Γενικές οδηγίες Θεωρητικού Μέρους (30 Μονάδες)

14 Ιουλίου 2016

Η θεωρητική εξέταση διαρκεί 5 ώρες και βαθμολογείται με 30 μονάδες.

Πριν από την εξέταση

- Δεν πρέπει να ανοίξετε τους φακέλους με τις εκφωνήσεις πριν από το ηχητικό σήμα που δηλώνει την έναρξη του διαγωνισμού.
- Η έναρξη και η λήξη της εξέτασης δηλώνονται από ένα ηχητικό σήμα. Επίσης κάθε μία ώρα θα πραγματοποιείται αναγγελία του χρόνου που έχει παρέλθει. Το ίδιο θα γίνει και 15 λεπτά πριν τη λήξη της εξέτασης (πριν το τελικό ηχητικό σήμα).

Κατά τη διάρκεια της εξέτασης

- Ειδικά Φύλλα Απαντήσεων διατίθενται για την αναγραφή των απαντήσεών σας. Σημειώστε τα τελικά αποτελέσματα στα κατάλληλα πλαίσια στο αντίστοιχο Φύλλο Απαντήσεων (που φέρει την ένδειξη A). Για κάθε Πρόβλημα θα υπάρχουν κενά Φύλλα Προχείρου για πράξεις και υπολογισμούς (που φέρουν την ένδειξη W=work). Σιγουρευτείτε ότι χρησιμοποιείτε πάντα τα Φύλλα Προχείρου που αντιστοιχούν στο Πρόβλημα με το οποίο εργάζεστε (ελέγξτε τον αριθμό του Προβλήματος στην κεφαλίδα του Φύλλου). Αν στο Φύλλο Απαντήσεων, γράψετε κάτι που δεν επιθυμείτε να βαθμολογηθεί, θα πρέπει να το διαγράψετε. Χρησιμοποιήστε μόνο την εμπρόσθια όψη του Φύλλου Απαντήσεων
- Στις απαντήσεις σας φροντίστε να είστε κατά το δυνατόν ακριβείς: χρησιμοποιείστε όσο πιο συχνά μπορείτε εξισώσεις, λογικούς τελεστές και σχήματα για να καταγράψετε τη σκέψη σας, Αποφύγετε τη χρήση μακροσκελών προτάσεων.
- Παρακαλείστε να δώσετε τις αριθμητικές απαντήσεις σας με το κατάλληλο πλήθος σημαντικών ψηφίων.
- Συχνά ενδέχεται να μπορείτε να απαντήσετε σε ένα ερώτημα χωρίς υποχρεωτικά να έχετε λύσει όλα τα προηγούμενα.
- Ένας κατάλογος με τιμές φυσικών σταθερών δίνεται σε επόμενη σελίδα.
- Δεν επιτρέπεται η μετακίνησή σας από τη θέση εξέτασής σας χωρίς άδεια. Αν χρειαστείτε βοήθεια (να ξαναγεμίσετε το μπουκαλάκι σας με νερό, να αναφέρετε χαλασμένο υπολογιστή τσέπης, να πάτε στην τουαλέτα, κ.λπ.) παρακαλείστε να καλέσετε κάποιον από τους Οδηγούς Ομάδων, χρησιμοποιώντας μία από τις τρεις σημαίες (”Refill my water bottle, please” για νερό, ”I need to go to the toilet, please” για τουαλέτα, ή ”I need help, please” σε κάθε άλλη περίπτωση), την οποία θα τοποθετήσετε στο ειδικό στήριγμα που θα υπάρχει στον χώρο εργασίας σας.

Στο τέλος της εξέτασης

- Στο τέλος της εξέτασης οφείλετε να σταματήσετε να γράφετε αμέσως.
- Τακτοποιήστε τα Φύλλα κάθε Προβλήματος με την ακόλουθη σειρά: Εξώφυλλο (cover sheet - C), Ερωτήσεις (questions - Q), Φύλλα Απαντήσεων (answer sheets - A), Πρόχειρα (work sheets - W).

- Τοποθετήστε όλα τα Φύλλα ενός Προβλήματος στον αντίστοιχο φάκελο. Επίσης τοποθετήστε το Φύλλο Γενικών Οδηγιών στον εναπομείναντα ξεχωριστό φάκελο. Σιγουρευτείτε ότι ο κωδικός σας είναι ορατός μέσα από το άνοιγμα κάθε φακέλου. Επίσης παραδώστε τυχόν κενά Φύλλα. Δεν επιτρέπεται να πάρετε μαζί σας κανένα Φύλλο φεύγοντας από το χώρο της εξέτασης.
- Αφήστε τον μπλε υπολογιστή τσέπης που θα σάς δοθεί από τους διοργανωτές πάνω στο τραπέζι του χώρου εργασίας σας.
- Φεύγοντας πάρτε μαζί σας τη γραφική σας ύλη (2 στυλό, 1 μαρκαδόρος, 1 μολύβι, 1 ψαλίδι, 1 χάρακας, 2 ζευγάρια ωτοασπίδων) καθώς και τον προσωπικό σας υπολογιστή τσέπης (εφόσον διαθέτετε). Επίσης πάρτε το μπουκαλάκι με το νερό σας.
- Περιμένετε στο τραπέζι σας μέχρι τη συλλογή των φακέλων σας. Αμέσως μετά τη συλλογή όλων των φακέλων ο Οδηγός της Ομάδας σας θα σάς συνοδεύσει εκτός του χώρου εξέτασης.

Φύλλο Δεδομένων γενικής χρήσης

Ταχύτητα του φωτός στο κενό	c	$=$	$299\,792\,458\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$
Μαγνητική διαπερατότητα του κενού	μ_0	$=$	$4\pi\times10^{-7}\ \mathrm{kg\cdot m\cdot A^{-2}\cdot s^{-2}}$
Διηλεκτρική σταθερά του κενού	ε_0	$=$	$8.854\,187\,817\times10^{-12}\ \mathrm{A^2\cdot s^4\cdot kg^{-1}\cdot m^{-3}}$
Κβάντο ηλεκτρικού φορτίου	e	$=$	$1.602\,176\,620\,8(98)\times10^{-19}\ \mathrm{A\cdot s}$
Μάζα ηλεκτρονίου	m_e	$=$	$9.109\,383\,56(11)\times10^{-31}\ \mathrm{kg}$
		$=$	$0.510\,998\,946\,1(31)\ \frac{\mathrm{MeV}}{\mathrm{c^2}}$
Μάζα πρωτονίου	m_p	$=$	$1.672\,621\,898(21)\times10^{-27}\ \mathrm{kg}$
		$=$	$938.272\,081\,3(58)\ \frac{\mathrm{MeV}}{\mathrm{c^2}}$
Μάζα νετρονίου	m_n	$=$	$1.674\,927\,471(21)\times10^{-27}\ \mathrm{kg}$
		$=$	$939.565\,413\,3(58)\ \frac{\mathrm{MeV}}{\mathrm{c^2}}$
Σταθερά ατομικής μάζας	u	$=$	$1.660\,539\,040(20)\times10^{-27}\ \mathrm{kg}$
Σταθερά Rydberg	R_∞	$=$	$10\,973\,731.568\,508(65)\ \mathrm{m^{-1}}$
Σταθερά παγκόσμιας έλξης	G	$=$	$6.674\,08(31)\times10^{-11}\ \mathrm{m^3\cdot kg^{-1}\cdot s^{-2}}$
Επιτάχυνση της βαρύτητας (στη Ζυρίχη)	g	$=$	$9.81\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$
Σταθερά του Planck	h	$=$	$6.626\,070\,040\,(81)\times10^{-34}\ \mathrm{kg\cdot m^2\cdot s^{-1}}$
Αριθμός Avogadro	N_A	$=$	$6.022\,140\,857\,(74)\times10^{23}\ \mathrm{mol^{-1}}$
Παγκόσμια σταθερά των αερίων	R	$=$	$8.314\,4598(48)\ \mathrm{kg\cdot m^2\cdot s^{-2}\cdot mol^{-1}\cdot K^{-1}}$
Σταθερά μοριακής μάζας	M_u	$=$	$1\times10^{-3}\ \mathrm{kg\cdot mol^{-1}}$
Σταθερά του Boltzmann	k_B	$=$	$1.380\,648\,52(79)\times10^{-23}\ \mathrm{kg\cdot m^2\cdot s^{-2}\cdot K^{-1}}$
Σταθερά Stefan-Boltzmann	σ	$=$	$5.670\,367\,(13)\times10^{-8}\ \mathrm{kg\cdot s^{-3}\cdot K^{-4}}$

Δύο προβλήματα Μηχανικής (10 Μονάδες)

Παρακαλώ διαβάστε τις Γενικές Οδηγίες που θα βρείτε σε ξεχωριστό φάκελο πριν ξεκινήσετε να εργάζεστε στο πρόβλημα αυτό.

Μέρος A. Ο Κρυμμένος Δίσκος (3.5 Μονάδες)

Θεωρούμε ένα συμπαγή ξύλινο κύλινδρο ακτίνας r_1 και πάχους h_1. Κάπου στο εσωτερικό του το ξύλο έχει αντικατασταθεί από ένα μεταλλικό δίσκο ακτίνας r_2 και πάχους h_2. Ο μεταλλικός δίσκος έχει τοποθετηθεί κατά τρόπο ώστε ο άξονας συμμετρίας του B να είναι παράλληλος με τον άξονα συμμετρίας S του ξύλινου κυλίνδρου, και να ισαπέχει από την κορυφή και τη βάση του ξύλινου κυλίνδρου. Συμβολίζουμε την απόσταση μεταξύ των S και B με d. Η πυκνότητα του ξύλου είναι ρ_1 ενώ η πυκνότητα του μετάλλου είναι $\rho_2 > \rho_1$. Η συνολική μάζα των δύο σωμάτων είναι M.

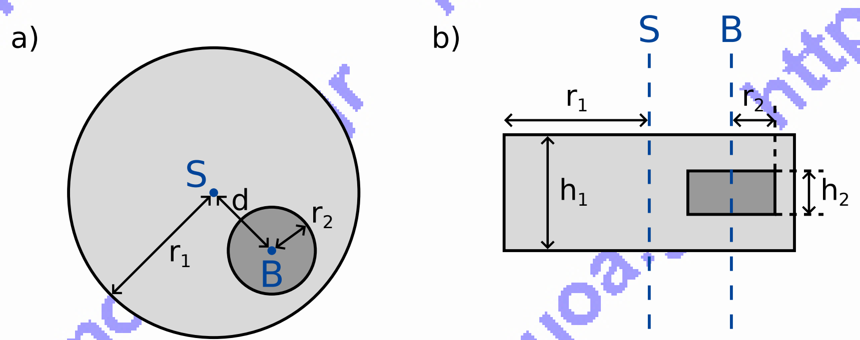
Στην άσκηση αυτή τοποθετούμε τον ξύλινο κύλινδρο στο έδαφος ώστε να μπορεί να κυλήσει ελεύθερα προς τα δεξιά ή τα αριστερά. Στην Εικ. 1 φαίνονται η πλευρική όψη και η κάτοψη της διάταξης.

Σκοπός του ερωτήματος αυτού είναι ο προσδιορισμός των διαστάσεων και της θέσης του μεταλλικού δίσκου.

Ακολούθως, όποτε σας ζητείται να εκφράσετε κάποιο αποτέλεσμα συναρτήσει γνωστών ποσοτήτων, μπορείτε να θεωρήσετε γνωστά τα ακόλουθα μεγέθη:

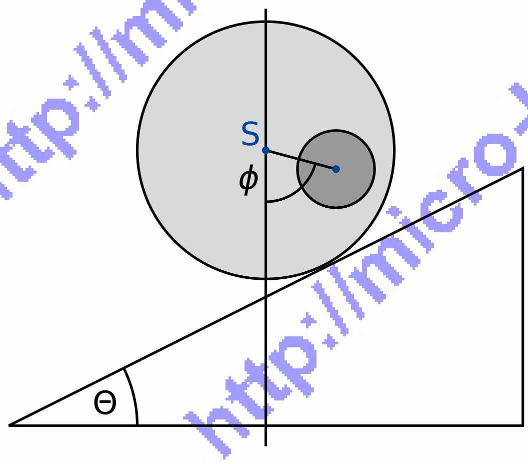
$$r_1,\ h_1,\ \rho_1,\ \rho_2, M\ . \tag{1}$$

Θα πρέπει να υπολογίσετε τα μεγέθη r_2, h_2 και d, εκτελώντας έμμεσες μετρήσεις.



Εικόνα 1: a) Πλάγια όψη b) Κάτοψη

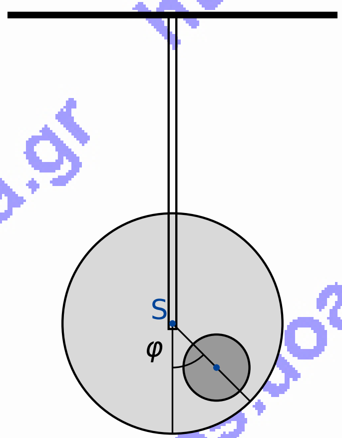
Συμβολίζουμε με b την απόσταση μεταξύ του κέντρου μάζας C του συστήματος σωμάτων και του άξονα συμμετρίας S του ξύλινου κυλίνδρου. Για να υπολογίσουμε την απόσταση αυτή, εκτελούμε το ακόλουθο πείραμα: Τοποθετούμε τον κύλινδρο σε οριζόντια βάση με τέτοιο τρόπο ώστε να βρίσκεται σε ευσταθή ισορροπία. Δίνουμε σταδιακά κλίση στη βάση (γωνία Θ με το οριζόντιο επίπεδο - βλ. Εικ. 2). Λόγω της στατικής τριβής ο κύλινδρος θα αρχίσει να κυλά ελεύθερα χωρίς να ολισθαίνει. Θα κυλήσει λίγο με κατεύθυνση τη βάση του κεκλιμένου επιπέδου και θα βρεθεί σε κατάσταση ευσταθούς ισορροπίας (οπότε θα σταματήσει) έχοντας διαγράψει μια γωνία ϕ την οποία μετράμε.



Εικόνα 2: Κύλινδρος σε κεκλιμένο επίπεδο.

A.1	Βρείτε μια έκφραση του b ως συνάρτηση των ποσοτήτων (1), της γωνίας ϕ και της γωνίας κλίσης Θ του κεκλιμένου επιπέδου.	0.8pt

Ακολούθως μπορείτε να θεωρείτε γνωστή την τιμή του b.



Εικόνα 3: Αναρτημένο σύστημα σωμάτων.

Στη συνέχεια επιθυμούμε να μετρήσουμε τη ροπή αδράνειας I_S του συστήματος ως προς τον άξονα συμμετρίας S. Για το σκοπό αυτό αναρτούμε τον ξύλινο κύλινδρο από τον άξονα συμμετρίας του στο άκρο άκαμπτης ράβδου. Στη συνέχεια τον εκτρέπουμε από τη θέση ισορροπίας του κατά μία μικρή γωνία ϕ, και τον αφήνουμε ελεύθερο. Βλ. Εικ. 3 για την πειραματική διάταξη. Βρίσκουμε ότι η ϕ μεταβάλλεται περιοδικά με περίοδο T.

A.2	Βρείτε την εξίσωση της κίνησης για το ϕ; Εκφράστε τη ροπή αδράνειας I_S του συστήματος ως προς τον άξονα συμμετρίας του S συναρτήσει των T, b και των γνωστών ποσοτήτων (1). Μπορείτε να υποθέσετε ότι διαταράσσουμε την ισορροπία του ελάχιστα, συνεπώς η γωνία ϕ είναι πάντα πολύ μικρή.	0.5pt

Από τις μετρήσεις των ερωτήσεων **A.1** και **A.2**, επιθυμούμε να προσδιορίσουμε τις διαστάσεις και τη θέση του μεταλλικού δίσκου μέσα στον κύλινδρο.

A.3	Βρείτε μια έκφραση της απόστασης d συναρτήσει του b και των ποσοτήτων (1). Αν θέλετε, μπορείτε να συμπεριλάβετε τα r_2 και h_2 ως μεταβλητές της έκφρασης στην οποία θα καταλήξετε, δεδομένου ότι θα υπολογιστούν στο ερώτημα **A.5**.	0.4pt

A.4	Βρείτε μια έκφραση της ροπής αδράνειας I_S συναρτήσει του b και των ποσοτήτων (1). Αν θέλετε, μπορείτε να συμπεριλάβετε τα r_2 και h_2 ως μεταβλητές της έκφρασης στην οποία θα καταλήξετε, δεδομένου ότι θα υπολογιστούν στο ερώτημα **A.5**.	0.7pt

A.5	Με βάση τα προηγούμενα αποτελέσματα γράψτε μια έκφραση για κάθε μία από τις ποσότητες h_2 και r_2 συναρτήσει των b, T και των γνωστών ποσοτήτων (1). Μπορείτε να εκφράσετε το h_2 ως συνάρτηση του r_2.	1.1pt

Μέρος B. Περιστρεφόμενος Διαστημικός Σταθμός (6.5 Μονάδες)

Η Αλίκη (Alice) είναι αστροναύτης και ζει σε ένα διαστημικό σταθμό, ο οποίος είναι ένας γιγάντιος τροχός ακτίνας R που περιστρέφεται περί τον άξονά του, δημιουργώντας έτσι τεχνητή βαρύτητα για τους επιβάτες του. Οι αστροναύτες κατοικούν στην εσωτερική πλευρά της περιφέρειας του κυλίνδρου. Η βαρυτική έλξη του διαστημικού σταθμού και η καμπυλότητα του δαπέδου μπορούν να αγνοηθούν.

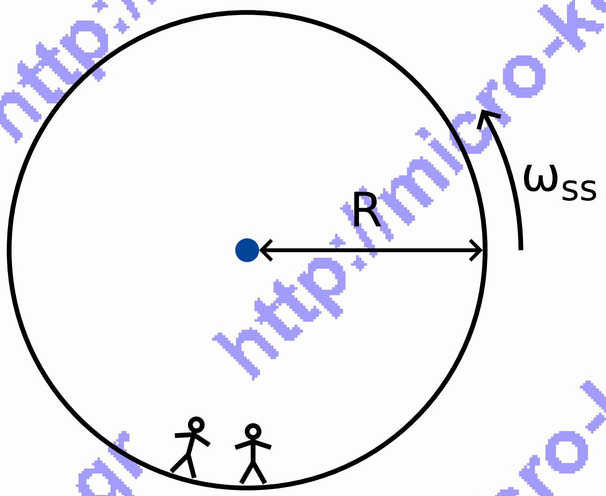
B.1	Με πόση κυκλική συχνότητα ω_{ss} πρέπει να περιστρέφεται ο διαστημικός σταθμός ώστε οι επιβάτες να βιώνουν επιτάχυνση της βαρύτητα ίδια με εκείνη που επικρατεί στην επιφάνεια της Γης, έστω g_E;	0.5pt

Η Αλίκη και ο φίλος της αστροναύτης Μπόμπος (Bob) έχουν μια διαφωνία. Ο Μπόμπος δεν πιστεύει ότι ζουν πραγματικά σε ένα διαστημικό σταθμό και ισχυρίζεται ότι βρίσκονται στην επιφάνεια της Γης. Η Αλίκη θέλει να αποδείξει στον Μπόμπο ότι ζουν σε ένα περιστρεφόμενο διαστημικό σταθμό χρησιμοποιώντας επιχειρήματα Φυσικής. Για το σκοπό αυτό προσαρτά μια μάζα m σε ελατήριο σταθεράς σκληρότητας k και θέτει το σύστημα σε ταλάντωση. Η μάζα ταλαντώνεται μόνο σε κατακόρυφη διεύθυνση και δε μπορεί να κινηθεί κατά τον οριζόντιο άξονα.

B.2	Υποθέτοντας ότι η γήινη βαρύτητα είναι σταθερή προκαλώντας επιτάχυνση g_E, πόση θα ήταν η γωνιακή συχνότητα ταλάντωσης ω_E αν η μετρηση γινόταν στην επιφανεια της Γης;	0.2pt

B.3	Πόση είναι η γωνιακή συχνότητα ταλάντωσης ω που μετρά η Αλίκη;	0.6pt

Η Αλίκη είναι σίγουρη ότι το πείραμά της αποδεικνύει πως βρίσκονται σε περιστρεφόμενο διαστημικό σταθμό. Ο Μπόμπος διατηρεί τις αμφιβολίες του. Ισχυρίζεται πως όταν λαμβάνουμε υπόψη τη μεταβολή της βαρύτητας σε συνάρτηση με το ύψος από την επιφάνεια της Γης, καταλήγουμε στα ίδια αποτελέσματα. Στη συνέχεια θα διερευνήσουμε αν ο Μπόμπος έχει δίκιο.



Εικονα 4: Διαστημικός σταθμός.

B.4	Βρείτε μια έκφραση της βαρύτητας $g_E(h)$ για μικρά ύψη h πάνω από την επιφάνεια της Γης και υπολογίστε τη γωνιακή συχνότητα $\tilde{\omega}_E$ της ταλαντούμενης μάζας (αρκεί μια γραμμική, πρωτοβάθμια, προσέγγιση). Η ακτίνα της Γης συμβολίζεται με R_E. Αγνοείστε την περιστροφή της Γης.	0.8pt

Πράγματι για αυτό το διαστημικό σταθμό η Αλίκη καταλήγει ότι το σύστημα ελατήριο-σώμα ταλαντώνεται με τη συχνότητα που προέβλεψε ο Μπόμπος.

B.5	Για ποια τιμή της ακτίνας R του διαστημικού σταθμού η συχνότητα ταλάντωσης ω συμπίπτει με την $\tilde{\omega}_E$ στην επιφάνεια της Γης; Εκφράστε την απαντηση σας ως συναρτηση της R_E	0.3pt

Εξοργισμένη με τον πεισματάρη Μπόμπο, η Αλίκη επινοεί ένα πείραμα για να αποδείξει τον ισχυρισμό της. Έτσι, ανεβαίνει σε ένα πύργο ύψους H πάνω από το δάπεδο του διαστημικού σταθμού και αφήνει ένα σώμα να πέσει. Αυτό το πείραμα μπορεί να θεωρηθεί τόσο σε ένα περιστρεφόμενο σύστημα αναφοράς όσο και σε ένα αδρανειακό.

Σε ένα ομαλά περιστρεφόμενο σύστημα αναφοράς, οι αστροναύτες αντιλαμβάνονται μαι φανταστική δύναμη $\vec{F}_C$ που ονομάζεται δύναμη Coriolis. Η δύναμη $\vec{F}_C$ που ασκείται σε σώμα μάζας m κινούμενο με ταχύτητα $\vec{v}$ σε ένα Σύστημα Αναφοράς που στρέφεται με σταθερή κυκλική συχνότητα $\vec{\omega}_{ss}$ δίνεται από τη σχέση

$$\vec{F}_C = 2m\vec{v} \times \vec{\omega}_{ss} \,. \quad (2)$$

Για το μέτρο της μπορείτε να χρησιμοποιήστε την έκφραση

$$F_C = 2mv\omega_{ss} \sin\phi \,, \quad (3)$$

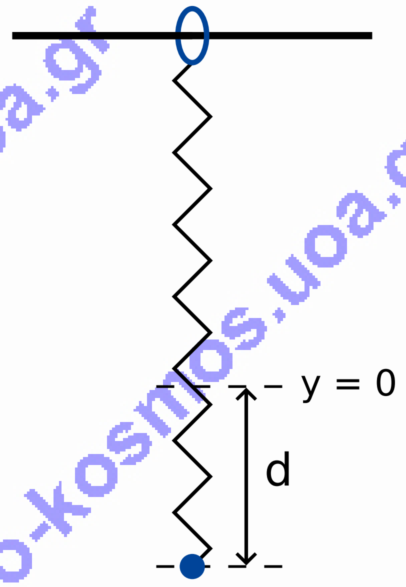
όπου ϕ είναι η γωνία μεταξύ της διεύθυνσης της ταχύτητας και του άξονα περιστροφής. Η δύναμη έχει διεύθυνση κάθετη τόσο στην ταχύτητα v όσο και στον άξονα περιστροφής. Το πρόσημο της δύναμης προσδιορίζεται κανονικά από τον κανόνα του δεξιού χεριού, αλλά στη συνέχεια της άσκησης μπορείτε να το επιλέξετε ελεύθερα.

B.6	Υπολογείστε την οριζόντια ταχύτητα v_x και την οριζόντια μετατόπιση d_x (ως προς τη βαση του πύργου και καθέτως προς αυτόν) της μαζας τη στιγμή που χτυπά στο δάπεδο. Μπορείτε να υποθέσετε οτι το ύψος H του πύργου ειναι αρκουντως μικρό ώστε η μετρούμενη επιτάχυνση από τους αστροναύτες κατά τη διάρκεια της πτώσης να είναι σταθερή. Επίσης, μπορειτε να υποθέσετε ότι $d_x \ll H$	1.1pt

Για καλύτερα αποτελέσματα η Αλίκη αποφασίζει να εκτελέσει το πείραμα αυτό από έναν πολύ ψηλότερο πύργο. Προς έκπληξή της, το σώμα φτάνει στο δάπεδο στη βάση του πύργου, δηλ. $d_x = 0$.

B.7	Βρείτε ποιο ειναι το ελαχιστο ύψος για τον πυργο για το οποίο θα μπορει να ισχυει $d_x = 0$.	1.3pt

Η Αλίκη σκοπεύει να κάνει μια τελευταία προσπάθεια ώστε να πείσει το Μπόμπο. Θέλει να χρησιμοποιήσει τον ταλαντωτή ελατήριου-μάζας για να δείξει την επίδραση της δύναμης Coriolis. Προς το σκοπό αυτό τροποποιεί την αρχική πειραματική διάταξη: Συνδέει το ελατήριο σε ένα δαχτυλίδι το οποίο μπορεί να ολισθαίνει ελεύθερα σε μια οριζόντια ράβδο κατά τη διεύθυνση x χωρίς τριβές. Το ελατήριο ταλαντώνεται κατά τη διεύθυνση y . Η ράβδος είναι παράλληλη στο έδαφος και κάθετη στον άξονα περιστροφής του διαστημικού σταθμού. Το επίπεδο xy είναι συνεπώς κάθετο στον άξονα περιστροφής, με τη διεύθυνση y να διέρχεται από το κέντρο περιστροφής του σταθμού.



Εικόνα 5: Πειραματική διάταξη.

B.8 Η Αλίκη μετατοπίζει τη μάζα κατά μία απόσταση d χαμηλότερα από τη θέση ισορροπίας (το οποίο βρίσκεται στο σημείο $x = 0$, $y = 0$), και στη συνέχεια την αφήνει ελεύθερη (βλ. Εικ.5). 1.7pt

- Γράψτε μια αλγεβρική έκφραση των $x(t)$ και $y(t)$. Μπορείτε να υποθέσετε ότι η τιμή της $\omega_{ss}d$ είναι μικρή και να αγνοήσετε τη δύναμη Coriolis για κίνηση κατά τον άξονα y
- Σχεδιάστε την τροχιά $(x(t), y(t))$, σημειώνοντας όλα τα σημαντικά χαρακτηριστικά της, όπως το πλάτος.

Η Αλίκη και ο Μπόμπος συνεχίζουν να διαφωνούν

Δύο προβλήματα Μηχανικής (10 Μονάδες)

Μέρος Α. Ο Κρυμμένος Δίσκος (3.5 Μονάδες)

A.1 (0.8 pt)

$b =$

A.2 (0.5 pt)

Εξίσωση κίνησης για το φ :

$I_S =$

A.3 (0.4 pt)

$d =$

A.4 (0.7 pt)

$I_S =$

A.5 (1.1 pt)

$h_2 =$

$r_2 =$

Μέρος Β. Περιστρεφόμενος Διαστημικός Σταθμός (6.5 Μονάδες)

B.1 (0.5 pt)

$\omega_{ss} =$

B.2 (0.2 pt)

$\omega_E =$

B.3 (0.6 pt)

$\omega =$

B.4 (0.8 pt)

$g_E(h) =$

$\tilde{\omega}_E =$

B.5 (0.3 pt)

$R =$

B.6 (1.1 pt)

$v_x =$

$d_x =$

B.7 (1.3 pt)

$H \geq$

B.8 (1.7 pt)

$x(t) =$

$y(t) =$