

43. Nemzetközi Fizikai Diákolimpia — Kísérleti verseny

Tartu, Észtország — 2012. július 19., csütörtök

- A verseny 5 óráig tart. 2 feladatot kell megoldanod, amire összesen 20 pontot kaphatsz. Két asztal van a mérőhelyeden (két szomszédos kockában), az egyik asztalon az E1. feladat eszközei, a másik asztalon az E2. feladat eszközei. Szabadon mozoghatsz a két asztal között, **azonban nem viheted át a mérési eszközök egyetlen elemét se egyik asztalról a másikra.**
- Kezdetben az egyik mérőeszköz az egyik asztalon le van takarva, a másik pedig a másik asztalon egy dobozban van. **Tilos levenned a takarást vagy kinyitnod a dobozt a verseny kezdetét jelző sípszó előtt (három rövid jel).**
- **Nem szabad elhagynod a munkahelyedet engedély nélkül.** Ha szükséged van bármilyen segítségre (elromlott a számológéped, WC-re szeretnél menni, stb.), emeld fel a helyeden található megfelelő hosszúnyelű zászlót („HELP” or „TOILET”) a helyedet körülvevő fal fölé, és tartsd úgy, amíg a szervezők odaérnek.
- Csak a papír egyik oldalára írd!
- Minden feladathoz vannak **hozzátartozó megoldás lapok (Solution Sheets)** (lásd a fejlécben a számokat és a piktogramokat). Megoldásodat a megfelelő megoldás lapokra (Solution Sheets) írd! A megoldás lapok (Solution Sheets) minden feladathoz számozva vannak; használd a lapokat a számozásnak megfelelően. **Mindig jeleld meg, hogy melyik feladat részzel (Problem Part) és kérdéssel (Question) foglalkozol!** A végső megoldásodat másold át a **válaszlapok (Answer Sheets)** megfelelő részére. Ezen kívül vannak **üres (Draft)** lapok; ezekre írd azt, amit nem akarsz, hogy értékeljenek. Ha a megoldás lapokra (Solution Sheets) olyat írtál, amit mégsem akarsz, hogy értékeljenek (például próbálkozás, vagy rossz megoldás) húzd egyszerűen át!
- Ha egy adott problémához még több papírra van szükséged, emeld fel a „HELP” zászlót, és mond meg a rendezőknek a feladat számát; ekkor két megoldás lapot (Solution sheets) kapsz (de ezt többször is megismételheted).
- **Csak annyi szöveget használj, amennyi feltétlen szükséges:** a megoldásodban elsősorban egyenleteket, számokat, táblázatokat, szimbólumokat és grafikonokat használj!
- Kerülj el minden felesleges mozgást a mérés során, és ne rázd a dobozod falát! A lézeres méréshez nyugalom kell.
- Ne nézz bele a direkt vagy visszavert lézerefénybe! Károsíthatja a szemed.
- Az első szimpla hangjelzés arra figyelmeztet, hogy 30 perced van hátra, a második dupla hangjelzéskor 5 perced van hátra, a harmadik hármas hangjelzéskor vége a versenynek. **A harmadik hangjelzés után azonnal be kell fejezned a munkát!** Tegyé be minden lapot az asztalon lévő borítékba. **A teremből semmilyen lapot nem vihetsz ki.** Ha hamarabb kész vagy, és be szeretnéd adni a megoldásodat, emeld fel a zászlódat.

PROBLEM

Problem E1

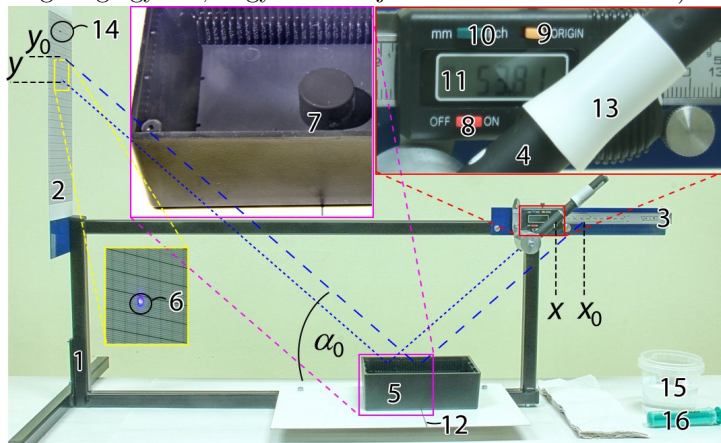


E1. feladat A víz mágneses permeabilitása (10 pont)

A mágneses tér hatása a legtöbb anyagra (a ferromágnesek kivételével) nagyon gyenge. Ennek oka, hogy a μ relatív permeabilitással rendelkező anyagokban a mágneses mező energiasűrűségét a $w = \frac{1}{2\mu\mu_0} B^2$ formula adja meg, ahol μ tipikusan 1-hez nagyon közeli szám. Alkalmos kísérleti technikával azonban ezek a hatások mégis mérhetők. Ebben a feladatban egy neodímium állandó mágnes keltette mágneses mező hatását vizsgáljuk vízre, az eredményekből pedig meghatározzuk a víz mágneses permeabilitását. **Ebben a feladatban nem kell semmilyen hibabecslést végezned, és a felületi feszültség hatását sem kell figyelembe vened!**

Az összeállítás részei: **1** állvány (a kiemelt számok megfelelnek az ábrán jelzett számoknak), **3** digitális tolómérő, **4** lézerceruza, **5** vízzel telt edény és benne **7** egy hengeres állandó mágnes (tengelyirányú mágnesezettséggel). Az edény a mágnes segítségével az állvány talapzatára van tapasztva. A lézer a tolómérőhöz van rögzítve, utóbbi nyele pedig az állványhoz van erősítve; így a tolómérővel a lézer vízszintesen mozgatható. A lézerceruza ki-bekapcsoló gombja a **13** fehér, csónakakúp alakú csővel tartható lenyomva. A mágnes fölötti víz mélységét célszerű kb. 1 mm-re választanod (ha sekélyebb, a vízfelszín olyan mértékben görbül, hogy nehezzé válik az ernyőn a leolvasás)! A vízszint beállítására **15** egy pohárka víz és **16** egy fecskendő használható (a vízszint 1 mm-rel való növeléséhez 13 ml víz hozzáadása szükséges). Az állvány függőleges lemezére **14** kis mágnesrudacskával egy **2** milliméterpapír (az „ernyő”) van rögzítve. Ha a lézervolt az ernyőn elmosódottá válik, nézd meg, nincs-e szennyeződés a víz felszínén (és fújd el onnan)!

Az ábrán szereplő egyéb jelölések: **6** a lézervolt az ernyőn; **11** a tolómérő LCD-kijelzője, **10** a tolómérő egységváltó nyomógombja, mellyel válthatsz milliméter és inch között; **8** ki-bekapcsoló; **9** a tolómérő origóját beállító gomb. A lézerceruza takarásában található még egy gomb a tolómérőn, ami átmenetileg átállítja az origót (ha véletlenül megnyomod, nyomd meg még egyszer, hogy visszaálljon normál mérési módra!).



Numerikus adatok a számolásaidhoz: A mágnes középpontja és az ernyő közötti vízszintes távolság $L_0 = 490$ mm. Ellenőrizd (és állítsd be, ha szükséges) a mágnes középpontjának helyzetét két merőleges irányban! A mágnes függőleges tengelyének metszenie kell a lézervolt egyenesét és az alaplemezzre festett **12** fekete vonalat is! **Mágneses indukció** a mágnes tengelyén, 1 mm magasságban a mágnes sima felülete

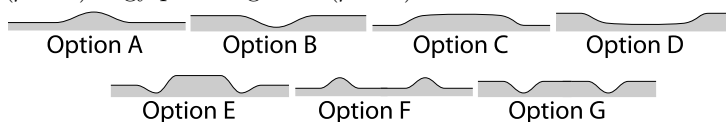
fölött $B_0 = 0.50$ T; a víz sűrűsége $\rho_w = 1000$ kg/m³; nehézségi gyorsulás $g = 9.8$ m/s²; a vákuum permeabilitása $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m.

FIGYELEM!

- ◇ **A lézer irányítása előre be van állítva, ne mozgasd!**
- ◇ **Ne nézz közvetlenül a lézervízbe vagy tükrökébe!**
- ◇ **Ne próbáld meg leszedni az erős neodímium mágnes!**
- ◇ **Ne tégy a mágnes közelébe más mágneses anyagot!**
- ◇ **Kapcsold ki a lézert, ha nem használod, az elemek 1 óra alatt lemerülnek!**

A rész A vízfelszín alakjának kvalitatív vizsgálata (1 pont)

Ha egy hengeres mágnes víz alá helyezünk, a felszín meggörbül. Figyeld meg, milyen alakú a vízfelszín a mágnes fölött, és megfigyeléseid alapján dönts el, hogy a víz diamágneses ($\mu < 1$) vagy paramágneses ($\mu > 1$)!



Írd rá a válaszlapon a megfelelő válaszhoz tartozó betűt, és a $\mu > 1$ vagy $\mu < 1$ egyenlőtlenségek valamelyikét! **Ebben a részben nem szükséges válaszodat indokolnod.**

B rész A vízfelület pontos alakja (7 pont)

A vízfelszín görbülése nagy érzékenységgel letapogatható a felszínről visszaverődő lézervíz érzékelésével. Ennek az effektusnak a felhasználásával kiszámíthatjuk a mágnes fölötti víz mélységének vízszintes pozíciótól való függését.

- (1,6 pont)** Mérd meg a lézervolt y magasságát az ernyőn a tolómérő által jelzett x pozíció függvényében. A tolómérő teljes használható tartományát fedd le méréseiddel! Eredményeiddel töltsd ki a válaszlapon található táblázatot!
- (0,7 pont)** Ábrázold az előbb megmért adataidat!
- (0,7 pont)** Az ábrázolt grafikon segítségével határozd meg a lézervíz és a felszín vízszintes része által bezárt α_0 szöget!
- (1,4 pont)** Használd fel, hogy a felszín érintőjének ($\tan \beta$) meredeksége kifejezhető a következőképpen:

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

ahol y_0 a lézervolt függőleges pozíciója az ernyőn abban a helyzetben, ahol a lézervíz éppen a mágnes tengelyénél verődik vissza a felszínről, x_0 pedig az ennek megfelelő pozíció a tolómérőn.

Számítsd ki a meredekség értékeit és írd be a válaszlapon található táblázatba! Számításaidat egyszerűsítheted, ha a képletben szereplő tagok megfelelő kombinációját az előző grafikonról olvasod le.

v. (1,6 pont) Számítsd ki a vízmagasságot a mágnesről távol eső vízfelszínhez képest x függvényében, majd írd be a válaszlapon található táblázatba!

vi. (1 pont) Ábrázold grafikonon a legutóbb meghatározott összefüggést! Jelöld be azt a tartományt, ahol a lézervíz közvetlenül a mágnes fölötti vízfelszínre esik!

C rész Mágneses permeabilitás (2 pont)

A B rész eredményeinek felhasználásával számítsd ki a $\mu - 1$ kifejezés (úgynevezett mágneses szuszceptibilitás) értékét, ahol μ a víz relatív mágneses permeabilitása. A végső formulát és a numerikus eredményedet is írd a válaszlaponra!

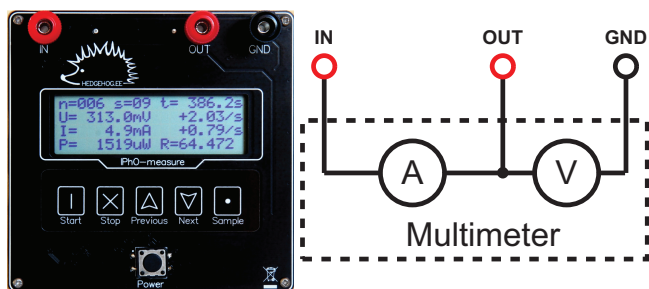


E2. feladat Nem-lineáris feketedoboz (10 pont)

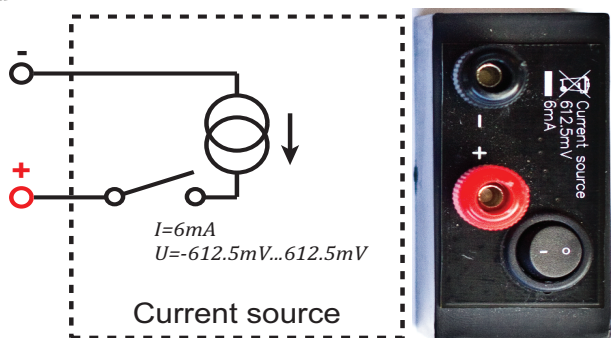
Egyszerű feladatokban az elektromos áramkörökről feltételezzük, hogy csak lineáris elemekből állnak, ahol az elektromos mennyiségek egyenes arányban állnak egymással. Ilyen az ellenállás ($V = RI$), a kondenzátor ($Q = CV$) és a tekercs ($V = LI$), ahol R , C és L állandók. Ebben a feladatban azonban egy olyan áramkört fogsz vizsgálni, amely egy feketedobozba zárva nem-lineáris elemeket is tartalmaz, melyekre az egyenes arányosság már nem igaz.

A mérési összeállítás része egy **multiméter** („IPhO-measure” felirattal), egy **áramforrás**, egy nem-lineáris elemeket tartalmazó **feketedoboz** és négy vezeték banándugókkal a csatlakoztatáshoz. Vigyázz, hogy meg ne sértsd a feketedobozt záró plombát!

A multiméter egyszerre tud mérni áramerősséget és feszültséget. Rögzíteni tudsz vele legfeljebb 2000 mérési pontot, melyek mindegyike a következő adatokból áll: V feszültség, I áramerősség, $P = IV$ teljesítmény, $R = V/I$ ellenállás, \dot{V} feszültség időderiváltja, \dot{I} áram időderiváltja és t idő. A részletekért lásd a rövid útmutatót a feladat végén! Ha 2000-nél több adatot gyűjtesz, a legrégebbiek törlődnek.

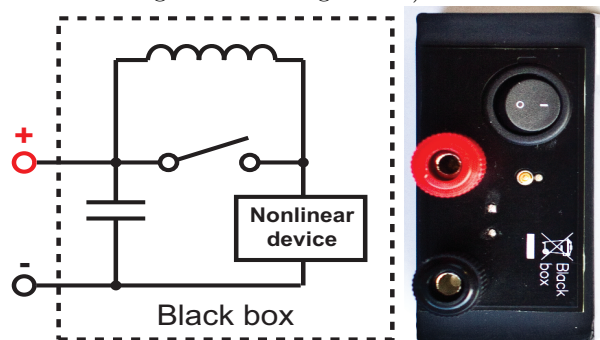


Az állandó áramú áramforrás stabil áramot biztosít mindaddig, amíg a kivezetéseinek lévő feszültség -0.6125 V és 0.6125 V között marad. Ha ki van kapcsolva, akkor az állandó áramforrás egy nagyon nagy (lényegében végtelen) ellenállásként viselkedik.



A feketedoboz tartalmaz egy elektrolitkondenzátort (amely egy gyengén nem-lineáris nagy kapacitású kondenzátor), egy ismeretlen nem-lineáris áramköri elemet és egy elhanyagolható ellenállású, $L = 10\ \mu\text{H}$ nagyságú induktivitást, amely ki-be kapcsolható a kapcsolási rajzon látható módon. A nem-lineáris áramköri elemet egy olyan ellenállásnak lehet tekinteni, melyen a feszültség és az áram közti függvénykapcsolat $[I = I(V)]$, ahol I V folytonos függvénye és $I(0) = 0$ nem-lineáris. Ehhez hasonlóan a kondenzátor esetében a $C(V) = dQ/dV$ differenciális kapacitás nem pontosan állandó. **A feketedobozon lévő feszültséget akkor nevezük pozitívnak, ha a piros**

kivezetésén lévő potenciál magasabb, mint a fekete kivezetésén lévő potenciál. **Pozitív feszültségeket akkor kapsz, ha a feketedoboz és az áramforrás egymásnak megfelelő színű kivezetéseit kötöd össze.** (Ha szükséges, használhatsz negatív feszültségeket is.)



A biztonság érdekében süsd ki a feketedobozban lévő kondenzátor töltését vagy úgy, hogy összekötöd a kivezetéseit egymással, vagy a multiméter IN és OUT kivezetéseinek keresztül. A kondenzátor ellenállása elég nagy ahhoz, hogy az áram semmit se tehessen tönkre.

Ebben a feladatban nem kell hibaszámítást végezni!

A rész Induktivitás nélküli áramkör (7 pont)

Ebben a részben tartsd a feketedobozon lévő kapcsolót bekapcsolva (nyomd le az „I”-t), azaz zárd rövidre az induktivitást!

Néhány méréshez sok idő kell, ezért ajánlott most végigolvasni az A rész minden feladatát, hogy ezzel elkerüljed a felesleges munkát.

i. (1 pont) Mutasd meg, hogy az áramforrás kimenő árama körülbelül 6 mA , és határozd meg azt a tartományt, amelyen belül változik, miközben a feszültség 0 és $+480\text{ mV}$ között változik! Rajzold be a használt kapcsolást!

ii. (1,2 pont) Mutasd meg, hogy a feketedobozban lévő kondenzátor $C(V)$ differenciális kapacitása körülbelül 2 F egy általad megválasztott tetszőleges V_0 feszültségen mérve! $C(V_0) = C_0$. Rajzold be a kapcsolási rajzot is!

iii. (2,2 pont) Elhanyagolva a kondenzátor nem-linearitását [$C(V) \approx C_0$] határozd meg a feketedobozban lévő nem-lineáris áramköri elem áram-feszültség karakterisztikáját! Ábrázold a válaszlapon az $I(V)$ görbét a feketedobozon elérhető pozitív feszültségtartományon! Rajzold be a kapcsolási rajzot is!

iv. (2,6 pont) Felhasználva a teljes elérhető feszültségtartományon kapott mérési adatokat, számítsd ki és ábrázold a válaszlapon a $C(V)$ görbét a feketedobozon elérhető pozitív feszültségtartományon! Írd be a differenciális ellenállás C_{\min} , C_{\max} minimális ill. maximális értékét! Rajzold be a kapcsolási rajzot is!

B rész Áramkör induktivitással (3 pont)

A feketedobozon lévő kapcsoló kinyitásával (nyomd le az „0”-t) kösd be az áramkörbe az induktivitást! Az **A/iii.** pontban használt módszerrel mérd meg és ábrázold a nem-lineáris áramköri elem áram-feszültség karakterisztikáját! Írd le az A és B részben kapott görbék közötti lényeges különbségeket és adjál kvalitatív magyarázatokat az eltérések okára!

Ehhez tudnod kell, hogy a nem-lineáris áramköri elemnek kapacitása is van (kb. 1 nF), amely párhuzamosan van kapcsolva a nem-lineáris ellenállással.

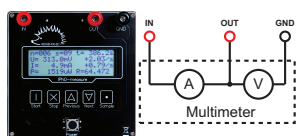


IPhO-measure: rövid útmutató

Az *IPhO-measure* egy olyan multiméter, amely képes egyszerre mérni a V feszültséget és az I áramerősséget. Rögzíti ezek \dot{V} és \dot{I} időderiváltjait is, valamint $P = VI$ szorzatukat, $R = V/I$ hányadosukat és a mérési adatok (sample) t időpontját is. A tárolt mérési adatok (samples) különálló csoportokba (set-ekbe) vannak rendezve. Minden rögzített mérési adat meg van számozva a set s sorszámával és a set-en belül az n sorszámmal. Minden mérési adat egy belső flash-memóriára íródik fel, ahonnan később előhívható.

Elektromos tulajdonságok

Az eszköz úgy működik, mint egy ampermérő és egy voltmérő, amely a következőképp van kapcsolva:



	méréshatár	belső ellenállás
V-mérő	0...2 V	1 MΩ
V-mérő	2...10 V	57 kΩ
A-mérő	0...1 A	1 Ω

Alapvető használat

- Nyomd meg a „POWER” gombot az *IPhO-measure* bekapcsolásához!. Ekkor az eszköz még nem mér – a mérés elkezdéséhez nyomd meg a „START” gombot. Vagy pedig elkezdheted nézegetni a korábban mért adatokat (lásd később).
- Korábban mért mérési adatok megnézéséhez (az összes set-ben) nyomd meg a „PREVIOUS” vagy a „NEXT” gombot! Tartsd hosszabban lenyomva, ha set-ek közt akarsz átugrani!
- Ha nem mérsz, nyomd meg a „START” gombot egy új set elkezdéséhez!
- Méréskor **nyomd meg a „Sample” gombot egy-egy adat rögzítéséhez** (az éppen aktuálisan kijelzett értékkel)!
- Mérés közben is kereshélhetsz az éppen aktuális set-ben korábbi mérési adatokat a „PREVIOUS” és „NEXT” gombok segítségével.
- Nyomd meg a „STOP” gombot egy set befejezéséhez és a mérés leállításához! Ekkor az eszköz még be van kapcsolva, elkezdhetsz egy új mérést, vagy kereshélhetsz az adatok között.
- Megnyomva a „POWER” gombot az eszköz kikapcsolódik. Az eszköz kiírja: „my mind is going ...”, de ne aggódj, minden mért adatod el lesz mentve, és ha újra bekapcsolod, kereshélhetsz köztük. Kikapcsoláskor a mérési adatok nem törlődnek.

Kijelző



Egy-egy kijelzett adat kilenc változóból áll:

1. az adat n sorszáma a set-en belül;
2. a set s sorszáma;
3. a t idő a set kezdete óta;
4. a voltmérő V jele;
5. V változási sebessége (a \dot{V} időderivált); ha a deriváltat nem lehet értékelhetően meghatározni gyors fluktuációk miatt, akkor „+nan/s” van kijejezve;
6. a árammérő I jele;
7. I változási sebessége (a \dot{I} időderivált); ha a deriváltat nem lehet értékelhetően meghatározni gyors fluktuációk miatt, akkor „+nan/s” van kijejezve;
8. a $P = VI$ szorzat;
9. a $R = V/I$ hányados.

Ha bármely érték kívül esik a megengedett mérési tartományon, akkor „+inf” vagy „-inf” van kijejezve.