



35th International Physics Olympiad

Pohang, Korea

15 ~ 23 July 2004

Πειραματική Εξέταση

19 Ιουλίου 2004

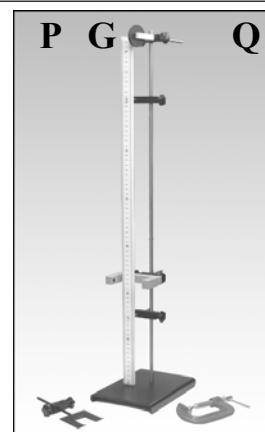
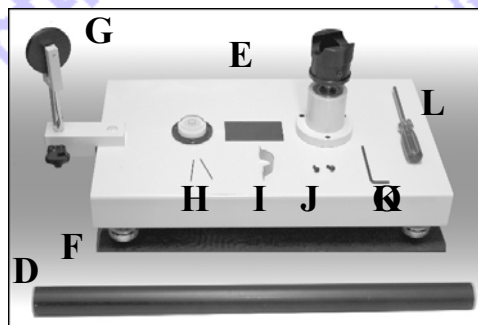
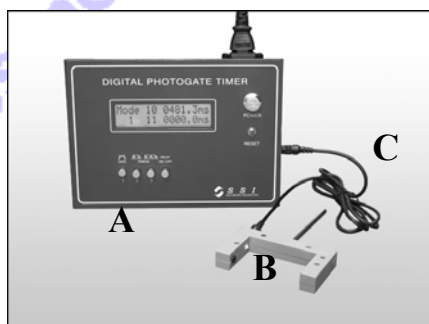
Παρακαλούμε να διαβάσετε πρώτα τα παρακάτω προσεκτικά:

1. Ο διαθέσιμος χρόνος είναι 5 ώρες.
2. Να χρησιμοποιήσετε μόνο το στυλό που σας δόθηκε.
3. Να γράψετε μόνο στην μπροστινή **πλευρά των φύλλων**. Να γράψετε μόνο μέσα στα πλαίσια.
4. Εκτός από τις άδειες σελίδες για γράψιμο υπάρχουν φύλλα απαντήσεων υπάρχει ένα **φύλλο απαντήσεων** όπου πρέπει να συνοψίσετε τα αποτελέσματα στα οποία έχετε καταλήξει.
5. Να γράψετε στα **κενά φύλλα γραφής** τα αποτελέσματα των μετρήσεων και οτιδήποτε θεωρείτε ότι απαιτείται για την απάντηση της ερώτησης. Παρακαλούμε να χρησιμοποιήσετε *όσο το δυνατόν λιγότερο κείμενο* και να εκφραστείτε πρώτιστα με εξισώσεις, αριθμούς, σχήματα και γραφήματα.
6. Να συμπληρώσετε στα πλαίσια που βρίσκονται στην αρχή κάθε φύλλου τον κωδικό της χώρας (**Country Code**), και τον αριθμό σπουδαστή (**Student Code**). Επίσης σε κάθε σελίδα να συμπληρώσετε τον αριθμό σελίδας (**Page Number**) και το συνολικό αριθμό σελίδων που χρησιμοποιήθηκαν (**Total Number of Pages**). Εάν χρησιμοποιείτε **φύλλα** για σημειώσεις (πρόχειρα), τα οποία δεν επιθυμείτε να βαθμολογηθούν, να βάλετε ένα μεγάλο X σε ολόκληρο φύλλο και μην το περιλάβετε στην αρίθμησή σας.
7. Στο τέλος του διαγωνισμού να τακτοποιήσετε όλα τα φύλλα χωριστά για κάθε θέμα με την ακόλουθη σειρά:
 - Το **Φύλλο απαντήσεων (πρώτο)**,
 - τις γραμμένες σελίδες με τη σειρά,
 - τις σελίδες που χρησιμοποιήσατε ως πρόχειρο,
 - τα αχρησιμοποίητα φύλλα και τα τυπωμένα φύλλα με τις ερωτήσεις (τελευταίο).
8. Δε είναι αναγκαίο να καθορίσετε την περιοχή σφαλμάτων για τις τιμές σας. Οποσδήποτε όμως οι αποκλίσεις από τις πραγματικές τιμές επηρεάσουν τη βαθμολογία σας.
9. Τοποθετήστε τα έγγραφα μέσα στο φάκελο και αφήστε τα όλα στο γραφείο σας. Δεν επιτρέπεται να πάρετε καμιά σελίδα χαρτί ή κανένα υλικό που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα έξω από την αίθουσα.

Συσκευές και υλικά

1. Κατάλογος των διαθέσιμων συσκευών και υλικών

	Όνομα	Ποσότητα		Όνομα	Ποσότητα
A	Χρονόμετρο φωτοπύλης	1	L	Σταυροκατσάβιδο	1
B	Φωτοπύλη (photogate)	1	M	Βαρίδι με νήμα	1
C	Καλώδιο σύνδεσης	1	N	Ηλεκτρονική ζυγαριά	1
D	Μηχανικό μαύρο κουτί (μαύρος κύλινδρος)	1	O	Ορθοστάτης με βαθμολογημένο χάρακα	1
E	Περιστρεφόμενος άξονας (με υποδοχή του κυλίνδρου)	1	P	Στήριγμα σχήματος U	1
F	Λαστιχένια επιφάνεια	1	Q	Σφιγκτήρας	1
G	Τροχαλία	2		Βαθμολογημένος χάρακας (0.50 m, 0.15 m)	1 από το καθένα
H	Μεταλλικό καρφί	2		Παχύμετρο ακριβείας	1
I	Έλασμα σχήματος U	1		Ψαλίδι	1
J	Βίδες	2		Νήμα	1
K	Κλειδί Allen (εξαγωνικό, σχήματος L)	1		Διάφορα (κλωστή, νήμα, Καρφιά, κατσαβίδι, κλειδί Allen)	

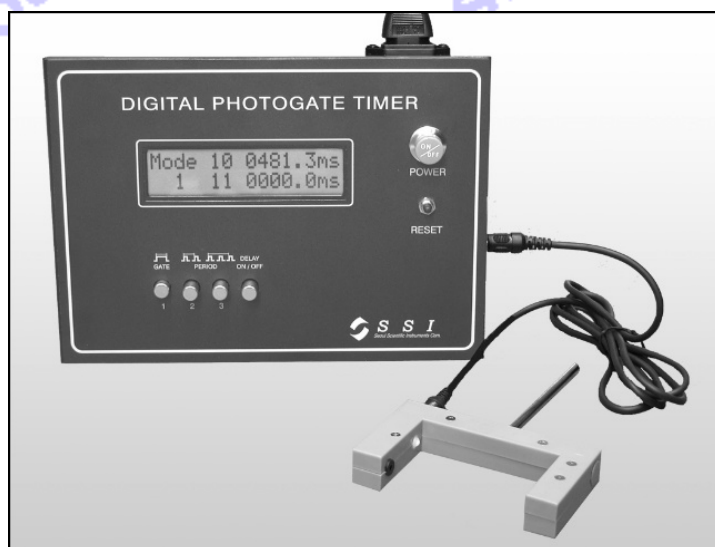


2. Οδηγίες για το χρονόμετρο φωτοπύλης

Η φωτοπύλη αποτελείται από ένα LED υπέρυθρου και έναν φωτοανιχνευτή. Συνδέοντας τη φωτοπύλη με το χρονόμετρο φωτοπύλης μπορείτε να μετρήσετε τη διάρκεια χρόνου κατά την οποία εμποδίζεται (από το διερχόμενο σώμα) το υπέρυθρο φως να φτάσει στον αισθητήρα του ανιχνευτή.

- Να βεβαιωθείτε ότι η φωτοπύλη είναι συνδεδεμένη με το χρονόμετρο φωτοπύλης. Να θέσετε τη συσκευή σε λειτουργία πιέζοντας τον διακόπτη με την ένδειξη “POWER”.
- Για να μετρήσετε τη χρονική διάρκεια μιας μοναδικής διέλευσης του σώματος (το οποίο εμποδίζει το υπέρυθρο φως να φθάσει στον αισθητήρα) πιέστε το διακόπτη με την ένδειξη “GATE”. Χρησιμοποιείστε αυτή τη λειτουργία “GATE” για μετρήσεις ταχύτητας.
- Για να μετρήσετε τη χρονική διάρκεια μεταξύ δύο διελεύσεων, πιέστε τον αντίστοιχο διακόπτη “PERIOD”. Χρησιμοποιήστε αυτή τη λειτουργία “PERIOD” για μετρήσεις ταλάντωσης.
- Αν ο διακόπτης “DELAY” είναι πιεσμένος μέσα, το χρονόμετρο φωτοπύλης εμφανίζει το αποτέλεσμα κάθε μέτρησης για 5 δευτερόλεπτα και μετά μηδενίζεται αυτόματα.
- Αν ο διακόπτης “DELAY” είναι έξω, το χρονόμετρο φωτοπύλης εμφανίζει το αποτέλεσμα της προηγούμενης μέτρησης έως ότου η επόμενη μέτρηση ολοκληρωθεί.
- Μετά από κάθε αλλαγή της θέσης των διακοπών, πιέστε το διακόπτη “RESET” μια φορά για να ενεργοποιηθεί η αλλαγή λειτουργίας.

Προσοχή: Μην κοιτάζετε κατευθείαν τον λαμπτήρα της φωτοπύλης. Το αόρατο υπέρυθρο φως μπορεί να βλάψει τα μάτια σας.



Φωτοπύλη, χρονόμετρο φωτοπύλης και καλώδιο σύνδεσης

3. Οδηγίες για τον Ηλεκτρονικό Ζυγό

- Ρυθμίστε τα πόδια της βάσης για να σταθεροποιήσετε το ζυγό. (Αν και υπάρχει ένας δείκτης ρύθμισης του επιπέδου, η ρύθμιση του ζυγού σε εντελώς οριζόντια θέση δεν είναι απαραίτητη).
- Χωρίς να τοποθετήσετε οτιδήποτε επάνω στο ζυγό, πιάστε το διακόπτη “On/Off” στο “On”.
- Τοποθετήστε ένα σώμα επάνω στο κυκλικό δίσκο μέτρησης βάρους. Η μάζα του σώματος θα εμφανιστεί σε γραμμάρια.
- Εάν δεν υπάρχει τίποτε επάνω στο δίσκο μέτρησης, ο ζυγός θα πάψει να λειτουργεί αυτόματα σε περίπου 25 δευτερόλεπτα.

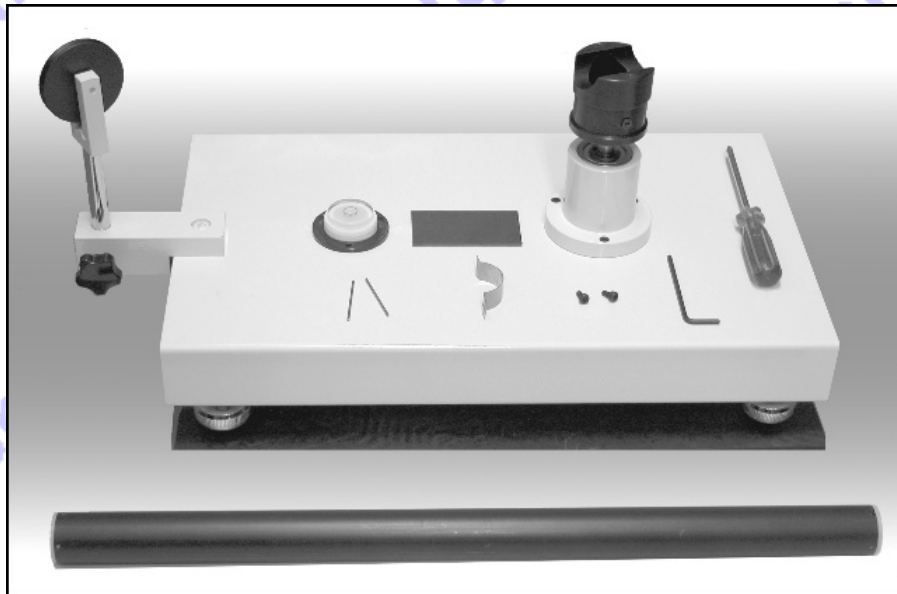


Ζυγός

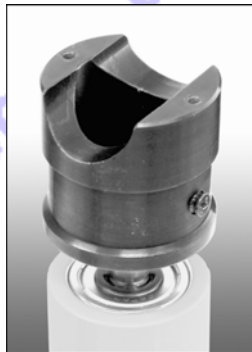
4. Οδηγίες για τη Βάση Περιστροφής

- Ρυθμίστε τα πόδια της βάσης για να σταθεροποιήσετε τη βάση περιστροφής επάνω στη λαστιχένια επιφάνεια σε οριζόντια θέση.
- Με ένα έλασμα σχήματος U και δύο βίδες στερεώστε το Μηχανικό “Μαύρο Κουτί” (Mechanical “Black Box”, MBB) (μαύρος κύλινδρος) στην υποδοχή του περιστρεφόμενου άξονα. Χρησιμοποιήστε το κλειδί Allen (εξαγωνικό, σχήματος L) για να σφίξετε τις βίδες.
- Το νήμα που είναι συνδεδεμένο στο βαρίδι πρέπει να στερεωθεί στη βίδα που βρίσκεται στο πλάι του περιστρεφόμενου άξονα. Χρησιμοποιήστε το σταυροκατσάβιδο.

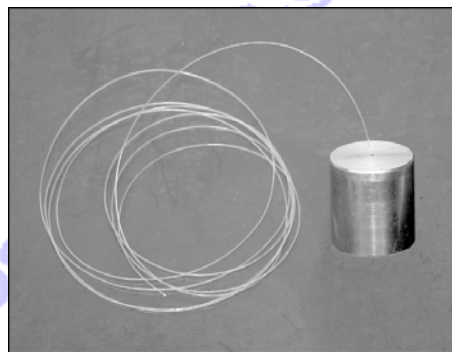
Προσοχή: Μην κοιτάζετε κατευθείαν προς το MBB όσο περιστρέφεται. Μπορεί να έχετε πρόβλημα με τα μάτια σας.



Μηχανικό “Μαύρο Κουτί” (MBB) και η βάση περιστροφής του



Περιστρεφόμενος άξονας με υποδοχή για το MBB



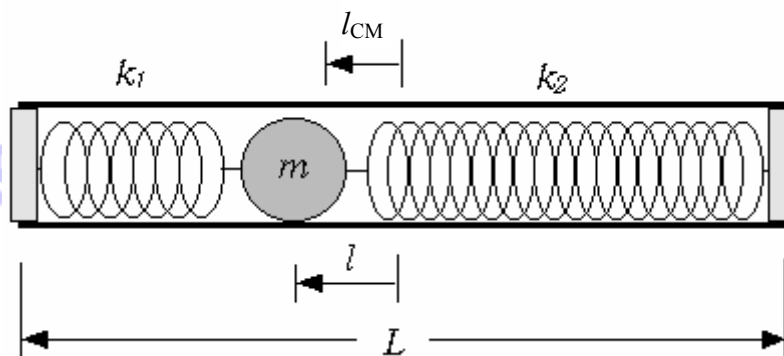
Βαρίδι με νήμα

Μηχανικό “Μαύρο Κουτί”

[Ερώτημα] Να βρείτε τη μάζα της σφαίρας και τις σταθερές δύο ελατηρίων σε ένα Μηχανικό “Μαύρο Κουτί”.

Γενικές Πληροφορίες για το Μηχανικό “Μαύρο Κουτί”

Το Μηχανικό “Μαύρο Κουτί” (Mechanical “Black Box”, MBB) αποτελείται από μια στερεά σφαίρα προσαρμοσμένη σε δύο ελατήρια μέσα σε ένα μαύρο κυλινδρικό κουτί, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1. Τα δύο ελατήρια είναι όμοια, εκτός από τον αριθμό των σπειρών τους. Οι μάζες των ελατηρίων όπως και τα μήκη των ελατηρίων, όταν αυτά δεν είναι υπό τάση, μπορούν να αγνοηθούν. Ο κύλινδρος είναι ομοιογενής και σφραγισμένος στις δύο άκρες του με παρόμοια πώματα. Το μέρος των πωμάτων που εισχωρεί στον κύλινδρο έχει μήκος 5 mm. Η ακτίνα της σφαίρας είναι 11 mm και η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα είναι 23 mm. Η επιτάχυνση της βαρύτητας δίνεται $g = 9.8 \text{ m/s}^2$. Υπάρχει μια αμελητέα τριβή μεταξύ της σφαίρας και του εσωτερικού τοιχώματος του κυλίνδρου.



Εικ. 1 Μηχανικό “Μαύρο Κουτί” (MBB) (όχι υπό κλίμακα)

Ο σκοπός αυτού του πειράματος είναι να βρείτε τη μάζα m της σφαίρας και τις σταθερές k_1 και k_2 των ελατηρίων χωρίς να ανοιχθεί το MBB. Η δυσκολία του προβλήματος είναι στο ότι οποιοδήποτε απλό πείραμα δεν μπορεί να δώσει τη μάζα m ή τη θέση l της σφαίρας, γιατί οι δύο ποσότητες συνδέονται μεταξύ τους. Εδώ, l είναι η απόσταση μεταξύ του κέντρου του κυλίνδρου και του κέντρου της σφαίρας όταν το MBB είναι ακίνητο οριζόντια.

Τα σύμβολα του καταλόγου που ακολουθεί θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να παραστήσουν τις φυσικές ποσότητες που ενδιαφέρουν. Αν χρειαστεί να χρησιμοποιήσετε άλλες φυσικές ποσότητες, να χρησιμοποιήσετε σύμβολα διαφορετικά από αυτά τα οποία ήδη έχουν χρησιμοποιηθεί για την αποφυγή σύγχυσης.

Καθορισμένοι Φυσικοί Συμβολισμός

Μάζα της σφαίρας: m

Ακτίνα της σφαίρας: r ($= 11 \text{ mm}$)

Μάζα του MBB χωρίς την σφαίρα: M

Μήκος του μαύρου κυλίνδρου: L

Μήκος κάθε πάματος στο εσωτερικό του κυλίνδρου: δ ($= 5.0 \text{ mm}$)

Απόσταση του κέντρου μάζας του MBB από το κέντρο του κυλίνδρου: l_{CM}

Απόσταση του κέντρου της σφαίρας από το κέντρο του κυλίνδρου: x (ή l όταν το MBB είναι σε ισορροπία, οριζόντιο)

Επιτάχυνση της βαρύτητας: g ($= 9.8 \text{ m/s}^2$)

Μάζα του βαριδιού που είναι συνδεδεμένο σε νήμα: m_0

Ταχύτητα του βαριδιού: v

Κατακόρυφη μετατόπιση του βαριδιού: h

Ακτίνα του περιστρεφόμενου κυλινδρικού άξονα όπου τυλίγεται το νήμα: R

Ροπή αδράνειας: I , I_0 , I_1 , I_2 , και ούτω καθεξής

Γωνιακή ταχύτητα και κυκλική συχνότητα: ω , ω_1 , ω_2 , και ούτω καθεξής

Περίοδος της ταλάντωσης: T_1 , T_2

Ισοδύναμη σταθερά των ελατηρίων (σταθερά επαναφοράς του συστήματος): k

Σταθερές των ελατηρίων για τα δύο ελατήρια: k_1 , k_2

Αριθμός σπειρών για τα ελατήρια: N_1 , N_2

Προσοχή: Δεν πρέπει να ανοίξετε το MBB. Αν το ανοίξετε, θα αποκλειστείτε και θα μηδενιστείτε στο Πειραματικό μέρος.

Προσοχή: Μη κουνάτε βίαια ούτε να ρίχνετε κάτω το MBB. Η σφαίρα μπορεί να αποσυνδεθεί από τα ελατήρια. Εάν το δικό σας MBB φαίνεται ελαττωματικό, να το αναφέρετε άμεσα. Θα αντικατασταθεί μόνο μια φορά χωρίς να έχετε επίπτωση στη βαθμολογία σας. Για κάθε επόμενη αντικατάσταση θα σας ελαττώνετε η βαθμολογία κατά 0,5 μονάδες κάθε φορά.

A - Μέρος Γινόμενο της μάζας και της θέσης της σφαίρας ($m \times l$) (4.0 μονάδες)

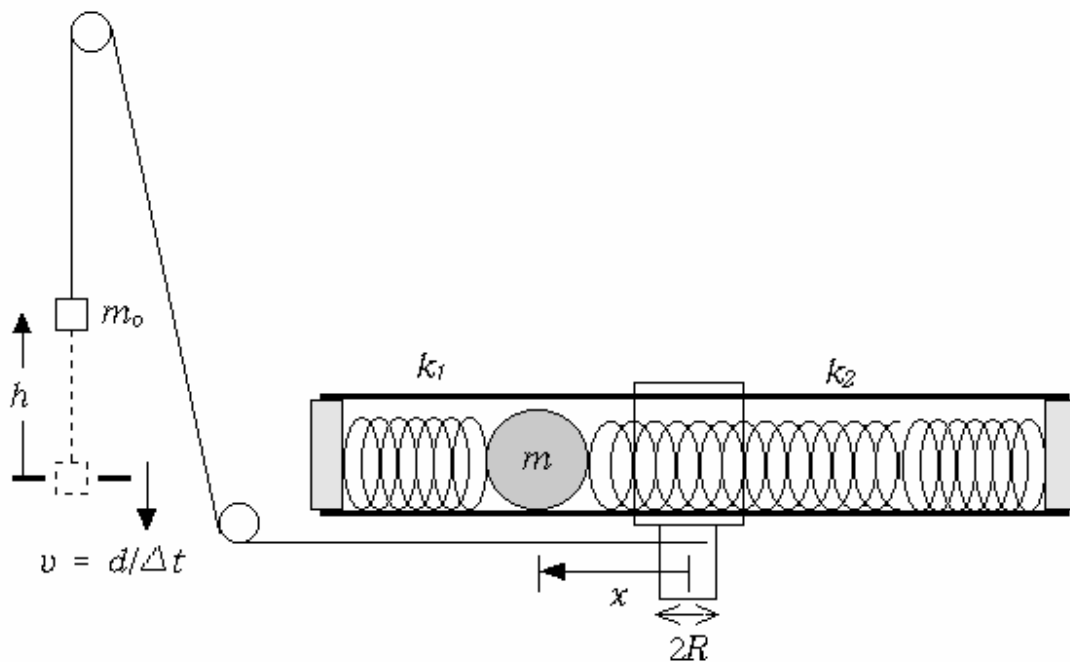
l είναι η θέση το κέντρου μάζας της σφαίρας σε σχέση με το κέντρο του κυλίνδρου όταν το MBB είναι σε οριζόντια θέση και ακίνητο, όπως στην εικόνα 1. Να βρείτε την τιμή του γινομένου ($m \times l$) της μάζας m και της θέσης της σφαίρας l πειραματικά. Θα την χρειαστείτε για να προσδιορίσετε την τιμή του m στο **B - Μέρος**.

1. Να εισηγηθείτε και να δικαιολογήσετε, με χρήση εξισώσεων, μια μέθοδο η οποία να επιτρέπει τον προσδιορισμό του $m \times l$. (2.0 μονάδες)
2. Να προσδιορίσετε πειραματικά την τιμή του $m \times l$. (2.0 μονάδες)

B - Μέρος Η μάζα m της σφαίρας (10.0 μονάδες)

Στην εικόνα 2 φαίνεται το MBB τοποθετημένο οριζόντια πάνω στον άξονα περιστροφής και ένα βαρίδι μάζας m_0 προσαρμοσμένο σε ένα από τα άκρα ενός νήματος, του οποίου το άλλο άκρο τυλίγεται στον περιστρεφόμενο άξονα. Όταν το σώμα πέφτει, το νήμα τυλίγεται και το MBB περιστρέφεται. Συνδυάζοντας την εξίσωση που αναφέρεται σε αυτό το πείραμα με την εξίσωση που έχει εξαχθεί στο Α-Μέρος μπορείτε να βρείτε μια σχέση για τον υπολογισμό του m .

Μεταξύ της σφαίρας και του εσωτερικού τοιχώματος του κυλίνδρου ασκείται δύναμη τριβής. Ο φυσικός μηχανισμός της τριβής και της ολίσθησης της σφαίρας υπό την επίδραση της περιστροφικής κίνησης είναι περίπλοκος. Για να απλοποιήσετε την ανάλυση μπορείτε να αγνοήσετε τις απώλειες ενέργειας λόγω της τριβής κατά την κίνηση.



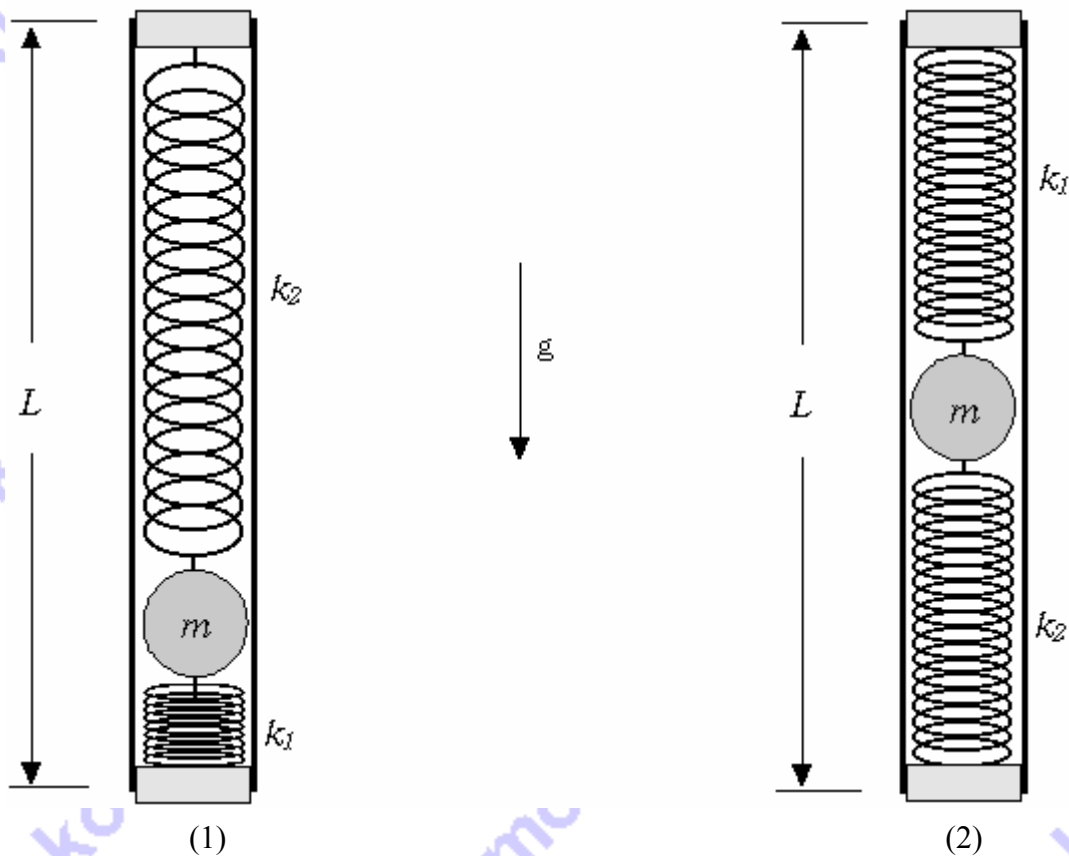
Εικόνα 2 Περιστροφή του Μηχανικού «Μαύρου Κουτιού» (όχι υπό κλίμακα).

Η γωνιακή ταχύτητα ω του MBB μπορεί να εξαχθεί από την ταχύτητα v του βαριδιού καθώς περνάει από την φωτοπύλη. x είναι η θέση της σφαίρας σε σχέση με τον άξονα περιστροφής και d είναι το μήκος του βαριδιού μάζας m_0 .

1. Μετρήστε την ταχύτητα v του βαριδιού (μάζας m_0) για διάφορες τιμές της μετατόπισης του κατά h προς τα κάτω. Σας συμβουλεύουμε να πάρετε ολόκληρη την περιοχή τιμών του h από $h = 1.0 \times 10^{-2}$ m μέχρι 4.0×10^{-1} m μετρώντας την ταχύτητα για κάθε h που διαφέρει κατά $1.0 \times 10^{-2} \sim 2.0 \times 10^{-2}$ m. Να χαράξετε την κατάλληλη γραφική παράσταση από την οποία να μπορείτε να υπολογίσετε την τιμή του m . Αφού πάρετε μια γενική ιδέα για τη σχέση μεταξύ ταχύτητας v και ύψους h , μπορείτε να επαναλάβετε τη μέτρηση ή να προσθέσετε άλλες πληροφορίες αν είναι απαραίτητες. Όταν το MBB περιστρέφεται αργά, η σφαίρα δε γλιστρά από τη θέση στατικής ισορροπίας λόγω της τριβής μεταξύ σφαίρας και σωλήνα. Όταν το MBB περιστρέφεται αρκετά γρήγορα η σφαίρα μετακινείται και ακουμπά στο κλειστό άκρο του MBB επειδή τα ελατήρια είναι αδύνατα. Προσδιορίστε την περιοχή αργής περιστροφής και της περιοχής της γρήγορης περιστροφής πάνω στη γραφική παράσταση. (4.0 μονάδες)
2. Δείξτε ότι οι μετρήσεις σας συμφωνούν με το γεγονός ότι το h είναι ανάλογο με το v^2 ($h = C v^2$) όταν η περιστροφή είναι αργή.
Επίσης δείξτε από τις μετρήσεις ότι $h = Av^2 + B$ για την περιοχή της γρήγορης περιστροφής. (1.0 μονάδα)
3. Η ροπή αδράνειας της σφαίρας ακτίνας r και μάζας m ως προς άξονα περιστροφής που περνά από το κέντρο είναι $2mr^2/5$. Εάν η σφαίρα έχει μετατοπιστεί κατά απόσταση a κάθετα στον άξονα περιστροφής, η ροπή αδράνειας αυξάνεται κατά ma^2 . Χρησιμοποιείστε το σύμβολο I για να εκφράσετε την ολική ροπή αδράνειας όλων των περιστρεφόμενων σωμάτων εκτός της σφαίρας. Να βρείτε τη σχέση του συντελεστή C με τις παραμέτρους του MBB όπως m, l κλπ. (1.0 μονάδα)
4. Βρείτε τη σχέση των συντελεστών A και B με τις παραμέτρους του MBB όπως m, l κλπ. (1.0 μονάδα)
5. Προσδιορίστε την τιμή του m από τις μετρήσεις σας και από τα αποτελέσματα που βρήκατε στο **A - ΜΕΡΟΣ** (3.0 μονάδες)

C - Μέρος . Υπολογισμός των σταθερών k_1 και k_2 των ελατηρίων.

Σε αυτό το μέρος χρειάζεται να γίνουν πειράματα ταλαντώσεων μικρού πλάτους χρησιμοποιώντας το MBB σαν φυσικό εκκρεμές. Σε κάθε άκρο του MBB υπάρχουν δυο μικρές τρύπες. Όταν τα δυο καρφιά εισαχθούν μέσα στις τρύπες, λειτουργούν σαν άξονας γύρω από τον οποίο το MBB κάνει ταλαντώσεις μικρού πλάτους. Στερεώστε τη βάση σχήματος U και χρησιμοποιείστε την για να στηρίξετε σ' αυτή τον άξονα από τα καρφιά που τοποθετήσατε στις τρύπες. Να λάβετε υπόψη ότι η κυκλική συχνότητα ω της ταλάντωσης μικρού πλάτους δίδεται από τη σχέση $\omega = [\text{ροπή}/(\text{ροπή αδράνειας} \times \gamma\omega\nu\acute{\alpha}\nu\iota\alpha)]^{1/2}$. Η ροπή και η ροπή αδράνειας να ληφθούν ως προς τον άξονα περιστροφής. Όμοια με το **B - Μέρος**, να εκτελέσετε δυο διαφορετικά πειράματα όπως φαίνονται στο σχήμα 3 για να απαλείψετε την άγνωστη ροπή αδράνειας I_0 του MBB, χωρίς να περιλαμβάνεται η σφαίρα.



Σχήμα 3. Ταλάντωση του Μηχανικού Μαύρου Κουτιού (MBB) (όχι σε κλίμακα).

Οι περίοδοι των ταλαντώσεων μικρού πλάτους, T_1 και T_2 , για τις δυο περιπτώσεις ανάρτησής του, όπως φαίνονται πιο πάνω, μπορούν να μετρηθούν με τη χρήση φωτοπύλης (photogate). Δυο καρφιά και μια βάση σχήματος U σας έχουν δοθεί γι' αυτό το πείραμα.

1. Μετρήστε τις περιόδους T_1 και T_2 των ταλαντώσεων μικρού πλάτους, όπως φαίνονται στο σχήμα 3 (1) και (2) και γράψτε τις τιμές τους αντίστοιχα. (1.0 μονάδα)
2. Εξηγήστε (χρησιμοποιώντας εξισώσεις) γιατί οι κυκλικές συχνότητες ω_1 και ω_2 των ταλαντώσεων μικρού πλάτους των δυο διατάξεων είναι διαφορετικές. Χρησιμοποιείτε το σύμβολο I_0 για να εκφράσετε τη ροπή αδράνειας του MBB, χωρίς τη σφαίρα, ως προς τον κάθετο άξονα περιστροφής στο άκρο του MBB. Χρησιμοποιείτε το σύμβολο Δl για να εκφράσετε την οριζόντια μετατόπιση της σφαίρας από τη θέση ισορροπίας. (1.0 μονάδα)
3. Υπολογίστε τη μετατόπιση Δl απαλείφοντας το I_0 από τα προηγούμενα αποτελέσματα. (1.0 μονάδα)
4. Συνδιάζοντας τα αποτελέσματα από τα 1, 2 και 3 του **C - Μέρους** και του **B - Μέρους**, να βρείτε και να γράψετε την ισοδύναμη ολική σταθερά του συστήματος των δυο ελατηρίων. (2.0 μονάδες)
5. Υπολογίστε τις τιμές k_1 και k_2 αντίστοιχα. (1.0 μονάδα)