

The 43rd International Physics Olympiad — Experimental Competition

Tartu, Estonia — Thursday, July 19th 2012

- Súťaž trvá 5 hodín. Riešite 2 úlohy hodnotené celkove 20 bodmi. Máte k dispozícii 2 stoly v susedných pracovných boxoch. Zariadenie úlohy E1 je na jednom stole, E2 na druhom. Môžete sa voľne pohybovať medzi týmito stolmi. **Nesmiete ale prenášať akúkoľvek časť jedného meracieho zariadenia z jedného stola na druhý.**
 - Na začiatku je experimentálne zariadenie na jednom stole zakryté a na druhom v škatuli. **Nesmiete odkryť úlohu alebo otvoriť škatuľu, ani otvoriť obálku s úlohami pred zaznením signálu oznamujúceho začiatok súťaže (tri krátke signály).**
 - **Nie je dovolené opustiť pracovné miesto bez dovolenia.** Ak potrebujete pomoc (**nesprávna funkcia experimentálneho zariadenia**, pokazená kalkulačka, potreba odísť na záchod a pod.), zdvihnite príslušnú vlajočku "HELP" alebo "TOILET" s dlhou rúčkou na vašom mieste) nad stenu vášho miesta a držte ju kým niekto z organizátorov nepríde.
 - Používajte iba **jednu** stranu každého papiera.
 - Na zápis riešenia každej úlohy máte dodané **riešiteľské hárky (čistopisy) – Solution Sheets** (pozrite si záhlavie s číslom a piktogramom). Svoje výsledky zapisujte do príslušných riešiteľských hárkov. Solution Sheets sú číslované pre každú úlohu; používajte hárky postupne podľa ich označeného číslovania. Výsledné odpovede zapíšte do príslušných rámkov v odpoveďových hárkoch – **Answer sheets.**
- K dispozícii máte aj papiere na nečistopis - **Draft papers**. Tie používajte na veci, ktoré nemajú byť hodnotené. Ak zapíšete niečo, čo nemá byť hodnotené, do hárkov **Solution Sheets**, (ako napr. prvý náčrt riešenia alebo chybné riešenie), toto krížom prečiarknite
- Ak potrebujete na riešenie určitej úlohy viac papierov, zdvihnite vlajočku "HELP" a oznámte organizátorovi číslo úlohy; dostanete dva ďalšie Solution sheets (túto žiadosť môžete viackrát opakovať)
 - **Používajte čo najmenej textu:** svoje riešenie vysvetľujte hlavne rovnicami, číslami, tabuľkami, symbolmi a grafmi.
 - Nevykonávajte zbytočné pohyby počas experimentu a nevyvolávajte chvenie stien pracovného boxu, lebo **experiment s laserom je náročný na stabilitu.**
 - **Nepozerajte sa do laserového lúča ani lúča odrazeného, hrozí nebezpečenstvo poškodenia zraku!**
 - Prvý krátky zvukový signál oznamuje, že zostáva ešte 30 minút na riešenie, druhý dvojité signál oznamuje zostávajúcich 5 minút, tretí trojitý signál oznamuje koniec riešenia. **Po zaznení tretieho signálu musíte okamžite prestať písať!** Vložte všetky papiere do obálky na stole. **Nie je dovolené odnášať akýkoľvek hárok papiera z miestnosti!** Ak ukončíte riešenie pred zaznením konečného signálu, zdvihnite vašu vlajočku.



Problém E1. Magnetická permeabilita vody (10 bodov)

V obidvoch úlohách netreba určovať chyby merania!

Vplyv magnetického poľa na väčšinu látok, okrem feromagnetík, je zväčša slabý. Je to kvôli tomu, že hustota energie magnetického poľa v látke s relatívnou permeabilitou μ je daná vzťahom

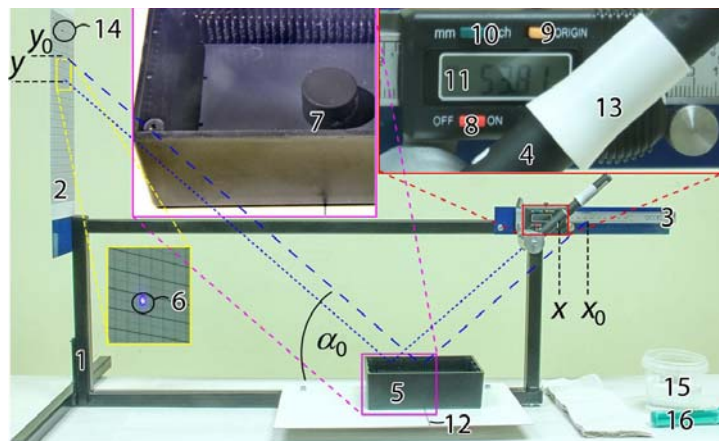
$$w = \frac{1}{2\mu\mu_0} B^2, \text{ kde väčšinou } \mu \text{ je veľmi blízke jednotke. Ak}$$

požijeme vhodné experimentálne zariadenie, potom je aj tento slabý vplyv pozorovateľný. V tejto úlohe budete študovať vplyv konštantného magnetického poľa neodymových magnetov na vodu a pomocou nameraných údajov určíte magnetickú permeabilitu vody.

Meracie zariadenie pozostáva zo stojana **1** (čísla zodpovedajú číslam na obrázku nižšie), **3** je digitálne posuvné meradlo, **4** laser (laserové ukazovadlo), **5** nádoba s vodou a **7** valcový permanentný magnet v nádobe s vodou, ktorý je axiálne (osovo) zmagnetizovaný. Nádoba s vodou je fixovaná na podložku pomocou magnetickej sily magnetu. Podložka je pripravená k stojanu. Laser je pripravený k digitálnemu posuvnému meradlu, ktorého číselná základňa je upevnená k stojanu. Posuvné meradlo umožňuje posúvať laser vodorovne. Zapnutie a vypnutie lasera sa vykonáva pomocou bielej trubičky (**13**) posúvaním hore a dole. Magnet by sa mal nachádzať asi 1 mm pod hladinou vody (ak bude k hladine bližšie, hladina vody sa natoľko zakriví, že bude veľmi ťažké odčítavať hodnoty z tienidla). Nádoba s vodou (**15**) a malá striekačka (**16**) slúžia na regulovanie výšky hladiny vody v nádobe s magnetom (na zvýšenie hladiny vody v nádobe s magnetom o 1 mm je potrebné doliať 13 ml vody). Milimetrový papier (**2**) ("tienidlo") je pripravený na zvislú tabuľku pomocou malých magnetov (**14**). Ak bude stopa odrazeného lúča lasera na tienidle rozmazaná, skontrolujte, či sa na hladine vody nenachádza nejaká nečistota (odfúknite ju).

Zvyšné označenia na obrázku sú: (**6**)–stopa laserového lúča na tienidle, (**11**)–LCD displej digitálneho posuvného meradla, (**10**)–tlačidlo na prepínanie jednotiek merania medzi milimetrami a palcami; (**8**)–tlačidlo zapnutia a vypnutia digitálneho posuvného meradla; (**9**)–tlačidlo vynulovania prístroja (nastavenie nuly). Za laserom sa nachádza ešte jedno tlačidlo digitálneho posuvného meradla, ktoré po náhodnom stlačení nastaví nulovú polohu; jeho opakovaným stlačením sa meradlo vráti do pôvodného režimu.

Číselné hodnoty pre výpočty: vodorovná vzdialenosť medzi stredom magnetu a tienidlom $L_0 = 490$ mm. Pred začiatkom merania skontrolujte a v prípade potreby upravte polohu stredu magnetu v dvoch kolmých smeroch. Zvislá os magnetu sa musí pretínať s lúčom lasera a súčasne pretínať pomocnú čiernu čiaru (**12**) na podložke. Magnetická indukcia magnetu na osi magnetu vo výške 1 mm od jeho povrchu $B_0 = 0,50$ T; hustota vody $\rho_w = 1000$ kg/m³; tiažové zrýchlenie $g = 9,8$ m/s²; permeabilita vákua $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m.

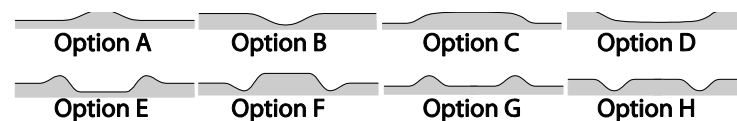


UPOZORNENIA:

- Smer lasera je pevne nastavený. Nemeňte ho!
- Nepozerajte sa priamo do laserového lúča ani do odrazených lúčov!
- Nesnažte sa odstrániť silný neodýmový magnet!
- Neprikladajte magnetické materiály ani hodinky do blízkosti magnetu!
- Ak nemeriate laserom, vypnite ho, batérie vydržia len 1 hodinu!
- Nevykonávajte zbytočné pohyby počas experimentu a nevyvolávajte chvenie stien pracovného boxu, lebo experiment je náročný na stabilitu!

Part A. Kvalitatívny opis tvaru povrchu vody (1 bod)

Ak položíme valcový magnet pod hladinu vody, hladina vody nad ním sa zakriví. Pozorujte tvar povrchu vody nad magnetom. Podľa vašich pozorovaní rozhodnite, či je voda diamagnetická ($\mu < 1$) alebo paramagnetická ($\mu > 1$).



Do odpovedového hárku napíšte písmeno, ktoré zodpovedá správnejmu variantu (option) spolu s nerovnosťou $\mu > 1$ alebo $\mu < 1$. V tejto časti nemusíte zdôvodniť svoje odpovede!

Problem E1



Part B. Presný tvar povrchu vody (7 bodov)

Zakrivenie povrchu vody nad magnetom môžeme veľmi citlivo preukázať pomocou odrazu laserového lúča od povrchu vody. S využitím tohto javu určte závislosť hĺbky vody od vodorovnej polohy nad magnetom.

i. (1,6 bodu) Zmerajte závislosť výšky y stopy laserového lúča na tienidle od polohy x , ktorú ukazuje digitálne posuvné meradlo (viď obrázok). Meranie urobte pre celý rozsah digitálneho posuvného meradla. Svoje merania zapíšte do tabuľky v odpovedovom hárku!

ii. (0,7 bodu) Nakreslite graf získanej závislosti!

iii. (0,7 bodu) Pomocou nakresleného grafu určte uhol α_0 medzi lúčom a vodorovným povrchom vody. Sklon povrchu vody ($\tan \beta$) vyjadrite pomocou nasledujúceho vzťahu

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

kde y_0 je výška stopy laserového lúča na tienidle, keď je lúč odrazený od povrchu vody na osi magnetu, a x_0 je zodpovedajúca poloha digitálneho posuvného meradla.

iv. (1,4 bodu) Vypočítajte hodnoty sklonu povrchu vody ($\tan \beta$) a zapíšte ich do príslušnej tabuľky v odpovedovom hárku. Svoje výpočty môžete zjednodušiť, ak nahradíte niektoré kombinácie členov vo vzťahu, ktorý ste určili v predchádzajúcej časti, niektorými údajmi z posledného grafu.

v. (1,6 bodu) Vypočítajte výšku hladiny vody vzhľadom na povrch, ktorý je ďaleko od magnetu, ako funkciu x a príslušné hodnoty zapíšte do tabuľky v odpovedovom hárku.

vi. (1 bod) Nakreslite graf závislosti vypočítanej v časti v. a vyznačte na ňom oblasť, ktorá zodpovedá odrazu lúča priamo nad magnetom.

Part C. Magnetická permeabilita (2 body)

S použitím výsledkov časti B vypočítajte hodnotu $\mu - 1$, ktorú nazývame *magnetická susceptibilita*. Zapíšte vzťah a číselnú hodnotu do odpovedového hárku.

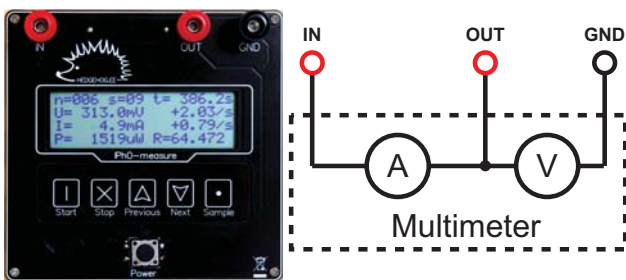


Problém E2. Nelineárna “čierna skrinka”. (10 bodov)

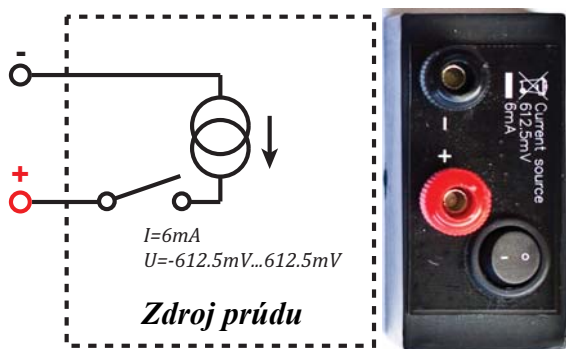
V mnohých úlohách sa elektrické obvody považujú za lineárne, pre ktoré sú elektrické veličiny na súčiastkach vzájomne priamo úmerné, napr. rezistor $U = RI$, kondenzátor $Q = CU$ a induktor (cievka) $U = LI$, kde R , C a L sú konštanty. V tejto úlohe však budete skúmať obvod, ktorý obsahuje nelineárne prvky, uzatvorené v čiernej skrinke, pre ktorú už predpoklad priamej úmernosti veličín neplatí.

Zariadenie pozostáva z multimetra (ozn. “IPhO–measure”), zdroja prúdu, čiernej skrinky obsahujúcej nelineárne prvky a štyroch prepojovacích vodičov. **Dajte pozor, aby ste neporušili pečať na čiernej skrinke!!!**

Multimeter môže merať súčasne prúd i napätie. Môžete s ním zaznamenať až 2000 dátových bodov, pričom každý obsahuje: napätie U , prúd I , výkon $P = UI$, odpor $R = U/I$, časovú deriváciu napätia \dot{U} , časovú deriváciu prúdu \dot{I} a čas t . Podrobnosti nájdete v manuáli. Pokiaľ by počet meraní presiahol 2000, najstaršie dáta sa premažu.

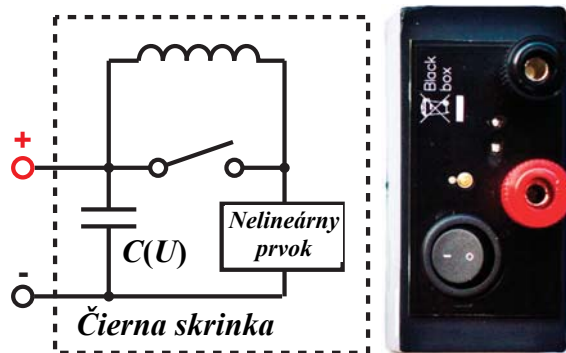


Zdroj konštantného prúdu dodáva stály prúd, ak sa napätie na výstupe udržiava v rozsahu $-0,6125\text{ V}$ až $+0,6125\text{ V}$. Ak sa zdroj vypne, predstavuje rezistor s veľmi veľkým (prakticky nekonečným) odporom.



Čierna skrinka obsahuje elektrický kondenzátor s veľmi vysokou kapacitou, ktorý je mierne nelineárny, neznámy nelineárny prvok a induktor s indukčnosťou $L = 10\ \mu\text{H}$ a zanedbateľným odporom. Induktor možno prepínať tak, ako je to naznačené na obrázku. Nelineárny prvok možno považovať za rezistor s nelineárnou závislosťou prúdu od napätia, vyjadrenou spojitou funkciou $I = I(U)$, pričom $I(0) = 0$. Podobne pre kondenzátor diferenciálna kapacita $C(U) = dQ/dU$ nie je celkom konštantná. **Napätie na čiernej skrinke je kladné, ak je potenciál na červenej svorke väčší ako na svorke čiernej. Kladné napätie sa dosiahne, ak sa prepoja svorky prúdového zdroja so svorkami rovnakej farby**

na čiernej skrinke (pri vybíjaní môžete používať aj opačnú orientáciu zdroja)



Na začiatku sa ubezpečte, že kondenzátor je vybitý, skratovaním svoriek na čiernej skrinke alebo svoriek *IN* a *OUT* na pripojenom multimetre (vnútorný odpor kondenzátora je dostatočne veľký na to, aby sa pri vybíjaní čokoľvek poškodilo).

Pri riešení tejto úlohy sa nepožaduje žiadny odhad chyby merania.

Part A. Obvod bez induktora (7 bodov)

V tejto časti prepnete prepínač na čiernej skrinke do polohy “I”, čím sa induktor skratuje.

Niektoré merania zaberú dosť času, preto sa odporúča prečítať úlohu Part A až do konca, aby ste nerobili nejakú zbytočnú prácu.

i. (1 bod) Potvrďte, že výstupný prúd prúdového zdroja je približne 6 mA a určte medze, v akých sa tento prúd mení pre rozsah napätia $0 \div 480\text{ mV}$. Zakreslite zapojenie obvodu a uveďte rozsah použitých hodnôt napätia.

ii. (1,2 bodu) Ukážte, že diferenciálna kapacita $C(U)$ kondenzátora v čiernej skrinke je približne 2 F , zmeraním jej hodnoty pre niektorú ľubovoľne zvolenú hodnotu napätia $C(U_0) = C_0$. Zakreslite zapojenie obvodu.

iii. (2,2 bodu) Zanedbajte nelinearitu kondenzátora $C(U) \approx C_0$ a určte závislosť prúdu od napätia nelineárneho prvku použitého v čiernej skrinke. Do odpovedového hárku zostrojte graf závislosti $I(U)$ v rozsahu dosiahnuteľných kladných hodnôt napätia na svorkách čiernej skrinky. Zakreslite zapojenie obvodu.

iv. (2,6 bodu) S použitím výsledkov merania získaných v celom rozsahu dosiahnuteľných hodnôt napätia pri nabíjaní a vybíjaní kondenzátora vypočítajte a graficky znázorníte závislosť $C(U)$ v rozsahu dosiahnuteľných kladných hodnôt napätia na čiernej skrinke - výsledky zaznamenajte do odpovedového hárku. Uveďte najmenšiu a najväčšiu hodnotu diferenciálnej kapacity C_{\min} a C_{\max} . Zakreslite zapojenie obvodu.

Part B. Obvod s induktorom (3 body)

Induktor zapojíte prepnutím prepínača na čiernej skrinke do polohy “0”. Rovnakou metódou ako v časti A–iii zmerajte a pomocou grafu znázorníte závislosť prúdu od napätia na nelineárnom prvku. Vyznačte významný rozdiel medzi krivkami z časti A a B a uveďte jeho príčinu s použitím kvalitatívnych argumentov.

Tu potrebujete vedieť, že nelineárny prvok má malú paralelnú parazitnú kapacitu ($\sim 1\text{ nF}$).

Problem E2

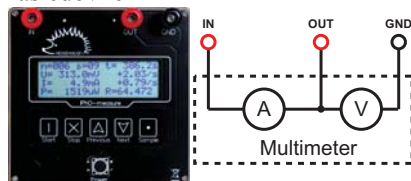


„IPhO - measure“ – stručný manuál

IPhO - measure je multimeter schopný merať napätie U a prúd I súčasne. Taktiež zaznamenáva ich časové derivácie \dot{U} a \dot{I} , súčin $P = UI$ a pomer $R = U/I$ a čas t merania týchto hodnôt (vzorky). Uložené hodnoty sú usporiadané do sérii a zobrazené na displeji v špeciálnej tabuľke: každá vzorka má číslo série s a poradie v sérii n . Všetky vzorky sú uložené vo vnútornej pamäti a možno ich neskôr vyvolať.

Elektrické vlastnosti

Zariadenie sa správa ako ampérmeter a voltmeter zapojený nasledovne



	Rozsah	Vnútorňý odpor
Voltmeter	0 ... 2 V	1 M Ω
Voltmeter	2 ... 10 V	57 k Ω
Ampérmeter	0 ... 1 A	1 Ω

Použitie

- Stlačiť “POWER” – zapnutie prístroja. Prístroj vtedy ešte nemeria, meranie sa začne až po stlačení tlačidla „START“. Môžete prípadne prezerat' uložené dáta, pozri nižšie.
- Prezeranie zaznamenaných vzoriek (vo všetkých sériách) stláčaním “PREVIOUS” (predchádzajúci) alebo “NEXT” (ďalší)
- Ak nemeriate, založíte novú sériu meraní stlačením “START”
- Pokiaľ meriate, zaznamenáte práve zobrazené dáta (vzorku) do pamäti stlačením “SAMPLE” (vzorka)
- Počas merania série možno tlačidlami “PREVIOUS” a “NEXT” prezerat' zaznamenané dáta práve meranej série
- Stlačením “STOP” sa ukončí daná séria a zastaví sa meranie. Zariadenie zostáva zapnuté a je pripravené znovu začať merať novú sériu, prípadne možno pozerat' uložené dáta.
- Stlačením “POWER” sa zariadenie vypne. Objaví sa text „My mind is going ...“. Nemajte obavu, zaznamenané hodnoty meraní zostávajú uložené a po opätovnom zapnutí ich možno prezerat'. Zaznamenané dáta zostanú v pamäti uchované.

DISPLEJ



Zobrazená vzorka obsahuje 9 hodnôt

1. poradie n vzorky v danej sérii merania
2. označenie s série meranie
3. čas t od začiatku merania danej série
4. U – hodnota napätia medzi svorkami voltmetra
5. vedľa sa zobrazí \dot{U} časová derivácia napätia; ak nemožno určiť deriváciu z dôvodu veľkých fluktuácií napätia, zobrazí sa „+nan/s“
6. I – hodnota prúdu medzi svorkami ampérmetra
7. vedľa sa zobrazí \dot{I} časová derivácia prúdu; ak nemožno určiť deriváciu z dôvodu veľkých fluktuácií prúdu, zobrazí sa „+nan/s“
8. súčin $P = UI$
9. podiel $R = U / I$

Ak sa niektorá veličina dostane mimo povolený rozsah, zobrazí sa na displeji „+inf“ alebo „-inf“