

Γενικές οδηγίες: Πειραματική εξέταση (20 μονάδες)

Η μη συμμόρφωση με οποιαδήποτε από τις ακόλουθες οδηγίες μπορεί να οδηγήσει σε αποκλεισμό.

19 Ιουλίου, 2025

Η πειραματική εξέταση διαρκεί πέντε ώρες και βαθμολογείται με 20 μονάδες.

Θα υπάρχουν ανακοινώσεις κατά την έναρξη και κατά την λήξη της εξέτασης, κάθε μία ώρα (θα ανακοινώνεται ο υπολοίπομος χρόνος), καθώς και κατά τις στιγμές που θα απομένουν 30, 15 και 5 λεπτά πριν την λήξη.

Δεν πρέπει να ανοίξετε τους φακέλους και τα κουτιά πριν σας δοθεί σχετική οδηγία.

Τα ακόλουθα αντικείμενα σας παρέχονται στον χώρο εξέτασης: (1) ένα στυλό, (2) ένα μηχανικό μολύβι, (3) μία γόμα, (4) ένας χάρακας με κλίμακα μετρήσεων, (5) ένας διαβήτης, (6) ένας επιστημονικός υπολογιστής τσέπης.

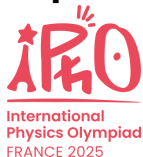
Κατά την διάρκεια της εξέτασης:

- Να χρησιμοποιήσετε μόνο το στυλό που θα σας δοθεί. Αν χρησιμοποιήσετε το μηχανικό μολύβι για τις πρόχειρες σημειώσεις καθώς και για την σχεδίαση εικόνων και γραφικών παραστάσεων, θα πρέπει να τα περάσετε από πάνω με το στυλό.
- Να χρησιμοποιήσετε τα ειδικά Φύλλα Απαντήσεων με την ένδειξη **A**(=answer sheet) για την καταχώρηση των τελικών σας απαντήσεων. Να συμπληρώσετε τα κατάλληλα πεδία με τις απαντήσεις σας και τις αναγκαίες παρατηρήσεις. Να σχεδιάσετε γραφικές παραστάσεις όταν ζητούνται. Να διαγράψετε οτιδήποτε δεν θέλετε να βαθμολογηθεί.
- Θα σας δοθούν φύλλα εργασίας με την ένδειξη **W**(=working sheet), τα οποία είναι τα μόνα που μπορείτε να χρησιμοποιήσετε. Να διαγράψετε ανεπιθύμητες απαντήσεις και πρόχειρα μέρη της δουλειάς σας που δεν θέλετε να βαθμολογηθούν. Να χρησιμοποιήσετε μόνο την εμπρόσθια όψη κάθε φύλλου και να μην σημειώνετε τίποτε στα περιθώρια.
- Πρόσθετα φύλλα εργασίας με την ένδειξη **Z** διατίθενται κατόπιν αιτήματος. Να ανυψώσετε την πινακίδα "Help" για να ενημερώσετε τον Επιτηρητή.
- Να προσπαθήσετε ώστε οι απαντήσεις σας να είναι όσο το δυνατόν πιο συνοπτικές και ευανάγνωστες. Όπου είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσετε εξισώσεις, λογικούς τελεστές, σύμβολα και σχήματα για να αποτυπώσετε τις σκέψεις σας. Να αποφύγετε την χρήση μακροσκελών προτάσεων, καθώς οι Βαθμολογητές ενδέχεται να μην είναι πολύγλωσσοι.
- Ποσοτικοί υπολογισμοί σφαλμάτων και αβεβαιοτήτων δεν απαιτούνται εκτός αν ζητούνται ρητώς. Θα πρέπει ατομικά να αποφασίσετε πόσα πειραματικά σημεία ή πόσες σειρές μετρήσεων θα πρέπει να καταγράψετε, εκτός αν σας δοθεί διαφορετική οδηγία.
- Μην εγκαταλείψετε τον χώρο εργασίας σας χωρίς άδεια. Αν χρειαστεί να πάτε στο μπάνιο ή οποιαδήποτε άλλη βοήθεια, να ανασηκώσετε τις ετικέτες με την ένδειξη "Toilet", "Water", ή "Help".

Στην λήξη της εξέτασης

- Θα πρέπει να σταματήσετε να γράφετε αμέσως μόλις ανακοινωθεί η λήξη της εξέτασης.
- Για κάθε θέμα, να τοποθετήσετε στον κατάλληλο φάκελο τα αντίστοιχα φύλλα με την όψη προς τα πάνω και με την ακόλουθη σειρά: Εξώφυλλο στην αρχή, Γενικές οδηγίες, Φύλλα Ερωτήσεων (**Q**), Φύλλα Απαντήσεων (**A**), Φύλλα Εργασίας (**W**), και τυχόν πρόσθετα φύλλα (**Z**). Να τα ταξινομήσετε βάσει αριθμού σελίδας. Στο τέλος, να ελέγξετε ότι ο κωδικός σας (ID), το όνομά σας και ο αριθμός της θέσης σας είναι ορατά από το διαφανές τμήμα του φακέλου.

Experiment



GRC-S-3 E-0 G-2

G0-2

Greek (Greece)

- Ο Επιτηρητής θα σας ενημερώσει σχετικά με το πότε μπορείτε να αποχωρήσετε. **Δεν θα πρέπει να πάρετε τίποτε μαζί σας.** Αν σας το επιτρέπει ο χρόνος, να τακτοποιήσετε τα πάντα όπως τα βρήκατε. Η συνεργασία σας θα εκτιμηθεί ιδιαίτερα.

Ειδικές οδηγίες

Καθ' όλη την διάρκεια της εξέτασης, να χρησιμοποιείτε πάντοτε τις αριθμητικές τιμές που περιλαμβάνονται στις Γενικές Οδηγίες, εκτός αν στην εκφώνηση καθορίζεται κάτι διαφορετικό. Κατά την λήψη σειράς μετρήσεων, οι μετρούμενες φυσικές ποσότητες θα πρέπει να αναγράφονται ρητώς στους πίνακες, καθώς και στους άξονες των γραφικών παραστάσεων. Σε όλα τα γραφήματα πρέπει να αναφέρονται με σαφήνεια τα διάφορα φυσικά μεγέθη που εμπλέκονται. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει επίσης να αναγράφονται οι μονάδες μέτρησης.

DELEGATION PRINCE

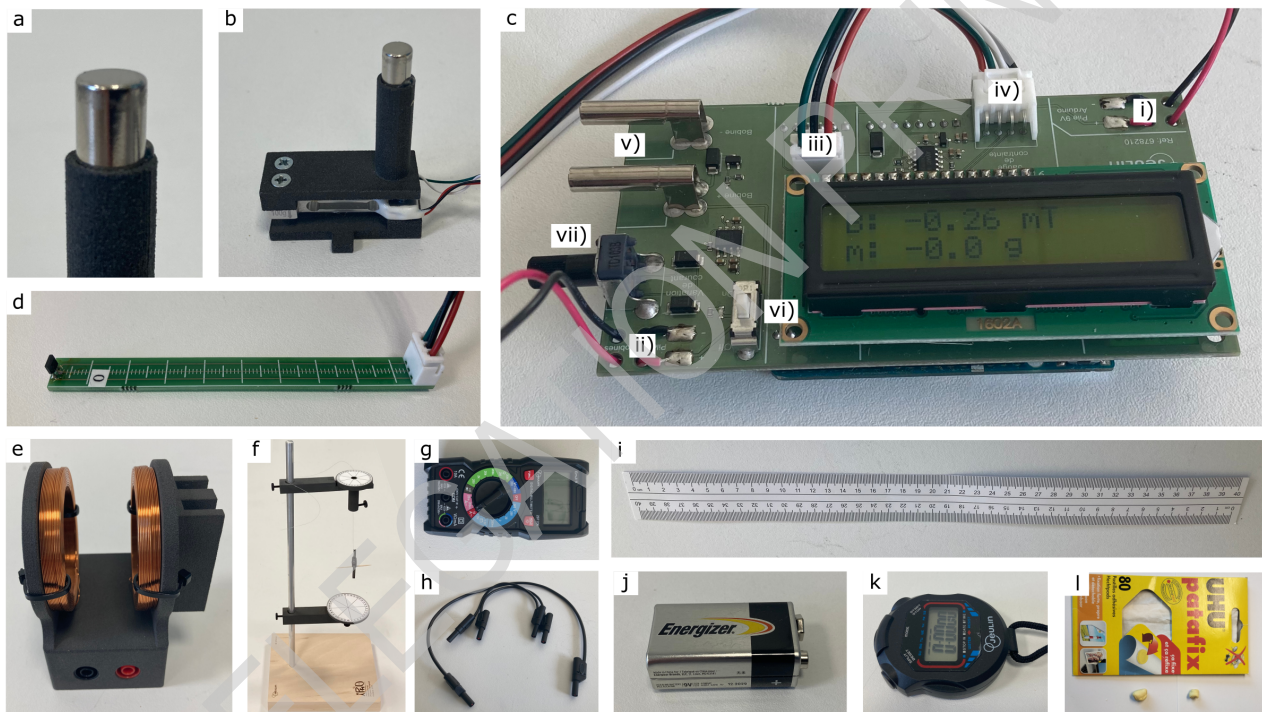
Μέτρηση του μαγνητικού πεδίου της Γης (10 μονάδες)

Εισαγωγή

Αυτό το πείραμα αποσκοπεί στη μέτρηση της οριζόντιας συνιστώσας του μαγνητικού πεδίου της Γης. Αρχικά, θα μετρηθεί η ροπή ενός μαγνήτη με τη χρήση ενός ζυγού Gouy, πριν ο μαγνήτης χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση αυτής της συνιστώσας του γήινου μαγνητικού πεδίου.

Αναμένεται να προσδιορίσετε τα σφάλματα από μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων και όχι από υπολογισμό μέσης τιμής και σφάλματος.

Κατάλογος εξοπλισμού

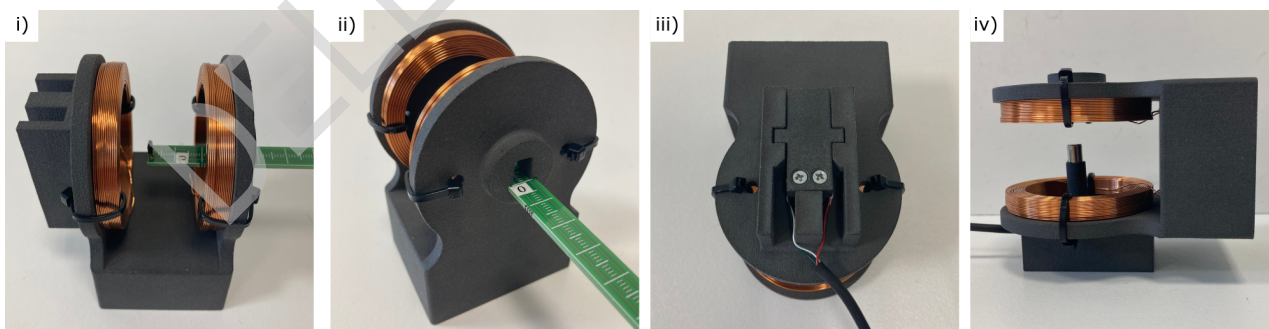


Σχήμα 1. Φωτογραφίες του εξοπλισμού.

Ο κατάλογος του εξοπλισμού παρατίθεται κατωτέρω και απεικονίζεται στο Σχήμα 1. Το πλήθος των στοιχείων αναγράφεται εντός των συμβόλων [] όταν είναι μεγαλύτερο από ένα. Αν η πειραματική διάταξη μοιάζει να έχει προβλήματα, θα πρέπει να ζητήσετε βοήθεια.

- **(a)** Μαγνήτες [3]. Ο πρώτος είναι προσαρτημένος στον αισθητήρα δύναμης (b) και δεν πρέπει να αφαιρεθεί. Ο δεύτερος είναι τοποθετημένος στον οριζόντιο βραχίονα (f) και δεν πρέπει να αφαιρεθεί μέχρι να σας δοθεί σχετική οδηγία. Ο τελευταίος θα χρησιμοποιηθεί στο ερώτημα A.5. Όλοι οι μαγνήτες θεωρούνται πανομοιότυποι.
- **(b)** Αισθητήρας δύναμης. Συνδεδεμένος με την συσκευή Arduino (c), αυτός ο αισθητήρας μετρά τη δύναμη κατά μήκος του άξονά του, την οποία συμβολίζουμε ως m_f , σε γραμμάρια δύναμης ("g"), δηλαδή 1.000 "g" δύναμης αντιστοιχούν σε ($g_0 = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$). Ένας από τους μαγνήτες (a) είναι συνδεδεμένος σε αυτόν. Κάθε φορά που τίθεται σε λειτουργία, η ένδειξη του αισθητήρα αρχικοποιείται στο 0, ανεξάρτητα από την κατάσταση του αισθητήρα (δηλ. την δύναμη που δέχεται). Αυτός ο αισθητήρας δεν πρέπει να υποβάλλεται σε δυνάμεις άνω των 200 γραμμαρίων. Θα πρέπει να τον αποσυνδεύσετε με προσοχή.

- **(c)** Συσσκευή Arduino με ψηφιακή οθόνη. Αυτό το στοιχείο χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία των πηνίων Helmholtz (e) και για την εκτέλεση μετρήσεων δύναμης και μαγνητικού πεδίου, οι οποίες εμφανίζονται απευθείας σε γραμμάτια δύναμης ("g") και mT, αντίστοιχα. Η μπαταρία (j) που τροφοδοτεί το Arduino πρέπει να συνδεθεί στην υποδοχή (i) και η μπαταρία (j) που τροφοδοτεί τα πηνία (e) στην υποδοχή (ii) (να προσέξετε την πολικότητα της σύνδεσης). Ο αισθητήρας δύναμης (b) και ο αισθητήρας μαγνητικού πεδίου (d) πρέπει να συνδεθούν στις υποδοχές (iv) και (iii) αντίστοιχα και τα καλώδια τροφοδοσίας των πηνίων στις υποδοχές (v). Ένας διακόπτης (vi) κλείνει το κύκλωμα τροφοδοσίας του πηνίου (υποδεικνύεται από μια LED), το ρεύμα του οποίου ελέγχεται από τον διακόπτη (vii).
- **(d)** Αισθητήρας μαγνητικού πεδίου προσαρμοσμένος σε χάρακα. Συνδεδεμένος με το Arduino (c), αυτός ο αισθητήρας μετρά το πεδίο B_z κατά μήκος της διεύθυνσης $\vec{e}_z$ του χάρακα, σε mT.
- **(e)** Πηνία τα οποία διαρρέονται από ρεύματα ίδιας έντασης με αντίθετες φορές αποτελούν μια διάταξη αντι-Helmholtz. Αυτά τα πηνία πρέπει να συνδεθούν σε σειρά με το αμπερόμετρο (g) και με το Arduino (c) για να δημιουργηθεί μαγνητικό πεδίο.
- **(f)** Μεταλλικός στύλος πάνω σε ξύλινη βάση, με αναρτημένο οριζόντιο βραχίονα όπου αρχικά εισάγεται ένας μαγνήτης (α) με μοιρογνωμόνιο (γωνιομετρική βάση). Η λεπτομερής συναρμολόγηση αυτής της διάταξης περιγράφεται ακολούθως.
- **(g)** Πολύμετρο. Χρησιμοποιείται μόνο ως αμπερόμετρο στην περιοχή τιμών ως 10A. Εάν παραμείνει ανενεργό, το πολύμετρο απενεργοποιείται και πρέπει να ενεργοποιηθεί ξανά επαναφέροντάς το στη θέση "OFF". Μην χρησιμοποιήσετε τα δύο καλώδια που παρέχονται στη θήκη του πολυμέτρου.
- **(h)** Ηλεκτρικά καλώδια [3].
- **(i)** Χάρακας μήκους 40 cm.
- **(j)** Μπαταρία 9V [3]. Το φορτίο τους είναι της τάξης των $300\text{ mA} \cdot \text{h}$.
- **(k)** Χρονόμετρο.
- **(l)** Συγκολλητική πάστα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε φάση του πειράματος.



Σχήμα 2. Χρήση αισθητήρων στο εσωτερικό των πηνίων αντί-Helmholtz.

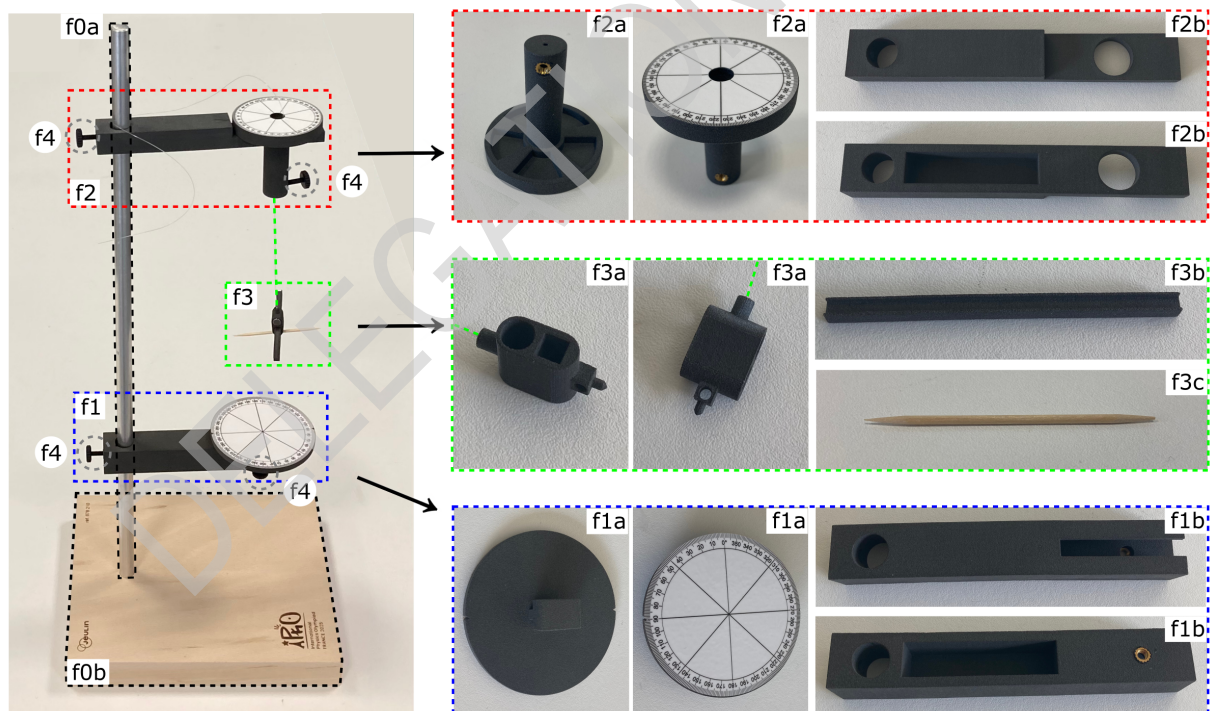
Χρήση αισθητήρων διασυνδεδεμένων με το Arduino (Σχ. 2)

Ο αισθητήρας μαγνητικού πεδίου (d) μπορεί να ολισθαίνει στα πηνία (e) όπως φαίνεται στο στιγμιότυπο (i), ενώ μετρά το πεδίο στον άξονά τους. Η θέση $z = 0$ του αισθητήρα παρουσιάζεται στο στιγμιότυπο (ii) και το z αυξάνεται καθώς ο αισθητήρας κινείται προς το εσωτερικό των πηνίων.

Ο αισθητήρας δύναμης (b) εισάγεται μέσα στα πηνία όπως φαίνεται στο στιγμιότυπο (iii), πριν αυτά στραφούν όπως στο στιγμιότυπο (iv). Για να γίνει αυτό, να φροντίσετε να δρομολογήσετε τα ηλεκτρικά καλώδια μέσω των παρεχόμενων οδηγών.

Μέθοδος συναρμολόγησης της διάταξης (f) (Σχ. 3), που θα προστεθεί στην πειραματική διάταξη ακριβώς πριν από την έναρξη του μέρους B, με καλώδιο μήκους 34 cm

- Να τοποθετήσετε τον μεταλλικό στύλο (f0a) στην ξύλινη βάση με τα πλαστικά πόδια (f0b) για να σχηματίσετε τη βάση (f0).
- Το τμήμα (f1) τοποθετείται στο κάτω μέρος του στύλου και χρησιμεύει για την μέτρηση της γωνίας του στηρίγματος. Να στερεώσετε τον βραχίονα (f1b) στον μεταλλικό στύλο με μια βίδα (f4) και στη συνέχεια να στερεώσετε πάνω του το εξάρτημα (f1a) με μια δεύτερη βίδα (f4).
- Το τμήμα (f2) τοποθετείται στο επάνω μέρος του στύλου και συγκρατεί το σύρμα που στηρίζει την διάταξη (f3). Να στερεώσετε τον βραχίονα (f2b) στον μεταλλικό στύλο με τη βοήθεια μιας βίδας (f4) και, στη συνέχεια, να τοποθετήσετε πάνω του το εξάρτημα (f2a).
- Για να κατασκευάσετε την διάταξη (f3), να τοποθετήσετε τη ράβδο αδράνειας (f3b) και μια οδοντογλυφίδα (f3c) στον φορέα (f3a), στον οποίο έχει ήδη τοποθετηθεί ένας μαγνήτης (a). Να εισάγετε το σύρμα που στηρίζει την διάταξη (f3) στην υποδοχή του τμήματος (f2a) και να το στερεώσετε με μια βίδα (f4). Η περιστροφή του εξαρτήματος (f2a) αλλάζει τη γωνία υπό την οποία στερεώνεται το σύρμα. Η οδοντογλυφίδα επιτρέπει την ακριβή μέτρηση του πρόσανατολισμού (γωνίας) της διάταξης (f3).



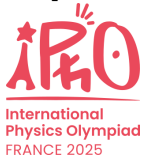
Σχήμα 3. Εγκατάσταση της διάταξης (f3) στη μεταλλική βάση. Τα μέρη (f1a), (f1b), (f2a), (f2b) και (f3a) φαίνονται από δύο διαφορετικές γωνίες. Υπάρχουν τέσσερις πανομοιότυπες πλαστικές βίδες (f4).

Μέρος A. Ζυγός Gouy και μαγνητική ροπή

Μοντελοποίηση

Υποθέτουμε ότι ένας μαγνήτης μπορεί να θεωρηθεί ως μαγνητικό δίπολο με μαγνητική διπολική ροπή

Experiment



GRC-S-3 E-1 Q-4

Q1-4

Greek (Greece)

$\vec{m}_m$. Η δύναμη που δέχεται ένα τέτοιο μαγνητικό δίπολο με ροπή $\vec{m}_m = m_m \vec{e}_z$ σε μαγνητικό πεδίο $\vec{B} = B(z) \vec{e}_z$ είναι

$$\vec{F}(z) = m_m \frac{dB(z)}{dz} \vec{e}_z. \quad (1)$$

Όταν ένα ρεύμα i διαρρέει τα πηνία αντι-Helmholtz, το πεδίο $\vec{B}$ κατά μήκος του μοναδιαίου διανύσματος $\vec{e}_z$ του άξονα συμμετρίας τους είναι

$$\vec{B}(z) = \alpha i (z - z_0) \vec{e}_z. \quad (2)$$

Η εξίσωση αυτή ισχύει μόνο κοντά στο κέντρο της συσκευής, η θέση του οποίου συμβολίζεται ως $z = z_0$.

Μαγνητικό πεδίο στα πηνία

- A.1** Να εκτιμήσετε αριθμητικά τον τυπικό χρόνο λειτουργίας τ μιας από τις μπαταρίες με μέγιστο ρεύμα της τάξης των 2A. 0.2pt

Το αποτέλεσμα αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την εν συνεχεία ανάπτυξη πειραματικών διαδικασιών (πρωτοκόλλων), γνωρίζοντας ότι τα πηνία χρησιμοποιούνται μόνο στο μέρος A. Να σημειώσετε ότι υπάρχει διαθέσιμη εφεδρική μπαταρία, εάν χρειαστεί.

Να τοποθετήσετε τον αισθητήρα μαγνητικού πεδίου στα πηνία, όπως φαίνεται στο Σχ. 2. Συμβουλευτείτε επίσης αυτό το σχήμα για τον προσδιορισμό της θέσης του αισθητήρα στα πηνία.

- A.2** Σε μια σταθερή ένταση $i_0 \approx 1.0\text{A}$, να μετρήσετε και να σχεδιάσετε το μαγνητικό πεδίο B_z ως συνάρτηση της θέσης z του αισθητήρα στον άξονα των πηνίων. Να προσδιορίσετε τη μεγαλύτερη περιοχή $[z_{\min}, z_{\max}]$ όπου το μαγνητικό πεδίο είναι πειραματικά γραμμικό ως προς τη θέση. 0.8pt

- A.3** Τοποθετώντας τον αισθητήρα σε δύο θέσεις (z_1, z_2) σε αυτή την περιοχή γραμμικής εξάρτησης, να σχεδιάσετε μια καμπύλη για να επαληθεύσετε την εξάρτηση του B από την ένταση του ρεύματος, που δίνεται από την εξίσωση (2) και να προσδιορίσετε την τιμή του α , με το σφάλμα της. 0.9pt

Ζυγός Gouy

Να αφαιρέσετε τον αισθητήρα μαγνητικού πεδίου από τα πηνία και να τοποθετήσετε προσεκτικά τον αισθητήρα δύναμης στο εσωτερικό του, όπως περιγράφεται στην Εικ. 2, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στην τοποθέτηση των ηλεκτρικών καλωδίων στους οδηγούς.

- A.4** Να λάβετε πειραματικές μετρήσεις της δύναμης m_f (σε γραμμάρια) ως συνάρτηση της έντασης i . Να σχεδιάσετε κατάλληλη γραφική παράσταση για να προσδιορίσετε την τιμή της μαγνητικής διπολικής ροπής m_m του μαγνήτη, με το σφάλμα της. 0.8pt

Εναλλακτική μέτρηση της μαγνητικής διπολικής ροπής

Στη διπολική προσέγγιση, το μαγνητικό πεδίο ενός μαγνήτη διπολικής ροπής m_m μετρημένο κατά τον άξονα περιστροφής του z είναι

$$B_z(z) = \frac{\mu_0 m_m}{2\pi(z - z_a)^3}, \quad (3)$$

όπου z_a δεν είναι απαραίτητα το γεωμετρικό κέντρο του μαγνήτη και όπου $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$.

A.5 Να μετρήσετε το μαγνητικό πεδίο B_z κατά μήκος του άξονα περιστροφής του ελεύθερου μαγνήτη, συναρτήσει της απόστασης z . Να σχεδιάσετε μια καμπύλη για να επαληθεύσετε το μοντέλο που δίνεται στην Εξίσωση (3), δείχνοντας τις πειραματικές αποκλίσεις του. Να εξαγάγετε νέα τιμή για το m_m , με το σφάλμα της. 1.3pt

A.6 Λαμβάνοντας υπόψη τα δύο αποτελέσματα που προέκυψαν στα ερωτήματα A.4 και A.5, να προτείνετε μια τελική πειραματική τιμή του m_m με το σφάλμα της. 0.2pt

Μέρος Β. Προσδιορισμός του μαγνητικού πεδίου της γης

Μοντελοποίηση

Στην συνέχεια, θα μελετήσουμε την ταλάντωση του μαγνήτη σε οριζόντιο επίπεδο για να εκτιμήσουμε την τιμή της οριζόντιας συνιστώσας B_e του γήινου μαγνητικού πεδίου (βλ. Σχ. 3 και τις οδηγίες συναρμολόγησης πάνω από αυτό). Η διάταξη (f3), που περιέχει τον μαγνήτη, υποβάλλεται σε δύο ροπές δύναμης γύρω από τον κατακόρυφο άξονα:

- η ροπή του σύρματος, η οποία περιγράφεται από την σχέση $\Gamma_f = -\frac{C_f}{L}(\theta - \theta_0)$, όπου C_f είναι μια σταθερά, L το συνολικό μήκος μεταξύ των δύο συνδέσεων του σύρματος, και θ_0 η τιμή της γωνίας για την οποία το σύρμα δεν συστρέφεται
- η ροπή του γήινου μαγνητικού πεδίου, που γράφτηκε από τον $\Gamma_e = -m_m B_e \sin(\theta - \theta_e)$, όταν η μαγνητική απόκλιση δίνεται από τη γωνία θ_e .

Συμβολίζοντας με J την άγνωστη ροπή αδράνειας της διάταξης (f3) και του μαγνήτη γύρω από τον κατακόρυφο άξονα, το θεώρημα της στροφορμής δίνει

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} = \Gamma_f + \Gamma_e = -\frac{C_f}{L}(\theta - \theta_0) - m_m B_e \sin(\theta - \theta_e). \quad (4)$$

Όταν ισχύει η προσέγγιση $\sin(\theta - \theta_e) \approx \theta - \theta_e$, αυτό οδηγεί σε αρμονική ταλάντωση με περίοδο T . Για αυτό το ερώτημα, η πάστα μπορεί να λάβει οποιοδήποτε σχήμα και μέγεθος και να συγκολληθεί σε διάφορα τμήματα της πειραματικής διάταξης.

Προσοχή: Για την αποφυγή διαταραχών από εξωτερικά μαγνητικά πεδία, ο μαγνήτης πρέπει να τοποθετείται τουλάχιστον 20 cm μακριά από οποιοδήποτε μεταλλικό αντικείμενο ή πηγή μαγνητικού πεδίου, συμπεριλαμβανομένων των άλλων μαγνητών.

Πειραματική διάταξη και πρώτη μέτρηση

Για τα ερωτήματα B.1 έως B.5, να θέσετε το μήκος του καλωδίου ίσο με $L = 34 \text{ cm}$ και να βεβαιωθείτε ότι δεν έχει συστραφεί. Σε αυτό το περιβάλλον, ξεκινάμε υποθέτοντας ότι η ροπή δύναμης από το σύρμα είναι αμελητέα σε σχέση με τη ροπή από το γήινο μαγνητικό πεδίο, υπόθεση στην οποία θα επανέλθουμε αργότερα.

Για να ευθυγραμμιστεί το θ_0 με το θ_e , να χρησιμοποιήσετε το τμήμα (f2a) για να ρυθμίσετε το θ_0 έτσι ώστε η διάταξη (f3) να μην περιστρέφεται όταν αφαιρείται ο μαγνήτης. Στη συνέχεια, να επανατοποθετήσετε τον μαγνήτη στην διάταξη (f3) και να διατηρήσετε το θ_0 αμετάβλητο μέχρι το ερώτημα B.5.



B.1 Να προτείνετε ένα πειραματικό πρωτόκολλο για τον προσδιορισμό του B_e . Να παρουσιάσετε τα διάφορα μεγέθη που θα μετρήσετε και τις μονάδες τους. Να απεικονίσετε αυτά τα μεγέθη σε ένα λεπτομερές σχεδιάγραμμα και να τα συσχετίσετε με αυτά που δίνονται στις οδηγίες μέσω μιας εξίσωσης. Για κάθε μέγεθος, να διευκρινίσετε αν είναι σταθερό (F) ή μεταβάλλεται (V) καθ' όλη τη διάρκεια του πρωτοκόλλου. 0.3pt

B.2 Χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο που περιγράφεται παραπάνω, να σχεδιάσετε μια γραφική παράσταση για να προσδιορίσετε μια πρώτη τιμή του B_e , με το σφάλμα της. 1.1pt

Μέτρηση της ροπής του σύρματος

B.3 Διατηρώντας το $L = 34\text{ cm}$, να μελετήσετε την κίνηση της διάταξης (f3) χωρίς τον μαγνήτη και να προσδιορίσετε την τιμή του C_f , με το σφάλμα της: χρησιμοποιώντας μετρήσεις μίας περιόδου για δύο διαφορετικές εκδοχές της διάταξης. Να προσδιορίσετε την εξίσωση που συνδέει το C_f με τα μετρούμενα μεγέθη. 0.7pt

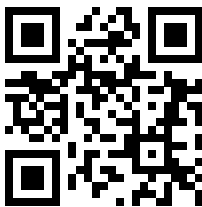
B.4 Χρησιμοποιώντας προηγούμενες μετρήσεις, δώστε την έκφραση και προσδιορίστε αριθμητικά το κρίσιμο μήκος L_c για το οποίο οι συντελεστές πλάτους είναι C_f/L και $m_m B_e$ των ροπών δύναμης Γ_f και Γ_e είναι ίσοι μεταξύ τους. Στο ερώτημα B.2, ποιος ήταν η τιμή του λόγου $(C_f/L)/(m_m B_e)$; Να επιλέξετε μεταξύ των διαστημάτων: [0% , 1%), [1% , 5%), [5% , 20%), [20% , 50%), [50% , ∞%) 0.3pt

Μέτρηση σε κατάσταση ισορροπίας

Προτείνουμε τώρα μια στατική μέτρηση του μαγνητικού πεδίου της Γης. Να επανατοποθετήσετε τον μαγνήτη στην διάταξη (f3). Να χρησιμοποιήσετε το τεμάχιο (f2a) στο Σχ. 3 για να ρυθμίσετε τη γωνιακή θέση θ_0 , προκαλώντας τη συστροφή του σύρματος.

B.5 Διατηρώντας το σταθερό μήκος $L = 34\text{ cm}$, να σχεδιάσετε ένα κατάλληλο διάγραμμα για να μελετήσετε πώς η θέση ισορροπίας του μαγνήτη θ_{eq} εξαρτάται από τη γωνία θ_0 , και να προσδιορίσετε μια δεύτερη τιμή του B_e , με το σφάλμα της. 1.1pt

B.6 Να μεταβάλλετε το μήκος L και να επαναλάβετε την προηγούμενη μελέτη για δύο άλλα μήκη, προκειμένου να επαληθεύσετε την εξάρτηση της ροπής δύναμης σύρματος από το L . Χρησιμοποιώντας ένα τελικό γράφημα που συνοψίζει όλες τις εξαρτήσεις, να προσδιορίσετε μια νέα τιμή για το B_e , με το σφάλμα της. 2.3pt

**Μέτρηση του Μαγνητικού Πεδίου της Γης (10 μονάδες)**

Γράψτε τα νούμερα 0 έως 9 στον παρακάτω πίνακα:

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

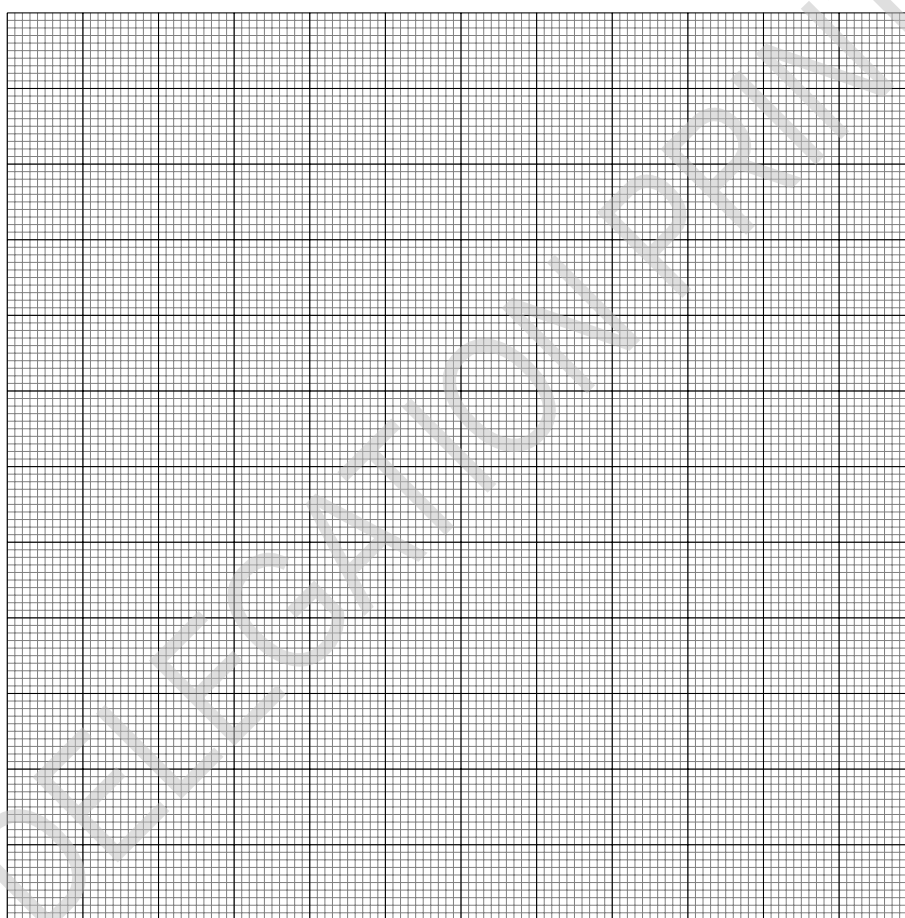
Ζυγός Gouy και μαγνητική διπολική ροπή

A.1 (0.2pt)

$\tau =$

**A.2** (0.8pt)

z (mm)														
B_z (mT)														



$[z_{\min}, z_{\max}] =$ mm

Experiment



International
Physics Olympiad
FRANCE 2025



GRC-S-3 E-1 A-3

A1-3

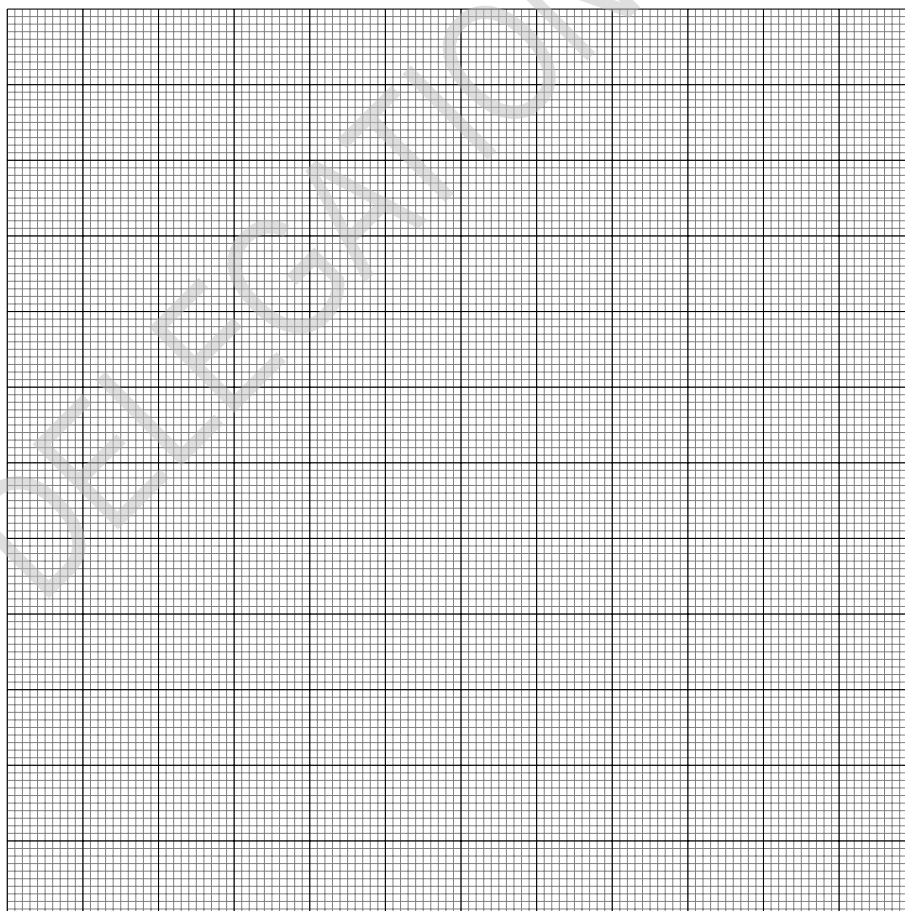
Greek (Greece)

A.3 (0.9pt)

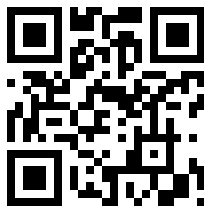
$(z_1, z_2) =$ mm

i (A)										
B_{z_1} (mT)										
B_{z_2} (mT)										

Απεικονιζόμενα Μεγέθη (μονάδες μέτρησης):

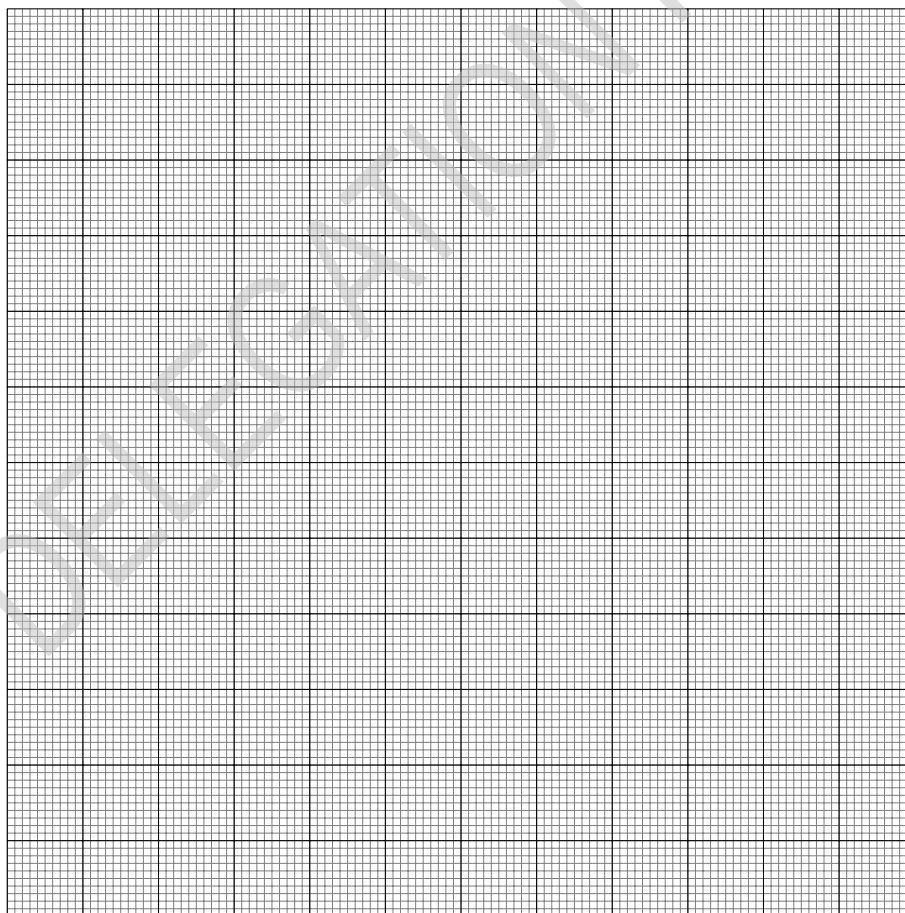


$\alpha =$ $\pm$

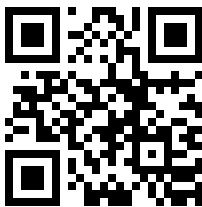
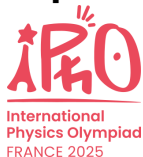
**A.4 (0.8pt)**

i (A)										
m_f (g)										

Απεικονιζόμενα Μεγέθη (μονάδες μέτρησης):

 $m_m = \quad \pm$

Experiment



GRC-S-3 E-1 A-5

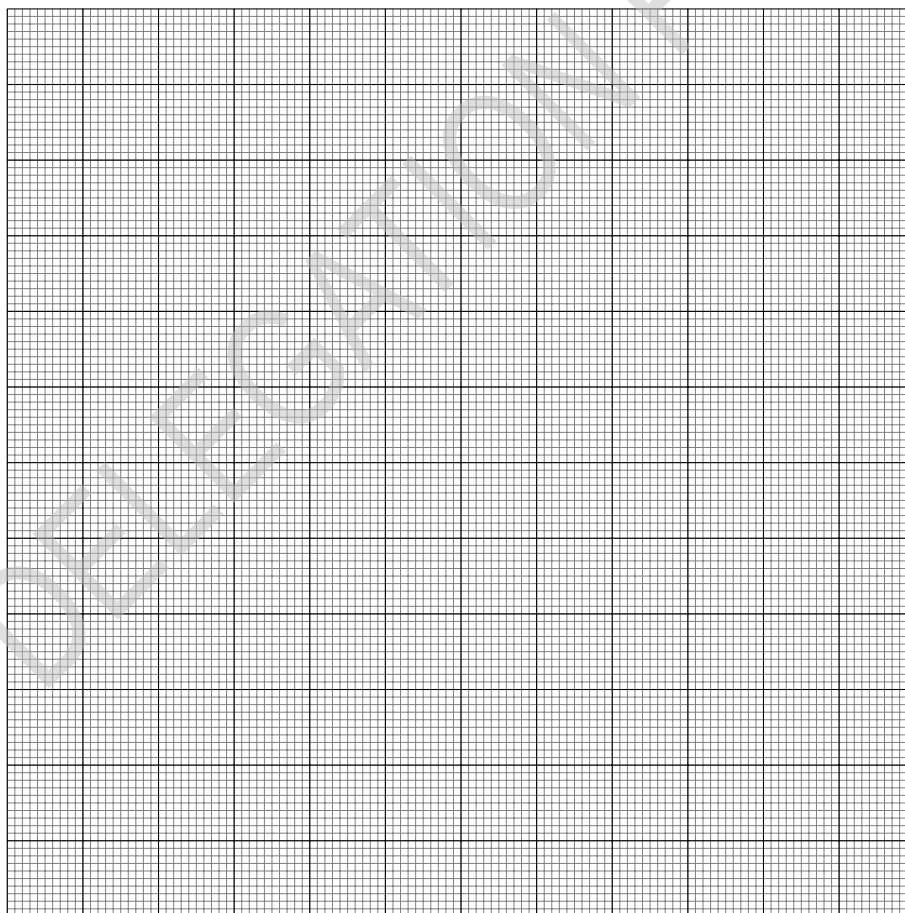
A1-5

Greek (Greece)

A.5 (1.3pt)

z (mm)										
B_z (mT)										

Απεικονιζόμενα Μεγέθη (μονάδες μέτρησης):

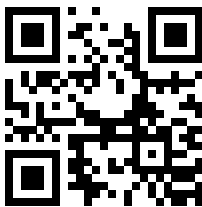


$m_m =$ $\pm$

Experiment



International
Physics Olympiad
FRANCE 2025



GRC-S-3 E-1 A-6

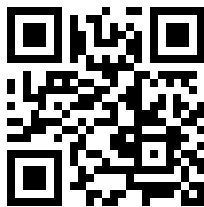
A1-6

Greek (Greece)

A.6 (0.2pt)

$m_m =$ $\pm$

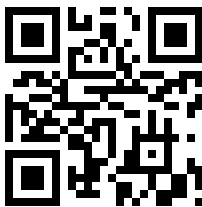
DELEGATION PRINT

**Προσδιορισμός του μαγνητικού πεδίου της Γης****B.1 (0.3pt)**

Μέγεθος	Μονάδα Μέτρησης	Σταθερό (F) / Μεταβλητό (V)

Εξίσωση Συσχετισμού Μεγεθών:

Σχεδιάγραμμα:



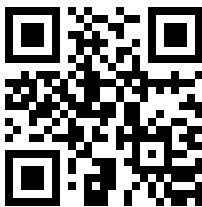
B.2 (1.1 pt)

Μετρούμενα Μεγέθη (μονάδες μέτρησης):

[illegible]

Απεικονιζόμενα Μεγέθη (μονάδες μέτρησης):

[illegible][illegible]
$$B_e = \pm$$

**B.3** (0.7pt)

Να διευκρινίσετε το σχετικό μέγεθος για κάθε μέτρηση:

Σχετικό Μέγεθος για την Πρώτη Μέτρηση (μονάδες μέτρησης):

Σχετικό Μέγεθος για την Δεύτερη Μέτρηση (μονάδες μέτρησης):

Έκφραση του C_f :

$$C_f = \quad \pm \quad \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{rad}^{-1}$$

B.4 (0.3pt)

Έκφραση του L_c

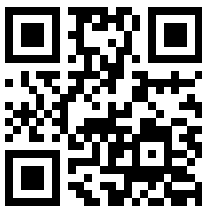
Αριθμητική Τιμή $L_c =$

$$(C_f/L)/(m_m B_e) \in$$

Experiment



International
Physics Olympiad
FRANCE 2025



GRC-S-3 E-1 A-10

A1-10

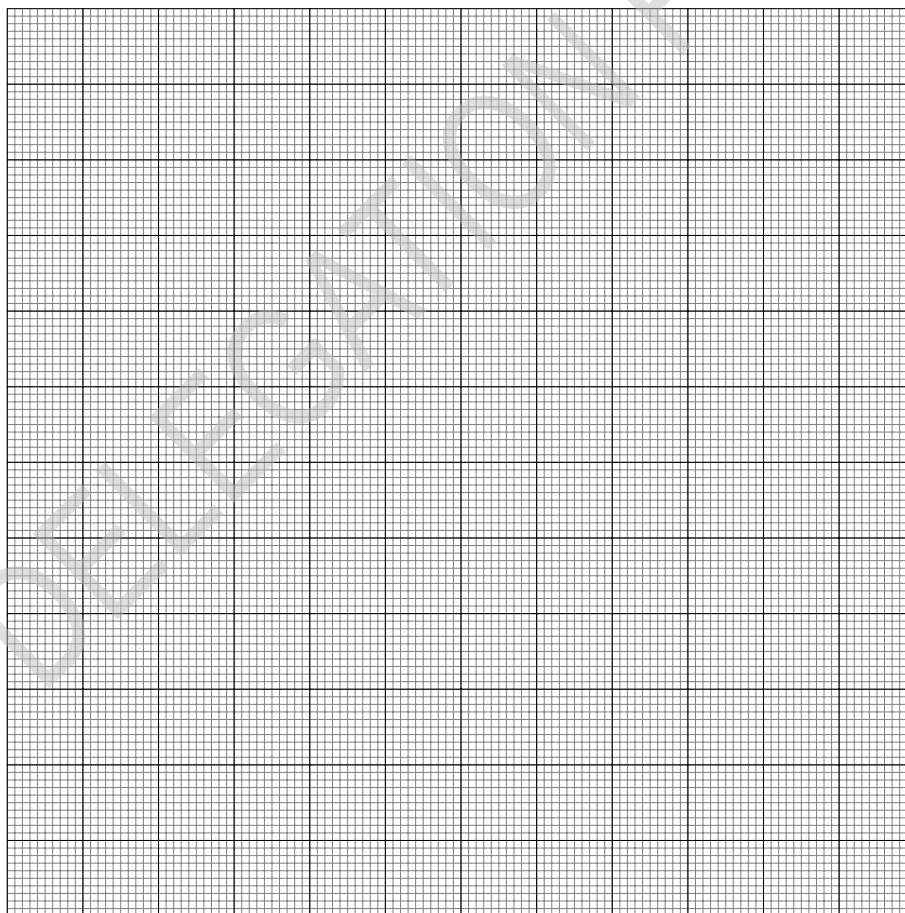
Greek (Greece)

B.5 (1.1pt)

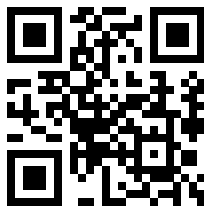
Ισορροπία 1: $L = 34 \text{ cm}$

$\theta_0 \text{ (rad)}$										
$\theta_{\text{eq}} \text{ (rad)}$										

Απεικονιζόμενα Μεγέθη (μονάδες μέτρησης):

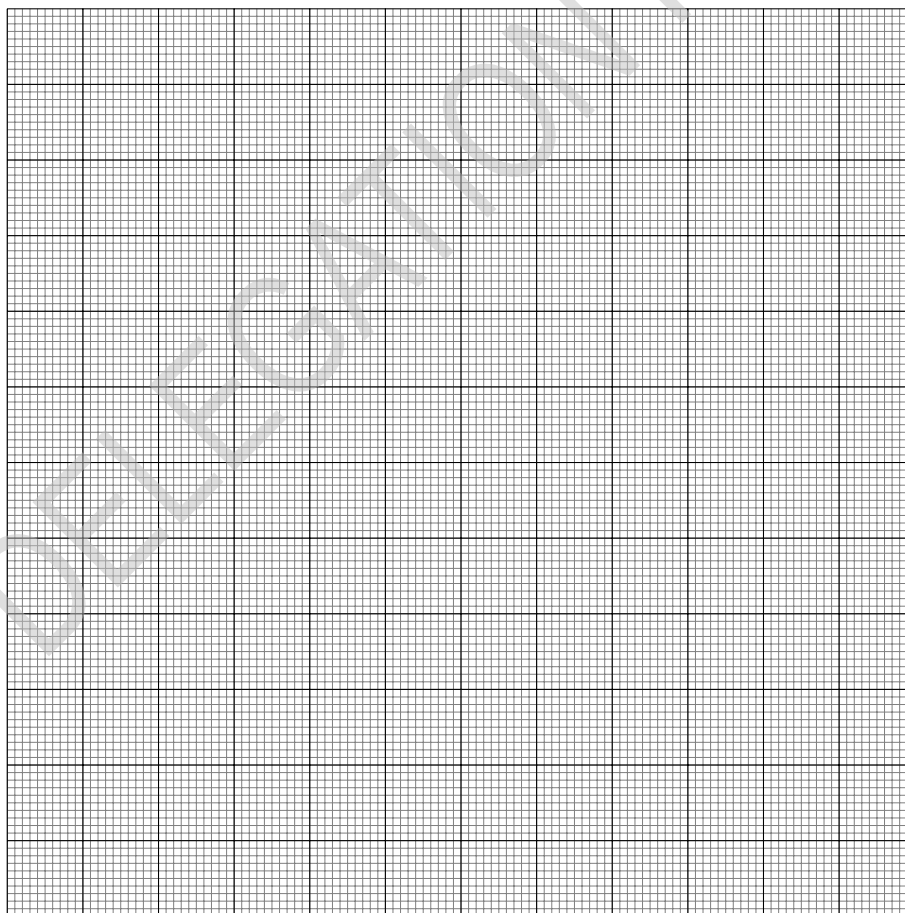


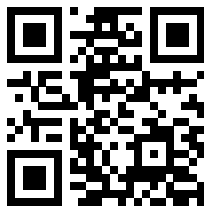
$B_e = \pm$

**B.6 (2.3pt)**Ισορροπία 2: $L =$

Μετρούμενα μεγέθη (μονάδες μέτρησης):

Απεικονιζόμενα Μεγέθη (μονάδες μέτρησης):





B.6 (cont.)

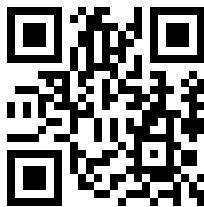
Ισορροπία 3: $L =$

Μετρούμενα μεγέθη (μονάδες μέτρησης):

[illegible]

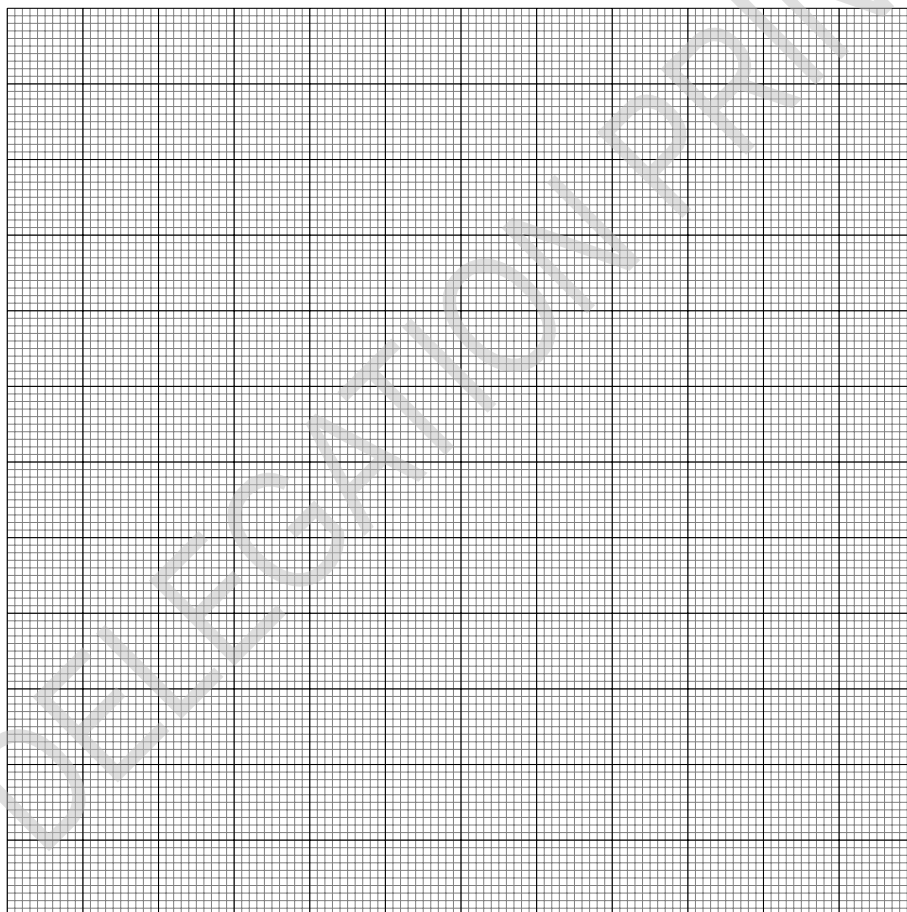
Απεικονιζόμενα Μεγέθη (μονάδες μέτρησης):

[illegible][illegible]

**B.6 (cont.)**

Απεικονιζόμενα Μεγέθη (μονάδες μέτρησης):

	Ισορροπία 1	Ισορροπία 2	Ισορροπία 3

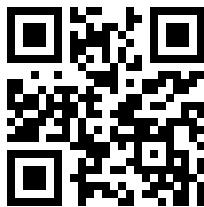


$$B_e = \quad \pm$$

Experiment



International
Physics Olympiad
FRANCE 2025



GRC-S-3 E-1 W-1

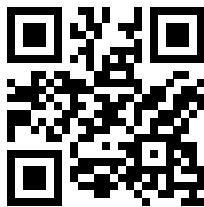
W1-1

DELEGATION PRINT

Experiment



International
Physics Olympiad
FRANCE 2025



GRC-S-3 E-1 W-2

W1-2

DELEGATION PRINT

Experiment



International
Physics Olympiad
FRANCE 2025



GRC-S-3 E-1 W-3

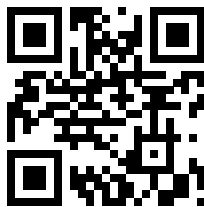
W1-3

DELEGATION PRINT

Experiment



International
Physics Olympiad
FRANCE 2025



GRC-S-3 E-1 W-4

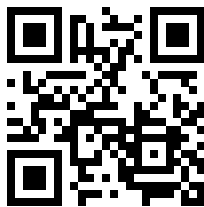
W1-4

DELEGATION PRINT

Experiment



International
Physics Olympiad
FRANCE 2025



GRC-S-3 E-1 W-5

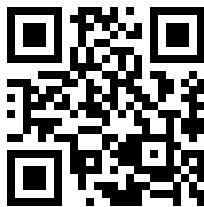
W1-5

DELEGATION PRINT

Experiment



International
Physics Olympiad
FRANCE 2025



GRC-S-3 E-1 W-6

W1-6

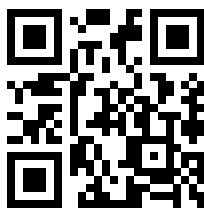
DELEGATION PRINT

do not write on the back of this page

Experiment



International
Physics Olympiad
FRANCE 2025



GRC-S-3 E-1 W-7

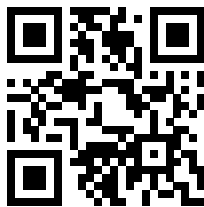
W1-7

DELEGATION PRINT

Experiment



International
Physics Olympiad
FRANCE 2025



GRC-S-3 E-1 W-8

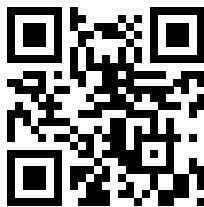
W1-8

DELEGATION PRINT

Experiment



International
Physics Olympiad
FRANCE 2025



GRC-S-3 E-1 W-9

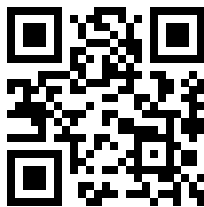
W1-9

DELEGATION PRINT

Experiment



International
Physics Olympiad
FRANCE 2025



GRC-S-3 E-1 W-10

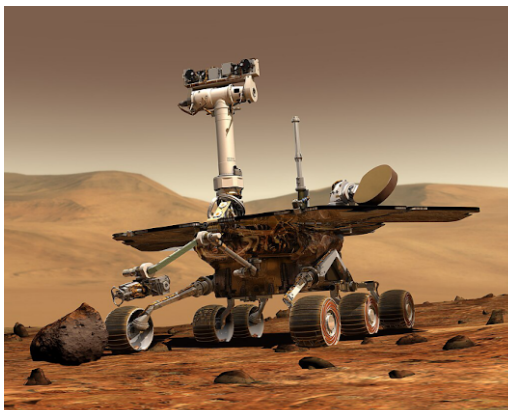
W1-10

DELEGATION PRINT

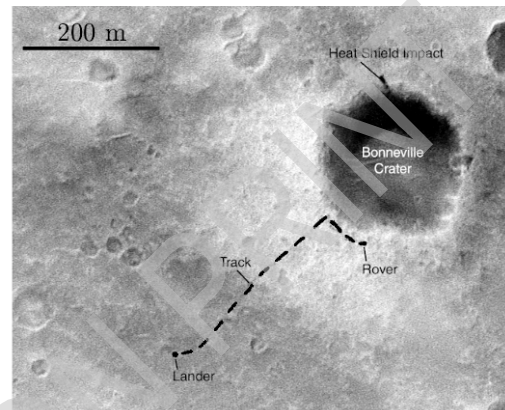
do not write on the back of this page

Κρατήρες άμμου και αμμόλοφοι (10.0 μονάδες)

Το διαστημικό όχημα εδάφους (ρόβερ) Spirit της NASA (**Σχήμα 1.(α)**) προσεδάφιστηκε στον Άρη το 2004 για να μελετήσει τη γεωλογία του και την πιθανή παρουσία νερού. Το σημείο προσεδάφισης (**Εικ. 1.(β)**) περιβάλλεται από κρατήρες διαφόρων μεγεθών και αμμόλοφους. Κατά τη διάρκεια της εξερεύνησης του Άρη, το ρόβερ έπρεπε να αποφύγει να κολλήσει στους αμμόλοφους.



(a)



(b)

Σχ. 1. α) Καλλιτεχνική απεικόνιση του Spirit. (b) Θέση προσεδάφισης του οχήματος στον Άρη. Η γραμμή της κλίμακας αντιστοιχεί σε 200 m.

Το πρόβλημα έχει δύο ανεξάρτητα μέρη, Α (σχηματισμός κρατήρα) και Β (παγίδα άμμου) που μπορούν να αντιμετωπιστούν ανεξάρτητα, με οποιαδήποτε σειρά. Ο κατάλογος του εξοπλισμού παρατίθεται παρακάτω και απεικονίζεται στο **Σχήμα 2**.

- (a) Πλαστικό κουτί (πρέπει να το αδειάσετε). Τόσο το κουτί (πλέον άδειο) όσο και το καπάκι θα χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή της άμμου που ξεχειλίζει κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.
- (b) Μπολ.
- (c) Μπουκάλι με άμμο.
- (d) 6 Ατσάλινες σφαίρες σε δοχείο. Οι σφαίρες έχουν 4 διαφορετικές διαμέτρους. Οι τρεις μικρότερες σφαίρες είναι πανομοιότυπες
- (e) Μετροταινία.
- (f) Σύστημα στερέωσης που αποτελείται από ξύλινο δίσκο με λαστιχένια πόδια (f1), κατακόρυφο στύλο (f4), βίδα σύσφιξης (f2) και οριζόντια ράβδο (f3). Τα διάφορα εξαρτήματα πρέπει να συναρμολογηθούν όπως φαίνεται στη φωτογραφία (f).
- (g) Κόσκινο, που χρησιμοποιείται για να βρεθεί η μικρή μπάλα αν χαθεί στην άμμο.
- (h) Ράγα αλουμινίου, μήκους 1 m.
- (i) Βούρτσα για να καθαρίσετε την άμμο από τη ράγα και τις σφαίρες, εάν είναι απαραίτητο.
- (j) Ξύλινη θήκη.
- (k) Χρονόμετρο.
- (l) Κολλητική πάστα.
- (m) Χωνί για την τοποθέτηση της άμμου πίσω στο κουτί στο τέλος του πειράματος.

Experiment



International
Physics Olympiad
FRANCE 2025

GRC-S-3 E-2 Q-2

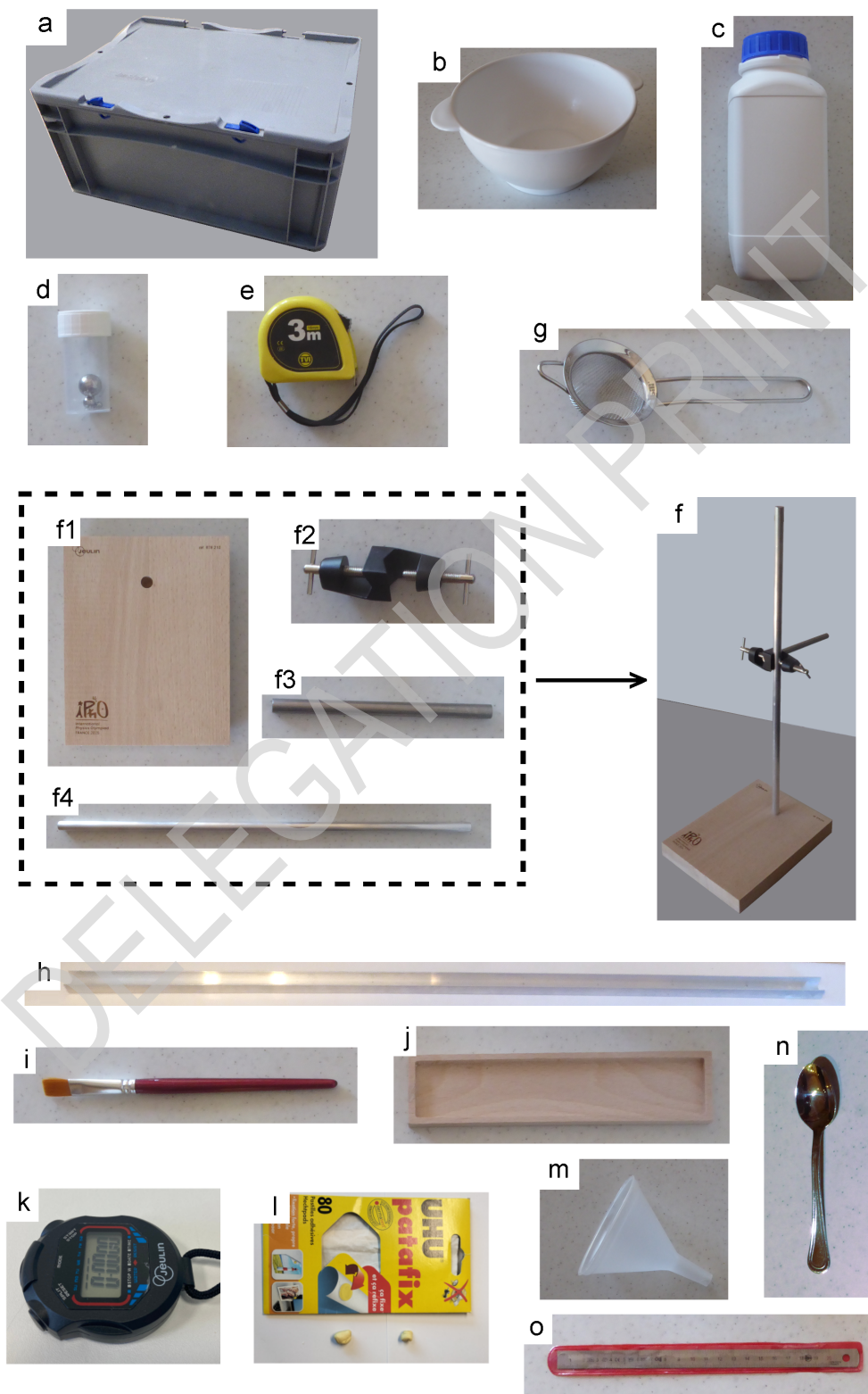
Q2-2

Greek (Greece)

- (η) Κουτάλι.
- (ο) Χάρακας.

DELEGATION PRINT

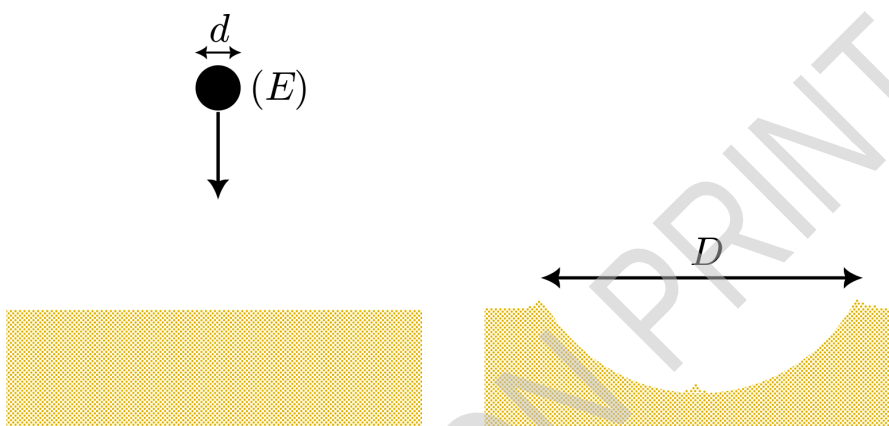
Experiment



Σχήμα 2. Φωτογραφίες όλου του εξοπλισμού.

A. Κρατήρες πρόσκρουσης

Οι κρατήρες στον Άρη, των οποίων η διάμετρος D κυμαίνεται από περίπου 10m έως αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα, είναι αποτέλεσμα της πρόσκρουσης μετεωριτών. Διαφορετικά μοντέλα προβλέπουν διαφορετικούς τρόπους εξάρτησης του D από τη διάμετρο του μετεωρίτη d και την ενέργειά του E (Σχήμα 3).



Σχήμα 3. Σχηματισμός κρατήρα.

Μοντέλο 1: D εξαρτάται μόνο από τη διάμετρο d του μετεωρίτη

$$D = c_1 d, \quad (1)$$

όπου c_1 είναι μια αδιάστατη παράμετρος ανεξάρτητη από τα E και d .

Μοντέλο 2: Αυτό το μοντέλο προβλέπει ότι το D είναι ανάλογο προς $E^{1/3}$

$$D = c_2 E^{1/3} \quad (2)$$

όπου c_2 είναι μια παράμετρος ανεξάρτητη από τα E και d .

Μοντέλο 3: Η ενέργεια E προκαλεί την εκτίναξη άμμου εκτός του κρατήρα. Υπό αυτή την υπόθεση

$$D = c_3 E^{1/4} \quad (3)$$

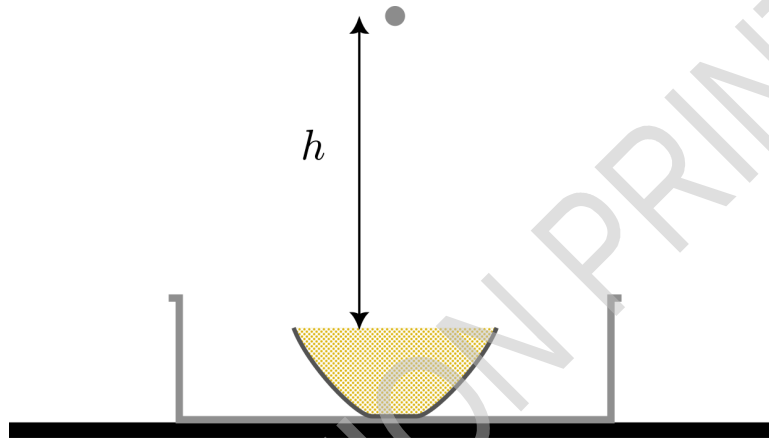
όπου c_3 είναι μια παράμετρος ανεξάρτητη από τα E και d .

Εδώ εκτελούμε πειράματα για το σχηματισμό κρατήρων σε κλίμακα εκατοστού για να συγκρίνουμε τα τρία μοντέλα. Στην θέση των μετεωριτών χρησιμοποιούνται χαλύβδινες σφαίρες διαφορετικών διαμέτρων d και μαζών m , με πυκνότητα $\rho_a = 7.8 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (στοιχείο **(d)** του καταλόγου εξοπλισμού).

Σφαίρα 1	$d_1 = 2.0 \text{ mm}$	$m_1 = 0.033 \text{ g}$
Σφαίρα 2	$d_2 = 5.0 \text{ mm}$	$m_2 = 0.51 \text{ g}$
Σφαίρα 3	$d_3 = 9.0 \text{ mm}$	$m_3 = 3.0 \text{ g}$
Σφαίρα 4	$d_4 = 16.0 \text{ mm}$	$m_4 = 17 \text{ g}$

Experiment

Το μπολ **(b)** γεμάτο με άμμο **(c)** τοποθετείται μέσα στο άδειο πλαστικό κουτί **(a)** που θα βοηθήσει στη συλλογή της περίσσειας άμμου. Να γεμίσετε το μπολ πλήρως με άμμο και να εξομαλύνετε την επιφάνεια προσεκτικά με την ακμή ενός χάρακα **(o)**. Να προσπαθήσετε να μην συμπιέσετε την άμμο. Για να απελευθερωθεί η μπάλα πάνω από το μπολ, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τη βάση που είναι εξοπλισμένη με μια ράβδο και μια βίδα **(f)**. Η ράβδος χρησιμεύει ως οδηγός για την απελευθέρωση της μπάλας ακριβώς πάνω από το μπολ και επίσης για τη μέτρηση του ύψους πτώσης h πάνω από την επιφάνεια, το οποίο θα μετρηθεί με τη χρήση της μετροταινίας **(e)**.



Σχήμα 4. Πειραματική διάταξη σχηματισμού κρατήρα.

Να ρίξετε τη σφαίρα 3 από ύψος $h = 50 \text{ cm}$ και να μετρήσετε τη διάμετρο D του κρατήρα που σχηματίζεται. Να επαναλάβετε το πείραμα 5 φορές. Μετά από κάθε πρόσκρουση, να ανακατέψετε την άμμο με το κουτάλι **(n)** και να την ισιώσετε προσεκτικά με την ακμή του χάρακα. Να αποφύγετε την συμπίεση της άμμου! Αν χρειαστεί, να χρησιμοποιήσετε το κόσκινο **(g)** για να βρείτε τη μπάλα, σε περίπτωση που αυτή χαθεί στην άμμο.

- | | | |
|------------|--|-------|
| A.1 | Να παρουσιάσετε τα αποτελέσματά σας σε πίνακα και να βρείτε το D με το σφάλμα του. | 0.6pt |
|------------|--|-------|

Κατά τη διάρκεια της πτώσης, η δύναμη αντίστασης του αέρα δίνεται από τη σχέση

$$F = \frac{1}{8} \pi d^2 \rho_0 C_x v^2 \quad (4)$$

όπου v είναι η ταχύτητα της σφαίρας, $\rho_0 \approx 1.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, είναι η πυκνότητα του αέρα και C_x είναι ένας αδιάστατος συντελεστής, τάξης μεγέθους της μονάδας.

Η δύναμη αντίστασης του αέρα θεωρείται αμελητέα εάν η σφαίρα πέφτει από ύψος μικρότερο από το μέγιστο ύψος πτώσης $h_{\max}$, το οποίο ορίζεται ως το ύψος στο οποίο η δύναμη αντίστασης του αέρα παραμένει μικρότερη από το 10 % του βάρους καθ' όλη τη διάρκεια της πτώσης.

- | | | |
|------------|---|-------|
| A.2 | Να προσδιορίσετε τη θεωρητική έκφραση για το μέγιστο ύψος πτώσης $h_{\max}$.
Να υπολογίσετε αριθμητικά το $h_{\max}$ για τις τέσσερις διαθέσιμες σφαίρες. | 0.5pt |
|------------|---|-------|

Να διερευνήσετε πειραματικά τη σχέση μεταξύ D και E προκειμένου να συγκρίνετε τα τρία μοντέλα που παρουσιάστηκαν στην εισαγωγή. Να ελέγξετε αν ο εκθέτης αλλάζει στο εύρος τιμών των ενεργειών που εξετάστηκαν. Για να το επιτύχετε αυτό, να πραγματοποιήσετε μια σειρά μετρήσεων ρίχνοντας τις

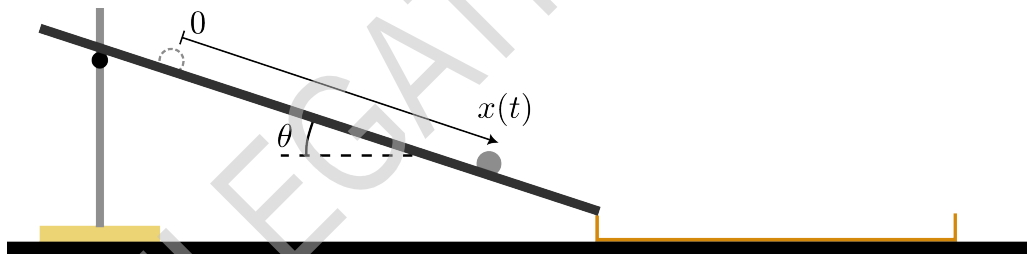
σφαίρες από διαφορετικά ύψη. Πρέπει να καλυφθεί ένα ευρύ φάσμα ενεργειών. Οι σφαίρες μπορούν να πέσουν από ύψος έως και $h = 2\text{ m}$, ώστε να επιτευχθούν υψηλές τιμές του E , τηρώντας παράλληλα τη συνθήκη που καθορίστηκε στο **A.2**. Για κάθε σύνολο παραμέτρων, να επαναλάβετε το πείραμα μόνο δύο φορές και να υπολογίσετε την μέση τιμή του D .

A.3 Να παρουσιάσετε τα αποτελέσματά σας σε πίνακα: μάζα της σφαίρας m , ύψος πτώσης h , ενέργεια πρόσκρουσης E , διάμετρος κρατήρα D . 1.7pt

A.4 Να σχεδιάσετε τα αποτελέσματα στο χαρτί της επιλογής σας (λογαριθμικό ή απλό). Στο σύστημα αξόνων να προσθέσετε γραμμές που αντιστοιχούν στα μοντέλα 1, 2 και 3. Να επιλέξετε εκείνο από τα τρία θεωρητικά μοντέλα που ταιριάζει καλύτερα με τα πειραματικά δεδομένα. 1.2pt

B. Κύλιση και ακινητοποίηση στην άμμο

Πέντε χρόνια μετά την προσεδάφιση, το όχημα Spirit βυθίζεται για πάντα στην άμμο ενός αμμόλοφου του Άρη. Η κύλιση στην άμμο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την επίδραση των κόκκων άμμου, που επιδρούν διαχέοντας μεγάλο μέρος της ενέργειας του σώματος στο περιβάλλον. Εδώ, μελετάμε την επιβράδυνση μιας σφαίρας που κυλάει στην άμμο. Η σφαίρα, που αρχικά βρίσκεται σε ηρεμία, επιταχύνεται αρχικά σε μια ράγα με κλίση υπό γωνία θ , και στη συνέχεια επιβραδύνεται σε ένα στρώμα άμμου.



Σχήμα 5. Κεκλιμένη σιδηροτροχιά (**h**) σε συνδυασμό με την ξύλινη θήκη (**j**).

Κίνηση της σφαίρας στη ράγα

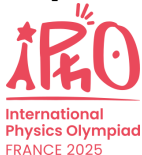
Η σφαίρα 4 απελευθερώνεται χωρίς αρχική ταχύτητα από ένα αυθαίρετο σημείο της ράγας (**h**), που επιλέγεται ως αρχή του άξονα x ($x = 0$) (**Σχ. 5**). Έστω $x(t)$ που δηλώνει τη θέση της σφαίρας κατά μήκος της ράγας. Η ροπή αδράνειας μιας σφαίρας μάζας m και διαμέτρου d ως προς άξονα που διέρχεται από το κέντρο της δίνεται από τη σχέση $J = md^2/10$. Η κινητική ενέργεια K μιας σφαίρας που κινείται με ταχύτητα v ενώ περιστρέφεται με γωνιακή ταχύτητα ω είναι

$$K = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}J\omega^2. \quad (5)$$

Υποθέτουμε ότι η σφαίρα κυλάει στη ράγα χωρίς να ολισθαίνει και αμελούμε οποιαδήποτε διάχυση ενέργειας.

B.1 Να εκφράσετε τη θέση x της σφαίρας ως συνάρτηση του χρόνου t , της γωνίας θ και της επιτάχυνσης της βαρύτητας g . 0.4pt

Experiment



GRC-S-3 E-2 Q-7

Q2-7

Greek (Greece)

Το ένα άκρο της σιδηροτροχιάς (**h**) ακουμπά στην άκρη της ξύλινης θήκης (**j**), η οποία στο σημείο αυτό είναι άδεια από άμμο. Το άλλο άκρο της ράγας στηρίζεται από τη βάση (**f**) κατά τρόπο ώστε να σχηματίζει γωνία κλίσης $\theta = 5^\circ$ με την οριζόντιο. Να φροντίσετε η ρύθμιση αυτή να εκτελεστεί με προσοχή. Η σιδηροτροχιά στερεώνεται στη θέση της (και στις δύο πλευρές) με τη χρήση της κολλητικής πάστας (**l**).

Να χρησιμοποιήσετε το χρονόμετρο (**k**) για να μετρήσετε το χρόνο t_{50} που χρειάζεται η σφαίρα για να διανύσει μια απόσταση $l = 50\text{ cm}$ κατά μήκος της ράγας.

- | | | |
|------------|--|-------|
| B.2 | Να πραγματοποιήσετε 5 μετρήσεις και να παρουσιάσετε το αποτέλεσμα μαζί με την τάξη μεγέθους του σφάλματός του. | 0.7pt |
|------------|--|-------|

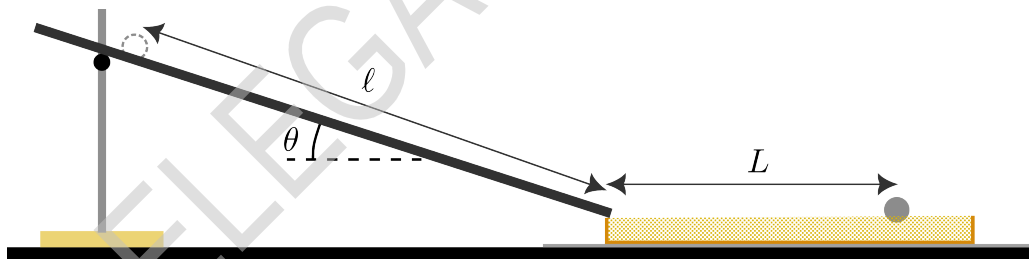
Να μετρήσετε το t μαζί με την τάξη μεγέθους του σφάλματός τους για τουλάχιστον 8 διαφορετικές τιμές του ℓ .

- | | | |
|------------|--|-------|
| B.3 | Να παρουσιάσετε τα αποτελέσματά σας σε πίνακα. | 0.8pt |
|------------|--|-------|

- | | | |
|------------|---|-----|
| B.4 | Να σχεδιάσετε τα αποτελέσματά σας μαζί με τις γραμμές σφάλματος για να επιβεβαιώσετε το νόμο που καθορίστηκε στο ερώτημα B.1 . Να βρείτε την πειραματική εκτίμηση της σταθεράς g με το σφάλμα της. | 1pt |
|------------|---|-----|

Κίνηση της σφαίρας στην άμμο

Συμβολίζουμε με ℓ την απόσταση που διανύει η σφαίρα στη ράγα. Στην άμμο, η σφαίρα σταματά αφού διανύσει μια απόσταση L , όπως αυτή ορίζεται στο **Σχ. 6**.



Σχήμα 6.

Έτσι, επιβραδύνεται από μια δύναμη αντίστασης T η οποία μπορεί να έχει δύο πιθανές μορφές:

- **Μοντέλο #1 (τριβή στερεών σωμάτων):** όπως μεταξύ δύο στερεών σωμάτων σε σχετική κίνηση, η άμμος ασκεί στη σφαίρα μια σταθερή δύναμη τριβής $T = -\mu_{\text{eff}} mg$, όπου μ_{eff} είναι ο ισοδύναμος (effective) συντελεστής τριβής σφαίρας-άμμου και m είναι η μάζα της σφαίρας.
- **Μοντέλο #2 (ιξώδες ρευστού):** η δύναμη αντίστασης εξαρτάται γραμμικά από την ταχύτητα της σφαίρας, $T = -k v$ όπου k είναι μια σταθερά και v το μέτρο της ταχύτητας.

Ο στόχος εδώ είναι να προσδιοριστεί ποια υπόθεση περιγράφει καλύτερα την παρατηρούμενη συμπεριφορά επιβράδυνσης.

Όταν κινείται στην άμμο, η σφαίρα μοντελοποιείται ως σημειακή μάζα. Δεδομένης της μικρής κλίσης της ράγας, θεωρούμε αμελητέες τυχόν ενεργειακές απώλειες κατά την μετάβαση από την ράγα στην θήκη της άμμου. Να καθορίσετε τον θεωρητικό νόμο που συνδέει το L με το ℓ σε καθεμία από τις δύο



περιπτώσεις (τριβή στερεού ή ιξώδες ρευστού). Οι δύο υποθέσεις οδηγούν σε ένα νόμο δύναμης της μορφής $L \sim \ell^\alpha$ στον οποίο ο εκθέτης α παίρνει δύο διαφορετικές τιμές.

- | | | |
|------------|---|-------|
| B.5 | Για κάθε μοντέλο από τα 1 και 2, να βρείτε τη σχέση μεταξύ των L και ℓ και την τιμή του α . | 0.6pt |
|------------|---|-------|

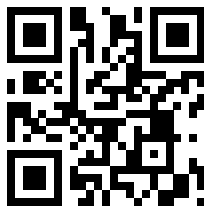
Να τοποθετήσετε την ξύλινη θήκη (j) πάνω σε ένα φύλλο χαρτί. Να την γεμίσετε με άμμο και να προετοιμάσετε ένα ομοιόμορφο στρώμα εξομαλύνοντας προσεκτικά την επιφάνεια με την ακμή του χάρακα. Να αποφύγετε τη συμπίεση της άμμου! Να ρυθμίσετε και πάλι προσεκτικά τη γωνία της ράγας στις $\theta = 5^\circ$. Να απελευθερώσετε τη σφαίρα 4 ($d_4 = 16.0 \text{ mm}$), έτσι ώστε η απόσταση που διανύεται στη ράγα να είναι $l = 50 \text{ cm}$.

Πριν από κάθε προσπάθεια, να ανακατέψετε την άμμο, συμπληρώνοντας την ποσότητά της (αν χρειάζεται) και να την εξομαλύνετε ξανά. Να καθαρίσετε τη θήκη από την άμμο χρησιμοποιώντας τη βούρτσα (i). Στο τέλος του πειράματος, να χρησιμοποιήσετε το φύλλο χαρτιού ως χωνί για να βάλετε την άμμο που περισσεύει πίσω στο μπουκάλι.

- | | | |
|------------|--|-------|
| B.6 | Να μετρήσετε το L_{50} που διανύει το σώμα στην άμμο μέχρι να σταματήσει. Να πραγματοποιήσετε αρκετές μετρήσεις (τουλάχιστον 5) για να προσδιορίσετε το L_{50} μαζί με τη μονάδα μέτρησης και το σφάλμα του. | 0.8pt |
|------------|--|-------|

- | | | |
|------------|--|-------|
| B.7 | Μετά από αρκετές μετρήσεις για τουλάχιστον 8 τιμές του ℓ (διατηρώντας το $\theta = 5^\circ$), να σχεδιάσετε το L , μαζί με τις γραμμές σφάλματος, σε συνάρτηση με το ℓ και να συμπεράνετε ποιο μοντέλο περιγράφει καλύτερα τη δύναμη αντίστασης T . | 1.5pt |
|------------|--|-------|

- | | | |
|------------|--|-------|
| B.8 | Με βάση το επιλεγμένο μοντέλο, να καθορίσετε την τιμή του συντελεστή μ_{eff} ή k που χαρακτηρίζει τη δύναμη T . | 0.2pt |
|------------|--|-------|



Κρατήρες άμμου και αμμόλοφοι (10 μονάδες)

A. Κρατήρες πρόσκρουσης

A.1 (0.6pt)

D (mm)					
----------	--	--	--	--	--

$D = \quad \pm \quad \text{mm}$

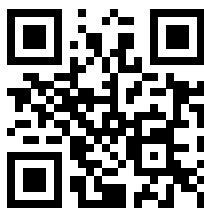
A.2 (0.5pt)

$$h_{\max} =$$

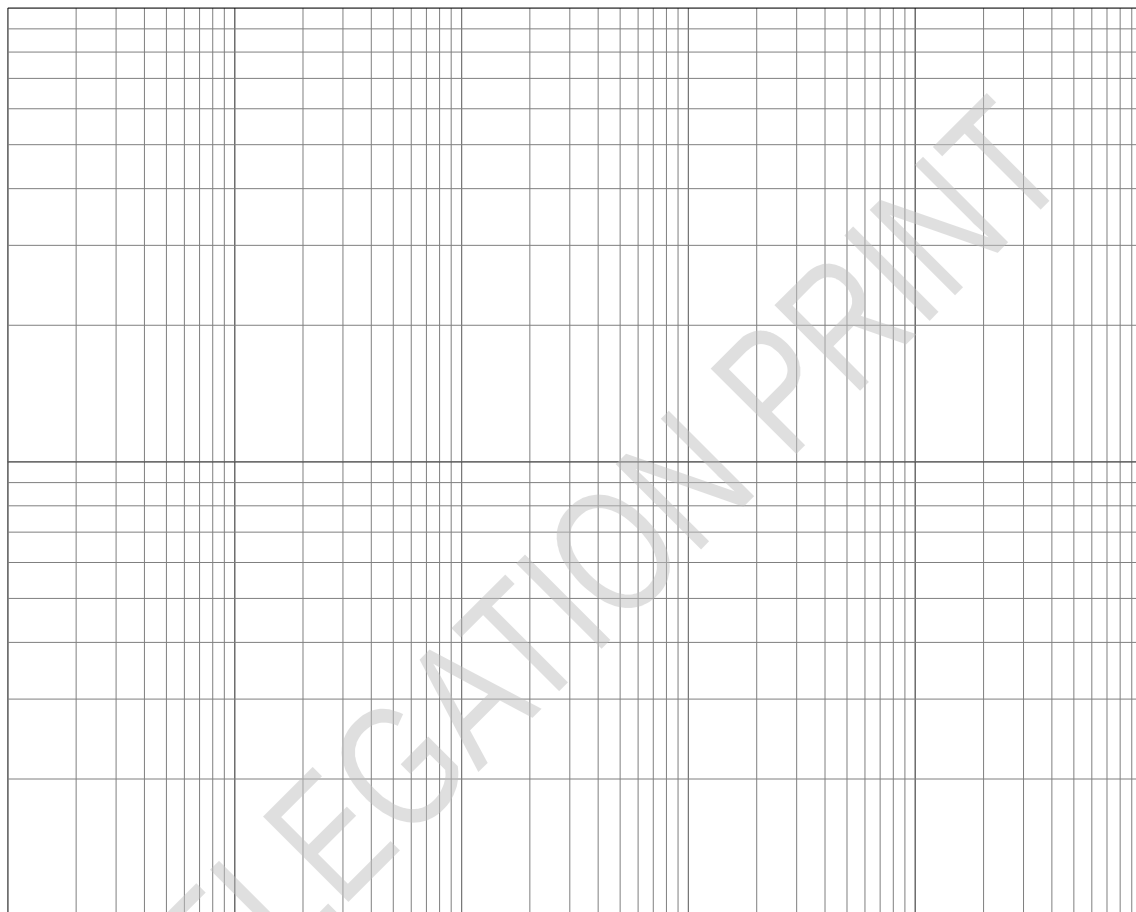
d (mm)				
$h_{\max}$ (m)				

A.3 (1.7pt)

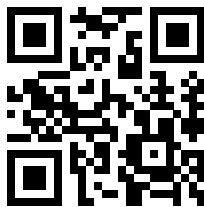
[illegible]



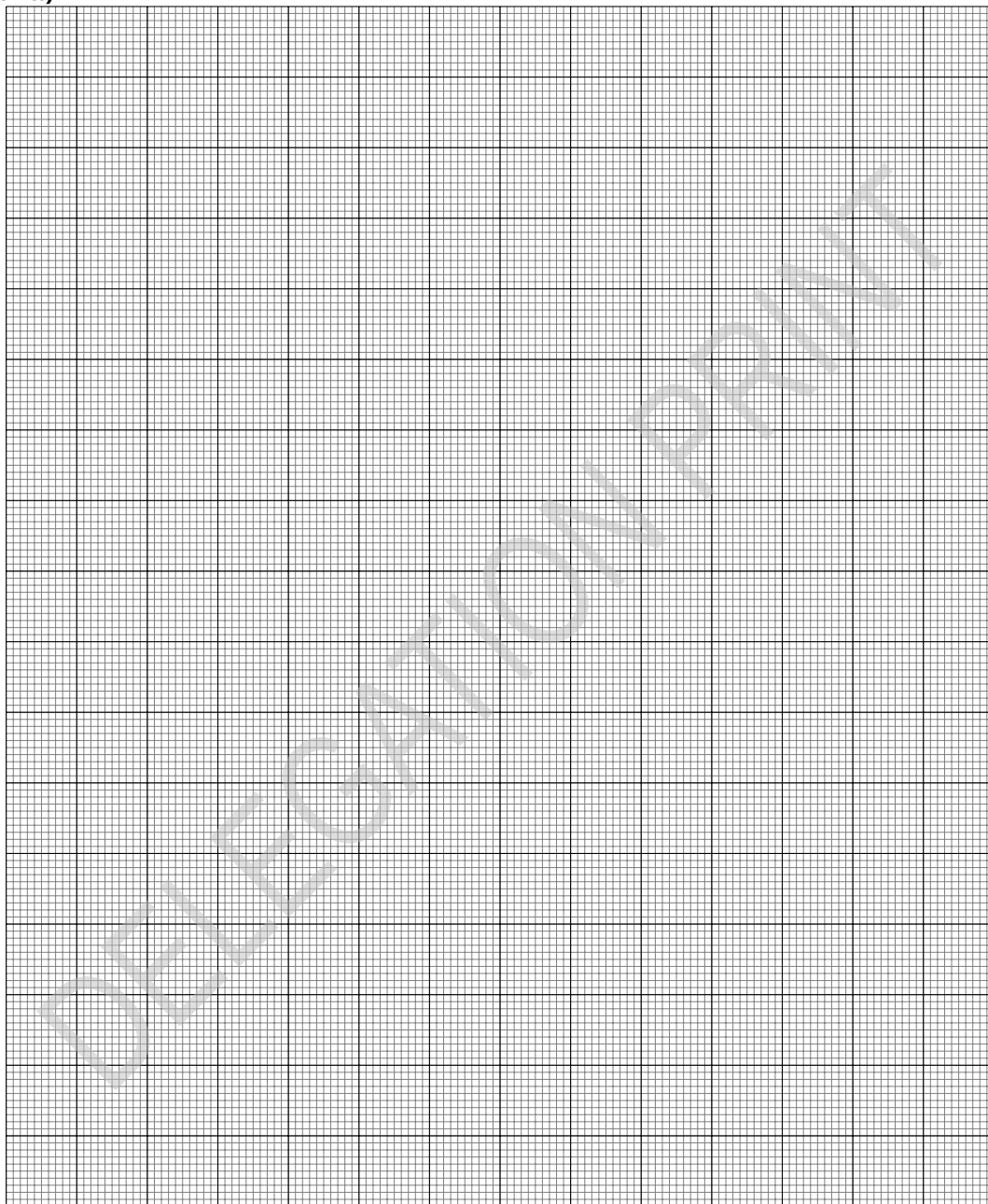
A.4 (1.2pt)



Συμπέρασμα:

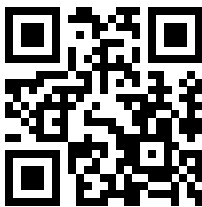


A.4 (cont.)

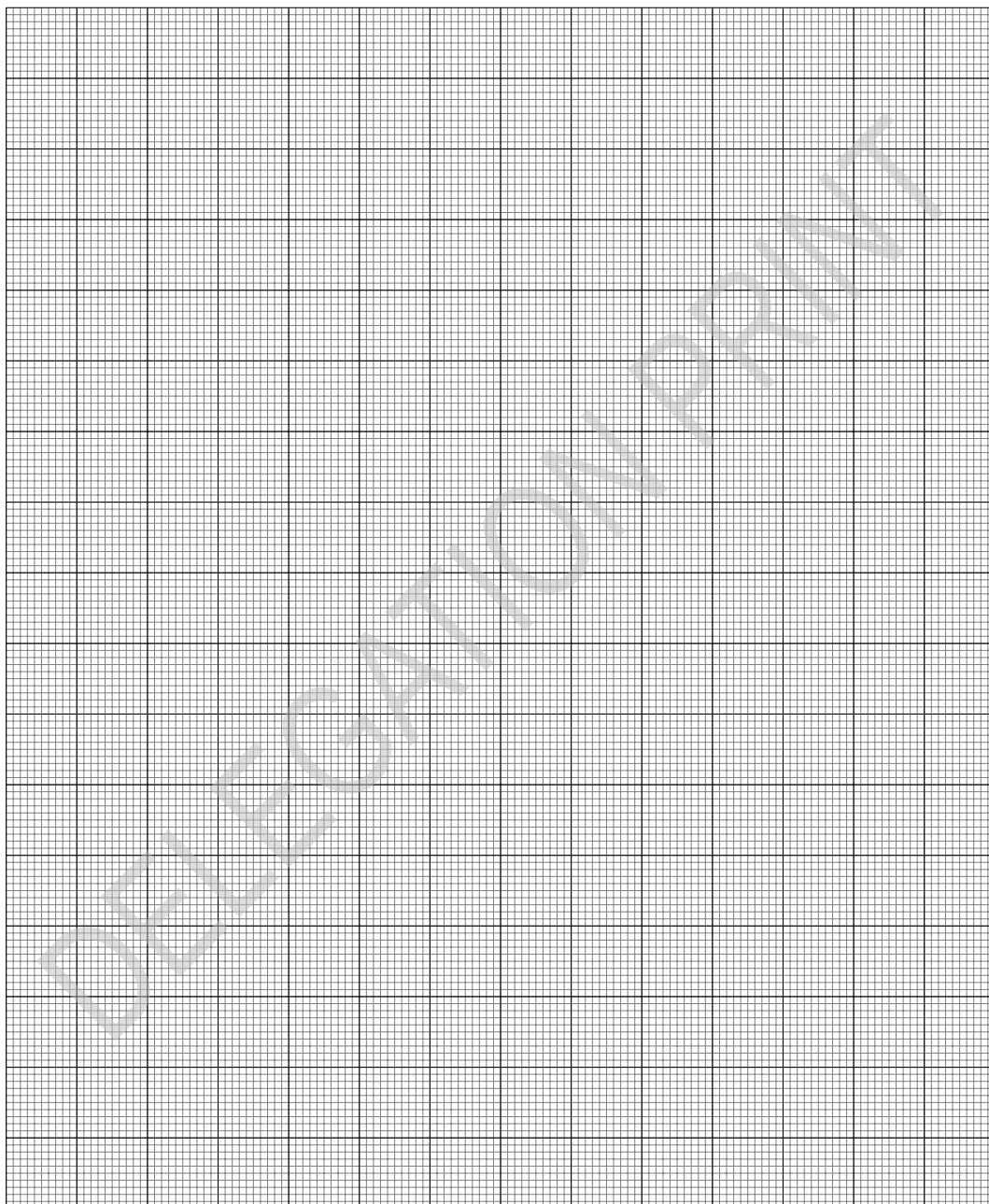


Συμπέρασμα:

[illegible]



B.4 (1pt)



$g =$

**B.5 (0.6pt)****Μοντέλο 1:**

- $L =$

- $\alpha =$

Μοντέλο 2:

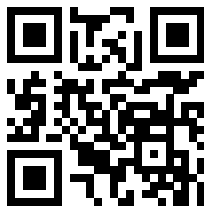
- $L =$

- $\alpha =$

B.6 (0.8pt)

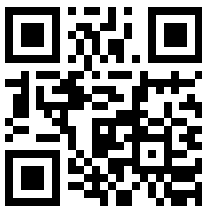
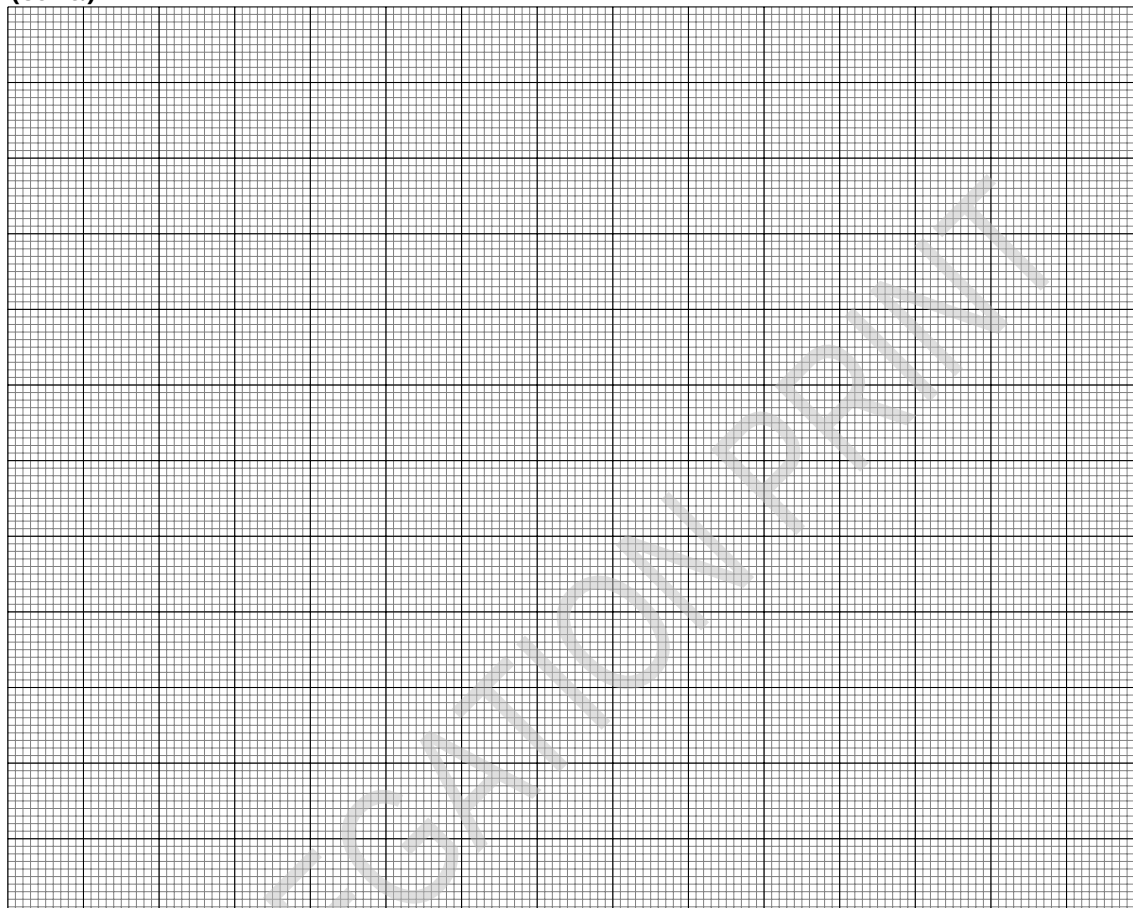
L_{50} (cm)					
---------------	--	--	--	--	--

$$L_{50} = \quad \pm \quad \text{cm}$$



B.7 (1.5pt)

[illegible]

**B.7 (cont.)**

Το καταλληλότερο μοντέλο είναι:

B.8 (0.2pt)

Εάν το επιλεγμένο μοντέλο είναι το 1: $\mu_{\text{eff}} =$

Εάν το επιλεγμένο μοντέλο είναι το 2: $k =$

Experiment



International
Physics Olympiad
FRANCE 2025



GRC-S-3 E-2 W-1

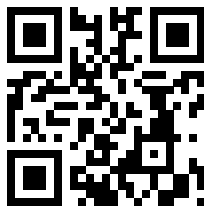
W2-1

DELEGATION PRINT

Experiment



International
Physics Olympiad
FRANCE 2025



GRC-S-3 E-2 W-2

W2-2

DELEGATION PRINT

Experiment



International
Physics Olympiad
FRANCE 2025



GRC-S-3 E-2 W-3

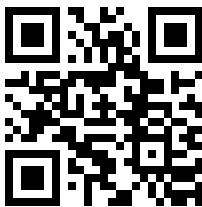
W2-3

DELEGATION PRINT

Experiment



International
Physics Olympiad
FRANCE 2025



GRC-S-3 E-2 W-4

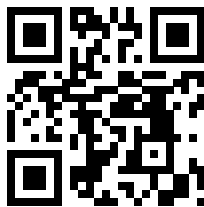
W2-4

DELEGATION PRINT

Experiment



International
Physics Olympiad
FRANCE 2025



GRC-S-3 E-2 W-5

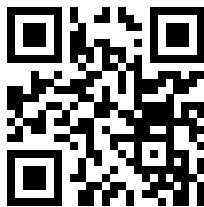
W2-5

DELEGATION PRINT

Experiment



International
Physics Olympiad
FRANCE 2025



GRC-S-3 E-2 W-6

W2-6

DELEGATION PRINT

do not write on the back of this page

Experiment



International
Physics Olympiad
FRANCE 2025



GRC-S-3 E-2 W-7

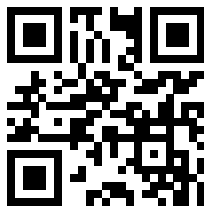
W2-7

DELEGATION PRINT

Experiment



International
Physics Olympiad
FRANCE 2025



GRC-S-3 E-2 W-8

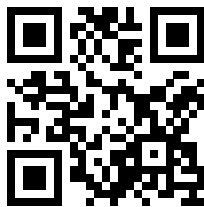
W2-8

DELEGATION PRINT

Experiment



International
Physics Olympiad
FRANCE 2025



GRC-S-3 E-2 W-9

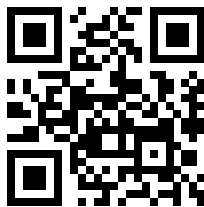
W2-9

DELEGATION PRINT

Experiment



International
Physics Olympiad
FRANCE 2025



GRC-S-3 E-2 W-10

W2-10

DELEGATION PRINT