

**1. FAZELE APEI (6 puncte)** — Johan Runeson.

În această problemă se analizează diagrama de faze a apei (graficele necesare sunt date pe o pagină separată).

În prima figură este prezentată diagrama de faze într-o regiune apropiată de punctul triplu [(s) – solid, (l) – lichid, (g) – gaz], în cea de a doua figură este prezentată curba de topire. (Imaginile mărite sunt prezentate pe fila separată.) Când cele două faze  $\alpha$  și  $\beta$  sunt în echilibru, curba tranziției de faze urmează legea Clausius–Clapeyron:

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

unde  $H_\alpha$  este entalpia specifică (entalpia unității de masă) a fazei  $\alpha$ , iar  $V_\alpha$  este volumul specific (volumul unității de masă).

**i)** (1,5 puncte) Dacă se știe că  $V_g \gg V_l$ , determină o expresie curbei de tranziție lichid-gaz  $p(T)$  ca funcție de căldura latentă de evaporare  $\Delta H_{lg} \equiv H_l - H_g$ , de presiunea  $p_0$  în orice punct de referință de-a lungul curbei, de constanta gazelor perfecte  $R$  și de masa molară  $\mu$ .

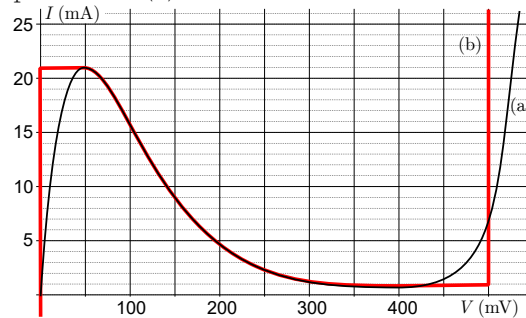
**ii)** (1,5 puncte) Se poate aproxima Pământul ca fiind un sistem alcătuit dintr-o atmosferă omogenă, alcătuită din aer și vapori de apă, în echilibru cu o mare de apă. Dacă temperatura atmosferei crește cu  $3^\circ\text{C}$ , cu ce procent crește presiunea vaporilor de apă? (Temperatura curentă a Pământului este de  $15^\circ\text{C}$ .) În calcule ai putea avea nevoie de valorile  $R = 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$  și  $\mu = 18,015 \text{ g mol}^{-1}$ .

**iii)** (3 puncte) Folosește aproximații rezonabile și calculează  $V_l - V_s$ , diferența de volum specific dintre apă și gheață la presiunea atmosferică.

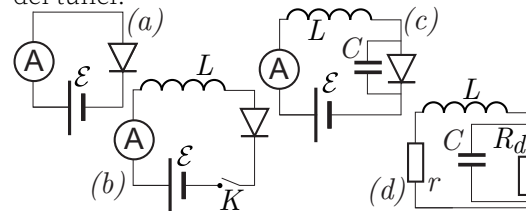
**2. DIODA TUNEL (10 puncte)** — Jaan Kalda.

Caracteristica I-V (curent tensiune) a unei diode tunel este reprezentată în figura de mai jos prin curba (a). În unele dintre părțile

problemei se va folosi un model de curbă caracteristică idealizată reprezentată în figură prin curba (b).



**i)** (1 punct) Pentru a i se determina caracteristica I-V dioda este conectată în serie cu o sursă de putere variabilă (valoarea tensiunii electromotoare a sursei  $\mathcal{E}$  poate fi variată de la  $0\text{V}$  la  $1\text{V}$ ) - vezi circuitul (a). Ampermetrul are rezistența internă  $r = 2\Omega$ ; tensiunea aplicată este  $\mathcal{E} = 50\text{mV}$ . Care este valoarea tensiunii pe diodă  $V_i$  și ce curent  $I_i$  o străbate? Folosește curba caracteristicii V-I reale a diodei tunel.



**ii)** (1 punct) În continuare se va studia efectul inductanței proprii a firelor. Pentru a studia efectul acestei inductanțe este necesară modificarea circuitului în maniera prezentată în figură prin schema (b); valoarea inductanței este  $L = 500\text{nH}$ . Întrerupătorul  $K$  este ținut deschis până când tensiunea este ajustată la valoarea  $\mathcal{E} = 250\text{mV}$  și este apoi închis. Cât va dura ca intensitatea curentului în circuit să atingă valoarea  $I_1 = 20\text{mA}$ ? De aici înainte neglijează (până vei primi alte instrucțiuni) rezistențele interne ale bateriei și ampermetrului (consideră  $r = 0$ ) și folosește curba caracteristicii I-V idealizată a diodei.

**iii)** (1 punct) Dacă se folosesc aceleași setări

ca și în sarcina de lucru ii), determină intervalul de timp dintre momentul în care se închide circuitul și momentul în care tensiunea pe diodă atinge valoarea  $V_2 = 500\text{mV}$ ?

**iv)** (2 puncte) Folosind aceleași setări ca în sarcina de lucru ii), trasează graficul intensității curentului prin diodă ca funcție de timp și determină perioada și amplitudinea oscilațiilor curentului.

**v)** (2 puncte) Circuitul (b) este folosit pentru a măsura curba caracteristicii I-V a diodei: pentru fiecare punct experimental tensiunea este reglată la valoarea dorită, ținând comutatorul deschis și numai apoi se închide circuitul. Trebuie avut în vedere că atunci când curentul prin ampermetru oscilează cu frecvență mare, ceea ce instrumentul va indica va fi **curentul mediu**. Trasează graficul rezultatelor așteptate, adică intensitatea medie a curentului prin ampermetru ca funcție de tensiunea aplicată  $V = \mathcal{E}$ .

**vi)** (1 punct) Până acum s-a presupus că dioda este un dispozitiv ideal; în realitate dioda are o capacitate parazită mică cu valoarea  $C = 30\text{pF}$ . Dacă se ține seama de acest fapt, circuitul studiat trebuie reprezentat ca în schema (c) din figură. De asemenea se va avea în vedere că ampermetrul nu este nici el ideal și are rezistența internă  $r = 2\Omega$ . Să presupunem că după închiderea circuitului tensiunea este crescută lent de la valoarea  $\mathcal{E} = 0\text{mV}$  la valoarea  $\mathcal{E} = 150\text{mV}$ , astfel încât dioda să se afle într-un zonă de regim staționar (fără oscilații) și atinge starea în care  $V(t) \equiv V_0$  și  $I(t) \equiv I_0$ . Presupune că apare o mică perturbație a curentului prin diodă și a tensiunii:  $I = I_0 + \delta I(t)$  și  $V = V_0 + \delta V(t)$ , unde  $I_0$  și  $V_0$  sunt curentul și tensiunea în regimul de operare staționar. Pentru mici perturbații ale amplitudinii, caracteristica I-V a diodei poate fi liniarizată sub forma  $\delta V = R_d \delta I$ , unde  $R_d$  este *rezistența diferențială* a diodei. Determină valoarea pentru  $R_d$ .

**vii)** (2 puncte) Continuând cu sarcina de lucru

precedentă, se poate arăta că problema stabilității circuitului (c), adică întrebarea dacă micile perturbații ale curentului  $\delta I(t)$  cresc sau nu exponențial în timp, este echivalentă cu problema stabilității pentru circuitul (d) (bateria este îndepărtată și dioda este înlocuită cu rezistența sa diferențială determinată în sarcina de lucru anterioară). Determină care este cea mai mare inductanță a firelor  $L$  pentru care sistemul este stabil.

**3. CAMERA CONICĂ (3 puncte)** — Maté Vigh.

Interiorul unui muzeu modern este un con drept perfect cu semi-unghiul la vârf de  $60^\circ$  (adică pereții sunt înclinați la  $60^\circ$  față de verticală). Atunci când este lansat din centrul bazei, viteza minimă a unui proiectil care atinge apexul camerei (adică punctul cel mai înalt al peretelui) este  $v_0$ . Care este viteza minimă necesară pentru ca proiectilul să atingă perețele conului?

**4. DRONA (9 puncte)** — Lasse Franti si Jaan Kalda.

O dronă folosește o frânghie pentru a tracta un cuboid, un obiect aproximativ cubic – așa cum se arată în desen; cuboidul alunecă lin, cu viteză constantă, pe planul orizontal. Cuboidul este confecționat dintr-un material omogen. Poți să faci măsurări pe schiță (prezentată pe o pagină separată) presupunând că dimensiunile și distanțele pe această schiță sunt corecte până la un factor de scală necunoscut. Pentru a te ajuta în cazul în care nu ai acces la o imprimantă și trebuie să citești textul problemei direct de pe ecran, pe schiță s-au trasat câteva linii punctate (liniile pot fi utile – sau nu).

**i)** (2 puncte) Determină coeficientul de frecare dintre cuboid și planul orizontal.

**ii)** (2 puncte) Determină masa cuboidului dacă masa dronei este  $m = 1\text{kg}$ .

**iii)** (2 puncte) În continuare se va studia zborul unei drone într-o atmosferă adiabatică. În atmosfera adiabatică parcelele de aer se deplasează continuu în sus și în jos și astfel se dilată sau se contractă adiabatic. Se

poate arăta că în atmosfera adiabatică temperatura este funcție liniară de înălțimea  $z$ :  $T = T_0 - zg/c_p$ , unde  $T_0 = 293\text{K}$  este temperatura la sol,  $c_p = 1,00\text{Jg}^{-1}\text{K}^{-1}$  căldura specifică a aerului la presiune constantă și  $g = 9,81\text{m/s}^2$ . Determină dependența densității aerului  $\rho$  ca funcție de înălțime folosind densitatea  $\rho_0$  la nivelul solului ( $z = 0$ ), căldura specifică izocoră a aerului  $c_v = 0,718\text{Jg}^{-1}\text{K}^{-1}$  și alte cantități definite anterior.

**iv)** (3 puncte) Presupunând că înălțimea maximă de zbor  $z_{\max}$  a unei drone fără sarcină este limitată de puterea motorului său, determină  $z_{\max}$  dacă se cunoaște că puterea moto-

rului său este exact atâta cât să asigure ridicarea de la sol a unei sarcini egale cu 50% din masa proprie a dronei. Se poate neglija efectul turbulențelor atmosferice asupra tracțiunii dronei.

**5. SUNETUL UNEI STICLE (8 puncte)** — *Jaan Kalda și Eero Uustalu. Inventarul lucrurilor necesare*: o sticlă de un litru goală, o cană mică de volum cunoscut (aproximativ 100 ml) (sau alt vas care poate servi la măsurarea volumelor de apă), un smartphone având instalată aplicația “Physics Toolbox Sensor Suite” sau “Physics Toolbox Pro” (trebuie să scrii pe pagina pe care dai răspunsurile ce versiune ai

folosit).

Dacă se suflă în apropierea gurii sticlei se poate genera un sunet asemănător unui fluierat; pentru apariția fluierăturii trebuie suflat ușor (până la moderat de puternic) peste gura sticlei, perpendicular pe axul sticlei. Sarcina care trebuie îndeplinită este studierea dependenței frecvenței  $f$  a sunetului generat de volumul  $V$  ocupat de apă în sticlă.

**i)** (4 puncte) În timp ce suflă în apropierea gurii sticlei, măsoară frecvența sunetului folosind fie “tone detector” fie “spectrum analyzer” din “Physics Toolbox” (odată lansată aplicația, meniul poate fi tras din colțul din

stânga sus al ecranului). Dacă reușești să obții un sunet distinct, clar, folosește “tone detector”; dacă nu, folosește “spectrum analyzer” pentru a determina frecvența corespunzătoare maximului din spectrul observat. Tabelează datele măsurate.

**ii)** (1 punct) Bazându-te fie pe considerente teoretice fie pe analiza datelor măsurate propune o dependență funcțională a frecvenței  $f$  de volumul  $V$ .

**iii)** (3 puncte) Testează prin trasarea unui grafic validitatea dependenței pe care o sugerezi și determină parametrii acesteia. Nu este necesară o analiză de erori.

