

1. FAZE VODE (6 poena) — *Johan Runeson*. U ovome zadatku ćemo posmatrati fazni dijagram vode (grafici su na odvojenoj stranici). Prva slika prikazuje fazni dijagram u regionu u blizini trojne tačke vode [(s) – čvrsto stanje, (l) – tečno stanje, (g) – gasovito stanje], dok druga slika prikazuje krivulju topljenja leda. Kada su dvije faze α i β u stanju ravnoteže, grafik faznih prijelaza će pratiti Clausius-Clapeyron-ov zakon:

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

Gdje su: H_α i V_α specifična entalpija (entalpija po jedinici mase od alfa faze) i specifična zapremina (zapremina po jedinici mase od alfa faze) respektivno.

i) (1,5 poena) Koristeći da je $V_g \gg V_l$, nađite izraz za krivu p(T) - kriva prijelaza *tečnost-gas*. Svoj odgovor izrazite pomoću slijedećih veličina: latentne toplote isparavanja $\Delta H_{lg} \equiv H_l - H_g$, pritiska p_0 pri bilo kojoj referentnoj tački na grafiku, konstante idealnog gasa R , te molarne mase gasa μ .

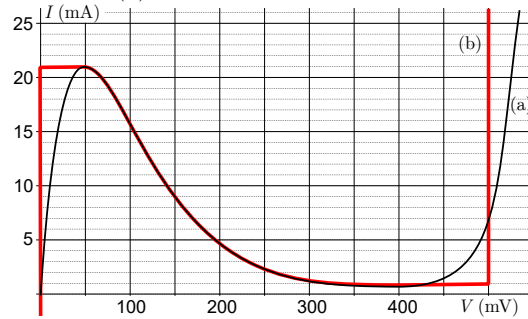
ii) (1,5 poena) Aproksimirajte Zemlju sa zatvorenim sistemom koji se sastoji od homogene atmosfere, koja se sastoji od vazduha i vodene pare u stanju ravnoteže sa okeanom od tečne vode. Za koliko će se procentualno povisiti parcijalni pritisak vodene pare, ako se temperatura atmosfere povisi za 3°C ? (Trenutačna temperatura Zemlje je 15°C). Mogu vam poslužiti vrijednosti $R = 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ i $\mu = 18,015 \text{ g mol}^{-1}$.

iii) (3 poena) Koristeći se razumnim aproksimacijama, izračunajte $V_l - V_s$ (razliku između specifične zapremine vode i leda pri standardnom atmosferskom pritisku).

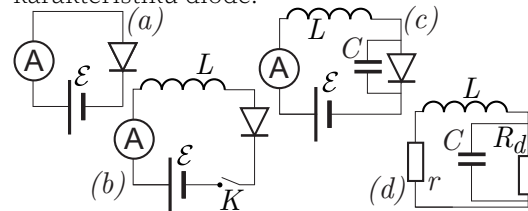
2. TUNEL DIODA (10 poena) — *Jaan Kalda*.

V-I karakteristika tunnel diode prikazana je na slici ispod, kriva (a). U nekim dijelovima

zadatka koristimo idealizovani model karakteristike (b).



i) (1 poen) Kako bismo izmjerili V-I karakteristiku diode, spajamo je serijski sa izvorom promjenjivog napona (vrijednost elektromotorne sile \mathcal{E} može se mijenjati od 0V do 1V), pogledajte kolo (a). Ampermetar ima unutrašnji otpor $r = 2\Omega$; dok je vrijednost primjenjenog napona $\mathcal{E} = 50\text{mV}$. Koliki je napon diode V_i i njena struja I_i ? Koristite stvarnu V-I karakteristiku diode.



ii) (1 poen) Proučimo sada efekat samoindukcije žica. Kako bismo u obzir uzeli takvu indukciju, kolo mora biti modifikovano kao što je prikazano na slici (b); neka je $L = 500\text{nH}$. Prekidač K se drži otvorenim dok se napon ne podesi na vrijednost $\mathcal{E} = 250\text{mV}$, te se zatim zatvori. Koliko vremena je potrebno da struja dostigne vrijednost $I_1 = 20\text{mA}$? Zemarite (osim ako nije naznačeno drugačije) unutrašnji otpor baterije i ampermetra (stavite $r = 0$), i koristite idealizovanu V-I karakteristiku diode.

iii) (1 poen) Koristeći istu postavku iz dijela zadatka ii), odredite koliko vremena će proteći od trenutka zatvaranja prekidača do trenutka kada napon na diodi dostigne vrijednost $V_2 = 500\text{mV}$?

iv) (2 poena) Koristeći istu postavku iz dijela zadatka ii), nacrtajte grafik ovisnosti struje diode od vremena i nađite period i amplitudu oscilacija struje.

v) (2 poena) Za mjerenje V-I karakteristike diode koristi se kolo (b): prilikom određivanja svake tačke na grafiku (data point), napon se podešava na željenu vrijednost dok se prekidač drži otvorenim, te se potom prekidač zatvori. Napominjemo da kada struja na ampermetru osciluje visokom frekvencijom, onda on pokazuje **srednju vrijednost struje**. Nacrtajte očekivani rezultat mjerenja, tj. grafički prikažite ovisnost srednje struje koja protiče kroz ampermetar o naponu $V = \mathcal{E}$.

vi) (1 poen) Do sada smo diodu smatrali idealnim uređajem; u stvarnosti, ona ima mali paraziti kapacitet $C = 30\text{pF}$. Uzimajući u obzir ovu činjenicu, kolo crtamo kao što je prikazano na slici (c). Sada ponovo pretpostavljamo da ampermetar nije idealan i da ima unutrašnji otpor $r = 2\Omega$. Pretpostavimo da se nakon zatvaranja prekidača napon polako povećava od $\mathcal{E} = 0\text{mV}$ do $\mathcal{E} = 150\text{mV}$ tako da se dostiže stacionarni režim rada (nema oscilacija), $V(t) \equiv V_0$ i $I(t) \equiv I_0$. Pretpostavite da imamo malu perturbaciju (poremećaj) struje i napona diode: $I = I_0 + \delta I(t)$ i $V = V_0 + \delta V(t)$, gdje su I_0 i V_0 struja i napon stacionarnog režima rada, respektivno. Za male perturbacije amplituda, V-I karakteristika diode se može linearizovati, što daje $\delta V = R_d \delta I$, gdje je R_d *diferencijalni otpor* diode. Odredite R_d .

vii) (2 poena) Nadovezujući se na prethodni dio zadatka, može se pokazati da je problem stabilnosti kola (c), tj. pitanje da li će mala perturbacija struje $\delta I(t)$ rasti eksponencijalno sa vremenom ili ne, ekvivalentan problemu stabilnosti kola (d) (baterija je odstranjena, a dioda je zamijenjena sa diferencijalnim otpornikom čiji je otpor pronađen u prethodnom dijelu zadatka). Kolika je najveća induktivnost žica L za koju će sistem biti stabilan?

3. KONUSNA SOBA (3 poena) — *Maté Vigh*.

Unutrašnjost modernog muzeja je u obliku uspravnog konusa sa ugaonom širom (uglom otvora) 120° (zidovi su nakošeni za 60° u odnosu na centralnu vertikalnu osu). Minimalna potrebna brzina da bi tačkasto tijelo dostiglo najvišu tačku konusa, ako ga bacimo od centralne tačke poda, je v_0 . Koja je minimalna potrebna brzina da bi tijelo dostiglo omotače kupe, ako ga bacimo iz iste pozicije?

4. DRON (9 poena) — *Lasse Franti i Jaan Kalda*. Dron pomoću užeta vuče kvadar, kao što je prikazano na slici. Kvadar se polako kliže sa konstantnom brzinom po horizontalnoj podlozi. Kvadar je napravljen od homogenog materijala. Dozvoljeno vam je koristiti mjerenja sa skice (koja se nalazi na odvojenoj stranici) pretpostavljajući da su dimenzije na njemu u istoj proporciji kao u stvarnosti (uz neki nepoznati faktor skaliranja). Ukoliko nemate printer, morati ćete uzimati mjerenja direktno sa ekrana. Stoga, na dijagramu su prikazane određene isprekidane linije koje vam mogu, ali ne moraju, biti korisne za uzimanje mjerenja.

i) (2 poena) Pronađite koeficijent dinamičkog trenja između kvadra i poda.

ii) (2 poena) Pronađite masu kvadra ukoliko je masa drona: $m = 1\text{kg}$.

iii) (2 poena) U ovom dijelu zadatka ćemo razmatrati let drona u adijabatskoj atmosferi. U takvoj atmosferi, zapremine vazduha se konstantno kreću gore-dolje i prilikom takvog kretanja se adijabatski suzbijaju i šire. Može se pokazati, da je u adijabatskoj atmosferi, temperatura linearna funkcija visine z : $T = T_0 - zg/c_p$. Gdje su: $T_0 = 293\text{K}$ i $c_p = 1,00\text{J g}^{-1}\text{K}^{-1}$ temperatura u blizini tla i specifična toplota vazduha pri konstantnom pritisku respektivno, a vrijednost gravitacionog ubrzanja je $g = 9,81\text{m/s}^2$. Odredite funkcionalnu ovisnost gustine vazduha ρ od visine. Rezultat izrazite preko: gustine vazduha na

tlu ρ_0 ($z = 0$), specifične toplote vazduha pri konstantnoj zapremini $c_v = 0,718 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$, te ostalih prethodno pomenutih fizičkih veličina.

iv) (3 poena) Pretpostavljajući da je maksimalna visina leta drona koji nema natovarenog tereta z_{\max} ograničena snagom njegovog motora, nađite z_{\max} . Poznato je da je snaga motora taman dovoljna da je dron u stanju sa zemlje podići teret čija je masa jednaka 50% mase samog sebe. U ovom zadatku možete kompletno zanemariti turbulenciju vaz-

dušne struje.

5. FLAŠIN ZVUK (8 poena) — *Jaana Kalda i Eero Uustalu*. *Oprema*: prazna flaša zapremine 1-l, mala (oko 100 ml) posuda poznate zapremine (alternativno može biti nešto drugo za mjerenje zapremine vode), pametni telefon sa aplikacijom “Physics Toolbox Sensor Suite” ili “Physics Toolbox Pro” (naznačite na papiru koju ste aplikaciju koristili).

Ukoliko pušete u blizini vrata flaše, možete generisati oštar ton. Da biste generisali

ton, blag ili srednje jak protok zraka mora proći iznad flaše okomito na njezin vrat. Vaš zadatak je da analizirate ovisnost frekvencije f generisanog zvuka kao funkciju od zapremine vode unutar flaše V .

i) (4 poena) Puhajući u blizini otvora flaše, izmjerite frekvenciju generisanog zvuka koristeći “tone detector” funkciju ili “spectrum analyzer” funkciju od aplikacije “Physics Toolbox” (kada pokrenete aplikaciju, potrebni meni se može naći u gornjem lijevom čošku ekrana). Ako uspijete registrovati vrlo jasan

ton, koristite “tone detector” funkciju. Ako ne, koristite “spectrum analyzer” funkciju da biste odredili frekvenciju maksimuma spektra. Svoja mjerenja unesite u tabelu.

ii) (1 poen) Bilo na teoretskim osnovama ili na razmatranju vaših mjerenja, odredite funkcionalnu ovisnost f od V .

iii) (3 poena) Grafički provjerite tačnost vaše predložene ovisnosti, te odredite relevantne parametre. U ovom zadatku nije potrebno određivati eksperimentalne greške.

