

## ΠΕΙΡΑΜΑ V

### Ταχύτητα και Επιτάχυνση

#### Σκοπός πειράματος

Στο πείραμα αυτό θα μελετήσουμε την κίνηση ενός σώματος και θα διερευνήσουμε τους δυο πρώτους νόμους του Newton. Επιπλέον θα μετρήσουμε την επιτάχυνση της βαρύτητας.

#### Θεωρητικό υπόβαθρο

- Ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση
- Νόμοι του Newton
- Εξισώσεις κίνησης

Για την κατανόηση και σωστή τέλεση του πειράματος θα πρέπει υποχρεωτικά να γνωρίζετε πριν κάνετε το πείραμα τη θεωρία που παρουσιάζεται στις ακόλουθες ενότητες του βιβλίου Φυσική των Serway & Jewett: **κεφ. M2, M5.**

#### Συνοπτική Θεωρία

##### Νόμοι του Newton

Συμφωνα με τον **Πρώτο Νόμο του Newton** εάν σε ένα σώμα η συνισταμένη των δυνάμεων που του ασκούνται είναι μηδέν τότε το σώμα διατηρεί την κινητική του κατάσταση, δηλαδή παραμένει ακίνητο ή κινείται ευθύγραμμα και ομαλά.

Σύμφωνα με τον **Δεύτερο Νόμο του Newton** η επιτάχυνση  $a$  ενός σώματος είναι ανάλογη της δύναμης που του ασκείται, με σταθερά αναλογίας τη μάζα του σώματος:

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (1)$$

Επομένως εάν σε ένα σώμα ασκείται δύναμη σταθερού μέτρου και φοράς τότε το σώμα θα κινείται ευθύγραμμα με σταθερή επιτάχυνση, δηλαδή θα εκτελεί **ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση.**

Συμφωνα με τον **Τρίτο Νόμο του Newton** για κάθε δύναμη (δράση) που ασκείται σε ένα σώμα υπάρχει και μια αντίδραση ίσου μέτρου και αντίθετης φοράς.

##### Ευθύγραμμη κίνηση

Ενα σώμα κινείται **ευθύγραμμα και ομαλά** όταν κινείται σε ευθύγραμμη τροχιά με σταθερή ταχύτητα (δηλ. μηδενική επιτάχυνση). Σε αυτή την περίπτωση σύμφωνα με τον Πρώτο Νόμο του Newton η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται στο σώμα είναι μηδέν.

Αντίστοιχα ένα σώμα εκτελεί **ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση** εάν κινείται σε ευθύγραμμη τροχιά με σταθερή επιτάχυνση. Σε αυτή την περίπτωση σύμφωνα με τον Δεύτερο Νόμο του Newton η επιτάχυνσή του θα είναι ανάλογη της συνισταμένης των δυνάμεων που ασκούνται πάνω του.

Από τον ορισμό της επιτάχυνσης έχουμε:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Επομένως ένα σώμα το οποίο κινείται με σταθερή επιτάχυνση θα κινείται με μεταβαλλόμενη ταχύτητα:

$$\vec{v} = \int \vec{a} dt \Rightarrow \vec{v} = \vec{a}t + \vec{v}_0 \quad (1)$$

όπου  $\vec{v}_0$  είναι η αρχική ταχύτητα που μπορεί να έχει το κινητό.

Αντίστοιχα, από τον ορισμό της ταχύτητας έχουμε ότι  $\vec{v} = \frac{d\vec{x}}{dt}$ , επομένως η απομάκρυνση του κινητού από την αρχική θέση  $\vec{x}_0$  θα δίνεται από τη σχέση

$$\vec{x} = \int \vec{v} dt = \int (\vec{a}t + \vec{v}_0) dt \Rightarrow \vec{x} = \frac{1}{2} \vec{a}t^2 + \vec{v}_0 t + \vec{x}_0 \quad (2)$$

Οι σχέσεις (1) και (2) αποτελούν τις βασικές εξισώσεις κίνησης στην περίπτωση της ευθύγραμμης ομαλά επιταχυνόμενης κίνησης.

Στόχος αυτού του πειράματος είναι να μελετήσουμε την κίνηση ενός σώματος που εκτελεί ευθύγραμμη ομαλή ή ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση, να επαληθεύσουμε τις παραπάνω εξισώσεις κίνησης και να μετρήσουμε την επιτάχυνση της βαρύτητας στην περιοχή του Ηρακλείου. Η παραπάνω μελέτη θα γίνει μετρώντας την απομάκρυνση και την ταχύτητα σε διαφορετικά σημεία της τροχιάς ενός κινητού. Για τη μέτρηση της ταχύτητας ειδικότερα, παίρνουμε μετρήσεις της απόστασης  $\Delta x$  που διανύει το κινητό σε μικρά χρονικά διαστήματα  $\Delta t$  στο σημείο της τροχιάς που μας ενδιαφέρει.

Στη πράξη είναι αδύνατον να μετρήσουμε **τη στιγμιαία ταχύτητα** η οποία ορίζεται από το όριο

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

όπου  $\Delta x$  είναι η απόσταση που διανύει το κινητό σε χρόνο  $\Delta t$ .

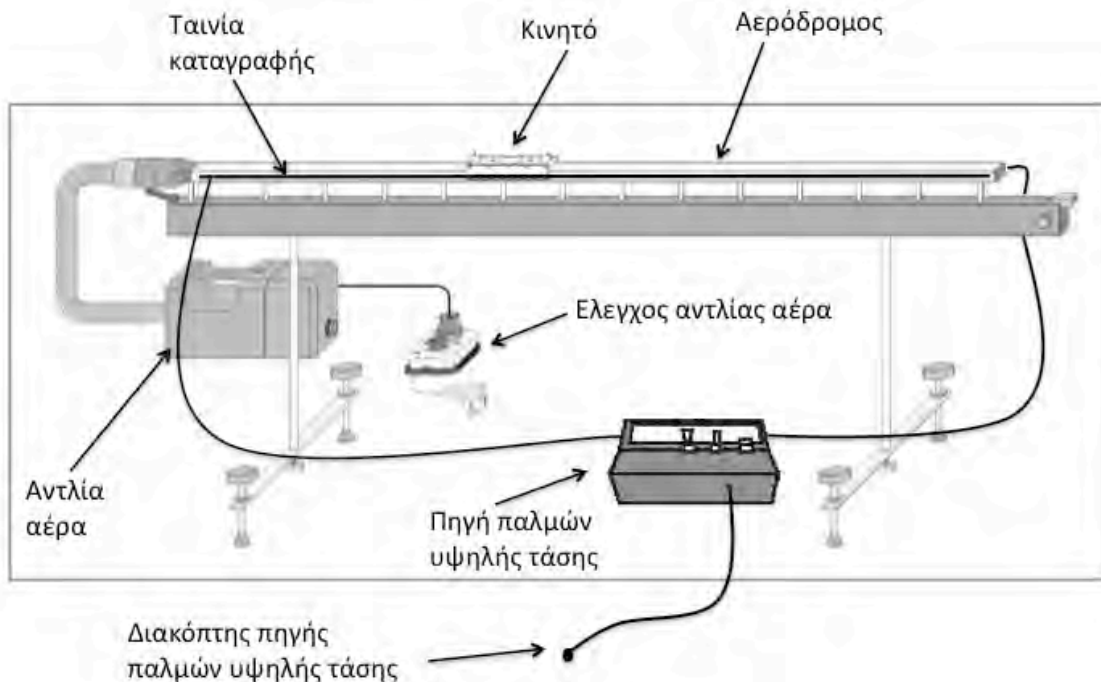
Ο λόγος  $\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$  ορίζει **τη μέση ταχύτητα**, και είναι η μόνη εκτίμηση που μπορούμε να έχουμε για την ταχύτητα, δεδομένου ότι οι μετρητικές διατάξεις μας έχουν πεπερασμένη ανάλυση στη μέτρηση του χρόνου. Καθώς η χρονική ανάλυση των μετρήσεων μας  $\Delta t$  τείνει στο 0, τότε και η μέση ταχύτητα που εκτιμούμε θα τείνει και αυτή στη στιγμιαία ταχύτητα.

Αποδεικνύεται ότι η μέση ταχύτητα ενός σώματος που εκτελεί ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση ισούται με τη στιγμιαία ταχύτητά του στο χρονικό μέσο του διαστήματος στο οποίο έγινε η μέτρηση. Αυτή την ιδιότητα θα χρησιμοποιήσουμε προκειμένου να εκτιμήσουμε τη στιγμιαία ταχύτητα κατά την κίνηση του σώματος.

## Πειραματική διάταξη

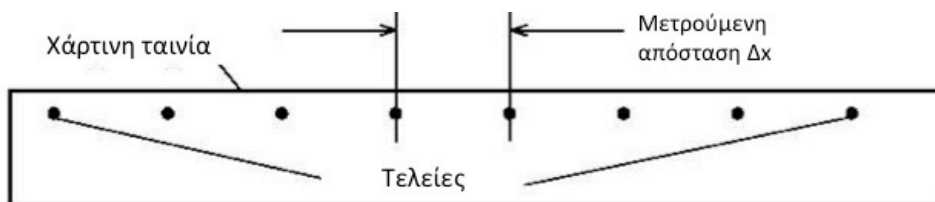
Προκειμένου να μελετήσουμε την κίνηση των σωμάτων χωρίς την επίδραση τριβών, θα χρησιμοποιήσουμε τον αερόδρομο. Ο αερόδρομος είναι μια διάταξη η οποία επιτρέπει τη δημιουργία ενός στρώματος αέρα μεταξύ της επιφάνειας κίνησης και του κινητού. Το στρώμα αέρα ανυψώνει το κινητό με αποτέλεσμα να ελαχιστοποιεί τις τριβές κατά την κίνησή του. Στο Σχήμα 1 φαίνεται ένα διάγραμμα που δείχνει την πειραματική διάταξη που θα χρησιμοποιήσουμε σε αυτό το πείραμα.

Προκειμένου να καταγράψουμε τη θέση του κινητού χρησιμοποιούμε μία πηγή ηλεκτρικών παλμών υψηλής τάσης. Η πηγή είναι συνδεδεμένη με ένα σύρμα που βρίσκεται στη μία πλευρά του αερόδρομου και με μια μεταλλική επιφάνεια στην άλλη πλευρά του αερόδρομου. Επάνω στην επιφάνεια τοποθετείται μια ειδική ταινία. Το κινητό διαθέτει μια ακίδα σε κάθε πλευρά του αερόδρομου. Λόγω της υψηλής τάσης δημιουργούνται σπινθήρες μεταξύ των ακίδων που διαθέτει το κινητό και των αγωγών με αποτέλεσμα το κινητό να λειτουργεί ως γέφυρα μεταξύ των δύο αγωγών. Ο σπινθήρας που χτυπά πάνω στη χάρτινη ταινία δημιουργεί ένα στίγμα που ουσιαστικά μας δίνει τη θέση του κινητού συναρτήσει του χρόνου.



Σχήμα 1. Σχεδιάγραμμα της πειραματικής διάταξης.

Ετσι στο τέλος της κίνησης η ταινία μας θα έχει την ακόλουθη μορφή



Σχήμα 2. Παράδειγμα μετρήσεων που λαμβάνουμε με την παραπάνω διάταξη. Το κάθε στίγμα (τελεία) αντιστοιχεί σε έναν ηλεκτρικό παλμό, και επομένως η χρονική τους απόσταση ισούται με την περίοδο των παλμών.

Δεδομένου ότι γνωρίζουμε τη συχνότητα των παλμών, μετρώντας την απόσταση μεταξύ των στιγμάτων μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα του κινητού κατά τη διάρκεια της κίνησής του.

## Σημαντικά Σημεία

- **ΠΟΤΕ** δεν κινούμε το σώμα πάνω στον αερόδρομο χωρίς να έχουμε ανοίξει τη παροχή αέρα.
- Προσέχουμε ώστε να μην αγγίζουμε τον αερόδρομο όταν έχουμε ενεργοποιήσει την πηγή παλμών υψηλής τάσης.

## Πειραματική διαδικασία

### Α' Μέρος. Επαλήθευση του Α' Νόμου του Newton.

Στο πρώτο μέρος του πειράματος θα επαληθεύσουμε τον πρώτο Νόμο του Newton. Δεδομένου ότι κατά τη διάρκεια της κίνησης δεν ασκούνται δυνάμεις στο κινητό στην κατεύθυνση της κίνησής του, θα εκτελεί ευθύγραμμη και ομαλή κίνηση. Επομένως μελετώντας την κίνηση του κινητού θα ελεγχουμε κατά πόσο κινείται ευθύγραμμα και ομαλά.

1. Καθαρίζουμε σχολαστικά την επιφάνεια του αερόδρομου με οινόπνευμα και ελέγχουμε εάν όλες οι τρύπες του αεραγωγού είναι ανοικτές.
2. Συνδέουμε τους ακροδέκτες της πηγής παλμών υψηλής τάσης με τον αερόδρομο όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.
3. Θέτουμε τον κεντρικό διακόπτη της πηγής παλμών υψηλής τάσης στη θέση ON. Στη συνέχεια επιλέγουμε συχνότητα παλμών 10 Hz.
4. Πιέζουμε το διακόπτη της πηγής παλμών υψηλής τάσης ώστε να βεβαιωθούμε ότι το κύκλωμα λειτουργεί σωστά και δημιουργούνται σπινθήρες.
5. Τοποθετούμε το κινητό πάνω στον αερόδρομο και ανοίγουμε την παροχή αέρα.
6. Κόβουμε ένα κομμάτι ταινίας μήκους όσο και το μήκος του αερόδρομου (περίπου 1.5m) και το προσαρμόζουμε στον αερόδρομο με τη βοήθεια των ειδικών συνδέσμων στα άκρα του αερόδρομου.
7. Τοποθετούμε το κινητό στο ένα άκρο του αερόδρομου, και του δίνουμε μια ώθηση με τη βοήθεια μιας μη αγώγιμης ράβδου. Ταυτόχρονα πιέζουμε το διακόπτη της πηγής παλμών υψηλής τάσης, μέχρι να φτάσει το κινητό στο άλλο άκρο του αερόδρομου.

**Σημαντικό:** Θα πρέπει να διακόψουμε την παροχή ρεύματος λίγο πριν φτάσει το κινητό στο απέναντι άκρο της ράβδου. Αλλιώς θα καταγραφεί στη ίδια

ταινία και η κίνηση του σώματος κατά την επιστροφή του, γεγονός που θα δυσχεράνει την ανάλυση των μετρήσεών μας.

8. Παίρνουμε την ταινία και με έναν χάρακα μετράμε την απόσταση όλων των σημείων από το πρώτο σημείο που έχουμε ορίσει. Καταγράφουμε τις μετρήσεις μας σε έναν πίνακα της μορφής: (Σε κάθε μέτρηση να καταγράφετε και το αντίστοιχο σφάλμα)

**Πίνακας 1**

A/A	Απόσταση από την αρχή της κίνησης $x \pm \delta x$	Χρόνος από την αρχή της κίνησης $t$	Απόσταση διαδοχικών σημείων $d \pm \delta d$	Μέση ταχύτητα $v \pm \delta v$
1				
2				

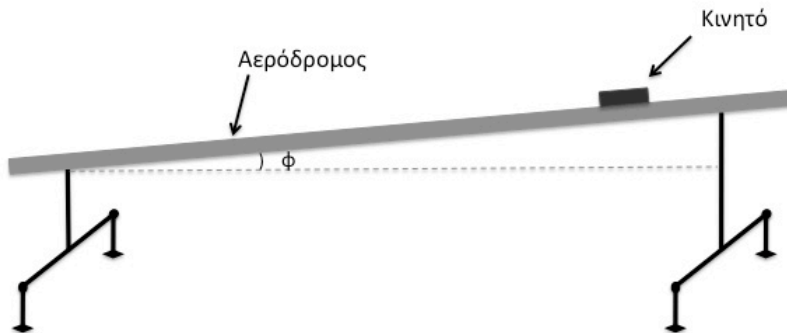
9. Στη συνέχεια υπολογίζουμε την απόσταση κάθε ζεύγους διαδοχικών σημείων (Σχήμα 2). Δεδομένου ότι η χρονική απόσταση μεταξύ διαδοχικών σημείων είναι 1/10 sec, υπολογίζουμε τη μέση ταχύτητα (και αντίστοιχο σφάλμα) για κάθε ένα διάστημα διαδοχικών σημείων. **(Σημειώστε ότι η μέση ταχύτητα στην ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση ισούται με τη στιγμιαία ταχύτητα στο χρονικό μέσο του διαστήματος).**

Καταγράφουμε τους υπολογισμούς μας στις αντίστοιχες στήλες του Πίνακα 1.

10. Κάνουμε το διάγραμμα της απομάκρυνσης του κινητού συναρτήσει του χρόνου που έχει διανύσει από την αρχή της κίνησής του. Τη μορφή έχει;
11. Από την κλίση του διαγράμματος υπολογίζουμε τη μέση ταχύτητα (και το σφάλμα της) κατά την κίνηση του σώματος.
12. Κάνουμε το διάγραμμα της ταχύτητας του κινητού συναρτήσει του χρόνου που έχει διανύσει από την αρχή της κίνησής του. Τη μορφή έχει;
13. Από την κλίση του διαγράμματος υπολογίζουμε τη μέση επιτάχυνση (και το σφάλμα της) κατά την κίνηση του σώματος.
14. Τι συμπεραίνετε για την κίνηση του σώματος; Επαληθεύεται ο Α' Νόμος του Newton;

## Β' Μέρος. Μέτρηση της Επιτάχυνσης της βαρύτητας

Σε αυτό το μέρος θα μετατρέψουμε τον αερόδρομο σε κεκλιμένο επίπεδο (Σχήμα 3) και μελετώντας την κίνηση του σώματος θα μετρήσουμε την επιτάχυνση της βαρύτητας.



**Σχήμα 3.**  
Πειραματική  
διάταξη που  
χρησιμοποιείται  
στο Β' μέρος του  
πειράματος

Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει μια συνιστώσα του βάρους στην κατεύθυνση της κίνησης η οποία σύμφωνα με τον Δεύτερο Νόμο του Newton αναγκάζει το κινητό να εκτελεί ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση. Η συνιστώσα αυτή έχει μέτρο

$$F = mg \sin \varphi$$

όπου  $m$  είναι η μάζα του κινητού,  $g$  είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας και  $\varphi$  είναι η γωνία που σχηματίζει ο αερόδρομος με το οριζόντιο επίπεδο.

Τότε από το Δεύτερο Νόμο του Newton έχουμε:

$$ma = mg \sin \varphi \Leftrightarrow g = \frac{a}{\sin \varphi} \quad (3)$$

Επομένως μετρώντας την επιτάχυνση του κινητού και τη γωνία  $\varphi$  μπορούμε να υπολογίσουμε την επιτάχυνση της βαρύτητας.

1. Τοποθετούμε ένα αντικείμενο κάτω από τη μία βάση του αερόδρομου ώστε να δημιουργήσουμε κεκλιμένο επίπεδο.
2. Μετρούμε το ύψος του αντικείμενου και το μήκος των δύο βάσεων του αερόδρομου ώστε να υπολογίσουμε το  $\sin \varphi$ .
3. Τοποθετούμε το κινητό στο υψηλότερο σημείο του αερόδρομου και το αφήνουμε να κινηθεί, πατώντας ταυτόχρονα το διακόπτη ενεργοποίησης της πηγής παλμών υψηλής τάσης.
4. Παίρνουμε την ταινία και με έναν χάρακα μετράμε την απόσταση όλων των σημείων από το πρώτο σημείο που έχουμε ορίσει. Καταγράφουμε τις μετρήσεις μας σε έναν πίνακα της μορφής: (Σε κάθε μέτρηση να καταγράφετε και το αντίστοιχο σφάλμα)

Πίνακας 2

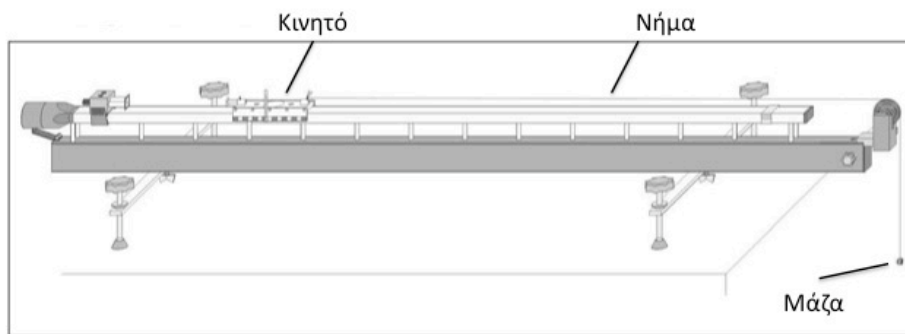
A/A	Απόσταση από την αρχή της κίνησης $x_i \pm \delta x$	Απόσταση διαδοχικών σημείων $d = x_i - x_{i-1}$ $\pm \delta d$	Χρονική απόσταση διαδοχικών σημείων $\Delta t = t_i - t_{i-1}$	Χρόνος από την αρχή της κίνησης $t_i - \Delta t/2$	Μέση ταχύτητα $v_i \pm \delta v$
1					
2					

5. Στη συνέχεια υπολογίζουμε την απόσταση κάθε ζεύγους διαδοχικών σημείων (Σχήμα 2). Δεδομένου ότι η χρονική απόσταση μεταξύ διαδοχικών σημείων είναι 1/10 sec, υπολογίζουμε τη μέση ταχύτητα (και αντίστοιχο σφάλμα) για κάθε ένα διάστημα διαδοχικών σημείων. Καταγράφουμε τους υπολογισμούς μας στις αντίστοιχες στήλες του Πίνακα 2.
6. Κάνουμε το διάγραμμα της στιγμιαίας ταχύτητας του κινητού συναρτήσει του χρόνου που έχει διανύσει από την αρχή της κίνησής του. Τη μορφή έχει; **Υπενθυμίζεται ότι η μέση ταχύτητα ενός κινητού που εκτελεί ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση ισούται με τη στιγμιαία ταχύτητά του στο χρονικό μέσο του διαστήματος. Επομένως η μέση ταχύτητα  $v$  που υπολογίζουμε θα αναφέρεται στη χρονική στιγμή  $t_i + \Delta t/2$  από την αρχή της κίνησης.**
7. Από την κλίση του διαγράμματος υπολογίζουμε τη μέση επιτάχυνση (και το σφάλμα της).
8. Με τη βοήθεια της σχέσης (3) υπολογίζουμε την επιτάχυνση της βαρύτητας. Πώς συγκρίνεται με τη αναμενόμενη τιμή;

### Γ' Μέρος. Μέτρηση μάζας κινητού

Σε αυτό το μέρος θα επαναφέρουμε τον αερόδρομο στην αρχική του θέση και θα χρησιμοποιήσουμε τον Δεύτερο Νόμο του Newton προκειμένου να υπολογίσουμε τη μάζα του κινητού.

Για αυτό το λόγο προσδένουμε στο άκρο του κινητού ένα μη εκτατό και αβαρές νήμα το οποίο περνάμε από μία τροχαλία που βρίσκεται προσαρμοσμένη στο άλλο άκρο του αερόδρομου. Στο ελεύθερο άκρο του νήματος προσδένουμε ένα σώμα (Σχήμα 4).



**Σχήμα 4.** Πειραματική διάταξη που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της μάζας του κινητού (Γ' μέρος του πειράματος).

Υπό την επίδραση της βαρύτητας το σώμα επιταχύνεται και παρασύρει το κινητό. Τότε η επιτάχυνσή του θα είναι:

$$(m + M)a = mg \quad (5)$$

όπου  $M$  είναι η μάζα του κινητού,  $m$  είναι η μάζα του σώματος που δένουμε,  $a$  είναι η επιτάχυνση του συστήματος, και  $g$  είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας.

Επομένως μετρώντας την επιτάχυνση  $a$  του συστήματος και γνωρίζοντας την επιτάχυνση της βαρύτητας μπορούμε να υπολογίσουμε τη μάζα  $M$  του κινητού:

$$M = m \left( \frac{g}{a} - 1 \right) \quad (6)$$

1. Ζυγίζουμε στον ηλεκτρονικό ζυγό τη μάζα του σώματος που θα προσαρτήσουμε στο νήμα.
2. Προσδένουμε το νήμα στο κινητό, και το περνάμε από την τροχαλία που βρίσκεται στο άλλο άκρο του αερόδρομου.
3. Αφήνουμε τη μάζα να πέσει στο πάτωμα και ταυτόχρονα ενεργοποιούμε τη γεννήτρια παλμών.
4. Παίρνουμε την ταινία και με έναν χάρακα μετράμε την απόσταση όλων των σημείων από το πρώτο σημείο που έχουμε ορίσει. Επιπλέον υπολογίζουμε τη μέση ταχύτητα του συστήματος σε κάθε διάστημα. Καταγράφουμε τις



μετρήσεις μας σε έναν πίνακα της μορφής: (Σε κάθε μέτρηση να καταγράφετε και το αντίστοιχο σφάλμα)

Πίνακας 4

A/A	Απόσταση από την αρχή της κίνησης $x \pm \delta x$	Χρόνος από την αρχή της κίνησης $t - \Delta t/2$	Απόσταση διαδοχικών σημείων $d \pm \delta d$	Μέση ταχύτητα $v \pm \delta v$
1				
2				

- Χρησιμοποιούμε την ακριβέστερη από τις δύο μεθόδους που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο μέρος προκειμένου να υπολογίσουμε την επιτάχυνση του συστήματος. Να κατασκευάσετε κατάλληλο Πίνακα όπου θα παρουσιάζονται οι τιμές (και τα σφάλματά τους) που θα χρησιμοποιηθούν στο διάγραμμά σας.
- Να μετρήσετε τη μάζα του κινητού στον ηλεκτρονικό ζυγό. Συμφωνεί εντός των σφαλμάτων με τη μάζα που υπολογίσατε;
- Σχολιάστε τα αποτελέσματά σας και από τα τρία μέρη.

### Ερωτήσεις

- Γιατί μετράμε τις αποστάσεις των σημείων στην ταινία χαρτιού σε σχέση με το πρώτο σημείο και όχι απλά την απόσταση διαδοχικών σημείων;
- Να αποδείξετε ότι η μέση ταχύτητα ισούται με τη στιγμιαία ταχύτητα στο χρονικό μέσο του διαστήματος.
- Ποιοί πιστεύετε ότι είναι οι παράγοντες σφάλματος στις δύο μεθόδους υπολογισμού της επιτάχυνσης στο Β' μέρος της άσκησης;
- Γιατί είναι ακριβέστερο να διερευνήσουμε τον Α' Νόμο του Newton χρησιμοποιώντας το διάγραμμα ταχύτητας-χρόνου παρά το διάγραμμα απόστασης-χρόνου;

### Βιβλιογραφία

Serway R. A. & Jewett J.W., Φυσική για επιστήμονες και μηχανικούς, 8<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος.

Instruction Set 337 501 (Linear Air Track), LD Didactic GmbH