

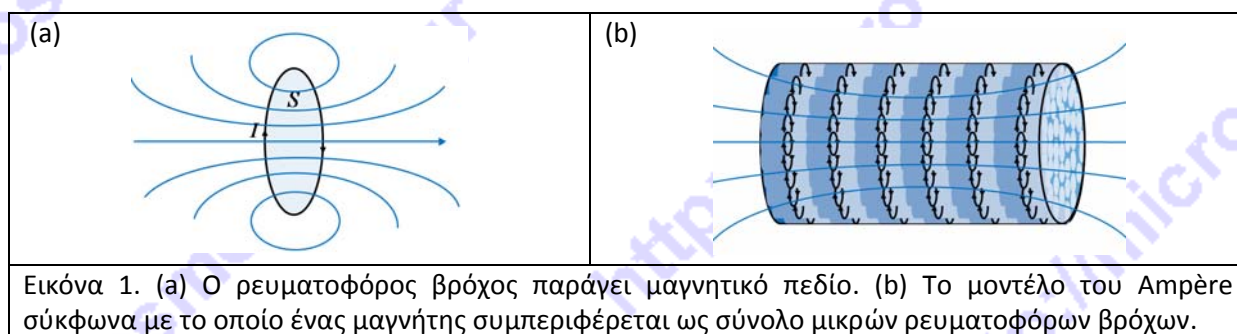
## Πειραματικό πρόβλημα 2

Υπάρχουν δύο πειραματικά προβλήματα. Οι συσκευές, τα υλικά και τα όργανα που διαθέτετε χρησιμοποιούνται και για τα δύο πειράματα. Έχετε στη διάθεση σας 5 ώρες για να ολοκληρώσετε όλη τη διαδικασία αποτελούμενη από τα ζητήματα 1 και 2.

### Πειραματικό Πρόβλημα 2: Δυνάμεις μεταξύ μαγνητών, έννοιες ευστάθειας και συμμετρίας

#### Εισαγωγή

Το ηλεκτρικό ρεύμα  $I$  που κυκλοφορεί σε βρόχο εμβαδού  $S$  δημιουργεί μαγνητική ροπή μέτρο  $m = IS$  [Δες Εικ. 1(a)]. Ένας μόνιμος μαγνήτης μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σύνολο μικρών μαγνητικών ροπών σιδήρου (Fe), η κάθε μια από την οποία είναι ανάλογη με τη μαγνητική ροπή του ρεύματος στον κυκλικό βρόχο. Αυτό το μοντέλο (του Ampère) του μαγνήτη αναπαριστάται στην Εικ. 1(b). Η ολική μαγνητική ροπή είναι το άθροισμα όλων των μικρών μαγνητικών ροπών, και κατευθύνεται από το Νότιο προς το βόρειο πόλο.

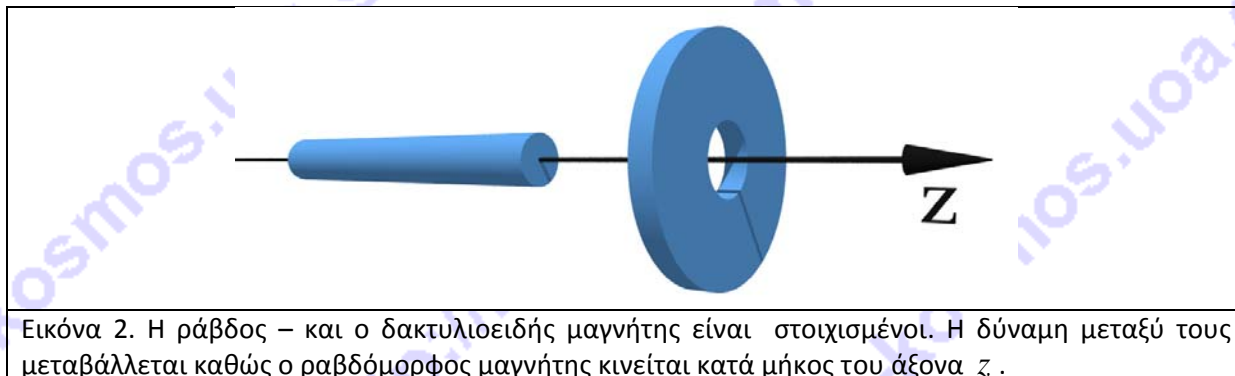


Εικόνα 1. (a) Ο ρευματοφόρος βρόχος παράγει μαγνητικό πεδίο. (b) Το μοντέλο του Ampère σύμφωνα με το οποίο ένας μαγνήτης συμπεριφέρεται ως σύνολο μικρών ρευματοφόρων βρόχων.

#### Δυνάμεις μεταξύ μαγνητών

Ο υπολογισμός της δύναμης μεταξύ δύο μαγνητών δεν είναι μια αυτονόητη θεωρητική διαδικασία. Είναι γνωστό ότι όμοιοι πόλοι απωθούνται και αντίθετοι πόλο έλκονται. Η δύναμη μεταξύ δύο βρόχων που διαρρέονται από ρεύμα εξαρτάται από την ένταση του ρεύματος, το σχήμα τους και την απόσταση μεταξύ τους. Αν αντιστρέψουμε τη φορά του ρεύματος σε ένα από τους δύο βρόχους, το μέτρο της δύναμης μεταξύ τους παραμένει το ίδιο, αλλά η φορά της δύναμης αντιστρέφεται.

Σε αυτό το πρόβλημα διερευνάτε πειραματικά τις δυνάμεις μεταξύ δύο μαγνητών, ενός μαγνήτη σε σχήμα δακτυλιδιού και ενός μαγνήτη σε σχήμα ράβδου. Μας ενδιαφέρει η γεωμετρία όπου οι άξονες συμμετρίας των δύο μαγνητών συμπίπτουν (Δες Εικ. 2). Ο μαγνήτης σε σχήμα ράβδου μπορεί να κινείται κατά μήκος του άξονα  $z$  από τα αριστερά, διαμέσου του μαγνήτη σε σχήμα δακτυλιδιού, και μετά προς τα δεξιά (Δες Εικ. 2). Ανάμεσα σε άλλα ζητήματα θα σας ζητηθεί να μετρήσετε τη δύναμη μεταξύ των μαγνητών ως συνάρτηση του  $z$ . Η αρχή  $z = 0$  αντιστοιχεί στην περίπτωση όπου τα κέντρα των μαγνητών συμπίπτουν.



Για να διασφαλίσουμε την κίνηση του ραβδόμορφου μαγνήτη κατά μήκος του άξονα συμμετρίας (άξονα  $z$ ), ο δακτυλιοειδής μαγνήτης είναι ενσωματωμένος σφικτά σε ένα διαφανή κύλινδρο, ο οποίος έχει μια κυλινδρική οπή κατά μήκος του άξονα  $z$ . Με αυτό τον τρόπο ο ραβδοειδής μαγνήτης κινείται αναγκαστικά κατά μήκος του άξονα  $z$  κατά μήκος της οπής. (Δες Εικ. 3). Ο μαγνήτιση των δύο μαγνητών είναι κατά μήκος του άξονα  $z$ . Η κυλινδρική οπή εξασφαλίζει ακτινική σταθερότητα των δύο μαγνητών.



### Πειραματική διάταξη (2<sup>ο</sup> πρόβλημα)

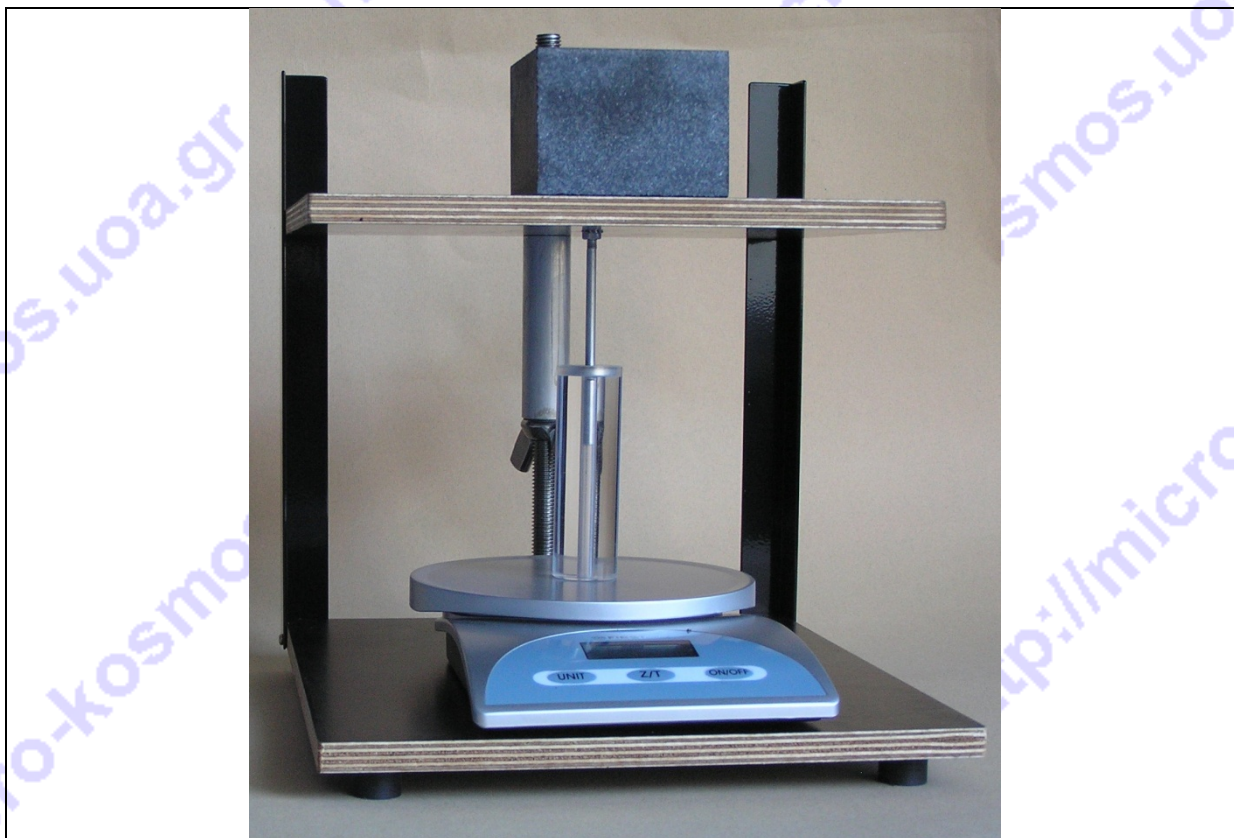
Τα ακόλουθα υλικά και όργανα (για το πρόβλημα 2) βρίσκονται στον πάγκο σας:

1. Συσκευή πίεσης, πρέσα, (μαζί με το βαρίδιο).
2. Ζυγαριά (η οποία μετρά μέχρι 5000 g και διαθέτει κουμπί μηδενισμού, Z/T, δεξ ξεχωριστές οδηγίες αν χρειαστεί).
3. Ένας διαφανής κύλινδρος με κυλινδρική οπή με ένα δακτυλιοειδή μαγνήτη στερεωμένο στη μια βάση του.
4. Ένας ραβδόμορφος μαγνήτης.
5. Μια λεπτή ξύλινη ράβδος (χρησιμοποιείται για να σπρώχνετε το ραβδόμορφο μαγνήτη μέσα και έξω από τον κύλινδρο).

Η πειραματική διάταξη για τη μέτρηση της δύναμης μεταξύ των δύο μαγνητών θα χρησιμοποιηθεί όπως δείχνει η Εικ. 4. Η πάνω σανίδα της πρέσας θα πρέπει να αντιστραφεί σε σχέση με το πρώτο πείραμα. Η λεπτή αλουμιμένη ράβδος χρησιμοποιείται για να σπρώχνει το ραβδόμορφο μαγνήτη μέσα στον κύλινδρο προς το μέρος του δακτυλιοειδή μαγνήτη. Η λεπτή αλουμιμένη ράβδος βιδώνεται στην πάνω σανίδα, όπως δείχνει η Εικ. 4.

Η ζυγαριά καταγράφει τη δύναμη (μάζα). Η πάνω σανίδα της πρέσας μπορεί να μετακινείται προς τα κάτω ή πάνω χρησιμοποιώντας τον κοχλία (βίδα).

**Προσοχή:** Ο κοχλίας (βίδα) κατεβάζει ή ανεβάζει τη σανίδα της συσκευής πίεσης κατά 2 mm όταν περιστρέφεται κατά 360 μοίρες.



Εικόνα 4. Φωτογραφία της διάταξης, και του τρόπου με τον οποίο θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της δύναμης μεταξύ των μαγνητών.

### Ζητήματα

1. Προσδιορίστε ποιοτικά όλες τις θέσεις ισορροπίας μεταξύ των δύο μαγνητών. Υποθέστε ότι ο άξονας  $z$  είναι οριζόντιος όπως φαίνεται στην εικόνα 2. Σχεδιάστε τις θέσεις αυτές ισορροπίας στο φύλλο απαντήσεων. Ονομάστε τις θέσεις ισορροπίας ως ευσταθείς (S) ή ασταθείς (U), να φαίνονται οι πόλοι με γραμμοσκίαση του ενός είδους πόλου σε κάθε μαγνήτη, όπως υποδεικνύεται για μια θέση ευσταθούς ισορροπίας στο φύλλο απαντήσεων. Μπορείτε να πετύχετε αυτό το ζήτημα πειραματιζόμενοι με τα χέρια σας και τη λεπτή ξύλινη ράβδο. (2.5 μόρια)

2. Χρησιμοποιώντας την πειραματική διάταξη μετρήστε τη δύναμη μεταξύ των δύο μαγνητών ως συνάρτηση του  $z$ . Θεωρήστε θετική την κατεύθυνση του  $z$  από πάνω προς τα κάτω. (η δύναμη είναι θετική αν κατευθύνεται προς τη θετική φορά). Αν οι μαγνητικές ροπές είναι παράλληλες, σημειώστε τη δύναμη με  $F_{\uparrow\uparrow}(z)$  και όταν είναι αντιπαράλληλες, σημειώστε τη δύναμη με  $F_{\uparrow\downarrow}(z)$ . **Σημαντικό: Θεωρήστε αμελητέα τη μάζα του ραβδοειδούς μαγνήτη (αμελητέο βάρος) και κάνετε χρήση της συμμετρίας των δυνάμεων μεταξύ των μαγνητών για να μετρήσετε διαφορετικά μέρη στις καμπύλες.** Αν προσδιορίσετε κάποια συμμετρία στις δυνάμεις, δηλώστε το στο φύλλο απαντήσεων. Γράψετε τις μετρήσεις στο φύλλο απαντήσεων, επιπλέον από τους πίνακες των πειραματικών μετρήσεων, σχεδιάστε τη θέση των μαγνητών που αντιστοιχεί σε κάθε πίνακα (ένα παράδειγμα δίνεται για σας). (3.0 μόρια)
3. Χρησιμοποιώντας τις τιμές του ζητήματος 2, χρησιμοποιήστε το μιλιμετρέ χαρτί για να σχεδιάσετε με λεπτομέρεια την εξάρτηση της  $F_{\uparrow\uparrow}(z)$  για  $z > 0$ . Σχεδιάστε, τις μορφές των καμπύλων  $F_{\uparrow\uparrow}(z)$  και  $F_{\uparrow\downarrow}(z)$  (κατά μήκος του θετικού και του αρνητικού  $z$ -άξονα). Σε κάθε γραφική παράσταση σημειώστε τις θέσεις των σημείων ισορροπίας και σχεδιάστε τα αντίστοιχα σχεδιαγράμματα των μαγνητών (όπως κάνατε στο ζήτημα 1). (4.0 μόρια)
4. Αν δεν παραλείψουμε τη μάζα του ραβδόμορφου μαγνήτη, δημιουργούνται νέες θέσεις ευσταθούς ισορροπίας όταν ο  $z$ -άξονας είναι κατακόρυφος; Αν ναι, σχεδιάστε τις στο φύλλο απαντήσεων όπως στο ζήτημα 1. (0.5 μόρια)