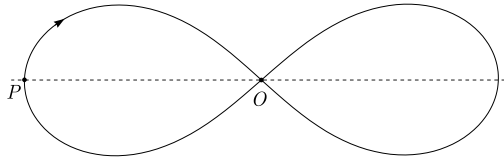


Põhjamaade-Balti füüsikaolümpiaad 2018

1. GRAVITATSIOONILINE VÕIDUJOOKS (11 punkti) — *Maté Vihje and Jaan Kalda*. Ehki üldjuhul on kolme keha liikumine üksteise raskusjõus keeruline ja kaootiline, on sel siiski korrapäraseid erijuhte. Enamgi veel: on olukordi, kus need kehad liiguvad perioodiliselt. Kõige lihtsamal sellise perioodilise liikumise juhul paiknevad kehad võrdkülgse kolmnurga tippudes, mis pöörleb nagu kõva keha. Järgnevalt vaatleme aga üht keerukamat perioodilist liikumist.

Võrdlemisi hiljuti* avastati, et kolm võrdset punktmassi võivad liikuda perioodiliselt piki ühist 8-kujulist trajektoori, mis on kujutatud siin joonisel (nool osutab liikumissuunda). See joonis on tehtud arvutisimulatsiooni abil ja on täpse kujuga. Kui vaja, saate lisalehele trükitud suurendusel joonlauaga pikkusi mõõta.



Nummerdagem kehad numbritega 1, 2 ja 3 vastavalt järjekorrale, milles nad läbivad joonise vasakpoolseima punkti P . Olgu O_2 ja O_3 vastavalt kehade 2 ja 3 asukohad hetkel, kui keha 1 läbib keskpunkti O . Analoogiliselt olgu P_2 ja P_3 kehade 2 ja 3 asukohad, kui keha 1 läbib vasakpoolseimat punkti P . Täht T tähistagu iga keha täisperioodi sel 8-kujulisel teekonnal.

i) (2 punkti) Avaldage ühe keha jaoks järgnevad liikumisajad: (a) punktist O_2 punkti O ; (b) punktist O_3 punkti P_2 .

ii) (1 punkt) Olgu \vec{v}_1 , \vec{v}_2 ja \vec{v}_3 nende kolme keha kiirused mingil ajahetkel. Kirjutage võrdus, mis seoks need kolm vektorit omavahel.

iii) (2 punkti) Tõestage, et süsteemi koguimpulsimoment on null.

iv) (2 punkti) Konstrueerige lisalehel punktid O_2 ja O_3 . Põhjendage oma konstruktsiooni.

v) (2 punkti) Konstrueerige lisalehel punktid P_2 ja P_3 . Leidke kaks sõltumatut konstruktsiooni ja põhjendage oma meetodeid.

vi) (2 punkti) Leidke keha kiiruste suhe punktides O ja P .

2. KIIRUSKAAMERA (6 punkti) — *Mikkel Kree*. Selles ülesandes uurime kiiruskaamera tööpõhimõtet. Tema saatja kiirgab elektromagnetlainet sagedusega $f_0 = 24\text{GHz}$ ja kujuga $\cos(2\pi f_0 t)$. Laine peegeldub autolt, mis liigub kiirusega v . Peegeldunud laine püüab kinni kiiruskaamera vastuvõtja.

i) (2 punkti) Avaldage peegeldunud laine sagedus f_1 .

ii) (2 punkti) Kiiruskaameras korrutatakse vastuvõetud lainekehu kiiratudga. Avaldage kõik korrutatud signaalis leiduvad sageduskomponendid.

iii) (2 punkti) Teades, et korrutatud signaali madalaima sagedusega komponent on $f_{\text{low}} = 4,8\text{kHz}$, arvutage auto kiirus v . Märkus: valguse kiirus $c = 3,0 \times 10^8\text{ m/s}$ ja kasu võib olla trigonomeetriavalemist

$$\cos \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)].$$

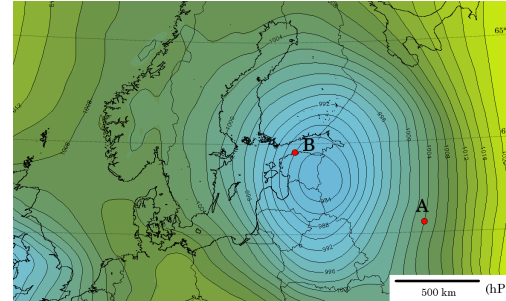
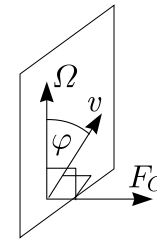
3. ILMAENNUSTUS (7 punkti) — *Johan Runesson*. Kaart lisalehel kujutab isobaare muutumatu kõrgusel merepinna lähedal. Võite eeldada, et see isobaaride muster on ajas püsiv (muutub väga aeglaselt).

i) (2 punkti) Visandage tuule kiirusvektori suund punktides A ja B.

ii) (2,5 punkti) Hinnake tuule kiiruse suurust punktis A. Selleks kasutage asjaolu, et punktis A on konstantse rõhu jooned peaaegu sirged. Õhu tihedus maa lähedal $\rho = 1,23\text{kg/m}^3$.

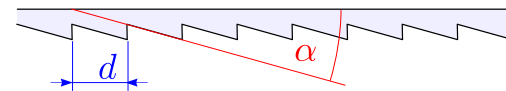
iii) (2,5 punkti) Hinnake tuule kiiruse suurust punktis B.

Vihje. Kui keha massiga m (näiteks mingi õhukogus) liigub kiirusega v taustsüsteemis, mis pöörleb nurkkiirusega Ω , siis mõjub talle mõtteline Coriolise jõud, mille määrab valem $F_C/m = 2v\Omega \sin \varphi$. Nurk φ ja vektorite suunad on järgneval joonisel.



4. FRESNELI PRISMA (12 punkti) — *Eero Uustalu and Jaan Kalda*. **Vahendid:** leht Fresneli prisma, leht sinakate tsüaan- ja punakate magentatriipudega (lisaleht), tükk pappi (mis sobib ekraaniks), joonlaud, mõõdulint, statiiv, roheline laser ($\lambda_0 = 532\text{nm}$). **NB! Ärge vaadake otsest ega peegeldunud laserikiirgust, see võib te silmi vigastada!** Magentatriipudelt hajuva valguse intensiivsuse maksimum on kohal $\lambda_m = 630\text{nm}$, tsüaantriipudelt $\lambda_c = 495\text{nm}$.

Fresneli prisma on läbipaistev leht perioodiliste vagudega; selle ristlõige on joonisel. Lehe materjali murdumisnäitaja $n = 1,47$.



i) (4 punkti) Määrake Fresneli prisma võresamm d (võresammu definitsiooni vaadake joonisel).

ii) (4 punkti) Määrake prisma nurk α .

iii) (4 punkti) Eeldusel, et nähtava valguse piirkonnas sõltub Fresneli prisma materjali murdumisnäitaja $n = n(\lambda)$ lainepikkusest λ lineaarselt, määrake kromaatileine dispersioon $\frac{dn}{d\lambda}$.

*Christopher Moore, Phys. Rev. Lett. 70, 3675 (1993)

5. MAGNETPILJARD (9 punkti) — *Jaan Kalda*. Vaadeldgem kaht täiesti elastset dielektrilist kuuli raadiusega r ja massiga m , millest üks kannab isotroopselt jaotunud laengut $-q$ ja teine laengut $+q$. z -teljega paralleelselt on nii tugev magnetväli B , et laengute elektrostaatiline vastasmõju on tühine; ignoreerige ka gravitatsiooni ja hõõrdejõude. Esimene, negatiivselt laetud kuul liigub kiirusega v ja pörkab vastu teist, koordinaatide alguspunkti seisnud kuuli. Põrge on tsentraalne ja vahetult enne põrget liikus esimene kuul x -telje suunas.

i) (1 punkt) Kui kiiresti liigub teine kuul vahetult pärast põrget?

ii) (2 punkti) Visandage mõlema kuuli keskme edasine trajektoor.

iii) (3 punkti) Mis on kuulide edasise liikumise keskmine kiirus (nii suuruselt kui ka suunalt)?

iv) (3 punkti) Vaadeldgem nüüd sarnast olukorda nagu enne, ainult et (a) ka esimesel kuulil on nüüd positiivne laeng $+q$; (b) põrge ei pruugi enam olla tsentraalne, ehkki kiirused jäävad $x-y$ -tasandile; (c) kuulide elektrostaatiline tõukumine võib saada oluliseks. Tähistagu P_i punkti, kus kuulide pinnad puutuvad teineteist i -nda põrke ajal. Milline on suurim võimalik kaugus P_i ja P_j vahel (maksimeerides üle kõikvõimalike indeksite $i, j = 1, \dots, \infty$ ja üle kõigi põrkeparameetrite, hoides B , m ja q paigal)?

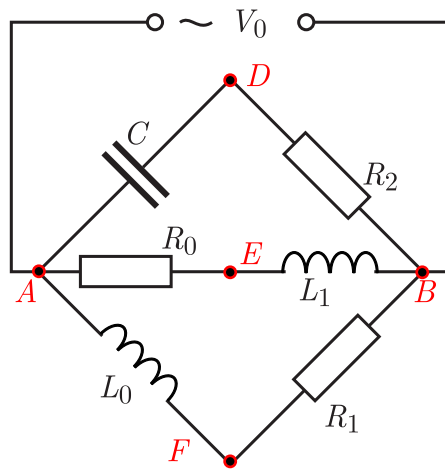
6. KUUBIK (5 punkti) — *Taarvet Kalda*. La-

serviip võimsusega P suunatakse klaaskuubikule. Kuubiku murdumisnäitaja on n . Kuubiku pindadel on peegeldumisvastane kate, mistõttu osalist peegeldumist ei ole, kui valgus liigub ühest keskkonnast teise. Valguse kiirus on c .

i) (3 punkti) Ülimalt kui suure jõuga suudab laser kuubikut lükata, kui laserikiir peab olema ühe kuubi tahuga paralleelne (ja seega levib ainult ühes tasandis)?

ii) (2 punkti) Ülimalt kui suure jõuga suudab laser kuubikut lükata, kui laseri suund on vabalt valitav?

7. LCR-SKEEM (5 punkti) — *Jaan Kalda*. Vaadeldgem joonisel kujutatud vooluringi.



i) (2 punkti) Joonestage selle skeemi jaoks faasordiagramm, mis kujutab järgmiste sõlmpunktide vahelisi pingevektoreid: V_{AD} , V_{DB} , V_{AB} , V_{AE} , V_{EB} , V_{AF} ja V_{FB} .

ii) (3 punkti) Pinged sõlmpunktide D , E ja F vahel on teada: $V_{DE} = 7\text{ V}$, $V_{DF} = 15\text{ V}$ ja $V_{EF} = 20\text{ V}$. Kui suur on sisendpinge V_0 ?

8. ÕHK ALLVEELAEVAS (6 punkti) — *Johan Runeson, Jaan Kalda*. Tundmatut päritolu allveelaev sõidab Läänemere põhja lähedal sügavusel $h = 300\text{ m}$. Selle sisemuseks on üks suur kamber ruumalaga $V = 10\text{ m}^3$, mida täidab õhk ($M = 29\text{ g/mol}$) rõhul $p_0 = 100\text{ kPa}$ ja temperatuuril $t_0 = 20^\circ\text{C}$. Ootamatult sõidab ta aga karile, mis rebib laeva põhja suure augu pindalaga $A = 20\text{ cm}^2$. Allveelaev vajub põhja ja täitub kiiresti veega, välja arvatud üks kõrgemal rõhul õhumull (kogu õhk jääb laeva). Vee tihedus $\rho = 1000\text{ kg/m}^3$ ja raskuskiirendus $g = 9,81\text{ m/s}^2$. Õhu molaarne erisoojus jääval ruumalal $c_V = \frac{5}{2}R$, kus $R = 8,31\text{ J/Kmol}$ on gaasikonstant.

i) (2 punkti) Millisel mahukiirusel (m^3/s) voolab vesi laeva vahetult pärast augu tekkimist?

ii) (2 punkti) Veevool on niivõrd kiire, et gaasi ja vee vaheline soojusvahetus on tühine (see kehtib ka järgmise küsimuse jaoks). Kui suur on õhumulli ruumala, kui veevool peatub?

iii) (2 punkti) Laeva paiskuv veejuga paneb laeva oleva vee turbulentselt liikuma. Kui suur on

selle veeturbulentsi summaarne kineetiline energia (mis hiljem eraldub soojusena), kui sissevool rõhkude tasakaalustumisel peatub?

9. MUST KARP (11 punkti) — *Jaan Kalda, Mihkel Heidelberg*. Mustast karbist väljub kolm juhet: „sinine“, „must“ ja „valge“, ja karbi sees on tähtühenduses: patarei, kondensaator, induktor jadas diodiga. Võite diodi lugeda „ideaalseks“ — juhtivaks ühes suunas ideaalselt ja vastassuunas üldse mitte. Patarei ja kondensaatori sisetakistust võite eirata, ent induktoril on küll märkimisväärne sisetakistus. Pingerežiimis on testri sisetakistus $R_m = 10\text{ M}\Omega$ ja testri näit vahetub siis iga $t = 0,4\text{ s}$ tagant.

i) (3 punkti) Joonistage mustas karbis olev elektriskeem. Põhjendage oma joonist mõõtmistega.

ii) (1 punkt) Määrake patarei elektromotoorjõud.

iii) (1 punkt) Määrake induktori sisetakistus.

iv) (3 punkti) Hinnake mahtuvuse väärtust C .

v) (3 punkti) Hinnake induktiivsuse väärtust L .

Vahendid: must karp, tester, stopper.

