

The 43rd International Physics Olympiad — Experimental Competition

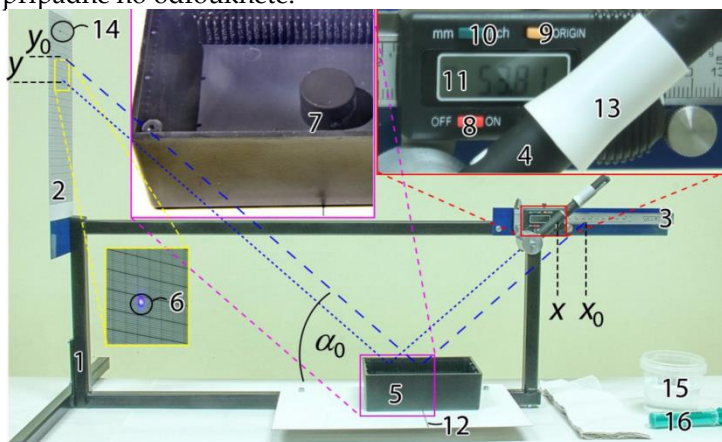
Tartu, Estonia — Thursday, July 19th 2012

- Celý test trvá 5 hodin. Jsou zadány 2 úlohy, celkem můžete získat 20 bodů. Máte k dispozici dva stoly (ve dvou sousedních kójičkách), experimentální soustava úlohy E1 je na jednom stole, soustava úlohy E2 je na druhém; mezi oběma stoly se můžete volně pohybovat. **Ale nesmíte přenášet žádné části experimentální soustavy z jednoho stolu na druhý.**
- Na začátku bude jeden experiment zakrytý, druhý experiment v krabici. Nesmíte odkrývat experimentální soustavu, otevírat krabici s druhou soustavou ani obálku s úlohami před zvukovým signálem označujícím začátek soutěže (tři krátké zvukové signály).
- Nesmíte bez svolení opustit vaše pracovní místo. Pokud potřebujete pomoc (nefunkční část experimentální soustavy, rozbitá kalkulačka, potřebujete na toaletu, apod.), zvedněte, prosím, příslušnou cedulku „HELP“ nebo „TOILET“ s dlouhým držadlem nad váš pracovní box a nechte ji zvednutou, dokud se neobjeví organizátor.
- Používejte pouze přední (potištěné) strany listů papíru.
- Pro každou úlohu jsou určeny listy řešení (viz číslo a piktogram v záhlaví). Pište svá řešení na příslušné listy řešení. Pro každou úlohu jsou listy řešení očíslovány; používejte listy podle očíslování. **Vždy označte, kterou úlohou a kterou její částí se na daném listu zabýváte.** Konečné odpovědi opište do příslušných rámečků **listů odpovědí**. Dostanete také papíry na **koncepty**; tyto používejte pro psaní věcí, které nechcete hodnotit. Pokud napíšete něco, co nechcete, aby bylo hodnoceno, do listů řešení (např. nesprávná řešení), tyto části škrtněte.
- Potřebujete-li více papíru pro danou úlohu, zvedněte, prosím, cedulku „HELP“ a sdělte organizátorovi číslo úlohy; dostanete dva listy řešení (můžete to udělat vícekrát).
- **Měli byste používat co možná nejméně textu:** snažte se vyjadřovat svá řešení především rovnicemi, čísly, symboly a diagramy. ~~Pokud je textové vysvětlení nevyhnutelné, zkuste psát kromě českých kometnářů i jejich anglické překlady (pokud text přeložíte špatně nebo ho vůbec nepřeložíte, bude hodnocen váš český text při moderaci s vedoucími).~~
- **Během celého experimentálního testu se chovejte klidně, vyhněte se zbytečným pohybům. Především se nedotýkejte stěn boxů: experiment s laserem vyžaduje klid.**
- **Nedívejte se přímo do laserových paprsků nebo jejich odrazů! Laser může trvale poškodit váš zrak.**
- První jednoduchý zvukový signál vám oznámí, že máte k dispozici posledních 30 minut na řešení; druhý, dvojitý zvukový signál znamená 5 minut do konce; třetí, trojitý zvukový signál označuje konec času na řešení. **Po třetím zvukovém signálu musíte okamžitě přestat psát.** Vložte všechny papíry do obálky na vašem stole. **Nesmíte si vzít s sebou ven z místnosti žádný papír.** Pokud skončíte před konečným zvukovým signálem, zvedněte, prosím, cedulku.

Úloha E1. Magnetická permeabilita vody (10 bodů)

Vliv magnetického pole na většinu látek s výjimkou feromagnetických je poměrně slabý. Je to způsobeno tím, že hustota energie magnetického pole v látkách s relativní permeabilitou μ je dána vztahem $w = \frac{1}{2\mu\mu_0} B^2$ a μ je typicky velmi blízké jedné. Nicméně, s vhodnou experimentální technikou jsou takovéto vlivy dobře pozorovatelné. V této úloze budete studovat vliv magnetického pole permanentních neodymiových magnetů na vodu. Z naměřených hodnot poté vypočítáte magnetickou permeabilitu vody. **V této úloze nemusíte počítat žádné chyby! Neuvažujte efekty spojené s povrchovým napětím.**

Experimentální soustava se skládá ze **1** stojanu (zdůrazněná čísla odpovídají číslům na obrázku), **3** digitálního posuvného měřidla (šuplery), **4** laserového ukazovátka, **5** nádoby s vodou a **7** válcového permanentního magnetu v ní (magnet je magnetizován ve směru osy symetrie). Nádoba je uchycena na spodní části stojanu přitažlivou magnetickou silou. Laserové ukazovátko je připevněno k posuvnému měřidlu, jehož jedno rameno je připevněno ke stojanu; manipulací s posuvným měřidlem lze tedy laserem vodorovně pohybovat. Spínací tlačítko laseru lze udržet v sepnuté poloze pomocí **13** bílé válcové trubičky. Hladina vody by měla být co možná nejbližší vzdálenosti 1 mm nad magnetem (pokud by to bylo méně, vodní hladina se bude zakřivovat tak, že bude velmi obtížné odečítat hodnoty ze stínítka). Kelímek s vodou (**15**) a injekční stříkačka (**16**) můžete použít k nastavení výšky vodní hladiny (Přilejete-li 13 ml vody, hladina stoupne o 1 mm). List milimetrového papíru („stínítko“ **2**) upevněte ke svislé destičce na stojanu malými magnety (**14**). Pokud bude laserová stopa na stínítku narušená, zkontrolujte vodní hladinu, zda na ní není prach a případně ho odfoukněte.



Zbývající popis obrázku je následující: **6** bod, ve kterém dopadá laserový paprsek na stínítko; **11** LCD displej posuvného měřidla, **10** tlačítka na přepínání jednotek měřidla z milimetrů na palce; **8** spínač; **9** tlačítko k nastavení nulové polohy posuvného měřidla. Za laserovým ukazovátkem je ještě jedno tlačítko posuvného měřidla, které

přechodně posouvá počátek (pokud toto tlačítko bezděčně stlačíte, stlačte ho ještě jednou, abyste přepnuli měřidlo do normálního měřicího módu).

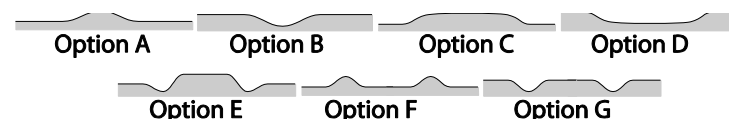
Číselné hodnoty pro vaše výpočty: **vodorovná vzdálenost** mezi středem magnetu a stínítkem je $L_0 = 490$ mm. Zkontrolujte (a případně nastavte) polohu středu magnetu ve dvou na sebe kolmých směrech. Svislá osa magnetu musí ležet v rovině paprsku laseru a musí zároveň protínat **12** černou úsečku na destičce, na které nádoba leží. **Magnetická indukce** na ose magnetu ve vzdálenosti 1 mm od jeho základů je $B_0 = 0,50$ T; hustota vody $\rho_w = 1000$ kg/m³; **tíhové zrychlení** $g = 9.8$ m/s²; **permeabilita vakua** $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m.

POZOR

- Sklon laseru je nastaven, nehybejte s ním!
- Nedívejte se přímo do laserového paprsku ani do jeho odrazů!
- Nezkoušejte vyndat silný neodymiový magnet!
- Nedávejte magnetické materiály do blízkosti magnetu!
- Vypněte laser, když zrovna neměříte, baterie se vybijí za 1 h!

Část A. Tvar vodní hladiny kvalitativně (1 bod)

Umístíte-li válcovitý magnet pod vodní hladinu, hladina nad magnetem změní tvar. Pozorujte, jaký je tvar vodní hladiny nad magnetem; podle svého pozorování rozhodněte, zda je voda diamagnetická ($\mu < 1$) nebo paramagnetická ($\mu > 1$).



Do listu odpovědí (Answer sheet) запишьте písmenko správné možnosti (Option) tvaru hladiny společně s nerovnicí $\mu > 1$ nebo $\mu < 1$. **V této části nemusíte svoji odpověď zdůvodňovat.**

Část B. Přesný tvar vodní hladiny (7 bodů)

Zakřivení vodní hladiny lze s velkou přesností studovat pomocí odrazu laserových paprsků od hladiny. Pomocí tohoto jevu vypočítáte závislost hloubky vody nad magnetem na vodorovné poloze.

- (1,6 b.) Proměřte podrobně závislost výšky y laserové stopy na stínítku na posunutí posuvného měřidla x , viz obrázek. Hodnoty posunutí na posuvném měřítku volte tak, abyste bezpečně proměřili celou zajímavou oblast. Měření запишьте do prvních dvou sloupců tabulky v listu odpovědí.
- (0,7 b.) Narýsujte graf naměřené závislosti.
- (0,7 b.) Pomocí vašeho grafu určete úhel α_0 , který svírá paprsek odražený od vodorovné části vodního povrchu s tímto vodorovným vodním povrchem.

Pro sklon vodní hladiny od vodorovné roviny ($\tan \beta$) platí následující rovnost

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

PROBLEM

Problem E1



kde y_0 je výška laserové stopy na stínítku pro takový laserový paprsek, který se odráží od vodní hladiny v místě průsečíku vodní hladiny s osou magnetu a x_0 je odpovídající poloha posuvného měřidla.

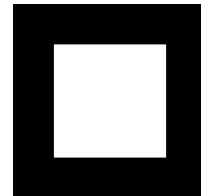
iv. (1,4 b.) Vypočtěte hodnoty sklonu vodní hladiny a doplňte je do příslušného sloupce v tabulce v listu odpovědí. Všimněte si, že je možné zjednodušit vaše výpočty, pokud vhodnou kombinací členů z výrazu pro sklon nahradíte veličinou, kterou lze odečíst přímo z grafu.

v. (1,6 b.) Vypočtěte výšku vodní hladiny jako funkci x a doplňte výsledky do tabulky v listu odpovědí. Nulová hodnota výšky hladiny odpovídá hladině vody daleko od magnetu.

vi. (1 b) Narýsujte graf závislosti z úlohy “v”. Vyznačte na něm oblast, kde paprsek dopadá na vodní hladinu přesně nad magnetem.

Část C. Magnetická permeabilita (2 b.)

Užijte výsledky Části B a vypočtěte hodnotu $\mu - 1$ (tzv. *magnetickou susceptibilitu*), kde μ je relativní magnetická permeabilita vody. Zapište použitý vztah a číselný výsledek do listu odpovědí.

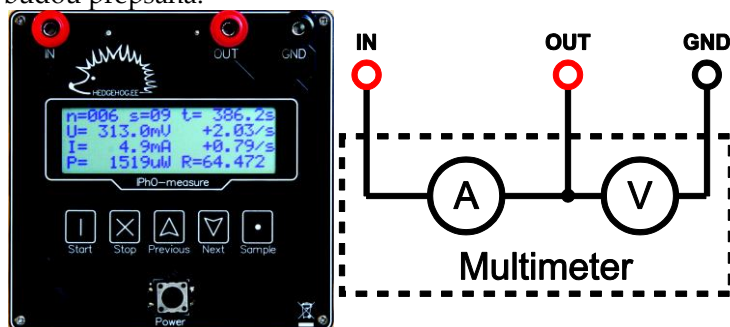


Úloha E2. Nelineární černá skříňka (10 bodů)

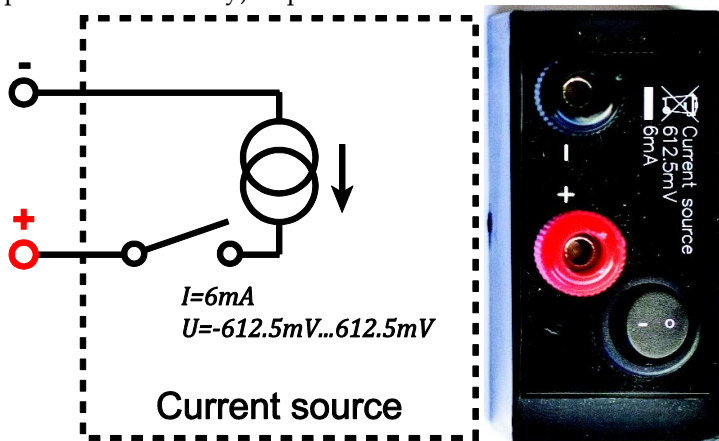
V jednoduchých úlohách předpokládáme, že elektrické obvody jsou složeny z lineárních členů, pro které platí, že elektrické veličiny jsou přímo úměrné jedna druhé. Mezi příklady patří odpor ($U = RI$), kapacita ($Q = UC$) a indukčnost ($U = LI$), kde R , C a L jsou konstanty. V této úloze však budeme zkoumat obvod obsahující nelineární členy uzavřené v černé skříňce, pro které již předpoklad lineárnosti neplatí.

Experimentální uspořádání sestává z **multimetru** (nazvaného "IPhO-measure"), **zdroje proudu**, **černé skříňky** obsahující nelineární členy a čtyř zkušebních vývodů s konektory pro připojení vodičů. Buďte opatrní, abyste nepoškodili pečeť na černé skříňce.

Multimetr je schopen měřit napětí i proud současně. Může zaznamenat až 2000 datových řádků obsahujících napětí U , proud I , výkon $P = UI$, integrální (celkový) odpor $R = U/I$, časovou derivaci napětí $\dot{U}$, časovou derivaci proudu $\dot{I}$ a čas t . Pro detaily se podívejte do manuálu k multimetru. Překročíte-li 2000 uložených datových bodů, nejstarší data budou přepsána.



Zdroj konstantního proudu dodává stálý proud pouze pokud je svorkové napětí v rozmezí -0,6125 V až 0,6125 V. Po vypnutí se zdroj konstantního proudu chová jako velký (v podstatě nekonečný) odpor.

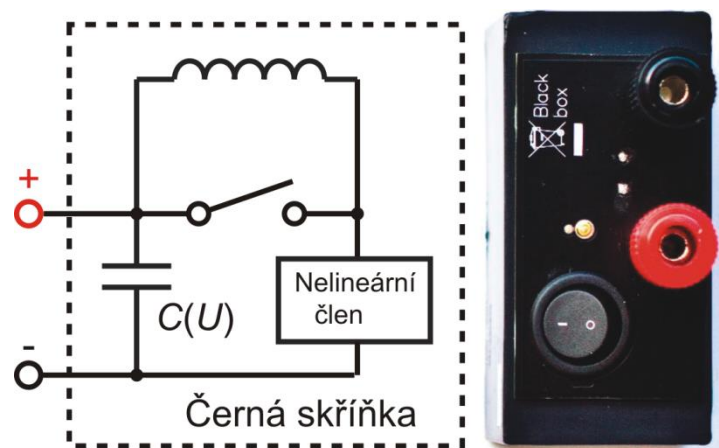


Černá skříňka obsahuje elektrický dvouvrstvý kondenzátor (který se chová jako lehce nelineární kondenzátor o vysoké kapacitě), neznámý nelineární člen a cívku o indukčnosti $L = 10 \text{ mH}$ se zanedbatelným elektrickým odporem, která je

přepínatelná dle elektrického schématu. Nelineární člen může být považován za elektrický odpor s nelineární závislostí mezi napětím a proudem [I je spojitá funkce U a platí $I(0) = 0$]. Obdobně to platí pro kondenzátor, jehož diferenciální kapacita $C(U) = dQ / dU$ není zcela přesně konstantní. **Říkáme, že napětí na černé skříňce je kladné, když potenciál na červeném vývodu je vyšší než na vývodu černém. Kladného napětí bude dosaženo, pokud budou propojeny vývody se stejnými barvami na černé skříňce a zdroji proudu (můžete používat i záporná napětí).**

Je bezpečné vybijet kondenzátor v černé skříňce zkratováním jeho výstupů buď přímo, nebo skrz výstupy IN a OUT na multimetru: vnitřní odpor tohoto kondenzátoru je dostatečně vysoký na to, aby zabránil jakémukoliv poškození.

V této úloze nemusíte počítat žádné chyby!



Část A. Obvod bez indukčnosti (7 bodů)

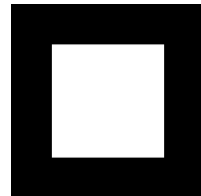
V této části ponechte přepínač na černé skříňce sepnutý (stiskněte "I"), takže cívka bude zkratovaná.

Uvědomte si, prosím, že některá měření mohou zabrat značné množství času, je proto doporučeno si nejprve pročíst všechny úkoly části A, abyste předešli konání zbytečné práce.

- (1 b.) Potvrďte, že výstupní proud proudového zdroje je přibližně 6 mA a určete rozsah proudů pro napětí mezi 0 a +480 mV. Zakreslete schéma zapojení obvodu.
- (1,2 b.) Ukažte, že diferenciální kapacita $C(U)$ použitá v černé skříňce je přibližně 2 F tím, že ji změříte pro nějaké napětí dle vaší volby $C(U_0) = C_0$. Zakreslete schéma zapojení obvodu.
- (2,2 b.) Zanedbejte nelinearitu kondenzátoru [$C(U) \approx C_0$] a určete voltampérovou charakteristiku nelineárního prvku použitého v černé skříňce. Zakreslete do grafu v listu odpovědi křivku $I(U)$ pro všechna možná dosažitelná kladná napětí. Zakreslete schéma zapojení obvodu.

PROBLEM

Problem E2

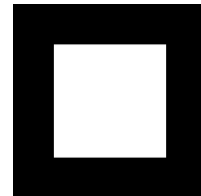


iv. (2,6 b.) Užitím naměřených hodnot z celého rozsahu dosažitelného napětí spočtete a zakreslete do grafu v listu odpovědí křivku $C(U)$ pro všechna dosažitelná kladná napětí měřená na černé skříňce. Zapište minimální a maximální hodnoty diferenciální kapacity $C_{\min}$, $C_{\max}$. Zakreslete schéma zapojení obvodu.

Část B. Obvod s indukčností (3 body)

Připojte cívku rozepnutím spínače v černé skříňce (stiskněte "0"). Užitím stejné metody jako v části A-iii naměřte a nakreslete graf voltampérové charakteristiky nelineárního členu. Popište veškeré významné rozdíly mezi křivkami z částí A a B a určete důvod těchto rozdílů užitím kvalitativních argumentů.

Zde je zapotřebí vědět, že nelineární člen má rovněž kapacitu (cca 1 nF), která je zapojena paralelně k nelineárnímu odporu.

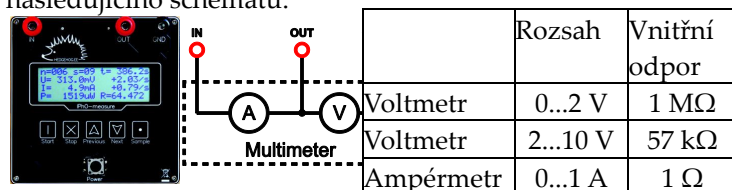


“IPhO-measure”: krátký manuál

IPhO-measure je multimetr na současné měření napětí V a proudu I . Zaznamenává také jejich časové derivace $\dot{U}$ a $\dot{I}$, jejich součin $P = UI$, podíl $R = U/I$ a čas daného záznamu t . Zaznamenaná měření jsou ukládána do samostatných sad; každý záznam je očíslován číslem sady s a pořadím n v rámci dané sady. Všechna uložená data jsou zapsána do vnitřní paměti (flash memory) a je možné je později přičíst.

Electrické chování

Přístroj se chová jako ampérmetr a voltmetr zapojený dle následujícího schématu.



Základní použití

- Zmáčkni tlačítko “POWER”, přístroj *IPhO-measure* se zapne. Přístroj ještě ale neměří. Abyste začali měřit, zmáčknete tlačítko “START”. Mimo měření si můžete procházet uložená data, viz níže.
- K procházení uložených dat (přes všechny sady měření) zmáčknete “PREVIOUS” nebo “NEXT”. Přidržíte-li tlačítka delší dobu, přeskakujete přímo mezi sadami.
- Před měřením stlače “START” a začnete měřit novou sadu dat.
- Při vlastním měření, **stlače “SAMPLE” a data z displeje se uloží.**
- Při měření si můžete prohlížet uložená data v rámci právě měřené sady pomocí tlačítek “PREVIOUS” and “NEXT”
- Zmáčknete “STOP” a ukončíte měření dané sady a uložíte ji. Přístroj je stále zpnutý, můžete začít měření nové sady dat nebo procházet data uložená.
- Přístroj vypnete stlačením tlačítka “POWER. Přístroj zobrazí text “my mind is going...”; nebojte se, veškerá vaše měření jsou uložena a můžete je znovu procházet po dalším zapnutí přístroje.

Displej



Displej zobrazuje devět proměnných:

1. pořadí n měření v rámci dané sady;
2. pořadí s sady;
3. čas t od začátku měření dané sady;
4. napětí V ;
5. rychlost změny napětí V (časová derivace $\dot{V}$); pokud derivaci nelze spolehlivě určit díky fluktuacím napětí V , ukáže se “+nan/s”;
6. proud I ;
7. rychlost změny proudu I (časová derivace $\dot{I}$); pokud derivaci nelze spolehlivě určit díky fluktuacím proudu I , ukáže se “+nan/s”;
8. součin $P = VI$;
9. podíl $R = V/I$.

Je-li nějaká veličina mimo rozsah přístroje, na displeji se objeví “+inf” nebo “-inf”.