

## Põhjamaade-Balti füüsikaolümpiaad 2017

**1. DRAAKON (5 punkti)** — *Aigar Vaigu*. Fotol on näha vee all olevat draakonit (eraldi lehel on suurem foto). Draakoni pikkus on  $l = 8$  cm ja kõrgus on  $h = 3$  cm. Kausi põhja läbimõõt on  $d = 10$  cm. Nurk laua ja kausi külje vahel on  $\alpha = 60^\circ$ . Vee murdumisnäitaja on  $n = 1,33$ . Foto tegemise ajal oli kaamera suunatud täpselt piki veepinda. Järgnevates küsimustes, vaadates mingit punkti draakoni kujutisel, mõeldakse nurga all horisondi suhtes nurka horisontaalse veepinna (või mistahes muu horisontaalse tasandi) ja sirge vahel, mis on tõmmatud silmast selle kujutisel asuva punktini.



i) (2 punkti) Mis on suurim nurk allpool horisonti, kust vaadates on draakoni peegeldust veepinnalt näha?

ii) (3 punkti) Mis on suurim nurk ülevalpool horisonti, kust vaadates on draakoni peegeldust veepinnalt näha?

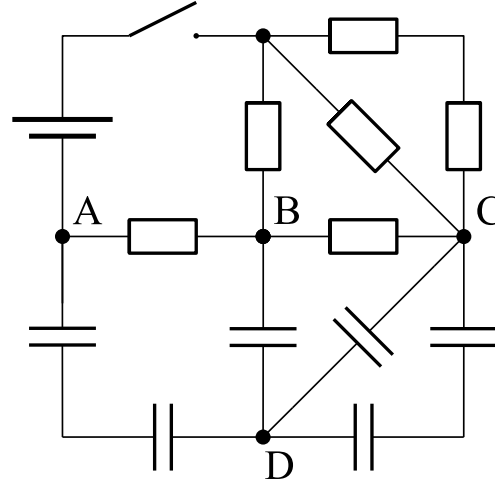
**2. KOMEEET (8 punkti)** — *Jaan Kalda*. Komeedi orbiit löikab Maa orbiiti (mida võib lugeda ringjooneks raadiusega  $R_0 = 1,5 \times 10^8$  km) nurga  $\alpha = 45^\circ$  all. Komeedi ja Maa orbiidid asuvad samas tasandis.

i) (3 punkti) Leidke komeedi periheeli  $P$  kaugus  $R_{\min}$  (st kõige väiksem kaugus) Päikesest. Võib eeldada, et komeedi afeeli  $A$  kaugus Päikesest  $R_{\max}$  (suurim kaugus) on palju suurem kui  $R_0$ .

ii) (5 punkti) Mitu päeva  $t$  on komeedi kaugus Päikesest väiksem kui  $R_0$ ?

## 3. TAKISTID JA KONDENSAATORID (5 punkti)

— *Mihkel Heidelberg*.



Elektriahelas on patarei, lüliti, takistid ja kondensaatorid nagu skeemil näidatud. Kõikide takistite takistus on  $R$ , kõikide kondensaatorite mahtuvus on  $C$  ja patarei pingeline on  $U$ . Punkt A on maandatud ja potentsiaal selles punktis on seega  $0$  V. Alguses on lüliti avatud ja ühelgi kondensaatoril pole laengut.

i) (2 punkti) Mis on potentsiaal punktides B ja C pärast seda, kui oleme lüliti sulgenud ja oodanud, kuni kõik potentsiaalid stabiliseeruvad?

ii) (3 punkti) Mis on potentsiaal punktis D pärast seda, kui oleme lüliti sulgenud ja oodanud, kuni kõik potentsiaalid stabiliseeruvad?

## 4. GRAVITATSIOONILAINED (7 punkti)

— *Artūrs Bērziņš*. Kahest teineteise ümber tiirlevast kehast koosneva süsteemi poolt kiiratavate gravitatsioonilainete võimsus on  $P(r, m_1, m_2) = \frac{32 G^4 (m_1 m_2)^2 (m_1 + m_2)}{5 c^5 r^5}$ , kus  $r$  on kahe keha keskmete vaheline kaugus ning kehade massid on  $m_1$  ja  $m_2$ . On teada, et kõige tihedam keha on must auk. Musta augu suuruse defineerib tema Schwarzschildi raadius  $r_s = \frac{2Gm}{c^2}$ , kus  $m$  on musta augu mass.

i) (2 punkti) Hinnake maksimaalset võimalikku võimsust, mida üks kahest kehast koosnev tiirlev

süsteem saab gravitatsioonilainetena kiirata.

Gravitatsioonilainete detektorid Maal mõõdavad niioelda gravitatsioonilainete suhtelise deformatsiooni  $\epsilon(t)$  sõltuvust ajast, mis iseloomustab aegruumi deformatsiooni. Andmetöötluse abil leitakse maksimaalne suhteline deformatsioon  $\epsilon$  ja sellele vastav laine sagedus  $f$ . Teoreetiliste mudelite abil tehakse kindlaks gravitatsioonilainete energiatihedus  $u$ . Selle mudeli uurimiseks kasutame elastse venimise analoogiat.

ii) (1,5 punkti) Tuletage seos ja avaldage energiatihedus  $u = u(\epsilon, E)$  ühtlaselt välja venitatud elastses ribas tema suhtelise deformatsiooni  $\epsilon$  ja elastsusmooduli (Youngi mooduli)  $E$  kaudu.

iii) (1,5 punkti) Kasutades dimensionaalanalüüsi, leidke hinnanguline avaldis sagedusest sõltuva aegruumi elastsusmooduli  $E(f)$  jaoks järgmistest suurustest kaudu: gravitatsioonikonstant  $G$ , valguse kiirus  $c$  ja gravitatsioonilaine sagedus  $f$ .

iv) (2 punkti) Hinnake maksimaalset kaugust  $z = z(\epsilon, f)$  Maalt gravitatsioonilainete allikani funktsioonina suhtelisest deformatsioonist  $\epsilon$  ja sagedusest  $f$ . Kasutage ülesandes eelnevalt tuletatud mudeleid.

## 5. VIRTUAALNE MASS (10 punkti)

— *Jaan Kalda*. Kui keha liigub vedeliku sees, siis tema efektiivne inertsiaalne mass tundub olevat suurem kui keha enda mass, sest keha kiirendamiseks tuleb ka osa vedelikku temaga kaasa kiirendada. Seda massi suurenemist nimetatakse lisamassiks ehk virtuaalseks massiks. Mõõtke virtuaalne mass  $m_v$ , mis lisandub kuulile, kui ta liigub vees. Kuuli diameeter on  $d = 72,0$  mm. Mõõtemääramatusi ei ole vaja arvutada, aga lähendusmeetodite ja tulemuste täpsus on oluline ja seda arvestatakse hindamisel.

*Vahendid:* Vedru külge kinnitatud kuul, staativ, stopper, joonlaud, anum veega.

**6. SILMUS (6 punkti)** — *Lasse Franti*. Traadist silmus hõljub avakosmoses (kaaluta olekus vaakumis). Silmuse tasand on paralleelne  $xy$ -tasandiga. piirkonnas  $x < 0$  on  $z$ -teljega paral-

leelne homogeenne magnetväli. Jäiga ristkülikukujulise silmuse laius on  $l = 10$  cm ja pikkus on  $h = 30$  cm. Silmus on tehtud ringikujulise läbilõikega vasktraadist (raadius  $r = 1,0$  mm). Aja hetkel  $t = 0$  s hakkab magnetvälja magnetinduktsioon vähenema kiirusega  $0,025$  T/s.

i) (3 punkti) Leidke silmuse kiirendus vahetult peale hetke  $t = 0$  s. Algselt on magnetinduktsioon  $B = 2,0$  T ja silmus on asetatud  $d = 12$  cm sügavusele magnetvälja sisse nii, et silmuse lühem külge on paralleelne  $y$ -teljega.

ii) (3 punkti) Kiirendust võib proovida suurendada mitmel erineval viisil. Kuidas osa i) tulemus muutub, kui

a) silmus on tehtud kaks korda jämedamast traadist ( $r = 2,0$  mm)?

b) algne traat on mähitud ühe korra asemel kolm korda (tekib kolme keeruga pool, ristküliku mõõtmed jäävad samaks)?

c) silmuse mass hoitakse sama, kasutades poole väiksema ristlõikepindalaga traati, mis on mähitud kaks korda (ristküliku mõõtmed jäävad samaks)?

d) silmus on tehtud teisest metallist? Milline järgnevatest metallidest annab parima tulemuse?

Metall	Eritakistus $10^{-8}$ m	Tihedus $10^3$ kg/m <sup>3</sup>
Raud	9,71	7,87
Vask	1,67	8,96
Alumiinium	2,65	2,70
Liitium	8,55	0,53

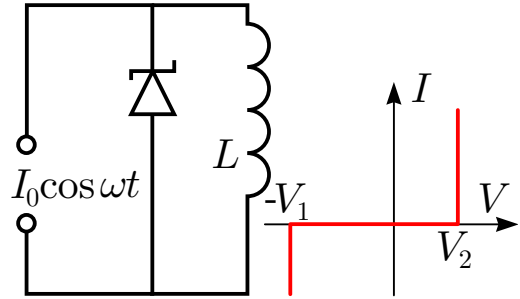
e) kasutame kaks korda jämedamat traati, et teha kaks korda suurem silmus ( $r = 2,0$  mm,  $l = 20$  cm,  $h = 60$  cm) ja asetame selle  $24$  cm sügavusele magnetvälja sisse?

**7. ZENER (7 punkti)** — *Jaan Kalda*. Zener diod on ühendatud vahelduvvoolu allikaga nagu joonisel näidatud. Vool on sinusoidaalne  $I = I_0 \cos \omega t$  ja konstantse amplituudiga. Pooli induktiivsus  $L$  rahuldab tingimust  $L \omega I_0 \gg V_1, V_2$ ,

kus  $V_1$  ja  $V_2$  on diodi avanemispinged ( $V_1 > V_2$ ). Zener diodi pingevoolu tunnusjoon on näidatud joonisel. Järgnevalt eeldage, et voolu esmasest sisselülitamisest on möödunud väga pikk aeg.

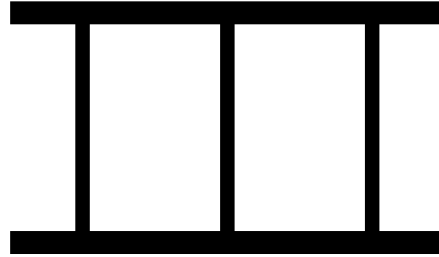
i) (5 punkti) Leidke pooli läbiv keskmine voolutugevus  $\langle I \rangle$ .

ii) (2 punkti) Leidke pooli läbiva voolu muutuste täisamplituud  $\Delta I$  (miinimumist maksimumini).



8. TALAD (6 punkti) — *Andres Põldaru*. Kahe absoluutselt jäiga aluse vahel on kolm tala. Aluste ja talade kaalu võib lugeda tühiseks. Talade joonpaisumistegur on  $\alpha = 1,0 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ . Talade materjali maksimaalne lubatud suhteline deformatsioon (suhteline pikkuse muutus võr-

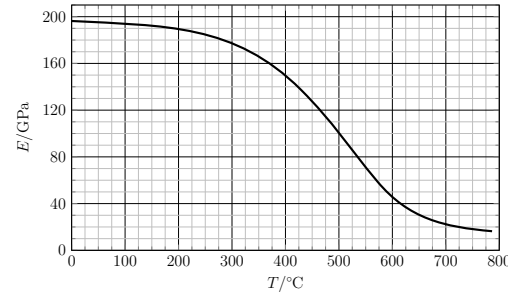
reldes koormamata juhuga) enne püsivate mitte-elastsete deformatsioonide teket on  $\beta = 0,40\%$ . Talad suudavad kanda ülemisel alusel teatud maksimaalset raskust, mille korral püsivad deformatsioonid hakkavad tekkima mõnedes talades.



i) (2 punkti) Algselt on kõik talad samal temperatuuril. Seejärel suurendatakse keskmise tala temperatuuri  $\Delta T = 100 \text{ K}$  võrra. Võrreldes selle juhuga, kui kõik talad olid samal temperatuuril, millist osakaalu algsest maksimaalsest raskusest suudavad talad nüüd ülemisel alusel kanda? Eeldage, et materjalide omadused (täpsemalt maksimaalne lubatud deformatsioon ja elastsusmoodul) ei muutu temperatuuri muutuses.

ii) (4 punkti) Algselt olid kõik talad temperatuuril  $T_0 = 0^\circ \text{ C}$ . Ülemisele alusele asetati koor-

mus, mis oli 20% maksimaalsest koormusest. Hoides ülemisel alusel seda sama raskust, mis temperatuurini võib keskmist tala soojendada, et ei tekiks püsivaid deformatsioone? Seekord sõltub materjali elastsusmoodul temperatuurist alumisel joonisel oleva sõltuvuse järgi (suurem joonis on eraldi lehel).



9. KOSMOSELAEVA RÕHK (6 punkti) — *Johan Runeson*. Uurime kosmoselaeva, mis on homogeenne toru kujuga, mille mõlemad otsad on suletud. Kosmoselaev pöörleb ümber oma massikeskme nurkkiirusega  $\omega$ , et simuleerida gravitatsiooni. Pöörlemistelg on toruga risti. Kosmoselaev on täidetud õhuga, mille molaarmass on  $\mu$  ja mille rõhk pöörlemisteljel on  $p_0$ . Kosmoselaev

va diameeter on palju väiksem tema pikkusest.

i) (4 punkti) Leidke rõhk  $p$  funktsioonina kaugusest  $r$  pöörlemisteljest.

ii) (2 punkti) Võrdluseks vaatleme (mitte pöörlevat) torni konstantses raskusväljas tugevusega  $g$ , mis on täidetud sama gaasiga. Kui torni põhjas on rõhk  $p_0$ , siis mis on rõhk  $p$  funktsioonina kõrgusest  $h$  torni põhjast?

10. MUST KAST (10 punkti) — *Jaan Kalda, Siim Ainsaar*. Kolme väljundjuhtmega (A, B ja C) mustas kastis on üks takisti (takistusega  $R_1$ ), üks kondensator (mahtuvusega  $C$ ) ning üks jadaühendus patareist (elektromotoorjõuga  $\mathcal{E}$ ) ja takistist (takistusega  $R_2$ ).

i) (3 punkti) Tehke kindlaks musta kasti elektriskeem.

ii) (7 punkti) Mõõtke patareie elektromotoorjõud, takistite takistused ja kondensaatori mahtuvus. Hinnake mõõtemääramatusi. Pange alati kirja kasutatud ühendusskeem ja multimeetri seaded, millega mõõtmised teostati!

Vahendid: must kast, multimeeter, stopper, juhtmed, millimeeterpaber.



