Η εξέταση των μαθητών κατά την διάρκεια των Ολυμπιάδων Φυσικής γίνεται σε δύο φάσεις. Στην πρώτη οι μαθητές καλούνται να επιλύσουν τρία θεωρητικά θέματα ενώ στην δεύτερη ζητείται η σύνθεση και η πραγματοποίηση μιας πειραματικής διάταξης, η εκτέλεση πειράματος και η επεξεργασία των δεδομένων. Η διάρκεια κάθε εξέτασης είναι πέντε ώρες.

Τα θέματα προτείνονται από επιστημονική επιτροπή της διοργανώτριας χώρας και επεξεργάζονται από την ολομέλεια των εκπροσώπων των χωρών, όπου και γίνεται ευρεία συζήτηση και διαμόρφωσή τους. Αφού οριστικοποιηθούν τα θέματα μεταφράζονται και προσαρμόζονται γλωσσικά από τους συνοδούς κάθε ομάδας (για την ελληνική γλώσσα υπάρχει συνεργασία της Ελληνικής με την Κυπριακή Ομάδα κατά τη διάρκεια της νύχτας, πριν τη θεωρητική ή και πειραματική εξέταση).

Τα θέματα και οι λύσεις έχουν μεταφραστεί από τους:

Σταύρο Ιωάννου, Αντρέα Παπαφιλίππου (Κυπριακή Αντιπροσωπεία)

Γεώργιο Θ. Καλκάνη, Μάνθο Πατρινόπουλο, Σαράντο Οικονομίδη.

35th International Physics Olympiad

Pohang, Korea

15 ~ 23 July 2004

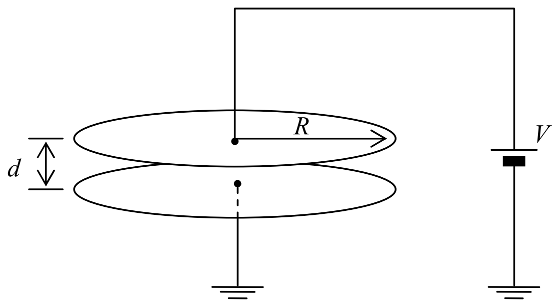
35η Διεθνής Ολυμπιάδα Φυσικής
Pohang, Κορέα, 15 έως 23 Ιουλίου 2004

1ο Θεωρητικό θέμα

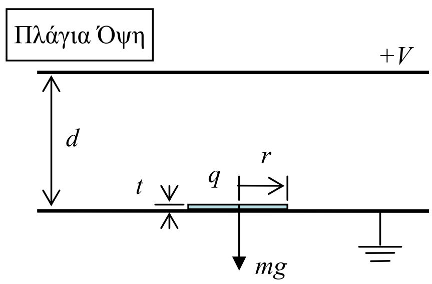
Αντιστάτης "Πινγκ – Πονγκ"

Ένας πυκνωτής αποτελείται από δύο παράλληλες κυκλικές πλάκες, οι οποίες και οι δύο έχουν ακτίνα R και απέχουν μεταξύ τους απόσταση d, όπου $d << R$, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.1(a). Η επάνω πλάκα συνδέεται με πηγή σταθερής τάσης σε δυναμικό V, ενώ η κάτω πλάκα είναι γειωμένη. Τότε, ένας λεπτός και μικρός δίσκος μάζας m, με ακτίνα r ($<< R,d$) και πάχος t ($<< r$), τοποθετείται στο κέντρο της κάτω πλάκας, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.1(b).

Ας υποθέσουμε, ότι ο χώρος μεταξύ των πλακών είναι κενός, με διηλεκτρική σταθερά ε_0. Οι πλάκες και ο δίσκος αποτελούνται από υλικό που είναι ιδανικός αγωγός. Όλα τα ηλεκτροστατικά φαινόμενα στα άκρα τους να αγνοηθούν. Η επαγωγή ολοκλήρου του κυκλώματος και τα σχετικιστικά φαινόμενα μπορούν να παραβλεφθούν. Τα επαγωγικά φορτία μπορούν επίσης να αγνοηθούν.



(a)



(b)

Εικόνα 1.1 Σχηματικές παραστάσεις (a) ενός πυκνωτή με *παράλληλες πλάκες,* που συνδέονται με μια πηγή σταθερής τάσης και (b) της πλάγιας όψης των παραλλήλων πλακών με έναν μικρό *δίσκο* τοποθετημένο στο εσωτερικό του πυκνωτή (βλ. το κείμενο για τις λεπτομέρειες).

(a) [1.2 μονάδες] Υπολογίστε την ηλεκτροστατική δύναμη F_p μεταξύ *των πλακών* που βρίσκονται σε απόσταση d πριν εισαχθεί ο δίσκος μεταξύ τους, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.1(a).

(b) [0.8 μονάδες] Όταν ο δίσκος τοποθετείται στην κάτω πλάκα, το φορτίο q που εμφανίζεται επάνω στο *δίσκο* της εικόνας 1.1(b) συσχετίζεται με την τάση V με τη σχέση $q = \chi V$. Βρείτε το χ ως συνάρτηση των r, d και ε_0.

(c) [0.5 μονάδες] Οι παράλληλες πλάκες βρίσκονται κάθετα σε ομογενές βαρυτικό πεδίο g. Για να ανυψώσουμε το δίσκο πάνω από την αρχική του θέση ακινησίας, πρέπει να αυξήσουμε την εφαρμοζόμενη τάση πάνω από μια τιμή V_{th}. Αποδώστε το V_{th} ως συνάρτηση των m, g, d και χ.

(d) [2.3 μονάδες] Όταν $V > V_{\text{th}}$, ο δίσκος κάνει μια κίνηση πάνω-κάτω μεταξύ των πλακών. (Υποθέστε ότι ο δίσκος κινείται μόνον κάθετα *χωρίς καμία παρέκκλιση*). Οι κρούσεις μεταξύ και των πλακών είναι ανελαστικές, με λόγο ταχυτήτων (restitution coefficient) $\eta \equiv (\mathrm{v}_{\text{after}} / \mathrm{v}_{\text{before}})$, όπου $\mathrm{v}_{\text{before}}$ και $\mathrm{v}_{\text{after}}$ είναι οι ταχύτητες του δίσκου ακριβώς πριν και μετά από κάθε κρούση, αντίστοιχα. Οι πλάκες είναι στερεωμένες ακλόνητα σε σταθερές θέσεις. Η ταχύτητα του δίσκου *αμέσως μετά* από κάθε κρούση με την κάτω πλάκα προσεγγίζει μια "σταθερή" ("steady-state") τιμή v_s, η οποία εξαρτάται από το V σύμφωνα με τη σχέση:

$$\mathrm{v}_s = \sqrt{\alpha V^2 + \beta} \tag{1.1}$$

Αποδώστε τους συντελεστές α και β ως συνάρτηση των m, g, χ, d και η. Υποθέστε ότι ολόκληρη η επιφάνεια του δίσκου αγγίζει την πλάκα ομοιόμορφα και ταυτόχρονα, έτσι ώστε η μεταφορά όλου του φορτίου συμβαίνει στιγμιαία σε κάθε κρούση.

(e) [2.2 μονάδες] Μετά την επίτευξη μιας σταθερής κατάστασης, η μέση τιμή ως προς το χρόνο του ρεύματος I μέσω των πλακών του πυκνωτή μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά από την σχέση $I = \gamma V^2$, όπου $qV >> mgd$. Εκφράστε το συντελεστή γ ως συνάρτηση των m, χ, d και η.

(f) [3 μονάδες] Όταν η εφαρμοσμένη τάση V μειώνεται (εξαιρετικά αργά), υπάρχει μια κρίσιμη τιμή της τάσης V_c κάτω από την οποία η το φορτίο θα σταματήσει να ρέει. Βρείτε την V_c και το αντίστοιχο ρεύμα I_c ως συνάρτηση των m, g, χ, d και η. Συγκρίνοντας το V_c με την οριακή τιμή V_{th}, πάνω από την οποία ο δίσκος αρχίζει να κινείται όπως έχει αναφερθεί στο (c), κάνετε ένα ποιοτικό διάγραμμα $I-V$ όταν το V αυξάνεται και ακολούθως μειώνεται στην περιοχή από $V=0$ ως $3V_{th}$.

2° Θεωρητικό θέμα

Μπαλόνι που ανυψώνεται

Ένα λαστιχένιο μπαλόνι γεμάτο με αέριο ήλιο ανυψώνεται ψηλά στον ουρανό, όπου η πίεση και η θερμοκρασία μειώνονται με το ύψος. Στις ακόλουθες ερωτήσεις υποθέστε ότι το σχήμα του μπαλονιού παραμένει σφαιρικό, ανεξάρτητα από το φορτίο του, και θεωρήστε αμελητέο τον όγκο του φορτίου. Επίσης υποθέστε ότι η θερμοκρασία του αερίου ηλίου μέσα στο μπαλόνι είναι πάντοτε ίση με αυτήν του αέρα που το περιβάλει και θεωρήστε ότι για όλα τα αέρια ισχύουν οι νόμοι των ιδανικών αερίων. Η παγκόσμια σταθερά των αερίων είναι R = 8.31 J/mol·K και οι γραμμομοριακές μάζες του ηλίου και του αέρα είναι M_H = 4.00×10^{-3} kg/mol και M_A = 28.9×10^{-3} kg/mol, αντίστοιχα. Η επιτάχυνση της βαρύτητας είναι g=9.8 m/s^2.

[Μέρος A]

(a) [1.5 μονάδες] Έστω ότι η πίεση του περιβάλλοντος αέρα είναι P και η θερμοκρασία του T. Η πίεση στο εσωτερικό του μπαλονιού είναι μεγαλύτερη από αυτή στο εξωτερικό και οφείλεται στην δύναμη που ασκείται από τα τοιχώματα του μπαλονιού. Το μπαλόνι περιέχει n γραμμομόρια (moles) αερίου ηλίου και η πίεση στο εσωτερικό του είναι $P + \Delta P$. Βρείτε την ανοδική δύναμη F_B που ασκείται στο μπαλόνι από τον αέρα (άνωση) ως συνάρτηση των P και ΔP.

(b) [2 μονάδες] Μια συγκεκριμένη καλοκαιρινή ημέρα στην Κορέα, η θερμοκρασία του αέρα T σε ύψος z από την επιφάνεια της θάλασσας βρέθηκε $T(z)=T_0(1-z/z_0)$ στην περιοχή $0 < z < 15$ km, με z_o = 49 km και T_o = 303 K. Η πίεση και η πυκνότητα στο επίπεδο της θάλασσας είναι P_o = 1 atm = 1.01× 10^5 Pa και ρ_0 = 1.16 kg/m^3, αντίστοιχα. Για αυτή την περιοχή υψών, η πίεση δίνεται από τη σχέση

$$P(z)=P_0(1-z/z_0)^{\eta} \ . \tag{2.1}$$

Εκφράστε τον εκθέτη η ως συνάρτηση των z_0, ρ_0, P_0 και g. Βρείτε την αριθμητική τιμή του με *δύο* σημαντικά ψηφία. Θεωρήστε την επιτάχυνση της βαρύτητας σταθερή, ανεξάρτητη από το ύψος.

[Μέρος B]

Όταν ένα λαστιχένιο μπαλόνι σφαιρικού σχήματος με αρχική (un-stretched) ακτίνα r_0 φουσκώνεται σε σφαίρα ακτίνας r ($\geq r_0$), η επιφάνεια του μπαλονιού περιέχει πρόσθετη ελαστική ενέργεια λόγω του τεντώματος. Κατά μια απλοποιημένη θεωρία, η ελαστική ενέργεια σε σταθερή θερμοκρασία T μπορεί να εκφραστεί με τη σχέση

$$U = 4\pi r_0^2 \kappa RT \left(2\lambda^2 + \frac{1}{\lambda^4} - 3\right) \tag{2.2}$$

όπου $\lambda \equiv r/r_0$ (≥ 1) είναι ο λόγος των ακτίνων και κ είναι μια σταθερά με μονάδες mol/m^2.

(c) [2 μονάδες] Εκφράστε το ΔP ως συνάρτηση των παραμέτρων που δίνονται στη σχέση (2.2) και σχεδιάστε το ΔP σε συνάρτηση με το $\lambda = r/r_0$.

(d) [1.5 μονάδες] Η σταθερά κ μπορεί να καθοριστεί από την ποσότητα του αερίου που απαιτείται για να φουσκώσει το μπαλόνι. Σε T_0=303 K και P_0=1.0 atm, ένα μη φουσκωμένο (un-stretched) μπαλόνι ($\lambda = 1$) περιέχει n_0 =12.5 moles ηλίου. Απαιτούνται n=3.6n_0=45 moles συνολικά για να φουσκώσει το μπαλόνι σε λ=1.5, στην ίδια T_0 και P_0. Εκφράστε την παράμετρο a του μπαλονιού (που ορίζεται ως $a = \kappa/\kappa_0$) ως συνάρτηση των n, n_0 και λ, όπου $\kappa_0 \equiv \frac{r_0 P_0}{4RT_0}$. Υπολογίστε το a με δύο σημαντικά ψηφία.

[Μέρος C]

Ένα μπαλόνι προετοιμάζεται όπως στο ερώτημα (d) στο επίπεδο της θάλασσας (φουσκωμένο σε $\lambda = 1.5$, με $n = 3.6 n_0 = 45$ moles αερίου ηλίου, σε T_0=303 K και P_0=1 atm=1.01×10^5 Pa). Η ολική μάζα που περιλαμβάνει τη μάζα του αερίου, τη μάζα του μπαλονιού και τη μάζα των άλλων φορτίων είναι $M_T = 1.12$ kg. Το μπαλόνι αφήνεται να ανυψωθεί από το επίπεδο της θάλασσας.

(e) [3 μονάδες] Υποθέστε ότι το μπαλόνι αναπόφευκτα σταματάει σε ύψος z_f, όπου η ανοδική δύναμη εξισώνεται με το ολικό βάρος. Βρείτε το z_f και το λόγο λ_f σε αυτό το ύψος. Δώστε τις απαντήσεις με δύο σημαντικά ψηφία. Υποθέστε ότι δεν υπάρχουν φαινόμενα ολίσθησης και διαρροής αερίου κατά τη διάρκεια της ανοδικής πορείας.

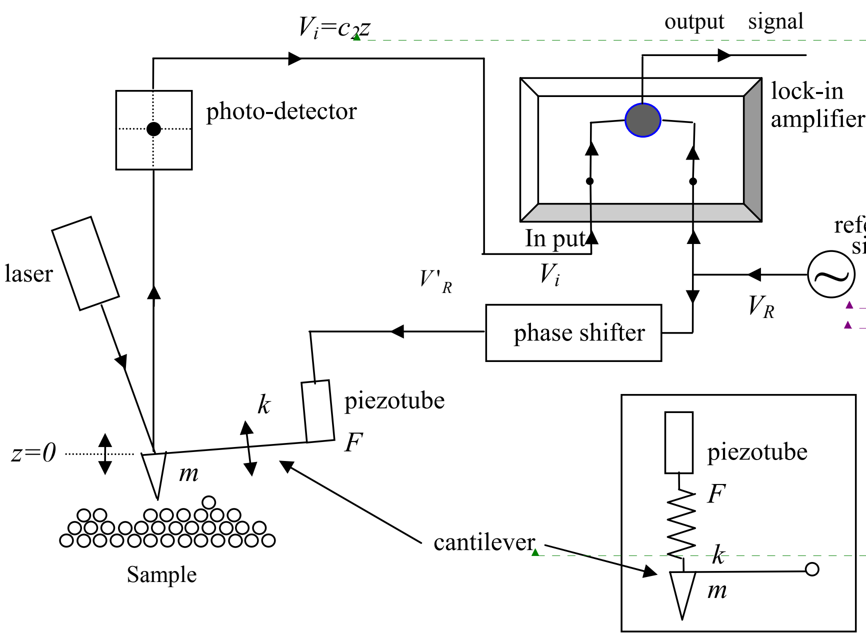
3ο Θεωρητικό θέμα

Ατομικό Μικροσκόπιο Σάρωσης

Το Ατομικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (APM = Atomic Probe Microscope) είναι ένα δυνατό (σημαντικό) εργαλείο στο χώρο της νάνο-επιστήμης (νάνο-τεχνολογίας). Η κίνηση του βραχίονα (cantilever) ενός APM είναι δυνατόν να ανιχνευθεί από ένα φωτο-ανιχνευτή (photo-detector) ο οποίος παρακολουθεί την ανακλώμενη δέσμη λέιζερ όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1. Ο βραχίονας μπορεί να κινηθεί μόνο στον κατακόρυφο άξονα και η απομάκρυνση του z, σε συνάρτηση με τον χρόνο t, δίνεται από την εξίσωση

$$m\frac{d^2z}{dt^2}+b\frac{dz}{dt}+kz=F$$

όπου m η μάζα του βραχίονα, $k=m\omega^2$ είναι η σταθερά επαναφοράς του ελατηρίου του βραχίονα, b είναι ένας συντελεστής μικρής απόσβεσης που ικανοποιεί τη σχέση $\omega_0 >> (b/m) > 0$ και τέλος F είναι η εξωτερική (διεγείρουσα) δύναμη που ασκείται από τον πιεζοηλεκτρικό μηχανισμό (piezotube).



Εικόνα 3.1 Σχηματικό διάγραμμα για το Ατομικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (ΑΡΜ)
Το ένθετο στην κάτω δεξιά γωνία του σχήματος αντιπροσωπεύει ένα απλοποιημένο μοντέλο μηχανικού ταλαντωτή που παριστάνει τη σύζευξη του πιεζοηλεκτρικού μηχανισμού (piezotube) με το βραχίονα (dantilever).

[Μέρος Α]

(a) [1.5 μονάδες] Αν η $F = F_0 \sin \omega t$ και $z(t)$ ικανοποιεί την εξίσωση (3.1), τότε μπορεί να γραφτεί $z(t) = A\sin(\omega t - \phi)$, όπου $A > 0$ και $0 \le \phi \le \pi$. Να βρείτε την έκφραση (εξίσωση) που να δίνει το πλάτος A και την εφαπτομένη $\tan\phi$ σε σχέση με τα F_0, m, ω, ω_0 και b. Να υπολογίσετε το πλάτος A και τη φάση ϕ για την περίπτωση του συντονισμού $\omega = \omega_0$.

(b) [1 μονάδα] Ένας ενισχυτής, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1, ενισχύει ένα εισερχόμενο σήμα σε σχέση με το αρχικό κατά τον παράγοντα $V_R = V_{R0} \sin \omega t$ και μετά περνά **μόνο** η συνεχής (dc) συνιστώσα του ενισχυμένου σήματος. Να θεωρήσετε ότι το εισερχόμενο σήμα δίδεται από τη σχέση $V_i = V_{i0} \sin(\omega_i t - \phi_i)$. Τα V_{R0}, V_{i0}, ω_i, και ϕ_i θεωρούνται δεδομένες θετικές σταθερές. Να βρείτε τη συνθήκη όταν το ω (>0) ώστε ένα εξερχόμενο σήμα να μην είναι αποσβενόμενο. Ποια είναι η έκφραση για το πλάτος του μη αποσβενόμενου εξερχόμενου συνεχούς (dc) σήματος σε αυτή τη συχνότητα.

(c) [1.5 μονάδες] Περνώντας μέσα από τον μετατροπέα φάσης η αρχική τάση, $V_R = V_{R0} \sin \omega t$, μεταβάλλεται σε $V'_R = V_{R0} \sin(\omega t + \pi/2)$. Η V'_R εφαρμοζόμενη στο πιεζοηλεζοηλεκτρικό μηχανισμό καθοδηγεί τον βραχίονα με μια δύναμη, $F = c_1 V'_R$. Έπειτα ο φωτοανιχνευτής μετατρέπει την απομάκρυνση z του βραχίονα σε τάση $V_i = c_2 z$. Τα c_1 και c_2 είναι σταθερές. Να βρείτε έκφραση για το πλάτος του συνεχούς (dc) εξερχόμενου σήματος όταν $\omega = \omega_0$.

(d) [2 μονάδες] Η μικρή μεταβολή Δm της μάζας του βραχίονα μετατρέπει τη συχνότητα συντονισμού κατά $\Delta\omega_0$. Αποτέλεσμα αυτού, η φάση ϕ της αρχικής συχνότητας συντονισμού ω_0 μεταβάλλεται κατά $\Delta\phi$. Να βρείτε την αλλαγή της μάζας Δm που ανταποκρίνεται στην μεταβολή της φάσης κατά $\Delta\phi = \pi/1800$, η οποία είναι μια τυπική ανάλυση σε μετρήσεις φάσης.

Δίδονται οι φυσικές παράμετροι του βραχίονα: $m = 1.0\times10^{-12}$ kg, $k = 1.0$ N/m, και $(b/m) = 1.0\times10^{3}$ s^{-1}. Να χρησιμοποιήσετε τις προσεγγίσεις $(1+x)^a \approx 1 + ax$ και $\tan(\pi/2 + x) \approx -1/x$ όταν $|x| << 1$.

[Μέρος B]

Από εδώ και στο εξής θεωρούμε ότι, εκτός από την καθοδηγούσα δύναμη που αναφέρεται στο Μέρος A και φαίνεται στο παράδειγμα του σχ. 3.1, δρουν πάνω στον βραχίονα και μερικές άλλες δυνάμεις.

(e) [1.5 μονάδες] Υποθέτοντας ότι η επιπλέον δύναμη $f(h)$ εξαρτάται μόνο από την απόσταση h μεταξύ του βραχίονα και της επιφάνειας του δείγματος (sample), μπορούμε να βρούμε μια νέα θέση ισορροπίας h_0. Αν το h είναι περίπου ίσο με το h_0, ($h = h_0$), μπορούμε να γράψουμε $f(h) \approx f(h_0) + c_3(h - h_0)$, όπου c_3 είναι μια σταθερά για το h. Να βρείτε τη νέα συχνότητα συντονισμού ω'_0 σε σχέση με ω_0, m, και c_3.

(f) [2.5 μονάδες] Κατά τη διάρκεια της σάρωσης της επιφάνειας του δείγματος, όταν αυτό κινείται οριζόντια, η ακίδα του βραχίονα φορτίζεται με ηλεκτρικό φορτίο $Q = 6e$, (όπου e το ηλ. φορτίο του ηλεκτρονίου). Ένα ηλεκτρόνιο φορτίου q = e παγιδεύεται σε κάποια απόσταση κάτω από την επιφάνεια του δείγματος. Κατά τη διάρκεια της σάρωσης γύρω από το ηλεκτρόνιο η μέγιστη μεταβολή της συχνότητας συντονισμού $\Delta\omega_0 (= \omega'_0 - \omega_0)$ παρατηρούμε ότι είναι πολύ μικρότερη από την ω_0. Να εκφράσετε την απόσταση d_0 της ακίδας του βραχίονα από το παγιδευμένο ηλεκτρόνιο όταν έχουμε την μέγιστη μεταβολή σε συνάρτηση με τα m, q, Q, ω_0, $\Delta\omega_0$ και τη σταθερά του Coulomb k_e. Να υπολογίσετε την απόσταση d_0 σε nm (1 nm = 1×10^{-9} m) για $\Delta\omega_0 = 20$ s^{-1}.

Οι φυσικές παράμετροι του βραχίονα είναι: $m = 1.0\times10^{-12}$ kg και $k = 1.0$ N/m. Να αγνοήσετε πιθανά φαινόμενα ηλεκτρικής πόλωσης λόγω φόρτισης τόσο για την ακίδα του βραχίονα όσο και για την επιφάνεια του δείγματος .

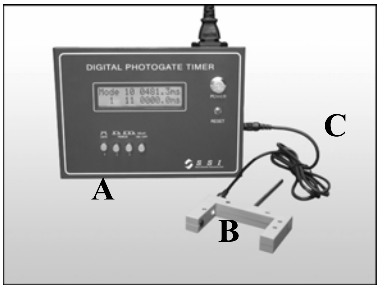
Δίδονται: $k_e = 1/4\pi\varepsilon_0 = 9.0\times10^{9}$ N·m^2/C^2 και $e = -1.6\times10^{-19}$ C.

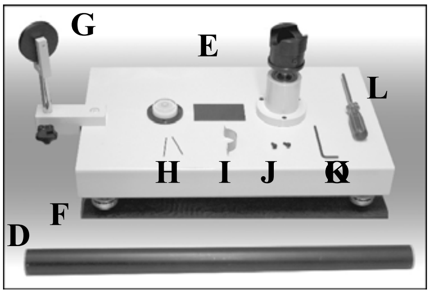
Πειραματικό Μέρος

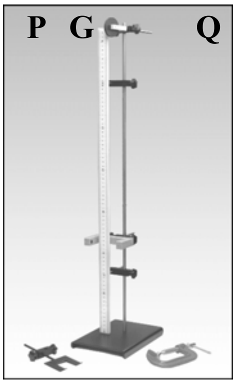
Συσκευές και υλικά

1. Κατάλογος των διαθέσιμων συσκευών και υλικών

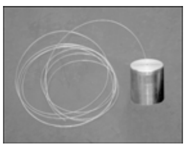
	Όνομα	Ποσότητα		Όνομα	Ποσότητα
A	Χρονόμετρο φωτοπύλης	1	L	Σταυροκατσάβιδο	1
B	Φωτοπύλη (photogate)	1	M	Βαρίδι με νήμα	1
C	Καλώδιο σύνδεσης	1	N	Ηλεκτρονική ζυγαριά	1
D	Μηχανικό μαύρο κουτί (μαύρος κύλινδρος)	1	O	Ορθοστάτης με βαθμολογημένο χάρακα	1
E	Περιστρεφόμενος άξονας (με υποδοχή του κυλίνδρου)	1	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)	







M



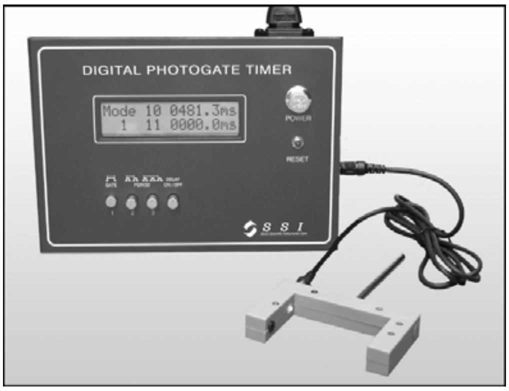
N

2. Οδηγίες για το χρονόμετρο φωτοπύλης

Η φωτοπύλη αποτελείται από ένα LED υπερύθρου 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.
- <u>Μετά από κάθε αλλαγή της θέσης των διακοπτών, πιέστε το διακόπτη "RESET" μια φορά για να ενεργοποιηθεί η αλλαγή λειτουργίας.</u>

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

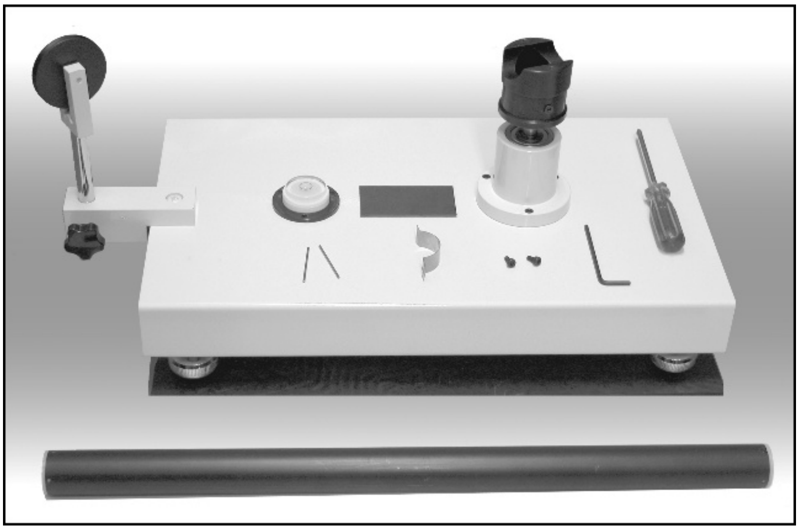
- Ρυθμίστε τα πόδια της βάσης για να σταθεροποιήσετε το ζυγό. (Αν και υπάρχει ένας δείκτης ρύθμισης του επιπέδου, η ρύθμιση του ζυγού σε εντελώς οριζόντια θέση δεν είναι απαραίτητη).
- Χωρίς να τοποθετήσετε οτιδήποτε επάνω στο ζυγό, πιέστε το διακόπτη “On/Off ” στο “On”.
- Τοποθετήστε ένα σώμα επάνω 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

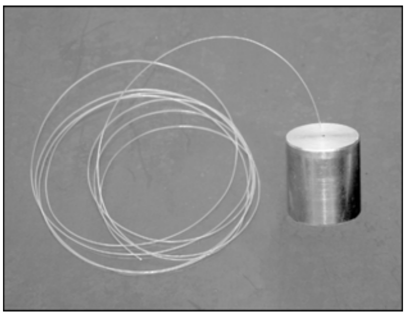
- Ρυθμίστε τα πόδια της βάσης για να σταθεροποιήσετε τη βάση περιστροφής επάνω στη λαστιχένια επιφάνεια σε οριζόντια θέση.
- Με ένα έλασμα σχήματος U και δύο βίδες στερεώστε το Μηχανικό “Μαύρο Κουτί” (Mechanical “Black Box”, MBB) (μαύρος κύλινδρος) στην υποδοχή του περιστρεφόμενου άξονα. Χρησιμοποιήστε 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 αξονα. 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



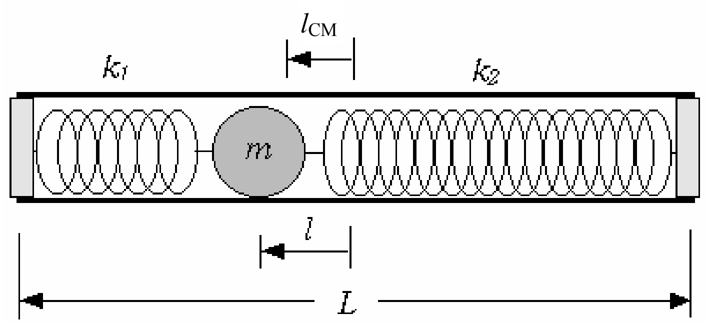
Βαρίδι με νήμα

Μηχανικό “Μαύρο Κουτί”

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

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 m/s^2. Ύπάρχει 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.

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

<u>Καθορισμένος Φυσικός Συμβολισμός</u>

Μάζα της σφαίρας: m
Ακτίνα τηςσφαίρας: r (= 11 mm)
Μάζα του MBB χωρίς την σφαίρα: M
Μήκος του μαύρου κυλίνδρου: L
Μήκος κάθε πώματος στο εσωτερικό του κυλίνδρου: δ (= 5.0 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 m/s^2)
Μάζα του βαριδιού που είναι συνδεδεμένο σε νήμα: m_o
Ταχύτητα του βαριδιού: υ
Κατακόρυφη μετατόπιση του βαριδιού: h
Ακτίνα του περιστρεφόμενου κυλινδρικού άξονα όπου τυλίγεται το νήμα: R
Ροπή αδράνειας: I, I_o, I_1, I_2, και ούτω καθεξής
Γωνιακή ταχύτητα και κυκλική συχνότητα: $\omega, \omega_1, \omega_2$, 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***.

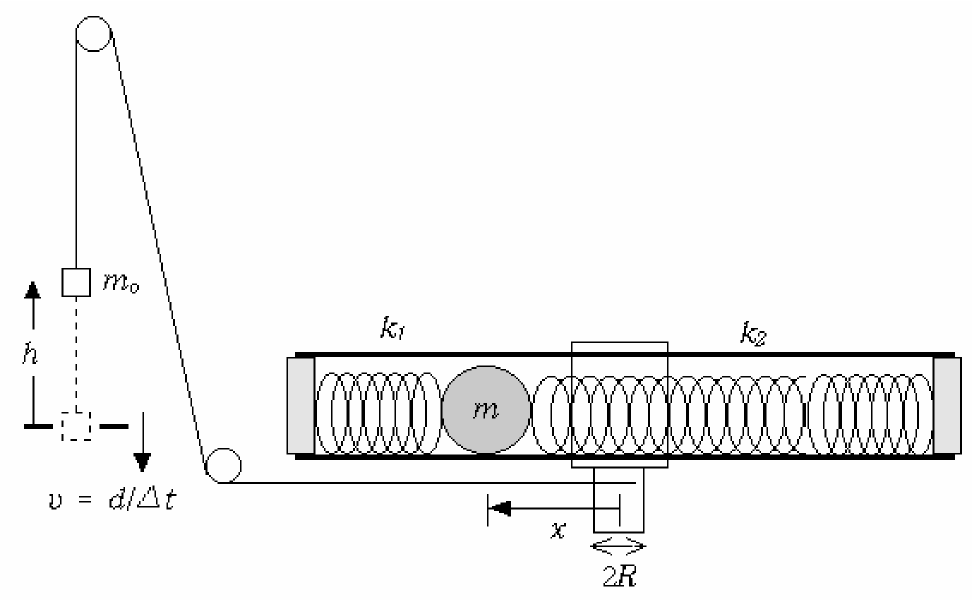
1. Να εισηγηθείτε και να δικαιολογήσετε, με χρήση εξισώσεων, μια μέθοδο η οποία να επιτρέπει τον προσδιορισμό του $m \times l$. (2.0 μονάδες)

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_o 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 A-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_o.

1. Μετρείστε την ταχύτητα υ του βαριδιού (μάζας m_o) για διάφορες τιμές της μετατόπισής του κατά h προς τα κάτω. Σας συμβουλεύουμε να πάρετε ολόκληρη την περιοχή τιμών του h από h = 1.0 x 10^{-2} m μέχρι 4.0 x 10^{-1} m μετρώντας την ταχύτητα για κάθε h που διαφέρει κατά 1.0 x 10^{-2} ~ 2.0 x 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 υ και ύψους h, μπορείτε να επαναλάβετε τη μέτρηση ή να προσθέσετε άλλες πληροφορίες αν είναι απαραίτητες. Όταν το MBB περιστρέφεται αργά, η σφαίρα δε γλυστρά 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. Προσδιορείστε 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 υ^2 ($h = C\,\upsilon^2$) όταν η περιστροφή είναι αργή.
   Επίσης δείξτε από τις μετρήσεις ότι $h = A\upsilon^2 + B$ *για* την περιοχή της γρήγορης περιστροφής. (1.0 μονάδα)

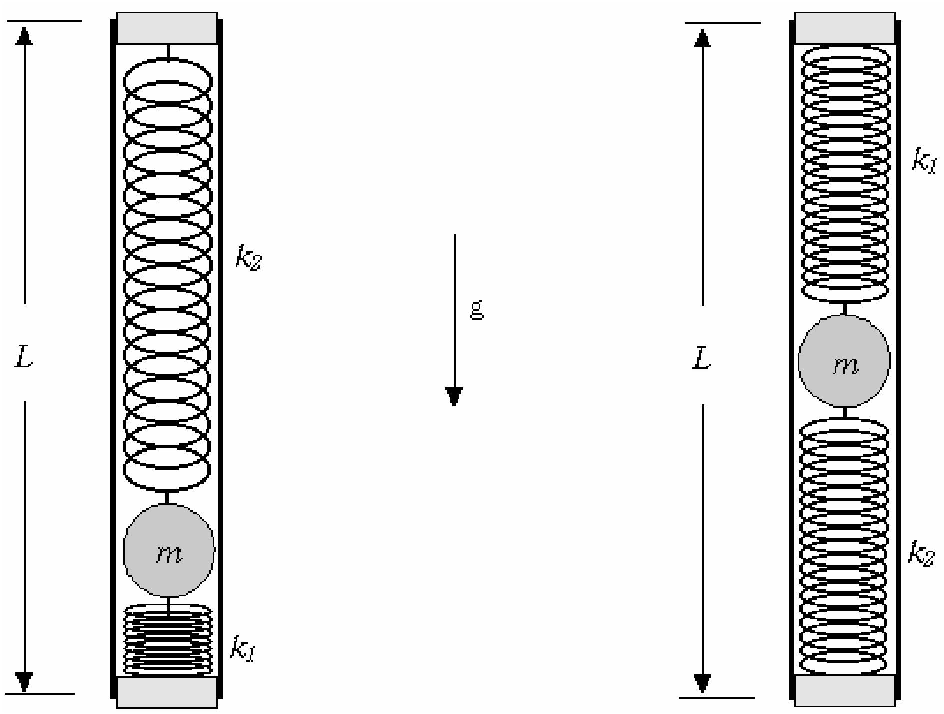
3. Η ροπή αδράνειας της σφαίρας ακτίνας r και μάζας m ως προς άξονα περιστροφής που περνά από το κέντρο είναι $2mr^2/5$. Εάν η σφαίρα έχει μετατοπιστεί κατά απόσταση α κάθετα στον άξονα περιστροφής, η ροπή αδράνειας αυξάνεται κατά $m\alpha^2$. Χρησιμοποιείστε το σύμβολο I για να εκφράσετε την ολική ροπή αδράνειας όλων των περιστρεφομένων 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 **Α - 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 ω = [ροπή/(ροπή αδράνειας × γωνία)]$^{1/2}$ **.** 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_o του MBB, χωρίς να περιλαμβάνεται η σφαίρα.



(1) (2)

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. Μετρείστε 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. Εξηγείστε (χρησιμοποιώντας εξισώσεις) γιατί οι κυκλικές συχνότητες ω_1 και ω_2 των ταλαντώσεων μικρού πλάτους των δυο διατάξεων είναι διαφορετικές. Χρησιμοποιείστε το σύμβολο I_o για να εκφράσετε τη ροπή αδράνειας του MBB, χωρίς τη σφαίρα, ως προς τον κάθετο άξονα περιστροφής στο άκρο του MBB. Χρησιμοποιείστε το σύμβολο Δl για να εφράσετε την οριζόντια μετατόπιση της σφαίρας από τη θέση ισορροπίας. (1.0 μονάδα)

3. Υπολογίστε τη μετατόπιση Δl απαλείφοντας το I_o 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)