

## Eesti-Soome olümpiaad - 2011

**1. Pool (12 punkti)** Pool, mille sisemise osa raadius on  $r$  ja välimise osa raadius  $R$ , lebab horisontaalsel laual; pooli telg on horisontaalne. Kaalutu nõör on mähitud ümber pooli sisemise osa ja selle vaba ots moodustab horisondiga nurga  $\alpha$ , vt joonist (nurk  $\alpha$  võib olla ka negatiivne). Pooli inertsimoment on  $J$  ja mass —  $M$ . Järgnevas võite eeldada, et pool veereb laual ilma libisemata.

**i)** (2 p) Nööri vaba otsa tõmmatakse kiirusega  $u$  (paralleelselt nõöri vaba otsaga). Milline on pooli kiirus?

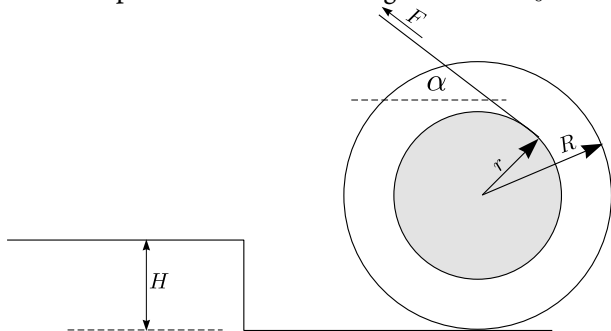
**ii)** (3 p) Olgu nüüd pool paigal ning rakendatagu nõöri vabale otsale jõud  $F$  (paralleelselt nõöri vaba otsaga). Milline on pooli telje kiirendus?

**iii)** (2 p) Kui suur peab olema hõõrdetegur  $\mu$  (funktsioonina nurgast  $\alpha$ ) tagamaks, et pooli ja laua vahel ei toimu libisemist?

**iv)** (1,5 p) Nüüd vaatleme olukorda, kus pool jälle pöörleb, kuid poolile pole enam mähitud nõöri. Pool liigub kiirusega  $u$  ning pörkub vastu astet kõrgusega  $H$  (vt joonist); löök on absoluutselt plastne (mitte-elastne). Milline on pooli kiirus  $v$  vahetult peale lööki?

**v)** (1,5 p) Millise kiiruse  $w$  omandab pool siis, kui on juba astme peale veerenud? Oletage, et  $u$  omab sellist väärtust, et pool veereb astme peale ilma astme servaga kontakti kaotamata.

**vi)** (2 p) Kui kiirus  $u$  on liiga suur,  $u > u_0$ , siis hüppab pool üles ja kaotab vahepeal kontakti astme servaga. Määrake  $u_0$ .



**2. Kondensator (6 punkti)** Ideaalne plaatkondensator omab plaate pindalaga  $A$  ja vahekaugusega  $d$  ning on laetud nii, et plaatidevahelises ruumis on elektriväli  $E$ .

**i)** (2 p) Määrake elektrivälja energia tihedus kondensaatori sees ning selle elektrivälja summaarne energia.

**ii)** (1,5 p) Millist jõudu on vaja rakendada plaatidele, et hoida need üksteisest lahus?

**iii)** (2,5 p) Nüüd sukeldatakse kondensator destilleeritud vette dielektrilise läbitavusega  $\varepsilon = 80$ ; elektriväli plaatide vahel on endiselt  $E$ . Milline on hüdrostaatiline rõhk plaatide vahel, kui atmosfäärirõhk on  $p_0$  ja veesamba rõhk on tühine?

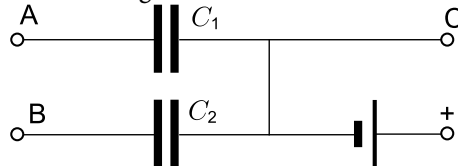
**3. Laetud silinder (8 punkti)** Dielektrilisest materjalist silinder raadiusega  $r$  kannab oma silindrilisel pinnal laengut pindtihedusega  $\sigma$  ja pöörleb ümber oma pikitelje nurkkiirusega  $\omega$ .

**i)** (3 p) Määrake magnetinduksioon  $B$  silindri sisemuses. Märkus: soovi korral võite kasutada avaldist solenoidaalse pooli induktiivsuse jaoks,  $L = \mu_0 N^2 S / l$ , kus  $r$  on pooli raadius,  $l$  — pikkus ( $l \gg r$ ),  $S$  — ristlõike pindala ja  $N$  — keerdude arv.

**ii)** (3 p) Radiaalne juhtiv traat ühendab silindri telge ja silindrilist pinda (ning pöörleb koos silindriga). Leidke traadi otste vahele tekkiv elektromotoorjõud (pinge)  $\mathcal{E}$ .

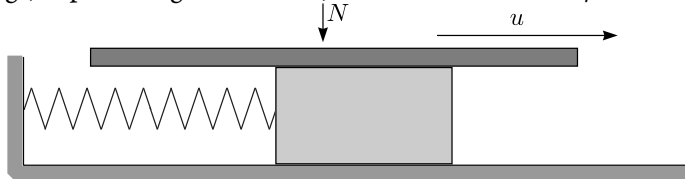
**iii)** (2 p) Oletagem, et silindri telge ja silindrilist pinda ühendav traat ei ole radiaalne, vaid omab suvalist kuju (siiski, ükski traadi osa ei ulatu silindri seest välja). Näidake, et  $\mathcal{E}$  ei sõltu traadi kujust.

**4. Must kast (10 punkti)** Töövahendid: nelja väljundklemmiga must kast, voltmeeter, stopper. Musta kasti sees on kaks kondensatorit ja patarei, ühendatud nii, nagu näidatud joonisel. Mahtuvus  $C_1 = (3400 \pm 400) \mu\text{F}$ ; tehke kindlaks, milline on mahtuvus  $C_2$  ning hinnake mõõtemääramatust. Märkus: klemm “+” kujutab endast traati, mis on piisavalt pikk selleks, et ühendada seda kas klemmiga “A” või klemmiga “B”.



**5. Pluatooniumi lagunemine (3 punkti)** Pluatoonium on eba-stabiilne element:  $\text{Pu}^{239}$  aatom laguneb poolestusajaga  $\tau_{1/2} = 24\,000$  aastat, tootes väiksemad aatomituumasid, mille hulgas on üks  $\alpha$ -osake. Leidke  $\alpha$ -osakeste voo tihedus (st ühikulist rist-lõiget ajaühikus läbivate osakeste arv)  $\text{Pu}^{239}$ -st tehtud plaadi pin-na läheduses. Plaadi paksus on  $d = 1$  mm; selle laius ja pikkus on  $d$ -st hulga suuremad. Pluatooniumi tihedus  $\rho = 19\,800$  kg/m<sup>3</sup>. Märkus: poolestusaeg on ajavahemik, mille jooksul laguneva aine hulk (möödetuna nt osakeste arvuga) väheneb kaks korda.  $\text{Pu}^{239}$ -aatomi mass on  $m_0 = 3,84 \times 10^{-25}$  kg.

**6. Viilikeel (9 punkti)** Viiuli poogna liikumine paneb viiuli keele perioodiliselt võnkuma. Vaadeldagem selle protsessi lihtsustatud mudelit. Viiulikeel on elastne ja omab ka mingit massi, seetõttu võib viilikeele asendada klotsiga, mille mass on  $m$ , mis on vedru (jäikus  $k$ ) abil kinnitatud liikumatu seina külge ja mis lebab libedal horisontaalpinnal (hõõre klotsi ja horisontaalpinna vahel puudub). Viiulipoogna asendame horisontaalse lauaga, mida surutakse konstantse jõuga  $N$  allapoole ning mis liigub vedru telje sihis konstantse kiirusega  $u$ , vt joonist. Plaadi ja klotsi vaheline seisuhõõrdetegur on  $\mu_1$  ning liughõõrdetegur  $\mu_2 < \mu_1$ . Seega, seni kuni plaat ei libise klotsi suhtes, on hõõrdetegur võrdne  $\mu_1$ -ga; niipea kui algab libisemine, väheneb see väärtuseni  $\mu_2$ .



**i)** (2 pts) Küsimuste (i) ja (ii) eeldagem, et plaadi kiirus  $u$  on palju väiksem klotsi maksimaalsest. Milline on klotsi maksimaalne kiirus  $v_{\max}$  (maksimum leitud erinevate ajahetkede kiirusi võrreldes)?

**ii)** (2 p) Visandage kvalitatiivselt klotsi nihe funktsioonina ajast ja märkige graafikul klotsi olulisemate liikumisetappide (graafiku segmentide) kestvused.

**iii)** (1,5 p) Nüüd loobugem eeldusest, et  $u$  on väike. Visandage graafikul klotsi kiirus funktsioonina ajast.

**iv)** (2,5 p) Määrake klotsi võnkumisamplituud  $A$ .

**v)** (1 p) Millist tingimust (tugev võrratus,  $\gg$  või  $\ll$ ) peab rahuldama  $u$ , et võnkumised oleksid peaaegu harmoonilised?

**7. Vaakumpirn (8 punkti)** Uurigem seda kuidas saab tekitada vaakumi õõnsa klaasanuma (mida nimetame edaspidi tinglikult pirniks) sisse pumpamise teel. Olgu pirni ruumala  $V$  ning koosne-gu pump kolvist, mis liigub silindris ruumalaga  $\alpha V$ , kus  $\alpha \ll 1$ . Pumpamine algab sellega, et kolbi tõmmatakse üles; kui rõhk si-

lindris saab väiksemaks rõhust pirnis, siis avaneb ventiil  $V_A$  (mis ühendab silindrit pirniga) ja jääb avatuks seni, kuni kolb liigub üles. Kui kolb on jõudnud ülemisse asendisse, siis see vabastatakse ning kolb hakkab allapoole liikuma; samal hetkel sulgub ventiil  $V_A$ . Seni kuni  $V_A$  on avatud võib rõhke silindris ja pirnis lugeda võrdseiks. Kui kolb liigub alla, siis rõhk silindris kasvab adiabaa-tiliselt kuni saab võrdseks välisrõhuga  $p_0 = 10^5$  Pa; sellel hetkel avaneb teine ventiil  $V_B$ , mis laseb silindris oleva õhu sealt välja. Kui kolb on oma alumises asendis, siis on silindrist kõik õhk välja tõrjutud. Nüüd on kolb valmis uuesti üles tõstmiseks: ventiil  $V_B$  sulgub ning ventiil  $V_A$  avaneb, tähistades uue pumpamis-tsükli algust. Õhu pirnis võib lugeda isotermiliseks ja selle temperatuuri võrdseks välistemperatuuriga  $T_0$ . Õhu adiabaadinäitaja  $\gamma = c_p/c_v = 1,4$ .

**i)** (2 p) Mitu pumpamistsükli  $N$  on vaja, et vähendada rõhku pir-nis väärtuselt  $p = p_0$  väärtuseni  $p = \beta p_0$ , kus  $\beta \ll 1$ ?

**ii)** (2 p) Milline on sellise pumpamise jooksul tehtav mehaaniline kogutöö (mis katab kõik  $N$  tsükli)?

**iii)** (2 p) Milline on silindrist väljuva õhu temperatuur pumpamis-protsessi lõppfaasis (kui rõhk pirnis on saanud võrdseks  $\beta p_0$ -ga)?

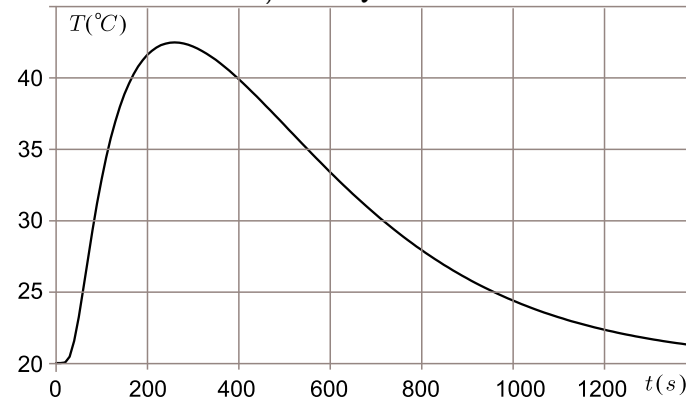
**iv)** (2 p) Kui tegutseda ülalkirjeldatud pumpamisskeemi kohaselt, siis toimub kolvi vabastamisjärgsel allaliikumisel märkimisväärne mehaanilise töo kadu. Sellist kadu saab vältida kui kasutada ka teist pumpa, mis töötab esimese pumbaga vastasfaasis: seda jõudu, mille tekitab kolbi allapoole lükkav välisõhu rõhk, saab üle kanda teisele pumbale ning kasutada seda kolvi üles tõmbamiseks. Mil-line on mehaaniline kogutöö niisugust optimeeritud pumpamis-meetodit kasutades?

**8. Soojuseemaldi (6 punkti)** Vaatleme soojuseemaldit, mis kujutab endast konstantse paksusega vaskplaati (paksus on hulga väiksem plaadi diameetrist  $d$ ). Elektroonikakomponent on kinnita-tud vaskplaadile ning sellest teatud kaugusel asuvasse vaskplaadi punkti on kinnitatud temperatuurisensor. Võite eeldada, et soojusvoog (st võimsus pindalaühiku kohta) vaskplaadilt ümbritse-vasse õhku on võrdeline vaadeldava plaadipunkti ja õhu tempera-tuuride vahega (võrdetegur on konstantne üle kogu plaadi, kaa-sa arvatud see piirkond, kuhu on kinnitatud elektroonikakompo-nent).

**i)** (2 p) Elektroonikakomponent on eraldanud pikema aja jook-sul konstantset võimsust  $P = 35$  W ja plaadi keskmine tempera-tuur on omandanud stabiilse väärtuse  $T_0 = 49$  °C. Nüüd lülita-takse elektroonikakomponent välja ning plaadi temperatuur hak-kab langema; temperatuuri  $T_1 = 48$  °C saavutamiseks kulub ae-ga  $\tau = 10$  s. Leidke plaadi soojusmahtuvus  $C$  (ühikuks J/°C). Elektroonikakomponendi ja sensori soojusmahtuvused on tühi-

selt väikesed.

**ii)** (4 p) Nüüd on elektroonikakomponent olnud pikema aja jooksul välja lülitatud; ajahetkel  $t = 0$  eraldub väga lühikese ajavahemiku jooksul teatav soojushulk  $Q$ . Joonisel ja tabelis on esitatud sensori registreeritud temperatuurid sõltuvusena ajast. Määrake eraldunud soojushulk  $Q$ .



$t$ (s)	0	20	30	100	200	300
$T$ (°C)	20,0	20,0	20,4	32,9	41,6	42,2
$t$ (s)	400	600	800	1000	1200	1400
$T$ (°C)	39,9	33,4	27,9	24,4	22,3	21,2

**9. Murdumisnäitaja (10 punkti)** Töövahendid: paks poolsilindri kujuline klaasplaat, klaasprisma, anum tundmatu vedelikuga, laserpointer, millimeeterpaber, joonlaud.

**i)** (5 p) Määrake poolsilindri kujulise klaasplaadi murdumisnäita-ja ja hinnake tulemuse määramatust.

**ii)** (5 p) Määrake tundmatu vedeliku murdumisnäitaja ja hinnake tulemuse määramatust.