

## ΠΕΙΡΑΜΑ 3

### Ελεύθερη πτώση – Υπολογισμός της επιτάχυνσης της βαρύτητας-g-.

#### Σκοπός του πειράματος

Σκοπός του πειράματος είναι να μελετηθεί αρχικά η ελεύθερη πτώση μίας σφαίρας και από τις μετρήσεις απόστασης και χρόνου να υπολογιστεί η επιτάχυνση της βαρύτητας -g-.

#### Στοιχεία από τη Θεωρία

Όταν ένα σώμα μάζας m αφήνεται να επιταχυνθεί υπό την επίδραση της βαρύτητας εκτελεί ελεύθερη πτώση. Σ' αυτήν την περίπτωση το σώμα αναπτύσσει σταθερή επιτάχυνση g, την επιτάχυνση της βαρύτητας.

Από τον ορισμό της επιτάχυνσης  $g = \frac{d^2 S}{dt^2}$  μπορεί να αποδειχθεί ότι το διάστημα S που διανύει το σώμα στην ελεύθερη πτώση δίνεται από τον τύπο:

$$S(t) = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

όπου,

S(t) το κατακόρυφο διάστημα που διανύει το σώμα σε χρόνο t  
 $v_0$  η αρχική ταχύτητα του σώματος

Εάν το σώμα ξεκινά την πτώση με  $v_0=0$ , τότε:

$$S(t) = \frac{1}{2} g t^2$$

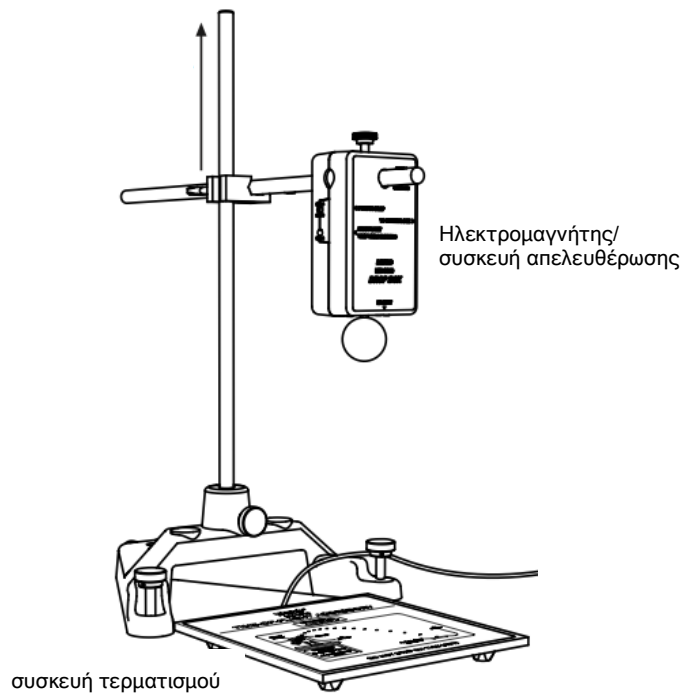
Η πιο πάνω ανάλυση προϋποθέτει η αντίσταση στη κίνηση του σώματος είναι πολύ μικρή και θεωρείται αμελητέα.

#### Πειραματική διαδικασία

##### Γενικά στοιχεία

Η πειραματική διάταξη φαίνεται στο Σχήμα α. Η διάταξη αποτελείται από μια συσκευή για την απελευθέρωση της σφαίρας, ένα μηχανισμό για τερματισμό του χρόνου και ένα χρονόμετρο που μετρά τον χρόνο που χρειάζεται η σφαίρα να διανύσει την απόσταση μεταξύ των δύο συσκευών. Η ακρίβεια του χρονομέτρου είναι 0.1ms.

Η σφαίρα στερεώνεται με τη βοήθεια ενός ηλεκτρομαγνήτη, στη συσκευή απελευθέρωσης (Σχ.α). Πατώντας το διακόπτη διακοπής ρεύματος του ηλεκτρομαγνήτη, η σφαίρα ελευθερώνεται, ξεκινώντας το χρονόμετρο. Όταν η σφαίρα κτυπήσει στη συσκευή τερματισμού του χρόνου σταματά το χρονόμετρο.



Σχήμα α: Πειραματική διάταξη.

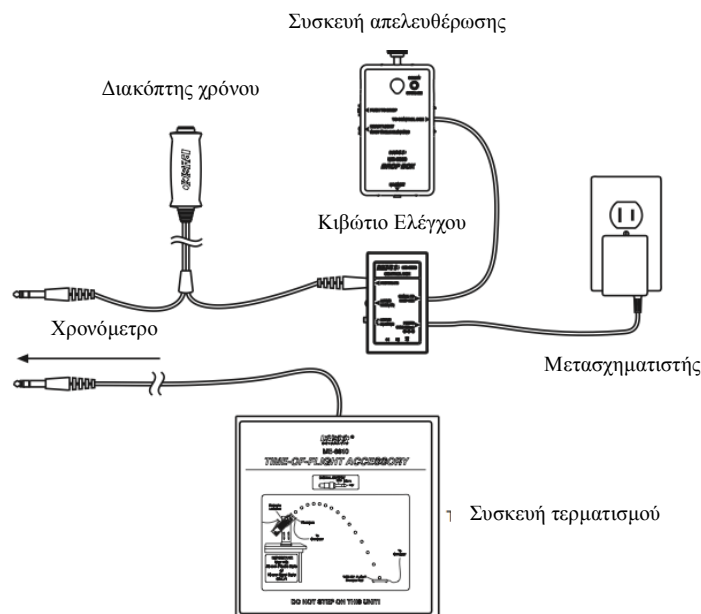
### Πειραματική Διάταξη

**Προσοχή! Η πειραματική διάταξη πρέπει να ελέγχθαι από τους υπεύθυνους του εργαστηρίου πριν την εκτέλεση της άσκησης για την σωστή ρύθμιση του χρονομέτρου.**

*Ακολουθείστε τη πιο κάτω διαδικασία: (δείτε το σχήμα β)*

1. Συνδέστε το μετασχηματιστή στην παροχή τάσης.
2. Συνδέστε την μια έξοδο του χρονικού διακόπτη στην είσοδο «Φωτοπύλη» (**Photo-Gate**) του κιβωτίου ελέγχου.
3. Χρησιμοποιώντας το καλώδιο που δίνεται συνδέστε την έξοδο **Signal to Drop Box** του κιβωτίου ελέγχου στην έξοδο **To Control Box** της συσκευής απελευθέρωσης που περιέχει τον ηλεκτρομαγνήτη.
4. Τοποθετείστε στο έδαφος την συσκευή τερματισμού ακριβώς κάτω από το συσκευή απελευθέρωσης.
5. Αν η σφαίρα που θα χρησιμοποιήσετε δεν είναι μεταλική βεβαιωθείτε ότι σε τμήμα της επιφάνειά της περιέχει μεταλικό έλασμα ώστε να μπορεί να συγκρατηθεί από τον ηλεκτρομαγνήτη. Αν δεν υπάρχει το μεταλικό έλασμα ρωτήστε τους υπεύθυνους του εργαστηρίου.

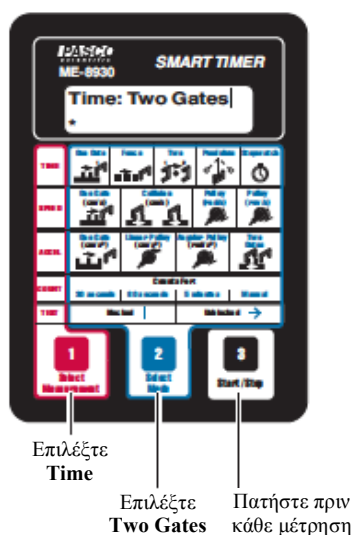
6. Τοποθετείστε την σφαίρα στον ηλεκτρομαγνήτη όταν το LED στην άκρη της συσκευής απελευθέρωσης δεν αναβοσβήνει.
7. Θέστε τον διακόπτη **Active/Inactive** που βρίσκεται στο κιβώτιο ελέγχου στην θέση **Active**.
8. Επιλέξτε την σωστή ρύθμιση στο χρονόμετρο σύμφωνα με τις οδηγίες που αναφέρονται στην επόμενη ενότητα.



Σχήμα β: Πειραματική συνδεσμολογία.

## Ρύθμιση Χρονομέτρου

Ακολουθήστε τα παρακάτω βήματα για να θέσετε το χρονόμετρο σε λειτουργία μέτρησης χρόνου (δείτε σχήμα γ):



Σχήμα γ: Ρύθμιση χρονομέτρου.

1. Συνδέστε το χρονόμετρο με την παροχή τάσης.
2. Θέστε σε λειτουργία τον διακόπτη του χρονομέτρου.

3. Συνδέστε το καλώδιο από τον διακόπτη χρόνου (σχήμα 3.β) στην είσοδο 1 (**Channel 1**) του χρονομέτρου.
4. Συνδέστε το καλώδιο από την συσκευή τερματισμού στην είσοδο 2 (**Channel 2**) του χρονομέτρου.
5. Στο πίνακα επιλογών του χρονομέτρου πατήστε **μια φορά** το κουμπί **1 Select Measurement** ώστε να επιλέξετε **TIME**.
6. Στον πίνακα επιλογών του χρονομέτρου πατήστε κατόπιν αρκετές φορές το κουμπί **2 Select Mode** ώστε να επιλέξετε **Two Gates**.
7. Πατήστε το κουμπί 3 (**Start/Stop**) στο πίνακα επιλογών. Ένα \* εμφανίζεται στην οθόνη του χρονομέτρου το οποίο είναι ενδεικτικό ότι το χρονόμετρο είναι έτοιμο για μέτρηση χρόνου.
8. Πατώντας το διακόπτη χρόνου, η σφαίρα που έχετε κρεμάσει από τον ηλεκτρομαγνήτη ελευθερώνεται και το χρονόμετρο ξεκινά. Όταν η σφαίρα χτυπήσει στην συσκευή τερματισμού το χρονόμετρο δείχνει το χρόνο πτώσης.
9. Πριν από κάθε μέτρηση που θα κάνετε πιέστε το κουμπί **Start/Stop** για να μηδενίσετε το χρονόμετρο και να εμφανιστεί το \*.

### Πειραματική διαδικασία

*A. Να παρθούν μετρήσεις απόστασης-χρόνου για δύο μεταλικές σφαίρες διαφορετικής διαμέτρου και από τις αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις  $S=f(t)$ , να υπολογιστεί η επιτάχυνση της βαρύτητας g. Θα πρέπει να αποδείξετε πειραματικά ότι η σχέση που συνδέει την απόσταση με το χρόνο είναι αυτή που αναμένεται για επιταχυνόμενη κίνηση με σταθερή επιτάχυνση. Θα πρέπει κατόπιν να υπολογίσετε την επιτάχυνση λόγω της βαρυτικής δύναμης, g, και να συγκρίνετε την τιμή που προσδιορίζετε με την θεωρητική τιμή και να υπολογίσετε το ποσοστό απόκλισής της από αυτήν. Για όλους τους υπολογισμούς σας θα πρέπει να εφαρμόσετε την θεωρία υπολογισμού μέσης τιμής, τυπικής απόκλισης, προσαρμογής ευθείας ελαχίστων τετραγώνων σε κατάλληλα γραφικά χαρτιά και διάδοσης σφαλμάτων για τις τελικές τιμές που εξάγετε.*

1. Ξεκινώντας από ύψος  $S=1.2\text{m}$  από την συσκευή τερματισμού καταγράψετε την ένδειξη του χρονομέτρου (το χρόνο με τον οποίο η σφαίρα κάλυψε την απόσταση S) σε κατάλληλο πίνακα. Επαναλάβετε την μέτρηση για την κάθε απόσταση τουλάχιστον 5 φορές ώστε να πάρετε ακριβείς μετρήσεις. Μην ξεχνάτε να μηδενίζετε το χρονόμετρο πριν κάθε μέτρηση.
2. Επαναλάβετε την διαδικασία με βήμα  $0.10\text{m}$  μέχρι η απόσταση από την συσκευή τερματισμού γίνει  $0.50\text{m}$ .
3. Για κάθε θέση της συσκευής απελευθέρωσης χρησιμοποιείτε και τις δυο μεταλικές σφαίρες και καταγράψετε στον πίνακα τους αντίστοιχους χρόνους.

*B. Για σταθερή απόσταση από την συσκευή τερματισμού μετρήστε τον χρόνο πτώσης για διαφορετικές σφαίρες*

1. Θέστε όλες τις σφαίρες που έχετε στην διάθεσή σας (μεταλική, συμπαγή μπάλα του golf, κοίλη μπάλα του golf, πλαστική μπάλα) σε απόσταση  $0.8\text{m}$  από την συσκευή τερματισμού.
2. Μετρήστε τον χρόνο πτώσης για κάθε σφαίρα τουλάχιστον 5 φορές.
3. Συγκρίνετε το χρόνο πτώσης του κάθε σώματος και σχολιάστε τα αποτελέσματά σας.

*Γ. Εύρεση της στατιστικής κατανομής του χρόνου πτώσης. Για σταθερή απόσταση από την συσκευή τερματισμού και χρησιμοποιώντας την πλαστική μπάλα πάρετε 100 μετρήσεις του χρόνου πτώσης*

1. Θέστε την πλαστική μπάλα σε απόσταση 0.80m από την συσκευή τερματισμού.
2. Αφήστε την μπάλα να πέσει 100 φορές και καταγράψετε τον αντίστοιχο χρόνο πτώσης
3. Κατασκευάστε το ιστόγραμμα του χρόνου πτώσης για όλες τις μετρήσεις που έχετε πάρει και υπολογίστε την μέση τιμή και τυπική απόκλιση. Για να κατασκευάσετε το ιστόγραμμα θα πρέπει να ομαδοποιήσετε τις μετρήσεις σας σε ισόχρονα υποδιαστήματα που καλύπτουν το εύρος των μετρήσεων που πήρατε. Στο μέσο του κάθε υποδιαστήματος  $i$ ,  $t_i$  (x-άξονας) θα πρέπει να αντιστοιχήσετε το πλήθος των μετρήσεων που βρήκατε να έχουν τιμές στο διάστημα  $[t_i-h/2, t_i+h/2)$  (κλειστό στο κάτω άκρο και ανοικτό στο πάνω άκρο). Το καλύτερο εύρος,  $h$ , του υποδιαστήματος που μπορείτε να χρησιμοποιήσετε μπορεί να προσδιοριστεί σύμφωνα με τον κανόνα Sturge σύμφωνα με τον οποίο  $h = R/k$  όπου  $R$  είναι το εύρος των  $N$  μετρήσεων που πήρατε και  $k = 1 + \log_2 N$ . Ο κανόνας αυτός ισχύει για πλήθος μετρήσεων  $N < 200$ . Για μεγαλύτερο αριθμό μετρήσεων το εύρος του υποδιαστήματος μπορεί να υπολογιστεί είτε με τον κανόνα του Scott σύμφωνα με τον οποίο  $h = 3.5\sigma/N^{1/3}$  όπου  $\sigma$  η τυπική απόκλιση του δείγματος, ή με τον κανόνα των Freeman και Diaconis σύμφωνα με τον οποίο  $h = 2IQ/N^{1/3}$  όπου  $IQ$  είναι το εύρος του διαστήματος που περιέχει όλες τις μετρήσεις που οι τιμές τους κειμένονται μεταξύ του 25% και 75% του δείγματος. Δηλαδή το διάστημα αυτό περιέχει το 50% των μετρήσεων. Για μετρήσεις που ακολουθούν την κατανομή Gauss, το ενδιάμεσο διάστημα είναι περίπου  $IQ = 4\sigma/3$ .
4. Χωρίστε το δείγμα των 100 μετρήσεων σε 10 μικρότερα δείγματα των 10 μετρήσεων. Για κάθε δείγμα υπολογίστε την μέση τιμή και τυπική απόκλιση. Υπολογίστε επίσης την τυπική απόκλιση των μέσων τιμών των 10 δειγμάτων. Κατασκευάστε το ιστόγραμμα των 10 μέσων τιμών σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο βήμα 3. Σχολιάστε και εξηγήστε τις διαφορές μεταξύ του ιστογράμματος που πήρατε σε αυτό το βήμα και αυτού που πήρατε στο βήμα 3.

#### 4. Επεξεργασία μετρήσεων

Για την επεξεργασία των μετρήσεων στο στάδιο Α σκεφθείτε και σχολιάστε αν οι μετρήσεις σας έχουν την ίδια αβεβαιότητα για όλο το εύρος των αποστάσεων που χρησιμοποιήσατε. Υπάρχουν αποστάσεις που έχουν μεγαλύτερη αβεβαιότητα και ποια η πιθανή αιτία; Αν αγνοούσατε τις μετρήσεις αυτές ποιο θα ήταν το αποτέλεσμα που θα λαμβάνατε για την επιτάχυνση της βαρυτικής δύναμης;

Ποιος ο λόγος της στατιστικής διακύμανσης που παρατηρείτε στις μετρήσεις σας για την ίδια σφαίρα;

Ποιος ο λόγος για την απόκλιση μεταξύ της τιμής του  $g$  που προσδιορίζετε και της θεωρητικά αναμενόμενης τιμής του  $g$  για την Λευκωσία (ποια η τιμή αυτή);

Θα ήταν καλό να θεωρήσετε την θεωρητική τιμή της επιτάχυνσης  $g$  και θέτοντας την μέτρηση της απόστασης  $S$  για κάθε περίπτωση ίση με την αναμενόμενη, να υπολογίσετε τον αντίστοιχο χρόνο πτώσης και να τον συγκρίνετε με τον χρόνο που μετρήσατε για όλες τις περιπτώσεις θέσεις. Υπολογίστε την διαφορά  $\Delta t = (t_{\text{θεωρ.}} - t_{\pi})$  και  $\Delta t/t_{\text{θεωρ.}}$ . Παρατηρείστε τις τιμές αυτές και σχολιάστε ανάλογα το αποτέλεσμα. Κατασκευάστε το γράφημα  $\Delta t = t_{\text{θεωρ.}} - t_{\pi}$  ως προς  $S$ .

Επαναλάβετε την προηγούμενη διαδικασία θεωρώντας σωστό το χρόνο πτώσης και υπολογίστε το αντίστοιχο ύψος και συγκρίνετε την τιμή με την πειραματική τιμή. Κάνετε και πάλι το αντίστοιχο γράφημα  $\Delta S = (S_{\text{θεωρ.}} - S_{\pi})$  ως προς τον χρόνο.