1. VATTNETS FASER (6 poäng) — *Johan Runeson*. I den här uppgiften kommer du undersöka vattnets fasdiagram (se grafer på ett separat blad). Den första figuren visar fasdiagrammet nära trippelpunkten [(s) – fast, (l) – flytande, (g) – gas] och den andra figuren visar smältkurvan. Givet är att när två faser α och β är i jämvikt så uppfyller fasövergångskurvan Clausius–Clapeyrons lag:

$$\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}T} = \frac{1}{T}\frac{H_\beta - H_\alpha}{V_\beta - V_\alpha},$$

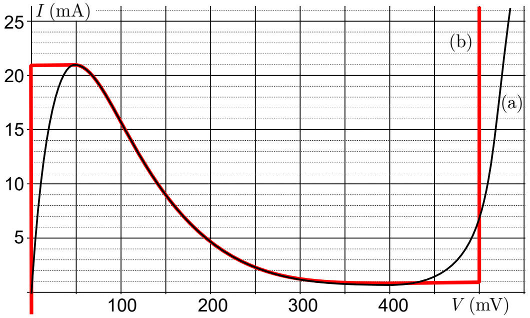
där H_α betecknar den specifika entalpin (entalpi per massa) hos fasen α och V_α betecknar dess specifika volym (volym per massa).

i) *(1,5 poäng)* Använd att $V_g \gg V_l$ och ta fram ett uttryck för fasövergångskurvan $p(T)$ mellan faserna *flytande och gas* uttryckt i ångbildningsvärmet $\Delta H_{lg} \equiv H_l - H_g$, trycket p_0 vid en godtycklig referenspunkt längs kurvan, gaskonstanten R och molmassan μ.

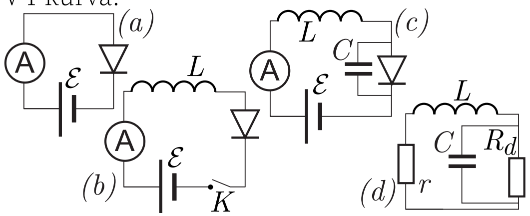
ii) *(1,5 poäng)* Antag att jorden består av en homogen atmosfär (som utgörs av luft och vattenånga) i jämvikt med ett hav av flytande vatten. Om atmosfärens temperatur ökar med $3\,^\circ\mathrm{C}$, med hur många procent ökar då vattnets ångtryck? (Jordens nuvarande temperatur är $15\,^\circ\mathrm{C}$.) Du kan behöva använda värdena $R = 8{,}314\,\mathrm{J\,mol^{-1}\,K^{-1}}$ och $\mu = 18{,}015\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$.

iii) *(3 poäng)* Gör rimliga approximationer och beräkna $V_l - V_s$, skillnaden i specifik volym mellan flytande vatten och is, vid atmosfärstryck.

2. TUNNELDIOD (10 poäng) — *Jaan Kalda*. I figuren nedan visas en tunneldiods V-I-kurva, kurva (a). I några deluppgifter kommer vi använda en idealiserad modell som beskrivs av kurva (b).



i) *(1 poäng)* För att kunna mäta diodens V-I-kurva kopplas den i serie med en variabel spänningskälla (vars elekromotoriska spänning $\mathcal{E}$ kan ställas in mellan $0\,\mathrm{V}$ och $1\,\mathrm{V}$), se krets (a). Amperemetern har den inre resistansen $r = 2\,\Omega$ och den inställda spänningen är $\mathcal{E} = 50\,\mathrm{mV}$. Vad är diodspänningen V_i och strömmen I_i? Använd diodens verkliga V-I-kurva.



ii) *(1 poäng)* Låt oss nu ta hänsyn till sladdarnas självinduktans. För att göra detta ändras kopplingsdiagrammet till krets (b), där $L = 500\,\mathrm{nH}$. Strömbrytaren hålls öppen tills spänningen är inställd på $\mathcal{E} = 250\,\mathrm{mV}$, och sluts sedan. Hur lång tid tar det innan strömmen når värdet $I_1 = 20\,\mathrm{mA}$? Försumma i fortsättningen (tills dess annat anges) den inre resistansen hos batteriet och amperemetern (sätt $r = 0$) och använd diodens idealiserade V-I-kurva.

iii) *(1 poäng)* Med samma inställningar som i uppgift ii), hur lång tid tar det från att kretsen sluts tills diodspänningen når värdet $V_2 = 500\,\mathrm{mV}$?

iv) *(2 poäng)* Med samma inställningar som i uppgift ii), plotta diodströmmen som funktion av tiden och beräkna strömsvängningarnas periodtid och amplitud.

v) *(2 poäng)* Krets (b) används för att mäta diodens V-I-kurva: för varje datapunkt ställs spänningen in vid önskat värde medan strömbrytaren är öppen, och sedan sluts strömbrytaren. Observera att när strömmen genom amperemetern svänger med en hög frekvens så visar den **strömmens medelvärde**. Plotta de förväntade mätresultaten, dvs. medelvärdet av strömmen genom amperementern som funktion av den pålagda spänningen $V = \mathcal{E}$.

vi) *(1 poäng)* Än så länge har vi behandlat dioden som en ideal komponent, men i verkligheten har den en liten parasitisk kapacitans $C = 30\,\mathrm{pF}$. När vi tar hänsyn till detta ser kopplingsdiagrammet ut som i krets (c). Antag igen att amperemetern har den inre resistansen $r = 2\,\Omega$. Efter att strömbrytaren slutits så har spänningen långsamt skruvats upp från $\mathcal{E} = 0\,\mathrm{mV}$ till $\mathcal{E} = 150\,\mathrm{mV}$ så att ett stationärt (svängningsfritt) driftsläge $V(t) \equiv V_0$ och $I(t) \equiv I_0$ har uppnåtts. Antag att det finns en liten störning i diodens ström och spänning: $I = I_0 + \delta I(t)$ och $V = V_0 + \delta V(t)$, där I_0 och V_0 är strömmen och spänningen i det stationära driftsläget. För små störningsamplituder kan diodens V-I-kurva linjäriseras, vilket ger $\delta V = R_d \delta I$ där R_d är diodens *differentiella resistans*. Bestäm värdet på R_d.

vii) *(2 poäng)* Som fortsättning på föregående uppgift kan man visa att stabilitetsproblemet för kretsen (c), dvs. frågan om ifall små strömstörningar $\delta I(t)$ växer exponentiellt med tiden eller inte, är ekvivalent med stabilitetsproblemet för kretsen (d) (där batteriet tagits bort och dioden ersatts med dess differentiella resistans från från föregående uppgift). Vad är det största värdet på induktansen L för vilket systemet är stabilt?

3. KONISKT RUM (3 poäng) — *Maté Vigh*. Insidan av ett modernt museum utgör en perfekt rak kon med halv toppvinkel 60° (dvs. väggarna lutar med vinkeln 60° relativt vertikalaxeln). En projektil skjuts iväg från mitten av konens bas. Dess lägsta fart som krävs för att träffa konens topp (dvs. den högsta punkten i rummet) betecknas v_0. Vilken är den lägsta fart som krävs för att träffa konens vägg?

4. DRÖNARE (9 poäng) — *Lasse Franti och Jaan Kalda*. En drönare drar ett rätblock med ett rep enligt ritningen; rätblocket glider långsamt, med konstant fart, på ett horisontellt golv. Rätblocket är gjort av ett homogent material. Du får lov att göra mätningar från ritningen (på ett separat blad) och kan anta att alla mått och avstånd är skalenliga upp till en okänd skalfaktor. För att hjälpa er som inte har tillgång till en skrivare, och behöver läsa problemtexten från er datorskärm, så har några streckade stödlinjer lagts till i ritningen (som kanske eller kanske inte kan vara användbara).

i) *(2 poäng)* Bestäm friktionskoefficienten mellan rätblocket och golvet.

ii) *(2 poäng)* Bestäm rätblockets massa givet att drönarens massa är $m = 1\,\mathrm{kg}$.

iii) *(2 poäng)* Snart ska vi studera hur en drönare flyger i en adiabatisk atmosfär. I en adiabatisk atmosfär så rör sig luftpaket kontinuerligt upp eller ner, och expanderar eller konstraherar då adiabatiskt. Man kan visa att i en adiabatisk atmosfär är temperaturen en linjär funktion av höjden z: $T = T_0 - zg/c_p$, där $T_0 = 293\,\mathrm{K}$ är temperaturen vid marken, $c_p = 1{,}00\,\mathrm{J\,g^{-1}\,K^{-1}}$ luftens specifika värmekapacitet vid konstant tryck och $g = 9{,}81\,\mathrm{m/s^2}$. Bestäm luftens densitet ρ som funktion av höjden givet densiteten ρ_0 vid marknivån ($z = 0$), luftens specifika värmekapacitet vid konstant volym $c_v = 0{,}718\,\mathrm{J\,g^{-1}\,K^{-1}}$ och andra tidigare definierade storheter.

iv) *(3 poäng)* Antag att drönarens maximala flyghöjd $z_{\max}$ utan last begränsas av motorns effekt. Bestäm $z_{\max}$ givet att motorns effekt nätt och jämnt räcker för att lyfta en last med $50\,\%$ av drönarens massa från marken. Du får lov att försumma effekterna från turbulens på drönarens lyftkraft.

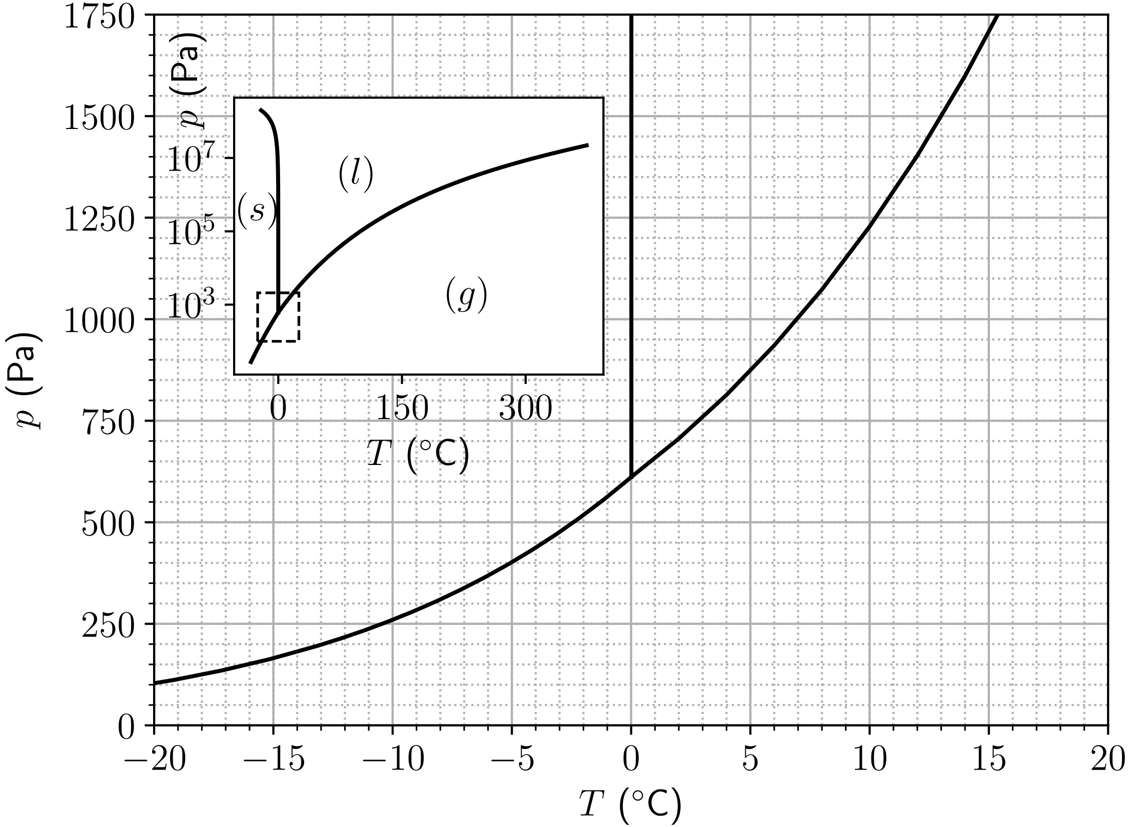
5. Flaskljud (8 poäng) — *Jaan Kalda och Eero Uustalu*. *Utrustning:* En tom 1-litersflaska, ett litet mått (ca 100 ml) med känd volym (eller ett annat verktyg för att mäta vattenvolymer), en smartphone som har "Physics Toolbox Sensor Suite" eller "Physics Toolbox Pro" installerat (skriv upp vilken version du använde i din lösning).

Om du blåser nära flaskans öppning kan ett visslande ljud skapas: ett försiktigt (till relativt kraftigt) luftflöde måste passera flaskans öppning vinkelrätt mot flaskans axel. Din uppgift är att studera hur frekvensen f hos det skapade ljudet beror på volymen V vatten i flaskan.

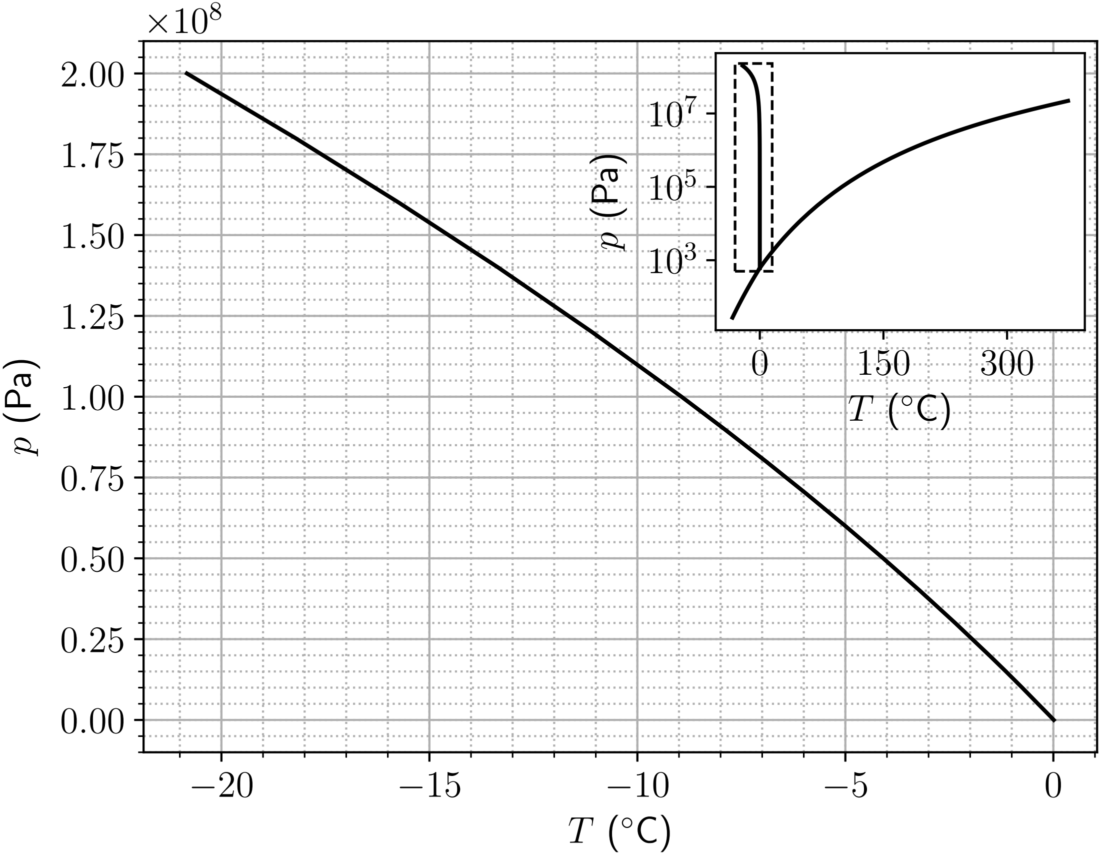
i) *(4 poäng)* Samtidigt som du blåser vid flaskans öppning, mät ljudets frekvens genom att använda antingen "tone detector" eller "spectrum analyzer" i "Physics Toolbox" (när appen är igång kan menyn nås i det övre vänstra hörnet av skärmen). Om du lyckas få fram ett klart och tydligt ljud, använd "tone detector"; använd annars "spectrum analyzer" för att bestämma spektruments toppfrekvens. Gör en tabell med dina mätdata.

ii) *(1 poäng)* Föreslå en funktion, baserat antingen på ett teoretiskt resonemang eller dina mätdata, som beskriver hur f beror på V.

iii) *(3 poäng)* Kontrollera giltigheten för ditt förslag av beroendet grafiskt och bestäm de inblandade parametrarna. Felanalys erfordras ej.



1750
1500
1250
1000
750
500
250
0
−20
−15
−10
−5
0
5
10
15
20
T (°C)
p (Pa)
10^7
10^5
10^3
0
150
300
T (°C)
p (Pa)
(s)
(l)
(g)



×10^8
2.00
1.75
1.50
1.25
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
p (Pa)
−20
−15
−10
−5
0
T (°C)
10^7
10^5
10^3
p (Pa)
0
150
300
T (°C)