

ΑΣΚΗΣΗ 1^η

*Μέτρηση ταχύτητας – επιτάχυνσης σώματος
κινούμενου σε ευθύγραμμη τροχιά –
1^{ος} – 2^{ος} νόμος του Νεύτωνα*

Μελέτη – ανάπτυξη: Ο. Βαλασιάδης, Δ. Ευαγγελινός, Δ. Ψύλλος

Αρχική ανάπτυξη λογισμικού: Δ. Ευαγγελινός

Προσαρμογή λογισμικού σε PC: Α. Μπότσαρης, Ε. Χατζηκρανιώτης

ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ – ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΣΩΜΑΤΟΣ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΕ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΗ ΤΡΟΧΙΑ – 1^{ος}, 2^{ος} ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΝΕΥΤΩΝΑ

1. Σκοπιμότητα της άσκησης

Με την άσκηση αυτή στο εργαστήριο, παρέχεται η δυνατότητα να παρατηρήσουμε συστηματικά τα χαρακτηριστικά μεγέθη της κίνησης ενός σώματος, του οποίου μπορούμε να ελέγχουμε τις δυνάμεις που ενεργούν επάνω του.

Με την καταγραφή των παρατηρήσεων και την κατάλληλη επεξεργασία των τιμών ως προς τη διασπορά τους, μπορούμε να συμπεράνουμε εάν επιβεβαιώνονται οι προβλέψεις μας σύμφωνα με τους νόμους που περιγράφουν το φαινόμενο και σχετίζονται με τις δυνάμεις που γνωρίζουμε ότι ενεργούν στο κινητό.

Στην περίπτωση που διαπιστώνουμε συστηματικές αποκλίσεις από τις προβλεπόμενες τιμές, η μελέτη των χαρακτηριστικών μεγεθών και η εξέλιξη τους κατά μήκος της τροχιάς, παρέχει τη δυνατότητα να διαπιστώσουμε την ύπαρξη δυνάμεων που δεν είχαμε προβλέψει και να προσδιορίσουμε τα μεγέθη τους.

Επίσης με την παραπάνω διαδικασία μπορούμε να ερμηνεύσουμε τη συμπεριφορά του κινητού υπό την επίδραση “τοπικών” δυνάμεων (διαταραχές σε τμήμα της τροχιάς).

Η αναγκαία εξοικείωση με το σύστημα ελεγχόμενης κίνησης συντελεί στην ανάπτυξη δεξιότητας χρήσης μικροσυσκευών σε σχέση με το βαθμό αποτελεσματικού ελέγχου της κίνησης.

Η χρήση του συστήματος καταγραφής-προβολής των δεδομένων κίνησης με τρόπους που προβλέπει η θεωρία της κινηματικής συμβάλλει στην ικανότητα συσχέτισης πειράματος-θεωρίας ή με άλλα λόγια παρατήρησης-πρόβλεψης.

2. Συμβάσεις και στοιχεία θεωρίας

2.1 Συμβάσεις

Όλα τα πειράματα τα οποία θα εκτελέσουμε αφορούν την κινηματική μελέτη ενός στερεού σώματος που εκτελεί ευθύγραμμη μεταφορική κίνηση. Επομένως, είναι δυνατόν να ανάγουμε τα μεγέθη της κίνησης του σε μια μόνο διάσταση. Τα διανυσματικά μεγέθη τα οποία υπεισέρχονται στη μελέτη των πειραμάτων αντικαθίστανται ισοδύναμα από τις αλγεβρικές τιμές τους και οι πράξεις που απαιτούνται έχουν τη μορφή απλών αλγεβρικών πράξεων.

Επίσης, η κατασκευή και στήριξη του υπέα πάνω στον αεροδιάδρομο επιτρέπουν μόνο την ευθύγραμμη μεταφορική κίνησή του, επομένως η επίδραση δυνάμεων πάνω σ' αυτό ανάγεται στη δυναμική υλικού σημείου.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, έπεται ότι είναι αρκετό για το κινούμενο σώμα να προσδιοριστεί η μάζα του.

Οι δύο συνθήκες που αναφέραμε προηγουμένως απλοποιούν κατά πολύ την παρατήρηση και έλεγχο της κίνησης του σώματος, καθώς και την επεξεργασία των μεγεθών που υπεισέρχονται. Περιορίζουν όμως ταυτόχρονα και τη μελέτη των φαινομένων της κίνησης.

Τα θεμελιώδη φυσικά μεγέθη που περιγράφουν την κίνηση του σώματος κάτω από τις συνθήκες που περιγράψαμε παραπάνω είναι οι συντεταγμένες του σε χώρο και χρόνο καθώς και η μάζα.

Τα βασικά φυσικά μεγέθη με τα οποία μπορούμε να περιγράψουμε την κίνηση του σώματος και να προβλέψουμε την εξέλιξή της κάτω από δεδομένες συνθήκες είναι η ταχύτητα και η επιτάχυνσή του.

Οι θεμελιώδεις αργές οι οποίες συσχετίζουν την κινητική συμπεριφορά και τις αλλαγές της, με τις δυνάμεις οι οποίες επιδρούν επί του σώματος αποδίδονται από τους νόμους του Νεύτωνα.

Στη συνέχεια αναφέρονται οι ορισμοί και μαθηματικές εκφράσεις των βασικών μεγεθών και νομοτελειών. Σε κάθε περίπτωση παρατίθενται σχόλια που συσχετίζουν την εκάστοτε έκφραση των φυσικών μεγεθών με τις τιμές που προκύπτουν από τη διάταξη κατά την εκτέλεση του αντίστοιχου πειράματος και τις αναγκαίες προϋποθέσεις ισχύος του συσχετισμού τους.

2.2 Ταχύτητα κινουμένου σώματος

Ως ταχύτητα ενός κινητού ορίζουμε το ρυθμό με τον οποίο η θέση του μεταβάλλεται ως προς τον χρόνο. Αριθμητικά, η ταχύτητα ισούται με το διάστημα που καλύπτει το κινητό στη μονάδα του χρόνου. Διακρίνουμε δύο είδη: τη μέση ταχύτητα και τη στιγμιαία.

Μέση ταχύτητα (v_{μ})

Για να βρούμε τη μέση ταχύτητα (v_{μ} ενός σώματος απαιτείται να γνωρίζουμε τη θέση του σε δύο διαφορετικά σημεία της τροχιάς του x_1 , x_2 και το χρονικό διάστημα που χρειάστηκε για να μετακινηθεί από το ένα σημείο στο άλλο. Τότε

$$v_{\mu} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (1)$$

Η τιμή την οποία βρίσκουμε είναι αντιπροσωπευτική για το τμήμα της τροχιάς (x_1 , x_2) του κινητού αλλά διαφέρει από την πραγματική για (σχεδόν) κάθε χρονική στιγμή, εάν το σώμα δεν ακολουθεί την ομαλή κίνηση ($v = \text{σταθ.}$).

Στιγμιαία ταχύτητα (v_{σ})

Εάν το σώμα ακολουθεί μη ομαλή κίνηση, η ταχύτητά του μεταβάλλεται. Η τιμή της εξαρτάται από το ζεύγος των σημείων της τροχιάς που θα θεωρήσουμε (Εξ. 1). Τότε, αυτό που χαρακτηρίζει την κίνηση είναι η ταχύτητα του σώματος σε κάθε σημείο της τροχιάς του, την οποία αποκαλούμε στιγμιαία ταχύτητα (v_{σ}).

Την v_{σ} προσδιορίζουμε εφαρμόζοντας την Εξ. (1) εφόσον το δεύτερο επιλεγόμενο σημείο x_2 τείνει να συμπέσει με το πρώτο, το x_1 . Σ' αυτή την περίπτωση η προδιάθεση σύμπτωσης των δύο σημείων x_2 και x_1 συνεπάγεται τον οριακό μηδενισμό του χρονικού διαστήματος Δt , διότι τείνουμε να περιγράψουμε το αυτό σημείο της τροχιάς το οποίο χαρακτηρίζεται από μια χρονική στιγμή και μόνον.

Η μαθηματική έκφραση που αποδίδει τον παραπάνω συλλογισμό είναι η ακόλουθη, προερχόμενη από την Εξ. (1) όταν το Δt τείνει στο μηδέν

$$v_{\sigma} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} \quad (2)$$

Στην πραγματικότητα, αλλά και σε κάθε πείραμα μετρήσεων κινηματικής σαν και αυτά που θα εκτελέσουμε, η “στιγμιαία” ταχύτητα μπορεί να αποδοθεί στο μικρότερο εκείνο διάστημα για το οποίο είναι δυνατόν να προσδιορισθεί πειραματικά ο χρόνος τον οποίο χρειάστηκε το κινητό για να το καλύψει.

Επειδή το μικρότερο διάστημα εφικτής μέτρησης είναι το βήμα Δs μιας σπείρας του σπειράματος, η “στιγμιαία” ταχύτητα του κινητού θα αντιστοιχεί σε κάθε μια σπείρα (i) και θα ισούται με

$$v_{\sigma}^i = \frac{\Delta s}{(\Delta t)_i} \quad (3)$$

Φυσικά, η παραπάνω αναγκαιότητα οδηγεί σε προσέγγιση της πραγματικής κατάστασης του κινητού και εξαρτάται από τα κριτήρια και τις προσδοκίες μας εάν θα την θεωρήσουμε ικανοποιητική ή θα περιορισθούμε μόνο σε συμπεράσματα της δεδομένης προσέγγισης.

Το κύριο συμπέρασμα από τις μετρήσεις της v_{σ}^i , σύμφωνα με την Εξ. (3.3), αφορά το ερώτημα αν το σύνολο των δυνάμεων που ενεργούν πάνω στο σώμα έχουν άθροισμα μηδέν ή καμιά δύναμη δεν δρα επί του σώματος.

2.3 Επιτάχυνση (a)

Με όμοιο τρόπο ορίζουμε ως **επιτάχυνση** ενός κινητού το ρυθμό με τον οποίο μεταβάλλεται η ταχύτητά του με το χρόνο. Αριθμητικά η επιτάχυνση ισούται με τη μεταβολή της ταχύτητας στη μονάδα του χρόνου.

Διακρίνουμε και πάλι δύο είδη, τη μέση επιτάχυνση και τη στιγμιαία τα οποία ορίζονται με όμοιο τρόπο όπως και τα είδη ταχύτητας, εάν αντί της θέσης του κινητού θεωρήσουμε τη στιγμιαία ταχύτητα που το χαρακτηρίζει στη θέση αυτή.

Μέση επιτάχυνση (a_{μ})

Εάν γνωρίζουμε τις στιγμιαίες ταχύτητες του σώματος v_2, v_1 στις αντίστοιχες θέσεις του x_2, x_1 και το χρονικό διάστημα $t_2 - t_1$ που χρειάστηκε για να μετακινηθεί από το ένα σημείο χ_1 στο χ_2 , τότε:

$$a_{\mu} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (4)$$

Η τιμή την οποία βρίσκουμε είναι αντιπροσωπευτική για το διάστημα x_2, x_1 και είναι δυνατόν να διαφέρει της πραγματικής για ορισμένη χρονική στιγμή, εάν το κινητό δεν ακολουθεί ομαλά επιταχυνόμενη ή ομαλά επιβραδυνόμενη κίνηση ($a = \text{σταθ.}$).

Στιγμιαία επιτάχυνση (a_{σ})

Στην περίπτωση που το σώμα ακολουθεί κίνηση μη ομαλά επιταχυνόμενη, ή επιβραδυνόμενη, η μεταβαλλόμενη επιτάχυνση του απαιτείται να προσδιορισθεί σε κάθε σημείο της τροχιάς του, οπότε οδηγούμαστε στον προσδιορισμό της στιγμιαίας επιτάχυνσης (a_{σ}).

Η a_{σ} προσδιορίζεται με τον ίδιο ακριβώς συλλογισμό με τον οποίο προσδιορίσαμε τη στιγμιαία ταχύτητα και έχει παρόμοια μαθηματική έκφραση:

$$a_{\sigma} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \quad (5)$$

Στην πραγματικότητα και πάλι, όπως και στα πειράματα, η στιγμιαία επιτάχυνση αποδίδεται στο μικρότερο εκείνο διάστημα για το οποίο είναι δυνατόν να διαπιστωθεί πειραματικά εάν η ταχύτητα του κινητού έχει αλλάξει ή παρέμεινε σταθερή. Είναι φανερό ότι το ελάχιστο αυτό απαιτούμενο διάστημα, στην προκειμένη πειραματική διάταξη, είναι ίσο με αυτό δύο διαδοχικών σπειρών στις οποίες μπορούμε να μετρήσουμε την ενδεχόμενη αλλαγή της v_σ (Εξ. 3).

Η αντίστοιχη έκφραση της a_σ συναρτήσει των πρωτογενών μεγεθών για δύο διαδοχικές σπείρες (i-1) (i), είναι:

$$a_\sigma = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\frac{\Delta s}{\Delta t_i} - \frac{\Delta s}{\Delta t_{i-1}}}{\Delta t_i + \Delta t_{i-1}} \quad (6)$$

Από την έκφραση αυτή, και λαμβάνοντας υπόψη τους τύπους διάδοσης των σφαλμάτων, συμπεραίνεται ότι η ακρίβεια στον προσδιορισμό της a_σ , σε σύγκριση με τον προσδιορισμό της v_σ (Εξ. 3) οδηγεί σε μεγαλύτερη διασπορά των τιμών της επιτάχυνσης. Με άλλα λόγια, οι μετρήσεις της a_σ απαιτούν μεγαλύτερη προσοχή από ότι αυτές που αφορούν την v_σ .

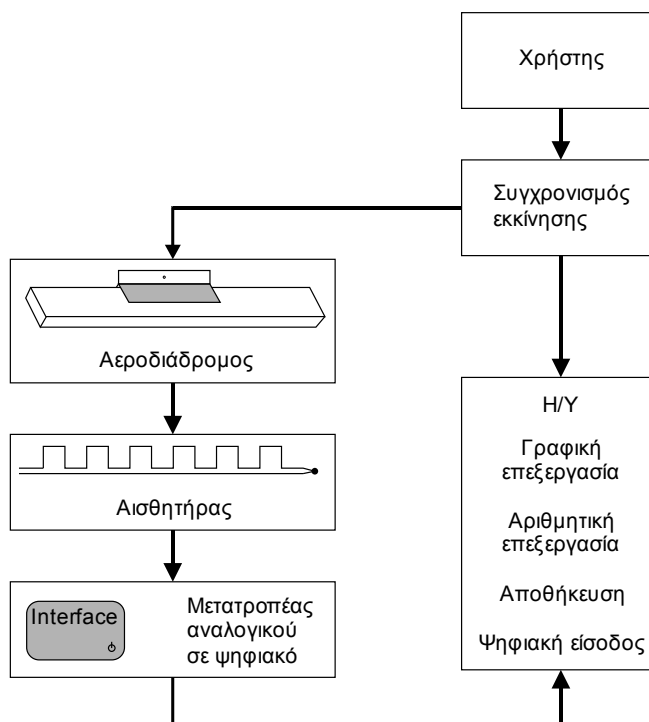
Οι παραπάνω παρατηρήσεις χρησιμεύουν να συγκρίνουμε μεγέθη και καταστάσεις ώστε να μπορούμε να ελέγξουμε ενδεχόμενα συμπεράσματα, αν και κατά πόσο οι δυνάμεις που δρουν πάνω στο κινητό (τις οποίες συμπεραίνουμε από τις πειραματικές μετρήσεις της επιτάχυνσης) είναι οι αναμενόμενες και έχουν σταθερή τιμή, ή παρεμβαίνουν άλλες δυνάμεις τις οποίες δεν είχαμε προβλέψει.

3. Πειραματική διάταξη

3.1 Συνοπτική περιγραφή της διάταξης

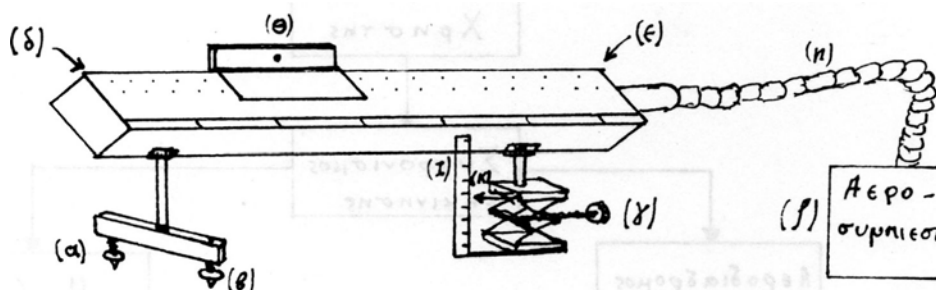
Η πειραματική διάταξη αποτελείται από τις ακόλουθες μονάδες (Σχ.1):

- α) Τον αεροδιάδρομο πάνω στον οποίο το κινούμενο σώμα (ιππέας), διαγράφει την τροχιά του.
- β) Το σύστημα αισθητήρα με το οποίο καταγράφονται στοιχεία της πορείας του κινητού.
- γ) Τον μετατροπέα (αναλογικό/ψηφιακό) μέσω του οποίου μεταβιβάζονται με κατάλληλη μορφή προς επεξεργασία, τα καταγραφόμενα στοιχεία (δεδομένα τροχιάς)
- δ) Τον ηλεκτρονικό υπολογιστή (H/Y) με τον οποίο τα δεδομένα παρατήρησης καταχωρούνται, επεξεργάζονται, αποθηκεύονται και προβάλλονται στο χρήστη με επιλεγμένο τρόπο
- ε) Τη μονάδα συγχρονισμού η οποία ενεργοποιείται από το χρήστη και επιβάλλει ταυτόχρονη εκκίνηση του κινητού και της καταγραφής της τροχιάς του.



Σχήμα 1. Λειτουργικό διάγραμμα της διάταξης του αεροδιαδρόμου

3.2 Περιγραφή-ρύθμιση αεροδιαδρόμου (Σχήμα 2)



Σχήμα 2. Διάταξη αεροδιαδρόμου με τους κοχλίες ρύθμισης α, β, γ.

Ο αεροδιάδρομος αποτελείται από ευθύγραμμο μεταλλικό σωλήνα ορθογώνιας διατομής, ο οποίος έχει δυνατότητα οριζοντίωσης με σύστημα τριών μικρομετρικών κοχλιών (α), (β), (γ). Οι κοχλίες αυτοί αντιστοιχούν στα μόνα σημεία στήριξης του αεροδιαδρόμου με τον πάγκο εργασίας.

Ο ορθογώνιος σωλήνας μήκους περίπου 2.5 m στηρίζεται με τρόπο ώστε η μια του ακμή (δ-ε) να αποτελεί το ανώτατο άκρο του, οι δύο δε εκατέρωθεν διαδοχικές πλευρές του να έχουν την αυτή πλευρική κλίση ($\varphi = 45^\circ$) ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Η κλίση αυτή επιτυγχάνεται με τους δύο μικρότερους κοχλίες (α) και (β).

Ο τρίτος και μεγαλύτερος κοχλίας (γ) που ρυθμίζει το ύψος του αναβατόριου, χρησιμεύει στην οριζοντίωση του αεροδιαδρόμου αλλά και στην επίτευξη επιθυμητής κλίσης της ακμής (δ-ε) ως προς το οριζόντιο επίπεδο, δηλαδή την κατασκευή ενός κεκλιμένου επιπέδου προκαθορισμένης κλίσης.

Η κατασκευή του αεροδιάδρομου είναι τέτοια ώστε η ρύθμιση πλευρικής κλίσης 45° (κοχλίες α , β) να μην επηρεάζει και να μην επηρεάζεται από τη ρύθμιση οριζοντιώσεως ή επιθυμητής κλίσης του κεκλιμένου επιπέδου (κοχλίας γ).

Ο ορθογώνιος μεταλλικός σωλήνας φέρει στις δύο πάνω διαδοχικές πλευρές του, δίκτυο από τρύπες σε κανονικά διαστήματα ώστε να επιτρέπεται η ομοιόμορφη εκροή αέρος υπό πίεση καθ' όλο το μήκος του. Ο υπό πίεση αέρας παράγεται από κατάλληλο αεροσυμπιεστή (ζ) σταθερής παροχής και πίεσης αέρος, ο οποίος συνδέεται με εύκαμπτο αγωγό (η) με το ορθογώνιο μεταλλικό σωλήνα χωρίς να διαταράσσει τις ρυθμίσεις πλευρικής κλίσης ή οριζοντιώσεως.

Στην επάνω ακμή (δ - ϵ) του ορθογώνιου σωλήνα τοποθετείται το κινητό που στις διατάξεις αεροδιαδρόμου ονομάζεται ιπέας (θ), το οποίο αποτελείται από δύο μεταλλικές επιφάνειες σε ορθογώνιο σχηματισμό. Το πλάτος των δύο επιφανειών του ιπέα είναι αρκετό ώστε να υπερκαλύπτει το δίκτυο με τις τρύπες εκροής αέρα. Ο ιπέας έχει μάζα περίπου 150 g, μήκος περίπου ίσο με 18 cm, φέρει κατάλληλες υποδοχές στήριξης εξαρτημάτων και έναν μικρό φυσικό μαγνήτη κατάλληλα διαμορφωμένο.

Λόγω της κατασκευής και στήριξης του ιπέα με τον τρόπο που αναφέρθηκε, ο υπό πίεση αέρας που εκρέει από τις τρύπες εγκλωβίζεται στιγμιαία μεταξύ των μεταλλικών επιφανειών του ιπέα και των επιφανειών του αεροδιαδρόμου, δημιουργώντας δύο ανυψωτικές δυνάμεις κάθετα στις αντίστοιχες επιφάνειες του ιπέα. Η συνισταμένη των δύο αυτών δυνάμεων οφείλει να έχει φορέα την κατακόρυφο διεύθυνση της βαρύτητας και φορά αντίθετη προς αυτή ώστε να μπορεί να την εξουδετερώνει. Η σκοπιμότητα αυτή δικαιολογεί και την ανάγκη ρύθμισης της πλευρικής κλίσης του αεροδιαδρόμου.

Με τις παραπάνω απαιτούμενες ρυθμίσεις επιτυγχάνεται η συνεχής παρεμβολή λεπτού στρώματος αέρα ανάμεσα στον ιπέα και τον αεροδιάδρομο, οπότε εκμηδενίζονται σχεδόν οι τριβές κατά τη μεταξύ τους σχετική κίνηση. Το στρώμα αυτό αέρα, πάχους περίπου 0.1 – 0.2 mm, οφείλει να είναι ισοπαχές και το αυτό στις δύο επιφάνειες του ιπέα. Το γεγονός αυτό αποτελεί το κριτήριο καλής ρύθμισης του αεροδιαδρόμου (σωστή πλευρική κλίση), ανεξάρτητα εάν βρίσκεται στην οριζόντια θέση ή βρίσκεται σε επιθυμητή κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

Τυχόν αποκλίσεις από τα παραπάνω αναφερόμενα εισάγουν φαινόμενα τριβής τυχαίου ή συστηματικού χαρακτήρα, τα οποία παρεμβαίνουν έντονα στις μετρήσεις.

Ορια ρυθμίσεων:

Ως προς την σωστή πλευρική κλίση, οι επιβαλλόμενες ρυθμίσεις είναι μικρές διορθωτικές κινήσεις των κοχλιών (α) και (β), οι οποίοι πρέπει να ασφαλίζονται ξανά με τη σύσφιξη των κατάλληλων κοχλιών και να μη γίνονται άλλες επεμβάσεις μετά από μια ικανοποιητικής ρύθμιση, εκτός εάν προκύψει ανάγκη μετά από ελεγμένες μετρήσεις. Οι ρυθμίσεις αυτές ελέγχονται τακτικά από το προσωπικό του εργαστηρίου και δεν χρειάζεται να επέμβετε σε αυτές.

Ως προς την οριζόντια ρύθμιση, κριτήριο αποτελεί η ικανοποιητική ακινητοποίηση του ιπέα στο μέσον περίπου του αεροδιαδρόμου, όταν αυτός αφήνεται ελεύθερος να κινηθεί, όπως περιγράφεται σε επόμενη παράγραφο.

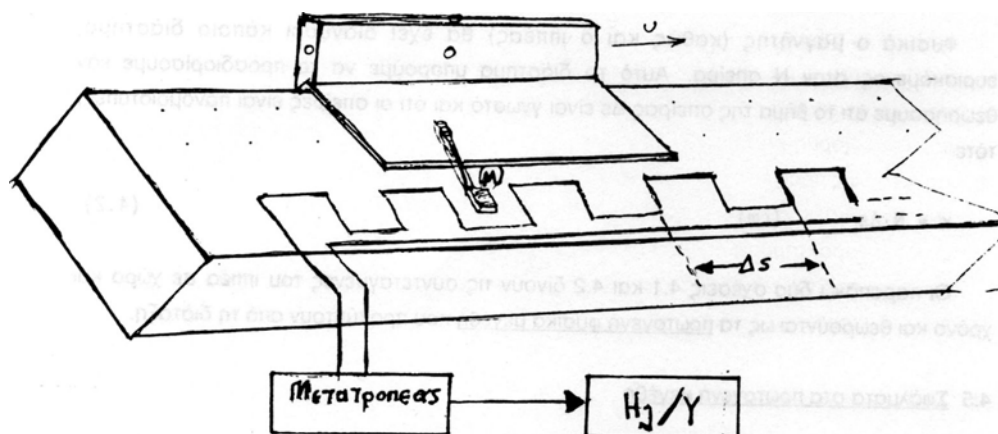
Τέλος,, ως προς τον καθορισμό μιας επιθυμητής κλίσης ως προς το οριζόντιο επίπεδο (κίνηση σε κεκλιμένο επίπεδο), αυτή εξαρτάται από την υψομετρική θέση του αναβατόριου, η οποία μπορεί να μετρηθεί με την βοήθεια της κατακόρυφης κλίμακας (I), πάνω στην οποία έχει προηγουμένως ορισθεί η σχετική θέση μηδενός που αντιστοιχεί στη ρύθμιση οριζοντιώσεως του αεροδιαδρόμου.

Η μέγιστη κατακόρυφη μετατόπιση του αεροδιαδρόμου δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από ± 6 cm για την καλή λειτουργία της διάταξης.

3.3 Περιγραφή-λειτουργία αισθητήρα (Σχ. 3)

Κατά μήκος του αεροδιαδρόμου είναι προσαρτημένο ένα χάλκινο μονωμένο σπείραμα μορφής μαιάνδρου, το οποίο ανιχνεύει τη διέλευση ενός μικρού φυσικού μαγνήτη (M) πάνω από τις σπείρες του. Ο μαγνήτης, ο οποίος είναι προσαρτημένος σταθερά επάνω στον ιπέα, επάγει στο σπείραμα παλμούς ηλεκτρεγερτικής δύναμης, λόγω μεταβολής της μαγνητικής ροής κάθε φορά που αυτός εισέρχεται ή εξέρχεται από μια σπείρα. Οι παλμοί αυτοί, αφού ενισχυθούν και σχηματοποιηθούν κατάλληλα από τον Μετατροπέα, οδηγούνται στον Η/Υ.

Ο υπολογιστής διαθέτει ένα εσωτερικό χρονομετρητή, διακριτικής ικανότητας 10 microsecond και επομένως είναι σε θέση να χρονομετρεί τις διαδοχικές διελεύσεις του μαγνήτη πάνω από τις σπείρες του μαιάνδρου καθώς ο ιπέας κινείται.



Σχήμα 3. Αρχή λειτουργίας του αισθητήρα.

Το πρόγραμμα του υπολογιστή στη συνέχεια καταχωρεί τα μετρούμενα χρονικά διαστήματα (Δt_i) σύμφωνα με τον αύξοντα αριθμό (i) της αντίστοιχης σπείρας, τις αποθηκεύει, τις επεξεργάζεται και τις προβάλλει στην οθόνη σύμφωνα με τις εντολές που δέχεται από το χρήστη της διάταξης.

Τα όρια της εύρυθμης λειτουργίας του μετατροπέα ο οποίος κωδικοποιεί και στέλνει την πληροφορία στον Η/Υ αντιστοιχούν σε μέγιστο χρόνο διέλευσης από μια σπείρα $\Delta t_{max} \approx .5$ sec και ελάχιστο χρόνο $\Delta t_{min} \approx 0.01$ sec.

3.4 Πρωτογενή πειραματικά μεγέθη

Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα καταγραφής (Παρ. 3.3) το φυσικό μέγεθος το οποίο άμεσα καταγράφεται από τη διάταξη είναι οι χρόνοι διέλευσης (Δt_i) του φυσικού μαγνήτη (επομένως και του ιπέα) από την αντίστοιχη σπείρα (i) του σπειράματος.

Ο αύξων αριθμός (i) της σπείρας μπορεί να προσδιοριστεί εφόσον γνωρίζουμε τη θέση της αντίστοιχης σπείρας που βρισκόταν ο φυσικός μαγνήτης κατά την εκκίνηση των μετρήσεων.

Επομένως, τα ζεύγη τιμών Δt_i και i (για κάθε σπείρα) αποτελούν τα πρωτογενή πειραματικά μεγέθη που προκύπτουν από την συγκεκριμένη πειραματική διάταξη και τεχνική ανίχνευσης της

κίνησης. Αυτά είναι και τα μεγέθη τα οποία αντιλαμβάνεται ο H/Y, μέσω της ψηφιακής του εισόδου, η οποία είναι η παράλληλη θύρα εκτυπωτή που διαθέτει.

Επομένως, εάν ορίσουμε τη στιγμή εκκίνησης των μετρήσεων ως αρχή των χρόνων $t_0 = 0$ και την αντίστοιχη αρίθμηση σπείρας ως μηδενική ($i = 0$), τότε σε τυχαία θέση (i) του αεροδιαδρόμου κατά την κίνηση του ιπέα, αυτός θα έχει προσπεράσει N αριθμό σπειρών και θα έχει παρέλθει αντίστοιχα χρονικό διάστημα t

$$t_i = \sum_{i=0}^N (\Delta t)_i \quad (5)$$

Το διάστημα x_i το οποίο διένυσε ο ιπέας από την εκκίνησή του έως ότου φθάσει στην θέση (i) μπορούμε να το προσδιορίσουμε εάν γνωρίζοντας ότι Δs είναι γνωστό και ότι οι σπείρες είναι πανομοιότυπες, οπότε

$$x_i = N \cdot \Delta s \quad (6)$$

Οι παραπάνω δύο σχέσεις (5) και (6) δίνουν τις συντεταγμένες του ιπέα σε χώρο και χρόνο και θεωρούνται ως τα πρωτογενή πειραματικά μεγέθη που προκύπτουν από τη διάταξη.

3.5 Σφάλματα στα πρωτογενή μεγέθη

Η έναρξη των μετρήσεων στη διάταξη γίνεται από τη στιγμή που θα σημειωθεί διέλευση του μαγνήτη του ιπέα από το πρώτο άκρο της σπείρας, από το οποιοδήποτε σημείο εκκίνησής του πάνω στον αεροδιάδρομο.

Ομοίως, κάθε μέτρηση χρονικού διαστήματος $(\Delta t)_i$ ολοκληρώνεται όταν ο μαγνήτης του ιπέα προσπεράσει την εκάστοτε σπείρα (i) του σπειράματος.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, έπεται ότι στην προκειμένη διάταξη πρώτα ορίζονται τα σημεία έναρξης και λήξης στον χώρο (αρχική και τελική σπείρα) στα οποία θα γίνουν μετρήσεις και στη συνέχεια καταμετράται ο χρόνος που απαιτείται ο ιπέας να καλύψει την απόσταση αυτή. Άρα, με τη μέθοδο καταγραφής που χρησιμοποιούμε, ανεξάρτητη μεταβλητή είναι η θέση του κινητού (αύξων αριθμός σπείρας) και εξηρητημένη μεταβλητή είναι ο χρόνος.

Σε πρώτη ματιά, ο αύξων αριθμός σπείρας έχει διακριτές ακέραιες τιμές και δεν επιδέχεται την εισαγωγή σφάλματος. Δηλαδή ο μαγνήτης του ιπέα ή θα έχει προσπεράσει μια σπείρα ή όχι, όπως κάθε ψηφιακός μετατροπέας. Αν θεωρήσουμε ότι όλες οι σπείρες έχουν το ίδιο βήμα το οποίο είναι γνωστό με ακρίβεια της τάξης του δεκάτου του mm ή και μεγαλύτερη, μπορούμε αρχικά να θεωρήσουμε ότι στον προσδιορισμό του μήκους έχουμε ακρίβεια της τάξης του ± 0.05 cm ή 0.0005 m. Υποθέτουμε βέβαια ότι το βήμα της κάθε σπείρας είναι πανομοιότυπο και σταθεράς τιμής Δs , πράγμα όμως το οποίο δεν αληθεύει, λόγω κατασκευαστικών δυσκολιών του σπειράματος.

Όσον αφορά την μέτρηση του χρόνου διέλευσης του μαγνήτη από μια σπείρα ή μεταξύ δύο σπειρών, επίσης σε μια πρώτη ματιά θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε ότι επειδή ο χρονομετρητής του H/Y έχει μεγάλη διακριτική ικανότητα (~ 10 microsecond) η μέτρηση των χρονικών διαστημάτων $(\Delta t)_i$, σαν εναλλαγές σήματος της ψηφιακής εισόδου, είναι εξαιρετικά ακριβής. Στην πράξη όμως, υπάρχουν διάφορες πηγές σφάλματος στον καθορισμό της χρονικής στιγμής κατά την οποία συμβαίνει μια διέλευση.

Η πρώτη πηγή σφάλματος είναι η κατασκευαστική ανομοιομορφία του σπειράματος που περιγράψαμε παραπάνω. Η επίδραση όμως αυτού του σφάλματος σε διάστημα πολλών σπειρών

τείνει να εξουδετερώνεται. Πράγματι, αν μια σπείρα είναι κατά τι μικρότερη από το κανονικό, η επόμενη θα είναι κατά τι μεγαλύτερη, με συνέπεια ο αντίστοιχος χρόνος διέλευσης στην περίπτωση ομαλής κίνησης του ιππέα να είναι αντίστοιχα λίγο μικρότερος και λίγο μεγαλύτερος από τον πραγματικό. Σε ένα διάγραμμα $v - t$ μιας απόλυτα ομαλής κίνησης και με έναν ιδανικής κατασκευής μετατροπέα, θα διαπιστώναμε ότι οι αποκλίσεις των πειραματικών σημείων από μια οριζόντια ευθεία που αναπαριστά την θέση του μέσου όρου των μετρήσεων είναι εναλλάξ θετικές και αρνητικές, δηλαδή έχουν τον χαρακτήρα τυχαίων σφαλμάτων.

Επίσης, ο Μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό σήμα εισάγει δύο είδη σφάλματος. Το πρώτο οφείλεται στον ηλεκτρονικό θόρυβο του εσωτερικού ενισχυτή των πολύ μικρού πλάτους παλμών επαγωγικής τάσης (~50 μV) που παράγει ο μαγνήτης κατά την διέλευσή του από τις σπείρες. Πράγματι, στην επαγωγική τάση που παράγεται από το σπείραμα προστίθεται ο ηλεκτρονικός θόρυβος και ενισχύεται και αυτός, με αποτέλεσμα η χρονική στιγμή διέλευσης του μαγνήτη από κάθε σπείρα όταν ο ιππέας κινείται με απόλυτα σταθερή ταχύτητα να παρουσιάζει μια αβεβαιότητα στον προσδιορισμό της. Επειδή ο ηλεκτρονικός θόρυβος είναι τυχαίας φύσης, η επίδρασή του σε διάστημα πολλών σπειρών τείνει να εξουδετερώνεται, έχει δηλαδή τον χαρακτήρα τυχαίου σφάλματος.

Το δεύτερο είδος σφάλματος που προέρχεται από τον Μετατροπέα οφείλεται στο κατώφλι ανίχνευσης της κίνησης του κινητού από τον μετατροπέα. Όταν η ταχύτητα του ιππέα είναι μικρή, οι παλμοί επαγωγικής τάσης έχουν μεγάλο χρονικό εύρος και μικρό πλάτος, διότι το φαινόμενο της επαγωγής εξαρτάται από την ταχύτητα μεταβολής της μαγνητικής ροής. Οριακά, όταν η ταχύτητα του ιππέα είναι μικρότερη από ένα κατώτατο όριο, ο μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό δεν ανιχνεύει καθόλου την κίνηση του κινητού, ενδέχεται δηλαδή ο μαγνήτης να διέλθει από μια σπείρα με τόσο χαμηλή ταχύτητα, ώστε να μην διεγερθεί ο μετατροπέας. Αυτό προφανώς συνιστά αδυναμία της πειραματικής διάταξης, και οδηγεί σε συστηματικό σφάλμα που επηρεάζει την μέτρηση και του ολικού διαστήματος και του ολικού χρόνου της κίνησης και είναι ο λόγος για τον οποίο η διάταξη έχει ένα κάτω όριο ταχύτητας ιππέα για την εύρυθμη λειτουργία της.

Αντίθετα τώρα, όταν η ταχύτητα του ιππέα είναι μεγάλη, τα χρονικά διαστήματα διέλευσης από τις σπείρες μικραίνουν σημαντικά, με αποτέλεσμα η διασπορά των Δt_i να οδηγεί σε σημαντική αύξηση των τυχαίων σφαλμάτων. Οριακά, λόγω της κατασκευής του μετατροπέα ψηφιακού σε αναλογικό, σε πολύ μεγάλες ταχύτητες του ιππέα, ο μετατροπέας αρχίζει να “πηδάει” σπείρες, με αποτέλεσμα να προκύπτουν μετρήσεις με σημεία ασυνέχειας που δεν έχουν φυσική σημασία. Για το λόγο αυτό, η πειραματική διάταξη έχει ένα άνω όριο εύρυθμης λειτουργίας όσον αφορά την ταχύτητα του ιππέα.

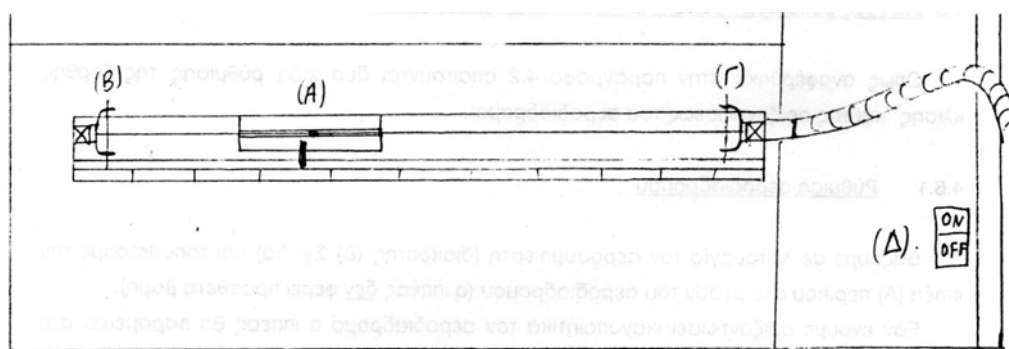
Τέλος, ένας άλλος λόγος ο οποίος επηρεάζει την διασπορά των πειραματικών αποτελεσμάτων οφείλεται στον υπολογισμό της ταχύτητας του ιππέα και των παραγομένων μεγεθών από αυτήν (βλ. τύπους 1 και 6 της Παραγρ. 2). Αυτό συμβαίνει λόγω του μηχανισμού διάδοσης των σφαλμάτων στα παράγωγα μεγέθη της κίνησης, δηλ. την ταχύτητα και την επιτάχυνση, με αποτέλεσμα όσο μικραίνουν τα χρονικά διαστήματα Δt_i , δηλαδή όσο μεγαλώνει η ταχύτητα του κινητού, τόσο μεγαλώνει και η διασπορά των πειραματικών σημείων. Το φαινόμενο γίνεται ιδιαίτερα εμφανές στην περίπτωση μετρήσεων επιταχυνόμενης κίνησης σε κεκλιμένο επίπεδο, όπου στο διάγραμμα $v - t$ και στην αρχή των μετρήσεων (μικρές ταχύτητες) η διασπορά των σημείων είναι μικρή, και όσο μεγαλώνει η ταχύτητα, η διασπορά μεγαλώνει. Σε σχέση με την αντίστοιχη ευθεία ελαχίστων τετραγώνων όμως, θα παρατηρήσουμε ότι τα πειραματικά σημεία βρίσκονται εναλλάξ πάνω και κάτω από αυτήν, τα σφάλματα δηλαδή έχουν τυχαίο χαρακτήρα.

Αντίστοιχα, οι πειραματικές μετρήσεις της επιτάχυνσης έχουν μεγαλύτερη διασπορά από αυτές της ταχύτητας, και όσο μεγαλώνει η επιτάχυνση, τόσο μεγαλώνει και η διασπορά των σημείων πάνω και κάτω από την αντίστοιχη ευθεία ελαχίστων τετραγώνων.

3.6 Έλεγχος ρυθμίσεων-χαρακτηριστικών της διάταξης

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 3.2 απαιτούνται δύο είδη ρύθμισης της "ορθής κλίσης" και της οριζοντιώσεως του αεροδιάδρομου. Η πλευρική κλίση ελέγχεται από το προσωπικό του εργαστηρίου, οπότε στα επόμενα αναφερόμαστε μόνο στην ρύθμιση της οριζοντιώσεως.

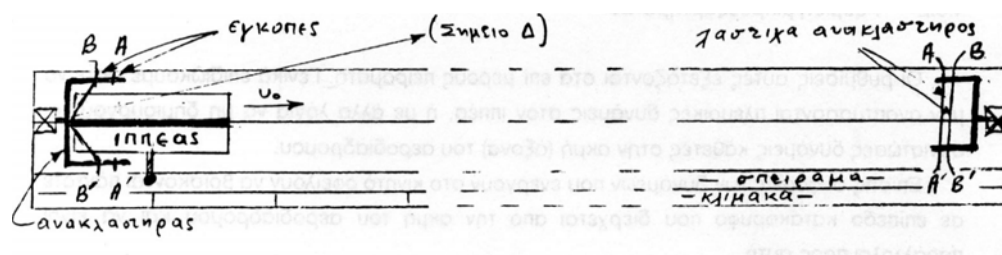
Βάζουμε σε λειτουργία τον αεροσυμπιεστή (διακόπτης (Δ) Σχ. 4) και τοποθετούμε τον ιππέα (Α) περίπου στο μέσον του αεροδιάδρομου (ο ιππέας δεν φέρει πρόσθετα βάρη).



Σχήμα 4. Πάγκος εργασίας αεροδιαδρόμου.

Εάν έχουμε οριζοντιώσει ικανοποιητικά τον αεροδιάδρομο ο ιππέας θα παραμείνει στη θέση που τον τοποθετήσαμε τουλάχιστον για 20 sec, εκτελώντας ενδεχόμενα μικρές τοπικές ταλαντώσεις πλάτους μερικών mm (λόγω της εκροής του πεπιεσμένου αέρα).

Με τη βοήθεια του ανακλαστήρα έναρξης της κίνησης (τον αριστερό όπως βλέπετε τον αεροδιάδρομο) προσδίδουμε αρχική ταχύτητα στον ιππέα, περίπου $v_0 = 50$ cm/sec. Για να πετύχουμε την επιθυμητή αυτή ταχύτητα, συγκρατούμε τον ιππέα ώστε το λαστιχάκι του ανακλαστήρα έναρξης να ακουμπήσει στο πίσω μέρος του ανακλαστήρα, όπως στο Σχήμα 5 (Σημείο Δ).



Σχήμα 5. Διάταξη εκτόξευσης ιππέα με ανακλαστήρα.

Ένας χονδρικός έλεγχος της ταχύτητας είναι να εκτιμήσουμε με οπτική προσημασμένη παρατήρηση το μήκος που καλύπτει ο ιππέας σε ένα δευτερόλεπτο. Τη χρονική διάρκεια 1 sec τη δίδει ο δεύτερος φοιτητής της ομάδας με ρολόι χειριού (ή ακόμα και μετρώντας νοητά με σταθερό φυσιολογικό ρυθμό "εκατόν ένα, εκατόν δύο", ένα τέχνασμα που μετά από εξάσκηση μπορεί να προσδιορίσει την διάρκεια ενός δευτερολέπτου με ακρίβεια περίπου 20%)

Μετά την εκτόξευση, ο ιππέας ανακλώμενος διαδοχικά στα δύο άκρα του αεροδιάδρομου θα διαγράφει περιοδική κίνηση. Εάν ο ιππέας διαγράψει 5 περιόδους χωρίς ιδιαίτερη μείωση της

ταχύτητάς του τότε οι ρυθμίσεις του αεροδιαδρόμου θεωρούνται ικανοποιητικές. Αντίθετα, αν στον ίδιο αριθμό περιόδων η ταχύτητα μειωθεί π.χ. στο μισό της αρχικής, ελέγχουμε η διάταξη για τριβές (κακή ρύθμιση πλευρικής κλίσης, επαφή του μαγνήτη με τον αεροδιάδρομο, σκόνη κλπ).

Η λεπτομέρεια κατά την ρύθμιση οριζοντίωσης εξαρτάται από το είδος του πειράματος που πραγματοποιείται. Χρήσιμο είναι πάντως να σημειώνεται το σχετικό ύψος του αναβατήρα στην κλίμακα (I) (βλ. Σχ. 2) μετά την οριζοντίωση, ώστε να διευκολύνεται η προσπάθεια επαναοριζοντιώσεώς του.

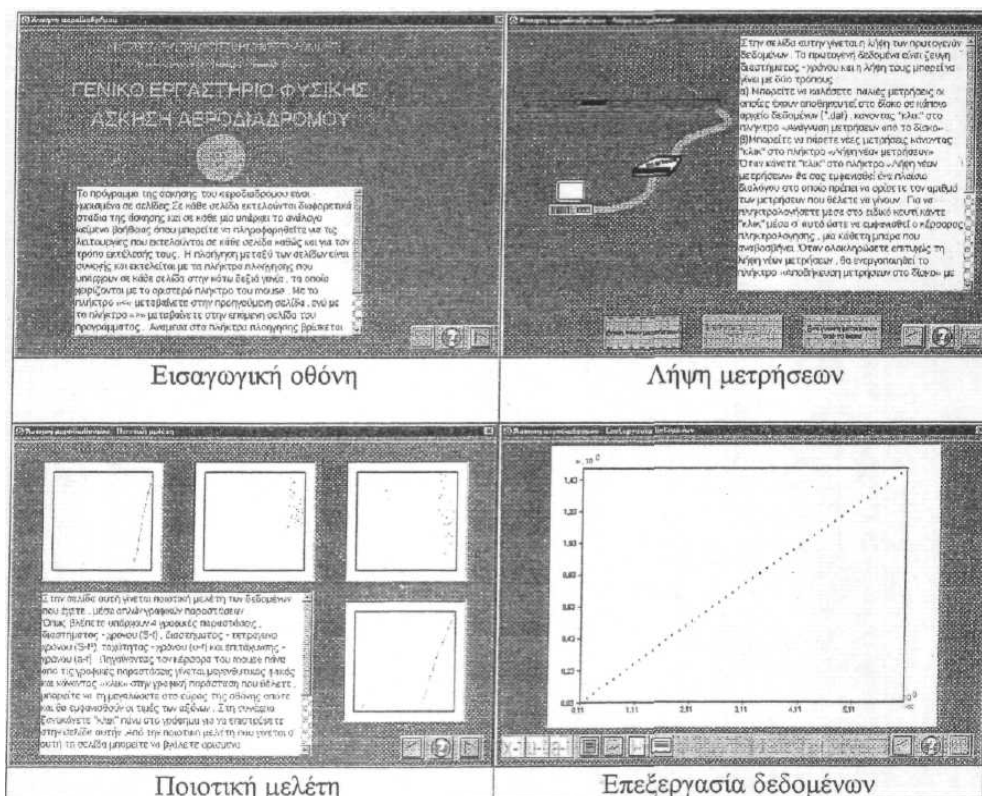
4. Εκτελεστικό μέρος

Σκοπός της άσκησης είναι η πειραματική μελέτη της ευθύγραμμης κίνησης. Η άσκηση καλύπτει τις εξής θεματικές ενότητες:

- Αρχικές ρυθμίσεις της πειραματικής διάταξης.
- Μελέτη ευθύγραμμης ομαλής κίνησης.
- Μελέτη ομαλά μεταβαλλόμενης κίνησης.
- Μέτρηση της απώλειας κινητικής ενέργειας κατά την ανάκρουση κινητού.

4.1. Εκκίνηση της άσκησης

Η άσκηση αποτελεί εφαρμογή των Windows. Όπως όλες οι εφαρμογές στα Windows, η εκκίνηση της άσκησης γίνεται με διπλό κλικ στο αντίστοιχο εικονίδιο που βρίσκεται στην επιφάνεια εργασίας.



Σχήμα 4.1: Οι διαδοχικές οθόνες του προγράμματος

Η άσκηση εκτελείται σε 4 επάλληλες οθόνες όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1. Η πρώτη είναι η Εισαγωγική Οθόνη, και οι υπόλοιπες με τη σειρά είναι οι οθόνες “Λήψη μετρήσεων”, “Ποιοτική μελέτη” και “Επεξεργασία Δεδομένων”. Η μετάβαση από οθόνη σε οθόνη γίνεται με τα βέλη πλοήγησης ◀ και ▶, που βρίσκονται στο κάτω δεξί μέρος της κάθε οθόνης. Ανάμεσα στα βέλη πλοήγησης υπάρχει το πλήκτρο βοήθειας [?].

4.2. Αρχικές ρυθμίσεις της πειραματικής διάταξης

Ο αεροδιάδρομος αρχικά πρέπει να είναι σε οριζόντια θέση. Για την οριζοντίωση του διαδρόμου βασιζόμαστε την φυσική αρχή “όταν σ' ένα σώμα δεν ασκείται καμία δύναμη, το σώμα ηρεμεί ή εκτελεί ευθύγραμμη ομαλή κίνηση”. Η οριζοντίωση του διαδρόμου γίνεται σε δύο στάδια:

1. **Αρχική οριζοντίωση:** Φέρετε τον ιππέα στο κέντρο του αεροδιαδρόμου, τροφοδοτήστε με αέρα και διορθώστε την κλίση ώστε ο ιππέας να ισορροπεί.
2. **Λεπτομερής οριζοντίωση :** Βασίζεται στη μέτρηση της ταχύτητας του ιππέα. Εκκινήστε το πρόγραμμα στον υπολογιστή. Δώστε μια αρχική ταχύτητα στον ιππέα και εκτελέστε καταγραφή των μετρήσεων (50 σημεία). Στην οθόνη “ποιοτικής μελέτης” παρατηρήστε το διάγραμμα της ταχύτητας του κινητού. Διορθώστε την οριζοντίωση έως ότου η ταχύτητα του ιππέα να είναι σταθερή

ΠΡΟΣΟΧΗ: Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων να μην έχετε ανάκρουση του ιππέα.

4.3. Ανάκρουση του κινητού

Στόχος: Να προσδιοριστεί αν η ανάκρουση του κινητού στο λάστιχο είναι ελαστική κρούση ή όχι.

Εκτέλεση: Ο αεροδιάδρομος πρέπει να είναι σε οριζόντια θέση. Θέτετε σε κίνηση τον ιππέα επιλέγετε διάστημα καταγραφής **100 σπειρών**. Ξεκινάτε τη μέτρηση ώστε σαφώς να έχετε ανάκρουση κατά τη διάρκεια της καταγραφής. Από τη γραφική παράσταση της ταχύτητας ($v - t$) προσδιορίστε το σημείο της ανάκρουσης.

Προσδιορίστε την ταχύτητα του ιππέα πριν και μετά την ανάκρουση. Είναι η ανάκρουση ελαστική; Επαναλάβετε άλλη μια φορά το πείραμα δίνοντας στον ιππέα μεγαλύτερη ταχύτητα.

Επεξεργασία: Καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας I: Μετρήσεις ανάκρουσης

<i>a/a</i>	<i>v_{πριν}</i>	<i>v_{μετά}</i>	<i>% απώλεια ενέργειας</i>
1 ^η παρατήρηση			
2 ^η παρατήρηση			

Ερώτηση: Είναι η ανάκρουση ελαστική; Εξαρτάται η απώλεια της κινητικής ενέργειας από την ταχύτητα πρόσκρουσης;

Υπόδειξη: Για τους υπολογισμούς σας μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τον “υπολογιστή” (calculator) των Windows.

4.4. Μελέτη της ευθύγραμμης ομαλής κίνησης

Στόχος : Να προσδιοριστεί πειραματικά η εξίσωση κίνησης για ευθύγραμμη ομαλή κίνηση.

Εκτέλεση: Όπως και στο μέρος 2, εκτελέστε το πείραμα καταγραφής της κίνησης επιλέγοντας τον αριθμό των μετρήσεων ώστε **κατά τη διάρκεια της καταγραφής να μην έχετε ανάκρουση** του ιπέα. Παρατηρήστε τη μεταβολή της ταχύτητας με το χρόνο. Είναι η κίνηση ευθύγραμμη και ομαλή; Παρατηρήστε τη μεταβολή του διαστήματος με το χρόνο. Ποια σχέση περιγράφει την κίνηση;

Μετρήσεις: Σημειώστε 10 ζεύγη θέσης (s) και χρόνου (t) σε πίνακα τιμών.

Πίνακας II: Μετρήσεις για την ευθύγραμμη ομαλή κίνηση

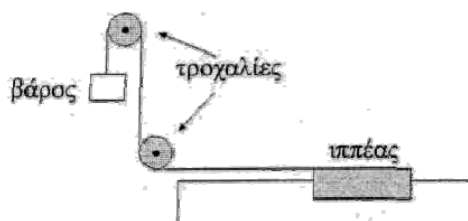
a/a	t (s)	s (m)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Επεξεργασία μετρήσεων:

- Σχεδιάστε σε χαρτί μιλλιμετρέ τα πειραματικά δεδομένα $s - t$.
- Εφαρμόστε Θ.Ε.Τ. και υπολογίστε την αρχική θέση s_0 και την ταχύτητα v της κίνησης.
- Σχολιάστε την τιμή του s_0 που προσδιορίσατε.

4.5. Μελέτη της επιταχυνόμενης κίνησης

Στόχος: Να προσδιοριστεί πειραματικά η εξίσωση κίνησης για ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση.



Σχήμα 4.2: Εφαρμογή σταθερής δύναμης στον ιπέα μέσω τροχαλίας.

Εκτέλεση: Εξαρτήστε στον ιπέα ένα βάρος μέσω της τροχαλίας. Έτσι, στον ιπέα ασκείται μια σταθερή δύναμη (Σχήμα 2). Όπως και στο μέρος 4, εκτελέστε το πείραμα καταγραφής της κίνησης

επιλέγοντας τον αριθμό των μετρήσεων ώστε **κατά τη διάρκεια της καταγραφής να μην έχετε ανάκρουση** του ιππέα.

Παρατηρήστε τη μεταβολή της ταχύτητας με το χρόνο. Είναι η κίνηση ευθύγραμμη και ομαλή; Παρατηρήστε τη μεταβολή του διαστήματος με το χρόνο. Ποια σχέση περιγράφει την κίνηση;

Μετρήσεις: Σημειώστε 10 ζεύγη ταχύτητας (v) και χρόνου (t) σε πίνακα τιμών.

Πίνακας III: Μετρήσεις για την ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση

a/a	t (s)	v (m/s)
1		
2		
1		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Επεξεργασία μετρήσεων:

- Σχεδιάστε σε χαρτί μιλλιμετρέ τα πειραματικά δεδομένα $v - t$.
- Εφαρμόστε Θ.Ε.Τ. και υπολογίστε την αρχική ταχύτητα v_0 και την επιτάχυνση a της κίνησης.

Συνέχεια της μελέτης

- Από την οθόνη "Επεξεργασίας Μετρήσεων" επιλέξτε:
 - α. τη γραφική παράσταση $v - t$, και την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων. Σημειώστε τις τιμές v_0 και a .
 - β. τη γραφική παράσταση $s - t$, και την παραβολή ελαχίστων τετραγώνων. Σημειώστε τις τιμές s_0 , v_0 και a .
- Συγκρίνατε τις τιμές v_0 και a με εκείνες που υπολογίσατε εφαρμόζοντας τη Θ.Ε.Τ.

4.6. Μελέτη του 2^{ου} Νόμου του Νεύτωνα

Στόχος : Να προσδιοριστεί πειραματικά ο 2ος Νόμος του Νεύτωνα.

Εκτέλεση: Έχετε στη διάθεση σας τρία βαρίδια που αποτελούνται από μία, δύο και τρεις ίδιες μάζες αντίστοιχα, και συνεπώς έχουν μάζες m , $2m$ και $3m$. Επαναλάβετε το πείραμα του μέρους 5, ασκώντας στον ιππέα δύναμη F , $2F$ και $3F$. Εκτελέστε για κάθε φορά το πείραμα καταγραφής της κίνησης επιλέγοντας τον αριθμό των μετρήσεων ώστε **κατά τη διάρκεια της καταγραφής να μην**

έχετε **ανάκρουση** του ιππέα. Παρατηρήστε τη μεταβολή της ταχύτητας με το χρόνο. Προσδιορίστε την επιτάχυνση από την οθόνη "Επεξεργασίας Μετρήσεων".

Μετρήσεις: Σημειώστε την επιτάχυνση σε κάθε πείραμα. Μετρήστε το βάρος που εφαρμόζετε και συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας IV: Μετρήσεις για τον 2^ο Νόμο του Νεύτωνα

a/a	Δύναμη (N)	a (m/s²)
1F		
2F		
3F		

Επεξεργασία μετρήσεων:

- Μετρήστε τη μάζα του ιππέα: **m = gr**
- Σχεδιάστε σε χαρτί μιλλιμετρέ τα πειραματικά δεδομένα **F – a**. Υπολογίστε τη μάζα του ιππέα εφαρμόζοντας τη Θ.Ε.Τ. και συγκρίνετε την τιμή που υπολογίσατε με εκείνη που μετρήσατε.

4.7. Κίνηση σε κεκλιμένο επίπεδο

Στόχος Να προσδιοριστεί πειραματικά η εξίσωση κίνησης σε κεκλιμένο επίπεδο.

Εκτέλεση πειράματος: Ανυψώστε τον διάδρομο κατά **3 cm**. Αφήστε τον ιππέα **χωρίς αρχική ταχύτητα** από το άνω άκρο του διαδρόμου. Αρχίστε την καταγραφή της κίνησης αφού ο ιππέας έχει ήδη ξεκινήσει προσέχοντας όμως **κατά τη διάρκεια της καταγραφής να μην έχετε ανάκρουση** του ιππέα.

Παρατηρήστε τις γραφικές παραστάσεις **s – t** και **v – t**. Τι κίνηση έχουμε; Ποια σχέση περιγράφει την κίνηση; Ποιες είναι παράμετροι της κίνησης που πρέπει να προσδιορίσουμε;

Μέτρηση: Μετρήστε την ταχύτητα του ιππέα. Καταγράψετε 10 ζεύγη τιμών **v – t**.

Πίνακας V: Μετρήσεις της κίνησης σε κεκλιμένο επίπεδο

a/a	t (s)	v (m/s)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Επεξεργασία μετρήσεων:

- Σημειώστε το μήκος του αεροδιαδρόμου που βρίσκεται ανάμεσα στα δύο σημεία στήριξης ($S = \dots\dots\dots m$) και υπολογίστε τη γωνία του κεκλιμένου επιπέδου ($\theta = \dots\dots\dots^\circ$).
- Σχεδιάστε σε χαρτί μιλλιμετρέ τα πειραματικά σημεία $v - t$.
- Εφαρμόζοντας τη Θ.Ε.Τ. υπολογίστε όπως και στο μέρος 5 την επιτάχυνση (a) της κίνησης. Μπορείτε να υπολογίσετε την επιτάχυνση της βαρύτητας;
- Εφαρμόζοντας το 2^ο Νόμο του Νεύτωνα, υπολογίστε από τα πειραματικά σας αποτελέσματα (μάζα, επιτάχυνση) την κινούσα δύναμη.
- Από την γωνία του κεκλιμένου επιπέδου που έχετε προσδιορίσει, υπολογίστε την συνιστώσα του βάρους που προκαλεί την επιταχυνόμενη κίνηση, και συγκρίνατε τις δυο τιμές.

4.8. Κίνηση σε κεκλιμένο επίπεδο με ανάκρουση

Στόχος: Να προσδιοριστεί πειραματικά η απώλεια κινητικής ενέργειας (ΚΕ) κατά την ανάκρουση.

Εκτέλεση πειράματος: Επαναλάβετε το πείραμα όπως στο μέρος 7, προσέχοντας όμως **κατά τη διάρκεια της καταγραφής να έχετε ανάκρουση** του ιπέα.

Παρατηρήστε τη γραφική παράσταση $v - t$. Προσδιορίστε το σημείο της ανάκρουσης

Μέτρηση: Μετρήστε την ταχύτητα του ιπέα πριν και μετά την ανάκρουση. Επαναλάβετε το πείραμα 2 φορές και καταγράψτε τις μετρήσεις σας

Πίνακας VI: Μετρήσεις ανάκρουσης σε κεκλιμένο επίπεδο

α/α ανάκρουσης	$v_{\text{πριν}}$	$v_{\text{μετά}}$	Απώλεια ΚΕ (J)
1 ^η			
2 ^η			

Επεξεργασία μετρήσεων:

- Υπολογίστε την απώλεια κινητικής ενέργειας κατά την ανάκρουση.
- Τι κίνηση κάνει ο ιπέας μετά την ανάκρουση; Γράψτε την εξίσωση της κίνησης.
- Υπολογίστε το μέγιστο διάστημα που θα διανύσει ο ιπέας μετά την ανάκρουση, και το κατακόρυφο ύψος στο οποίο θα ανέλθει.

4.9. Κίνηση σε κεκλιμένο επίπεδο με 2 ανακρούσεις

Στόχος: Να προσδιοριστεί πειραματικά η Α.Δ.Ε.

Εκτέλεση πειράματος: Επαναλάβετε το πείραμα του μέρους 8, καταγράφοντας 2 ανακρούσεις. Παρατηρήστε τη γραφική παράσταση $v - t$ και προσδιορίστε τα σημεία ανάκρουσης

Μέτρηση: Μετρήστε την ταχύτητα του ιπέα πριν και μετά την ανάκρουση.

Πίνακας VII: Μετρήσεις δύο ανακρούσεων σε κεκλιμένο επίπεδο

α/α ανάκρουσης	$v_{\text{πριν}}$	$v_{\text{μετά}}$	Απώλεια ΚΕ (J)
1 ^η			
2 ^η			

Επεξεργασία μετρήσεων:

- Από τα αποτελέσματα του πειράματος μπορείτε να επιβεβαιώσετε την αρχή διατήρησης της κινητικής ενέργειας;

4.10. Πολλαπλές ανακρούσεις

Στόχος: Να προσδιοριστεί πειραματικά η απώλεια κινητικής ενέργειας.

Εκτέλεση πειράματος: Επαναλάβετε το πείραμα του μέρους 8, καταγράφοντας πολλαπλές ανακρούσεις. Παρατηρήστε τη γραφική παράσταση $v - t$ και προσδιορίστε τα σημεία ανάκρουσης.

Μέτρηση: Μετρήστε την ταχύτητα του ιπέα πριν και μετά την ανάκρουση.

Πίνακας VIII: Μετρήσεις πολλαπλών ανακρούσεων σε κεκλιμένο επίπεδο

α/α ανάκρουσης	$v_{\text{πριν}}$	$v_{\text{μετά}}$	Απώλεια ΚΕ (J)
1 ^η			
2 ^η			
3 ^η			
4 ^η			
5 ^η			
6 ^η			

Επεξεργασία μετρήσεων:

- Σχεδιάστε σε χαρτί μιλιμετρέ την απώλεια Κ.Ε. ως συνάρτηση της ταχύτητας πρόσκρουσης. Μπορείτε να προσδιορίσετε μετά από πόσες ανακρούσεις ο ιπέας θα έχει χάσει τουλάχιστον το 25% της αρχικής του Κ.Ε.;

