουλάχιστο πέντε κουκίδες πριν από την κρούση και πέντε μετά).

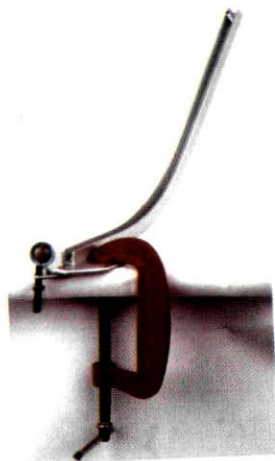
ΠΛΑΓΙΑ ΚΡΟΥΣΗ

Α. Απαραίτητα όργανα και υλικά.

- Ζυγός.
- Συσκευή σύγκρουσης στις δύο διαστάσεις (ΜΣ 235.0).
- Νήμα της στάθμης (ΜΣ 045.0).
- Ένας σφιγκτήρας τύπου C (ΓΕ 051.00).
- Χαλύβδινη και γυάλινη σφαίρα (συνοδεύουν τη συσκευή ΜΣ 235.0).
- Μετροταινία – μοιρογνωμόνιο.
- Λεπτή άμμος σε χάρτινο κουτί (αμμοδόχος).

B. Η μέθοδος

Η συσκευή σύγκρουσης στις δύο διαστάσεις αποτελείται από ένα πλάγιο οδηγό, από αλουμίνιο, πάνω στον οποίο μπορεί να γλιστράει μία σφαίρα (Α). Η σφαίρα αυτή όταν φτάσει στη βάση του οδηγού συγκρούεται με ακίνητη σφαίρα (Β), τοποθετημένη στη μικρή κοιλότητα ενός κατακόρυφου κοχλίας. Ο κοχλίας στηρίζεται σε στέλεχος που μπορεί να περιστρέφεται. Αν το στέλεχος σχηματίζει γωνία με τη διεύθυνση του αλουμινένιου δρόμου, οι κρούσεις ανάμεσα στη σφαίρα Α και τη σφαίρα Β δεν είναι κεντρικές αλλά πλάγιες.



Εικ. 5.1

Η διάταξη τοποθετείται στην άκρη του τραπεζιού του εργαστηρίου. Έτσι μετά την κρούση οι σφαίρες πέφτουν στο πάτωμα.

Το σημείο στο οποίο θα πέφτουν μπορούμε να το προσδιορίσουμε με τη βοήθεια της αμμοδόχου, από τα ίχνη που θα αφήσουν οι σφαίρες πάνω στην άμμο.

Την οριζόντια μετατόπιση κάθε σφαίρας μπορούμε να την προσδιορίσουμε αφού προηγουμένως έχουμε προσδιορίσει την προβολή του σημείου από το οποίο εκτοξεύτηκε, στο πάτωμα. Αυτό είναι εφικτό με τη βοήθεια του νήματος της στάθμης. Αν μετρήσουμε την οριζόντια μετατόπιση x της σφαίρας, μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα u με την οποία εκτοξεύτηκε.

Κάθε σφαίρα, μετά την κρούση, εκτελεί οριζόντια βολή. Αν το ύψος από το οποίο πέφτει η σφαίρα είναι h , θα ισχύουν

$$h = \frac{1}{2}gt^2 \quad \text{άρα} \quad t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$
$$u = \frac{x}{t} \quad \text{επομένως} \quad u = x\sqrt{\frac{g}{2h}} \quad (5.1)$$

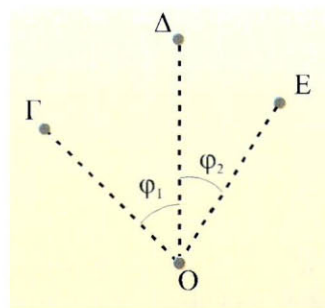
Για τον υπολογισμό της ταχύτητας που έχει η σφαίρα Α πριν συγκρουστεί με τη Β, η Α αφήνεται να κινηθεί στο διάδρομο ελεύθερα, χωρίς να τοποθετηθεί στο υποστήριγμα η σφαίρα Β. Αν η σφαίρα Α πέσει στο σημείο Δ της αμμοδόχου, μετρώντας την απόσταση ΟΔ= x (Ο: η προβολή του σημείου στο οποίο εγκατέλειψε το τραπέζι) από την (5.1) υπολογίζεται η ταχύτητά u .

Στη συνέχεια τοποθετώντας τη σφαίρα B στον κοχλία και αφήνοντας τις δύο σφαίρες να συγκρουστούν, από τις θέσεις στις οποίες θα πέσουν (έστω Γ και Ε) στην αμμοδόχο, μετρώντας τις αποστάσεις $ΟΓ=x_1$ και $ΟΕ=x_2$ από τη σχέση (5.1) υπολογίζονται οι ταχύτητες v_1 και v_2 που έχουν αμέσως μετά την κρούση.

Χαράσσουμε πάνω στην άμμο τα ευθύγραμμα τμήματα $ΟΔ$, $ΟΓ$ και $ΟΕ$, από τα οποία μπορούμε (με το μοιρογώνιο) να βρούμε τις γωνίες φ_1 και φ_2 που σχηματίζουν οι διευθύνσεις των ταχυτήτων των δύο σφαιρών μετά την κρούση με την αρχική διεύθυνση της ορμής πριν από την κρούση. Έτσι θα γνωρίζουμε τα διανύσματα των ορμών πριν και μετά την κρούση και μπορούμε να ελέγξουμε αν ισχύει η σχέση

$$\mathbf{P}_{\text{πριν}} = \mathbf{P}_{\text{μετά}}$$

καθώς επίσης και αν διατηρείται η μηχανική ενέργεια κατά την κρούση.



Σχ. 5.1

Γ. Η εκτέλεση του πειράματος.

1. Ζυγίζουμε τη χαλύβδινη σφαίρα Α και τη γυάλινη σφαίρα Β.
2. Τοποθετούμε το διάδρομο από αλουμίνιο στην άκρη του τραπεζιού και προσαρμόζουμε το νήμα της στάθμης στο σημείο όπου θα συγκρουστούν οι σφαίρες.
3. Τοποθετούμε στο πάτωμα την αμμοδόχο.
4. Μετράμε το ύψος h του σημείου στο οποίο συγκρούονται οι σφαίρες.
5. Τοποθετούμε στο υποστήριγμα τη γυάλινη σφαίρα και αφήνουμε τη χαλύβδινη από την κορυφή του διαδρόμου. Πραγματοποιούμε πολλές δοκιμαστικές κρούσεις. Κατά τη διάρκεια αυτών των δοκιμαστικών κρούσεων φροντίζουμε το στέλεχος που φέρει το υποστήριγμα για την τοποθέτηση της σφαίρας - στόχου να σχηματίζει μικρή γωνία με τη διεύθυνση του διαδρόμου, ώστε οι κρούσεις να είναι πλάγιες. Ρυθμίζουμε το ύψος του κοχλιωτού υποστηρίγματος ώστε μετά την κρούση να ακούγεται ένας μόνο κρότος όταν οι σφαίρες πέφτουν στο πάτωμα.
6. Σβήνουμε τα ίχνη που δημιουργήθηκαν στην άμμο κατά τη διάρκεια των δοκιμαστικών κρούσεων.

7. Σημειώνουμε στην άμμο τη θέση του σημείου (Ο) που βρίσκεται κάτω από το νήμα της στάθμης.
8. Αφήνουμε μερικές φορές τη χαλύβδινη σφαίρα από το ανώτερο σημείο του διαδρόμου, να πέσει ελεύθερα χωρίς να συγκρουστεί. Κλείνουμε τα ίχνη που άφησε η σφαίρα σε ένα κύκλο. Σημειώνουμε το κέντρο του κύκλου. Αυτό είναι το σημείο Δ. Μετράμε με τη μετροταινία την απόσταση $x=O\Delta$.
9. Τοποθετούμε στο υποστήριγμα της συσκευής τη γυάλινη σφαίρα. Αφήνουμε τη χαλύβδινη να ολισθήσει από την κορυφή του διαδρόμου. Αν ονομάσουμε Γ και Ε τα σημεία της αμμοδόχου στα οποία πέφτουν η χαλύβδινη και η γυάλινη σφαίρα, αντίστοιχα. Μετράμε τις αποστάσεις $x_1=O\Gamma$ και $x_2=O\epsilon$.
10. Χαράσσουμε πάνω στην άμμο τα ευθύγραμμα τμήματα ΟΔ, ΟΓ και ΟΕ. Μετράμε με το μοιρογνώμονιο τις γωνίες $\Gamma O\Delta=\varphi_1$ και $\epsilon O\Delta=\varphi_2$.

6. ΕΛΕΓΧΟΣ (ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ) ΤΗΣ ΑΡΧΗΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

A. Στόχοι

- Η παρατήρηση ότι υπάρχει ένα ελάχιστο ταχύτητας για την οποία τα σώματα εκτελούν ανακύκλωση.
- Η κατανόηση της διαφοράς μεταξύ κύλισης και ολίσθησης μιας σφαίρας.
- Η επιβεβαίωση της αρχής διατήρησης της μηχανικής ενέργειας.

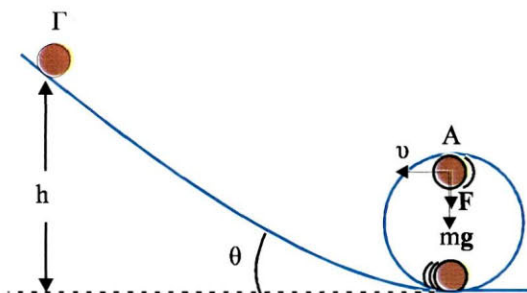
B. Απαραίτητα όργανα και υλικά

- Στίβος ανακύκλωσης (εικ. 6.1)
- Μια σφαίρα από καουτσούκ (π.χ. μια μπίλια από το ποντίκι ηλεκτρονικού υπολογιστή).
- Βαθμολογημένος κανόνας.
- Παχύμετρο.



Εικ. 6.1

Γ. Η μέθοδος



Σχ. 6.1

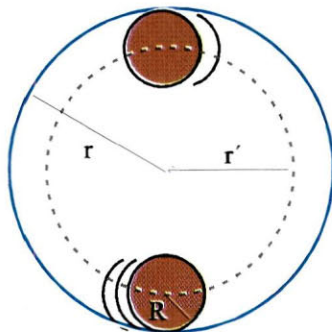
Μια σφαίρα που αφήνεται από κάποιο σημείο του πλάγιου διαδρόμου στο στίβο ανακύκλωσης, μπορεί να κάνει ανακύκλωση αν η συνισταμένη των

δυνάμεων που δέχεται όταν βρίσκεται στο ανώτερο σημείο της τροχιάς της (σχ.6.1), ικανοποιεί τη σχέση:

$$\Sigma F = ma_{\kappa} \quad \text{ή} \quad F + mg = \frac{mv^2}{r'} \quad (6.1)$$

όπου r' η ακτίνα της τροχιάς που διαγράφει το κέντρο της. Αν οι ακτίνες του κυκλικού στίβου και της σφαίρας είναι αντίστοιχα r και R , το κέντρο της σφαίρας διαγράφει τροχιά ακτίνας $r' = r - R$ (σχ.6.2). Καθώς για τη δύναμη F (που ασκεί ο κυκλικός στίβος στη σφαίρα) ισχύει $F \geq 0$, η (6.1) δίνει:

$$\frac{mv^2}{r - R} \geq mg \quad \text{ή} \quad v \geq \sqrt{g(r - R)} \quad (6.2)$$



Σχ. 6.2

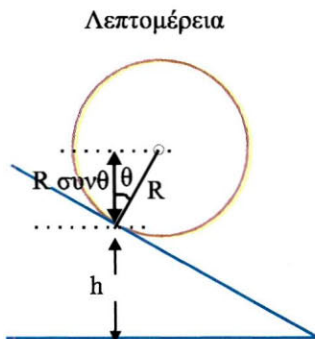
Η ελάχιστη ταχύτητα που πρέπει να έχει η σφαίρα στο ανώτερο σημείο της τροχιάς της, για να κάνει ανακύκλωση είναι

$$v = \sqrt{g(r - R)} \quad (6.3)$$

Έστω ότι το σημείο του πλάγιου επιπέδου από το οποίο πρέπει να αφηθεί η σφαίρα για να φτάσει στο ανώτερο σημείο της τροχιάς του (Α) με τέτοια ταχύτητα είναι h . Το κέντρο της σφαίρας θα βρίσκεται τότε σε ύψος $h + R \sigma \upsilon \nu \theta$, όπου θ η γωνία που σχηματίζει το πλάγιο επίπεδο με τον ορίζοντα (σχ. 6.3).

Στο σημείο Γ η σφαίρα έχει δυναμική ενέργεια

$$U_{\Gamma} = mg(h + R \sigma \upsilon \nu \theta) \quad (6.4)$$



Σχ. 6.3

Η σφαίρα, όταν περνάει από το Α, θα έχει δυναμική ενέργεια

$$U_A = mg(2r - R) \quad (6.5)$$

και κινητική ενέργεια

$$K_A = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 \quad (6.6)$$

Γνωρίζουμε ότι η ροπή αδράνειας μιας σφαίρας είναι $I = \frac{2}{5}mR^2$ και επειδή η

σφαίρα κυλίεται ισχύει $v = \omega R$ ή $\omega = \frac{v}{R}$.

Με αντικατάσταση αυτών στη σχέση (6.6) προκύπτει

$$K_A = \frac{7}{10}mv^2 \quad (6.7)$$

Αν η σφαίρα κάνει ανακύκλωση με τη μικρότερη δυνατή ταχύτητα, η (6.7) λόγω της (6.3) γράφεται

$$K_A = \frac{7}{10}mg(r - R)$$

Σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας είναι

$$E_\Gamma = E_A \quad \text{ή} \quad U_\Gamma = U_A + K_A$$

Επομένως

$$mg(h + R\sigma\upsilon\nu\theta) = mg(2r - R) + \frac{7}{10}mg(r - R)$$

και, μετά τις πράξεις,

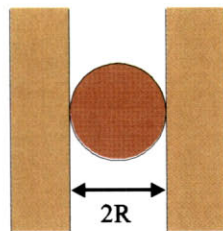
$$h = \frac{27}{10}r - R\left(\frac{17}{10} + \sigma\upsilon\nu\theta\right) \quad (6.8)$$

Η σχέση (6.8) δίνει την ελάχιστη τιμή του h για την οποία η σφαίρα εκτελεί ανακύκλωση. Αν επιβεβαιωθεί από την πειραματική μας διαδικασία ότι η σφαίρα που αφήνεται από αυτό το ύψος ανακυκλώνεται θα σημαίνει ότι η μηχανική της ενέργεια διατηρείται.

Σημείωση: Η σχέση (6.8) προέκυψε με το συλλογισμό ότι η σφαίρα κυλίεται χωρίς να ολισθαίνει. Η υπόθεση αυτή ικανοποιείται μόνο στην περίπτωση που η σφαίρα δεν είναι λεία. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο στην πειραματική μας διαδικασία πρέπει να χρησιμοποιήσουμε σφαίρα από καουτσούκ και όχι σιδερένια ή γυάλινη.

Δ. Η εκτέλεση του πειράματος

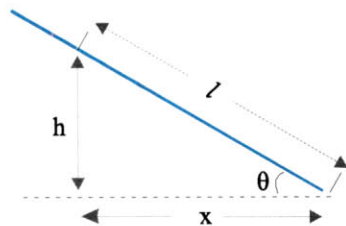
1. Μετράμε τη διάμετρο της σφαίρας με το παχύμετρο. Εναλλακτικά η ακτίνα της σφαίρας μπορεί να μετρηθεί αν τοποθετηθεί ανάμεσα σε δύο παράλληλα επίπεδα (σχ. 6.4). Η απόσταση μεταξύ των δύο επιπέδων δίνει τη διάμετρο της σφαίρας.



Σχ. 6.4

2. Βρίσκουμε το συνθ όπου θ η γωνία κλίσης του πλαγίου επιπέδου. Αυτό μπορεί να γίνει
 - α) αν μετρήσουμε με μοιρογνωμόνιο, τη γωνία θ ,
 - β) με τη μέτρηση των μηκών x και l (σχ. 6.5).
3. Μετράμε την περίμετρο του κυκλικού στίβου και υπολογίζουμε την ακτίνα του. Η περίμετρος του κυκλικού στίβου μπορεί να γίνει με τη βοήθεια ενός νήματος που τυλίγεται στο στίβο.

4. Αφήνουμε τη σφαίρα από ένα σημείο του στίβου και ελέγχουμε αν πραγματοποιείται ανακύκλωση. Αν η σφαίρα δεν κάνει ανακύκλωση την αφήνουμε από λίγο μεγαλύτερο ύψος, μέχρι να παρατηρήσουμε ανακύκλωση. Αν η σφαίρα αρχικά ανακυκλώνεται την αφήνουμε από μικρότερο ύψος μέχρι να βρούμε την κατώτερη θέση από την οποία πρέπει να την αφήσουμε για να ανακυκλωθεί.



Σχ. 6.5

5. Μετράμε το ύψος h που αντιστοιχεί σε αυτή τη θέση.
6. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία τέσσερις φορές.

7. ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΡΓΟΥ ΕΞΑΓΩΓΗΣ

Στόχοι

- Η κατανόηση της λειτουργίας του φωτοκύτταρου.
- Ο υπολογισμός του έργου εξαγωγής (κατά προσέγγιση) για το υλικό της φωτοκαθόδου και της σταθεράς του Planck.

A. Απαραίτητα όργανα και υλικά.

- Φωτοκύτταρο του εμπορίου.
- Μικροαμπερόμετρο D.C (ψηφιακό).
- Βολτόμετρο D.C (ψηφιακό).
- Τροφοδοτικό.
- Ροοστάτης.
- Λαμπτήρας τοποθετημένος σε μεταλλική θήκη με διάφραγμα. Κατάλληλη είναι η μεταλλική θήκη της λάμπας υπεριωδών ακτίνων.
- Φίλτρα διαφόρων χρωμάτων.



Εικ. 7.1

Γ. Η μέθοδος

Φωτόνια ορισμένης συχνότητας όταν προσπέσουν σε μεταλλική επιφάνεια είναι δυνατό να προκαλέσουν εξαγωγή ηλεκτρονίων (φωτοηλεκτρονίων) από το μέταλλο.

Για να προκαλέσουν εξαγωγή ηλεκτρονίων, τα φωτόνια πρέπει να έχουν ενέργεια τουλάχιστον ίση με το έργο εξαγωγής των ηλεκτρονίων από το μέταλλο αυτό. Για τα φωτόνια αυτά μπορούμε να γράψουμε

$$hf_0 = \phi \quad (7.1)$$

από όπου προκύπτει ότι η ελάχιστη (οριακή) συχνότητα της ακτινοβολίας που προκαλεί έξοδο φωτοηλεκτρονίων είναι $f_0 = \frac{\phi}{h}$

Στην ελάχιστη συχνότητα f_0 αντιστοιχεί μέγιστο (οριακό μήκος) κύματος.

$$\lambda_{op} = \frac{c}{f_0} = \frac{ch}{\phi} \quad (7.2)$$

Για φωτόνια μεγαλύτερης συχνότητας, η διαφορά $hf - \phi$ είναι η ενέργεια που έχουν τα ηλεκτρόνια κατά την έξοδο τους, δηλαδή

$$hf - \phi = \frac{1}{2}mv^2 \quad (7.3)$$

Η (7.3) είναι η φωτοηλεκτρική εξίσωση του Einstein.

Στην περίπτωση που η συχνότητα της ακτινοβολίας που προσπίπτει στη φωτοκάθοδο είναι μεγαλύτερη της οριακής, για να εμποδίσουμε τα ηλεκτρόνια που εξέρχονται να φτάσουν στο άλλο ηλεκτρόδιο –και επομένως για να μηδενιστεί το φωτορεύμα- θα πρέπει να εφαρμόσουμε αρνητική τάση μεταξύ ανόδου – καθόδου τέτοια ώστε

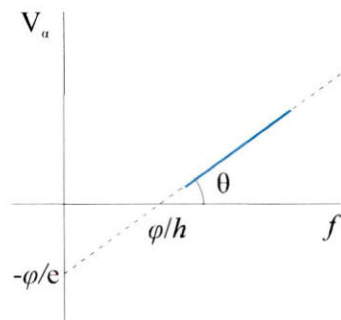
$$eV_a = \frac{1}{2}mv^2 \quad (7.4)$$

η τάση αυτή λέγεται “τάση αποκοπής” και από τις σχέσεις (7.4) και (7.3) προκύπτει

$$eV_a = hf - \phi \quad \text{ή} \quad V_a = \frac{h}{e}f - \frac{\phi}{e} \quad (7.5)$$

Η σχέση (7.5) παριστάνεται γραφικά με ευθεία που έχει κλίση $\kappa = e\phi\theta = \frac{h}{e}$ και περνάει από τα σημεία $\left(\frac{\phi}{h}, 0\right)$ και $\left(0, -\frac{\phi}{e}\right)$ (σχ. 7.1)

Επομένως από το διάγραμμα $V_a(f)$ είναι δυνατό να υπολογιστούν η σταθερά h (σταθερά του Planck) και το ϕ (έργο εξαγωγής για το υλικό της φωτοκαθόδου).



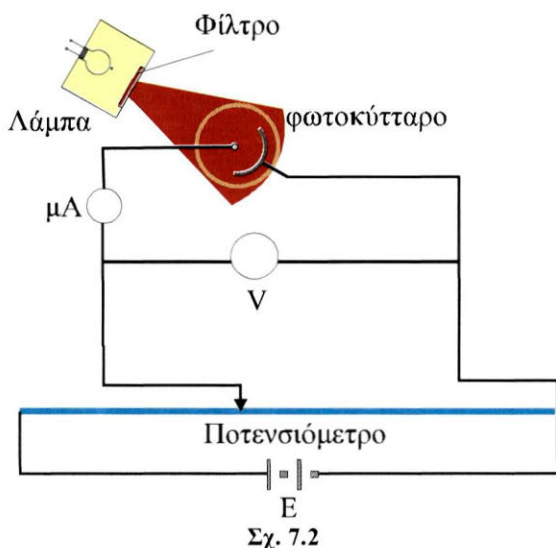
Σχ. 7.1

Δ. Η εκτέλεση του πειράματος.

- Σημειώστε τα μήκη κύματος του φωτός που δίνουν, το κόκκινο το κίτρινο, το πράσινο και το μπλε φίλτρο (Αναγράφονται πάνω στα φίλτρα).

1ον Σχέση έντασης ρεύματος - έντασης ακτινοβολίας

1. Πραγματοποιούμε το κύκλωμα του σχήματος 7.2 Το φωτοκύτταρο έχει τη φωτοευαίσθητη επιφάνεια συνδεδεμένη στην κάθοδο.



2. Τοποθετήστε στη λάμπα το κίτρινο φίλτρο και φωτίστε τη φωτοευαίσθητη επιφάνεια.
3. Αρχίστε να απομακρύνετε τη λάμπα και καταγράψτε τις ενδείξεις του μικροαμπερομέτρου.

2ον Σχέση έντασης ρεύματος - τάσης

1. Τοποθετήστε το κίτρινο φίλτρο στη λάμπα.
2. Μετακινήστε το δρομέα του ποτενσιόμετρου μέχρι να μηδενιστεί η τάση.

3. Αυξήστε προοδευτικά την τάση (μετακινώντας το δρομέα του ποτενσιομέτρου) και σημειώστε για κάθε τιμή της τάσης την αντίστοιχη τιμή του ρεύματος. Θα συνεχίσετε μέχρι το ρεύμα να πάρει τη μέγιστη τιμή του (ρεύμα κόρου).

3ον Μέτρηση του έργου εξαγωγής και της σταθεράς του Planck

1. Τοποθετήστε στη λάμπα το κόκκινο φίλτρο.
2. Συνδέστε τη φωτοευαίσθητη επιφάνεια του φωτοκυττάρου με το θετικό πόλο της πηγής.
3. Αυξήστε την τάση μέχρι να διαπιστώσετε ότι το ρεύμα μηδενίστηκε (τάση αποκοπής).
4. Σημειώστε την τάση αποκοπής.
5. Επαναλάβετε τα βήματα 2, 3 και 4 και για τα άλλα φίλτρα που διαθέτουμε.

Σημειώσεις

1. Το πείραμα πρέπει να γίνει στο σκοτάδι.
2. Το κύκλωμα συνδέεται σε τάση μόνο μετά από έλεγχο από τον καθηγητή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ιωάννου Λ.Μπουρούτη ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΦΥΣΙΚΗΣ.Βιβλίο πρώτο: Μηχανική- θερμότητα. Οργανισμός Εκδόσεως Σχολικών Βιβλίων. Αθήνα 1994.
2. Ιωάννου Μπουρούτη ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΦΥΣΙΚΗΣ Βιβλίο δεύτερο: Οπτική - Ηλεκτρισμός. Οργανισμός Εκδόσεως Σχολικών Βιβλίων. Αθήνα 1994.
3. Π.Κόκκοτας, Βασ. Καραπαναγιώτης, Ι.Αρναουτάκης, Ι.Καρανίκας, Ι.Κουρέλης ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΦΥΣΙΚΗΣ- αξιοποίηση του πειράματος στη διδακτική πράξη. Εκδόσεις Γρηγόρη. Αθήνα 1988.
4. Κ. Αλεξόπουλος ΓΕΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ,τόμος τρίτος, Ατομική και πυρηνική Φυσική.Αθήνα 1963.
5. Εργαστηριακός Οδηγός PSSC ΦΥΣΙΚΗ. Ευγενίδειο Ίδρυμα. Αθήνα 1993.
6. Εργαστήριο Φυσικής Πανεπιστημίου Αθηνών ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΦΥΣΙΚΗΣ-Μετρήσεις ΟΠΤΙΚΗΣ- ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ. Αθήνα.
7. Εργαστηριακές ασκήσεις φυσικής Γιάννης Π.Χατζής. Εκδόσεις Τροχαλία.
8. Σιδέρης Κ. Μητσιάδης Πειράματα φυσικής με ηλεκτρονικό παλμογράφο. Εκδόσεις Σαββάλας.
9. Εργαστηριακή φυσική Μιχαήλ Ι. Βελγάκης. Πανεπιστήμιο Πατρών.
10. F. TYLERQ A Laboratory Manual of Physics (Fifth Edition). Hodder & Stoughton 1994.
11. UNIVERSITY OF NORTHERN BRITISH COLUMBIA. Physics 110. Laboratory Manual.1996.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Εισαγωγή	5
1	Συμβολή κυμάτων με τη λεκάνη κυματισμών. Μέτρηση μήκους κύματος μονοχρωματικής ακτινοβολίας	15
2	Μέτρηση άγνωστης συχνότητας εναλλασσόμενης τάσης στον παλμογράφο	20
3	Μελέτη στάσιμων κυμάτων σε ηχητικό σωλήνα και προσδιορισμός ταχύτητας ήχου στον αέρα.	24
4	Προσδιορισμός ροπής αδράνειας κυλίνδρου κυλιόμενου σε κεκλιμένο επίπεδο	29
5	Μελέτη ελαστικής και μη ελαστικής κρούσης στο επίπεδο και έλεγχος των αρχών διατήρησης ορμής και ενέργειας....	33
6	Έλεγχος της αρχής διατήρησης της ενέργειας με ανακύκλωση σφαίρας σε πλάγιο επίπεδο	38
7	Μελέτη φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Προσδιορισμός του έργου εξαγωγής και η σταθερά του Planck	42
	Βιβλιογραφία	46

Με απόφαση της Ελληνικής Κυβέρνησης τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου και του Λυκείου τυπώνονται από τον Οργανισμό Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων και διανέμονται δωρεάν στα Δημόσια Σχολεία. Τα βιβλία μπορεί να διατίθενται προς πώληση, όταν φέρουν βιβλιοθήκη προς απόδειξη της γνησιότητάς τους. Κάθε αντίτυπο που διατίθεται προς πώληση και δε φέρει βιβλιοθήκη θεωρείται κλεψύτυπο και ο παραβάτης διώκεται σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 7 του Νόμου 1129 της 15/21 Μαρτίου 1946 (ΦΕΚ 1946, 108, Α').



Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος αυτού του βιβλίου, που καλύπτεται από δικαιώματα (copyright), ή η χρήση του σε οποιαδήποτε μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου.