

1. Traat (7 punkti)

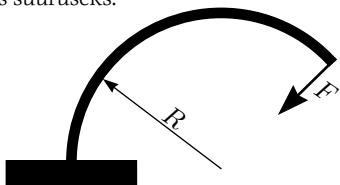
Juhtiv traat koosneb silindrilisest vasksüdamikust, mille diameeter on $a = 2,5$ mm ning seda ümbritsevast silindrilisest alumiinium-kestast. Traadi üld-diameeter on $b = 4$ mm. Traadis voolab elektrivool tugevusega $I = 2,4$ A. Vase eritakistus on $\rho_c = 0,0168 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ ja alumiiniumi eritakistus $\rho_a = 0,028 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$.

- 1) Millised on voolutihedused j traadi erinevates osades (voolutihedus on defineeritud kui voolutugevus ristlõike pindala kohta)?
- 2) Milline on magnetiline induksioon B_1 kaugusel $c = 1$ cm traadi teljest?
- 3) Milline on magnetiline induksioon B_2 alumiiniumi ja vase eralduspinnal?

Märkus Kasulikaks võib osutada tsirkulatsiooniteoreemi teadmine: $\int \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$, kus integraal võetakse mööda suletud trajektoori (aasakujulist kontuuri) ja I on summaarne voolutugevus läbi selle kontuuri; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$. See valem on täiesti analoogiline jõu \vec{F} poolt tehtud töö avaldisega mööda trajektoori: $A = \int \vec{F} \cdot d\vec{l}$.

2. Pendel (7 punkti)

Vaatleme elastset varrast, mille massi ja kokkusurutavuse (st pikkuse muutumine) võib selle ülesande puhul lugeda tühiselt väikesteks. Kui varda üks ots on liikumatult fikseeritud ja tema teise otsa rakendatakse jõud F , mis on rakenduspunktis risti vardaga, siis võib lugeda, et varras võtab ringjoone segmendi kuju. Selle ringjoone raadius on pöördvõrdeline rakendatava jõuga, $R = k/F$, kus tegur k on varrast iseloomustavaks suuruseks.



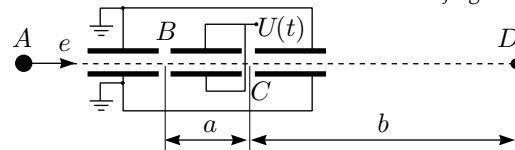
- 1) Olgu varras fikseeritud vertikaalasendisse oma alumisest otsast. Varda ülemise otsa külge on kinnitatud kuul massiga m . Teades tegurit k , varda pikkust l vaba langemise kiirendust g leidke kuuli väikeste võnkumiste periood. Selle küsimuse juures võite eeldada, et $gml \ll k$.
- 2) Milline on antud kuuli maksimaalne võimalik mass M , mille puhul püsib varras veel stabiilselt vertikaalasendis?

Märkus: võite kasutada ligikaudseid valemuid $\sin x \approx x - x^3/6$ ja $\cos x \approx 1 - x^2/2$ (kui $x \ll 1$).

3. Aeg-fokuseerimine (10 punkti)

Olgu punktis A soojuslike elektronide allikas (soojust liikumise energia on tühiselt väike), millele antakse horisontaalsuunaline algkiirus pinge $U_0 = 36$ V abil (vt joonis). Elektroni teel on kaks lühikest pingevahe- mikku B ja C (mõõtmed lugeda tühiselt väikesteks), kaugusel a üksteisest. Neile vahemikele antakse pinged $U_C(t) = -U_B(t) \equiv U(t)$ reguleeritava profiiliga impulssgeneraatorilt. Võib eeldada, et $|U(t)| \ll U_0$. Eesmärgiks on koguda (fokuseerida) erinevatel ajahetkedel startinud

elektronid samal ajahetkel sondile D , mille kaugus pingevahe- mikust C on b . Antud seadme analüüsimiseks vastake järgmistele küsimustele.



- 1) Kui palju võtab elektronidel liikumine pingevahe- mikust B sondini D , kui $U(t) \equiv 0$?
- 2) Leidke seesama aeg eeldusel, et rakendatud pinge on konstantne, $U(t) \equiv U \ll U_0$ (lihtsustamise tulemusel saadav avaldis peab olema lineaarseks funktsiooniks suurusest U).
- 3) Leidke funktsionaalne võrrand, mida peaks rahuldama pingeva- hemele rakendatava pinge sõltuvus ajast $U(t)$ selleks, et kõik elektro- nid jõuaksid samaaegset sondini D . Lahendage see võrrand eeldustel $a \ll b$ ja $|U(t)| \ll U_0$.
- 4) Impulssgeneraator tekitab sellise perioodilise signaali perioodiga T , et optimaalset profiili $U(t)$ järgitakse kuni teatava maksimaalse pinge U_m saavutamiseni; peale seda kukub pinge hetkeliselt väärtuseni 0 ning protsess hakkab korduma. Milline osa elektronidest ei taba aeg-fookust sondi D juures?

4. Hõõrdetegur (12 punkti)

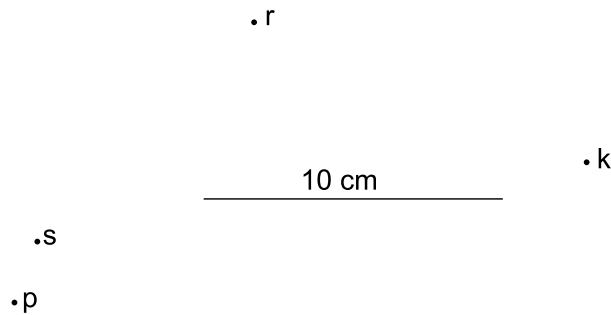
Tõõvahendid: puust klots, kerakujuline kuul, laud ja joonlaud (klotsi ja kuuli masside suhe on teada). 1) Leidke seisuhõõrdetegur laua ja klotsi vahel. 2) Leidke seisuhõõrdetegur klotsi ja kuuli vahel.

5. Pöörlev ketas (7 punkti)

Jäl libiseb keereldes ketas, mille serva külge on kinnitatud lamp, mis plingib mitmevärviliselt: lamp süttib väga lühikeseks sähvatuseks iga $\tau = 100$ ms järel. Esimene sähvatus on oranž, sellele järgnevad sinine, punane, roheline, kollane ja jälle oranž (st protsess jätkub perioodiliselt). Ketta liikumist on ülalt pildistatud nii pika säriajaga, et pildile jäi täpselt neli sähvatust (vt juuresolev joonis). Et sähvatused on väga lühikesed ja lamp väike, siis vastab pildil igale sähvatusele värviline punkt. Joonisel on iga punkti värv on toodud värvi nimetuse algustähega (O, S, P, R, K).

1) Märkige numbritega (1–4) sähvatuste (punktide) järjekord. Põhjendage vastust. Mida võib öelda säriaja väärtuse kohta?

2) Kasutades juuresolevat joonist, leidke ketta raadius R , keskpunkti kiirus v ja ketta nurkkiirus ω (on teada, et $\omega < 60$ rad/s). Joonise mõõt-kava on antud $l = 10$ cm pikkuse lõigu abil. Hõõret ketta liikumisel mitte arvestada.



6. Veok (7 punkti)

1) Köis asetatakse üle vaia nii, et köie tasand on risti vaia teljega ja selle köieosa pikkus l , mis on vahetus kontaktis vaiaga, on hulga väiksem vaia raadiusest R , vt joonis (a). Köie ühte otsa on rakendatud jõud T ; köie libisemist saab vältida, kui rakendada teise otsa jõud T_1 . Avaldage suhe T_1/T suuruste l , R ja μ abil, kus μ on vaia ja köie vaheline hõõrdetegur.

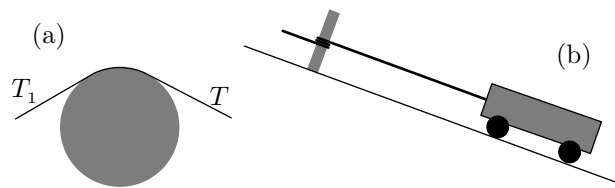
2) Vastake esimesele küsimusele, kui l ei ole väike (st kasutamata eeldust $l \ll R$).

Märkus: võite kasutada võrdust

$$\lim_{x \rightarrow 0} (1 + nx)^{1/x} = e^n.$$

3) Köis teeb täpselt $n = 2$ tiiru ümber vaia. Köie üks ots on kinnitatud veoauto külge, mis seisab kaldtel kalduurgaga $\phi = 10^\circ$; Veoki mass on $m = 20$ t. Leidke jõud F , mis tuleks rakendada köie teise otsa, et hoida veokit paigal. Kasutage numbrilist väärtust $\mu = 0,3$. Köiki teisi veokile mõjuvaid hõõrdejõude võib mitte arvestada.

4) Kuidas muutub vastus, kui vaia ristlõige pole ring, vaid muna-kujuline? Põhjendage vastust.



7. Marsile (10 punkti)

Selles ülesandes uurime Marsile lennu projekti. Lennu esimeses staadiumis kiirendatakse kosmoselaev rakettmootori abil lühikese ajaga algkiiruseni v_0 . Võite eeldada, et esimese staadiumi jooksul jääb kosmoselaeva kõrgus maapinnast hulga väiksemaks kui Maa raadius $R_0 = 6400$ km. Teises staadiumis sooritab rakett ballistilist liikumist Maa gravitatsiooniväljas kuni niisuguse kauguse saavutamiseni, mis on hulga suurem Maa raadiusest R_0 , kuid on hulga väiksem Maa orbiidi raadiusest $R_e = 1.5 \cdot 10^8$ km.

1) Avaldage raketi jääkkiirus teise staadiumi lõpus v_1 (mõõdetuna Maa suhtes) suuruste v_0 , R_0 ja maapinnal täheldatava vabalangemiskiirenduse g abil (järgmiste küsimuste juures võite kasutada numbrilist väärtust $g \approx 9.8$ m/s²).

Kolmandas staadiumis teostab rakett ballistilist liikumist Päikese gravitatsiooniväljas kuni Marsi vahetusse lähedusse jõudmiseni. Tema trajektoor valitakse niisugune, et Marsini jõudmiseks vajalik algne jääkkiirus v_1 oleks minimaalne.

2) Visandage kosmoselaeva trajektoor.

3) Leidke lennuaeg T . Võite kasutada järgmisi arvandmeid: Maa orbiitalkiirus $v_e = 30$ km/s, Marsi orbiidi raadius $R_m = 2.3 \cdot 10^8$ km.

4) Leidke eelnevalt vaadeldud stardikiirus v_0 ja raketi lõppkiirus (kolmanda staadiumi lõpus) v_t Marsiga seotud taustsüsteemis.

5) Vajalik kütusemass M leitakse valemi $v = u \ln[(M + m)/m]$ abil, kus u on gaaside kiirus rakettmootorist väljumisel (raketi suhtes) ja m on kosmoselaeva kasulik mass (kui kogu kütus on kulutatud). Võite eeldada, et $m \ll M$ ja kasutada numbrilist väärtust $u = 1$ km/s. Leidke, mitu korda on Marsile lennuks vaja rohkem kütust kui lihtsaks Maa gravitatsiooniväljast väljumiseks (raketi kasulik mass on mõlemal juhul sama).

8. Laser (12 punkti)

Töövahendid: Laser (lainepikkus $\lambda = 650$ nm), joonlaud, statiiv, helkurmaterjalist riba, paberileht, milles on auk (teie laual olevas paberipakis), pliats. Pange tähele, et antud helkurmaterjal on kaetud tihedalt pakitud tillukeste klaaskerade kihiga, kus kõigi klaaskerade diameetrid on ühesugused.

1) Kirjeldage difraktsioonipildi asukohta ja geomeetriat, mida võib jälgida, kui laserikiir langeb helkurmaterjalist ribale; kasutage erinevaid langemisnurki.

2) Andke jälgitavale nähtusele kvalitatiivne (ligikaudne) seletus.

3) Hinnake klaaskerade diameetrit.