

**PÕHJA- JA BALTIMAANDE
FÜÜSIKAOLÜMPIAAD 2021**

1. FOOTONRAKETT (5 punkti) — Jaan Kalda, Oskar Vallhagen. Vaatleme hüpoteetilist tähtedevahelist reisi footonjõul liikuva kosmoselaevaga, mille algne seisumass on $M = 1 \times 10^5 \text{ kg}$. Pardakütust (antiainet) annihileeritakse võrdse massiga ainega, tekitades footonid, mis põhjustavad reaktiivjõu. Annihileerumiseks vajalik aine kogutakse väga hõredast tähtedevahelises ruumis olevast plasmast (eeldage, et tähtedevahelise plasma kiirus Maaga seotud taustsüsteemis on null). Valguse kiirus on $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$.

i) (1 punkt) Milline peab olema algne antiaine põletamise kiirus μ (kg/s), et kiirendus oleks võrdne vabalangemise kiirendusega Maal ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$)?

ii) (3 punkti) Kosmoselaeva mootorid lülitatakse välja kui tema seisumass väheneb väärtuseni $m_f = M/10$; mis on tema lõppkiirus?

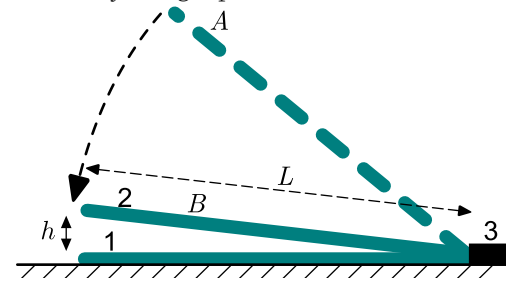
iii) (1 punkt) Vaatleja Maal mõeldab kosmoselaevalt kiirguvate footonite sagedust. Milline on Maal mõõdetud viimaste footonite sagedus (mis kiiratakse vahetult enne mootorite väljalülitamist), kui sagedus kosmoselaevaga seotud taustsüsteemis jääb kogu aeg samaks ja võrdseks sagedusega f_0 ?

2. GAASIDE JA VEDELIKE VOOLAMINE (10 punkti) — Jaan Kalda, Päivo Simson.

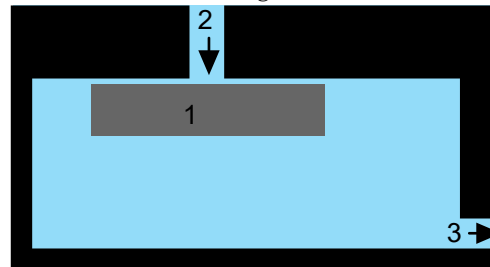
i) (1 punkt) Kui lasta klaasplaadil kukkuda teisele klaasplaadile, ta ei purune, vaid peatub pehmelt. Joonisel on kujutatud põrandal paigal olev plaat (märgitud '1'), kukkuv plaat (märgitud '2') ja piire (märgitud '3'), mis takistab kukkuvat plaadi libisemist. Kukkuva plaadi alustas asendist A ning paikneb nüüd asendis B – väga väiksel kaugusel $h = h_0$ paigal olevast plaadist – kukkudes praegu nurkkiirusega ω_0 . Milline on õhu kiirus plaadite vahel kõige vasakpoolsema otsa juures?

ii) (2,5 punkti) Klaasplaadi laius on $L \gg h_0$, paksus $t \ll L$, tihedus ρ_g , ning selle pikkus (joonisetasandiga risti) on palju suurem kui L . Kuidas sõltub plaadi nurkkiirus suurusest h edasise liikumise käigus, kui õhu tihedus on ρ_a ? Õhu gravitatsiooni, viskoossuse ja kokusurutavusega mitte arvestada. Eeldage, et

õhuvool jääb igal pool laminaarseks.



iii) (3 punkti) Silindrilist kiviketast (joonisel märgitud '1') raadiusega R , paksusega h ja tihedusega ρ_s surutakse vastu anumala lase, mis on täidetud veega (tihedus ρ_w). Lae pinda väikeste konaruste tõttu jääb lae ja ketta pinda vahele väike vahe paksusega $t \ll R$. Vesi voolab anumasse torust raadiusega $r \ll R$, mis on kettaga koaksiaalne (märgitud '2'; väljalasketoru '3' on kaugel eemal), vt joonist. Toru raadius on ketta ja lae vahest palju suurem, st $r \gg t$. Milline peab olema torust sissevoolu massikiirus μ (kg/s), et ketas ei kukuks maha? Vabalangemise kiirendus on



g .

iv) (0,5 punkti) Elektriijaamades kasutatakse aktiivselt auruturbiini. Lihtsustatud mudeli kohaselt keeb vesi temperatuuril $t_t = 180^\circ \text{C}$ ja rõhul $p_t = 1 \times 10^6 \text{ Pa}$ (reaalsetel auruturbiinidel võib rõhk olla sellest palju suurem), ning tekkiv aur voolab välja seinas oleva silindrilise kanali kaudu ristlõike pindalaga $A = 1 \text{ cm}^2$; ümbritseva keskkonna rõhk on $p_0 = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$. Leidke ühe mooli auru ja ühe mooli vedela vee entroopiate vahe ΔS väljuvas joas. (Vee ja auru molaarmass on $M = 18 \text{ g/mol}$ ja aurustumissoojus temperatuuril 100°C on $L = 2,3 \text{ MJ/kg}$.)

v) (3 punkti) Leidke tekkiva aurujoa massi voolukiirus μ , samuti vedelas olekus oleva vee suhteline sisaldus r selles massi järgi. Eeldage, et kanali sisse voolates ja ka-

nali sees on veeauru paisumine pööratav (s.t. soojusjuhtivusega võib mitte arvestada, ning vedela ja gaasilise faasi vahel on alati tasakaal); veeauru adiabaatiline näitaja $\gamma = 4/3$.

3. PÖÖRLEV KOSMOSEJAAM (13 punkti) — Jaan Kalda, Kaarel Hänni. Geostatsionaarsel orbiidil on silindrikujuline kosmosejaam, mille pikkus on $L = 100 \text{ km}$ ja raadius $R = 1 \text{ km}$. See on täidetud õhuga (molaarmass $M = 29 \text{ g/mol}$) atmosfäärirõhul ja temperatuuril $T = 295 \text{ K}$. Kosmosejaamas olevad inimesed kasutavad silindrilist pinda maapinnana. Kosmosejaam pöörleb ümber oma telje, et tekitada "maapinnal" ristisuunaline raskuskiirendus $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

i) (0,5 punkti) Kui pikk on kosmosejaama pöörlemisperiood τ ?

ii) (2 punkti) Ühest kindlast punktist "maapinnal" visatakse palli. Pall püütakse täpselt samas kohas kinni aja $t = \tau/2$ võrra hiljem. Millise kiirusega palli visati? Õhutakistust võib ignoreerida.

iii) (2 punkti) Sfääriline õhupall raadiusega $r = 3 \text{ m}$ on täidetud heeliumiga (molaarmass $M' = 4 \text{ g/mol}$) ning seda kasutatakse tõstmaks koormist tundmatu massiga m . Koormis on kinnitatud õhupalli külge kerge nõoriga, mille pikkus on $L = 20 \text{ m}$. See süsteem tõuseb ja jääb paigale kõrgusel $H = 500 \text{ m}$ "maapinnast". Leidke koormise mass m .

Ühtlase joontihedusega $\lambda = 1 \text{ kg/m}$ nõör on kinnitatud "maapinnale" kahe diametraalse vastaspunkti vahele (nii et nõöri otspunktide vaheline kaugus on $2R$). Olgu A , B ja C vastavalt nõöri kinnituspunktid ja selle keskpunkt.

iv) (1,5 punkti) Eeldades, et punkti C kõrgus "maapinnast" on h , leidke suurus $T_A - T_C$, nõöri pingejõudude erinevus punktide A ja C vahel.

v) (1,5 punkti) Eeldades, et punktis A moodustab nõör "maapinnaga" nurga α , leidke pingejõudude suhe T_A/T_C .

vi) (1,5 punkti) Leidke T_C , kui $h = 495 \text{ m}$, lähendades nõöri kuju parabooliga.

vii) (2 punkti) Kosmosejaama metallist seintel on kogulaeng Q . Kosmosejaama sees on laetud pall, mis hõljub "maapinna" kohal pai-

gal. Leidke selle palli laengu-massi suhe q/m . Laetud palli poolt põhjustatud laenguüheduse muutumist "maapinnal" võib ignoreerida.

viii) (2 punkti) Gaussi teoreemi järgi kehtib $\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = 0$ ($d\vec{A}$ on pindala diferentsiaal), kus integraal on leitud üle suletud pinna, mis ümbritseb ruumala V , mille sees pole laenguid. Kuidas tuleks seda võrdust muuta vaatlaja jaoks, kes on kosmosejaama pardal, kui on teada, et kosmosejaamas ei ole muid laenguid peale selle perimeetril ühtlaselt jaotunud laengu Q ?

4. VENIVAD KINDAD (8 punkti) — Eero Uustalu.

Katsevahendid Vähemalt kolm paari suuri värvitud meditsiinilisi poolläbipaistvaid lateksist kummikindaid; rull tugevat ja läbipaistvat kontoriteipi; teravad käärid; vähemalt neli lehte millimeeterpaberit minimaalselt A4 suuruses; kolm joonlauda; vabalt paindub pehme mõõdulint minimaalse pikkusega üks meeter; peene otsaga universaalne kirjutusmarker. Kummikindaid võib lõigata vastavalt vajadusele väiksemateks tükkideks. Neid tükke võib kinnitada enda töölaua külge kasutades selleks teipi ja/või joonlauda (et saavutada parem kinnitumine).

Lateks on väga veniv elastne materjal mille kohta võib eeldada, et selle ruumala venimise korral ei muutu ja seda kuni selle katkimiseni.

Iga ülesande alamosa jaoks visandage enda katse ülesehitust, kirjeldage enda tehtud samme saavutamaks parimat saavutatavat täpsust ja tehke tabelid, kus on näidatud otseselt mõõdetud andmepunktid.

i) (1 punkt) Leidke lateksi maksimaalne normaalmoone ϵ_m (s.o. normaalmoone, mille korral riba puruneb). Normaalmoone on defineeritud kui suhteline pikkuse muutus $\epsilon = (l - l_0)/l_0$, kus l ja l_0 on vastavalt venitatud ja venitamata riba pikkused.

ii) (7 punkti) Määrake ja tehke graafik normaalmoone sõltuvusest normaalpingest. Normaalpinge on defineeritud kui pingejõud materjali ristlõikepindala kohta. Avaldage normaalpinge σ suhtelistes ühikutes, mis on normaliseeritud maksimaalse normaalpinge suhtes, mis on vahetult enne katkimist.