

## Tallinn 2003

Iga alaküsimuse täislahendus annab kaks punkti. Lahendamisaega on viis tundi.

### I. Vörkpall (8 punkti)

Vaatleme vörkpalli lihtsustatud mudelit: õhuga täidetud õhuke sfääriline kest; kesta materjal on venimatu, kuid vabalt painduv ja volditav. Olgu õhu ülerrõhk palli sees  $\Delta p = 20$  kPa, palli raadius  $R = 10$  cm ja mass  $m = 400$  g (palli sees oleva õhu massi mitte arvestada). Edaspidistes arvutustes võib ülerrõhu sõltuvust palli deformatsioonist mitte arvestada.

1) Pall surutakse kahe sileda paralleelse laua vahele. Laudade vaheline kaugus on  $2R - 2h$ , kus kokkusurutud segmendi kõrgus  $h = 1$  cm. Leidke palli ja laua vaheline jõud  $N$ .

2) Pall langeb kiirusega  $v_0 = 2$  m/s vastu jäika seina. Määrata kokkusurutud segmendi maksimaalne kõrgus  $h_m$  ...

3) ... ja pörkeaeag  $\tau$ .

4) Väikese ülerrõhu korral võib pall kaotada sfäärilise kuju ka neis palli punktides, mis pole seinaga kontaktis. Millist tingimust peavad rahuldama suurused  $\Delta p$ ,  $R$ ,  $m$  ja  $h$ , et niisugust sfäärilisuse kadu võiks mitte arvestada?

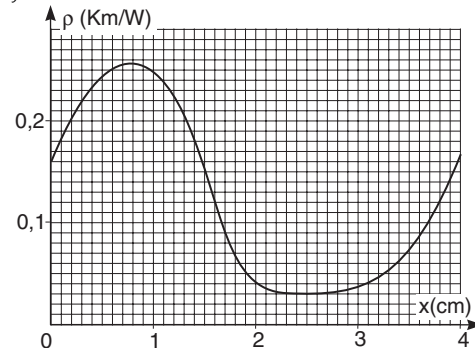
### 2. Soojusvoog (4 punkti)

Soojustakistustegur on võrdne ühikulise ristlõikega ja ühikulise pikkusega traadi otspunktide temperatuuride vahe ja traati läbiva soojusvoogu (mõõtühik W) suhtega.

1) Vesijahutusega mikroprotsessori võimsus on  $P = 90$  W, voolavast veest eraldab teda vaskseib paksusega  $d = 5$  mm ja ristlõike pindalaga  $s = 100$  mm<sup>2</sup>. Kui suur on vee ja protsessori temperatuuride vahe? Vase soojustakistustegur  $\rho = 2,6$  mm·K/W.

2) Traat on valmistatud erinevatest sulamitest ning tema soojustakistusteguri  $\rho$  sõltuvus koordinaadist piki traati on toodud graafikul. Traadi ristlõikepindala on  $S = 1$  mm<sup>2</sup>, pikkus  $l =$

4 cm. Leidke soojusvoog läbi traadi, kui traadi ühte otsa hoitakse 100°C juures ning teist 0°C juures.



### 3. Gravitatsioon (6 punkti)

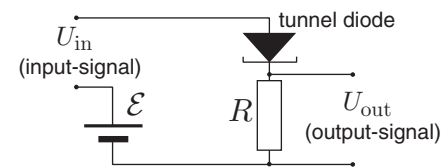
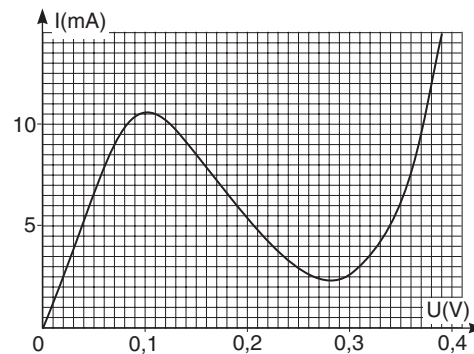
1) Leidke raskuskiirendus  $g_0$  sellise ühtlase tihedusega kerakujulise planeedi pinnal, mille mass on  $M$  ja tihedus  $\rho$  ( $M$  ja  $\rho$  loeme edaspidi fikseerituks).

2) Kas on võimalik, et mitte-kerakujulise planeedi mingis punktis on raskuskiirendus  $g > g_0$ ? Põhjendage vastust.

3) Millise kujuga planeedi korral saavutatakse maksimaalne raskuskiirendus? Kuju võib esitada polaarkoordinaatides, avaldis võib sisaldada ühte määramata konstanti.

### 4. Tunneldiood (8 punkti)

Tunneldiood on hariliku diodi sarnane pooljuhtseade, mida kirjeldagem pinge ja voolu vahelise tunnusoone abil, vt. graafik. Skeemil on toodud lihtsaim tunneldioodil baseeruv võimendi. Takistus  $R = 10$  Ω, elektromotoorjõud  $\mathcal{E} = 0,25$  V.

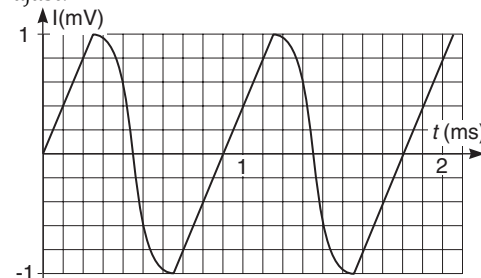


1) Leida voolutugevus, kui  $U_{in} + \mathcal{E} = 0,08$  V.

2) Leida väljundpinge  $U_{out0}$ , kui  $U_{in} = 0$  V.

3) Milline on väljundsignaal  $U_{out} - U_{out0}$ , kui  $U_{in} = 1$  mV?

4) Sisendpingeks on juuresoleval graafikul toodud signaal. Visandage väljundsignaali sõltuvus ajast.



### 5. Vibratsioon (10 punkti)

Vaatleme siledat horisontaalset pinda, mida liigutatakse perioodiliselt edasi-tagasi piki horisontaalset  $x$  telge: esimese poolperioodi  $\tau$  jooksul on pinna kiirus  $u$ , teise poolperioodi jooksul  $-u$ . Sellel pinnal lebab klots massiga  $m$ , mille hõõrdetegur pinna suhtes on  $\mu$ . Raskuskiirendus on  $g$ .

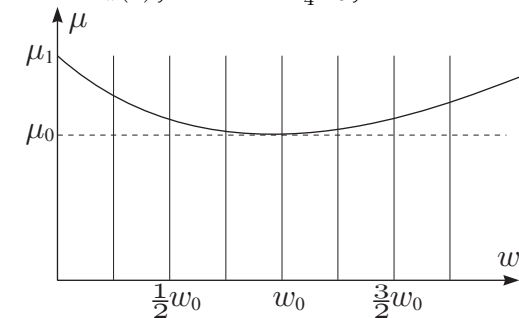
1) Klotsile antakse  $x$ -telje sihiline algkiirus  $v$ . Millist tingimust peavad rahuldama suurused  $g$ ,  $\mu$ ,  $v$  ja  $\tau$ , et klotsi kiirus ei jõuaks poolperioodi

jooksul oluliselt muutuda? Edaspidi eeldame, et see tingimus on rahuldatud.

2) Klotsi lükatakse  $x$ -telje sihilise jõuga  $F_x$  nii, et klotsi keskmine kiirus on  $v$ . Visandage graafiliselt sõltuvus  $F_x(v)$ .

3) Klotsi lükatakse  $y$ -telje sihilise horisontaalse jõuga  $F_y$  nii, et klotsi keskmine kiirus on  $v$ . Leidke sõltuvus  $F_y(v)$ .

4) Kui siiani ignoreerisime hõõrdeteguri sõltuvust libisemiskiirusest  $w$ , siis olgu edaspidi see sõltuvus antud juuresoleva graafikuga. Klotsile mõjutakse  $x$ -telje sihilise jõuga  $F_x$  nii, et klotsi keskmine kiirus on  $v$ . Visandage graafiliselt sõltuvus  $F_x(v)$  juhtumi  $u = \frac{3}{4}w_0$  jaoks.



5) Klots asetatakse tasapinnale, välised jõud puuduvad. Millise kiiruse  $v$  omandab klots? Vastus andke sõltuvuses suurusest  $u$ .

## 6. Laetud osake (12 punkti)

Osake massiga  $m$  ja laenguga  $q$  asub homogeenses magnetväljas induksiooniga  $B$  (vektor on paralleelne  $z$ -teljega). Vaadeldava süsteemi karakterne aeg on osakese tsüklotronperiood  $T_B = 2\pi m/Bq$ . Süsteem asub kahe paralleelse elektroodi vahel, mille abil saab tekitada  $x$ -teljega paralleelse homogeense elektrivälja  $E$ .

1) Osake on paigal, ajahetkel  $t = 0$  lülitatakse sisse elektrivälja  $E$ ; lühikese ajavahemiku  $\tau$  ( $\tau \ll T_B$ ) järel lülitatakse see jälle välja. Millist trajektoori mööda hakkab osake liikuma?

2) Tähistagu  $p_x$  ja  $p_y$  osakese impulsi  $x$ - ja  $y$ -komponente. Visandage osakese trajektoor ( $p_x, p_y$ )-tasandil ning kujutage impulsi vektorid ajahetkede  $t_n = nT_B/4$  ( $n = 1, 2, 3$  ja  $4$ ) jaoks.

3) Vaatleme nüüd olukorda, kus elektrivälja sisse-välja lülitamine toimub korduvalt, alates ajahetkest  $t = 0$  võrdsete ajavahemike  $\Delta t = T_B/4$  järel. Visandage osakese trajektoori ( $p_x, p_y$ )- ja  $(x, y)$ -tasanditel.

4) Olgu sisse-välja lülitamise periood lühike,  $\Delta t \ll T_B$  (kuid siiski hulga pikem impulsi kestvusest,  $\Delta t \gg \tau$ ). Näidake, et peale  $n$ -ndat impulssi (ajahetkel  $t_n = n\Delta t$ ) on osakese impulsi vektor esitatav  $n$  vektori  $\vec{p}_i$  summana, kus kõik komponent-vektorid on moodulilt võrdsed (kusjuures see moodul ei sõltu  $n$ -st) ja naabervektorite ( $\vec{p}_i$  ning  $\vec{p}_{i+1}$ ,  $i = 1, 2, \dots$ ) vahelised nurgad on võrdsed.

5) Vaadeldage piirjuhtu  $\Delta t \rightarrow 0$ , kusjuures  $E\tau/\Delta t \rightarrow E_k$  ( $E_k$  tähistab üle aja keskmistatud elektrivälja). Visandage osakese trajektoor ( $p_x, p_y$ )-tasandil ning avaldage osakese keskmine kiirus (vektoriaalselt; keskmistatuna üle tsüklotronperioodi) suuruste  $E_k$  ja  $B$  abil.

6) Loobume nüüd piirjuhust: impulsside vahelaeg on väike ( $\Delta t \ll T_B$ ), kuid lõplik. Vaatleme olukorda, kus impulsside polaarsus on vahelduv:  $2n$ -nda impulsi elektrivälja olgu  $+E$ , järjekorranumbri  $2n + 1$  puhul aga  $-E$ . Leidke osa-

kese keskmine kiirus (vektoriaalselt) keskmistatuna üle tsüklotronperioodi.

## 7. Teleskoop (12 punkti)

Teadupärast saab teleskoobiga näha tähti ka päeval. Uurigem miks. Silma lihtsustatud mudeliks võtkem lääts fookuskaugusega  $f = 4$  cm ja diameetriga  $d = 3$  mm, mis tekitab kujutise ekraanil (silma võrkkestal). Teleskoobi lihtsustatud mudel on lääts fookuskaugusega  $F = 2$  m ja diameetriga  $D = 20$  cm, mis tekitab kujutise fokaaltasandis (kuhu paigutatakse näiteks film). Oma teisendustes ja vastustes võite kasutada järgmisi suurusi: Päikese pinnaühikult ajaühikus kiiratud valgusenergia  $w_0$  (valgusvõimsuse pindtihedus); vaadeldava tähe ja Päikese kauguste suhe  $q = 4 \cdot 10^5$  (oletame, et see täht on Päikeseга identne); Päikese nurkdiameeter  $\phi \approx 9$  mrad. Märkus: Kui vastus sisaldab suurust  $w_0$ , siis numbrilist vastust pole vaja.

1) Vaatleme paberilehte, mille pinnanormaal on suunatud Päikese poole. Milline on paberilehe pinnaühikule ajaühikus langev Päikese valgusenergia  $w_1$ ?

2) Leidke selle valguse koguvõimsus  $P_2$ , mis koondatakse teleskoobi abil tähe kujutiseks.

3) Oletagem, et sinine taevas paistab sama hele, kui Päikese valgustatud hall paberileht. Hinnangutes võite eeldada, et pinnanormaali suunas hajutab see paberileht 1-steradianilisse ruuminurka valgusenergia, mis moodustab lehele langenud valgusenergiast  $\alpha$ -nda osa, kus  $\alpha \approx 0,1$  (see vastab umbes 70 % valguse neeldumisele hallis paberis). Milline on teleskoobi fokaaltasandis taevasina valguse võimsuse pindtihedus  $w_3$ ?

4) Tähe kujutise uurimisel ignoreerigem kõiki efekte peale difraktsiooni. Hinnake teleskoobi fokaaltasandis tähe kujutise keskel tähelt pärineva valguse võimsuse pindtihedust  $w_2$ .

5) Leidke avaldis teleskoobi fokaaltasandisse saabuva valguse võimsuste pindtiheduste suhte

$k$ : jaoks tähe kujutise keskpunktis ja sellest eemal.

6) Kas teleskoobi abil on võimalik päeval seda tähte näha? Silma abil? Põhjenda.

## 8. Eksperiment (12 punkti)

Raudplaadi ja püsिमagneti vahelise tõmbejõu määramine sõltuvuses nende kaugusest. Töövahendid: raudplaat, kaks püsिमagnetit, puuklots, joonlaud, dünamomeeter, paberiribasid. **Ettevaatust!** püsिमagnetid on väga tugevad, hoidke neid eemal pangakaartidest jms. Samuti vältige nende üksteise vastu (ning ka palja raudplaadi vastu) tõmbumist, sest nad on haprast materjalist ning võivad tugeva löögi tõttu puruneda.

1) Määrake pabeririba ja plaadi vaheline seisuhõõrdetegur ja liughõõrdetegur. Joonistage katse skeem.

2) (4 punkti) Määrake raudplaadi ja püsिमagneti vaheline tõmbejõud selliste vahekauguste jaoks, mille puhul on võimalik dünamomeetri vahetu kasutamine. Joonistage katse skeem.

3) (4 punkti) Määrake raudplaadi ja püsिमagneti vaheline tõmbejõud väiksemate vahekauguste jaoks. Selleks võib kasutada puitklotsi, mis pikki kaldu asetatud plaati alla libisedes lööb vastu püsिमagnetit. Nullist vahekaugust (magnet vahetult plaadil) pole vaja uurida. Joonistage katse skeem. Esitage kõik mõõtmistulemused graafikul.

4) Ühendage kaks püsिमagnetit plaaditükist silakese ( $a$ ) abil nii, nagu näidatud joonisel. Asetage pabeririba ( $b$ ) raudplaadile ( $c$ ) ning sinna peale püsिमagnetid. Määrake plaadi ja püsिमagnetisüsteemi vaheline tõmbejõud.

