

1. VEDEN OLOMUODOT (6 pistettä) — Johan Runeson. Tässä tehtävässä tarkastelemme veden faasidiagrammia (katso erillisellä paperilla olevat kuvaajat). Ensimmäisessä kuvaajassa on esitetty faasidiagrammi lähellä veden kolmoispistettä [(s) - kiinteä, (l) - neste, (g) - kaasu] ja toisessa kuvaajassa sulamiskäyrä. Kun kaksi faasia α ja β ovat tasapainossa, faasitransitioikäyrä noudattaa Clausius-Clapeyronin lakia:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{1}{T} \frac{H_\beta - H_\alpha}{V_\beta - V_\alpha},$$

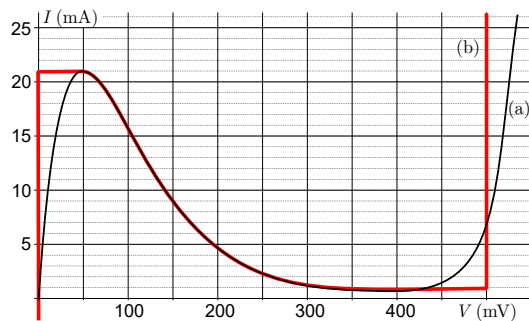
missä H_α on faasin α ominaisentalpia (entalpia per massa) ja V_α on ominaistilavuus (tilavuus per massa).

i) (1,5 pistettä) Käyttäen tietoa $V_g \gg V_l$ johda neste-kaasu transitioikäyrän lauseke $p(T)$ höyrystymisen latenttilämmön $\Delta H_{lg} = H_l - H_g$, jonkin käyrällä olevan mielivaltaisen referenssipaineen p_0 , kaasuvakion R ja moolimassan μ funktiona.

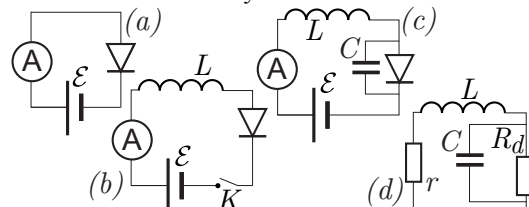
ii) (1,5 pistettä) Approksimoi maapalloa tasapainossa olevana systeeminä joka koostuu ilman ja vesihöyryn muodostamasta homogeenisestä ilmakehästä sekä nestemäisen veden muodostamasta merestä. Jos ilmakehän lämpötila nousee 3°C , kuinka suuri prosentuaalinen nousu vesihöyryn paineessa tapahtuu? (maapallon tämänhetkinen lämpötila on 15°C). Saatat tarvita arvoja $R = 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ja $\mu = 18,015 \text{ g mol}^{-1}$.

iii) (3 pistettä) Käyttäen mielekkäitä approksimaatioita, laske $V_l - V_s$, eli jään ja nestemäisen veden tilavuuksien ero per kilogramma vettä ilmanpaineessa.

2. TUNNELIDIODI (10 pistettä) — Jaan Kalda. Tunnelidiodin todellinen U-I-käyrä on esitetty alla olevassa kuvaajassa käyränä (a). Osassa tehtävää käytämme idealisoidun mallin käyrää joka on esitettynä kuvaajassa punaisena käyränä (b).



i) (1 piste) Mitataksemme diodin U-I-käyrän, olemme kytkeneet sen sarjaan säädettävän jännitelähteen kanssa (sähkömotorisen voiman suuruutta \mathcal{E} voimme muuttaa 0V ja 1V välillä). Katso piiri (a). Virtamittarin sisäisen resistanssin suuruus on $r = 2\Omega$ ja käytetyn jännitteen suuruus on $\mathcal{E} = 50 \text{ mV}$. Mikä on jännite V_i diodin yli, sekä virta I_i ? Käytä diodin todellista U-I-käyrää.



ii) (1 piste) Tarkastellaan seuraavaksi johtimien itseinduktanssia. Voidaksemme ottaa induktanssin huomioon täytyy meidän muokata piiri kuvan (b) kaltaiseksi, missä $L = 500 \text{ nH}$. Pidämme kytkimen K auki kunnes jännite on säädetty arvoon $\mathcal{E} = 250 \text{ mV}$, minkä jälkeen suljemme kytkimen. Kauanko kestää, että piirissä kulkeva virta on $I_1 = 20 \text{ mA}$? Jätä jatkossa huomiotta (ellei toisin ohjeisteta) jännitelähteen ja virtamittarin sisäiset resistanssit (eli $r = 0$) ja käytä diodin idealisointia U-I-käyrää.

iii) (1 piste) Käyttäen kohdan ii) oletuksia, kauanko kytkimen sulkemisen jälkeen kestää että diodin jännite saavuttaa arvon $U_2 = 500 \text{ mV}$?

iv) (2 pistettä) Käyttäen kohdan ii) oletuksia, piirrä diodin läpi kulkeva virta ajan funktio-

na ja etsi virran värähtelyn jaksonaika sekä amplitudi.

v) (2 pistettä) Käyttäen piiriä (b) voimme mitata diodin U-I-käyrän: jokaista datapistettä varten pidämme kytkimen ensin auki, säädämme jännitteen haluttuun arvoon, minkä jälkeen suljemme kytkimen. Huomaa, että silloin kun virtamittarin läpi kulkeva virta oskilloi korkealla tajuudella, mittarimme näyttää **keskiarvoistettua virtaa**. Piiristä tältä mittauksesta odotettavissa oleva tulos eli piirrä virtamittarin läpi kulkeva keskiarvoistettu virta diodin yli olevan keskiarvoistetun jännitteen $U = \mathcal{E}$ funktiona.

vi) (1 piste) Tähän mennessä olemme oletaneet diodin olevan ideaalinen laite. Todellisuudessa diodilla on pieni parasiittinen kapasitanssi, jonka arvo tässä tehtävässä on $C = 30 \text{ pF}$. Kun otamme tämän huomioon, on piirimme kuvan (c) mukainen. Tämän lisäksi otamme jälleen huomioon virtamittarin sisäisen resistanssin $r = 2\Omega$. Oletetaan, että kytkimen sulkemisen jälkeen jännitettä nostettiin hitaasti $\mathcal{E} = 0 \text{ mV}$:sta $\mathcal{E} = 1500 \text{ mV}$:een siten, että muuttumaton (värähtelyvapaa) käyttöalue, jossa $V(t) \equiv V_0$ ja $I(t) \equiv I_0$ saavutettiin. Olkoon diodin läpi kulkevasa virrassa ja jännitteessä pieni häiriö: $I = I_0 + \delta I(t)$ ja $V = V_0 + \delta V(t)$, missä I_0 ja V_0 ovat virta ja jännite värähtelyvapaalla käyttöalueella. Pienille häiriöille voimme linearisoida diodin U-I-käyrän eli $\delta V = R_d \delta I$ missä R_d :tä kutsutaan diodin *differentiaaliseksi resistanssiksi*. Määritä R_d :n arvo.

vii) (2 pistettä) Jatkamalla edellisestä kohdasta, voimme osoittaa että virtapiirin (c) stabiileetti, eli kasvavatko pienet virran häiriöt $\delta I(t)$ eksponentiaalisesti ajassa vai eivät, on yhtäpitävää piirin (d) stabiileetin kanssa (jännitelähde on poistettu piiristä ja diodi on korvattu edellisessä tehtävässä määritetyllä differentiaalisella resistanssilla). Mikä on suurin induktanssin L arvo, jolla systeemi on stabiili?

3. KARTIOMAINEN HUONE (3 pistettä) — Maté Vigh.

Eräs moderni museo on muodoltaan täydellinen suora kartio, jonka kärjen puolikas sisäkulma on 60° (i.e. seinät ovat 60° :n kulmassa vertikaalitasoon nähden). Jos esine laukaistaan lattian tasolta kohti kattoa huoneen keskeltä, niin minimivauhti, jolla se saavuttaa huoneen korkeimman kohdan on v_0 . Mikä on pienin nopeus, jolla esine saavuttaa kartion seinän?

4. DRONE (9 pistettä) — Lasse Franti ja Jaan Kalda.

Drone vetää kuutiomaista esinettä köyden päässä kuvan esittämällä tavalla. Esine liikkuu hitaasti, tasaisella vauhdilla horisontaalisella lattialla. Esine on valmistettu homogeenisesta materiaalista. Voit tehdä mittauksia kuvan (erillisellä sivulla) perusteella olettaen, että mittasuhteet ovat oikein. Siltä varalta, ettei sinulla ole mahdollisuutta tulostaa kuvaa, mittaamisen helpottamiseksi kuvaan on piirretty apuviivoja, jotka voivat olla hyödyllisiä.

i) (2 pistettä) Määritä esineen ja lattian välinen liukukitkeron.

ii) (2 pistettä) Määritä esineen massa, kun dronen massa on $m = 1 \text{ kg}$.

iii) (2 pistettä) Tarkastellaan seuraavaksi dronen lentoa adiabaattisessa ilmakehässä. Adiabaattisessa ilmakehässä ilmataskujen liike ylös tai alas on jatkuvaa, ja näiden elementtien laajeneminen ja supistuminen on adiabaattista. Voidaan osoittaa, että adiabaattisessa ilmakehässä lämpötila on suoraan verrannollinen korkeuteen z : $T = T_0 - zg/c_p$, missä $c_p = 1,00 \text{ J/g}$ on ilman ominaislämpökapasiteetti vakiopaineessa, ja $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Määritä ilman tiheys ρ korkeuden funktiona, suhteessa tiheyteen ρ_0 maan pinnan tasolla $z = 0$, ilman ominaislämpökapasiteettiin vakiotilavuudessa $c_v = 0,718 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$, ja muihin aiemmin määriteltyihin suureisiin.

iv) (3 pistettä) Olettaen, että dronen maksimilentokorkeus ilman kuormaa z_{\max} on sen moottorin tehon rajoittama, määritä z_{\max} , kun tiedetään, että teho on juuri riittävä, jotta dronella voi nostaa kappaleen, jonka massa on **50%** dronen massasta. Voit unohtaa turbulenssin vaikutukset.

5. PULLON ÄÄNI (8 pistettä) — *Jaana Kalda ja Eero Uustalu.*

Työvälineet: tyhjä 1 l pullo, pieni (n. 100 ml) kuppi, jonka tilavuus on tunnettu (tai muu väline, jolla voi mitata veden tilavuutta), älypuhelin, jossa asennettuna "Physics Toolbox Sensor Suite" tai "Physics Toolbox Pro" (merkitse käyttämäsi versio vastauspaperiisi).

Kun puhallat pulloon, voit saada aikaan viheltävän äänen: ilmvirran on kuljettava pullon suulta kohtisuorassa pullon pystyak-

seliin nähden. Tehtävänäsi on tutkia pullosta kuuluvan äänen taajuuden f riippuvuutta pullon sisältämän veden tilavuudesta V .

i) (4 pistettä) Mittaa äänen taajuus puhaltaessasi pulloon käyttäen joko "tone detector" tai "spectrum analyser" työkalua "Physics Toolbox":ssa (valikon saa esiin sovelluksen vasemmasta ylälaidasta). Jos saat aikaan selkeän äänen, käytä "tone detector":ia; muu-

toin käytä "spectrum analyser":ia määrittääksesi spektrin taajuuspiikin sijainnin. Taulukoi keräämäsi data.

ii) (1 piste) Perustuen teoriaan, taikka data-analyysiin, ehdota funktiota, joka kuvaa f :n riippuvuutta V :stä.

iii) (3 pistettä) Kokeile ehdotuksesi sopivuutta graafisesti, ja määritä funktion parametrin. Virheanalyysi ei ole tarpeen.

