

PROBLEM

Problem E1



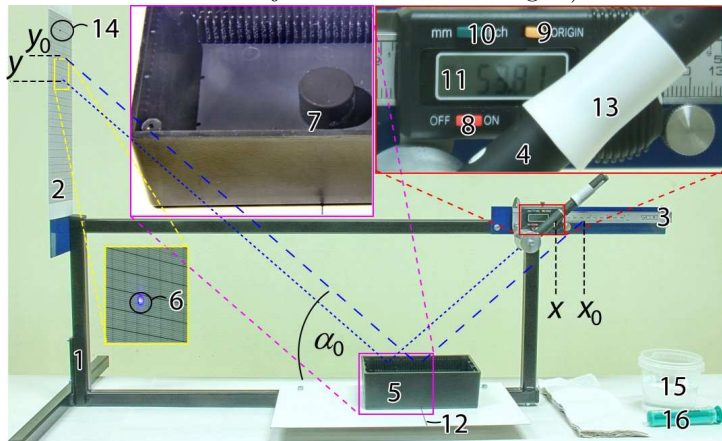
Ülesanne E1. Vee magnetiline läbitavus (10 p.)

Magnetvälja mõju enamikele materjalidele on väga nõrk (v.a. ferromagnetikud). Selle põhjuseks on fakt, et suhteline magnetiline läbitavus μ on enamikes materjalides ligikaudu 1. Magnetvälja energiatihedus on $w = \frac{1}{2\mu\mu_0} B^2$. Siiski, sobilike eksperimentaalsete võtetega on võimalik ka nõrku magnetilisi efekte tuvastada. Selles ülesandes uurime neodüümist püsिमagneti tekitatud magnetvälja mõju veele ja kasutame tulemusi vee magnetilise läbitavuse arvutamiseks.

Selles ülesandes ei ole kuskil vaja mõõtemääramatusi hinnata. Samuti ei ole vaja arvesse võtta pindpinevusest tingitud efekte.

Eksperimendi vahendid on **1** statiiv (värviga esile tõstetud arvud vastavad joonise tähistusele), **3** digitaalne nihik, **4** laserpointer, **5** veeanum ja selle sees **7** silindriline püsिमagnet (magnetiseeritud teljesuunaliselt). Veeanum on magneti tõmbe tõttu aluse küljes kinni. Laser on nihiku külge kinnitatud, nihik on omakorda statiivi küljes. Laserit on võimalik horisontaalselt mööda nihikut liigutada. Laseri sisseväljalülitusnuppu saab all hoida **13** valge koonilise toru abil. Magnet peaks jääma ligikaudu 1 mm sügavusele vee alla (kui magnet on veepinnale lähemal, kõverdub see nii palju, et ekraanilt on raske täpi asukohta mõõta). **15** Veetopsi ja **16** süstalt saab kasutada veetaseme paika sättemiseks (veetaseme tõstmiseks 1 mm võrra tuleb lisada 13 ml vett). **2** Millimeeterpaberi leht ("ekraan") tuleb väikeste **14** magnetikeste abil kinnitada vertikaalse plaadi külge. Kui laseritapp ekraanil on liigselt laiali määratud, vaadake, et veepinnal poleks tolmu (vajadusel puhuge see ära).

Ülejäänud tähistused joonisel on järgmised: **6** koht, kus laseritapp valgustab ekraani; **11** nihiku LCD-ekraan; **10** nupp, mis vahetab nihiku mõõtühikut millimeetrite ja tollide vahel; **8** sisse-välja lüliti; **9** nupp nihiku nullpunkti seadmiseks. Laserpointeri all on veel üks nihiku lüliti, mis seab ajutiselt nihiku nullpunkti uude kohta (kui peaksite seda kogemata vajutama, muudab teistkordne vajutus kõik endiseks tagasi).



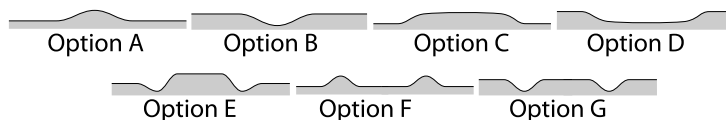
Arvväärtused : magneti keskkohta ja ekraani vaheline horisontaalne vahekaugus on $L_0 = 490$ mm. Tehke kindlaks (vajadusel kohendage anuma asendit), et magneti keskkoht on alusel paistvate joontega kohakuti. Magnetit vertikaaltelg peab lõikuma laserikiirega ja **12** musta joonega alusplaadil. **Magnetiline induktatsioon** magneti teljel, 1 mm kõrgusel selle pinnast on $B_0 = 0.50$ T; **vee tihedus** $\rho_w = 1000$ kg/m³; **raskuskiirendus** $g = 9.8$ m/s²; **vaakumi läbitavus** $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m.

HOIATUSED:

- ♦ **Laseri orientatsioon on täpselt paika seatud, seda ei tohi muuta!**
- ♦ **Laserikiirt või selle peegeldusi ei tohi otse vaadata!**
- ♦ **Neodüümist magnetit ei tohi eemaldada!**
- ♦ **Magnetiliseid materjale mitte panna magneti lähedusse!**
- ♦ **Lülitage laser välja, kui te seda ei kasuta, patarei tühjeneb 1 tunniga!**

Osa A. Veepinna kvalitatiivne kuju (1 p.)

Kui silindriline magnet panna vee alla, siis veepind kõverdub. Vaadeldge, mis on veepinna kuju magneti kohal. Selle vaatluse tulemuse järgi otsustage, kas vesi on diamagnetiline ($\mu < 1$) või paramagnetiline ($\mu > 1$).



Kirjutage õigele joonisele vastav täht vastustelehele ning kirjutage võrratus $\mu > 1$ või $\mu < 1$. Selles osas ei pea te oma vastust põhjendama.

Osa B. Veepinna täpne kuju (7 p.)

Lastes laserikiirel veepinnalt peegelduda, saab pinna kõverust suure täpsusega mõõta. Me kasutame seda peegeldumist, et arvutada vee sügavuse sõltuvus horisontaalsest asukohast magneti kohal.

- (1.6 p.) Mõõtke ekraanil oleva laseritapi kõrguse y sõltuvus nihiku näidust x (vt joonist). Kasutage kogu võimalikku nihiku asendite ulatust. Kandke tulemused vastustelehe tabelisse.
- (0.7 p.) Joonistage leitud sõltuvuse graafik.
- (0.7 p.) Kasutades seda graafikut, määrake nurk α_0 laserikiire ja veepinna horisontaaltasandi vahel.
- (1.4 p.) Pange tähele, et veepinna profiili tõus ($\tan \beta$) avaldub järgmiselt:

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

kus y_0 on laseri täpi kõrgus ekraanil, kui kiir peegeldub veepinnalt magneti telje kohal, ja x_0 on vastav nihiku asukoht. Arvutage $\tan \beta$ väärtused ja lisage need vastustelehe tabelisse. Pange tähele, et arvutusi on võimalik lihtsustada, kui asendate teatud kombinatsiooni avaldise liikmetest hoopis joonistatud graafikult välja loetava suurusega.

- (1.6 p.) Arvutage veepinna kõrgus (magnetist kaugel asuva vee taseme suhtes) sõltuvalt x -st ja lisage tulemused vastustelehe tabelisse.
- (1 p.) Joonistage viimati leitud sõltuvuse graafik. Tähistage sellel piirkond, kus laserikiir langeb veepinnale täpselt magneti kohal.

Osa C. Magnetiline läbitavus (2 p.)

Kasutades osa B tulemusi, arvutage $\mu - 1$ väärtus vee jaoks (niinimetatud *magnetiline vastuvõtlikkus*), kus μ on vee suhteline magnetiline läbitavus. Kirjutage oma lõppvalem ja arvuline tulemus vastustelehele.

PROBLEM

Problem E2

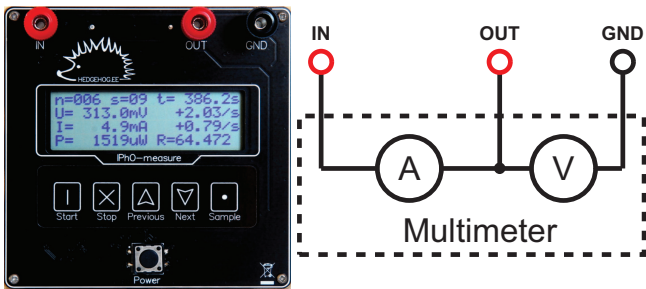


Ülesanne E2. Mittelineaarne must kast (10 p.)

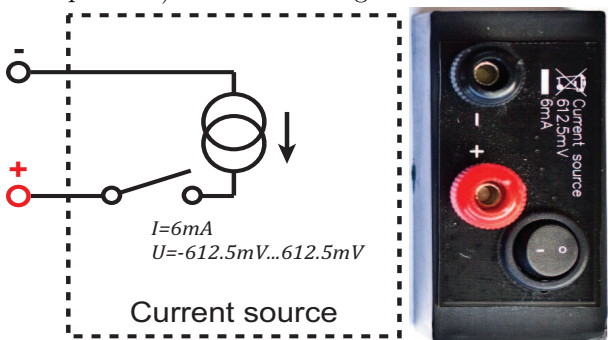
Lihtsates ülesannetest eeldatakse, et elektriskeemid koosnevad lineaarsetest komponentidest, mille puhul elektrilised karakteristikud on üksteisega võrdelised. Näiteks takisti puhul $V = RI$, kondensaatori puhul $Q = CV$, induktori puhul $V = L\dot{I}$, kus R , C ja L on konstandid. Selles ülesandes aga uurime vooluringi, mis sisaldab mustas kastis paiknevaid mittelineaarseid komponente, mille jaoks see võrdelisuse eeldus enam ei kehti.

Eksperimendivahenditeks on **multimeeter** (kirjaga “IPhO-measure”), **vooluallikas** (Current source), mittelineaarseid komponente sisaldav **must kast** (Black box) ja neli ühendusjuhet. Olge ettevaatlikud, et mitte rikkuda kleplinti, millega must kast kinni on pitseeritud.

Multimeeter mõõdab voolutugevust ja pinget samaaegselt. Multimeetriga on võimalik salvestada kuni 2000 andmepunkti, millest igaüks koosneb seitsmest suurusest: pinge V , voolutugevus I , võimsus $P = IV$, takistus $R = V/I$, pinge ajaline tuletis \dot{V} , voolutugevuse ajaline tuletis \dot{I} ja ajahetk t . Täpsemate juhiste jaoks lugege multimeetri kasutusjuhendit. Kui ületate 2000 andmepunkti piiri, siis hakatakse kõige vanemaid andmeid üle kirjutama.

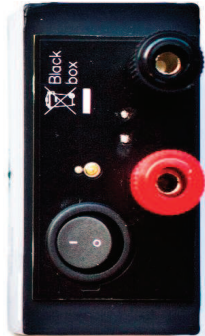
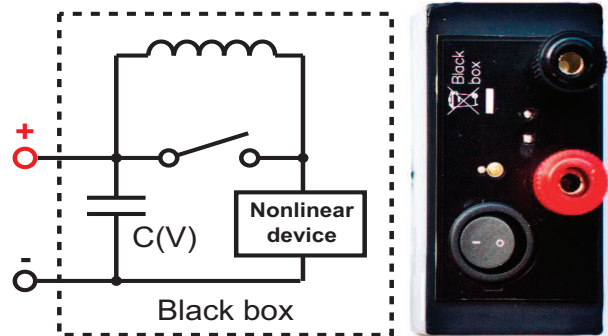


Konstantse voolu allikas tagab stabiilse voolu seni, kuni pinge vooluallika klemmidel jääb vahemikku -0.6125 V kuni 0.6125 V . Kui vooluallikas välja lülitada, käitub see nagu (praktiliselt lõpmatult) suure takistusega takisti.



Must kast sisaldab kaksikkiht-kondensaatorit (mis on veidi mittelineaarne, suure mahtuvusega kondensaator), tundmatut mittelineaarset komponenti (joonisel tähistatud kui “Nonlinear device”) ja tühise takistusega induktorit induktiivsusega $L = 10\ \mu\text{H}$. Induktorit saab lülitiga sisse-välja ühendada nagu joonisel näidatud. Mittelineaarset elementi võib vaadelda kui takistit, millel pinge ja voolutugevuse seos on mittelineaarne [I on pidev funktsioon V -st, kusjuures $I(0) = 0$]. Samuti pole kondensaatori diferentsiaalne mahtuvus $C(V) = dQ/dV$ täpselt konstantne. **Pinge mustal kastil loeme positiivseks siis, kui punase klemmi potentsiaal on suurem musta klemmi potentsiaal. Positiivset pinget on võimalik saavutada siis, kui musta kasti ja vooluallika vastavat**

värvi klemmid omavahel ühendada (punane punasega, must mustaga). Teil on lubatud kasutada ka negatiivseid pingeid.



Mustas kastis asuvat kondensaatorit on turvaline tühjaks laadida, kui lühistada omavahel musta kasti klemmid või kui ühendada need läbi multimeetri IN ja OUT klemmid, sest kondensaatori sisetakistus on piisavalt suur, et välistada voolu-kahtlustusi seadmetele.

Selles ülesandes ei oodata teilt määramatuste hindamist.

Osa A. Vooluring ilma induktorita (7 p.)

Selles ülesande osas tuleb musta kasti lüliti hoida suletuna (vajutage “I” alla) selleks, et induktor oleks lühistatud.

Pange tähele, et mõned mõõtmised võivad võtta võrdlemisi kaua aega, seepärast on soovitatav läbi lugeda kõik osa A alamülesanded, et vältida üleliigset tööd.

i. (1 p.) Veenduge, et vooluallika väljundvoolu tugevus on ligikaudu 6 mA , määrates ära vahemik, mille piires see varieerub, kui pinge muutub vahemikus 0 kuni $+480\text{ mV}$. Märkige vooluringi skeem vastustelehe joonisele.

ii. (1.2 p.) Näidake, et mustas kastis asuva kondensaatori diferentsiaalne mahtuvus $C(V)$ on ligikaudu 2 F , mõõtes ühe kindla teie poolt valitud pinge jaoks $C(V_0) = C_0$. Märkige vooluringi skeem vastustelehe joonisele.

iii. (2.2 p.) Mitte arvestades mahtuvuse mittelineaarsusega (st, eeldage, et $C(V) \approx C_0$), leidke mustas kastis asuva mittelineaarse komponendi voolu-pinge karakteristik (graafik). Joonistage vastustelehele graafik $I(V)$ mustal kastil saavutatavate positiivsete pingete piirkonnas. Märkige vooluringi skeem vastustelehe joonisele.

iv. (2.6 p.) Kasutades kogu saavutatavate pingete piirkonnas tehtud mõõtmisi, arvutage ja joonistage vastustelehele graafik $C(V)$ mustal kastil saavutatavate positiivsete pingete jaoks. Kirjutage välja diferentsiaalse mahtuvuse minimaalne väärtus C_{\min} ja maksimaalne väärtus C_{\max} . Märkige vooluringi skeem vastustelehe joonisele.

Osa B. Induktoriga vooluring (3 p.)

Ühendage induktor vooluringi, avades musta kasti lüliti (vajutage “0” alla). Kasutades sama meetodit kui alampunktis **A-iii**, mõõtkte ja joonistage mittelineaarse komponendi voolu-pinge karakteristik. Kirjeldage märkimisväärsed erinevusi osades A ja B saadud graafikute vahel. Toetudes kvalitatiivsetele argumentidele, pakkuge välja erinevuste põhjus.

Siin peate te teadma, et mittelineaarsel komponendil on tegelikult ka mahtuvus (umbes 1 nF), mis on ühendatud paralleelselt mittelineaarse takistusega.

PROBLEM

Problem E2



IPhO-measure: lühike kasutusjuhend

IPhO-measure on multimeeter, mis mõõdab pinget V ja voolutugevust I sama-aegselt. Samuti salvestab see nende ajalised tuletid \dot{V} ja \dot{I} , nende korrutise $P = VI$, nende suhte $R = V/I$ ja lugemi võtmise ajahetke t . Salvestatud mõõtepunktid on jagatud seeriatesse: iga salvestatud mõõtepunkt on nummerdatud seeria numbriga s ja seeriasisese järjekorranumbriga n . Kõik mõõtepunktid salvestatakse seadme flash-mällu ning neid saab tagantjärgi vaadata.

Elektriline käitumine

Seade töötab ampermeetri ja voltmeetrina, kui see on ühendatud nii nagu joonisel näidatud.



	Piirkond	Sisetaakistus
Voltmeeter	0...2 V	1 M Ω
Voltmeeter	2...10 V	57 k Ω
Ampermeeter	0...1 A	1 Ω

Kasutamine

- *IPhO-measure*-i sisselülitamiseks vajutage nupule "POWER". Sellega pole seade veel mõõterežiimis, mõõtmiste alustamiseks vajutage nupule "START". Mõõtmise asemel võite ka vaadata eelnevalt salvestatud andmeid (vt alljärgnevat selgitust).
- Eelnevalt salvestatud mõõtepunktide vaatamiseks (läbi kõikide seeriade), vajutage nupule "PREVIOUS" või "NEXT". Seeriade vahel liikumiseks hoidke neid nuppe pikemalt all.
- Kui te parasjagu mõõtmisi ei tee, siis uue mõõtmiste seeria alustamiseks vajutage nupule "START".
- Kui teete parasjagu mõõtmisi, **vajutage andmepunkti salvestamiseks nupule "Sample"** (salvestatakse käesoleva hetke andmed).
- Kui teete parasjagu mõõtmisi, saate vaadata ka parasjagu aktiivse seeria mõõtepunkte, kasutades nuppe "PREVIOUS" ja "NEXT".
- Vajutage nupule "STOP", et lõpetada nii mõõtmine kui ka parasjagu aktiivne mõõtmiste seeria. Seade jääb endiselt sisse lülitatuks, te võite alustada uut mõõtmiste seeriat.
- Seadme väljalülitamiseks vajutage nupule "POWER". Kui seade näitab teksti "my mind is going ...", pole põhjust muretseda, sest kõik mõõdetud andmed salvestatakse ning te võite neid pärast seadme sisselülitamist uuesti vaadata. Salvestatud andmepunktid jäävad alles.

Ekraan



Ekraanil kuvatav mõõtepunkt koosneb üheksast arvust:

1. mõõtepunkti seeriasisene järjekorranumber n ;
2. seeria järjekorranumber s ;
3. aeg t , mis on kulunud selle mõõtmiste seeria alustamisest;
4. voltmeetri mõõtmistulemus V ;
5. pinge V muutumise kiirus (ajaline tuletis \dot{V}); juhul kui tuletis pole fluktuatsioonide tõttu usaldusväärselt arvutatav, kuvatakse "+nan/s";
6. ampermeetri mõõtmistulemus I ;
7. voolutugevuse I muutumise kiirus (ajaline tuletis \dot{I}); juhul kui tuletis pole fluktuatsioonide tõttu usaldusväärselt arvutatav, kuvatakse "+nan/s";
8. korrutis $P = VI$;
9. suhe $R = V/I$.

Kui mõni neist arvudest on väljaspool lubatud piirkonda, kuvatakse "+inf" või "-inf".