ESTONIA

27^{th} INTERNATIONAL PHYSICS OLYMPIAD
OSLO, NORWAY

THEORETICAL COMPETITION
JULY 2 1996

Kasutada olev aeg: 5 tundi

LOE ESMALT SEDA :

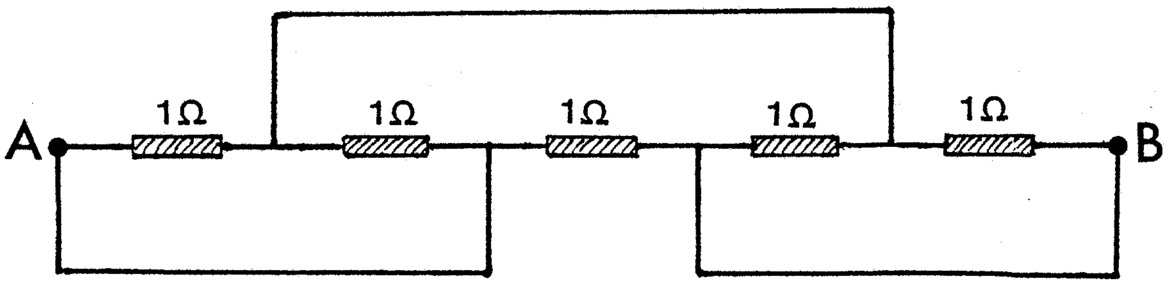
1. Kasuta ainult korraldajate antud kirjutusvahendit.
2. Kasuta ainult paberi märgistatud poolt.
3. Erinevate ülesannete lahenduste esitamiseks kasuta *erinevaid* lehti.
4. Kasuta lahenduste esitamisel põhiliselt valemeid ja arve, ja nii vähe *teksti* kui võimalik.
5. Märgi oma töö *iga* lehe ülaservale:
   - Oma võistlejanumber (ID number osavõtja rinnakaardilt)
   - Ülesande ja selle osa number, näiteks 2/a
   - Lehe üldine järjekorranumber
6. Kirjuta oma töö esileheküljele lehtede koguarv

Nende ülesannete tekstid sisaldavad kokku 7 lehekülge.

ÜLESANNE 1

(Selle ülesande viis osa ei ole omavahel seotud)

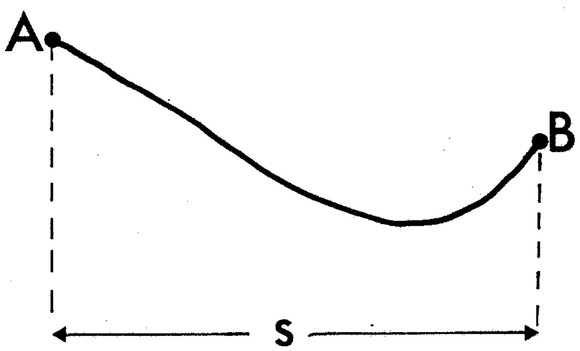
a) Viis takistit takistusega 1Ω on ühendatud nii nagu näidatud joonisel. Ühendusjuhtmete (pidevad sirgjooned joonisel) takistust pole vaja arvestada.



Määrata punktide A ja B vaheline takistus *R*. *(1 punkt)*

---

b)



Suustaja alustab laskumist punktist A mäenõlval ja liigub alla pööreteta ja pidurdamata. Hõõrdetegur on μ. Kui suusataja peatub punktis B, on ta horisontaalsihis liikunud edasi vahemaa *s* võrra. Milline on punktide A ja B kõrguste vahe *h*? Suusataja kiirus on väike, nii et nõlva kõverusest tingitud täiendavat rõhumisjõudu suusataja ja lume vahel pole vaja arvestada. Arvestada pole vaja ka õhuhõõret ja hõõrdeteguri sõltuvust kiirusest. *(1,5 punkti)*

---

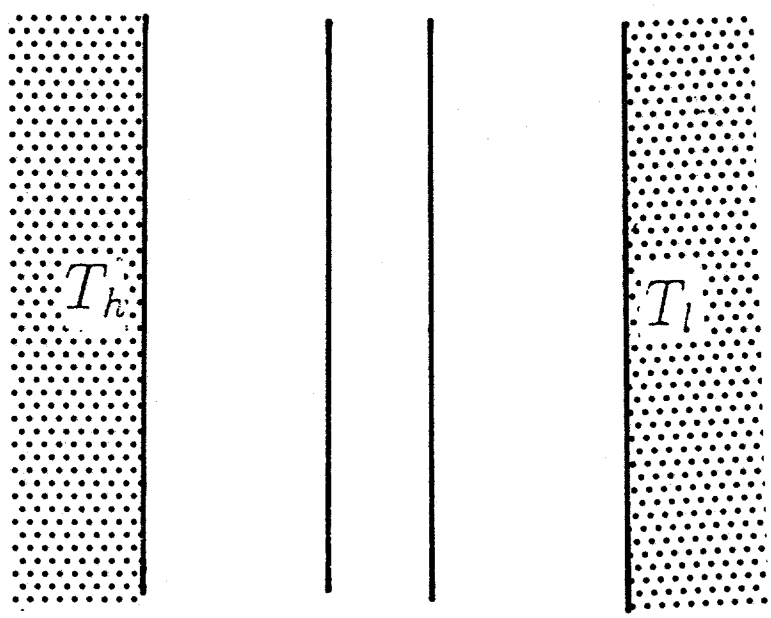
c) Soojuslikult isoleeritud metallitükki soojendatakse atmosfäärirõhul elektrivoolu abil sellisel viisil, et temal eralduv elektriline võimsus on ajas konstantne ja võrdne *P* -ga. Selle tagajärjel kasvab metalli absoluutne temperatuur ajas seaduse

$$T(t) = T_0\left[1 + a(t - t_0)\right]^{1/4}.$$

kohaselt, kus a, t_0 ja T_0 on konstandid. Määrata metalli soojusmahtuvus $C_p(T)$ (antud katses kasutatud temperatuurivahemiku jaoks sõltub see temperatuurist). *(2 punkti)*

d) Absoluutselt musta kuuma tasapinda hoitakse konstantsel temperatuuril T_h. Temaga on paralleelne teine absoluutselt must tasapind, mida hoitakse madalamal konstantsel temperatuuril T_l. Plaatide vahel on vaakuum.

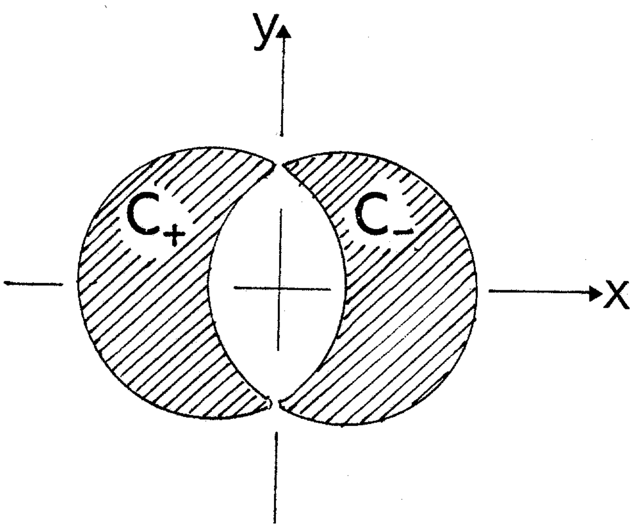
Selleks, et vähendada kiirgusest tingitud soojusvoogu soojalt tasapinnalt külmale tasapinnale kasutatakse ekraani, mis koosneb kahest üksteisega paralleelsest ja üksteisest soojuslikult isoleeritud absoluutselt mustast plaadist. See ekraan asetatakse kuuma ja külma plaadi vahele, paralleelesena nii sooja kui külma tasapinnaga. Teatud aja pärast tekib süsteemis statsionaarne olek.



Millise koefitsiendi ξ võrra kahandab ekraan soojusvoogu külma ja sooja tasapinna vahel? Pindade lõplikest mõõtmetest tingitud ääreefekte mitte arvestada. *(1,5 punkti)*

---

e) Kahes väga pikas sirgjoonelises ja teineteisest isoleeritud, mitte-magnetilisest materjalist valmistatud elektrijuhis C_+ ja C- voolab elektrivool tugevusega I ; esimeses neist on voolu suund z-telje positiivses suunas, teises — negatiivses suunas. Juhtide ristlõiked (joonisel viirutatud alad) on piiratud x-y tasandis ringjoontega, mille diameeter on D ja mille keskpunktide vahekaugus on $D/2$. Kummagi juhi ristlõike pindala on seega $(\frac{1}{12}\pi + \frac{1}{8}\sqrt{3})D^2$. Vool kummaski juhis on ühtlaselt jaotunud üle kogu ristlõike.

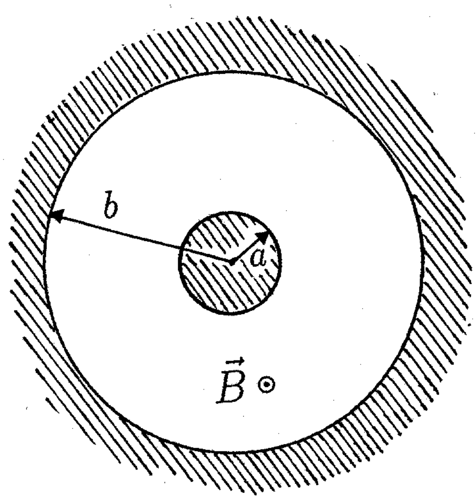


Leia magnetväli B(x,y) juhtide vahele jäävas ruumiosas. *(4 punkti)*

ÜLESANNE 2

Ruum kahe koaksiaalse silindrikujulise elektrijuhi vahel on õhust tühjaks pumbatud. Sisemise silindri raadius on a, välise silindri sisemine raadius on b, nii nagu näidatud joonisel. Välisele silindrile, mida nimetatakse anoodiks, võib anda seesmise silindri suhtes postiivse potentsiaali V. Silindritevahelises ruumis on staatiline homogeenne magnetväli $\vec{B}$, mis on paralleelne silindrite teljega. Silindritele indutseeritud laenguid pole vaja arvestada.

Uurigem elektronide liikumist (elektroni seisumass on m ja laeng -e). Vaadeldavad elektronid eralduvad sisemise silindri pinnalt.



a) Vaadelgem esmalt juhtu, mil potentsiaal V on olemas, kuid $\vec{B}=0$. Elektron vabaneb seesmise silindri pinnalt tühise algkiirusega. Määrata elektroni kiirus v anoodile jõudmise hetkel. Anda vastused nii mitterelativistliku kui ka relativistliku juhu jaoks. *(1 punkt)*

Selle ülesande ülejäänud osades on piisav mitterelativistlik käsitlus.

b) Sedapuhku vaadelgem juhtu, mil $V=0$, kuid on olemas homogeenne magnetväli $\vec{B}$. Olgu elektroni algkiirus sisemise silindri pinnal radiaalsuunaline ning võrdne $\vec{v}_0$ -ga. Kui magnetväli on tugevam teatud kriitilisest väärtusest B_c, siis elektron ei jõua anoodile. Skitseeri elektroni trajektoor juhul, kui B on veidi suurem B_c -st . Leia avaldis B_c jaoks. *(2 punkti)*

Nüüd ja edaspidi vaatleme juhtu, mil on olemas nii potentsiaal V kui ka homogeenne magnetväli $\vec{B}$.

c) Magnetvälja poolt antakse elektronile nullist erinev pöördimpulss L, mis on arvutatud silindri telje suhtes. Kirjuta välja avaldis pöördimpulsi muutumise kiiruse dL/dt jaoks. Näita, et sellest avaldisest järeldub, et kombinatsioon

$$L - keBr^2$$

on elektroni liikumise jooksul jääv suurus. Siinjuures k on teatud dimensioonita arv ja r on elektroni kaugus silindri teljest. Leidke k väärtus. *(3 punkti)*

d) Vaatleme sellise elektroni liikumist, mis vabaneb seesmise silindri pinnalt tühiselt väikese algkiirusega ja mis ei jõua anoodile, vaid pöördub tagasi peale maksimaalset eemaldumist kauguseni r_m silindri teljest. Avalda elektroni kiirus v selles punktis, kus ta kaugus silindri teljest on kõige suurem, kauguse r_m kaudu. *(1 punkt)*

e) Magnetvälja võib kasutada anoodile jõudvatest elektronidest põhjustatud voolu reguleerimiseks. Kui B on suurem teatud kriitilisest väärtusest B_c , siis elektron, mis stardib sisemise silindri pinnalt tühiselt väikese algkiirusega, ei jõua anoodile. Leia B_c väärtus antud juhu jaoks. *(1 punkt)*

f) Kui elektronid vabanevad seesmise silindri pinnalt viimase kuumutamise tagajärjel, siis üldjuhul on neil seesmise silindri pinnal nullist erinev algkiirus. Olgu kiiruse $\vec{B}$ -sihiline komponent v_B ja $\vec{B}$ -ga ortogonaalsed komponendid — v_r (raadiuse sihiline komponent) ning $v\varphi$ (asimutaalne, st. raadiusega ortogonaalne komponent).

Leidke magnetvälja kriitiline (anoodile jõudmise mõttes) väärtus B_c ka selle situatsiooni jaoks. *(2 punkti)*

ÜLESANNE 3

Selles ülesandes uurime me tõusu ja mõõna kõrgust Maa-pealses avaookeanis lihtsustatud mudeli abil. Probleemi lihtsustamiseks teeme järgmised eeldused:

(i) loeme, et Maa ja Kuu moodustavad isoleeritud süsteemi,

(ii) Maa ja Kuu vaheline kaugus on konstantne,

(iii) Maa on täielikult kaetud ookeaniga,

(iv) dünaamilisi efekte, mis on tingitud vee liikumisest ja Maa pöörlemisest ümber oma telje võib mitte arvestata,

(v) Maa gravitatsioonilise tõmbejõu jaoks võib kasuada samasugust avaldist nagu siis, kui kogu Maa mass oleks koondunud Maa keskpunkti.

Antud on järgmised arvandmed:

Maa mass: $M = 5{,}98 \cdot 10^{24}$ kg

Kuu mass: $M_m = 7{,}3 \cdot 10^{22}$ kg

Maa raadius: $R = 6{,}37 \cdot 10^{6}$ m

Kaugus Maa ja Kuu keskpunktide vahel: $L = 3{,}84 \cdot 10^{8}$ m

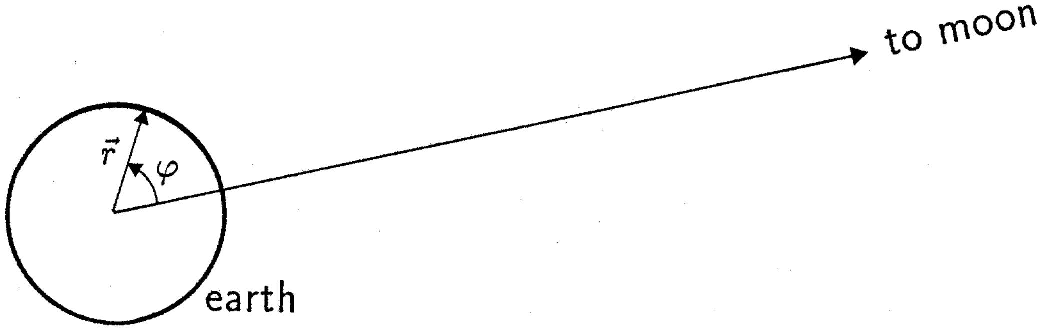
Gravitatsioonikonstant: $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \mathrm{m}^3\mathrm{kg}^{-1}\mathrm{s}^{-2}$.

a) Kuu ja Maa tiirlevad nurkkiirusega ω ümber nende ühise masskeskme *C*. Kui kaugel on *C* Maa keskpunktist? (Tähista see kaugus tähega *l*). Leia ω numbriline väärtus. *(2 punkti)*

Kasutame nüüd taustsüsteemi, mis pöörleb koos Maa keskpunkti ja Kuuga punkti *C* ümber. Sellest taustsüsteemist vaadelduna on Maad katva vee pinna kuju ajas muutumatu.

Tasandi *P* puhul, mis läbib punkti *C* ja on risti pöörlemisteljega, võib Maad katva vee pinnal oleva punktmassi asukohta kirjeldada polaarkoordinaatide *r* ja φ abil, nii nagu näidatud joonisel. Siinjuures *r* tähistab kaugust Maa keskpunktist.

.



Uurigem Maad katva vee pinna kuju

$$r(\varphi) = R + h(\varphi)$$

tasandis *P*.

b) Vaatleme punktmassi massiga m vee pinnal tasandis *P*. Meie taustsüsteemis mõjuvad talle tsentrifugaaljõud ning Kuu ja Maa gravitatsioonijõud. Esita avaldis neist kolmest jõust põhjustatud potentsiaalse energia jaoks.

Märkus: Iga jõud $F(r)$, mis on radiaalne mingi koordinaatide alguspunkti suhtes, on esitatav sfääriliselt sümmeetrilise potentsiaalse energia $V(r)$ tuletisena: $F(r) = -V'(r)$. *(3 punkti)*

c) Leia loodetest tingitud veepinna kerkimuse *h(φ)* jaoks ligikaudne avaldis, kasutades seejuures antud suurusi M, M_m, jne. Kui suur on selle mudeli põhjal tõusu ja mõõna kõrguste vahe meetrites?

Võite kasutada ligikaudset võrdust

$$\frac{1}{\sqrt{1+a^2-2a\cos\theta}} \approx 1 + a\cos\theta + \tfrac{1}{2}a^2(3\cos^2\theta - 1),$$

mis kehtib kui a on hulga väiksem ühest.

Kasuta oma lahenduses lihtsustavaid lähendusi kus iganes kohane. *(5 punkti)*