

1. VEE OLEKUD (6 punkti) — *Johan Runeson*. Selles ülesandes uurime vee faasidiagrammi (vaadake graafikuid eraldi lehelt). Esimesel graafikul on näidatud kolmikpunkti läheduses olevat piirkonda [(s)-tahke, (l)- vedel, (g)-gaasiline] ja teisel graafikul on näha sulamiskõver. Kui kaks olekut α ja β on termodünaamilises tasakaalus, allub nende siirdekõver Clausius-Clayperoni seadusele:

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

kus H_α on oleku α erientalpia (entalpia massi kohta) ja V_α on eriruumala (ruumala massi kohta).

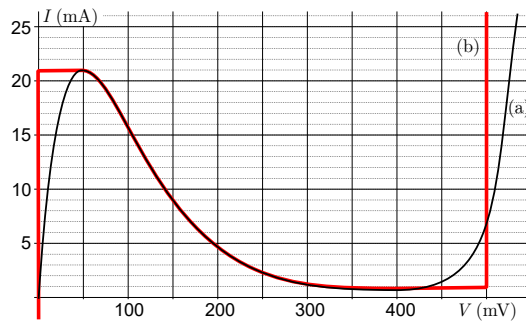
i) (1,5 punkti) Teades, et $V_g \gg V_l$, leidke avaldis *vedelik-gaas* faasiülemineku kõvera $p(T)$ jaoks, kasutades aurustumissoojust $\Delta H_{lg} \equiv H_l - H_g$, rõhku p_0 suvalises kõvera peal olevas referentspunktis, gaasikonstanti R ning molaarmassi μ .

ii) (1,5 punkti) Vaatleme Maad kui süsteemi, mis koosneb homogeenest atmosfäärist ja merest (vedel vesi), mis on omavahel termodünaamilises tasakaalus. Eeldame, et atmosfäär sisaldab ainult õhku ja veeauru. Kui atmosfääri temperatuur tõuseb 3°C võrra, siis mitme protsendi võrra kasvab veeauru rõhk? (Praegune Maa temperatuur on 15°C .) Kasulikuks võivad osutada väärtused $R = 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ja $\mu = 18,015 \text{ g mol}^{-1}$.

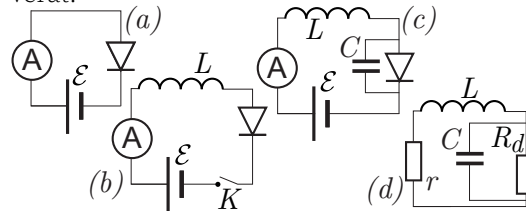
iii) (3 punkti) Kasutades sobivat lähendust, arvutage vedela vee ja jää eriruumalade vahe $V_l - V_s$ normaalrõhul.

2. TUNNELDIOOD (10 punkti) — *Jaan Kalda*.

Alloleval joonisel on tunneldioodi V-I kõver näidatud joonega (a). Mõnes ülesandes osas kasutame selle lihtsustatud mudelit (b).



i) (1 punkt) Diodi V-I kõvera määramiseks on diood ühendatud jadamisi muutuva toiteallikaga (st. elektromotoorjõu väärtust \mathcal{E} saab muuta 0V -st kuni 1V -ni), vt. elektriskeemi (a). Skeemil oleval ampermeetril on sisetakistus $r = 2\Omega$ ja sellele rakendatud pinge on $\mathcal{E} = 50\text{mV}$. Mis on dioodi pinge V_i ja seda läbiv voolutugevus I_i ? Kasutada reaalselt V-I kõverat.



ii) (1 punkt) Uurime nüüd juhtmete eneseinduktiivsuse mõju. Et seda arvesse võtta, peame vooluringi muutma selliseks, nagu on näidatud skeemil (b); seejuures olgu $L = 500\text{nH}$. Lülitit K hoitakse avatuna, kuni pinge on jõudnud suuruseni $\mathcal{E} = 250\text{mV}$, ning siis suletakse. Kui kaua läheb aega selleks, et voolutugevus jõuaks $I_1 = 20\text{mA}$ -ni? Selles ja järgnevas osades (kui ei ole öeldud teisiti) kasutage V-I kõvera lihtsustatud mudelit (b) ja jätke arvestamata patareid ja ampermeetri sisetakistus (st. $r = 0$).

iii) (1 punkt) Vaatleme samasugust olukorda nagu osas ii). Kui suur on ajavahemik, mis jääb lüliti sulgumise hetke ja dioodi pinge väärtuse $V_2 = 500\text{mV}$ saavutamise vahele?

iv) (2 punkti) Vaatleme samasugust olukorda nagu osas ii). Joonistage graafik, kus on näi-

datud dioodi voolutugevuse sõltuvus ajast. Leidke voolu võnkumiste periood ja amplituud.

v) (2 punkti) Vooluringi (b) kasutatakse dioodi V-I kõvera mõõtmiseks. Iga andmepunkti jaoks toimitakse nii, et kõigepealt hoitakse lüliti lahti ja seatakse pinge soovitud väärtusele, seejärel lüliti sulgetakse. Pidage meeles, et kui ampermeetrit läbiv voolutugevus ost-silleerub kõrge sagedusega, siis näitab ampermeeter **keskmist voolutugevust**. Tehke graafik oodatavatest mõõtmistulemustest, st. näidake graafikul ampermeetrit läbiva keskmise voolutugevuse sõltuvus rakendatavast pingest $V = \mathcal{E}$.

vi) (1 punkt) Siiani oleme eeldanud, et diood on ideaalne seade. Reaalsuses on sellel aga väike nõ parasitmahtuvus, olgu see $C = 30\text{pF}$. Et seda arvesse võtta peame elektriskeemi ümber joonistama selliselt, nagu on näidatud joonisel (c). Nüüd eeldame uuesti, et ka ampermeeter ei ole ideaalne, ja sellel on sisetakistus $r = 2\Omega$. Samuti eeldame, et pärast lüliti sulgumist kasvab pinge aeglaselt $\mathcal{E} = 0\text{mV}$ -lt väärtuseni $\mathcal{E} = 150\text{mV}$, nii et saavutatakse statsionaarne (võngeteta) töörežiim, st. $V(t) \equiv V_0$ ja $I(t) \equiv I_0$. Esitage dioodi voolutugevuse ja pinge väärtused väikesete häirituste kaudu kujul $I = I_0 + \delta I(t)$ ja $V = V_0 + \delta V(t)$, kus I_0 ja V_0 on statsionaarse režiimi väärtused. Kui häirituste amplituudid on väikesed, saame V-I kõvera lineariseerida, saades $\delta V = R_d \delta I$, kus R_d on dioodi *diferentsiaalne takistus*. Leidke R_d väärtus.

vii) (2 punkti) Jätkame eelmise punktiga. On võimalik näidata, et vooluringi (c) stabiilsuse küsimus (st. kas väikesed voolutugevuse muudatused $\delta I(t)$ hakkavad edaspidi eksponentsiaalselt kasvama või mitte), on ekvivalentne vooluringi (d) stabiilsusega (patareid on eemaldatud ja diood on asendatud eelmises osas leitud diferentsiaalse takistusega). Mis on juhtmete suurim võimalik induktiivsus L , mille korral süsteem on veel stabiilne?

3. KOONILINE RUUM (3 punkti) — *Maté Vigh*. Modernne muuseum on seest koonuse kujuga. Nurk kõrguse ja moodustaja vahel on 60° (st muuseumi sein kaldnurk on 60° vertikaali suhtes). Koonuse põhja keskpunkti õhku visatud keha vähim vajalik algkiirus koonuse tippu jõudmiseks on v_0 . Mis on vähim vajalik algkiirus koonuse sein tabamiseks?

4. DROON (9 punkti) — *Lasse Franti ja Jaan Kalda*.

Droon veab nõõri abil homogeenest materjalist risttahukat, nagu on näidatud joonisel (vt eraldi lehte). Risttahukas libiseb aeglaselt konstantse kiirusega horisontaalsel põrandal. Jooniselt võib teha mõõtmisi eeldades, et nurgad ja kauguste suhted on õiged, aga mõõtkava on teadmata. Juhul kui teil puudub juurdepääs printerile ja peate ülesandeid otse arvuti ekraanilt lugema, siis on selleks diagrammile kantud abistavad jooned.

i) (2 punkti) Leidke risttahuka ja põranda vaheline hõõrdetegur.

ii) (2 punkti) Leidke risttahuka mass, kui drooni mass on $m = 1\text{kg}$.

iii) (2 punkti) Järgmisena vaatleme drooni lendu adiabaatilises atmosfääris. Sellises atmosfääris liiguvad õhumassid pidevalt üles või alla ning samal ajal kas paisuvad või tõmbuvad kokku adiabaatiliselt. Saab näidata, et sellises atmosfääris on temperatuur lineaarne funktsioon kõrgusest z : $T = T_0 - zg/c_p$, kus $T_0 = 293\text{K}$ on Maa pinnatemperatuur, $c_p = 1,00\text{J g}^{-1} \text{K}^{-1}$ on õhu erisoojus konstantsel rõhul ja $g = 9,81\text{m/s}^2$. Leidke õhu tiheduse ρ sõltuvus kõrgusest, kasutades õhu tihedust ρ_0 maapinnal ($z = 0$), õhu erisoojust konstantsel ruumalal $c_v = 0,718\text{J g}^{-1} \text{K}^{-1}$ ja teisi eespool defineeritud suurusi.

iv) (3 punkti) Eeldades, et koormuseta drooni maksimaalne lennukõrgus z_{max} on piiratud mootori võimsusega, leidke z_{max} , kui on teada, et see võimsus on parasjagu piisav selleks, et droon jõuaks maast üles tõsta koormuse,

mille mass on **50%** tema enda massist. Turbulentsi mõju drooni tõstejõule ei ole vaja arvestada.

5. PUDELI KÕLA (8 punkti) — *Jaan Kalda ja Eero Uustalu. Töövahendid:* tühi 1-liitrine pudel, kindla ruumalaga (nt 100 ml) väike anum (või mõni muu vahend vee ruumala määramiseks), nutitelefon rakendusega “Physics

Toolbox Sensor Suite” või “Physics Toolbox Pro” (palun märkida töölehe peal, millist versiooni kasutasite).

Kui kergelt (või mõõduka tugevusega) puhuda pudelisuule risti pudeli teljega, saab tekitada vilisevat heli. Teie ülesandeks on uurida tekkiva heli sageduse f sõltuvust pudelis oleva vee ruumalast V .

i) (4 punkti) Puhumisel tekkiva heli sagedust saab määrata “Physics Toolbox” rakenduse kas “tone detector” või “spectrum analyzer” vahendiga (rakenduses saab menüü avada üleval vasakul nurgas). Kui suudate saavutada hea ja selgelt eristuva heli, on mõistlik kasutada vahendit “tone detector”; muul juhul kasutage rakendust “spectrum analyzer,” et määrata spektri piigi sagedus. Kandke saa-

dud mõõtmistulemused tabelisse.

ii) (1 punkt) Toetudes kas teoreetilistele teadmistele või andmete analüüsile, pakkuge välja f ja V vaheline funktsionaalne sõltuvus.

iii) (3 punkti) Kontrollige pakutud sõltuvuse korrektsust graafiliselt ja määrake sõltuvuses esinevad parameetrid. Veaanalüüs ei ole vajalik.

