

1. PÕGENEMINE (8 punkti) — Päivo Simson.

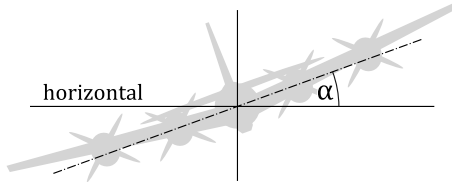
Tuumakatsetuse käigus heidetakse kõrgusel $H = 9 \text{ km}$ lendavalt lennukilt pomm, mis lõhkeb kõrgusel $h = 500 \text{ m}$ maapinnast. Kukkumise jooksul pommile mõjuv õhutakistus on tühiselt väike. Koheselt pärast pommi heitmist hakkab lennuk plahvatuse eest põgenema. Kiirguspuhangu eest kaitseb lennuki meeskonda kaitsekraan, aga lennuk on haavatav lööklainele ning peab olema lõhkemiskohast võimalikult kaugel.

i) (1 punkt) Maksimaalne lennuki kiirus sirgel ja horisontaalsel (konstantsel kõrgusel) lennul on v_0 . Mis on maksimaalne võimalik suhkeldumismurk nii, et lennuki kiirus ei ületaks helikiirust c ? Lennuki mass on m , õhutakistus on $F_d = kv^2$ ja raskuskiirendus on g .

Lihtsuse huvides eeldage edaspidi, et lennuki kõrgus ei muutu, lennuk lendab konstantse kiirusega $v = 190 \text{ m/s}$ ja kõik õhuanõõvrid on piiratud maksimaalse lubatud tõstejõu ja kaalu suhtega $n = 2,5$. Raskuskiirendus $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

ii) (1 punkt) Kui palju on lennukil pärast pommi heitmist aega, enne kui pommist lähtuv kiirguspuhang lennukini jõuab?

iii) (1 punkt) Mis on lennuki trajektoori minimaalne kõverusraadius R ja sellele vastav lennuki kaldenurk α (vt joonist)?



iv) (3 punkti) Pakkuge välja trajektor kiireima põgenemise jaoks. Leidke kõik parameetrid, mis kirjeldavad trajektoori kuju ja asukohta lõhkemiskoha suhtes.

v) (2 punkti) Kui kaugel lõhkemiskohast on lennuk välja pakutud trajektoori korral hetkel, kui lööklaine lennukini jõuab? Ohutu vahemaa on ligikaudu 25 km . Kas lennuk on võimeline plahvatuse eest põgenema? Eeldage, et lööklaine keskmine liikumiskiirus $u = 350 \text{ m/s}$. Selles osas võib algebra lihtsustamiseks vajadusel kasutada põhjendatud lähendusi.

2. GAAS (6 punkti) — Jaan Kalda.

Kast ruumalaga V sisaldab ν mooli üheaatomilist gaasi molaarmassiga μ tühiselt madalal temperatuuril. Kast jääb koheselt seisma pärast seda kui on liikunud kiirusega v (palju suurem soojuslikust kiirusest).

i) (2 punkti) Leidke lõplik temperatuur kastis pärast soojusliku tasakaalu tekkimist.

ii) (2 punkti) Leidke kasti esiseinale (sein, mis oli kasti esiosas, kui kast liikust) avalduv rõhk koheselt pärast seisma jäämist.

iii) (2 punkti) Nüüd on sfääriline gaasikera (heelium, $\mu = 4 \text{ g/mol}$) raadiusega $r = 1 \text{ cm}$ temperatuuril $T = 300 \text{ K}$ ümbritsetud vaakumiga. Molekulide keskmine vaba tee pikkus on palju suurem kui r . Teatud hetkel kera seinad purunevad ja pärast $\tau = 5 \text{ ms}$ osa gaasi püütakse kinni hetkeliselt seinad püstitades, mis moodustavad kuubikujulise anuma ruumalaga $V = 1 \text{ m}^3$. Leidke kuubi sees oleva gaasi temperatuur T' pärast soojusliku tasakaalu tekkimist. Kuubikujulise anuma seinte soojusmahtuvusega mitte arvestada. $R = 8,31 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$.

3. RAKETT (5 punkti) — Jaan Kalda.

Footonraketti kiirendakse maapinnalt tulev laserkiirega: raketi peegel peegeldab footonid täpselt vastupidisesse suunda. Raketi seisumass M_0 ei muutu teekonna ajal. Laseri kiiratud footonite (ja pärast raketil peegeldunud) koguenergia on $\alpha M_0 c^2$. Laseri võimsus ajas on konstantne.

i) (1 punkt) Mis kiiruse v saavutab rakett kui $\alpha = 1 \times 10^{-6}$?

ii) (2 punkti) Mis kiiruse v saavutab rakett kui $\alpha = 1$?

iii) (2 punkti) Mitu korda erineb raketi kiirendus, mida tunnevad reisijad (st neile mõjuv inertsijõud), kiirendamise alguses ja lõpus, kui $\alpha = 1$? Avaldage vastus raketi lõppkiiruse v kaudu.

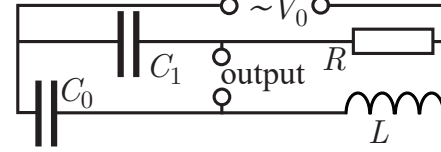
4. AC-FILTER (5 punkti) — Jaan Kalda.

Vahelduvpinge amplituudiga V_0 ja ringsagedusega ω_0 on rakendatud allolevale vooluahelale.

i) (2 punkti) Millise ringsageduse ω_0 korral oleks väljundpinge lõputult suur?

ii) (3 punkti) Olgu nüüd ringsagedus ω kaks korda suurem eelmises osas leitud väärtu-

sest, $\omega = 2\omega_0$. Mahtuvus C_1 valitakse selliselt, et faasinihe φ sisend- ja väljundpingete vahel oleks maksimaalne (parameetreid C_0 , L ja R ei muudeta). Leidke faasinihe φ ja väljundpinge amplituud V_{out} .



5. FERROMAGNETILINE RIBA (12 punkti) — Jaan Kalda, Eero Uustalu.

Katsevahendid Nihik; joonlaud; millimeeterpaber; oomiline magnetvälja andur, mis on ühendatud patareidega patareihoidjas; multimeeter kahe juhtmega; riba pehmest ferromagnetilisest materjalist paksusega $0,25 \text{ mm}$ — **ära liigselt riba painuta, et vältida selle vigastamist.**

i) (0,5 punkti) Ühenda juhtmete banaansid multimeetri COM-pessa ja $V\Omega\text{mA}$ -pessa. Lülita multimeeter sisse 20 voldi (DC) piirkonnas ja puuduta juhtmete krokodillistega patareihoidja kahte metallist klemmi (mille kõrvalt väljuvad hoidjast punane ja must juhe). Mõõda patareihoidja klemmide väljundpinge \mathcal{E} . Kui pinge on alla $3,0 \text{ V}$ võid küsida uusi patareisid.

Kõikide magnetinduktsiooni mõõtmisega jaoks pea silmas, et kui patarei pinge on täpselt 3 V , siis iga millivolt näidus vastab magnetinduktsioonile 10 mikroteslat . Samas, näit millivoltides on võrdeline nii magnetväljaga kui ka patarei pingega.

Ühenda krokodilljuhtmed magnetvälja anduri kollase ja punase juhtmega. Pea meele, et (a) anduril võib olla nullist erinev nihe: isegi kui magnetvälja pole võib multimeetri näit V_0 nullist erineda; (b) alati eksisteerib Maa magnetväli. Järgnevalt väldi magnetväljade mõõtmisest, mis vastavad suurematele pingetele kui 500 mV — nii suured väärtused võivad põhjustada V_0 väärtuse nihkumist. Kui sa kogemata paned anduri sellisesse välja, siis mõõda ja kasuta V_0 uut väärtust.

Magnetvälja anduri ühe külje peal on väike valge täpp. See täpp näitab mõõdetava magnetvälja komponendi suunda.

ii) (1,5 punkti) Leia pinge nihe V_0 , Maa magnetvälja suurus $B_E \equiv |\vec{B}_E|$ ja nurk vertikaal-

sihi ning \vec{B}_E suuna vahel.

Nüüd ühenda magnet ferromagnetilise riba külge nii, et selle ringikujuline külg puutub riba pinda selle ühe otsa lähedal. Kasutame ristuvat koordinaatteljestikku, kus $x - y$ tasand on riba tasand, mille pikim sümmeetriatelg on x -telg ja $x = 0$ asub magneti keskmel.

Kogu magnetväli on superpositsioon püsiv magneti väljast \vec{B}_m , magneeditud ferromagnetilise riba väljast \vec{B} ja Maa magnetväljast \vec{B}_E . Edaspidi oleme ainult huvitatud väljast \vec{B} . Eeldage, et \vec{B}_m sõltub ainult kaugusest magnetist ja ei muutu kui magnet riba küljest eemaldatakse.

iii) (2,5 punkti) Mõõtke vertikaalne väli $B_z = B_z(L/2, y)$, mida tekitab riba koos magnetiga funktsioonina y -ist vahemikus $-w/2 \leq y \leq w/2$ kohal $x = L/2$, kus w ja L tähistavad vastavalt riba laiust ja pikkust. Leidke suhe $\kappa = \langle B_z \rangle / B_z(L/2, 0)$, kus keskmine magnetväli

$$\langle B_z \rangle \equiv \int_{-w/2}^{w/2} B_z(L/2, y) dy.$$

Eeldage et κ püsib konstantsena üle kogu riba.

iv) (3,5 punkti) Mõõtke $B_z(x, 0)$ riba pinna lähedal funktsioonina x -ist, tehke mõõtmistulemustest graafik.

v) (2,5 punkti) Tähistagu J_s riba küllastunud magneetumist; hinnake $J_s \mu_0$ väärtust (st laias laastus tugevamat magnetilist B-välja, mida ferromagnet kanda suudab).

vi) (1,5 punkti) Tõestage eksperimentaalselt, et väiksete x väärtuste jaoks on magneetumus ribas küllastunud.

6. NIPID ELUKS (6 punkti) — *Jurij Bajc and
Jaan Kalda.*

Terve silm on võimeline selgelt nägema objekti, kui objekt asub kaugusel vahemikus 25,0 cm kuni silmast lõputult kaugel. Lühinägelik silm näeb samaväärselt hästi kontaktläätsel abil, mille optiline tugevus on $-6,00$ dioptrit.

i) (1 punkt) Mis on selgelt nägemise piirkond lühinägeliku silma jaoks ilma kontaktläätseta?

ii) (2 punkti) Kui inimene kasutab kontaktläätsede asemel prille, mille lääts 2,00 cm kaugusel silmast, mis on lääts adekvaatne optiline tugevus, et aidata lühinägelikul silmal näha normaalselt?

iii) (3 punkti) Esiveoline auto suudab kasutades piduried kõigi nelja ratta blokeerimiseks paigal püsida asfalteeritud kaldteel kui kaldenurk pole suurem kui 45 kraadi ja liikuda üles kui kaldenurk pole suurem kui 22 kraadi. Mis on maksimaalne kaldenurk, mille jaoks saab auto kaldteest üles tagurdada. Eeldage, et auto massikese on võrdsel kaugusel auto esi- ja tagaratastest.

7. ELEKTRONID MAGNETVÄLJAS (9 punkti) — *Kaarel Hänni, Jaan Kalda.*

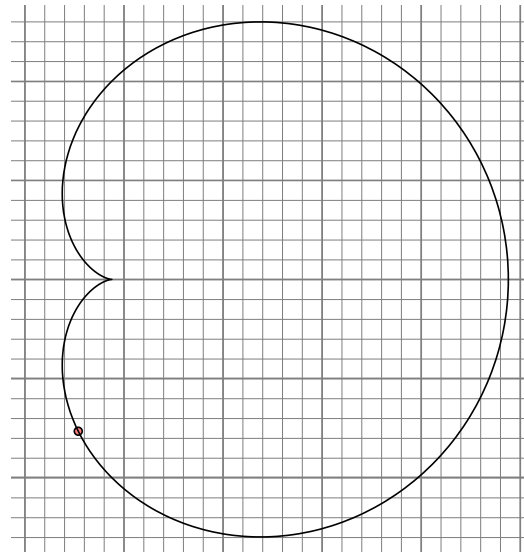
Vaatleme kahe elektroni (massiga m ja laenguga $-e$) liikumist homogeenses magnetväljas tihedusega B sellisel juhul, kui vahemaa nende kahe elektroni vahel on alati konstantne. Erinevad alaküsimused vaatlevad erinevaid võimalikke juhte.

i) (2 punkti) Elektronide vaheline kaugus on nii suur, et nende vaheline elektrostaatiline tõukumine on tühiselt väike. Teatud hetkel on elektronide kiirusvektorite vaheline nurk $\alpha \neq 0$ ja üks neist liigub teise poole kiirusega v . Joonesta sellised trajektoorid mõlema elektroni jaoks. Mis on teise elektroni kiirus?

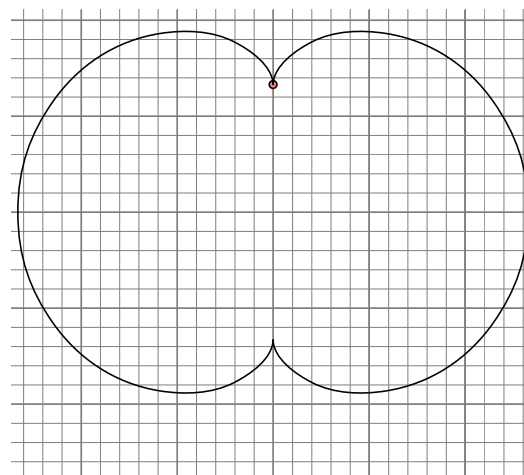
ii) (1 punkt) Elektrostaatiline tõukumine on endiselt tühiselt väike. Nüüd elektronide trajektoorid lõikuvad ja teatud hetkel on ühe elektroni kiirus \vec{v} . Mida saab öelda teise elektroni kiiruse kohta samal hetkel? Joonesta mõlema elektroni trajektoorid.

iii) (2 punkti) Mis on elektronide vaheline kaugus l , kui mõlemad neist liiguvad perioodilist perioodiga $\frac{6\pi m}{Be}$ liikudes konstantse kiirusega?

iv) (2 punkti) Alloleval joonisel on kujutatud ühe elektroni trajektoor teatud algtingimuste jaoks. Kus on teine elektron kui üks elektron on väikse ringiga tähistatud kohas? Mis on sellise liikumise periood?



v) (2 punkti) Alloleval joonisel on kujutatud ühe elektroni trajektoor teatud algtingimuste jaoks. Mis on teise elektroni kiirus kui üks elektron on väikse ringiga tähistatud kohas?



8. PLANEETIDE HELEDUS (9 punkti) — *Topi
Löytäinen, Jaan Kalda.*

Selles ülesandes mõõdetakse ajaperioode aastates (y) ja pikkused astronoomilistes ühikutes (au). Maa kaugus Päikesest on $R_{\oplus} = 1 au$. Eeldage, et planeedid ja Kuu liiguvad samal tasandil (ekliptikal) olevatel ringorbiitidel samas suunas. Veenuse kaugus Päikesest on $R_{\ominus} = 0,72 au$ ja Marsi kaugus Päikesest on $R_{\mars} = 1,5 au$. Selle ülesande osades alaküsimustes on vaja eeldada, et planeedid on niinimetatud Lamberti hajutid, st et kui näha planeedi tervet ketast päiksevalguses, siis ketta heledus keskosa ja äärte juures on täpselt sama. Kogu selles ülesandes eeldage, et vaatleja asub Tallinnas, mille geograafilised koordinaadid on $59,5^{\circ}N$ ja $24,7^{\circ}E$. Maa telje ja ekliptika tasandi normaali vaheline nurk on $23,5^{\circ}$.

i) (0,7 punkti) Millal on võimalik näha noorkuud? Vali üks või mitu valikut (A, B ja/või C), põhjenda oma vastust diagrammiga, kus on Päike, Kuu ja Maa. Vali järgnevatest võimalustest:

- A: vahetult pärast paikselloojangut;
- B: keskööl;
- C: vahetult enne päiksetõusu.

ii) (1,2 punkti) Mis on täiskuu kulminatsiooninurk (st maksimaalne nurk horisondi kohal) talvisel pöörpäeval Tallinnas?

iii) (1,2 punkti) Planeetide näiv heledus (valgustatus Maal, st valgusvoo tihedus) võib muutuda suures vahemikus. Mitu korda muutub Marsi näiv heledus, kui see on Maale lähimas kohas ja kaugeimas kohas?

iv) (1,2 punkti) Mis on ajaperiood Maal alates hetkest kui Mars on Maale lähimas kohas kuni ta on kaugeimas kohas?

v) (1,2 punkti) Sügisest kevadeni ei ole Veenust kunagi võimalik näha südaööl. Kui kaua maksimaalselt pärast päikselloojangut on võimalik Veenust näha?

vi) (2,5 punkti) Avaldage normaliseeritud näiv heledus I/I_0 funktsioonina parameetritest R_{\oplus} , R_{\ominus} ja Maa ning Veenuse vaheline kaugus L . Siin võib norlamisatsioonikonstandi I_0 valida suvaliselt. *Vihje:* I/I_0 peaks olema polünoom L^{-1} -ist.

vii) (1 punkt) Leidke kaugus $L = L_0$, kui

Veenuse näiv heledus on maksimaalne ning nurkkaugus Veenuse ja Päikse vahel sellel hetkel.

9. MAGNET KLAASIS (12 punkti) — *Jaan Kalda, Eero Uustalu.*

Katsevahendid Läbipaistev silinder, mille sees on silindriline püsomagnet ja mille ülemine ning alumine põhi on kaetud fooliumiga; tahke silinder homogeensest materjalist; nihik; kaks plaati (kaldpinna ehitamiseks, millelt silindrid alla saavad veereda); kaks tellist (kaldpinna nurga fikseerimiseks ja muutmiseks); kast veerevate silindrite kinni püüdmiseks; joonlaud — saab ka kasutada silindrite lahti laskmiseks; püsimarker — ainult silindritele märkmete tegemiseks, küsige korraldajatelt abi kui silindreid on vaja puhastada; pliiats — plaatidele märkmete tegemiseks. **NB! Klaassilinder magnetiga on habras ja kallis, olge selle käsitlemisel ettevaatlikud ning ärge kukutage seda pörandale.**

Kõikides alaküsimustes üritage teha võimalikult kordustäpsed mõõtmised. Punkte saate nii sammude eest millega parandate mõõtmiste kordustäpsust kui ka oma tulemuste täpsuse eest.

i) (1 punkt) Leidke magneti kõrgus nii täpselt kui võimalik ja hinnake mõõtemääramatust.

ii) (3 punkti) Kiirendus millega silinder kaldpinnast alla veereb sõltub kaldenurgast ja suhtest $\kappa = I_0/MR^2$, kus I_0 on silindri inertsimoment telje suhtes, M on silindri mass ja R on silindri raadius. Leidke see suhe κ magnetiga klaassilindri jaoks.

iii) (2,5 punkti) Leidke magneti diameeter. *Vihje:* leidke viis selle määramiseks ilma klaasi murdumisnäitajat teadmata.

iv) (2,5 punkti) Pange tähele, et silindri läbipaistev osa koosneb tegelikult kahest erinevast materjalist: keskmise osa murdumisnäitaja n_c on pisut erinev välimise osa murdumisnäitajast n_o (keskmise osa diameeter on sama püsimagnetiga). Leidke murdumisnäitaja n_o ja hinnake mõõtemääramatust.

v) (3 punkti) Leidke murdumisnäitaja n_c .