

EUSO ΦΥΣΙΚΗ 2010

Πραγματοποίηση και μελέτη ευθύγραμμης ομαλά επιταχυνόμενης κίνησης με χρήση ηλεκτρικού χρονομετρητή.

1. Στόχος

Κατά τη μελέτη της ευθύγραμμης ομαλά επιταχυνόμενης κίνησης με ηλεκτρικό χρονομετρητή, θα επαληθεύσετε πειραματικά τους νόμους της κίνησης αυτής και θα τους παραστήσετε γραφικά.

2. Γενικές γνώσεις

Στην ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση η ταχύτητα μεγαλώνει με σταθερό ρυθμό. Ο σταθερός αυτός ρυθμός εκφράζεται από την επιτάχυνση a που ορίζεται από τη σχέση

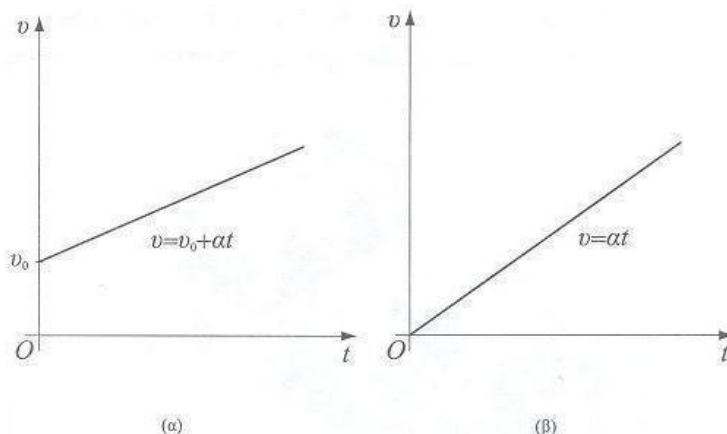
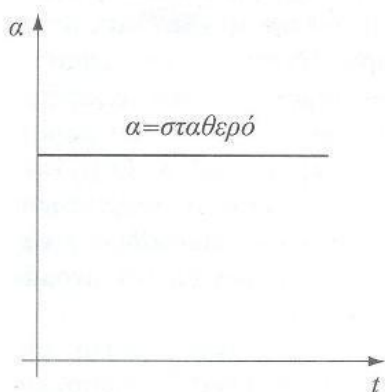
$$a = \Delta u / \Delta t \text{ (= σταθερή)}$$

όπου Δu είναι η μεταβολή της ταχύτητας στο χρονικό διάστημα Δt . Η γραφική παράσταση $a-t$ φαίνεται στο σχήμα 1.

Αν το κινητό τη χρονική στιγμή $t=0$ έχει αρχική ταχύτητα u_0 , τότε η ταχύτητα u τη χρονική στιγμή t θα δίδεται από τη σχέση

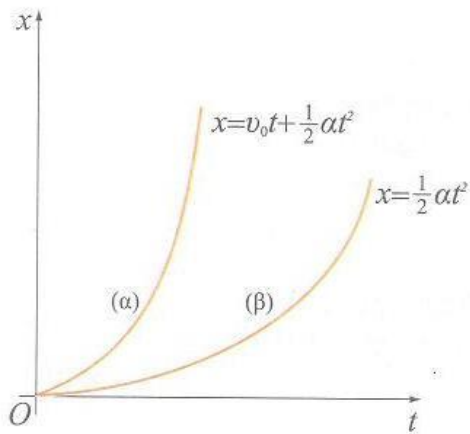
$$u = u_0 + a \cdot t \text{ (νόμος της ταχύτητας)}$$

Αν $u_0 = 0$, η προηγούμενη σχέση γίνεται $u = a \cdot t$. Σε αυτή τη περίπτωση η ταχύτητα u είναι ανάλογη με το χρόνο t . Η γραφική παράσταση $u-t$ φαίνεται στο σχήμα 2.



Σχήμα 1 Η επιτάχυνση a στην ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση είναι σταθερή.

Σχήμα 2 Γραφική παράσταση $v-t$ α) όταν υπάρχει αρχική ταχύτητα v_0 και β) όταν $v_0=0$.



Σχήμα 3 Γραφική παράσταση x-t, α) όταν υπάρχει αρχική ταχύτητα v_0 και β) όταν $v_0=0$.

Αν θεωρήσουμε ότι τη στιγμή $t=0$ το κινητό βρισκόταν στη θέση $x=0$ και τη στιγμή t βρίσκεται στη θέση x , τότε ισχύει:

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

Αν $v_0 = 0$, τότε η προηγούμενη σχέση γίνεται

$$x = \frac{1}{2} a t^2$$

Η γραφική παράσταση x-t φαίνεται στο σχήμα 3.

3. Μέθοδος και πειραματική διάταξη

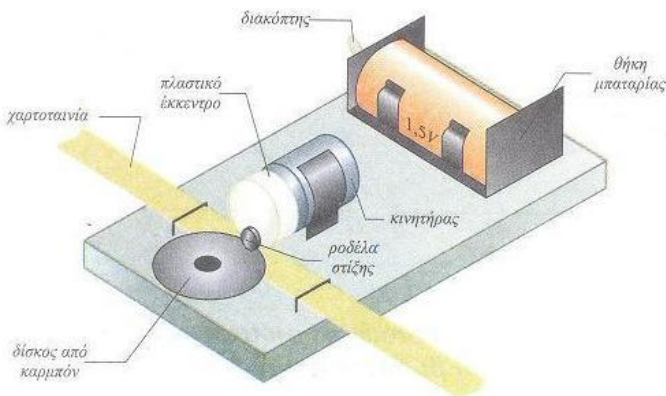
Ο ηλεκτρικός χρονομετρητής είναι μία απλή διάταξη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί συγχρόνως σαν μετρητής απόστασης και χρόνου. Περιλαμβάνει ένα κινητήρα που συνδέεται με μία μπαταρία (σχήμα 4). Καθώς ο κινητήρας περιστρέφεται με σταθερό ρυθμό, μία κατάλληλη ροδέλα στίξης γράφει πάνω σε χαρτοταινία (μέσω καρμπόν) κουκκίδες σε ίσα χρονικά διαστήματα.

Όταν η χαρτοταινία συνδεθεί με ένα σώμα που πρόκειται να κινηθεί ευθύγραμμα, το σώμα θα παρασύρει με την κίνησή του την ταινία. Έτσι αυτή περνώντας μέσα από τον ηλεκτρικό χρονομετρητή, δέχεται τα «χτυπήματα» της ροδέλας στίξης με αποτέλεσμα η κίνηση του σώματος να αποτυπώνεται πάνω στην ταινία με τη μορφή μιας σειράς κουκκίδων. Ο χρόνος που μεσολαβεί

για την αποτύπωση δύο διαδοχικών κουκκίδων είναι πάντα ο ίδιος και θα τον ονομάσουμε «1 τικ».

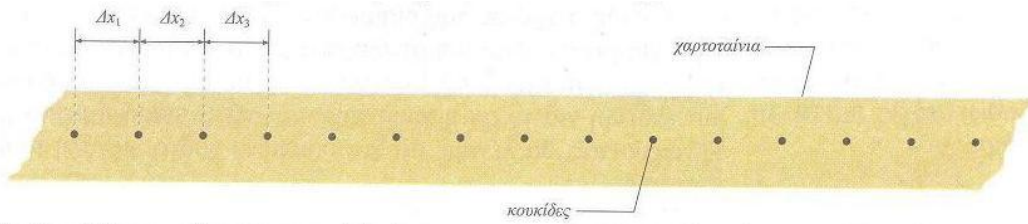
Το 1 τικ είναι κλάσμα του δευτερολέπτου επειδή ο κινητήρας περιστρέφεται γρήγορα. Π.χ. αν ο κινητήρας κάνει 50 στροφές σε κάθε δευτερόλεπτο (s), τότε η ροδέλα τυπώνει 50 κουκκίδες σε κάθε 1 s και επομένως το 1 τικ είναι

$$\frac{1}{50} s = 0,02 s .$$



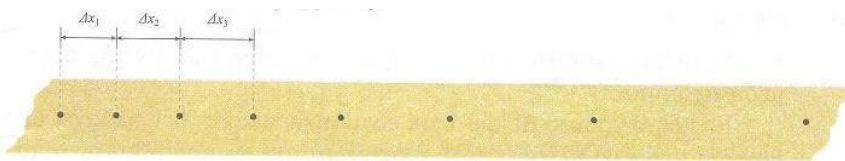
Σχήμα 4 Ηλεκτρικός χρονομετρητής συνεχούς ρεύματος

Είναι φανερό ότι, αν το σώμα που συνδέεται με την χαρτοταινία εκτελεί ομαλή κίνηση (ίσα διαστήματα σε οποιουδήποτε ίσους χρόνους) τότε οι διαδοχικές κουκκίδες θα ισαπέχουν ανά δύο (σχήμα 5). Αυτή η μορφή της σειράς κουκκίδων δείχνει ότι η ταχύτητα είναι σταθερή.



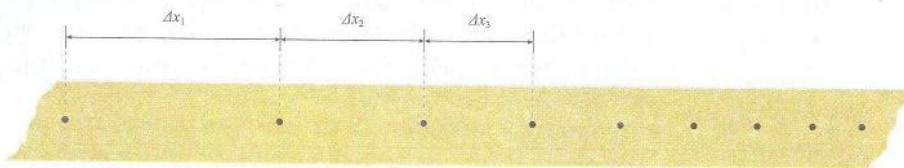
Σχήμα 5 Στην ευθύγραμμη ομαλή κίνηση η απόσταση δύο διαδοχικών κουκκίδων είναι σταθερή ($\Delta x_1 = \Delta x_2 = \Delta x_3 = \dots$)

Αν η κίνηση είναι επιταχυνόμενη, δηλαδή, αν το κινητό κινείται με ταχύτητα που συνεχώς αυξάνεται, τότε με την πάροδο του χρόνου, η απόσταση των κουκκίδων θα μεγαλώνει (σχήμα 6).



Σχήμα 6 Στην επιταχυνόμενη κίνηση τα διαστήματα μεταξύ των κουκκίδων συνεχώς μεγαλώνουν ($\Delta x_1 < \Delta x_2 < \Delta x_3 < \dots$)

Τέλος στην επιβραδυνόμενη κίνηση τα διαστήματα μεταξύ των κουκκίδων θα μικραίνει επειδή ελαττώνεται η ταχύτητα (σχήμα 7)



Σχήμα 7 Στην επιβραδυνόμενη κίνηση τα διαστήματα μεταξύ των κουκκίδων συνεχώς μικραίνουν ($\Delta x_1 > \Delta x_2 > \Delta x_3 > \dots$)

Παρατήρηση :

Ανεξάρτητα από το αν τα διαστήματα μεταξύ των κουκκίδων μεγαλώνουν, μικραίνουν ή μένουν σταθερά, ο χρόνος που μεσολαβεί για την αποτύπωση δύο διαδοχικών κουκκίδων είναι πάντα ο ίδιος.

Η απόσταση μεταξύ μιας κουκκίδας και της επόμενης της μας δείχνει τη μετατόπιση Δx του κινητού σε χρόνο ενός τικ. Διαιρώντας την μετατόπιση αυτή δια του αντίστοιχου χρόνου ($\Delta t = 1$ τικ) υπολογίζουμε τη μέση ταχύτητα του κινητού ανάμεσα στις δύο κουκκίδες που επιλέξαμε. Έτσι η μέση ταχύτητα μεταξύ των κουκκίδων 4 και 5 (σχήμα 8) θα είναι :

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{3,1 \text{ cm}}{1 \text{ τικ}} = 3,1 \frac{\text{cm}}{\text{τικ}}$$

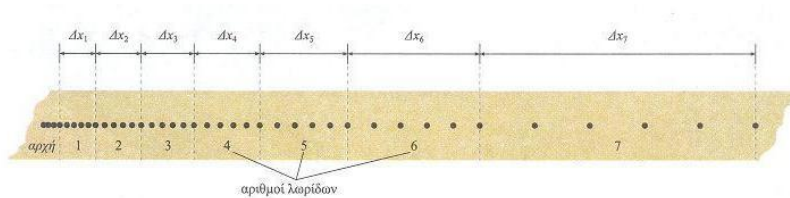
Επειδή ο χρόνος που διαιρέσαμε είναι το $\Delta t = 1$ τικ, η μέση ταχύτητα θα είναι ίση αριθμητικά με το αντίστοιχο Δx (π.χ. αν $\Delta x = 3,1$ cm τότε $\bar{v} = 3,1$ cm

ανά τικ). Άρα το μήκος του Δx είναι μία ένδειξη για το αν η μέση ταχύτητα είναι μικρή ή μεγάλη. Γενικεύοντας, θα λέγαμε ότι για ορισμένο χρόνο, μεγάλη τιμή του Δx δείχνει μεγάλη μέση ταχύτητα, ενώ μικρή μέση τιμή δείχνει του Δx δείχνει μικρή μέση ταχύτητα.



Σχήμα 8 Η απόσταση μεταξύ διαδοχικών κουκκίδων είναι μια ένδειξη για το αν η μέση ταχύτητα είναι μικρή ή μεγάλη

Επειδή ο χρόνος Δt του ενός τικ είναι πολύ μικρός, δεν υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να έχει αλλάξει πολύ η ταχύτητα του κινητού μέσα σε αυτό το χρόνο. Γι αυτό, χωρίς σημαντικό σφάλμα, αντί μέση ταχύτητα, θα λέμε απλώς ταχύτητα. Το ίδιο θα συμβαίνει αν αυτή η χρονική διάρκεια (Δt) παραμένει μικρή (π.χ. 5 ή 10 τικ) σε σχέση με την ταχύτητα της ανθρώπινης αντίληψης. Για να εκμεταλλευτούμε τις πληροφορίες που έχουν εγγραφεί στη χαρτοταινία και για να έχουμε μια καλλίτερη εμποπτεία της ευθύγραμμης κίνησης του κινητού, κατασκευάζουμε το διάγραμμα λωρίδων. Για να γίνει ένα τέτοιο διάγραμμα ξεκινάμε από την πρώτη ευκρινή κουκκίδα στην αρχή της χαρτοταινίας και χωρίζουμε τα διαστήματα της σειράς των κουκκίδων ανά 5 ή δέκα (σχήμα 9).



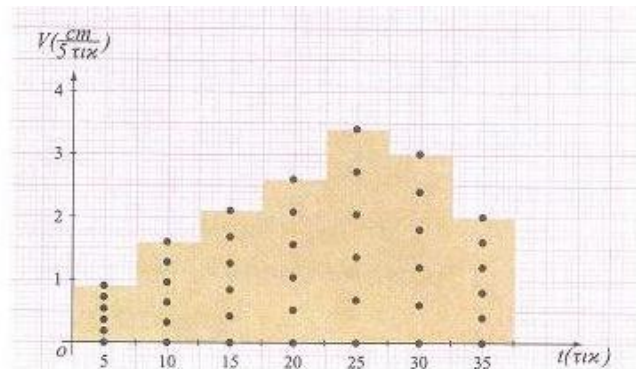
Σχήμα 9 Χωρισμός της χαρτοταινίας σε λωρίδες των πέντε κουκκίδων. Κόβουμε την ταινία με το ψαλίδι στα σημεία Α, Β, Γ, Δ, Ε, Ζ, Η και Θ.

Στη συνέχεια αριθμούμε τις ομάδες των 5 ή 10 διαστημάτων, ξεκινώντας από το 1 (για την πρώτη ομάδα), μετά το 2 (για τη δεύτερη ομάδα) κ.ο.κ.

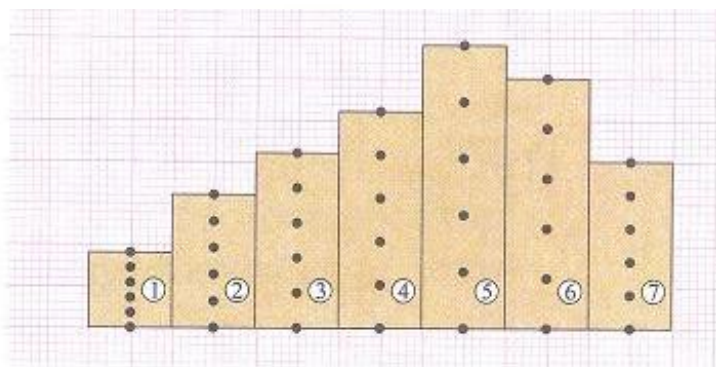
Κόβουμε τις λωρίδες 1, 2, 3 κ.λπ. και τις τοποθετούμε τη μία δίπλα στην άλλη πάνω σε χιλιοστομετρικό χαρτί (σχήμα 10). Αν η κάθε λωρίδα περιλαμβάνει πέντε διαστήματα ο αντίστοιχος χρόνος θα είναι $\Delta t = 5$ τικ. Έτσι η ταχύτητα που αντιστοιχεί σε κάθε λωρίδα θα είναι

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\Delta x (cm)}{5 \text{ τικ}} = \Delta x \frac{cm}{5 \text{ τικ}}$$

όπου Δx το μήκος της λωρίδας. Δηλαδή το Δx δείχνει την ταχύτητα σε $cm/5$ τικ και επομένως μπορούμε να φέρουμε κατακόρυφο άξονα που θα δείχνει την ταχύτητα v (σε $cm/5$ τικ) και οριζόντιο που θα δείχνει το χρόνο t (ανά 5 τικ) (σχήμα 11).



Σχήμα 11 Διάγραμμα λωρίδων σε βαθμολογημένους άξονες



Σχήμα 10 Διάγραμμα λωρίδων.

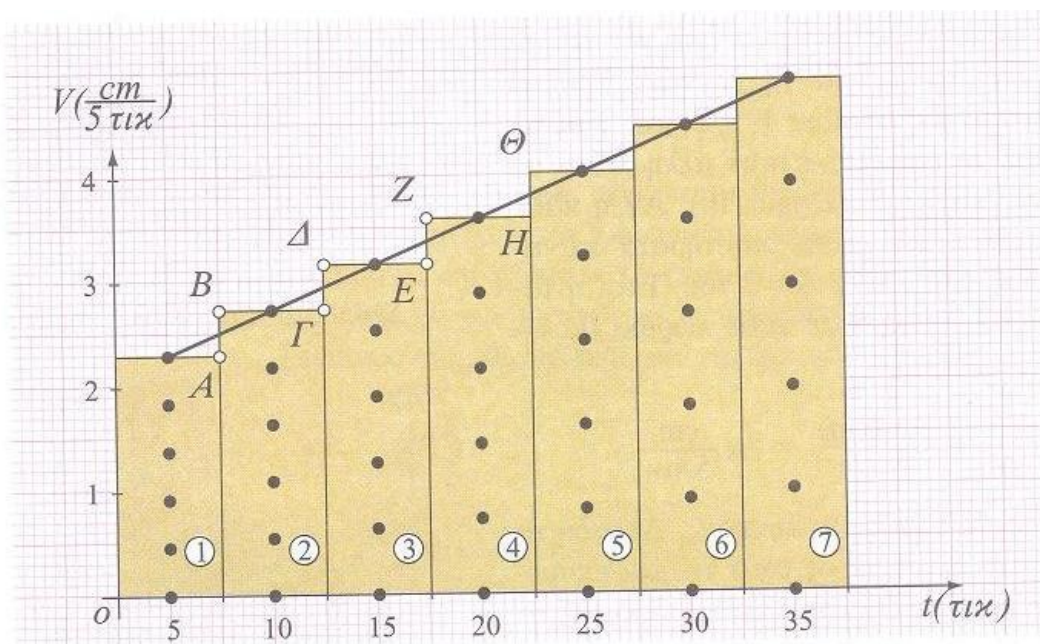
Παρατήρηση :

Επειδή το διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών κουκκίδων είναι μικρό (τις περισσότερες φορές μικρότερο του ενός cm) κόβουμε τις λωρίδες ανά 5 ή 10 διαστήματα και όχι ανά ένα, ώστε η επεξεργασία της ταινίας να γίνεται συντομότερα και πιο πρακτικά.

Αν ενώσουμε μεταξύ τους με ευθύγραμμα τμήματα τα μέσα των κορυφών των λωρίδων, παίρνουμε ένα διάγραμμα ταχύτητας-χρόνου. Για το διάγραμμα αυτό που φαίνεται στο σχήμα 12 παρατηρούμε τα εξής:

α. Κάθε λωρίδα (πλην της πρώτης) έχει μήκος μεγαλύτερο από αυτό της προηγούμενης. Αυτό δείχνει ότι η ταχύτητα μεγαλώνει και επομένως η κίνηση είναι επιταχυνόμενη.

β. Η αύξηση της ταχύτητας από λωρίδα σε λωρίδα (δηλαδή τα ευθύγραμμα τμήματα ΑΒ, ΓΔ, ΕΖ, κλ.π.) είναι σταθερή. Δηλαδή ανά 10 τικ έχουμε το ίδιο «κέρδος» στην ταχύτητα. Δεδομένου ότι η επιτάχυνση δείχνει την αύξηση της ταχύτητας στη μονάδα του χρόνου ($a = \Delta v / \Delta t$), συμπεραίνουμε ότι η επιτάχυνση σε αυτή την κίνηση είναι σταθερή(ομοιόμορφα επιταχυνόμενη κίνηση).



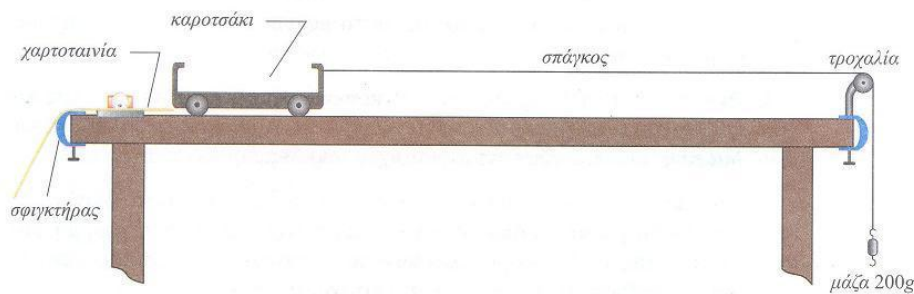
Σχήμα 12 Το διάγραμμα λωρίδων είναι και διάγραμμα ταχύτητας-χρόνου.

Απαιτούμενα όργανα και υλικά

1. Δύο σφιγκτήρες τύπου C (ΓΕ051.0)
2. Ηλεκτρικός χρονομετρητής συνοδευόμενος από δίσκο καρμπόν και χαρτοταινία (ΓΕ087.0, ΓΕ087.1, ΓΕ087.2)
3. Εργαστηριακό αμαξάκι απλό (καρότσι) (ΜΣ225.0)
4. Σπάγκος(μήκους 1,20 m περίπου)
5. Τροχαλία (από το τριβόμετρο ΜΣ220.0 η τροχαλία με απλή τροχαλιοθήκη ΜΣ 105.0 κατάλληλα στερεωμένη)
6. Μάζα 200g (ΓΕ080.0 ή ΓΕ0.80.1 και ΓΕ080.3
7. Σελοτέιπ
8. Ψαλίδι
9. Κόλλα
10. Χάρακας
11. Βιβλίο (ή χαρτόκουτο ή φελλιζόλ) που επάνω του θα πέσει η μάζα 200g καθώς θα κατέρχεται, ώστε να προστατευθεί το δάπεδο.

Εκτέλεση

1. Θέτετε σε λειτουργία τον ηλεκτρικό χρονομετρητή και παρατηρείτε ότι ο κινητήρας περιστρέφεται με ομαλό ρυθμό. Αυτό σημαίνει ότι η ροδέλα σίτιξης χρειάζεται τον ίδιο πάντα χρόνο για να κάνει μια περιστροφή και να γράψει μια κουκκίδα. Επομένως ο χρόνος ανάμεσα σε δύο οποιεσδήποτε διαδοχικές κουκκίδες της χαρτοταινίας που θα χρησιμοποιηθεί είναι πάντα ίδιος. Διακόψτε τη λειτουργία του χρονομετρητή.
2. Κόψτε ένα κομμάτι χαρτοταινίας μήκους 40cm περίπου και περάστε το κάτω από το κυκλικό καρμπόν του χρονομετρητή. Προσέξτε ώστε η χαρτοταινία να διέρχεται μέσα από τους δύο οδηγούς της.
3. Βάλτε σε λειτουργία το χρονομετρητή και τραβήξτε την ταινία. Ελέγξτε αν οι κουκκίδες που γράφτηκαν πάνω στην ταινία είναι ευκρινείς. Αν όχι, να καλέσετε τον επιβλέποντα καθηγητή.
4. Στο μέσον της μικρής πλευράς του πάγκου είναι στερεωμένος ο χρονομετρητής με ένα σφιγκτήρα. Στο μέσον της απέναντι πλευράς είναι στερεωμένη με σφιγκτήρα η ρυθμιζόμενη τροχαλία. (σχήμα 13)
5. Κόψτε κατάλληλο μήκος της ταινίας ώστε όταν περαστεί το ένα άκρο της από τον χρονομετρητή και κολληθεί με σελοτέιπ στην πίσω πλευρά του καροτσιού (σημείο Α) το άλλο άκρο της να φτάνει στο δάπεδο.



Σχήμα 13 Πειραματική διάταξη για τη μελέτη της ευθύγραμμης ομαλά επιταχυνόμενης κίνησης.

6. Δέστε το σπάγκο στη μπροστινή πλευρά του καροτσιού (σημείο Β). Ένας μαθητής να κρατήσει το καρότσι κι ένας άλλος να τεντώσει το σπάγκο και να τον περάσει στο αυλάκι της τροχαλίας. Ρυθμίστε το ύψος της τροχαλίας ώστε ο τεντωμένος σπάγκος να είναι παράλληλος με τον πάγκο.
7. Κρατώντας το καρότσι κρεμάστε τη μάζα των 200g από τον σπάγκο. Ελέγξτε αν η χαρτοταινία, ο άξονας του καροτσιού και ο τεντωμένος σπάγκος βρίσκονται στην ίδια ευθεία. Αν όχι κάνετε τις απαραίτητες ρυθμίσεις.
8. Βάλτε τώρα σε λειτουργία τον χρονομετρητή και αφήστε το καρότσι ελεύθερο. Μόλις η μάζα των 200g φτάσει στο δάπεδο (πέφτοντας πάνω στο βιβλίο) σταματήστε το καρότσι και διακόψτε τη λειτουργία του χρονομετρητή.
9. Αφαιρέστε τη χαρτοταινία.

Επεξεργασία της χαρτοταινίας

1. Άπλωσε την ταινία σου και τόνισε με το μολύβι σου όσες κουκκίδες δεν διακρίνονται καλά.
2. Ξεκίνησε από την πρώτη ευκρινή κουκκίδα στην αρχή της ταινίας και χώρισε τα διαστήματα ανά πέντε (σχήμα 9). Αρίθμησε τις πεντάδες των διαστημάτων και κόψε τις αντίστοιχες λωρίδες.
3. Κόλλησε τις λωρίδες δίπλα δίπλα σε χιλιοστομετρικό χαρτί (κατ' αύξοντα αριθμό) ώστε η κάτω βάση τους να βρίσκεται σε ευθεία γραμμή. Παρατηρώντας το διάγραμμα των λωρίδων που έφτιαξες, να εξετάσεις και να δικαιολογήσεις αν η κίνηση είναι επιταχυνόμενη.

Απάντηση.....
.....

-
-
4. Μέτρησε προσεκτικά το μήκος κάθε λωρίδας με ακρίβεια μισού χιλιοστού και συμπλήρωσε τη στήλη 3 του πίνακα που βρίσκεται στο τέλος των φωτοτυπιών.
 5. Κάθε λωρίδα αντιστοιχεί σε χρόνο $\Delta t=5$ τικ. Επειδή το μήκος κάθε λωρίδας δείχνει τη μετατόπιση Δx του κινητού, υπολόγισε την ταχύτητα του καροτσιού για κάθε λωρίδα και συμπλήρωσε τη στήλη 4 του πίνακα.
 6. Υπολόγισε τη μεταβολή Δu της ταχύτητας μεταξύ πρώτης και δεύτερης λωρίδας, μεταξύ δεύτερης και τρίτης κ.ο.κ. Συμπλήρωσε τη στήλη 5 του πίνακα ξεκινώντας από τη δεύτερη σειρά της στήλης αυτής.
 7. Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από μια λωρίδα μέχρι την επόμενη της είναι $\Delta t=5$ τικ. Υπολόγισε την επιτάχυνση $a=\Delta u/\Delta t$ και συμπλήρωσε της στήλη 6 του πίνακα.
 8. Υπολόγισε το συνολικό διάστημα κίνησης τη στιγμή 5 τικ (μήκος 1^{ης} λωρίδας), 10 τικ (μήκος 1^{ης} και 2^{ης} λωρίδας), 15 τικ (μήκος 1^{ης}, 2^{ης} και 3^{ης} λωρίδας) κ.ο.κ. Γράψε τα αποτελέσματα στη στήλη 7 του πίνακα.
 9. Σε χιλιοστομετρικό χαρτί φτιάξε το διάγραμμα ταχύτητας u ως προς το χρόνο t (στήλες 2 και 4 του πίνακα). Τι συμπεραίνεις για το ρυθμό με τον οποίο μεταβάλλεται η ταχύτητα, είναι σταθερός ή όχι; Δικαιολόγησε την απάντησή σου.

Απάντηση:.....

.....

.....

.....

10. Σε χιλιοστομετρικό χαρτί φτιάξε το διάγραμμα επιτάχυνσης a ως προς το χρόνο t (στήλες 2 και 6 του πίνακα). Είναι σταθερή η επιτάχυνση; Πως ονομάζεται το είδος αυτό της κίνησης;

Απάντηση:.....

.....

.....

.....

11. Σε χιλιοστομετρικό χαρτί φτιάξε το διάγραμμα του διαστήματος x που διάνυσε το κινητό σε χρόνο t ως προς το χρόνο t (στήλες 2 και 7 του πίνακα). Το διάγραμμα προκύπτει ευθεία ή καμπύλη; Τι σημαίνει αυτό το γεγονός;

Απάντηση:.....

.....

.....

.....

.....

12. Στο διάγραμμα λωρίδων ένωσε τις κουκκίδες που βρίσκονται στα μέσα των κορυφών όλων των λωρίδων. Προκύπτει ευθεία γραμμή; Σε ποιο από τα τρία διαγράμματα : $u-t$, $a-t$, $x-t$ νομίζεις ότι αντιστοιχεί; Δικαιολόγησε την απάντησή σου.

Απάντηση:.....

.....

.....

.....

.....

13. Σύγκρινε την αύξηση του μήκους κάθε λωρίδας (πλην της πρώτης) σε σχέση με το μήκος της προηγούμενης λωρίδας, Τι διαπιστώνεις; Ποιό από τα διαγράμματα : $u-t$, $a-t$, $x-t$ εκφράζει τη διαπίστωσή σου και γιατί;

Απάντηση:.....

.....

.....

.....

.....

Επεκτάσεις - Εφαρμογές (προαιρετικές και εφόσον υπάρχει χρόνος).

1. Πως πρέπει να τοποθετήσεις τις λωρίδες για να πάρεις ένα διάγραμμα $x-t$ όμοιο με αυτό που προέκυψε από το βήμα 12 της επεξεργασίας της χαρτοταινίας;
2. Αν διαθέτεις ηλεκτρικό χρονομετρητή , χαρτοταινία, καρότσι, σφιγκτήρα, ψαλίδι και σελοτέιπ, σχεδίασε μια πειραματική διάταξη για τη μελέτη της επιβραδυνόμενης κίνησης.

1	2	3	4	5	6	7
Αριθμός λωρίδας	Χρόνος t (тик)	Μήκος λωρίδας Δx (cm)	Ταχύτητα $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ (cm/тик)	Μεταβολή ταχύτητας Δv (cm/тик)	Επιτάχυνση $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ (cm/тик ²)	Συνολικό διάστημα x (cm)
1	5			-		
2	10					
3	15					
4	20					
5	25					
6	30					
7	35					