

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΣΕΡΡΩΝ

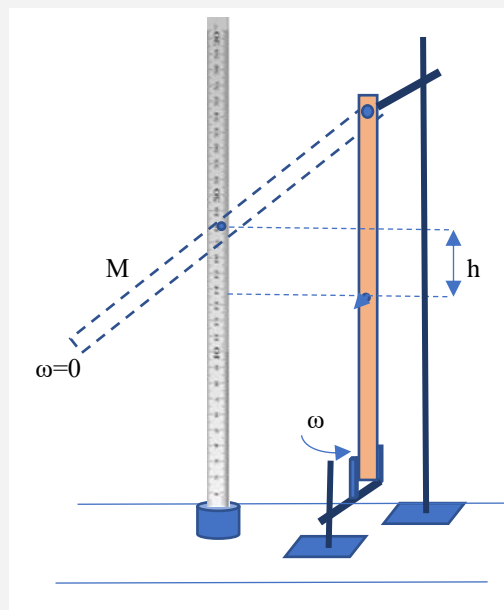
17^η Ευρωπαϊκή Ολυμπιάδα Επιστημών

EUSO 2020



ΤΟΠΙΚΟΣ ΜΑΘΗΤΙΚΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

ΦΥΣΙΚΗΣ



ΣΧΟΛΕΙΟ:.....

Μαθητές/τριες που συμμετέχουν:

(1).....

(2).....

(3).....

Σέρρες 14/12/2019

Σύνολο μορίων:.....

ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΡΟΠΗΣ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ ΡΑΒΔΟΥ (ως προς τον άξονα περιστροφής)

Εισαγωγή

Ήταν παιδί και χρειάστηκε να μετακινηθεί πάνω σε ένα πολύ στενό οριζόντιο «γεφύρωμα» σε κάποιο ύψος πάνω από το έδαφος. Διαισθάνθηκε τον κίνδυνο να ανατραπεί και ενστικτωδώς τέντωσε και τα δύο του χέρια ώστε να γίνουν οριζόντια.



Για κάποιο λόγο **το σώμα του με τα τεντωμένα χέρια παρουσίασε μεγαλύτερη «αντίσταση» στο να του συμβεί η ανατροπή**, στο να συμβεί η περιστροφή που θα είχε σαν συνέπεια να πέσει. Με το τέντωμα των χεριών κάτι άλλαξε, όχι βέβαια η μάζα του και ο κίνδυνος περιορίστηκε. Κάτι άλλαξε και αυξήθηκε η «δυσφορία» του σώματός του στο να στραφεί και αυτό που άλλαξε δεν ήταν η μάζα του. (πηγή: <http://users.sch.gr/kassetas> - ροπή αδράνειας)

Η ροπή αδράνειας είναι μέγεθος που εκφράζει την κατανομή των υλικών σημείων ενός σώματος ως προς έναν άξονα περιστροφής και έχει στην περιστροφική κίνηση έναν ρόλο αντίστοιχο με αυτόν της μάζας στην γραμμική. Συγκεκριμένα, η φυσική σημασία της ροπής αδράνειας σχετίζεται με την ικανότητα που έχουν τα σώματα να αντιστέκονται σε μεταβολές της περιστροφικής τους κατάστασης. **Όσο μεγαλύτερη ροπή αδράνειας έχει ένα σώμα, τόσο δυσκολότερα περιστρέφεται.** (πηγή: Wikipedia – ροπή αδράνειας)

Σκοπός της άσκησης

Σκοπός της άσκησης αυτής είναι:

1. Να μετρήσετε ορισμένα φυσικά μεγέθη μιας ράβδου για να υπολογίσετε τη ροπή αδράνειας ως προς τον άξονα περιστροφής της.
2. Χρησιμοποιώντας την αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας σε μια ράβδο που μπορεί να περιστρέφεται, να υπολογίσετε τη ροπή αδράνειας της ως προς τον άξονα περιστροφής της.
3. Θέτοντας τη ράβδο σε μια ταλάντωση, να βρείτε την περίοδο ταλάντωσης και έπειτα τη ροπή αδράνειας ως προς τον άξονα περιστροφής της.
4. Να βρείτε την ενέργεια που πρέπει να προστίθεται στη ράβδο που ταλαντώνεται ώστε η ταλάντωση να παραμένει αμείωτη.

Διαθέσιμα όργανα

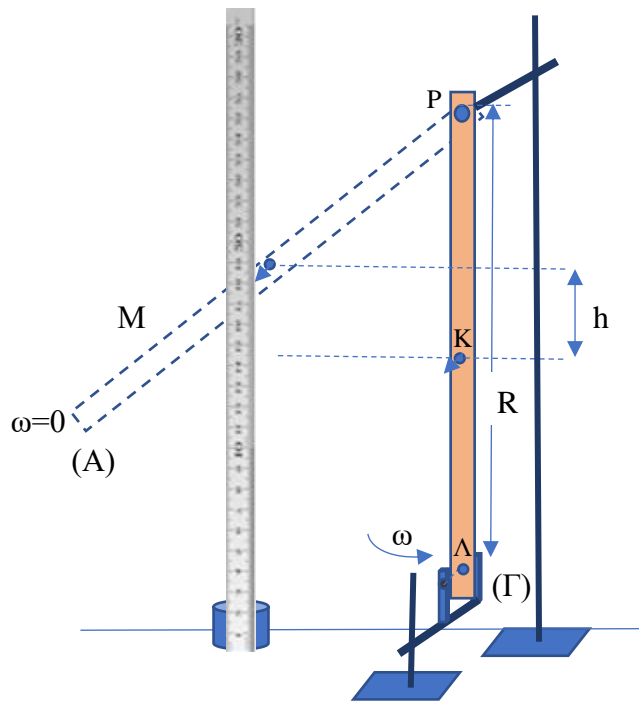
1. Σύστημα βάσης στήριξης ράβδου
2. Ράβδος με **οπή** κοντά στο ένα άκρο και **ακίδα** στο κέντρο μάζας του
3. Σύστημα βάσης στήριξης με φωτοπύλη μαζί με το τροφοδοτικό και τα καλώδια
4. Κατακόρυφος χάρακας με βάση στήριξης
5. Διαστημόμετρο
6. Μέτρο
7. Ζυγαριά (είναι κοινή για όλες τις ομάδες)
8. Χρονόμετρο
9. Αριθμομηχανή

Πειραματική διάταξη

Η βασική πειραματική διάταξη φαίνεται στο σχήμα 1 και αποτελείται από:

- μια ράβδο που μπορεί να περιστρέφεται γύρω από άξονα που περνάει κοντά από το ένα άκρο της
- έναν κατακόρυφο χάρακα με τον οποίο μπορεί να προσδιοριστεί η θέση του κέντρου μάζας της ράβδου K
- ένα σύστημα φωτοπύλης για να υπολογιστεί η γωνιακή ταχύτητα της ράβδου όταν περνάει από την κατακόρυφη θέση.

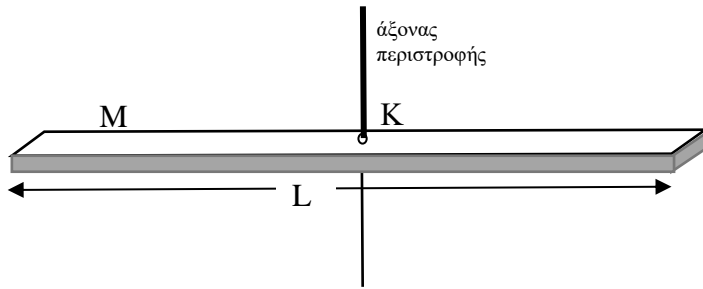
*Η ράβδος μπορεί να αφαιρεθεί από τη διάταξη αν είναι απαραίτητο.
(ίσως χρειαστείτε τη βοήθεια καθηγητή)*



Σχήμα 1: Βασική πειραματική διάταξη

Μέρος 1^ο - Ροπή αδράνειας ομογενούς ράβδου

- Η ροπή αδράνειας ομογενούς ράβδου όταν ο άξονας περιστροφής είναι κάθετος στη ράβδο και περνάει από το κέντρο μάζας της K , δίνεται από τη σχέση:



Σχήμα 2: Ράβδος με άξονα περιστροφής που περνάει από το κέντρο μάζας του K

$$I_K = \frac{1}{12} ML^2 \quad (1)$$

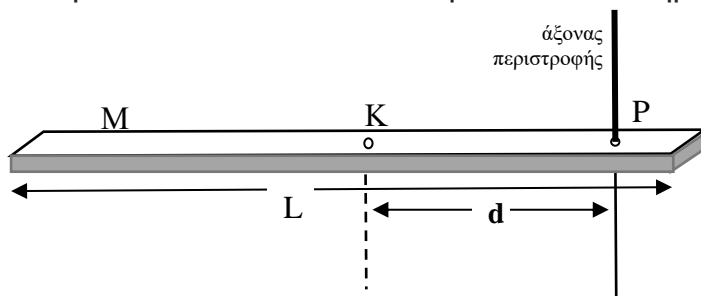
όπου

M : η μάζα της ράβδου

L : το μήκος της ράβδου

- Η ροπή αδράνειας της ράβδου, αν ο άξονας περιστροφής μετατοπιστεί παράλληλα κατά d έτσι ώστε να περνάει από το σημείο P της ράβδου, σύμφωνα με το

θεώρημα του Steiner δίνεται από τη σχέση:



Σχήμα 3: Ράβδος με άξονα περιστροφής που περνάει από το σημείο P (έχει μετατοπιστεί παράλληλα κατά d)

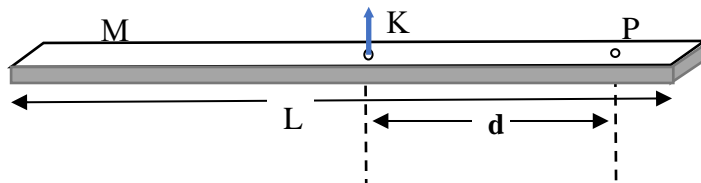
$$I_P = I_K + M \cdot d^2 \quad (2)$$

όπου d : η απόσταση του σημείου P από το κέντρο μάζας K .

(Μονάδα ροπής αδράνειας στο S.I.: $\text{kg} \cdot \text{m}^2$).

Μετρήσεις – Υπολογισμοί

Η ράβδος της πειραματικής διάταξης, έχει μια ακίδα στο κέντρο μάζας K και μια οπή στο σημείο P (κοντά στο ένα άκρο της), από όπου θα περνάει ο άξονας περιστροφής.



Σχήμα 4: Ράβδος με άξονα περιστροφής που περνάει από το σημείο P

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

1. Μετρήστε τα μεγέθη της ράβδου: L , M και d .
2. Συμπληρώστε τις τιμές στον Πίνακα 1.

3. Υπολογίστε τη ροπή

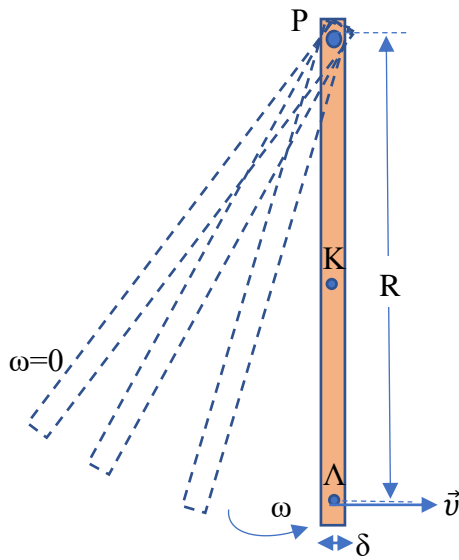
αδράνειας της ράβδου I_K και I_P και συμπληρώστε τις τιμές στον Πίνακα 1.

Υπόδειξη: Αφαιρέστε τη ράβδο από τη διάταξη για να πάρετε πιο ακριβείς μετρήσεις.

Πίνακας 1

L (m) (3 σημαντικά)		I_K ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$) (3 σημαντικά)	
M (kg) (3 σημαντικά)		I_P ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$) (3 σημαντικά)	
d (m) (3 σημαντικά)			

Μέρος 2^ο - Γωνιακή ταχύτητα ράβδου στην κατώτερη θέση



Σχήμα 5: Η ράβδος στη κατώτερη θέση έχει αποκτήσει γωνιακή ταχύτητα.

Αν η ράβδος του σχήματος που έχει άξονα περιστροφής, εκτραπεί και αφεθεί ελεύθερη, στην κατακόρυφη θέση θα αποκτήσει γωνιακή ταχύτητα ω (η οποία θα είναι ίδια για όλα τα σημεία της).

Για να προσδιοριστεί η γωνιακή ταχύτητα ω , θα πρέπει πρώτα να υπολογιστεί η γραμμική ταχύτητα v ενός σημείου Λ της ράβδου, που απέχει απόσταση R από τον άξονα περιστροφής. Επειδή το Λ διαγράφει κυκλική τροχιά, η γραμμική ταχύτητα v συνδέεται με τη γωνιακή ταχύτητα ω της ράβδου με τη σχέση:

$$v = \omega \cdot R \quad (3)$$

η οποία γράφεται:

$$\omega = \frac{v}{R} \quad (4)$$

Αν τοποθετηθεί η φωτοπύλη έτσι ώστε όταν η ράβδος βρίσκεται στην κατακόρυφη θέση να «βλέπει» το σημείο Λ , τότε σε λειτουργία F1 μπορεί να μετρήσει τον χρόνο διέλευσης της ράβδου dt από τη φωτοπύλη. Αν το πλάτος της ράβδου είναι δ , τότε η ταχύτητα του Λ υπολογίζεται από τη σχέση:

$$v = \frac{\delta}{dt} \quad (5)$$

Όπου δ : το πλάτος της ράβδου και

dt : ο χρόνος διέλευσης του άκρου της ράβδου, στο ύψος του σημείου Λ .

* Την γωνιακή ταχύτητα της ράβδου στην κατακόρυφη θέση θα την υπολογίσετε στο Μέρος 3 που ακολουθεί

Μετρήσεις

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ:

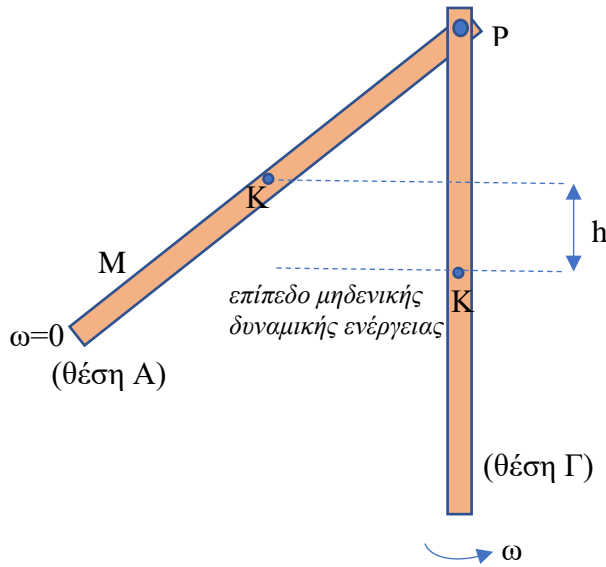
1. Η ράβδος στο ένα άκρο της έχει μια οπή και στο άλλο άκρο της έχει σημειωμένη μια κουκίδα, που είναι το σημείο Λ (σχήμα 5).
2. Μετρήστε τα μεγέθη R και δ .
3. Συμπληρώστε τον Πίνακα 2.

Υπόδειξη: Αφαιρέστε τη ράβδο από τη διάταξη για να πάρετε πιο ακριβείς μετρήσεις

Πίνακας 2

R(m) (3 σημαντικά)	
δ (m) (3 σημαντικά)	

Μέρος 3^ο - Αρχή Διατήρησης Μηχανικής Ενέργειας στη ράβδο (Α.Δ.Μ.Ε.)



Σχήμα 6: Η ράβδος στη θέση Α έχει δυναμική ενέργεια: $U=mgh$

Δυναμική ενέργεια ράβδου

Όταν μελετάται ενεργειακά η κίνηση μιας ράβδου, ορίζεται ένα **επίπεδο μηδενικής δυναμικής ενέργειας** (όπως γίνεται και στις κινήσεις των υλικών σημείων).

Συνήθως θεωρείται ότι η ράβδος έχει δυναμική ενέργεια μηδέν όταν βρίσκεται στην κατώτερη θέση (θέση Γ). Τότε **το επίπεδο μηδενικής δυναμικής ενέργειας** περνάει από τη θέση που βρίσκεται το κέντρο μάζας της ράβδου.

Σε μια διαφορετική θέση (π.χ. θέση Α) η ράβδος έχει δυναμική ενέργεια που δίνεται από τη σχέση:

$$U = Mgh \quad (6)$$

όπου h : το ύψος του κέντρου μάζας της ράβδου από το επίπεδο μηδενικής δυναμικής ενέργειας.

* Η κατώτερη θέση Γ ταυτίζεται με την κατακόρυφη θέση της ράβδου.

Κινητική ενέργεια ράβδου

Όταν η ράβδος περιστρέφεται γύρω από τον άξονα που περνάει το σημείο P , έχει κινητική ενέργεια που δίνεται από τη σχέση:

$$K = \frac{1}{2} I_P \cdot \omega^2 \quad (7)$$

Όπου I_P : η ροπή αδράνειας της ράβδου ως προς το σημείο P .

Μηχανική ενέργεια ράβδου και Α.Δ.Μ.Ε.

Το άθροισμα της δυναμικής ενέργειας και της κινητικής ενέργειας αποτελούν τη μηχανική ενέργεια της ράβδου:

$$E_M = U + K \quad (8)$$

Έστω ότι η ράβδος αφήνεται ελεύθερη από μια θέση Α, στην οποία το κέντρο μάζας της βρίσκεται σε ύψος h από το επίπεδο της μηδενικής δυναμικής ενέργειας (σχήμα 6). Για την κίνησή της από την αρχική θέση Α στην θέση Γ ισχύει η Α.Δ.Μ.Ε. (θεωρώντας ότι οι τριβές και η αντίσταση αέρα είναι αμελητέες):

$$E_{M(A)} = E_{M(\Gamma)} \Rightarrow U_A + K_A = U_\Gamma + K_\Gamma \Rightarrow Mgh + 0 = 0 + \frac{1}{2} I_P \cdot \omega^2 \Rightarrow$$

$$Mgh = \frac{1}{2} I_p \cdot \omega^2 \quad (9)$$

Πειραματική Διαδικασία – Επεξεργασία Δεδομένων

Για την κίνηση της ράβδου του σχήματος 7, από τη θέση Α στη θέση Γ, ισχύει η Α.Δ.Μ.Ε. (σχέση 9), η οποία γράφεται και ως εξής:

$$h = \frac{I_p}{2Mg} \omega^2 \quad (10)$$

Τα μεγέθη I_p , M και g είναι σταθερά και η σχέση (10) είναι της μορφής $y=a \cdot x$ (a =σταθερά).

Οπότε, το ύψος (h) του κέντρου μάζας από το οποίο αφήνεται η ράβδος είναι ανάλογο του τετραγώνου της γωνιακής ταχύτητας (ω^2) που αποκτά η ράβδος όταν περνάει από την κατακόρυφη θέση.

Η γραφική παράσταση του h σε συνάρτηση με το ω^2 είναι ευθεία που έχει κλίση ίση με:

$$\text{κλίση} = \frac{I_p}{2Mg} \quad (11)$$

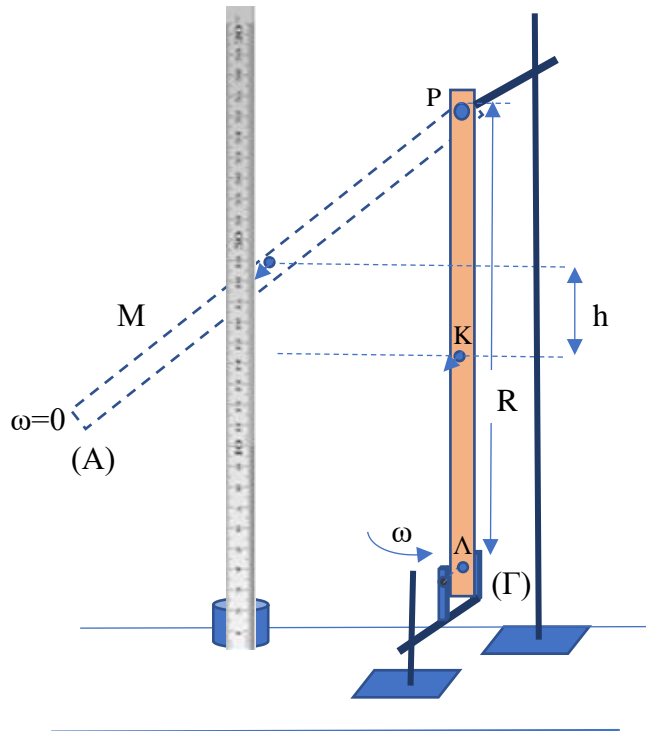
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η ράβδος στο κέντρο μάζας της έχει μια **ακίδα** για να μπορείτε εύκολα να βρίσκετε τη θέση του κέντρου μάζας στα πειράματα που θα ακολουθήσουν.

1. Συνθέστε τη πειραματική διάταξη του σχήματος 7 (τοποθέτηση ράβδου, σωστή θέση φωτοπύλης ώστε στην κατακόρυφη θέση να «βλέπει» το σημείο Λ). Με τη διάταξη αυτή για κάποιες θέσεις εκτροπής της ράβδου θα υπολογίσετε την γωνιακή ταχύτητά της, όταν περνάει από την κατακόρυφη θέση.

Ενημερώστε τον υπεύθυνο καθηγητή ότι είστε έτοιμοι για μετρήσεις.

Γίνεται έλεγχος της πειραματικής διάταξης από τον καθηγητή



Σχήμα 7: Πειραματική διάταξη

2. Μετρήστε με τον κατακόρυφο χάρακα τη θέση του κέντρου μάζας της ράβδου, όταν αυτή ισορροπεί. Αυτό θα είναι το **επίπεδο μηδενικής δυναμικής ενέργειας**.

3. Εκτρέψτε τη ράβδο έτσι ώστε το κέντρο μάζας της να βρίσκεται 5cm πιο πάνω από το επίπεδο μηδενικής δυναμικής ενέργειας.

4. Αφήστε τη ράβδο ελεύθερη και μετρήστε τον χρόνο διέλευσης του άκρου της ράβδου, στο ύψος του σημείου Λ.

5. Συμπληρώστε την τιμή του χρόνου στο αντίστοιχο κελί του Πίνακα 3

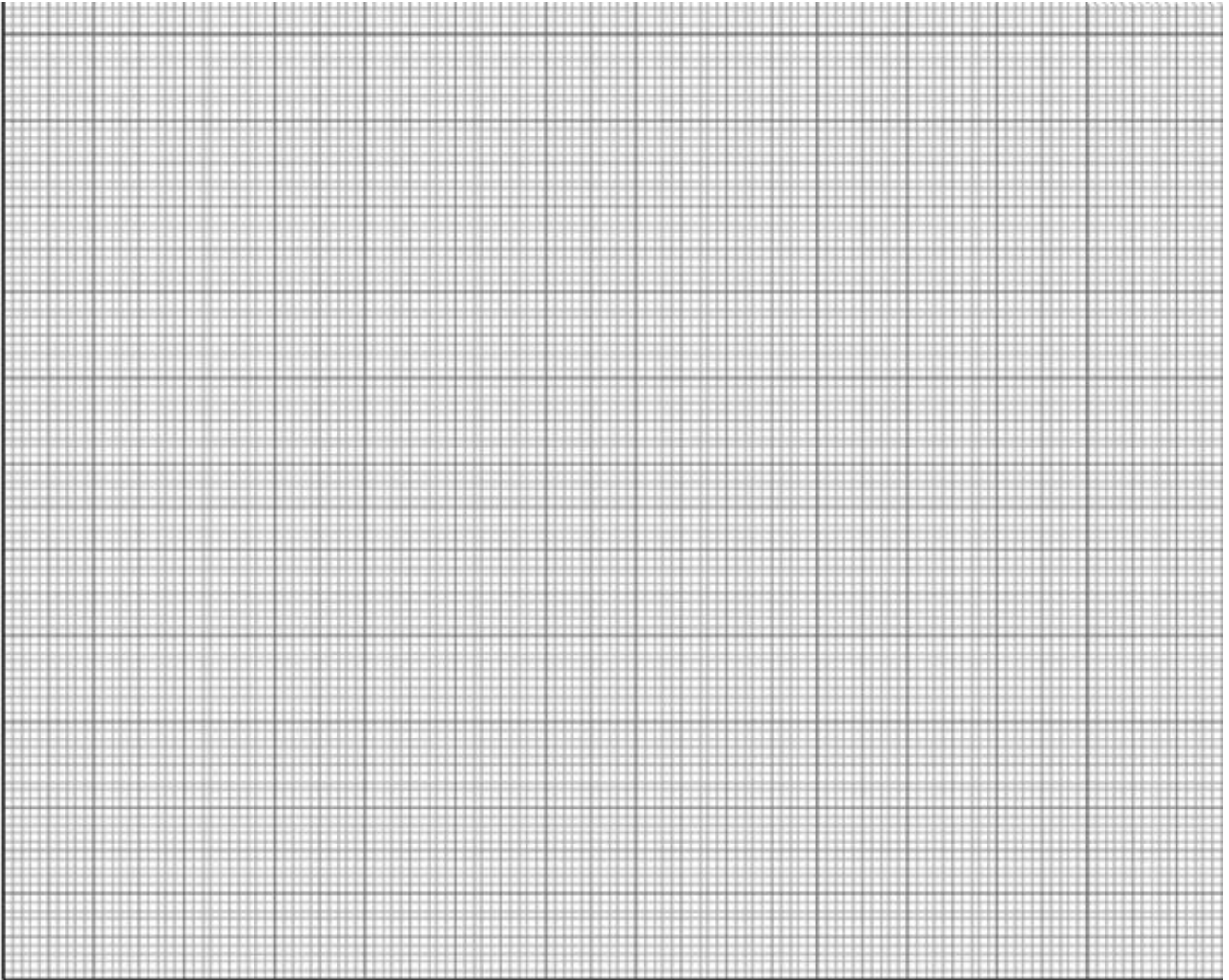
6. Επαναλάβετε την ίδια διαδικασία για ύψη του κέντρου μάζας από το επίπεδο μηδενικής δυναμικής ενέργειας, 10cm, 15cm, 20cm και 25cm.

7. Υπολογίστε για κάθε περίπτωση τα μεγέθη u , ω και ω^2 και συμπληρώστε τις τιμές στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3

h(m)	dt(sec) (ένδειξη φωτούλης)	u(m/s) (3 σημαντικά)	ω (rad/s) (3 σημαντικά)	ω^2 (rad ² /s ²) (3 σημαντικά)
0,050				
0,100				
0,150				
0,200				
0,250				

8. Κατασκευάστε στο millimetre το διάγραμμα του ύψους (h) (κατακόρυφος άξονας), σε συνάρτηση με το τετράγωνο της γωνιακής ταχύτητας (ω^2) (οριζόντιος άξονας).



9. Υπολογίστε την κλίση της γραφικής παράστασης και έπειτα τη ροπή αδράνειας της ράβδου (την οποία θα ονομάσετε I_{p1}), θεωρώντας ότι η επιτάχυνση της βαρύτητας στην περιοχή του εργαστηρίου είναι ίση με $g=9,81\text{m/s}^2$.

.....

.....

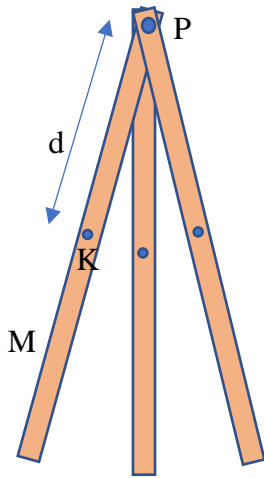
.....

.....

.....

.....

Μέρος 4^ο - Ταλάντωση της ράβδου



Σχήμα 8: Η ράβδος ως φυσικό εκκρεμές

Το **φυσικό εκκρεμές** είναι ένα σώμα αναρτημένο από έναν σταθερό άξονα που δε διέρχεται από το κέντρο μάζας του, και μπορεί να ταλαντώνεται γύρω από αυτόν. Η ράβδος του σχήματος είναι ένα φυσικό εκκρεμές. Η περίοδος T της ταλάντωσης της ράβδου όταν εκτρέπεται κατά μικρή γωνία, δίνεται από τη σχέση:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_P}{Mgd}} \quad (12)$$

Όπου

I_P : η ροπή αδράνειας της ράβδου ως προς τον άξονα που περνάει από το P.

M : η μάζα της ράβδου

d : η απόσταση του κέντρου μάζας K από το σημείο P.

g : η επιτάχυνση της βαρύτητας.

Πειραματική Διαδικασία – Επεξεργασία Δεδομένων

1. Θα χρησιμοποιήσετε την πειραματική διάταξη (σχήμα 7) αφού πρώτα απομακρύνετε τη φωτούλη
2. Εκτρέψτε τη ράβδο κατά μικρή γωνία (το κάτω άκρο της να απέχει 3-5 cm από την κατακόρυφο) και αφήστε την ελεύθερη να ταλαντωθεί.
3. Μετρήστε τον χρόνο t που διαρκούν 10 ταλαντώσεις.
4. Υπολογίστε την περίοδο ταλάντωσης T της ράβδου και συμπληρώστε τον Πίνακα 4.

Πίνακας 4

Διάρκεια 10 ταλαντώσεων t (s) (3 σημαντικά)	
Περίοδος ταλάντωσης T (s) (3 σημαντικά)	

5. Χρησιμοποιήστε τη σχέση (12) για να υπολογίσετε τη ροπή αδράνειας της ράβδου, την οποία θα ονομάσετε I_{P2} .

.....

.....

.....

.....

.....

Μέρος 5^ο – Υπολογισμός απώλειας ενέργειας

Μια ράβδος η οποία ταλαντώνεται, μετά από κάποιο χρονικό διάστημα θα σταματήσει. Αυτό γίνεται γιατί υπάρχει απώλεια ενέργειας εξαιτίας τριβών και αντίστασης αέρα, η οποία μετατρέπεται τελικά σε θερμότητα.

Έστω ότι απαιτείται να διατηρηθεί η ταλάντωση μιας ράβδου με την αρχική γωνία εκτροπής. Θα πρέπει σε κάθε ταλάντωση, να προστίθεται το ποσό της ενέργειας που χάνεται.

Ζητείται, με την πειραματική διάταξη που έχετε, να προσδιορίσετε το ποσό της ενέργειας που χάνει η ράβδος όταν εκτελεί την πρώτη ταλάντωση, αν η αρχική γωνία εκτροπής είναι 90° (οριζόντια θέση). Περιγράψτε τη διαδικασία που ακολουθήσατε.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

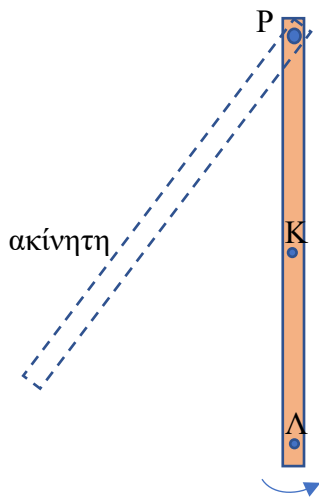
.....

.....

.....

.....

Ερωτήσεις



1. Η ράβδος του πειράματος αφήνεται ελεύθερη να κινηθεί από μια θέση εκτροπής . Όταν διέρχεται από την κατακόρυφη θέση για την ταχύτητα των σημείων K και Λ ισχύει ότι:

- α. $υ_K > υ_Λ$
- β. $υ_K = υ_Λ$
- γ. $υ_K < υ_Λ$

Επιλέξτε τη σωστή απάντηση και αιτιολογήστε την.

.....

.....

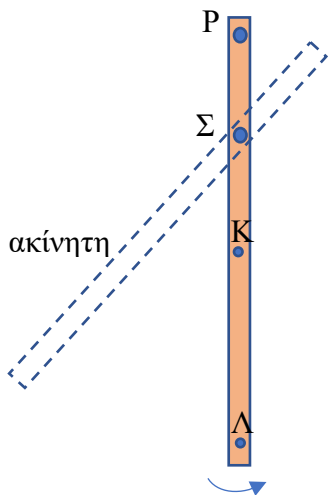
.....

.....

.....

.....

.....



2. Αν στη ράβδο του πειράματος κάνουμε μια δεύτερη οπή σε ένα σημείο Σ που βρίσκεται πιο κοντά στο κέντρο μάζας από ότι το P, τότε η ροπή αδράνειας της ράβδου ως προς το σημείο Σ :

- α. θα μειωθεί
- β. θα αυξηθεί
- γ. θα παραμείνει ίδια.

Επιλέξτε τη σωστή απάντηση και αιτιολογήστε την.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Α. Υπολογίστε το % σφάλμα της ροπής αδράνειας I_{P1} (πείραμα 3^{ου} μέρους) και χρησιμοποιείτε ως θεωρητική τιμή την τιμή I_P (μέρος 1^ο).

.....

.....

.....

Β. Υπολογίστε το % σφάλμα της ροπής αδράνειας I_{P2} (πείραμα 4^{ου} μέρους) και χρησιμοποιείτε ως θεωρητική τιμή την τιμή I_P (μέρος 1^ο).

.....

.....

.....

Γ. Ποια από τις δύο μεθόδους θεωρείτε πιο αξιόπιστη; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

.....

.....

.....

4. Το μαθηματικό εκκρεμές αποτελείται από ένα νήμα στο οποίο έχει δεθεί ένα σώμα μικρών διαστάσεων. Η περίοδος αυτού του εκκρεμούς δεν εξαρτάται από την μάζα του σώματος αλλά από το μήκος του νήματος L_0 που χρησιμοποιήθηκε και δίνεται από τη σχέση:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L_0}{g}} \quad (13)$$

Έστω ότι θέλετε να κατασκευάσετε ένα **ισόχρονο μαθηματικό εκκρεμές** με το φυσικό εκκρεμές - ράβδο που χρησιμοποιήσατε στο μέρος 4. Πόσο θα πρέπει να είναι το μήκος του νήματος L_0 που θα χρησιμοποιήσετε;

Επισήμανση: Ισόχρονο μαθηματικό εκκρεμές είναι αυτό που έχει την ίδια περίοδο ταλάντωσης με τη ράβδο.

.....

.....

.....

.....

.....

Καλή επιτυχία!