

Άσκηση 7

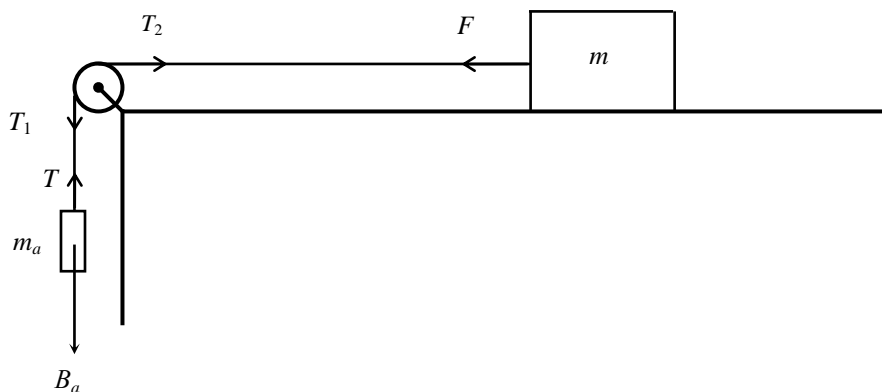
Μελέτη των νόμων της κίνησης με τη χρήση αεροτροχιάς

7.1. Σκοπός

Στην παρούσα άσκηση θα μελετηθούν και θα επιβεβαιωθούν πειραματικά ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα και η αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας.

7.2. Θεωρία - Μέθοδος

Στο *πρώτο πείραμα* θα ελεγχθεί πειραματικά ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα, μελετώντας την κίνηση ενός σώματος με μάζα m , σε οριζόντιο επίπεδο, υπό την επίδραση μιας σταθερής δύναμης F , όπως φαίνεται στο Σχ. 7.1.



Σχήμα 7.1

Η εξωτερική δύναμη που ασκείται στο σύστημα είναι το βάρος της μάζας m_a οπότε, μέσω του νήματος, στη μάζα m ασκείται δύναμη F . Με βάση το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα, για την επιτάχυνση γ και την κίνηση των μαζών m και m_a , δηλαδή $F = m\gamma$ και $B_a - T = m_a\gamma$, αντίστοιχα, και λαμβάνοντας υπόψη την ροπή αδράνειας της τροχαλίας και ότι $B_a = m_a g$, καταλήγουμε στην ακόλουθη σχέση για την επιτάχυνση του συστήματος:

$$\gamma = \frac{1}{m_t/2 + (m + m_a)} B_a \quad (7.1)$$

όπου m_t είναι η μάζα της τροχαλίας.

Για διάφορες τιμές της δύναμης B_a θα μετρηθεί η επιτάχυνση γ , όταν η ποσότητα $m + m_a$ διατηρηθεί σταθερή, και τα αποτελέσματα θα συγκριθούν με την αναμενόμενη σχέση (7.1).

Η επιτάχυνση θα υπολογιστεί από τις ταχύτητες v_1 και v_2 που έχει το σώμα m σε δύο σημεία Α και Β της τροχιάς του, καθώς και από τον χρόνο κίνησης, t_3 , μεταξύ αυτών των δύο σημείων.

Στο *δεύτερο πείραμα* θα ελεγχθεί πειραματικά η αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας, για ένα σώμα που κινείται σε κεκλιμένο επίπεδο. Θα μετρηθούν οι ταχύτητες v_1

και v_2 του σώματος σε δύο σημεία της τροχιάς του, που έχουν γνωστή διαφορά ύψους Δh , ώστε να συγκριθεί η μεταβολή της κινητικής ενέργειας

$$\Delta E_k = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \quad (7.2)$$

με την αντίστοιχη μεταβολή της δυναμικής ενέργειας

$$\Delta U = mg\Delta h \quad (7.3)$$

Σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας, αναμένουμε ότι θα ισχύει η ισότητα

$$\Delta E_k = \Delta U \quad (7.4)$$

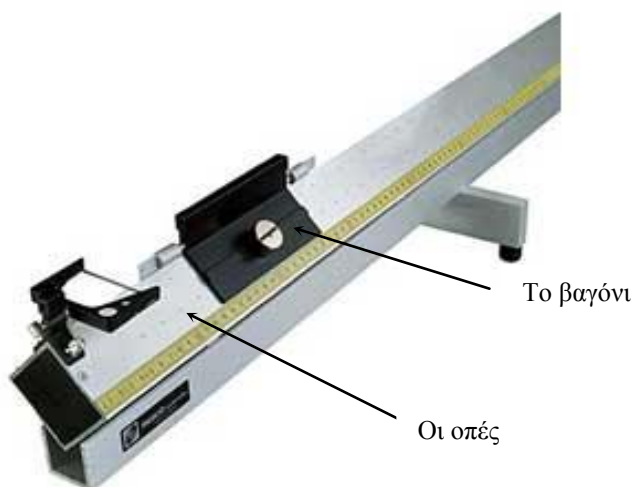
Η ισχύς της ισότητας (7.4) θεωρείται θεμελιωμένη όταν διαπιστώνεται πειραματικά ότι είναι μικρή η διαφορά

$$\left| \frac{\Delta E_k}{\Delta U} - 1 \right|$$

Παρότι οι νόμοι που θα εξεταστούν αποτελούν δύο από τους σημαντικότερους νόμους της φυσικής, η πειραματική επιβεβαίωσή τους δεν είναι απλή υπόθεση. Η ύπαρξη τριβών δυσχεραίνει τη μελέτη της κίνησης των σωμάτων, καθώς αυτές προκαλούν απώλειες στην ενέργειά τους που δεν μπορούν να υπολογιστούν εύκολα, συνεπώς η πειραματική διάταξη που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να περιορίζει τις τριβές στο ελάχιστο.

7.3. Πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη της άσκησης αποτελείται από μία αεροτροχιά, τα διάφορα εξαρτήματά της (βαρίδια, βαγονάκια, άγκιστρο κ.λπ., PASCO SF-9214) και δύο φωτοπύλες για την αυτόματη μέτρηση του χρόνου, η μία από τις οποίες διαθέτει χρονόμετρο και μνήμη (PASCO ME-9206A και 9215A).



Σχήμα 7.2 Η αεροτροχιά της άσκησης

Η αεροτροχιά είναι ένας ευθύς αλουμινένιος σωλήνας, μήκους 2 m, με ορθογώνια διατομή και με πολλές μικρές τρύπες στις δύο πάνω πλευρές του ώστε μέσα από αυτές να διέρχεται ένα σταθερό ρεύμα αέρα, προερχόμενο από ειδική διάταξη που τροφοδοτεί το ένα άκρο της. Με την κατάλληλη παροχή αέρα, ειδικά βαγόνια μπορούν να αιωρούνται και να κινούνται πάνω στην αεροτροχιά με ελάχιστη τριβή. Τα βαγόνια είναι κατασκευασμένα από ανοδιωμένο με μαύρο χρώμα αλουμίνιο, ώστε να είναι δύσκαμπτα. Η μάζα του βαγονιού αναγράφεται στην επιφάνειά του. Η διάταξη είναι κατασκευασμένη έτσι ώστε μετά από 5 min τροφοδοσίας η αεροτροχιά να είναι οριζοντιοποιημένη με ακρίβεια $\pm 0,04$ mm. Στις δύο πάνω πλευρές της αεροτροχιάς υπάρχει κολλημένη μετρητική ταινία, για να προσδιορίζεται η θέση των βαγονιών.

Καθώς η αιώρηση των βαγονιών γίνεται με διάκενο της τάξης 0,1 mm *χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην χτυπηθούν και χαραχθούν οι πάνω πλευρές της αεροτροχιάς ή τα βαγόνια, γιατί κάθε τέτοια παραμόρφωση παρεμποδίζει την ελεύθερη κίνηση των βαγονιών. Επιπλέον, η παροχή αέρα πρέπει να είναι τέτοια ώστε ένα βαγόνι μόλις να αιωρείται πάνω στην αεροτροχιά και να μην μετακινείται χωρίς την επίδραση κάποιας δύναμης.*

Η μέτρηση διάφορων χρόνων θα πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια δύο φωτοπύλων: την κύρια, που είναι ενσωματωμένη σε ένα ηλεκτρονικό χρονόμετρο, και την βοηθητική, η οποία μπορεί να συνδεθεί με το χρονόμετρο μέσω μίας ειδικής εισόδου που βρίσκεται στο πλάι του οργάνου.



Σχήμα 7.3 Η κύρια φωτοπύλη με το χρονόμετρο.



Η βοηθητική φωτοπύλη.

Την αρχή λειτουργίας της φωτοπύλης θα εξετάσουμε καταφεύγοντας στο Σχ. 7.4, όπου μία πηγή υπέρυθρου φωτός (LED), που βρίσκεται στο δεξί κατακόρυφο βραχίονα της φωτοπύλης, εκπέμπει λεπτή υπέρυθρη δέσμη που ανιχνεύεται από ανιχνευτή στον απέναντι βραχίονα, ο οποίος με τη σειρά του, με το ηλεκτρικό σήμα που παράγει, μπλοκάρει τη μονάδα χρονομέτρησης. Η χρονομέτρηση αρχίζει όταν στην πορεία της δέσμης παρεμβληθεί κάποιο αντικείμενο, το οποίο μηδενίζει το σήμα στην έξοδο του ανιχνευτή. Η χρονομέτρηση θα συνεχίζεται ως τη στιγμή που το σώμα θα σταματήσει να φράζει τη δέσμη. Τι στιγμή αυτή διακόπτεται η χρονομέτρηση και στην οθόνη του χρονομέτρου εμφανίζεται ο χρόνος φραγής της δέσμης.

Καθώς η υπέρυθη δέσμη είναι αόρατη, προς διευκόλυνση του πειραματιστή, στο πάνω μέρος της φωτοπύλης υπάρχει μία δεύτερη LED, η οποία εκπέμπει ορατό φως κόκκινου χρώματος, όταν η υπέρυθη δέσμη είναι φραγμένη.

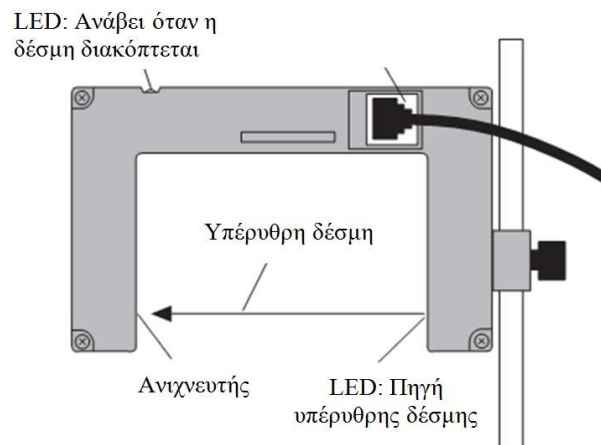
Ανάλογα με τις ανάγκες του πειράματος, στο χρονόμετρο της κύριας φωτοπύλης, με έναν επιλογέα-διακόπτη, δύναται να γίνουν οι εξής μετρήσεις:

(α) του χρόνου φραγής: λειτουργία GATE (Σχ.7.5).

(β) του χρόνου μεταξύ πρώτης και δεύτερης φραγής: λειτουργία PULSE (Σχ.7.5).

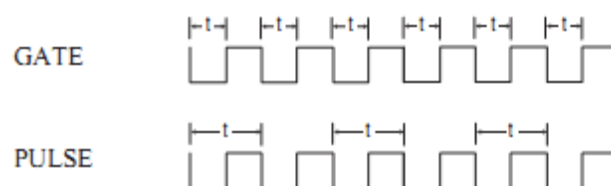
(γ) του χρόνου διαδοχικών φραγών: λειτουργία PEND (ULUM)

Στην παρούσα Άσκηση από τις 3 λειτουργίες θα αξιοποιηθούν μόνο οι πρώτες δύο (Σχ.7.5).



Σχήμα 7.4

Για παράδειγμα, όταν ένα βαγόνι με μήκος L περάσει από τη φωτοπύλη και διακόψει τη δέσμη για χρονικό διάστημα t , σε λειτουργία **GATE** μπορούμε να μετρήσουμε το t και στη συνέχεια να υπολογίσουμε την ταχύτητα του σώματος v ($v = L/t$), στη θέση της αεροτροχιάς που βρίσκεται η φωτοπύλη.



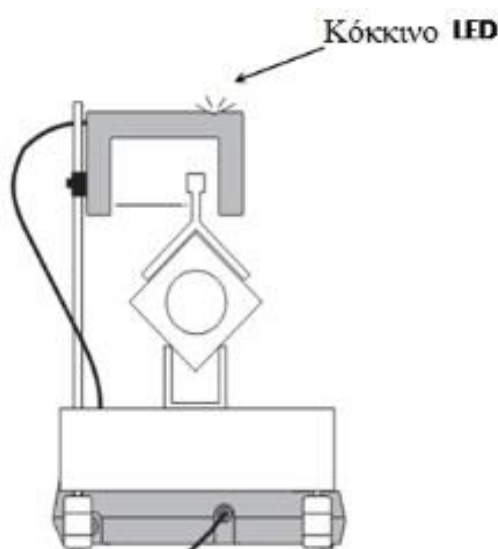
Σχήμα 7.5

Στη βάση της κύριας φωτοπύλης υπάρχει επίσης ένας δεύτερος διακόπτης επιλογής που μας επιτρέπει να επιλέξουμε 1 ms ή 0,1 ms, ωστόσο και στις δύο επιλογές το σφάλμα χρονομέτρησης του οργάνου είναι 1%.

Στη βάση της κύριας φωτοπύλης υπάρχει και ένας κάθετος μοχλός MEMORY, με δύο θέσεις λειτουργίας: ON και READ. Στη θέση ON μπορούν να γίνουν διαδοχικές μετρήσεις δύο χρονικών διαστημάτων σε οποιαδήποτε από τις δύο λειτουργίες. Ο πρώτος χρόνος (t_1) εμφανίζεται αμέσως στην οθόνη του χρονομέτρου. Ο δεύτερος χρόνος (t_2) μετριέται αυτόματα, ωστόσο δεν φαίνεται στην οθόνη άμεσα, καθώς στη μνήμη του οργάνου

αποθηκεύεται το άθροισμα $t_1 + t_2$. Για να ανασύρουμε το άθροισμα αυτό στην οθόνη του οργάνου, ο μοχλός μετακινείται στη θέση READ. Προσοχή όμως. Πριν γίνει η κίνηση αυτή, πρέπει οπωσδήποτε πρώτα να σημειωθεί η τιμή t_1 , καθώς αυτή εξαφανίζεται και στην οθόνη εμφανίζεται το άθροισμα των δύο χρόνων. Με μια απλή αφαίρεση, βρίσκουμε το t_2 .

Επειδή η υπέρυθη δέσμη και ο ανιχνευτής της φωτοπύλης έχουν κάποιο εύρος, ενδέχεται το πραγματικό μήκος του βαγονιού να μην ταυτίζεται με το «ενεργό» μήκος που αντιλαμβάνεται η φωτοπύλη. Γι' αυτόν το λόγο φροντίζουμε το βαγόνι να περνά όσο το δυνατόν κοντύτερα στον ανιχνευτή της φωτοπύλης και η τροχιά του να είναι κάθετη στην υπέρυθη δέσμη, όπως φαίνεται στο Σχ. 7.6. Ελέγχουμε επιπλέον αν υπάρχει διαφορά μεταξύ πραγματικού και «ενεργό» μήκους. Το τελευταίο προσδιορίζεται αν ένα βαγόνι κινηθεί αργά μέσα από μια φωτοπύλη (λειτουργία GATE) και με τη βοήθεια της μετρητικής ταινίας της αεροτροχιάς μετρηθεί η απόσταση που διανύει από το σημείο που ενεργοποιεί την κόκκινη LED μέχρι το σημείο όπου αυτή σβήνει. Αν το «ενεργό» μήκος προκύψει μεγαλύτερο από το πραγματικό, πρέπει **αυτό** να χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς που θα γίνουν με τα πειραματικά δεδομένα.



Σχήμα 7.6

Τέλος, όταν χρησιμοποιείται και η βοηθητική φωτοπύλη, δηλαδή το χρονόμετρο δέχεται δύο οπτοηλεκτρικά σήματα, αυτό ενεργοποιείται από το σήμα εκείνης της φωτοπύλης που χρονικά το παρήγαγε πρώτη.

Βιβλιογραφία

1. *Μαθήματα Φυσικής Berkeley*, Τόμος Ι: *Μηχανική*, Κεφ. 3, σ. 47-51, 58-71, Κεφ.5 (Αθήνα, 1976).
2. M. Alonso και E.J.Finn, *Θεμελιώδης Πανεπιστημιακή Φυσική*. Τόμος Ι: *Μηχανική*, Παράγρ. 7.4, 7.6, 8.8, 9.7, 10.4 (Αθήνα, 1981).
3. H. Ohanian, *Φυσική*, Τόμος Α': *Μηχανική-Θερμοδυναμική*, Παράγρ. 5.2, 7.4, 10.1 (Αθήνα, 1992).
4. H.D. Young, *Πανεπιστημιακή Φυσική*, Τόμος Α: *Μηχανική-Θερμοδυναμική*, Κεφ. 4 και 8 (Αθήνα, 1994).
5. *Εργαστηριακές Ασκήσεις Φυσικής*, Τόμος Ι, ΕΜΠ, Τομέας Φυσικής, ΣΕΜΦΕ, Εκδόσεις Συμμετρία (Αθήνα, 2010).

7.4. Εκτέλεση των πειραμάτων

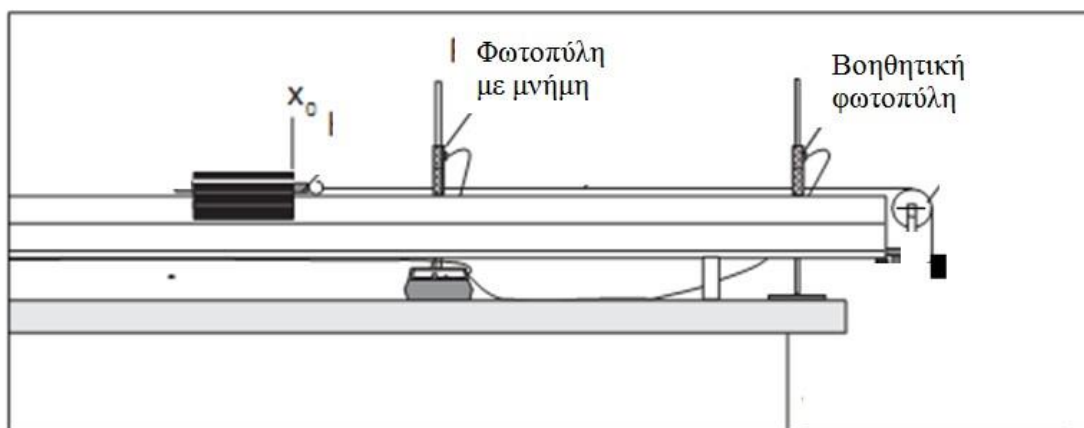
7.4.1. Ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα

Στο πείραμα αυτό θα ελεγχθεί πειραματικά η σχέση (7.1), η οποία πηγάζει από τον δεύτερο νόμο του Νεύτωνα. Έτσι, για διάφορες δυνάμεις B_a , αλλά με σταθερό το άθροισμα $m + m_a$ θα μετρηθεί η επιτάχυνση της μάζας m . Αν ο νόμος ισχύει, τότε:

- (α) η σχέση μεταξύ γ και B_a αναμένουμε να είναι γραμμική
- (β) ο συντελεστή αναλογίας αναμένουμε να είναι $1/(m + m_a + m_r/2)$

Για την εκτέλεση του πειράματος:

1. Επιλέξτε μια ικανοποιητική παροχή αέρα από τον επιλογέα στροφών του τροφοδοτικού (συνήθως αρκεί η ένδειξη 2 για τροφοδοσία με αέρα δύο αεροτροχιών).
2. Οριζοντιώστε πολύ προσεκτικά (και με τη βοήθεια του επιβλέποντα) την αεροτροχιά με τους δύο κοχλίες που υπάρχουν στο διπλό υποστήριγμα. Η φυσαλίδα που υπάρχει υποδεικνύει τη συμμετρική θέση των πλευρών της αεροτροχιάς ως προς την κατακόρυφο. Η ακριβής οριζοντίωση πρέπει να γίνει με την τοποθέτηση ενός βαγονιού στο μέσο της αεροτροχιάς, το οποίο είτε θα παραμείνει ακίνητο είτε θα κάνει μικρές μετακινήσεις, πότε προς τη μία και πότε προς την άλλη κατεύθυνση, αλλά σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να επιταχύνεται σταθερά προς κάποια κατεύθυνση.
3. Συνδέστε τον ακροδέκτη πρόσδεσης του νήματος με ένα βαγόνι και αφήστε το βαγόνι πάνω στην αεροτροχιά. (Η μάζα του ακροδέκτη είναι $2,5 \pm 0,1$ g και η ίδια ακρίβεια ισχύει για όλες τις μάζες που δίνονται.)
4. Τοποθετήστε τις φωτοπύλες κάθετα στην αεροτροχιά, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα



Σχήμα 7.7

5. Τεντώστε το νήμα και ρυθμίστε την απόσταση των φωτοπυλών έτσι ώστε: α) το βαγόνι να βρίσκεται πριν την 1^η φωτοπύλη, όταν το άγκιστρο εξάρτησης μαζών κρέμεται πολύ κοντά στην τροχαλία, β) το άγκιστρο να μην έχει ακουμπήσει στο έδαφος πριν το βαγόνι περάσει εντελώς μέσα από τη 2^η φωτοπύλη.
6. Ελέγξτε αν το ενεργό μήκος του βαγονιού είναι μεγαλύτερο από το πραγματικό και σημειώστε τη μεγαλύτερη τιμή, L .
7. Προσθέστε 40 g πάνω στο βαγόνι. Τα μικρά βάρη έχουν μάζα 5 g και τα αμέσως μεγαλύτερα 10 g. **Τα βάρη τοποθετούνται στο βαγόνι συμμετρικά, δηλαδή σε κάθε πλευρά**

πρέπει να υπάρχει ο ίδιος αριθμός βαρών. Σημειώστε στον Πίνακα 1 τη συνολική μάζα m (μάζες του βαγονιού, των βαριδιών και του ακροδέκτη).

8. Εάν υπάρχει η δυνατότητα, μπορείτε να προσθέσετε μια μάζα 5-10 g στο άγκιστρο εξάρτησης βαρών. Σημειώστε στον Πίνακα I τη συνολική μάζα, m_a (Η μάζα του άγκιστρου είναι 2,0 g).

Πίνακας I

m (g)	m_a (g)	t_1 (s)	$t_1 + t_2$ (s)

9. Επιλέξτε ένα σημείο εκκίνησης, x_0 , από το οποίο θα αφήνετε κάθε φορά ελεύθερο το βαγόνι.

10. Επιλέξτε τον τρόπο λειτουργίας GATE για τις φωτοθύλες, με τον διακόπτη της μνήμης στη θέση ON, και πιέστε το κουμπί RESET (μηδενισμός).

11. Αφήστε ελεύθερο το βαγόνι από τη θέση x_0 . Σημειώστε στον Πίνακα I τους χρόνους t_1 και $t_1 + t_2$, όπου t_1 και t_2 είναι οι χρόνοι που χρειάστηκε το βαγόνι για να περάσει από την 1^η και τη 2^η φωτοθύλη αντίστοιχα. Επαναλάβετε αυτές τις μετρήσεις άλλη μία φορά.

12. Επιλέξτε τον τρόπο λειτουργίας PULSE για τις φωτοθύλες και πιέστε το κουμπί RESET.

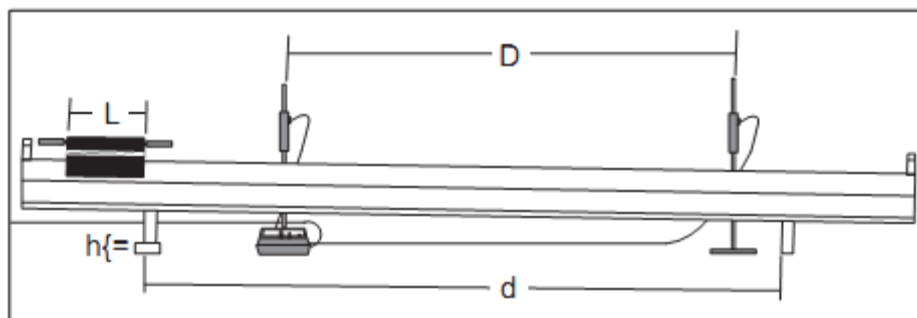
13. Αφήστε ξανά το βαγόνι από τη θέση x_0 και μετρήστε (δύο φορές) τον χρόνο t_3 που χρειάστηκε το βαγόνι για να μετακινηθεί από τη μία φωτοθύλη στην άλλη.

14. Μετακινώντας τις μάζες από το βαγόνι στο άγκιστρο (κρατώντας δηλαδή σταθερή τη συνολική κινούμενη μάζα), επαναλάβετε άλλες τέσσερις φορές τις προηγούμενες μετρήσεις.

7.4.2. Διατήρηση της μηχανικής ενέργειας

Στο πείραμα αυτό ελέγχεται η σχέση (7.4), μέσω μέτρησης των μεγεθών $mg\Delta h$ και της διαφοράς $m(v_2)^2/2 - m(v_1)^2/2$, η οποία παραπέμπει σε μετρήσεις ταχύτητας σε δύο σημεία της αεροτροχιάς που έχουν υψομετρική διαφορά Δh . Για τον σκοπό αυτό:

1. Βεβαιωθείτε ότι η αεροτροχιά είναι οριζόντια.
2. Μετρήστε την απόσταση μεταξύ των υποστηριγμάτων της αεροτροχιάς d (Σχ. 7.8).
3. Μετρήστε το ύψος του ειδικού υποστηρίγματος h και τοποθετήστε το κάτω από το μονό υποστήριγμα της αεροτροχιάς ώστε να έχουμε ένα κεκλιμένο επίπεδο. Τοποθετήστε τις δύο φωτοθύλες, όπως στο σχήμα (Σχ. 7.8).



Σχήμα 7.8

4. Μετρήστε την απόσταση D μεταξύ των φωτοπυλών, δηλαδή το μήκος κατά το οποίο το βαγόνι κινείται πάνω στην αεροτροχιά από τη θέση όπου ενεργοποιεί την 1η φωτοπύλη μέχρι τη θέση όπου ενεργοποιεί τη 2η φωτοπύλη. Παράλληλα, ελέγξτε αν υπάρχει διαφορά μεταξύ πραγματικού και ενεργού μήκους.

5. Αφήστε ελεύθερο το βαγόνι από κάποιο σημείο στο πάνω άκρο της αεροτροχιάς, επιλέγοντας τον τρόπο λειτουργίας GATE με μνήμη για τις φωτοπύλες, και μετρήστε δύο φορές τους χρόνους t_1 και t_1+t_2 , όπου t_1 και t_2 οι χρόνοι που χρειάστηκε το βαγόνι για να περάσει από την 1^η και τη 2^η φωτοπύλη αντίστοιχα.

6. Προσθέτοντας συμμετρικά μάζες στο βαγόνι, επαναλάβετε τις ίδιες μετρήσεις για άλλες τέσσερις τιμές της συνολικής κινούμενης μάζας, καταγράφοντας τις μετρήσεις σας στον Πίνακα II.

Πίνακας II

m (g)	t_1 (s)	$t_1 + t_2$ (s)

7. Τοποθετήστε όλα τα εξαρτήματα στη θέση τους και βεβαιωθείτε ότι αφήνετε την πειραματική διάταξη σε καλύτερη κατάσταση από εκείνη που την βρήκατε.

7.5. Επεξεργασία των μετρήσεων

7.5.1. Ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα

1. Με τις μετρήσεις που πήρατε συμπληρώστε τον Πίνακα III, όπου t_1, t_2, t_3 είναι οι μέσες τιμές αυτών των χρόνων, v_1 και v_2 οι μέσες ταχύτητες του βαγονιού καθώς περνούσε από τις δύο φωτοπύλες, αντίστοιχα, και B_a το βάρος της συνολικής αναρτημένης στο άγκιστρο μάζας, m_a . Για την επιτάχυνση, γ , του βαγονιού να χρησιμοποιηθεί η σχέση

$$\gamma = \frac{v_2 - v_1}{t_3} \cdot \frac{1}{1 + \frac{t_2 - t_1}{2t_3}}$$

η οποία προκύπτει από την έκφραση $(v_2 - v_1)/t_3$, όταν οι μέσες ταχύτητες v_i γραφούν ως

$$v_i = \frac{L}{t_i} = \frac{v_{oi}t_i + 1/2 \alpha_i^2 t_i^2}{t_i}, \quad i = 1, 2$$

όπου v_{oi} η αληθινή στιγμιαία ταχύτητα του βαγονιού τη στιγμή που εισέρχεται στη φωτοπύλη i και t_i ο χρόνος διακοπής της αντίστοιχης φωτοπύλης.

Πίνακας III

m (kg)	m_a (kg)	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	v_1 (m/s)	v_2 (m/s)	γ (m/s ²)	B_a (N)

2. Σχεδιάστε τη γραφική παράσταση $\gamma = f(B_a)$.

3. Προκύπτει γραμμική σχέση; Υπολογίστε την κλίση, β , της ευθείας.

4. Συγκρίνετε την τιμή της κλίσης με αυτήν που αναμένουμε από τη θεωρία (Εξ. 7.1) και σχολιάστε. Η μάζα του δίσκου της τροχαλίας είναι 9 g. Μπορούμε να την αγνοήσουμε;

7.5.2. Διατήρηση της μηχανικής ενέργειας

1. Υπολογίστε το ύψος Δh κατά το οποίο κατέβηκε το βαγόνι μεταξύ των δύο φωτοπυλόν.
2. Συμπληρώστε τον Πίνακα IV, όπου t_1 , t_2 είναι οι μέσες τιμές των χρόνων, v_1 και v_2 οι ταχύτητες του βαγονιού καθώς περνούσε από τις δύο φωτοπύλες, $E_{κ1}$ και $E_{κ2}$ οι αντίστοιχες κινητικές ενέργειες, $\Delta E_κ$ και ΔU η μεταβολή της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας, αντίστοιχα.

Πίνακας IV

m (kg)	t_1 (s)	t_2 (s)	v_1 (m/s)	v_2 (m/s)	$E_{κ1}$ (J)	$E_{κ2}$ (J)	$\Delta E_κ$ (J)	ΔU (J)

3. Σχεδιάστε τη μεταβολή, $\Delta E_κ$, της κινητικής ενέργειας ως συνάρτηση της ΔU . Διατηρήθηκε η μηχανική ενέργεια;
4. Υπάρχει ενδεχομένως κάποιο συστηματικό σφάλμα που μπορεί να επηρέασε κάποιο (ή και τα δύο) από τα πειράματα;