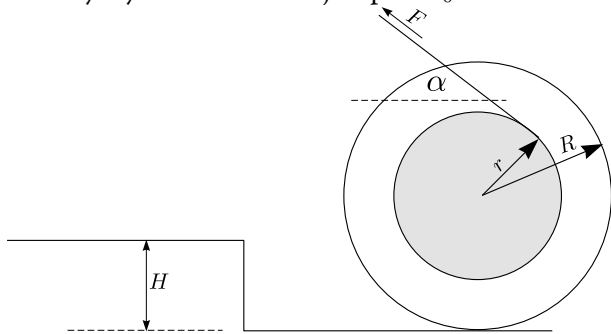


Suomalais-Virolaiset Fysiikkaolympialaiset - 2011

1. Lankarulla (12 points) Lankarulla, jonka sisäsäde on r ja ulkosäde R , lepää akseli vaakasuorassa vaakasuoralla pöydällä. Rullan akselin ympäri kiedotaan massaton lanka kuvan mukaisesti. Langan ja pöydän välinen kulma on α ja kulma voi saada myös negatiivisia arvoja. Rullan hitausmomentti on J ja massa M . Jatkossa voit olettaa rullan vierivän liukumatta.

- i) (2 p) Langan päästä vedetään nopeudella u . Mikä on lankarullan akselin nopeus?
- ii) (3 p) Oletetaan sitten, että rulla on levossa ja langasta aletaan vetää voimalla F . Mikä on rullan kiihtyvyys?
- iii) (2 p) Kuinka suuri täytyy kitkakertoimen pöydän ja rullan välillä $\mu(\alpha)$ olla, jotta rulla ei liukuisi?
- iv) (1.5 p) Oletetaan, että pelkkä rulla ilman köyttä vierii nopeudella v . Rulla törmää täysin kimmottomasti kynnykseen, jonka korkeus on H , kuten kuvassa. Mikä on rullan nopeus välittömästi törmäyksen jälkeen?
- v) (1.5 pts) Mikä on rullan nopeus kynnyksen ylittämisen jälkeen? Oletetaan rullan nopeuden olevan niin pieni, että se vierähtää kynnyksen yli hyppäämättä, eli rulla koskettaa koko ajan kynnykseen.
- vi) (2 pts) Jos rullan nopeus on liian suuri $u > u_0$, se hyppää eli irtoaa kynnyksestä. Määritä rajanopeus u_0



2. Kondensaattori (6 points) Ideaalisen levykondensaattorin levyjen pinta-ala on A ja levyjen etäisyys on d . Sähkökenttä levyjen välissä on E .

- i) (2 pts) Mikä on kentän energiatiheys levyjen välissä ja kentän kokonaisenergia.
- ii) (1.5 pts) Kuinka suuri voima tarvitaan levyjen pitämiseen vakioetäisyydellä toisistaan?
- iii) (2.5 pts) Nyt on levykondensaattori upotettu tislattuun veteen, jonka permittiivisyys on $\varepsilon = 80$. Mikä on hydrostaattinen paine levyjen välissä, jos ilmanpaine on p_0 ja vesipatsaan aiheuttama paine voidaan jättää huomiotta?

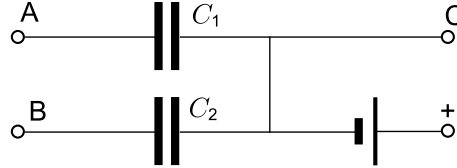
3. Varattu sylinteri (8 points) r -säteinen eristesylinteri, jonka pinnalla on varaustiheys σ , pyörii kulmanopeudella ω .

i) (3 pts) Määritä magneettivuon tiheys B sylinterin sisällä. *Vihje:* voit halutessasi käyttää solenoidin induktanssille tulosta $L = \mu_0 N^2 S / l$, missä r on käämin säde, $l \gg r$ sen pituus, S poikkileikkauksen pinta-ala ja N johdinsilmukoiden lukumäärä

ii) (3 pts) Sylinterin säteen suuntainen johdin kulkee sylinterin akselilta sen pinnalle (ja pyörii sylinterin mukana). Määritä johtimen päiden välinen sähkömotorinen voima (jännite) \mathcal{E} .

iii) (2 pts) Oleta, että sylinterin akselin ja pinnan yhdistävä johdin ei ole sylinterin säteen suuntainen, vaan että se on mielivaltaisen muotoinen (kuitenkin niin, että johdin on kokonaisuudessaan sylinterin sisällä). Näytä, että \mathcal{E} ei riipu johtimen muodosta.

4. Musta laatikko (10 points) Tarvikkeet: musta laatikko neljällä ulkoisella liittimellä, jännitemittari, sekuntikello. Mustan laatikon sisällä on kaksi kondensaattoria ja paristo, jotka on kytketty oikein kuvan mukaisesti. Kapasitanssi $C_1 = (3400 \pm 400)\text{mF}$. Määritä kapasitanssi C_2 ja anna tulokselle virhearvio. *Huomioi:* Ulkoinen liitin "+" on johto, joka on niin pitkä, että se on mahdollista kytkeä sekä liittimeen "A" että liittimeen "B".



5. Plutoniumin hajoaminen (3 points) Plutoniumin epästabili isotooppi Pu^{239} hajoaa puoliintumisajalla $\tau_{1/2} = 24\,000$ vuotta. Hajoamistuotteena on pienempiä tytärytimiä, joista yksi on α -hiukkanen. Määritä α -hiukkasvuon tiheys (hiukkasten lukumäärä aikayksikössä pinta-alayksikköä kohden) Pu^{239} :stä valmistetun levyn pinnan lähellä. Levyn paksuus $d = 1$ mm ja sen pituus ja leveyt ovat paljon tätä suuremmat. Plutoniumin tiheys on $\rho = 19\,800$ kg/m³. *Vihje:* puoliintumisaika on aika, jonka kuluessa näytteessä olevien hiukkasten lukumäärä vähenee hajoamisen seurauksena puoleen. Pu^{239} :n atomimassa on $m_0 = 3.84 \times 10^{-25}$ kg.

6. Viulun kieli (8 points) Viulun jousen liike saa viulun kielen värähtelemään jaksollisesti. Tarkastellaan tilannetta yksinkertaistetun mallin avulla: kieli on kimmoisa ja massallinen, joten korvataan se m -massaisella kappaleella, joka on kiinnitetty kierrejousella, jonka jousivakio on k , paikallaan olevaan seinään. Kappale on kitkattomalla vaakasuoralla pinnalla. Viulun jousi korvataan vaakasuoralla levyllä, jota painetaan alaspäin vakiovoimalla N . Levy liikkuu vakionopeudella u kierrejousen akselin suuntaisesti oikeisen kuvan mukaisesti. Kappaleen ja levyn välinen lepokitkakerroin on μ_1 ja liikekitkakerroin $\mu_2 < \mu_1$: kappaleen ollessa paikallaan levyn suhteen kitkakerroin on μ_1 ja heti kun kappale liikkuu levyn suhteen, kitkakerroin putoaa arvoon μ_2 .

i) (2 pts) Kohdissa i) ja ii) voit olettaa, että levyn nopeus u on pieni verrattuna kappaleen maksiminopeuteen. Mikä suurin nopeus v_{max} , jonka kappale saavuttaa.

ii) (2 pts) Hahmottele (kvantitatiivisesti) kappaleen poikkeama tasapainoasemasta ajan funktiona. Ilmaise kuvaajassa kappaleen liikkeen eri vaiheiden kestot.

iii) (2 pts) Jätetään nyt pois oletus levyn nopeuden u pienyydestä. Hahmottele (kvalitatiivisesti) kappaleen nopeus ajan funktiona.

iv) (2pts) Määritä amplitudi A jolla kappale oskilloi.

v) (1 pts) Minkä ehdon u :n on toteutettava (muotoa \gg tai \ll), jotta värähtely olisi lähes harmonista.

7. Tyhjiökupu (8 points)

Tarkastellaan tilannetta, jossa kuvun (tilavuus V) sisään luodaan tyhjiö pumppaamalla. Paine kuvun sisällä on aluksi p_0 . Pumppu koostuu αV -tilavuuden omaavan sylinterin sisällä liikkuvasta männästä ($\alpha \ll 1$). Pumppaus sykli alkaa, kun mäntää vedetään ylös. Kun paine sylinterin sisällä on pienempi kuin kuvun sisällä, venttiili V_A , joka yhdistää sylinterin ja kuvun, avautuu, ja pysyy auki niin kauan, kun mäntä liikkuu ylöspäin. Kun mäntä vapautetaan, se alkaa liikkua alaspäin. Samalla hetkellä venttiili V_B sulkeutuu. Venttiilin ollessa auki kuvun sisällä oleva paine on likimain yhtä suuri kuin sylinterin sisällä oleva paine. Männän

liikkuessa alaspäin paine kasvaa adiabaattisesti kunnes se on sama kuin ulkoinen paine $p_0 = 10^5$ Pa. Tällöin toinen venttiili V_B avautuu ja päästää kaasua ulos sylinteristä. Kun mäntä on alimassa asennossaan, sylinterin sisällä ei ole enää lainkaan ilmaa. Nyt mäntä on valmis nostettavaksi ylös: venttiili V_B sulkeutuu ja V_A avautuu, jolloin uusi pumppaus sykli voi alkaa. Pumpun sisällä olevaa ilmaa voidaan käsitellä isothermisenä olevana kaasuna, jonka lämpötila on sama kuin ulkoinen lämpötila T_0 . Ilman adiabaattinen eksponentti on $\gamma = c_p/c_V = 1,4$.

i) (2 pts) Määritä tarvittavien pumppaus syklien lukumäärä N , kun kuvun sisäinen paine halutaan pienentää arvosta $p = p_0$ arvoon $p = \beta p_0$, kun $\beta \ll 1$.

ii) (2 pts) Mikä on edellisen kohdan N pumppaus syklin aikana tehty mekaaninen nettotyö?

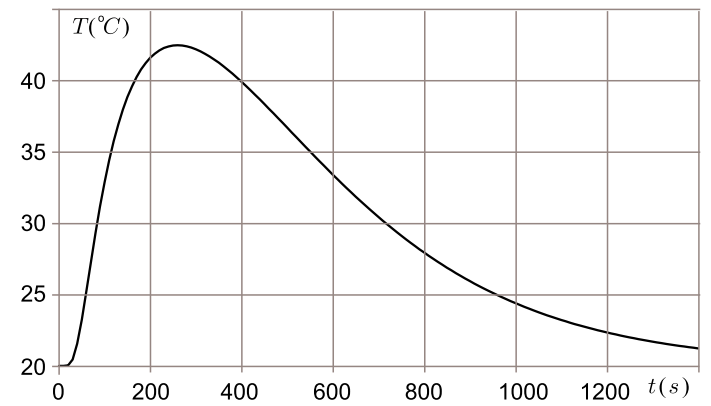
iii) (2 pts) Mikä on sylinteristä pumppausprosessin lopussa vapautetun ilman lämpötila (kun kuvun sisäinen paine on βp_0)?

iv) (2 pts) Edellä kuvatussa pumppausjärjestelyssä yhden syklin aikana hukataan paljon mekaanista energiaa, kun ylös nostettu mäntä vapautetaan ja se putoaa alas. Tältä voidaan välttyä jos käytetään toista pumppua, joka pyörii vastakkaisessa vaiheessa: ulkoisen ilmanpaineen tekemä työ sen painaessa mäntää alas voidaan siirtää toisen pumpun männän nostamiseen ylös. Mikä on yhden pumppaus syklin aikana tehtävä mekaaninen nettotyö tässä tapauksessa?

8. Lämpönielu (8 points) Käsitellään lämpönielua, jonka muodostaa tasapaksu ohut kuparilevy (levyn paksuus on paljon pienempi kuin sen läpimitta d). Elektroniikkakomponentti on kiinnitetty levyyn ja toiseen kohtaan levyä kiinnitetään lämpötilasensori. Voit olettaa lämpövuon (teho pinta-alayksikköä kohti) levystä ilmaan kussakin pisteessä olevan verrannollinen levyn ja ilman lämpötilaeroon (verrannollisuuskerroin on sama kaikkialla mukaanlukien elektroniikkakomponentin kohdalla).

i) (2 pts) Elektroniikkakomponentti on ollut toiminnassa vakio teholla $P = 35$ W hyvin pitkään, jolloin levyn keskilämpötila on vakiintunut arvoon $T_0 = 49$ °C. Komponentti kytketään pois päältä, jolloin levyn keskilämpötila alkaa laskea. Ajan $\tau = 10$ s kulluttua keskilämpötila on pudonnut arvoon $T_1 = 48$ °C. Määritä levyn lämpökapasiteetti C (yksiköissä J/°C), kun elektroniikkakomponentin ja lämpötilasensorin lämpökapasiteetit oletetaan mitättömiksi.

ii) (4 pts) Elektroniikkakomponentti on ollut pois päältä hyvin pitkään ja ajanhetkellä $t = 0$ tietty lämpömäärä Q siirretään komponenttiin hyvin lyhyessä ajassa. Lämpömittarin lukema lämpöpulssin jälkeen on esitetty oikeisessa kuvaajassa ja taulukossa. Määritä komponentin saama lämpömäärä 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. Taitekerroin (10 points) *Laitteisto:* Puoliympyrän muotoinen paksu lasikappale, lasinen prisma, astiallinen tuntematonta nestettä, laserosoitin, millimetripaperia ja viivoitin. **i)** (5 pts) Määritä lasikappaleen taitekerroin ja arvioi tuloksen virhettä.

ii) (5 pts) Määritä tuntemattoman nesteen taitekerroin ja arvioi tuloksen virhettä.