Nordic-Baltic Physics Olympiad 2022

1. Pakomatka (8 pistettä) — *Päivo Simson.*

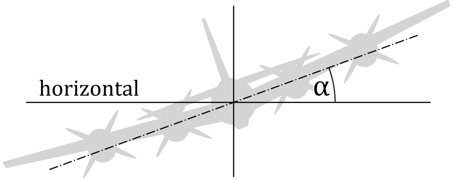
Ydinasetestin aikana pommi pudotetaan lentokoneesta korkeudelta $H = 9\,\mathrm{km}$ ja se asetetaan räjähtämään maan pinnan päällä korkeudella $h = 500\,\mathrm{m}$. Ilmanvastus, joka vaikuttaa pommiin putoamisen ajan, on merkityksetön. Välittömästi pommin pudottamisen jälkeen lentokone aloittaa pakomatkansa räjähdykseltä. Lentokoneen miehistö on turvassa säteilyltä suojalevyn takana mutta lentokone saattaa haavoittua mikäli paineaalto iskee siihen ja tämän takia sen täytyy olla mahdollisimman kaukana räjähdyspisteestä.

i) *(1 piste)* Lentokoneen maksiminopeus suoralle horisontaaliselle lennolle (vakio korkeudella) on v_0. Mikä on koneen maksimisukelluskulma jotta lentokoneen vauhti ei ylitä äänen nopeutta c? Lentokoneen massa on m, ilmanvastusvoima on $F_d = kv^2$ ja painovoiman aiheuttama putoamiskiihtyvyys on g.

Yksinkertaisuuden vuoksi, oleta tästä eteenpäin lentokoneen pysyvän vakiokorkeudella, lentävän vakiovauhdilla $v = 190\,\mathrm{m/s}$ ja lisäksi, että kaikkia liikkeitä rajoittaa koneen suurin sallittu nostepaino suhde $n = 2.5$. Putoamiskiihtyvyys on $g = 9{,}81\,\mathrm{m/s^2}$.

ii) *(1 piste)* Pommin pudottamisen jälkeen, kuinka paljon lentokoneella on aikaa ennen kuin pommin aiheuttama säteily purske osuu siihen?

iii) *(1 piste)* Mikä on lentokoneen liikeradan pienin mahdollinen kaarevuus säde R ja vastaava lentokoneen kallistuskulma (katso kuva) α?



iv) *(3 pistettä)* Ehdota pakomatkalle nopein mahdollinen liikerata. Laske kaikki parametrit jotka määräävät liikeradan muodon sekä sen paikan räjähdyspisteeseen.

v) *(2 pistettä)* Perustuen ehdoittamaasi liikerataan, kuinka kaukana lentokone on räjähdyspisteestä kun paineaalto iskee siihen? Arvion mukaan turvallinen etäisyys on 25 km. Pystyykö kone pakenemaan räjähdyksen? Oleta paineaallon keskimääräisen nopeuden olevan $u = 350\,\mathrm{m/s}$. Tässä kohdassa, mikäli tarvitset, voit käyttää perusteltuja approksimaatioita yksinkertaistamaan algebraa.

2. Kaasu (6 pistettä) — *Jaan Kalda.*

Laatikko, tilavuudeltaan V, on täynnä ν moolia yksimolekyylistä kaasua, moolimassaltaan μ, häviävän matalassa lämpötilassa. Laatikko pysähtyy välittömästi liikuttuaan nopeudella v (paljon suurempi kuin terminen nopeus).

i) *(2 pistettä)* Selvitä laatikossa vallitseva paine lopullisessa stabiloituneessa lämpötilassa.

ii) *(2 pistettä)* Selvitä laatikon etuseinään kohdistuva paine heti pysähtymisen jälkeen.

iii) *(2 pistettä)* Nyt pyöreä pallo kaasua (heliumia, $\mu = 4\,\mathrm{g/mol}$), säteeltään $r = 1\,\mathrm{cm}$ ja lämpötilaltaan $T = 300\,\mathrm{K}$, on tyhjiön ympäröimä. Molekyylien keskimääräinen vapaa matka on paljon suurempi kuin r. Tietyllä hetkellä pallon seinät hajoavat, ja ajan $\tau = 5\,\mathrm{ms}$ jälkeen osa kaasusta vangitaan pystyttämällä välittömästi kuution muotoisen säiliön muodostavat seinät, tilavuudeltaan $V = 1\,\mathrm{m^3}$. Selvitä kuutiossa olevan kaasun stabiloitunut lämpötila T'; jätä huomiotta kuution muotoisen säiliön seinien lämpökapasiteetti.

3. Raketti (5 pistettä) — *Jaan Kalda.*

Fotoniraketia kiihdytetään maanpinnalta lähetettävällä laser säteellä: raketin peili heijastaa fotonit tarkalleen vastakkaiseen suuntaan. Raketin lepomassa M_0 ei muutu matkan aikana. Laserin lähettämien fotonien kokonaisenergia (jotka raketti myöhemmin heijastaa takaisin) on $\alpha M_0 c^2$. Laserin teho on vakio ajan funktiona.

i) *(1 piste)* Minkä vauhdin v raketti saavuttaa jos $\alpha = 1 \times 10^{-6}$?

ii) *(2 pistettä)* Minkä vauhdin v raketti saavuttaa jos $\alpha = 1$?

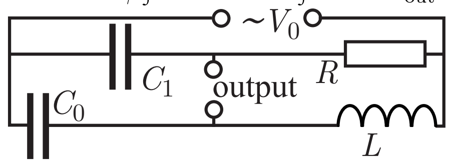
iii) *(2 pistettä)* Kuinka paljon suurempi on raketin kiihtyvyys, kuten sen havaitsee raketin matkustajat (siis heihin vaikuttava näennäisvoima), raketin kiihdyttämisen alussa kuin lopussa jos $\alpha = 1$? Ilmoita vastauksesi raketin lopullisen nopeuden v avulla.

4. AC-suodatin (5 pistettä) — *Jaan Kalda.*

Alla olevaan piiriin syötetään vaihtovirtaa amplitudilla V_0 ja kulmataajuudella ω_0.

i) *(2 pistettä)* Millä kulmataajuudella ω_0 ulostuleva jännite olisi ääretön?

ii) *(3 pistettä)* Olkoon kulmataajuus ω nyt kaksi kertaa kaksi kertaa edellisen tehtävän arvo, $\omega = 2\omega_0$. Kapasitanssi C_1 valitaan siten, että vaihe-ero ϕ sisääntulevan ja ulostulevan jännitteiden välillä on suurin mahdollinen (parametreja C_0, L ja R ei ole muutettu). Selvitä vaihe-ero ϕ ja ulostuleva jännite V_{out}.



5. Ferromagneettinen nauha (12 pistettä) — *Jaan Kalda, Eero Uustalu.*

Työkalut Työntömitta, viivoitin, ruutupaperia, resistiivinen magneettikenttäsensori yhdistettynä paristoihin paristokotelossa, yleismittari kahdella johdolla, nauha pehmeää ferromagneettista materiaalia — **älä taita liikaa välttääksesi vaurioita**.

i) *(0,5 pistettä)* Yhdistä johtojen banaanipäät COM-porttiin ja yleismittarin VΩmA-porttiin. Kytke yleismittari päälle 20 voltin (DC) mittausalueelle, ja kosketa johtojen krotiilipäillä paristokotelon kahta metallijohtoa (jotka ovat sen kohdan vieressä josta musta ja punainen johto tulevat ulos kotelosta). Merkitse ylös paristokotelon ulostulojohtojen jännite $\mathcal{E}$. Jos jännite on alle $3{,}0\,\mathrm{V}$, voit pyytää paristojen vaihtoa.

Magneettikentän mittauksen aikana pidä mielessä, että *jos pariston jännite olisi täsmälleen* $3\,\mathrm{V}$, *jokainen millivoltti lukemassa vastaisi 10 mikroteslaa magneettikentän vahvuudessa. Lukema millivolteissa on kuitenkin verrannollinen sekä magneettikenttään että pariston jännitteeseen.*

Yhdistä krokotiilipäät magnettisensorin keltaiseen ja punaiseen johtoon. Pidä mielessä, että (a) sensorissa voi olla nollasta poikkeava offset: vaikka ei olisikaan magneettikenttää, yleismittarin lukema V_0 ei välttämättä ole nolla; (b) aina on Maan magneettikenttä. Seuraavassa mittauksessa yritä välttää mittaamasta magneettikenttiä, jotka vastaavat jännitelukemaa enemmän kuin $500\,\mathrm{mV}$ — niin suuret magneettikentät voivat aiheuttaa muutoksia offset-arvossa V_0. Jos vahingossa altistat sensorin niin suurille kentille, määritä ja käytä uutta V_0 arvoa.

Magneettisensorissa on pieni valkoinen täplä merkattuna yhteen sen reunaan. Tämä osoittaa sen magneettikentän komponentin suunnan, jota mitataan.

ii) *(1,5 pistettä)* Määritä offset-jännite V_0 sekä Maan magneettikentän $B_E \equiv |\vec{B}_E|$ suuruus, ja kulma pystysuunnan ja vektorin $\vec{B}_E$ suunnan välillä.

Kiinnitä nyt magneetti ferromagneettiseen nauhaan siten, että sen pyöreä reuna koskee nauhan pintaa lähellä yhtä sen päistä. Käytetään kohtisuoraa koordinaatistoa, jossa $x-y$-taso on nauhan taso, missä nauhan pisin symmetria-akseli vastaa x-akselia, ja $x = 0$ on paikka magneetin keskipisteessä.

Kokonaismagneettikenttä on superpositio kestomagneetin kentästä $\vec{B}_m$, magnetisoidun ferromagneettisen nauhan kentästä $\vec{B}$, ja Maan magneettikentästä $\vec{B}_E$. Alla olemme kiinnostuneita ainoastaan kentästä $\vec{B}$. Oletetaan, että kenttä $\vec{B}_m$ riippuu ainoastaan etäisyydestä magneettiin eikä muutu, kun magneetti irrotetaan nauhasta.

iii) *(2,5 pistettä)* Mittaa pystysuuntainen kenttä $B_z = B_z(L/2{,}y)$, joka aiheutuu nauhasta magneetin kanssa, koordinaatin y funktiona, arvoilla $-w/2 \le y \le w/2$ pisteessä $x = L/2$, missä w merkitsee leveyttä ja L nauhan pituutta. Selvitä arvojen $\kappa = \langle B_z \rangle$ ja $B_z(L/2{,}0)$ suhde, missä keskimääräinen magneettikenttä on

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

Oletetaan, että κ pysyy vakiona nauhassa.

iv) *(3,5 pistettä)* Mittaa $B_z(x{,}0)$ lähellä nauhan pintaa, koordinaatin x funktiona, ja piirrä mittaustuloksesi.

v) *(2,5 pistettä)* Olkoon J_s nauhan materiaalin saturaatiomagnetisaatio; arvioi suureen $J_s\mu_0$ arvoa (eli, karkeasti ottaen, voimakkainta magneettikenttää jota ferromagneetti voi pitää yllä)

vi) *(1,5 pistettä)* Osoita kokeellisesti, että pienillä koordinaatin x arvoilla magnetisaatio nauhan sisällä on saavuttanut saturaation.

6. Life hacks (6 pistettä) — *Jurij Bajc, Jaan Kalda.*

Tavallinen terve silmä näkee esineen tarkasti, jos esineen etäisyys silmästä on välillä 25.0 cm ja ääretön. Likinäköinen silmä näkee yhtä hyvin piilolinssien avulla, joiden optinen voimakkuus on -6.00 dioptriaa.

i) *(1 piste)* Millä välillä likinäköinen silmä näkee tarkasti ilman piilolinssejä?

ii) *(2 pistettä)* Jos henkilö käyttää silmälaseja piilolinssien sijaan, ja silmälasien linssi on 2.00 cm päässä silmästä, mikä on sopiva optinen voimakkuus linssille jotta likinäköinen silmä näkee normaalisti?

iii) *(3 pistettä)* Etuvetoinen auto pystyy pysymään paikoillaan kaltevalla asfalttitiellä jarrujen jarruttaessa kaikkia neljää rengasta, kun tie nousee korkeintaan 45 asteen kulmassa. Sama auto voi ajaa ylämäkeen, kun tien kulma on korkeintaan 22 astetta. Mikä on maksimikulma, jossa auto voi peruuttaa ylämäkeen? Oletetaan, että auton painopiste on yhtä kaukana etu- ja takapyöristä.

7. Elektronit magneettikentässä (9 pistettä) — *Kaarel Hänni, Jaan Kalda.*

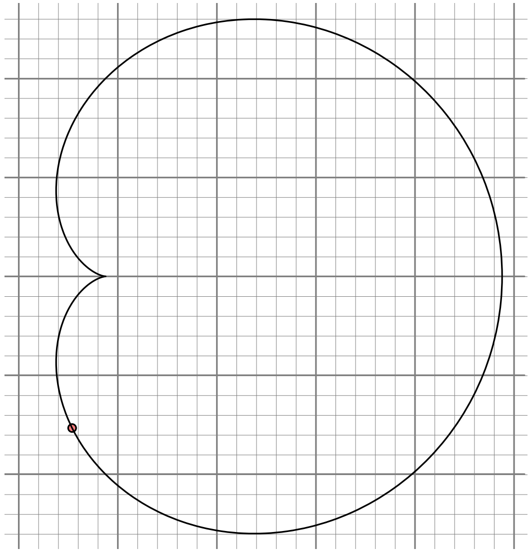
Tässä tehtävässä tarkastelemme kahta elektronia (joiden massa on m ja varaus $-e$) jotka liikkuvat homogeenisessä magneettikentässä jonka vuon tiheys on B. Elektronit liikkuvat siten, että niiden välinen etäisyys pysyy aina vakiona; eri osatehtävät tutkivat erilaisia tilanteita.

i) *(2 pistettä)* Elektronien välinen etäisyys on niin iso että voimme jättää elektrosaattisen hylkimisen huomiotta. Tietyllä ajanhetkellä, elektronien välisten nopeus vektorien välinen kulma on $\alpha \neq 0$ ja yksi elektroneistä liikkuu toisen ympäri nopeudella v. Hahmottele molempien elektronien liikerata. Mikä on toisen elektronien vauhti?

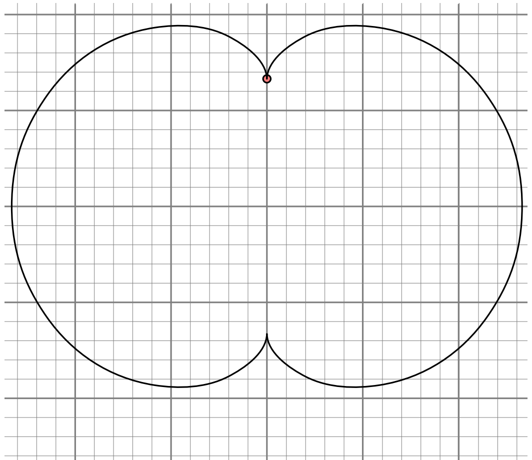
ii) *(1 piste)* Jätä elektrostaattinen hylkiminen edelleen huomiotta. Nyt näiden kahden elektronin liikeradat leikkaavat ja tietyllä ajanhetkellä, toisen elektronin nopeus on $\vec{v}$. Mitä voidaan sanoa jäljelle jäävän elektronin nopeudesta samalla ajanhetkellä? Luonnostele molemmat liikeradat.

iii) *(2 pistettä)* Mikä elektronien välinen etäisyys l jos molemmat ovat periodisessä liikkeessä jonka jaksonaika on $\frac{6\pi m}{Be}$ kun ne liikkuvat tasaisella vauhdilla?

iv) *(2 pistettä)* Alla oleva kuva näyttää yhden elektronin liikeradan jollain tietyillä alkuehdoilla. Missä on toinen elektroni kun ensimmäinen elektroni on kuvassa olevan pienen ympyrän kohdalla? Mikä on tämän liikkeen ajanjakso?



v) *(2 pistettä)* Alla oleva kuva näyttää yhden elektronin liikeradan jollain tietyillä alkuehdoilla. Mikä on toisen elektronin nopeus sillä ajanhetkellä kun ensimmäinen elektroni on kuvassa olevan pienen ympyrän kohdalla?



8. Planeettojen kirkkaus (9 pistettä) — *Topi Löytäinen, Jaan Kalda.*

Tässä tehtävässä mittaamme ajanjaksoja vuosissa (y) ja etäisyyksiä mitataan astronomisissa yksiköissä (au); etäisyys maasta aurinkoon on $R_\oplus = 1\,\mathrm{au}$. Oletamme planeettojen ja kuun liikkuvan samassa tasossa, ekliptikalla, ympyrän muotoisilla radoilla samaan suuntaan. Venuksen etäisyys auringosta on $R_♀ = 0{,}72\,\mathrm{au}$ ja marssin etäisyys auringosta on $R_♂ = 1{,}5\,\mathrm{au}$. Joissain alla olevissa kohdissa sinun täytyy olettaa planeettojen olevan niin sanottuja Lamberttilaisia sirottajia. Tämä tarkoittaa sitä, että kun näet kokonaan auringonvalolla valaistun planeetan, planeetan muodostaman kiekon keskikohta on tarkalleen yhtä kirkas kuin kiekon reunat. Läpi tehtävän oleta havaitsijan olevan Tallinnassa maantieteellisissä koordinaateissa 59,5°N ja 24,7°E. Maapallon akseli on kallellaa 23,5°verrattuna ekliptika tason normaaliin.

i) *(0,7 pistettä)* Milloin näet kasvavan kuunsirpin? Valitse yksi tai usemapi vaihtoehto(A, B and/or C), ja motivoi vastaustasi kuvaajalla jossa on aurinko, kuu ja maa. Valitse seuraavista vaihtoehdoista
A: välittömästi auringonlaskun jälkeen;
B: keskiyön aikaan;
C: välittömästi ennen auringonnousua.

ii) *(1,2 pistettä)* Mikä on täyden kuun huippukulma (siis kulma horisontin yläpuolella) talvipäivän seisauksen aikaan Tallinnassa?

iii) *(1,2 pistettä)* Planeettojen näennäinen kirkkaus (illuminanssi maapallolla siis valovirran tiheys) voi vaihdella suuresti. Kuinka monenkertaisesti vaihtelee Marssin näennäinen kirkkaus?

iv) *(1,2 pistettä)* Mikä on pienin ajanjakso maapalolla niiden ajanhetkien välillä kun Mars on kirkkaimmillaan ja kun se on himmeimmillään.

v) *(1,2 pistettä)* Syksyn ja kevään välillä Venusta ei voi koskaan havaita keskiyöllä. Kuinka pitkän aikaa sitä voi enimmillään havaita auringonlaskun jälkeen?

vi) *(2,5 pistettä)* Ilmoita normitettu näennäinen kirkkaus I/I_0 etäisyyksien $R_\oplus$, $R_♀$, ja L funktiona. Nyt L on etäisyys Maapallolta Venukseen. Normalisaatio vakio I_0 voidaan valita mielivaltaisesti. *Vinkki:* I/I_0:n pitäisi olla L^{-1}:n polynomi.

vii) *(1 piste)* Etsi etäisyys $L = L_0$ millä Venuksen näennäinen kirkkaus on isoimmillaan sekä etsi myös Venuksen ja Auringon välinen etäisyys tuolla hetkellä.

9. Magneetti lasissa (12 pistettä) — *Jaan Kalda, Eero Uustalu.*

Laitteisto Läpinäkyvä sylinteri jonka sisällä on sylinterin muotoinen kestomagneetti ja jonka ylä- ja alapäässä on foliohuput; kiinteä sylinteri joka on valmistettu homogeenisestä materiaalista; työntömitta; kaksi levyä (joista voidaan rakentaa kalteva taso jolla sylinterit voivat vieriä alas); laatikko johon voit ottaa kiinni pyörivät sylinterit: mitta – jota voidaan käyttää sylintereiden vapauttamiseen; permanentti tussi – käytä vain sylintereiden merkitsemiseen, kysy organisaattorilta jos sinun täytyy putsata sylinterien merkinnät; kynä – merkkien tekemiseen levyille. **Huom! Lasinen sylineri jossa on magneetti on hauras ja kallis! Käsittele sitä varovasti ja vältä sen pudottamista lattialle.**

Kaikissa tehtävissä sinun tulisi tähdätä parhaaseen mahdolliseen tarkkuuteen. Saat pisteitä sekä niistä asioista joita teet tarkkuuden parantamiseksi sekä tulostesi tarkkuudesta.

i) *(1 piste)* Määritä magneetin korkeus mahdollisimman tarkasti ja arvioi tuloksesi epävarmuutta.

ii) *(3 pistettä)* Se kiihtyvyys jolla sylinteri vierii alas kaltevaa tasoa pitkin on riippuvainen kaltevan pinnan kulmasta sekä suhteesta $\kappa = I_0/MR^2$ missä I_0 on kappaleen hitausmomentti akselin suhteen, M on kappaleen massa ja R on kappaleen säde. Määritä suhde κ lasiselle sylinterille jossa on magneetti sisällä.

iii) *(2,5 pistettä)* Määritä magneetin halkaisija. *Vihje:* yritä löytää tapa jolla voit määrittää halkaisijan tietämättä lasin taitekerrointa.

iv) *(2,5 pistettä)* Huomaa että sylinterin läpinäkyvä osa on tehty itseasiassa kahdesta eri materiaalista: sylinterin keskiosan taitekerroin n_c on hieman eri kuin ulkoisen osan taitekerroin n_o (keskiosalla on sama halkaisija kuin kestomagneetilla). Määritä taitekerroin n_o ja arvioi tuloksesi epävarmuutta.

v) *(3 pistettä)* Määritä taitekerroin n_c.