

The 43rd International Physics Olympiad — Experimental Competition

Tartu, Estonia — Thursday, July 19th 2012

- Η εξέταση διαρκεί 5 ώρες. Αποτελείται από 2 προβλήματα συνολικά 20 μονάδων. Υπάρχουν 2 πίνακες στη διάθεση σας (σας 2 γειτονικά σας cubicles), η πειραματική διάταξη του προβλήματος E1 είναι πάνω στο ένα τραπέζι κι η πειραματική διάταξη του E2 βρίσκεται στο άλλο τραπέζι. Μπορείτε να κινείστε ελεύθερα στο χώρο μεταξύ των πειραματικών σας διατάξεων. **Όμως δεν επιτρέπεται να κινείτε οποιοδήποτε όργανο της μιας πειραματικής διάταξης στο τραπέζι της άλλης.**
- Αρχικά τα πειραματικά όργανα στο ένα τραπέζι είναι καλυμμένα και στο άλλο βρίσκονται μέσα σε ένα κουτί. Εσείς δεν πρέπει ούτε να ξεσκεπάσετε την μια πειραματική διάταξη ούτε να ανοίξετε το κουτί της άλλης ούτε να ανοίξετε το φάκελο με τα προβλήματα πριν ακούσετε το ηχητικό σήμα έναρξης του πειραματικού μέρους του διαγωνισμού (υπάρχουν 3 σύντομα ηχητικά σήματα).
- **Δεν επιτρέπεται να φύγεται από τον χώρο εξέτασης χωρίς άδεια.** Εάν θέλετε οποιαδήποτε βοήθεια (χαλασμένη υπολογιστική, ανάγκη επίσκεψης στην τουαλέτα, κλπ.) παρακαλείστε να ανυψώσετε το σημαδάκι ανταπόκρισης «HELP» ή «TOILET» (με το μακρύ χερούλι που βρίσκεται στο κάθισμα σας) πάνω από το κουτί με τα υλικά σας και να το κρατήσετε μέχρι ένα από τα μέλη της οργανωτικής επιτροπής να φτάσει κοντά σας.
- Να χρησιμοποιείτε μόνο τη μπροστινή πλευρά των φύλλων του τετραδίου σας.
- Για κάθε πρόβλημα, υπάρχουν **αντίστοιχα Φύλλα Απαντήσεων** (δείτε την επικεφαλίδα και το pictogramme). Να γράφετε τις απαντήσεις στο αντίστοιχο Φύλλο Απαντήσεων. Για κάθε πρόβλημα, το Φύλλο Απαντήσεων είναι αριθμημένο, να χρησιμοποιείτε τα φύλλα, βάση της αρίθμησης τους. **Φροντίστε πάντα να σημειώνετε ξεκάθαρα το Τμήμα του Προβλήματος και την Ερώτηση στην οποία αναφέρεται η απάντησή σας.** Να αντιγράφετε τις τελικές απαντήσεις σας μέσα στο αντίστοιχο κουτάκι των **Φύλλων Απαντήσεων**
- Υπάρχουν ακόμη **Πρόχειρα** φύλλα, να τα χρησιμοποιείτε για να γράφετε ότιδήποτε δεν θέλετε να βαθμολογηθεί. Εάν γράψετε κάτι το οποίο δεν θέλετε να βαθμολογηθεί στο Φύλλο Απαντήσεων (όπως αρχικές και λανθασμένες λύσεις) πρέπει να τα διαγράψετε.
- Εάν χρειάζεστε περισσότερα **Φύλλα Απαντήσεων** για ένα ορισμένο πρόβλημα, παρακαλείστε όπως αναυψώσετε το σημαδάκι «HELP» και πείτε σε ένα μέλος της οργανωτικής επιτροπής τον αριθμό του προβλήματος και θα σας δωθούν δύο φύλλα απαντήσεων (αυτό μπορείτε να το κάνετε περισσότερο από μία φορά)
- **Πρέπει να χρησιμοποιήσετε όσο το δυνατόν λιγότερο κείμενο:** προσπαθήστε να εξηγήσετε τη λύση σας κυρίως με εξισώσεις, αριθμούς, σύμβολα και διαγράμματα.
- **Αποφύγετε άσκοπες κινήσεις κατά τη διάρκεια της πειραματικής εξέτασης και μην διαταράσσετε τα τοιχώματα του χώρου εξέτασής σας. Το πείραμα με το laser σταθερότητα.**
- **Μην κοιτάτε την ακτίνα της δέσμης laser ή τις αντανακλάσεις της! Μπορεί να προκαλέσετε μόνιμη ζημιά στην όρασή σας.**
- Το πρώτο μονό ηχητικό σήμα σας λέει ότι έχουν μείνει 30 λεπτά για την επίλυση του προβλήματος, το δεύτερο διπλό ηχητικό σήμα σημαίνει ότι έχουν απομείνει 5 λεπτά, το τρίτο τριπλό σήμα ήχου χαρακτηρίζει το τέλος της επίλυσης του χρόνου. **Μετά από το τρίτο ηχητικό σήμα πρέπει να σταματήσετε αμέσως.** Να βάλετε όλα τα φύλλα στο φάκελο που βρίσκεται στο γραφείο σας. **Δεν επιτρέπεται να πάρετε οποιοδήποτε φύλλο της εξέτασης από το δωμάτιο.** Εάν έχετε τελειώσει την επίλυση πριν από το τελικό σήμα ήχου, παρακαλείστε να ανυψώσετε το σημαδάκι σας.



Πρόβλημα E1. Η μαγνητική διαπερατότητα του νερού (10 μονάδες)

Η επίδραση του μαγνητικού πεδίου στα περισσότερα υλικά (με εξαίρεση τα φερρομαγνητικά) είναι εξαιρετικά ασθενής. Αυτό οφείλεται στο ότι η πυκνότητα ενέργειας του μαγνητικού πεδίου σε υλικά με σχετική μαγνητική διαπερατότητα μ δίνεται από

$$\text{τον τύπο } W = \frac{1}{2\mu\mu_0} B^2, \text{ και, τυπικά, η τιμή του } \mu \text{ είναι πολύ}$$

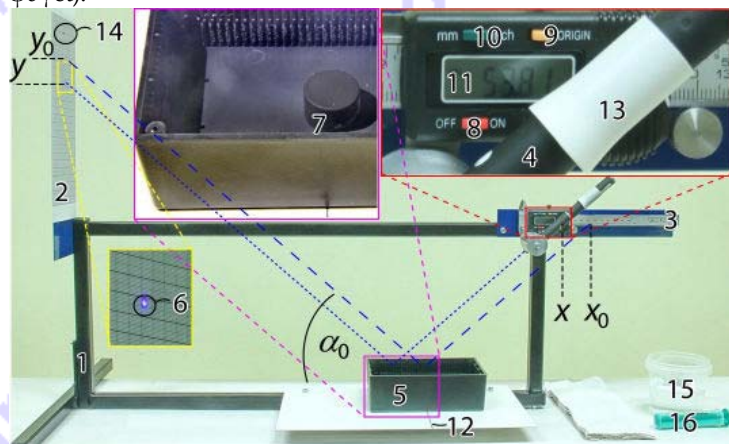
κοντά στη μονάδα. Όμως, με κατάλληλες πειραματικές τεχνικές είναι ξεκάθαρα παρατηρήσιμη. Σε αυτό το πρόβλημα θα μελετήσουμε την επίδραση του μαγνητικού πεδίου, που δημιουργείται από μόνιμο μαγνήτη Νεοδύμιου, στο νερό. Θα χρησιμοποιήσουμε τα αποτελέσματα για τον υπολογισμό της μαγνητικής διαπερατότητας του νερού.

Δεν σας ζητείται να υπολογίσετε οποιαδήποτε σφάλματα σε αυτό το πρόβλημα και δε χρειάζεται να λάβετε υπόψη σας την επίδραση της επιφανειακής τάσης.

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από μια βάση στήριξης **1** (οι αριθμοί με χρωματική επισήμανση αντιστοιχούν στους αριθμούς του σχήματος), ένα ψηφιακό βερνιέρο **3**, ένα δείκτη laser **4**, ένα δοχείο με νερό **5** και ένα κυλινδρικό μόνιμο μαγνήτη **7** μέσα στο νερό (ο μαγνήτης είναι αξονικά μαγνητισμένος).

Το δοχείο με το νερό παραμένει σταθερό στη βάση του συστήματος στήριξης λόγω της έλξης του μαγνήτη.

Το laser είναι στερεωμένο στο βερνιέρο, η βάση του οποίου είναι στερεωμένη στη βάση στήριξης. Ο βερνιέρος επιτρέπει στο laser να μετατοπίζεται οριζόντια. Το κουμπί on-off στο laser μπορεί να κρατηθεί πατημένο με τη βοήθεια του άσπρου κωνικού σωλήνα **13**. Το βάθος του νερού πάνω από τον μαγνήτη θα πρέπει να είναι επαρκώς κοντά στο 1 mm (εάν το νερό είναι πιο ρηχό η επιφάνεια του θα καμπυλωθεί έντονα και θα είναι δύσκολο να πάρετε μετρήσεις από την οθόνη). Ένα ποτήρι με νερό **15** και μία σύριγγα **16** μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ρυθμίσετε το επίπεδο του νερού (για να ανεβάσετε το επίπεδο του νερού κατά 1 mm, προσθέστε 13 ml νερού). Το τετραγωνισμένο χαρτί **2** (η «οθόνη») πρέπει να στερεωθεί κάθετα στην κατακόρυφη επιφάνεια της βάσης στήριξης με ένα μικρό μαγνητάκι **14**. Εάν η κηλίδα από το laser στην οθόνη γίνεται θολή είτε έχει μεγάλη διασπορά, ελέγξτε την επιφάνεια του νερού για πιθανή σκόνη (και φυσήξτε την για φύγει).



Οι υπόλοιποι αριθμοί στο σχήμα είναι: το **6** είναι το σημείο όπου

η ανακλώσα δέσμη laser προσπίπτει στην οθόνη, το **11** είναι η LCD οθόνη του βερνιέρου, το **10** είναι το κουμπί του βερνιέρου που μετατρέπει τις μονάδες μέτρησης από mm σε ίντσες και αντίστροφα, το **8** είναι ο διακόπτης on-off και το **9** είναι το κουμπί που καθορίζει την αρχή μέτρησης του βερνιέρου. Κάτω από το laser, υπάρχει ακόμη ένα κουμπί του βερνιέρου, το οποίο προσωρινά επανακαθορίζει την αρχή (εάν το πατήσετε ακούσια, πατήστε ακόμη μία φορά για να επιστρέψει στην κανονική ρύθμιση μέτρησης).

Αριθμητικές τιμές για τους υπολογισμούς: η οριζόντια απόσταση μεταξύ του κέντρου του μαγνήτη και της οθόνης που προσπίπτει η ανακλώσα δέσμη laser είναι $L_0 = 490\text{mm}$. Ελέγξτε (και ρυθμίστε, εάν χρειάζεται) τη στοίχιση του κέντρου του μαγνήτη σε σχέση με τις δύο κάθετες διευθύνσεις. Ο κάθετος άξονας του μαγνήτη πρέπει να τέμνεται από την δέσμη του laser καθώς επίσης και με τη μαύρη γραμμή **12** του κουτιού που περιέχει το νερό και τους μαγνήτες.

Η μαγνητική επαγωγή σε ύψος 1 mm από την επίπεδη επιφάνεια του μαγνήτη, στη διεύθυνση του άξονα του, είναι $B_0 = 0.50\text{T}$, η πυκνότητα του νερού είναι $\rho_w = 1000\text{ kg/m}^3$, η επιτάχυνση της βαρύτητας είναι $g = 9.8\text{m/s}^2$ και η μαγνητική διαπερατότητα στο κενό είναι $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\text{ H/m}$.

ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΕΙΣ:

ο Η κατεύθυνση του Laser είναι προκαθορισμένη, μην την μετακινήσετε!

ο Μην κοιτάζεται απευθείας στη δέσμη του laser είτε στην ανάκλαση της από το νερό!

ο Μην προσπαθήσετε να μετακινήσετε τον ισχυρό μαγνήτη του Νεοδύμιου!

ο Μην τοποθετήσετε μαγνητικά υλικά κοντά στο μαγνήτη!

ο Κλείνετε το laser όταν δεν το χρησιμοποιείται, η μπαταρία του διαρκεί μόνον 1 h!

Μέρος Α. Ποιοτικό σχήμα της επιφάνειας του νερού (1 μονάδα)

Όταν ένας κυλινδρικός μαγνήτης τοποθετηθεί κάτω από την επιφάνεια του νερού, τότε προκαλείται καμπυλότητα της επιφάνειας του νερού. Παρατηρήστε την καμπυλότητα στην επιφάνεια ακριβώς πάνω από το μαγνήτη βασισμένοι στο προφίλ των ανακλάσεων της δέσμης laser και, με βάση την παρατήρησή σας, αποφασίστε αν το νερό είναι διαμαγνητικό υλικό (δηλαδή υλικό με $\mu < 1$) ή παραμαγνητικό υλικό (δηλαδή υλικό με $\mu > 1$).

Option A	Option B	Option C	Option D
Option E	Option F	Option G	Option H

Γράψτε την σωστή απάντηση στο Φύλο των Απαντήσεων σας συμπληρώνοντας επίσης και την αντίστοιχη ανισότητα $\mu > 1$ ή $\mu < 1$. Για τη συγκεκριμένη απάντηση χρειάζεται μόνο ποιοτική παρατήρηση και όχι ποσοτική με πράξεις.

Μέρος Β. Ακριβές σχήμα της επιφάνειας του νερού (7 μονάδες)

Η καμπυλότητα της επιφάνειας του νερού μπορεί να βρεθεί με μεγάλη ακρίβεια μετρώντας την ανάκλαση της δέσμης του laser στην επιφάνεια. Χρησιμοποιώντας αυτή τη διαδικασία θα

PROBLEM

Problem E1



υπολογίσουμε την επίδραση του βάθους του νερού κατά μήκος της οριζόντιας θέσης πάνω από το μαγνήτη.

i. (1.6 μονάδες) Να μετρήσετε την επίδραση του ύψους $y=f(x)$ της κουκίδας από τη δέσμη laser συναρτήσει της ένδειξης του βερνιέρου x (βλ. σχήμα). Χρησιμοποιήστε όλο το ωφέλιμο εύρος του βερνιέρου. Καταγράψτε τα αποτελέσματα στον πίνακα του Φύλλου Απαντήσεων.

ii. (0.7 μονάδες) Σχεδιάστε την γραφική παράσταση $y=f(x)$.

iii. (0.7 μονάδες) Χρησιμοποιώντας την παραπάνω γραφική παράσταση, προσδιορίστε την γωνία α_0 που σχηματίζει μια ακτίνα της δέσμης του laser και η οριζόντια περιοχή της επιφάνειας του νερού.

Σημειώστε ότι η κλίση ($\epsilon\phi\beta$ ή $\tan\beta$) της επιφάνειας του νερού μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\tan \beta \approx \beta \approx \frac{\cos^2 \alpha_0}{2} \frac{y - y_0 - (x - x_0) \tan \alpha_0}{L_0 + x - x_0}$$

Όπου y_0 είναι το ύψος του ίχνους του laser στην οθόνη όταν η ακτίνα ανακλάται από από την επιφάνεια του νερού κατά τον άξονα του μαγνήτη και x_0 η αντίστοιχη θέση του βερνιέρου.

iv. (1.4 μονάδες) Υπολογίστε τις τιμές της κλίσης και συμπληρώστε τις στον πίνακα του Φύλλου Απαντήσεων σας. Μπορείτε να απλοποιήσετε τους υπολογισμούς σας αν αντικαταστήσετε κάποιους συνδυασμούς όρων της έκφρασης του προηγούμενου βήματος με τιμές που θα πάρετε από την προηγούμενη γραφική παράσταση.

v. (1.6 μονάδες) Υπολογίστε το ύψος της επιφάνειας του νερού σε σχέση με την επιφάνεια του νερού σε σημεία μακριά από το μαγνήτη σαν συνάρτηση της οριζόντιας θέσης x και συμπληρώστε το στον πίνακα του Φύλλου Απαντήσεων.

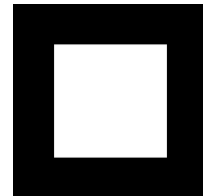
vi. (1 μονάδες) Σχεδιάστε τη γραφική παράσταση της συνάρτησης του προηγούμενου ερωτήματος. Υποδείξτε στο γράφημα αυτό την περιοχή όπου η δέσμη του laser κτυπάει την επιφάνεια του νερού κατευθείαν πάνω από το μαγνήτη.

Μέρος Γ. Μαγνητική διαπερατότητα (2 μονάδες)

Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα του Μέρους Β, υπολογίστε την τιμή του $\mu - 1$, όπου μ η σχετική μαγνητική διαπερατότητα του νερού. Γράψτε την τελική σας σχέση και το αριθμητικό σας αποτέλεσμα στο Φύλο Απαντήσεων.

PROBLEM

Problem E2

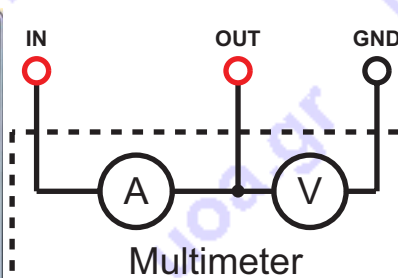


Πρόβλημα E2. Μη γραμμικό Μαύρο Κουτί (10 μονάδες)

Σε απλά προβλήματα, θεωρούμε ότι τα ηλεκτρικά κυκλώματα αποτελούνται από εξαρτήματα με γραμμική απόκριση, εξαρτήματα δηλαδή στα οποία τα ηλεκτρικά μεγέθη είναι ανάλογα το ένα του άλλου. Παραδείγματα τέτοιων εξαρτημάτων είναι η Ωμική Αντίσταση ($V = RI$), η Χωρητικότητα ενός πυκνωτή ($Q = CV$) και η Αυτεπαγωγή ενός πηνίου ($V = LI$), όπου τα μεγέθη R , C και L είναι σταθερές. Σε αυτό το πρόβλημα, όμως, εξετάζουμε ένα κύκλωμα που περιέχει στοιχεία με μη γραμμική απόκριση, κλεισμένα σε ένα «Μαύρο Κουτί», για τα οποία η υπόθεση της γραμμικότητας παύει να ισχύει.

Η **πειραματική διάταξη** αποτελείται από ένα **πολύμετρο** (επιγράφεται ως “IPhO-measure”), μια **πηγή ρεύματος**, ένα **μαύρο κουτί** που περιέχει μη γραμμικά στοιχεία, και τέσσερα καλώδια σύνδεσης, οι ακροδέκτες των οποίων είναι αλληλοσυνδεδεμένοι. Προσέξτε να μην παραβιάσετε τη σφραγίδα του Μαύρου Κουτιού.

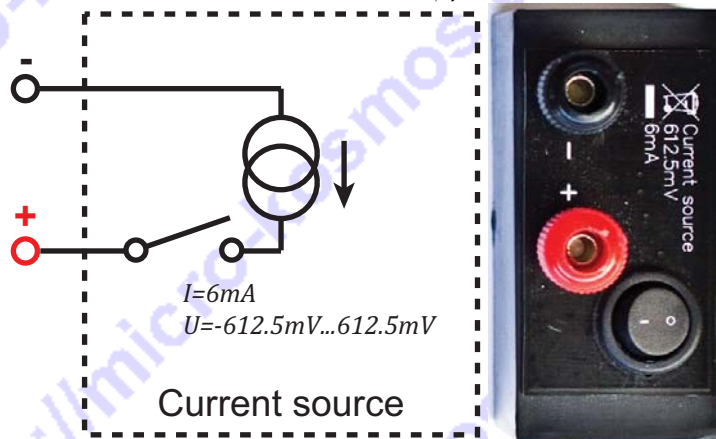
Το πολύμετρο μπορεί να μετρήσει ένταση του ρεύματος και τάση ταυτόχρονα. Μπορείτε να καταγράψετε μέχρι και 2000 μετρήσεις, κάθε μια από τις οποίες περιλαμβάνει: α) την Τάση V , β) την Ένταση I , γ) την Ισχύ $P = IV$, δ) την αντίσταση $R = V/I$, ε) την Παράγωγο $\dot{V}$ της Τάσης V ως προς το χρόνο, στ) την Παράγωγο $\dot{I}$ της Έντασης I ως προς το χρόνο και ζ) το χρόνο t . Δείτε το εγχειρίδιο οδηγιών για λεπτομέρειες. Αν καταγράψετε περισσότερες από 2000 μετρήσεις, οι πιο παλιές θα διαγραφούν.



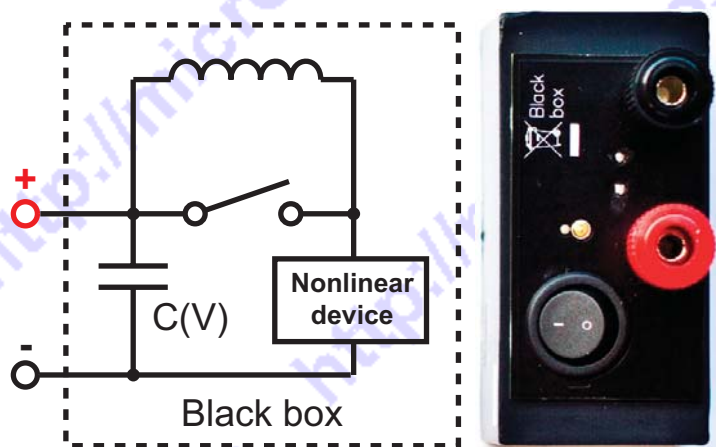
Η Πηγή Συνεχούς Ρεύματος παρέχει ρεύμα σταθερής έντασης με την προϋπόθεση ότι η τάση στα άκρα της κυμαίνεται μεταξύ των τιμών $-0.6125V$ και $0.6125V$. Όταν δε λειτουργεί, η Πηγή Συνεχούς Ρεύματος συμπεριφέρεται σαν μια μεγάλη (πρακτικά άπειρη) αντίσταση.

Το Μαύρο Κουτί περιέχει έναν Πυκνωτή διπλής στρώσης (που είναι ένας ελαφρώς μη γραμμικός πυκνωτής μεγάλης χωρητικότητας), ένα άγνωστο Στοιχείο μη γραμμικής συμπεριφοράς και μια αυτεπαγωγή $L = 10\mu H$ αμελητέας αντίστασης, με δυνατότητα προσθαφαίρεσης από το κύκλωμα με χρήση του διακόπτη, όπως φαίνεται στο σχήμα. Το μη γραμμικό Στοιχείο μπορεί να θεωρηθεί ως

Αντίσταση με μη γραμμική σχέση τάσης-έντασης [η ένταση I είναι συνεχής συνάρτηση του χρόνου με $I(0) = 0$]. Αντίστοιχα, η (διαφορική) χωρητικότητα του πυκνωτή $C(V) = dQ/dV$ δεν είναι εντελώς σταθερή.



Θεωρούμε την τάση του μαύρου κουτιού θετική όταν το δυναμικό του κόκκινου ακροδέκτη είναι υψηλότερο από το δυναμικό του μαύρου. Θετική τάση επιτυγχάνεται όταν συνδέονται οι ομόχρωμοι ακροδέκτες μαύρου κουτιού και πηγής ρεύματος (επιτρέπεται να χρησιμοποιήσετε αρνητικές τάσεις).



Ο πυκνωτής στο Μαύρο Κουτί μπορεί με ασφάλεια να εκφορτιστεί είτε βραχυκυκλώνοντας τα άκρα του, ή συνδέοντάς τον στους ακροδέκτες IN και OUT του πολύμετρου: η εσωτερική αντίσταση του πυκνωτή είναι αρκετά μεγάλη ώστε να μην προκληθεί ζημιά εξ αιτίας του ρεύματος.

Δεν σας ζητείται να υπολογίσετε οποιαδήποτε σφάλματα σε αυτό το πρόβλημα.

Μέρος Α. Κύκλωμα χωρίς επαγωγή (7 μονάδες)

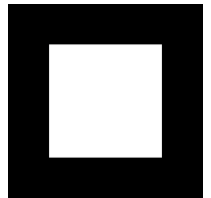
Στο Μέρος αυτό, κλείστε το διακόπτη του Μαύρου Κουτιού (πιέζοντας το “I”), για να απομονώσετε το πηνίο.

Παρακαλώ λάβετε υπόψη σας ότι μερικές από τις μετρήσεις είναι ιδιαίτερα χρονοβόρες, συνεπώς κρίνεται σκόπιμο να διαβάσετε όλα τα πειραματικά βήματα που πρέπει να εκτελέσετε στο Μέρος Α για να αποφύγετε άσκοπο κόπο.

i. (1 μονάδα) Επιβεβαιώστε ότι το ρεύμα εξόδου της Πηγής είναι περίπου $6mA$ και προσδιορίστε το εύρος

PROBLEM

Problem E2



τιμών του για τιμές τάσης από 0 ως 480 mV. Σχεδιάστε τις συνδέσεις του κυκλώματος.

ii. (1.2 μονάδες) Δείξτε ότι η (διαφορική) χωρητικότητα $C(V)$ του Μαύρου Κουτιού είναι περίπου $2F$ μετρώντας την τιμή της για μια τιμή της τάσης δικής σας επιλογής $C(V_0) = C_0$. Σχεδιάστε τις συνδέσεις του κυκλώματος.

iii. (2.2 μονάδες) Αγνοώντας τη μη γραμμική συμπεριφορά της χωρητικότητας $[C(V) \approx C_0]$, προσδιορίστε τη χαρακτηριστική καμπύλη έντασης-τάσης του μη γραμμικού στοιχείου του Μαύρου Κουτιού. Στο Φύλλο Απαντήσεων σχεδιάστε την καμπύλη $I(V)$ για μετρήσιμες τιμές θετικής τάσης στο Μαύρο Κουτί. Σχεδιάστε τις συνδέσεις του κυκλώματος.

iv. (2.6 μονάδες) Χρησιμοποιώντας πειραματικές τιμές από όλο το εύρος μετρήσιμων τιμών, βρείτε και σχεδιάστε την καμπύλη $C(V)$ για μετρήσιμες θετικές τιμές τάσης του Μαύρου Κουτιού. Γράψτε τις ακραίες τιμές της

(διαφορικής) χωρητικότητας $C_{\min}$, $C_{\max}$. Σχεδιάστε τις συνδέσεις του κυκλώματος.

Μέρος Β. Κύκλωμα με επαγωγή (3 μονάδες)

Συμπεριλάβετε την αυτεπαγωγή στο κύκλωμα ανοίγοντας το διακόπτη του Μαύρου Κουτιού (πιέζοντας το "0"). Χρησιμοποιώντας μέθοδο ίδια με αυτή του ερωτήματος A-iii, μετρήστε και σχεδιάστε τη χαρακτηριστική καμπύλη έντασης-τάσης του μη γραμμικού στοιχείου. Περιγράψτε τις όποιες σημαντικές διαφορές μεταξύ των γραφημάτων των Μερών Α και Β και προτείνετε μια εξήγηση γι' αυτές, χρησιμοποιώντας ποιοτικά επιχειρήματα.

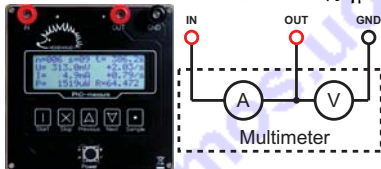
Σημείωση: θα πρέπει να γνωρίζετε ότι το μη γραμμικό στοιχείο έχει στην πραγματικότητα μια δεύτερη χωρητικότητα (περίπου 1 nF), η οποία είναι παράλληλα συνδεδεμένη με τη μη γραμμική Αντίσταση.

IPhO-measure: Σύντομο Εγχειρίδιο Χρήσης.

Η συσκευή IPhO-measure είναι ένα πολύμετρο ικανό να μετρά ταυτόχρονα τάση V και ένταση I . Καταγράφει επίσης τις τιμές της παραγώγου της τάσης V και της έντασης I ως προς το χρόνο t , οι οποίες συμβολίζονται με $\dot{V}$ και $\dot{I}$ αντίστοιχα, το γινόμενο τους $P = VI$, το λόγο τους $R = V/I$, και τη χρονική στιγμή t της μέτρησης. Οι αποθηκευμένες μετρήσεις ομαδοποιούνται σε ξεχωριστά Σύνολα. Κάθε αποθηκευμένο δείγμα αριθμείται βάσει του αριθμού s του συνόλου στο οποίο ανήκει (S) και της τιμής ενός μετρητή (n) εντός του συνόλου. Όλες οι μετρήσεις καταγράφονται σε μια εσωτερική μνήμη flash και μπορούν να ανακτηθούν και να παρουσιαστούν στην οθόνη αργότερα.

Ηλεκτρική συμπεριφορά

Η συσκευή συμπεριφέρεται σαν ένα αμπερόμετρο και ένα βολτόμετρο που συνδέονται όπως στο σχήμα.



	Εύρος	Εσωτερική Αντίσταση
Βολτόμετρο	0...2 V	1 MΩ
Βολτόμετρο	2...10 V	57 kΩ
Αμπερόμετρο	0...1 A	1 Ω

Βασική χρήση

• Πιέστε το διακόπτη "POWER" για να θέσετε το IPhO-measure σε λειτουργία. Σε αυτή τη φάση η συσκευή δεν πραγματοποιεί μετρήσεις. Για να ξεκινήσει η μετρητική διαδικασία πατήστε "START". Εναλλακτικά, στη φάση

αυτή μπορείτε να ανακτήσετε προηγούμενες μετρήσεις σας (βλ. παρακάτω).

- Για να ανακτήσετε αποθηκευμένα σύνολα μετρήσεων πατήστε "PREVIOUS" ή "NEXT". Πατώντας παρατεταμένα μεταβαίνετε από ένα σύνολο σε άλλο.

- Σε φάση που η συσκευή δεν καταγράφει μετρήσεις πιέστε το "START" για να αρχίσει η καταγραφή ενός νέου Συνόλου.

- Σε φάση που η συσκευή καταγράφει μετρήσεις πιέστε "SAMPLE" για να αποθηκεύσετε ένα σύνολο δεδομένων (δηλ. τις τρέχουσες τιμές).

- Σε φάση που η συσκευή καταγράφει μετρήσεις, μπορείτε να εμφανίσετε άλλα σύνολα μετρήσεων του τρέχοντος συνόλου, πατώντας "PREVIOUS" ή "NEXT".

- Πατήστε "STOP" για να ολοκληρώσετε ένα σύνολο και να σταματήσετε τις μετρήσεις. Η συσκευή είναι ακόμη σε λειτουργία, οπότε μπορείτε είτε να ξεκινήσετε καινούργια μέτρηση, ή να ανακτήσετε αποθηκευμένες μετρήσεις.

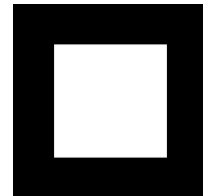
- Πατώντας "POWER" θέτετε τη συσκευή εκτός λειτουργίας. Στην οθόνη θα εμφανιστεί το κείμενο "my mind is going...". Δε χρειάζεται να ανησυχήσετε! Όλες οι μετρήσεις σας θα αποθηκευθούν και θα μπορείτε να τις ανακτήσετε ξαναθέτοντας τη συσκευή σε λειτουργία. Τα αποθηκευμένα δείγματα δε διαγράφονται.

PROBLEM

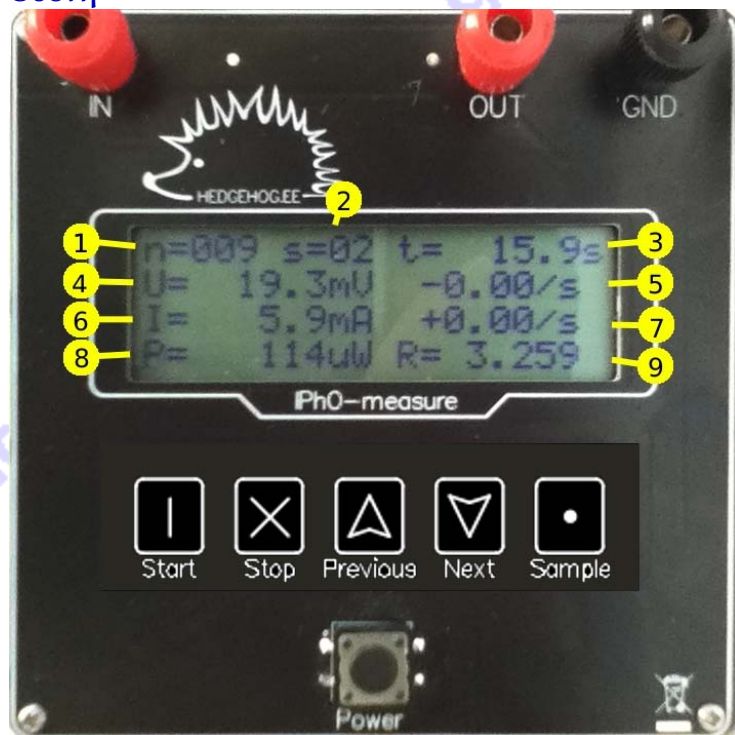
Problem E2



IPhO
Estonia 2012



Οθόνη



Το απεικονιζόμενο δείγμα αποτελείται από εννέα μεταβλητές:

1. Αύξων Αριθμός n του δείγματος στο σύνολο,
2. Αύξων Αριθμός s του συνόλου,
3. Χρονική στιγμή t από την έναρξη του συνόλου,
4. Ένδειξη βολτομέτρου V ,
5. Ρυθμός μεταβολής της τάσης V (η χρονική παράγωγος V). Αν η παράγωγος δε μπορεί να υπολογιστεί αξιόπιστα λόγω διακυμάνσεων, εμφανίζεται η ένδειξη "+nan/s",
6. Ένδειξη αμπερομέτρου I ,
7. Ρυθμός μεταβολής της έντασης I (η χρονική παράγωγος I). Αν η παράγωγος δε μπορεί να υπολογιστεί αξιόπιστα λόγω διακυμάνσεων, εμφανίζεται η ένδειξη "+nan/s",
8. Γινόμενο $P = VI$,
9. Λόγος $R = V/I$.

Αν κάποια τιμή βρίσκεται εκτός του επιτρεπόμενου εύρους, εμφανίζεται η ένδειξη "+inf" or "-inf".

The 43rd International Physics Olympiad — July 2012

Grading scheme: Experiment

General rules This grading scheme describes the number of points allotted for the design of the experiments, measurements, plotting, and formulae used for calculations. In the case of a formula, points are allotted for each term entering it. If a certain term of a useful formula is written incorrectly, 0.1 is subtracted for a minor mistake (eg. missing non-dimensional factor); no mark is given if the mistake is major (with non-matching dimensionality). Points for the data measurements and calculations are not given automatically: the data which are clearly wrong are not credited.

If the numerical data miss units, but the units can be

guessed, 25% of points will be subtracted for the corresponding line in this grading scheme (rounded to one decimal place). The same rule applies if there is a typo with units with a missing or redundant prefactor (milli-, micro-, etc); no mark is given if the mistake is dimensional (e.g. Ampere instead of Volt).

No penalty is applied in these cases when a mistake is clearly just a rewriting typo (i.e. when there is no mistake in the draft).

No penalty is applied for propagating errors unless the calculations are significantly simplified (in which case mathematical calculations are credited partially, according to the degree of simplification, with marking granularity of 0.1 pts).

PROBLEM

Problem E1



Problem E1. The magnetic permeability of water (10 points)

Part A. Qualitative shape of the water surface (1 points)

Correct choice (B or D) — 0.5 pts;

Correct sign ($\mu < 1$) — 0.5 pts;

Part B. Exact shape of the water surface (7 points)

i. (1.6 pts) Data

Sufficient number of reasonably accurate ± 2 mm

data points: $(n - 9)/10$ pts but ≥ 0 and ≤ 0.9 — ≤ 0.9 pts;

(-0.1 if there is a sign error throughout the whole measurements)

Sufficient range of horizontal displacements: $(x - 45 \text{ mm})/50$

rounded to one decimal but ≥ 0 and ≤ 0.7 — ≤ 0.7 pts.

ii. (0.7 pts) Graph

Axes supplied with units — 0.1 pts;

Data points correctly plotted — 0.4 pts;

(each clearly wrong point on graph: -0.1 pt down to total 0)

More densely spaced data points

in the regions of fast change — 0.2 pts.

iii. (0.7 pts) Angle ($\approx 38^\circ$)

Idea: using the flat regions

far from the magnet — 0.5 pts

if the central part of the magnet is used: 0.1

Correct value: $\pm 5^\circ / \pm 10^\circ / > 10^\circ$ — 0.2/0.1/0 pts;

iv. (1.4 pts) Calculated table

According to the number of correctly calculated data points: (no marks if not obtained from the experimental data)

$0.1n$ up to $n = 10$;

$1 + 0.05(n - 10)$ rounded down one decimal place for $n > 10$ (but ≤ 1.4);

v. (1.6 pts) Height profile

Idea of calculation: integration of surface slope — 0.7 pts

(if not stated but used correctly: full marks)

Δx multiplied by mean slope at that interval — 0.3 pts

For n correctly calculated data points: — $n/30$ pts
(but no more than 0.6; rounded down to one decimal place).

vi. (1 pt) Graph

Units on axes — 0.1 pts

Data points correctly plotted — 0.4 pts

(each clearly wrong point on graph: -0.1 pt down to total 0)

Correct qualitative shape: height difference

in wings less than the 20% of maximum variation) — 0.1 pts

flat central region: the water level height variation in the region spanning ± 10 mm around the magnet's axis

is less than $20 \mu\text{m}$) — 0.2 pts

Magnet indicated correctly: (width $24 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$) — 0.1 pts

symmetrically positioned — 0.1 pts

Part C. Magnetic permeability (2 points)

Concept of equipotentiality — 0.8 pts

Formula correctly includes magnetic energy — 0.4 pts

Formula correctly includes gravitational energy — 0.2 pts

height at the middle corrected for the integration error — 0.2 pts

Value calculated correctly from the existing data — 0.1 pts

Value: magnitude correct within 50% — 0.2 pts

correct sign — 0.1 pts

PROBLEM

Problem E2



Problem E2. Nonlinear Black Box (10 points)

Part A. Circuit without inductance (7 points)

Typical $I(V)$ and $C(V)$ curves can be found in solutions file and sample filled-in answer sheets. Because $I(V)$ and $C(V)$ curves shape, typical capacitance, I_0 and $V_{\max}$ varies a bit from one setup to another, reference curves for particular setup can be acquired for grading when deemed necessary.

For each question, if the position of the switches on the circuit diagram is not indicated, take -0.1 pts from the marks for the circuit.

i. (1 pt)

Correct circuit — 0.3 pts

Measurements that cover 0 V to 480 mV — 0.3 pts

Correct value $I_{\min}$ (± 0.4 mA) — 0.2 pts

Correct value $I_{\max}$ (± 0.4 mA) — 0.2 pts

(unless only one data point)

In case of (single) measurement without the black box:

Circuit diagram — 0.1 pts

Measurement with the correct result — 0.1 pts

If only $I_{\min}$, $I_{\max}$ together with a correct scheme documented, 0.7 pts in total; if only $I_{\min}$, $I_{\max}$, 0 pts in total; if a scheme without the black box and a single I measurement, 0.2 pts in total.

ii. (1.2 pts) Measuring C_0 at $V = 0$

Correct circuit — 0.2 pts

(-0.1 for measuring voltage on ammeter + black box)

(-0.1 for wrong polarity of the black box)

Realising that $I_c = C_0 \dot{V}$ — 0.2 pts

Using the fact that $I_c = I_0$ when $V = 0$ — 0.2 pts

Correct result — 0.2 pts

-0.1 for error between $\pm 30\%$ and $\pm 50\%$

linear extrapolation to obtain $\dot{V}$ at $V = 0$ — 0.4 pts

Alternatively instead of the last line

Three or more measurements — 0.2 pts

Precharging the capacitor to a negative voltage — 0.2 pts

Alternate solution C_0 at $V_{\max}$

Correct circuit — 0.2 pts

(-0.1 for measuring voltage on ammeter + black box)

Realising that $I_c = C_0 \dot{V}$ — 0.2 pts

Using the fact that $I_c = -I_0$ when $V = V_{\max}$ — 0.2 pts

Correct result — 0.1 pts

linear extrapolation to obtain $\dot{V}$ at $V = V_{\max}$ — 0.2 pts

Three or more measurements — 0.2 pts

iii. (2.2 pts) For method:

If charging the capacitor:

Correct circuit — 0.2 pts

(-0.1 for measuring voltage on ammeter + black box)

(-0.1 for wrong polarity of the black box)

Realising that $I(V) = I_0 - C_0 \dot{V}_{\uparrow}$ — 0.2 pts

If discharging the capacitor:

Correct circuit (there are several) — 0.2 pts

(-0.1 for wrong polarity of the black box)

Realising that $I(V) = -C_0 \dot{V}_{\downarrow}$ — 0.2 pts

For measurements:

Total # of data correct data points

$10 \leq n < 15$; $15 \leq n < 20$; $n \geq 20$ — 0.1/0.2/0.3 pts

Additionally for correct data points:

In range 0mV - 80mV at least 4/5 data pts — 0.1/0.2 pts

In range 80mV - 200mV at least 4/5 data pts — 0.1/0.2 pts

In range 200mV - 400mV at least 3 data pts — 0.1 pts

In range 400mV - 550mV at least 4/5 data pts — 0.1/0.2 pts

For plotting:

Units on axes — 0.1 pts

Data points correctly plotted — 0.4 pts

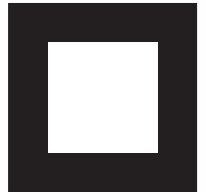
(each clearly wrong point on graph: -0.1 pt down to total 0)

Correct qualitative shape — 0.3 pts

(single maximum, single minimum with flat bottom, followed by fast rise)

PROBLEM

Problem E2



iv. (2.6 pts)

Correct circuit — 0.2 pts

(-0.1 for measuring voltage on ammeter + black box)

(-0.1 for wrong polarity of the black box)

Idea to use the reverse cycle to pt iii — 0.4 pts

Writing the lin. eq for finding $C(V)$ — 0.4 pts

(No pts if only one Eq.)

Expressing from there $C(V)$ — 0.1 pts

Idea to use the same voltages for both cycles — 0.4 pts
(0.3 pts if intermediate values read from graph)

For plotting:

Units on axes — 0.1 pts

Data points correctly plotted — 0.4 pts

(each clearly wrong point on graph: -0.1 pt down to total 0)

For correct data points:

In range 0mV - 80mV at least 4 data pts — 0.1 pts

In range 80mV - 200mV at least 4 data pts — 0.1 pts

In range 200mV - 400mV at least 3 data pts — 0.1 pts

In range 400mV - 550mV at least 4 data pts — 0.1 pts

For finding $C_{\max}$ and $C_{\min}$:

Finding reasonable $C_{\max}$ — 0.1 pts

Finding reasonable $C_{\min}$ — 0.1 pts

Part B. Circuit with inductance (3 points)

For correct data points:

In range 0mV - 80mV at least 4 data pts — 0.1 pts

In range 80mV - 200mV at least 4 data pts — 0.1 pts

In range 200mV - 400mV at least 3 data pts — 0.1 pts

In range 400mV - 550mV at least 4 data pts — 0.1 pts

For plotting:

Units on axes — 0.1 pts

Data points correctly plotted — 0.4 pts

(each clearly wrong point on graph: -0.1 pt down to total 0)

Correct qualitative shape — 0.3 pts

(two sharp falls, plateau in between)

For detecting differences:

Correct range for V : — 0.2 pts

Correct cond. for $I(V)$ — 0.5 pts

Noting that we have now LC -circuit — 0.2 pts

Noting that neg. resist. $\rightarrow$ instability — 0.4 pts

(or something equivalent)

Mentioning emergence of oscillations — 0.2 pts

Noting that $I(V)$ is the average current — 0.3 pts

PROBLEM

Problem E1



Problem E1. The magnetic permeability of water (10 points)

Part A. Qualitative shape of the water surface (1 points)

Observing reflections from the water surface (in particular, those of straight lines, such as the edge of a sheet of paper), it is easy to see that the profile has one minimum and has a relatively flat bottom, ie. the correct answer is “Option D” (full marks are given also for Option B). This profile implies that water is pushed away from the magnet, which means $\mu < 1$ (recall that ferromagnets with $\mu > 1$ are pulled).

Part B. Exact shape of the water surface (7 points)

i. (1.6 pts) The height of the spot on the screen y is tabulated below as a function of the horizontal position x of the caliper. Note that the values of y in millimetres can be rounded to integers (this series of measurements aimed as high as possible precision).

x (mm)	10	15	20	25	30	32	34	36
y (mm)	11.5	15.6	19.8	24.3	30.2	33.2	37.2	40.5
x (mm)	38	40	42	44	46	48	50	52
y (mm)	42.2	41.4	40.3	40.3	40.8	42	43.2	44.4
x (mm)	54	56	58	60	62	64	66	68
y (mm)	45.3	45.8	45.4	44.4	43.6	46.2	50	53.6
x (mm)	70	72	74	76	78	80	85	90
y (mm)	56.7	59.5	61.6	63.5	65.3	67	70.9	74.9

ii. (0.7 pts)



On this graph, the data of two different water levels are depicted; blue curve corresponds to a water depth of *ca* 2 mm (data given in the table above); the violet one — to 1 mm.

iii. (0.5 pts) If the water surface were flat, the dependence of x on y would be linear, and the tangent of the angle α_0 would be given by $\tan \alpha_0 = \frac{\Delta y}{\Delta x}$, where Δx is a horizontal displacement of the pointer, and Δy — the respective displacement of the spot height. For the extreme positions of the pointer, the beam hits the water surface so far from the magnet that there, the surface

is essentially unperturbed; connecting the respective points on the graph, we obtain a line corresponding to a flat water surface — the red line. Using these two extreme data points we can also easily calculate the angle $\alpha_0 = \arctan \frac{74.9-11.5}{90-10} \approx 38^\circ$.

iv. (1.4 pts) For faster calculations, $y - y_0 - (x - x_0) \tan \alpha_0$ (appearing in the formula given) can be read from the previous graph as the distance between red and blue line; the red line is given by equation $y_r = y_0 + (x - x_0) \tan \alpha_0$. One can also precalculate $\frac{1}{2} \cos^2 \alpha_0 \approx 0.31$. The calculations lead to the following table (with $z = \tan \beta \cdot 10^5$; as mentioned above, during the competition, lesser precision with two significant numbers is sufficient).

x (mm)	10	15	20	25	30	32	34	36
z	0	10	27	66	204	303	473	591
x (mm)	38	40	42	44	46	48	50	52
z	597	428	239	128	53	26	0	-26
x (mm)	54	56	58	60	62	64	66	68
z	-72	-145	-278	-449	-606	-536	-388	-254
x (mm)	70	72	74	76	78	80	85	90
z	-154	-74	-40	-20	-6	2	-2	0

PROBLEM

Problem E1



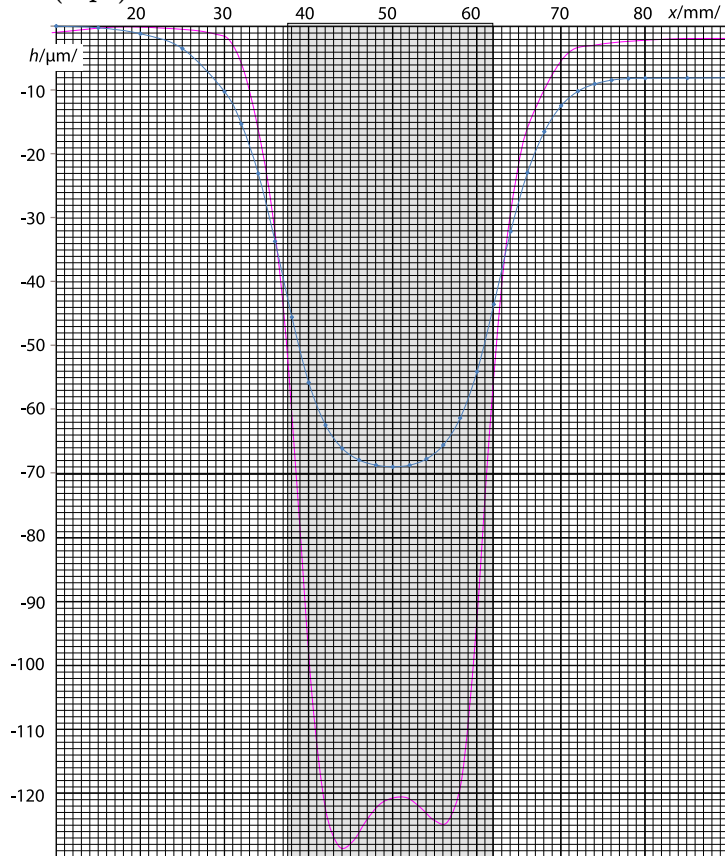
v. (1.6 pts) The water height can be obtained as the integral $h = \int \tan \beta dx$. Thus, we calculate the water height row-by-row, by adding to the height in the previous row the product of the horizontal displacement $x_{i+1} - x_i$ with the average slope $\frac{1}{2}(\tan \beta_{i+1} + \tan \beta_i)$.

x (mm)	10	15	20	25	30	32	34	36
$-h$ (μm)	0	0	1	4	10	15	23	34
x (mm)	38	40	42	44	46	48	50	52
$-h$ (μm)	46	56	63	66	68	69	69	69
x (mm)	54	56	58	60	62	64	66	68
$-h$ (μm)	68	66	61	54	44	32	23	17
x (mm)	70	72	74	76	78	80	85	90
$-h$ (μm)	12	10	9	8	8	8	8	8

Note that the water level height at the end of the table should be also 0 (this corresponds also to an unperturbed region); the non-zero result is explained by the measurement uncertainties. One can improve the result by subtracting from h a linear trend $8 \mu\text{m} \cdot \frac{x - 10 \text{ mm}}{80 \text{ mm}}$.

If the water level above the magnet is 1 mm, the water level descends below its unperturbed level at the axis of the magnet by ca $120 \mu\text{m}$.

vi. (1 pt)



Similarly to the previous figure, blue curve corresponds to a water depth of ca 2 mm, (data given in the table above), and the violet one — to 1 mm.

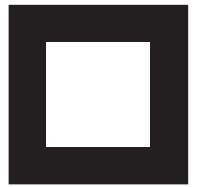
The position of the magnet can be found by measuring the caliper (find the positions when the laser beam hits the edges of the magnet and determine the distance between these positions — the result is ca 24 mm), and using the symmetry: magnet is placed symmetrically with respect to the surface elevation curve.

Part C. Magnetic permeability (2 points)

Water surface takes an equipotential shape; for a unit volume of water, the potential energy associated with the magnetic interaction is $\frac{B^2}{2\mu_0}(\mu^{-1} - 1) \approx B^2 \frac{1-\mu}{2\mu_0}$; the potential energy associated with the Earth's gravity is ρgh . At the water surface, the sum of those two needs to be constant; for a point at unperturbed surface, this expression equals to zero, so $B^2 \frac{\mu-1}{2\mu_0} + \rho gh = 0$ and hence, $\mu - 1 = 2\mu_0 \rho gh / B^2$. Here, $h = 120 \mu\text{m}$ stands for the depth of the water surface at the axis of the magnet; note that we have compensated the cumulative error as described at the end of the previous task and obtained h as the difference between the depth at the magnet's axis ($121 \mu\text{m}$) and the half-depth at the right-hand-side of the graph ($1 \mu\text{m}$). Putting in the numbers, we obtain $\mu - 1 = -1.2 \times 10^{-5}$.

PROBLEM

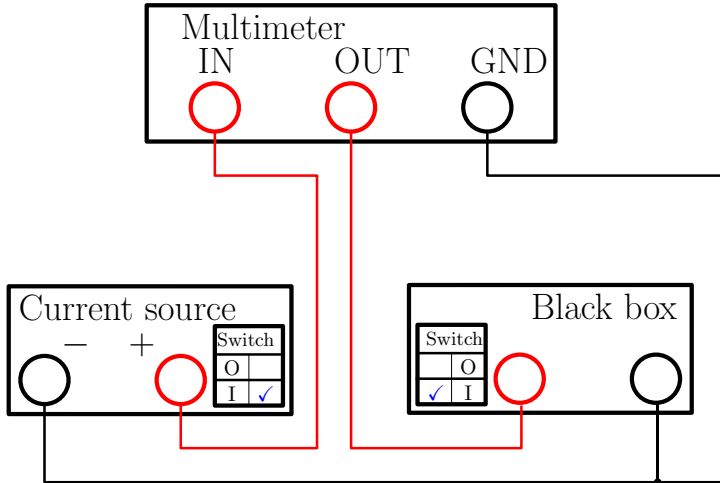
Problem E2



Problem E2. Nonlinear Black Box (10 points)

Part A. Circuit without inductance (7 points)

It is possible to make all the measurements needed for this problem with a single circuit as shown in the figure. While the current source is switched on, we are charging the capacitor in the black box, until the current $I(V_{\max})$ through the nonlinear element equals to the output current I_0 of the current source. $V_{\max} = 540 \pm 40$ mVs varies from one experimental setup to another. When the current source is switched off or disconnected, the capacitor will discharge through the nonlinear element.



i. (1 pt) During charging of the capacitor from $V = 0$ to $V = V_{\max}$ we note that the output of the current source is constant ($I_0 = 6.0$ mA) close to the precision of the multimeter.

ii. (1.2 pts) Using the definition of differential capacitance, we can calculate the current through the capacitor in the black box from the time derivative of the voltage on the black box.

$$I_c = \frac{dQ}{dt} = \frac{dQ}{dV} \frac{dV}{dt} = C(V) \dot{V}$$

There are several ways to determine the capacitance used in the black box based on chosen voltage.

- When the voltage on the black box is close to zero, the current through the nonlinear element is also close to zero, because $I(V = 0) = 0$. After switching the current source on, most of the input current I_0 will at first go through the capacitor.

$$C_0 = I_0 / \dot{V}_{\uparrow}(V = 0)$$

This can be measured more precisely after first reversing the polarity of the current source and charging the capacitor backwards, because the multimeter does not display derivatives when they change sharply (as in few moments after switching the current source on).

Example measurements taken this way follow.

$\dot{V}_{\uparrow}(0)$ (mV/s)	3.51	3.32	3.55
C_0 (F)	1.71	1.81	1.69

$$C_0 = 1.74 \text{ F}$$

- When the voltage on the black box is $V_{\max}$, the current through the nonlinear element is I_0 . Switching the current source off, we will have the capacitor discharging with the same current.

$$C_0 = -I_0 / \dot{V}_{\downarrow}(V = V_{\max})$$

- We can also measure the capacitance for any intermediate voltage as in A-iv.

iii. (2.2 pts) If we neglect the nonlinearity of the capacitor, there are (at least) two ways to obtain the current–voltage characteristic of the nonlinear element in the black box.

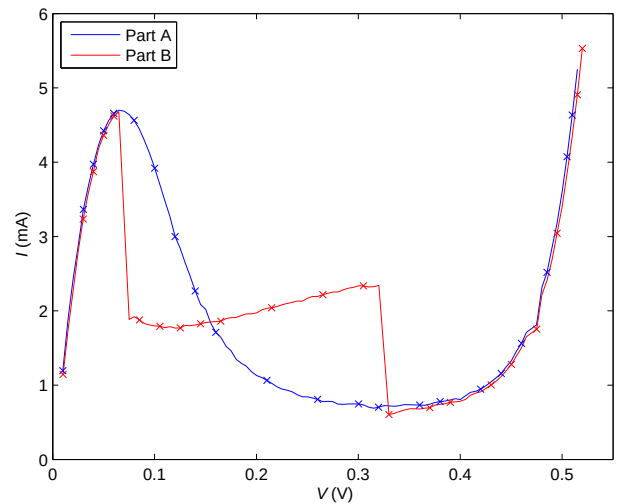
- Applying Kirchhoff's I law to the charging capacitor,

$$I(V) = I_c - C_0 \dot{V}_{\uparrow}(V).$$

An $I(V)$ characteristic obtained by charging the capacitor is shown on the following figure.

- Applying Kirchhoff I law to the discharging capacitor,

$$I(V) = -C_0 \dot{V}_{\downarrow}(V).$$



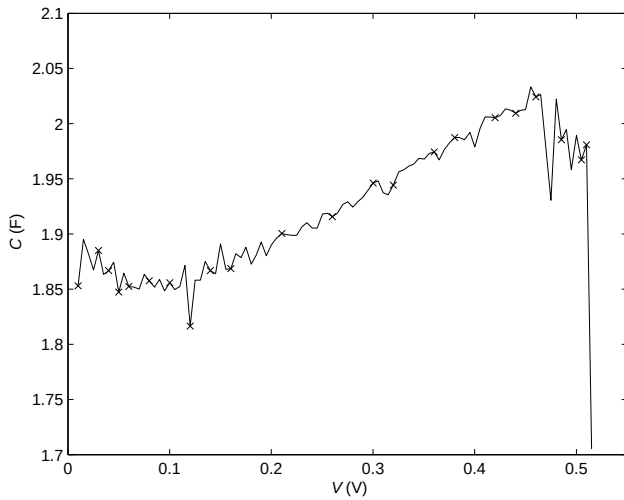
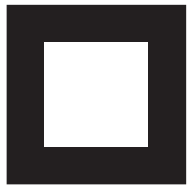
iv. (2.6 pts) In order to obtain the differential capacitance, we solve a system of linear equations by eliminating $I(V)$:

$$\begin{cases} I_0 = \dot{V}_{\uparrow} C(V) + I(V) \\ I(V) = -\dot{V}_{\downarrow} C(V); \end{cases} \implies C(V) = \frac{I_0}{\dot{V}_{\uparrow} - \dot{V}_{\downarrow}}.$$

Therefore we need to take measurements during both charging and discharging the capacitor in the black box at the same voltages. A graph of measurement results follows.

PROBLEM

Problem E2



Part B. Circuit with inductance (3 points)

Measuring and plotting the current–voltage characteristic of the nonlinear element in the same way as in part **A-iii**, we obtain a graph that differs only in the negative differential resistance ($I'(V) < 0$) region, in our case $70\text{ mV} < V < 330\text{ mV}$. This is the region where, when we look at small-signal oscillations, the nonlinear element behaves as a negative-valued Ohmic resistance. After enabling the inductance we have a LC circuit whose oscillations are amplified (instead of being dampened) by the negative differential resistance. Because the resonant frequency $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC_p}} \sim 30\text{ MHz}$ (with C_p being the capacitance of the nonlinear element) is high, we actually measure the average current through the nonlinear element, while the real current oscillates all over the region of negative differential resistance.