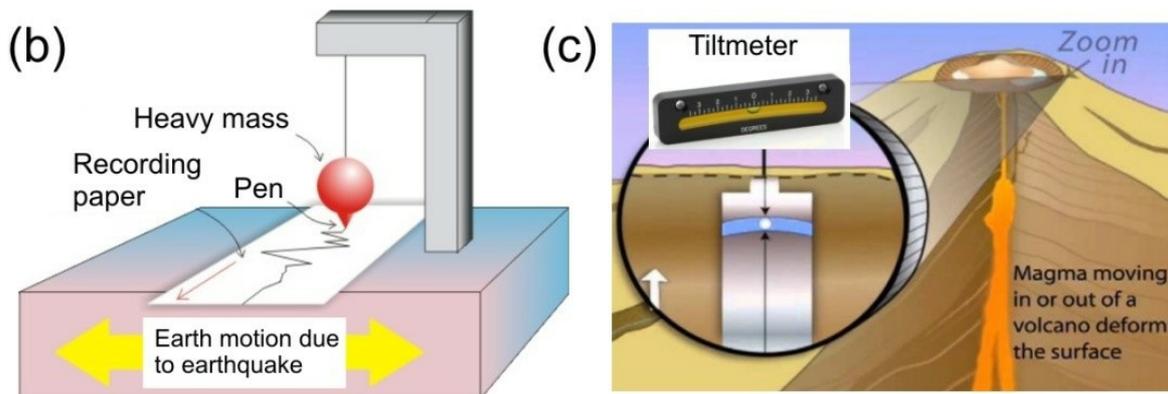


## Μαγνητική παγίδα παράλληλων γραμμών διπόλων για την ανίχνευση σεισμικής και ηφαιστειακής δραστηριότητας

### A. Εισαγωγή

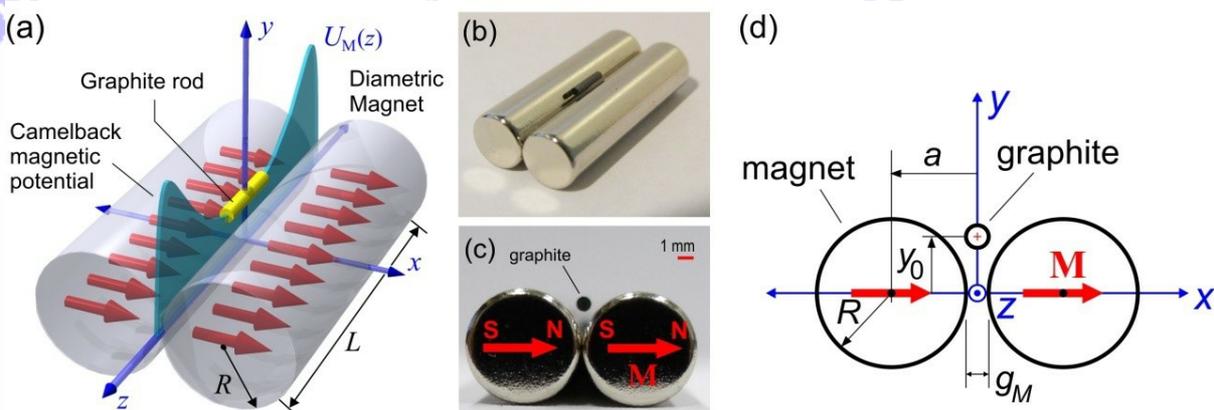


**Εικόνα 1** (a) Χάρτης της Ινδονησίας που απεικονίζει τις πασίγνωστες φυσικές καταστροφές της. (b) Αρχή λειτουργίας σειсмоγράφου. (c) Κλισιόμετρο (αλφάδι) για την παρακολούθηση ηφαιστειακής δραστηριότητας.

Η Ινδονησία είναι το μεγαλύτερο αρχιπέλαγος της Γης, με περίπου 17.000 νησιά, που εκτείνονται στους τροπικούς, ώστε συχνά να αποκαλείται "το κόσμημα του Ισημερινού". Δυστυχώς αντιμετωπίζει πλήθος φυσικών απειλών, όπως σεισμοί και εκρήξεις ηφαιστειών. Συμβάντα κολοσσιαίας κλίμακας καταστροφών (Εικ. 1a) όπως ο σεισμός Sumatra-Andaman και τσουνάμι (2004), ή οι ηφαιστειακές εκρήξεις Krakatau (1883) και Tambora (1815) που συγκαταλέγονται στις πλέον θανατηφόρες καταστροφές της καταγεγραμμένης παγκόσμιας ιστορίας. Για την ανίχνευση σεισμών χρησιμοποιούμε *σεισμογράφο*, μια συσκευή δηλαδή που συνήθως βασίζεται σε ένα σύστημα εκκρεμούς για τη μέτρηση της μετατόπισης ή της επιτάχυνσης του εδάφους (Εικ. 1b). Για την παρακολούθηση ηφαιστειακής δραστηριότητας, χρησιμοποιούμε ένα *κλισιόμετρο* (αλφάδι) για την ανίχνευση αλλαγών στην *κλίση του εδάφους*, λόγω απρόσμενων υπόγειων μετακινήσεων μάγματος. (Εικ. 1c). Σε αυτό το πρόβλημα θα

διερευνήσουμε τις φυσικές αρχές και τις εφαρμογές ενός νέου τύπου μαγνητικής παγίδας και ανιχνευτή, ο οποίος αποκαλείται σύστημα παγίδευσης Παράλληλων Γραμμών Διπόλων (*Parallel Dipole Line trap* ή παγίδα PDL) για την ανίχνευση σεισμών και την παρακολούθηση ηφαιστειακής δραστηριότητας.

Το σύστημα παράλληλων γραμμών διπόλων είναι μια διάταξη από δύο γραμμικές κατανομές μαγνητικών διπόλων (που αποκαλείται επίσης *γραμμή διπόλων*) όπως φαίνεται στην Εικ. 2. Πρόσφατα δύο Ινδονήσιοι Φυσικοί ανακάλυψαν ένα ενδιαφέρον φαινόμενο σε αυτό το σύστημα: αν το μήκος της γραμμής διπόλων είναι μεγαλύτερο από μια κρίσιμη τιμή μήκους, το μαγνητικό πεδίο αποκτά μεγαλύτερη ένταση στα όρια, γεγονός που οδηγεί στην εμφάνιση ενός δυναμικού που οπτικά θυμίζει την πλάτη μιας καμήλας (καμπούρες) όπως φαίνεται στην Εικ. 2α.\*. Αυτό το "εμφέ ράχης καμήλας" είναι σημαντικό, καθώς επιτρέπει τη χρήση του συστήματος ως μια νέου τύπου μαγνητική παγίδα, αποκαλούμενη στη συνέχεια *Παγίδα Παράλληλων Γραμμών Διπόλων* (*Parallel Dipole Line trap* ή *παγίδα PDL*). Πειραματικά μπορούμε να υλοποιήσουμε την παγίδα PDL χρησιμοποιώντας ένα ζεύγος μαγνητών *κατά διάμετρο* (ή, ταχύτερα, διαμετρικών μαγνητών), δηλ. κυλινδρικούς μαγνήτες των οποίων το πεδίο έχει τη διεύθυνση της διαμέτρου κάθε κυλίνδρου, όπως φαίνεται στην Εικ. 2c, όπου ο βόρειος και ο νότιος πόλος βρίσκονται στις καμπύλες και όχι στις επίπεδες επιφάνειες,

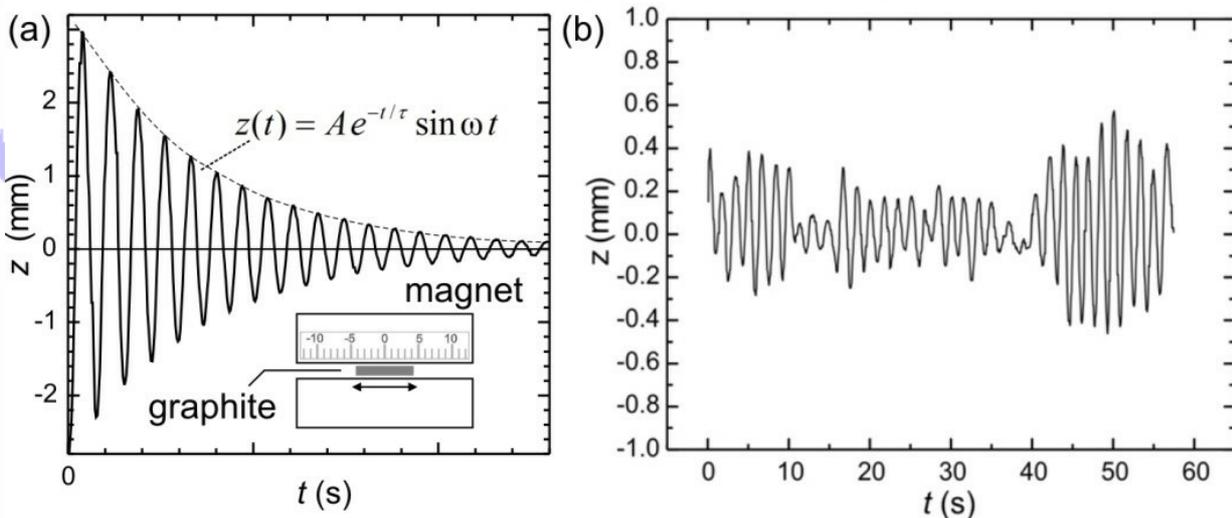


**Εικόνα 2.** (a) Μοντελο παγίδας παράλληλων γραμμών διπόλων με το δυναμικό "ράχης καμήλας" να εκτείνεται κατά τη διεύθυνση του άξονα z. (b) Πειραματική διαταξη όπου χρησιμοποιούνται διαμετρικοί μαγνήτες. (c) Προβολή διατομής. (d) Σχηματική αναπαράσταση της παγίδας PDL. [\* Gunawan and Virgus, J. Appl. Phys. 121, 133902 (2017)].

Αν ρίξουμε μια ράβδο γραφίτη (π.χ. μύτη μολυβιού) μέσα στην παγίδα αυτή είτε θα αιωρηθεί, είτε θα παγιδευτεί σε μια σταθερή κατάσταση. Αυτό συμβαίνει επειδή κατά μήκος του x-άξονα ο γραφίτης απωθείται από τις δύο πλευρές των μαγνητών ενώ στη διεύθυνση του κάθετου (y) άξονα, η μαγνητική άπωση εξουδετερώνει τη βαρυτική έλξη, οδηγώντας σε ισορροπία σε ύψος  $y_0$  (Εικ. 2d). Στη διεύθυνση του (z) άξονα το δυναμικό "ράχης καμήλας" διατηρεί το γραφίτη σταθερό.

Το δυναμικό "ράχης καμήλας" της μαγνητικής παγίδας λειτουργεί ως *μονοδιάστατος ταλαντωτής*. Με μια μικρή διαταραχή κατά μήκος του άξονα z της ράβδου γραφίτη, παρατηρείται ταλάντωση με απόσβεση όπως φαίνεται στην Εικ. 3a. Η παγίδα PDL μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένας πολύ ευαίσθητος σειсмоγράφος. Κατά την εκδήλωση σεισμικής δραστηριότητας, η ράβδος γραφίτη τείνει να παραμείνει ακίνητη και η σχετική μετατόπισή της (Εικ. 3b) συνιστά το "σεισμικό σήμα". Ομοίως, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ευαίσθητο κλισιόμετρο: δίνοντας ελαφρά κλίση στην παγίδα, η ράβδος εκτελεί

κίνηση με μετρήσιμη μετατόπιση, απαλλαγμένη από τριβές.



**Figure 3.** (a) Ταλάντωση με μικρή απόσβεση της ράβδου γραφίτη κατά μήκος του δυναμικού "ράχης καμήλας". (b) Εφαρμογή σε σειсмоγράφο: Ανίχνευση δονήσεων στο έδαφος μέσω της παγίδας PDL.

Στη συνέχεια θα διερευνήσουμε τις φυσικές αρχές και τις εφαρμογές της παγίδας PDL trap σε δύο μέρη.

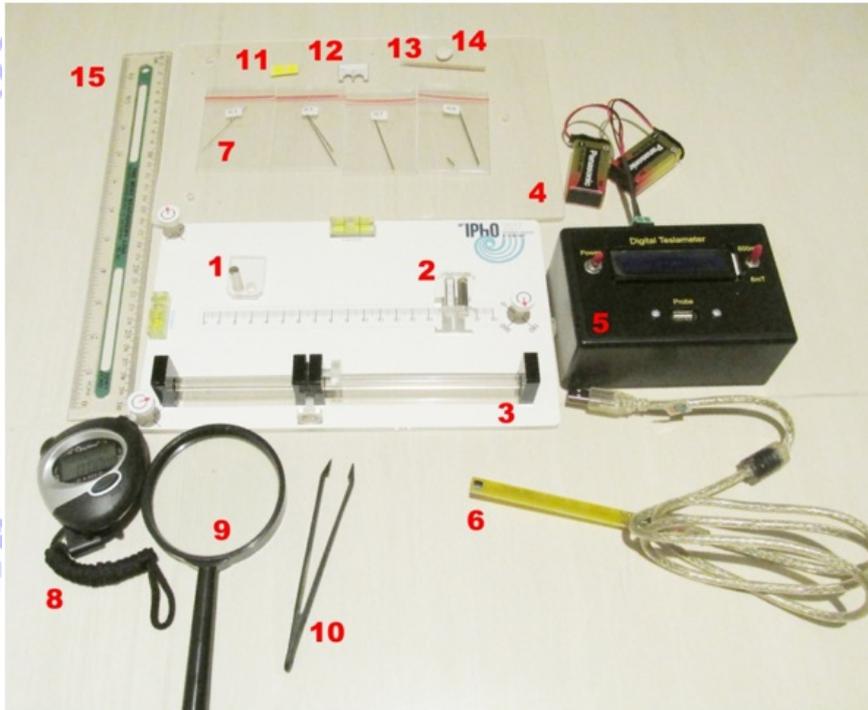
## Μέρος A: Βασικά χαρακτηριστικά

- (1) Προσδιορισμός της μαγνήτισης  $M$  του μαγνήτη (2.5 pt.)
- (2) Μαγνητική αιώρηση και μαγνητική επιδεκτικότητα  $\chi$  (1.0 pt.)
- (3) Δυναμικό "ράχης καμήλας" και μαγνητική επιδεκτικότητα  $\chi$  (1.0 pt.)
- (4) Συντελεστής ποιότητας ταλάντωσης  $Q$  και προσδιορισμός αντίστασης του αέρα  $\mu_A$  (3.0 pt.)

## Μέρος B: Εφαρμογές

- (5) Σειсмоγράφος παγίδας PDL (0.5 pt.)
- (6) Κλισιόμετρο παγίδας PDL (2.0 pt.)

## B. Πειραματικός εξοπλισμός



1  
Single diametric magnet



2  
The PDL magnetic trap

Εικόνα 4. The experimental setup.

1. Διάταξη για τον ένα μαγνήτη. Το κίτρινο αυτοκόλλητο χρησιμοποιείται για την καταγραφή της τιμής της μαγνήτισης.
2. Η διάταξη παγίδας PDL, με το γραφίτη σε ισορροπία. Παρακαλούμε μην μετακινήσετε τους μαγνήτες από τη διάταξη.
3. Άνω βάση στήριξης με τρεις βίδες.
4. Κάτω βάση στήριξης.
5. Μετρητής Tesla για την μέτρηση του μαγνητικού πεδίου. Διατίθενται μπαταρίες για την τροφοδοσία του μετρητή Tesla και ένα καλώδιο για τη σύνδεση του αισθητήρα Hall στο μετρητή Tesla.
6. Άκρο αισθητήρα Hall του μετρητή Tesla.
7. Ράβδοι γραφίτη (μύτες μολυβιού) τεσσάρων διαφορετικών τιμών διαμέτρου HB/0.3, HB/0.5, HB/0.7, και HB/0.9. Συμβουλευτείτε τους πίνακες σταθερών και δεδομένων κατασκευαστή για τις ακριβείς τιμές διαμέτρου. Ίσως χρειαστεί να κόψετε αυτές τις ράβδους σε συγκεκριμένα μήκη, με βάση τα ζητούμενα.
8. Χρονόμετρο.

9. Μεγεθυντικός φακός.
10. Αντιστατική λαβίδα.
11. Κίτρινα αυτοκόλλητα κυκλικού σχήματος – για την καταγραφή της διεύθυνσης μαγνήτισης (διεύθυνση βορρά-νότου) της διάταξης του ενός μαγνήτη.
12. Χάρακας ειδικού σχήματος (στο εξής "Ειδικός χάρακας") για τη μέτρηση του ύψους της θέσης ισορροπίας του γραφίτη.
13. Οδοντογλυφίδα για τη μετακίνηση της ράβδου γραφίτη.
14. Πλαστελίνη για τη στερέωση της διάταξης μαγνητών στην βάση στήριξης.
15. Χάρακας.

## ΟΔΗΓΙΕΣ & ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗ:

1. **Διατηρήστε τις διατάξεις του ενός μαγνήτη και της παγίδας PDL (διπλού μαγνήτη) σε αρκετή απόσταση μεταξύ τους. Διαφορετικά ενδέχεται να χτυπήσουν η μία πάνω στην άλλη και να ραγίσουν!**
2. **Σβήνετε το μετρητή Tesla όταν δεν τον χρησιμοποιείτε για να εξοικονομήσετε ενέργεια στις μπαταρίες!**
3. Παρακαλείστε να αποσυνδέσετε τα εξαρτήματα 7, 11-14 με προσοχή από την κάτω βάση στήριξης (εξάρτημα 4) και μετά τοποθετήστε την άνω βάση στήριξης (εξάρτημα 3) στην κάτω βάση στήριξης.
4. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τις τρεις βίδες για να ρυθμίσετε τη θέση της άνω βάσης στήριξης.

### CONSTANTS AND DATA:

Ακτίνα διαμετρικού μαγνήτη	:	$R = 3.2 \text{ mm}$
Μήκος διαμετρικού μαγνήτη	:	$L = 25.4 \text{ mm}$
Εύρος ανοίγματος παγίδας PDL	:	$g_M = 1.5 \text{ mm}$
Πυκνότητα γραφίτη	:	$\rho = 1680 \text{ kg/m}^3$
Διάμετρος ράβδου γραφίτη "HB/0.3"	:	$d = 0.38 \text{ mm}$
Διάμετρος ράβδου γραφίτη "HB/0.5"	:	$d = 0.56 \text{ mm}$
Διάμετρος ράβδου γραφίτη "HB/0.7"	:	$d = 0.70 \text{ mm}$
Διάμετρος ράβδου γραφίτη "HB/0.9"	:	$d = 0.90 \text{ mm}$
Θερμοκρασία δωματίου	:	$T = 298 \text{ K}$
Μαγνητική διαπερατότητα του κενού	:	$\mu_0 = 1.257 \times 10^{-6} \text{ H/m}$

# Experiment

Greece

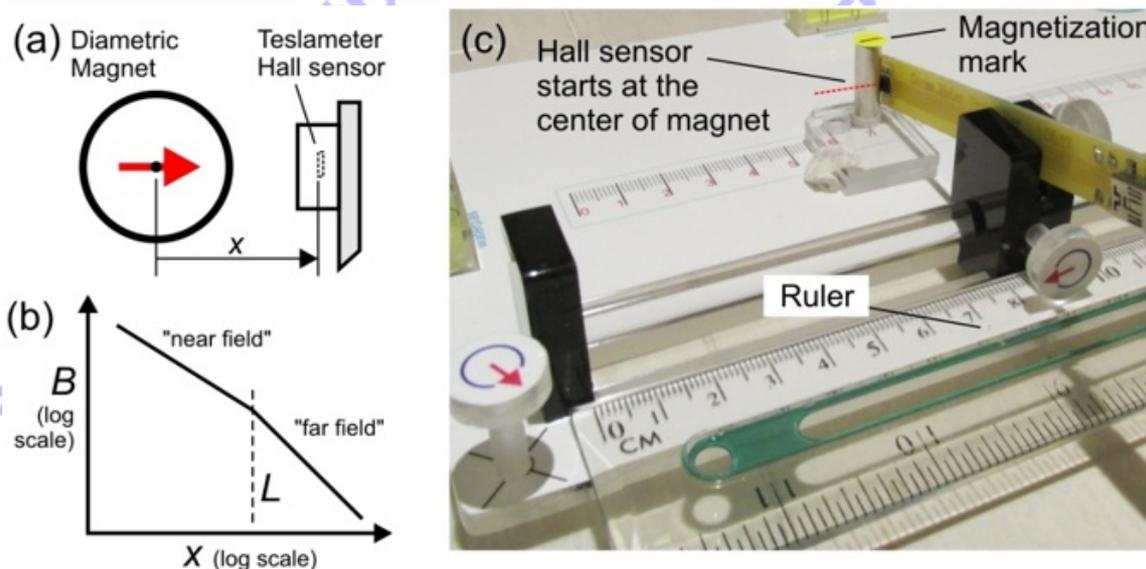
E2

Σταθερά Boltzman	:	$k_B = 1.38064852 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
Επιταχυνση της βαρύτητας	:	$g = 9.8 \text{ m/s}^2$

## C. Πείραμα & Ερωτήσεις

### ΜΕΡΟΣ Α. ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΑΓΙΔΑΣ ΔΙΠΛΟΥ ΜΑΓΝΗΤΗ

#### [1] Προσδιορισμός της μαγνήτισης ( $M$ ) του μαγνήτη (2.5 pt.)



**Figure 5.** (a) Μέτρηση του μαγνητικού πεδίου. (b) Εικόνα κατανομής της έντασης του μαγνητικού πεδίου (c) Εργαστηριακή διάταξη.

Η αποτελεσματικότητα της μαγνητικής παγίδας εξαρτάται από τη συνολική μαγνητική ροπή  $m$  του μαγνήτη, καθώς και από τη μαγνήτιση  $M$  που είναι ο αριθμός των εμφανιζόμενων μαγνητικών διπολών ανά μονάδα όγκου και αποτελεί χαρακτηριστικό του μαγνητικού υλικού. Για τον κυλινδρικό μας μαγνήτη:

$$M = \frac{m}{\pi R^2 L} \quad (1)$$

όπου  $R$  είναι η ακτίνα και  $L$  το μήκος του μαγνήτη (βλέπε Σταθερές και Δεδομένα). Η τιμή  $M$  θεωρείται η ίδια για όλους τους μαγνήτες σε αυτό το πείραμα. Θα μελετήσουμε την εικόνα του μαγνητικού πεδίου και θα προσδιορίσουμε τη μαγνήτιση  $M$  του διαμετρικού μαγνήτη που χρησιμοποιείται στην PDL παγίδα μας.

Χρησιμοποιείτε την εργαστηριακή διάταξη με τον ένα διαμετρικό μαγνήτη όπως φαίνεται στην Εικ.5c. Ευθυγραμμίστε την κατεύθυνση μαγνήτισης (όπως φαίνεται στην Εικ.6a) προς τον αισθητήρα Hall (μαγνητικού πεδίου). Μετρείστε την ένταση του μαγνητικού πεδίου κατά μήκος του  $x$ -άξονα με χρήση του μετρητή Tesla. Η εικόνα της κατανομής του μαγνητικού πεδίου  $B$  στο κοντινό πεδίο ή αλλιώς στο όριο της "γραμμής Διπόλων" για περίπου  $x \leq 16$  mm, είναι:

$$B_I(x) = \frac{\mu_0 m}{2\pi x^2 L} \quad (2)$$

Ο άξονας- $x$  ορίζει τον άξονα μαγνήτισης του διαμετρικού μαγνήτη όπως φαίνεται στην Εικ. 6a και το

# Experiment

Greece

E2

διάστημα  $x$  αναφέρεται στην απόσταση από το κέντρο του διαμετρικού μαγνήτη έως το άκρο του αισθητήρα hall στο εσωτερικό του τσιπ. Παρακαλούμε για το θέμα της απόκλισης (offset) δείτε τη σχετική Εικ. 6b.

Θα εκτελέσουμε μετρήσεις αποκλειστικά στην περιοχή "Κοντινού Πεδίου":

A.1	Καταγράψτε την απόκλιση μηδενός - zero offset ( $B_0$ ) του μετρητή έντασης μαγνητικού πεδίου (μετρητής Tesla) με όλους τους μαγνήτες μακριά. Σε όλες τις επόμενες μετρήσεις μαγνητικού πεδίου θα αφαιρείτε την τιμή αυτή για να βρισκете την καθαρή τιμή του	0.1 pt.
A.2	Μετρείστε την τιμή του μαγνητικού πεδίου $B$ ως προς την απόσταση $x$ στην περιοχή του κοντινού πεδίου ( $7 \leq x \leq 16$ mm)! όπου $x$ είναι η απόσταση του σημείου μέτρησης από το κέντρο του μαγνήτη. Καταγράψτε και σχεδιάστε τα αποτελέσματα των μετρήσεων στη φύλλο απαντήσεων. Ακολουθείτε Follow τις υποδείξεις και οδηγίες στο τμήμα "HINT & DIRECTIONS" παρακάτω.	1.15 pt.
A.3	Χρησιμοποιείστε τις εργαστηριακές σας μετρήσεις για να βρείτε την τιμή του $p$ .	0.75 pt.
A.4	Προσδιορίστε τη μαγνήτιση $M$ του μαγνήτη.	0.5 pt.

## HINTS & DIRECTIONS:

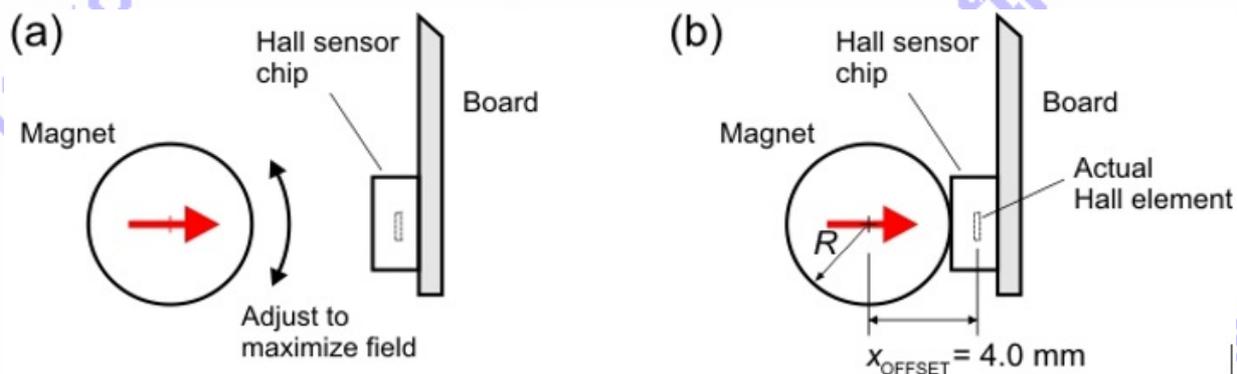


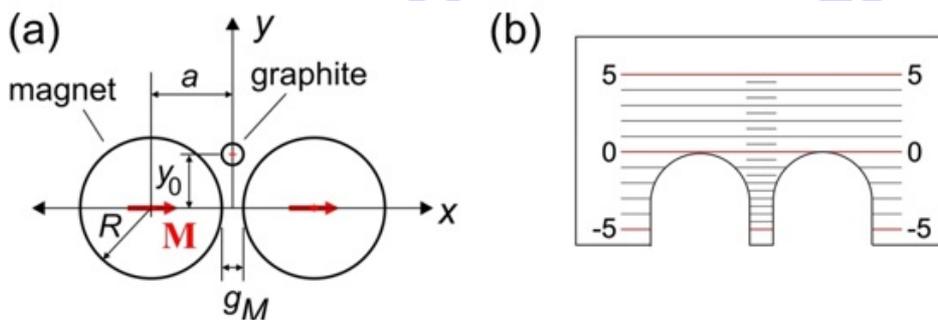
Figure 6. Μέτρηση μαγνητικού πεδίου (a) Ρύθμιση (b) Offset issue

1. **Σβύνετε τον μετρητή Tesla όταν δεν τον χρησιμοποιείτε για οικονομία της μπαταρίας!**
2. Για κάθε μέτρηση σε ένα σημείο με τον μετρητή Tesla περιμένετε περίπου ~2 sec για την σταθεροποίηση της ενδειξης.
3. Προσέξτε ότι το  $x$  μετρείται από το κέντρο του μαγνήτη. Η ακτίνα του μαγνήτη είναι  $R = 3.2$  mm.
4. Χρησιμοποιείστε την προτεινόμενη στην Εικ. 5c διαταξη και διαδικασία μέτρησης.
5. Δείτε στην εικ. 6a, τη ρύθμιση της περιστροφής του μαγνήτη έτσι ώστε η μαγνήτισή του να

σκοπεύει προς τον αισθητήρα Hall και, συνεπώς, να μεγιστοποιείται η ένταση του πεδίου. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε το κίτρινο αυτοκόλλητο για να σημειώσετε την κατεύθυνση μαγνήτισης του μαγνήτη.

- Όταν ο αισθητήρας Hall έρχεται σε επαφή με τον μαγνήτη, η πραγματική απόσταση μεταξύ του κέντρου του μαγνήτη και του πραγματικού άκρου του στοιχείου του αισθητήρα Hall είναι η τιμή offset :  $x_{OFFSET} = 4 \text{ mm}$
- Ξεκινείτε τις μετρήσεις σας με τον αισθητήρα Hall για  $x = 5 \text{ mm}$ . Μη χρησιμοποιήσετε μετρήσεις με τον αισθητήρα να ακουμπά τον μαγνήτη ( $x = 4 \text{ mm}$ ) διότι υπάρχει κορεσμός του αισθητήρα ούτε όταν λυγίζει το άκρο του αισθητήρα κατά την επαφή.

## [2] Το φαινόμενο της Μαγνητικής Ισορροπίας και της Μαγνητικής Επιδεκτικότητας ( $\chi$ ) (1 pt.)



**Figure 7.** (a) Το φαινόμενο της Μαγνητικής ισορροπίας στην PDL παγίδα. (b) Ειδικός χάρακας για τη μετρηση του ύψους της θέσης ισορροπίας  $y_0$ .

Η παγίδα PDL αναδεικνύει επίσης το φαινόμενο της μαγνητικής ισορροπίας. Ο γραφίτης ισορροπεί στο κέντρο της παγίδας και σε ύψος  $y_0$  όπως φαίνεται στην Εικ. 7(a). Ο γραφίτης απωθείται από τον μαγνήτη με μια δύναμη  $F_M(y_0)$  που εξαρτάται από τη Μαγνητική Επιδεκτικότητα  $\chi$  και τη θέση της ράβδου  $y_0$ . Η Μαγνητική Επιδεκτικότητα περιγράφει το πόσο πολύ ένα υλικό μαγνητίζεται κατά την εφαρμογή ενός πεδίου και εμφανίζεται στη σχέση:  $\mu = (1 + \chi)\mu_0$  όπου  $\mu$  είναι η μαγνητική διαπερατότητα του υλικού. Αυτή η μαγνητική δύναμη άπωσης στην ραβδο γραφίτη στην PDL παγίδα δίνεται από τη σχέση:

$$F_M(y_0) = -\frac{\mu_0 M^2 \chi V_r}{2} \frac{R^4}{a^5} f\left(\frac{y_0}{a}\right) \quad (3)$$

Σημειώστε πως όταν η  $F_M(y_0)$  είναι θετική, η δύναμη κατευθύνεται προς τα πάνω και ο τύπος έχει αρνητικό πρόσημο. Εδώ με  $V_r$  συμβολίζουμε τον όγκο της ράβδου γραφίτη, με  $M$  τη μαγνήτιση του μαγνήτη (όπως προσδιορίστηκε στην Ερώτηση 1), με  $a$  τη θέση του κέντρου του μαγνήτη που δίνεται από τη σχέση:  $a = R + g_M/2$  (βλ. Εικ. 7a) όπου  $g_M$  είναι η απόσταση μεταξύ των μαγνητών:  $g_M = 1.5 \text{ mm}$ .  $f(u)$  είναι η αδιάστατη συνάρτηση της μαγνητικής άπωσης που, για αυτή την παγίδα, δίνεται από τη σχέση:

$$f(u) = \frac{4u(3-u^2)(1-u^2)}{(1+u^2)^5} \quad (4)$$

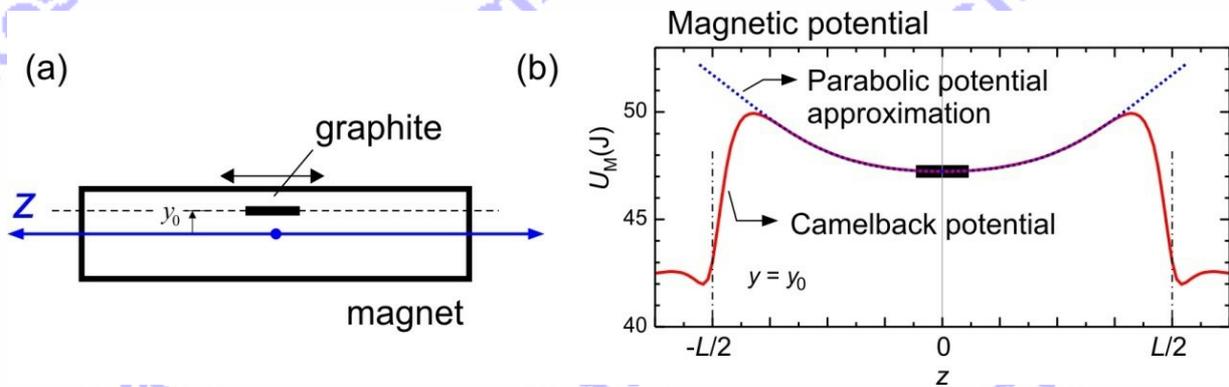
## Experiment

Greece

E2

<b>A.5</b>	Με αργές κινήσεις τοποθετήστε μια ράβδο γραφίτη HB/0.5 και μήκους = 8 mm μέσα στην παγίδα. Μετρήστε το ύψος της θέσης ισορροπίας $\gamma_0$ της ράβδου (βλ. Εικ. 7a)! Υπόδειξη: Χρησιμοποιήστε τον Ειδικό Χάρακα που σας δόθηκε, όπως φαίνεται στην Εικ. 7b. Πιέστε το χάρακα στους μαγνήτες, ώστε να διαβάσετε τη θέση της ράβδου γραφίτη.	0.1 pt.
<b>A.6</b>	Χρησιμοποιήστε το αποτέλεσμα του ερωτήματος A.5 για να προσδιορίσετε τη μαγνητική επιδεκτικότητα $\chi$ της ράβδου γραφίτη.	0.8 pt.
<b>A.7</b>	Τι είδους μαγνητικό υλικό είναι ο γραφίτης; Επιλέξτε ένα από τα ακόλουθα: (i) Φερομαγνητικό, (ii) Παραμαγνητικό, ή (iii) Διαμαγνητικό;	0.1 pt.

## [3] Η ταλάντωση δυναμικού "ράχης καμήλας" και η μαγνητική επιδεκτικότητα ( $\chi$ ) (1 pts)



**Εικόνα 8.** (a) Ταλάντωση γραφίτη σε ύψος  $y_0$ . (b) Το δυναμικό "ράχης καμήλας" της παγίδας PDL και η παραβολική προσέγγισή του.

Θα προσδιορίσουμε το  $\chi$  ανεξάρτητα χρησιμοποιώντας την ταλάντωση στο δυναμικό "ράχης καμήλας" της παγίδας PDL όπως φαίνεται στην Εικ. 8. Για μικρές τιμές πλάτους ( $z < 4$  mm) το μαγνητικό δυναμικό μπορεί να προσεγγιστεί με μια παραβολή (που φαίνεται ως εστιγμένη καμπύλη στην Εικ. 8b):

$$U_M = \frac{1}{2} k_z z^2 \quad (5)$$

όπου  $k_z$  είναι η σταθερά ελατηρίου του δυναμικού και  $z$  είναι το κέντρο μάζας της μετατοπιζόμενης ράβδου. Αυτή η σταθερά ελατηρίου  $k_z$  εξαρτάται από τη μαγνήτιση  $M$  του μαγνήτη (από την ερώτηση 1) και το  $\chi$ :

$$k_z = -C_1 \mu_0 \chi M^2 V_r \quad (6)$$

όπου  $\mu_0$  είναι η μαγνητική διαπερατότητα,  $V_r$  είναι ο όγκος της ράβδου γραφίτη,  $C_1 = 198.6 / \text{m}^2$  είναι μια σταθερά για τη συγκεκριμένη διάταξη μαγνητικής παγίδας.

Αφήστε τη ράβδο γραφίτη να πέσει στο κέντρο της μαγνητικής παγίδας. Χρησιμοποιώντας τις τρεις βίδες, προσαρμόστε τη θέση της βάσης στήριξης, ώστε η ράβδος να παραμένει στο κέντρο της παγίδας.

Με την οδοντογλυφίδα μετατοπίστε τη ράβδο για να προκαλέσετε ταλάντωση κατά μήκος του δυναμικού "ράχης καμήλας".

A.8	Εκτελέστε ταλαντώσεις με το γραφίτη τύπου "HB/0.5" και για μήκος $l = 8$ mm. Περιοριστείτε σε μικρά πλάτη ταλάντωσης, $A < 4$ mm. Προσδιορίστε την περίοδο ταλάντωσης. (Το πλάτος ταλάντωσης θα μειώνεται με το χρόνο, λόγω της απόσβεσης, αλλά εσείς αγνοήστε την απόσβεση αυτή).	0.2 pt.
	Υπολογίστε τη μαγνητική επιδεκτικότητα ( $\chi$ ) του γραφίτη χρησιμοποιώντας αυτή	

# Experiment

Greece

E2

A.9	την ταλάντωση.	0.8 pt.
-----	----------------	---------

## [4] Συντελεστής ποιότητας ταλάντωσης ( $Q$ ) και εκτίμηση αντίστασης του αέρα (3 pt.)

Παρατηρούμε ότι η ταλάντωση της ράβδου γραφίτη υπόκειται σε απόσβεση λόγω της αντίστασης του αέρα και επιθυμούμε να προσδιορίσουμε τη σχέση εξάρτησης της τριβής από τις διαστάσεις της ράβδου (διάμετρος και μήκος) καθώς και να εκτιμήσουμε την αντίσταση του αέρα  $\mu_A$ . Η κίνηση της ράβδου μπορεί να περιγραφεί με το μοντέλο της ταλάντωσης με απόσβεση :  $z(t) = Ae^{-t/\tau} \sin(\omega t)$  όπως φαίνεται στην Εικ. 3(a) όπου  $A$  είναι το αρχικό πλάτος ταλάντωσης,  $\omega = 2\pi f$  η γωνιακή συχνότητα και  $t$  ο χρόνος. Το πλάτος μειώνεται με το χρόνο με τον παράγοντα  $\exp(-t/\tau)$  όπου  $\tau$  είναι η σταθερά χρόνου της απόσβεσης. Αυτή προσδιορίζει το "συντελεστή ποιότητας" της ταλάντωσης που ορίζεται ως:  $Q = \omega\tau/2$ . Αν  $Q > 0.5$  η ταλάντωση έχει μικρή απόσβεση, για  $Q = 0.5$  έχει κρίσιμη απόσβεση και αν  $Q < 0.5$  έχει μεγάλη απόσβεση. Αυτό ο συντελεστής ποιότητας είναι πολύ σημαντικός για τη σχεδίαση μιας παγίδας PDL που θα χρησιμοποιηθεί ως σειсмоγράφος ή κλισιόμετρο.

Μπορούμε να υπολογίσουμε τη σταθερά χρόνου της απόσβεσης  $\tau$  προσεγγίζοντας τις κυλινδρικές ράβδους ως μεγάλο μήκος ελλειψοειδή και να υπολογίσουμε τη δύναμη αντίστασης Stokes. Η σταθερά χρόνου της απόσβεσης δίνεται από τη σχέση:

$$\tau = \frac{2}{3} \frac{\rho r^2}{\mu_A} \ln \left( 0.607 \times \frac{l}{r} \right) \quad (7)$$

όπου  $\rho$ ,  $r$  και  $l$  είναι αντίστοιχα η πυκνότητα, η ακτίνα και το μήκος της ράβδου γραφίτη και  $\mu_A$  είναι η αντίσταση του αέρα. Θα εκτιμήσουμε την αντίσταση του αέρα με βάση το μοντέλο αυτό.

<b>A.10</b>	Επιθυμούμε να προσδιορίσουμε τη σταθερά χρόνου απόσβεσης $\tau$ της ταλάντωσης. Δείξτε με ένα απλό σχήμα τη διαδικασία μέτρησης του $\tau$ .	0.5 pt.
<b>A.11</b>	Εκτελέστε πειράματα ταλάντωσης με απόσβεση χρησιμοποιώντας ράβδους με ποικίλες διαμέτρους και σταθερό μήκος ίσο προς 8 mm. Προσδιορίστε τη σταθερά χρόνου απόσβεσης $\tau$ για κάθε ράβδο.	1.5 pt.
<b>A.12</b>	Προσδιορίστε την αντίσταση του αέρα $\mu_A$ .	1.0 pt.

## ΜΕΡΟΣ Β. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ

### [5] Σεισογράφος παγίδας PDL (0.5 pt.)

Φανταστείτε ότι σχεδιάζετε έναν σεισογράφο μαγνητικής παγίδας PDL. Για εφαρμογές σεισογράφων χρειαζόμαστε πολύ υψηλή ευαισθησία ή πολύ χαμηλό "κατώφλι θορύβου" δηλαδή τη χαμηλότερη επιτάχυνση που μπορεί να ανιχνευθεί. Αυτό το κατώφλι θορύβου επιτάχυνσης εκφράζεται ως (σε μονάδες  $m/(s^2 \text{ Hz}^{0.5})$ ):

$$a_n = \sqrt{\frac{4k_B T \omega}{Q m_R}} \quad (8)$$

# Experiment

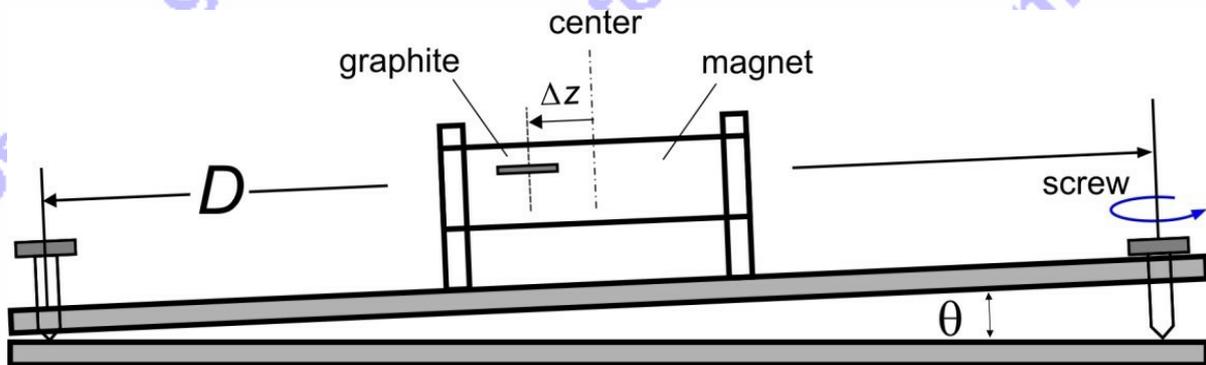
# E2

Greece

όπου  $k_B$  είναι η σταθερά Boltzmann,  $T$  είναι η θερμοκρασία (βλ. Σταθερές και Δεδομένα) και  $m_R$  είναι η μάζα της ράβδου, όλα σε μονάδες του SI. Στην ερώτηση 4 έχετε μετρήσει το  $\tau$  για διάφορες τιμές της διαμέτρου του γραφίτη. Να επιλέξετε μία που νομίζετε ότι εξυπηρετεί καλύτερα ως σειсмоγράφος.

<b>B.1</b>	Ποια διάμετρο ράβδου επιλέγετε;	0.2 pt.
<b>B.2</b>	Να υπολογίσετε το κατώφλι θορύβου της επιτάχυνσης του σεισμόμετρου ( ) για τη ράβδο που έχετε επιλέξει.	0.3 pt.

## [6] Κλισιόμετρο παγίδας PDL (2 pt.)



Εικόνα 9. Σύστημα παγίδας PDL ως κλισιόμετρο

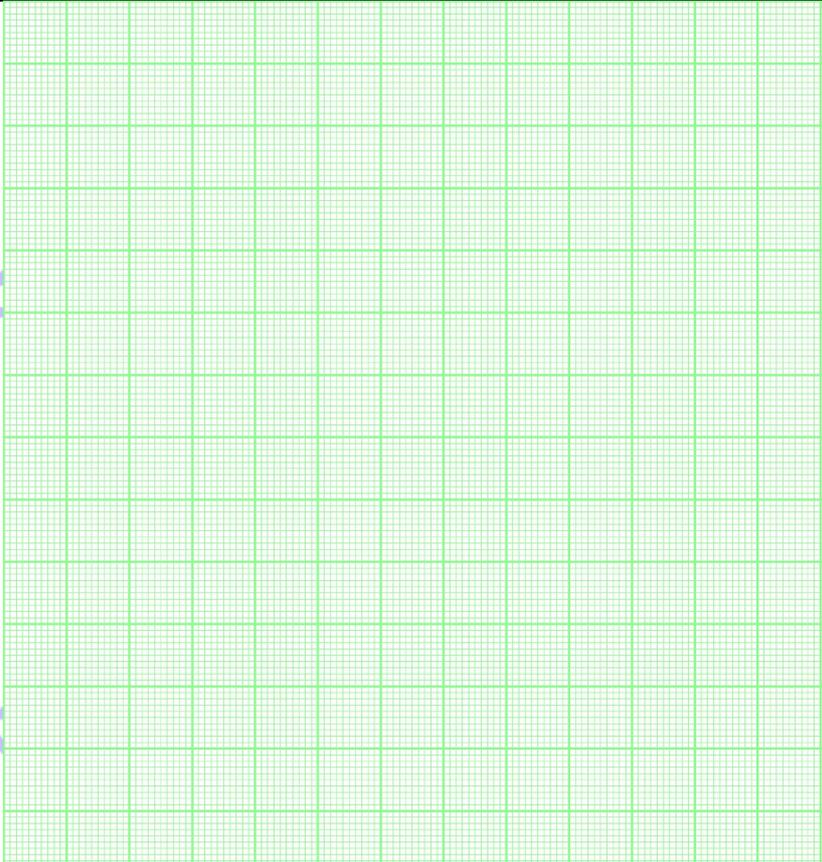
Θα μελετήσουμε την παγίδα PDL ως ένα πολύ ευαίσθητο κλισιόμετρο για παρακολούθηση ηφαιστιακής δραστηριότητας. Η μεταβολή στην κλίση του εδάφους προσομοιώνεται με την περιστροφή της βίδας και θέλουμε να προσδιορίσουμε την απόσταση των σπειρωμάτων  $S$  όπου  $S$  είναι η μεταβολή του ύψους ανα μονάδα περιστροφής. Δείχνουμε ότι μετρώντας τη μετατόπιση της ράβδου γραφίτη στην παγίδα μπορούμε να μετρήσουμε με ακρίβεια την κλίση.

Να χρησιμοποιήσετε τη ράβδο του μολυβιού HB/0.5 που έχει μήκος  $l = 8$  mm, σε αυτό το πείραμα. Να αρχίσετε από τη θέση του κέντρου. Να υποθέσετε το δυναμικό "ράχης καμήλας" μπορεί να προσεγγιστεί ως αρμονικό δυναμικό όπως στο ερώτημα 3:

<b>B.3</b>	Να εξαγάγετε θεωρητικά τη σχέση μεταξύ της μετατόπισης $\Delta z$ και του μεγέθους $S$ της απόστασης μεταξύ των σπειρωμάτων και του αριθμού ( $N$ ) των περιστροφών.	0.5 pt.
<b>B.4</b>	Περιστρέφοντας αργά τη βίδα, να προσδιορίσετε τη μετατόπιση $\Delta z$ της ράβδου σε σχέση με τον αριθμό των περιστροφών ( $N$ ) του κοχλία. Να προσδιορίσετε την απόσταση $S$ μεταξύ των σπειρωμάτων.	1.25 pt.
<b>B.5</b>	Να εξαγάγετε θεωρητικά τη σχέση μεταξύ της μετατόπισης $\Delta z$ και του μεγέθους $S$ της απόστασης μεταξύ των σπειρωμάτων και του αριθμού ( $N$ ) των περιστροφών.	0.25 pt.






		
--	---	--

A.3	Χρησιμοποιήστε τα πειραματικά σας δεδομένα για να προσδιορίσετε τον εκθέτη $p$  $p =$	
-----	---	--

A.4	Προσδιορίστε την μαγνήτιση $M$ του μαγνήτη.  $M =$	
-----	--	--

## 2. Το φαινόμενο της μαγνητικής ανύψωσης και Μαγνητική Χωρητικότητα ( $\chi$ ) (1.0 pt.)

Ερώτηση	Απάντηση	Βαθμοί
A.5 0.1 pt.	<p>Τοποθετήστε προσεκτικά μια ράβδο γραφίτη HB/0.5 και μήκους = 8 mm μέσα στην παγίδα. Μετρήστε το ύψος της ανύψωσης <math>\gamma_0</math> της ράβδου rod (δείτε Εικόνα. 7a)! Βήθεια: Χρησιμοποιήστε τον χάρακα εισχώρησης που σας δίνεται, ο οποίος φαίνεται στην εικ. Fig. 7b. Πιέστε το χάρακα πάνω στους μαγνήτες για να διαβάσετε τη θέση της ράβδου του γραφίτη.</p> <p><math>\gamma_0 =</math></p>	
A.6	<p>Χρησιμοποιήστε το αποτέλεσμα από το μέρος A.5 για να προσδιορίσετε τη μαγνητική χωρητικότητα <math>\chi</math> της ράβδου γραφίτη.</p> <p><math>\chi =</math></p>	
A.7	<p>Τι είδους μαγνητικό υλικό είναι ο γραφίτης; Επιλέξτε ένα: (i) Φερρομαγνητικό; (ii) Παραμαγνητικό; ή (iii) Διαμαγνητικό?</p>	

### 3. Η ταλάντωση του δυναμικού ράχης καμήλας και μαγνητική χωρητικότητα ( $\chi$ )

Ερώτηση	Απάντηση	Βαθμοί																														
<p>A.8</p>	<p>Εκτελέστε μία ταλάντωση για το γραφίτη "HB/0.5" και <math>l = 8</math> mm. Το πλάτος της ταλάντωσης να είναι μικρό π.χ. <math>A &lt; 4</math> mm. Προσδιορίστε την περίοδο της ταλάντωσης. (Η ταλάντωση θα μειώνεται με τον χρόνο εξαιτίας της απόσβεσης. Αγνοήστε το φαινόμενο της απόσβεσης.)</p> <table border="1" data-bbox="323 723 1238 925"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>																															
<p>A.9</p>	<p>Υπολογίστε τη μαγνητική χωρητικότητα (<math>\chi</math>) του γραφίτη χρησιμοποιώντας την ταλάντωσή του.</p> <p><math>\chi =</math></p>																															



A.12 1.0 pt.	Προσδιορίσε την αντίσταση $\mu_A$ του αέρα.  $\mu_A =$	
-----------------	--	--

## B. Εφαρμογή της παγίδας PDL σε ανιχνευτή

### 5. Σεισμογράφος παγίδας ΠΓΔ (0.5 pt.)

Ερώτηση	Απάντηση	Βαθμοί
B.1 0.2 pt.	Ποια διάμετρο της ράβδου διαλέγετε;	
B.2 0.3 pt.	Υπολογίστε το κατώφλι θορύβου ( $a_n$ ) της επιτάχυνσης του σεισμογράφου για τη ράβδο της επιλογής σας.	

### 6. Κλισιόμετρο παγίδας ΠΓΔ (PDL) (2 pt.)

Ερώτηση	Απάντηση	βαθμοί
B.3 0.5 pt.	Να εξαγάγετε θεωρητικά τη σχέση μεταξύ της μετατόπισης $\Delta z$ με το μέγεθος $S$ του σπειρώματος της βίδας και του αριθμού των περιστροφών ( $N$ ).	

# Experiment

Greece

AE2



# Experiment

Greece

# AE2

<p>B.4 1.25 pt.</p>	<p>Περιστρέφοντας αργά τον κοχλία, προσδιορίστε τη μετατόπιση <math>\Delta z</math> της ράβδου σε συνάρτηση με τον αριθμό των περιστροφών (<math>N</math>) της βίδας. Προσδιορίστε το μέγεθος του σπειρώματος <math>S</math>.</p> <table border="1" data-bbox="304 546 1235 981"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> <p><math>S =</math></p>																																																																															
<p>B.5 0.25 pt.</p>	<p>Όταν η κλίση του εδάφους αλλάξει, θέλουμε η ράβδος γραφίτη να έρθει να ισορροπήσει όσο πιο σύντομα γίνεται (αντί να ταντώνεται επί μακρόν) για να μπορούμε να διαβάσουμε εύκολα το αποτέλεσμα. Ποιος είναι ο καταλληλότερος παράγοντας <math>Q</math> για το κλισιόμετρο;</p> <p><math>Q =</math></p>																																																																															