

1. PHASEN VON WASSER (6 Punkte) — *Johan Runeson*. In dieser Aufgabe betrachten wir das Phasendiagramm von Wasser (siehe Diagramme auf einer separaten Seite).

Die erste Abbildung zeigt das Phasendiagramm in der Nähe des Tripelpunkts ((s) - fest, (l) - flüssig, (g) - gasförmig). Die zweite Abbildung zeigt die Schmelzkurve. Die Diagramme sind jeweils auch vergrößert dargestellt. Wenn zwei Phasen α und β im Gleichgewicht sind, folgt die Phasenübergangskurve dem Gesetz von Clausius–Clapeyron:

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

wobei H_α die spezifische Enthalpie (Enthalpie pro Masse) von Phase α und V_α das spezifische Volumen (Volumen pro Masse) bezeichnet.

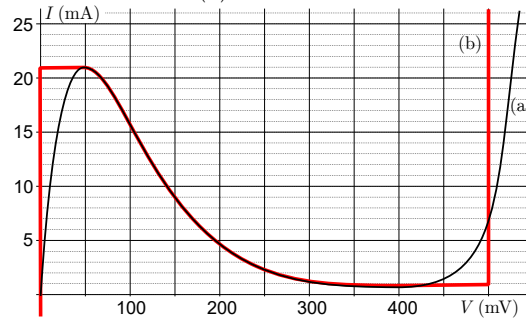
i) (1.5 Punkte) Verwende $V_g \gg V_l$, um einen Ausdruck für die Phasenübergangskurve $p(T)$ von flüssig zu gasförmig zu finden. Der Ausdruck soll abhängig sein von der latenten Wärme $\Delta H_{lg} \equiv H_l - H_g$, dem Druck p_0 an einem Referenzpunkt entlang der Kurve, der Gaskonstante R und der molaren Masse μ .

ii) (1.5 Punkte) Approximiere die Erde als ein System mit homogener Atmosphäre, bestehend aus Luft und Wasserdampf, im Gleichgewicht mit einem Meer von flüssigem Wasser. Wenn die Temperatur der Atmosphäre um 3°C ansteigt, um wieviel Prozent steigt dann der Wasserdampfdruck? (Die derzeitige Temperatur der Erde beträgt 15°C .) Vielleicht benötigst du die Werte $R = 8.314\text{J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ und $\mu = 18.015\text{g mol}^{-1}$.

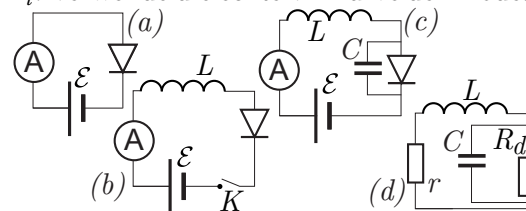
iii) (3 Punkte) Verwende sinnvolle Approximationen und berechne $V_l - V_s$, die Differenz des spezifischen Volumens zwischen flüssigem Wasser und Eis bei Atmosphärendruck.

2. TUNNELDIODE (10 Punkte) — *Jaan Kalda*.

Die V-I-Kurve (Spannungs-Strom-Kurve) einer Tunneldiode ist in der folgenden Abbildung dargestellt, Kurve (a). In einigen Aufgabenteilen verwenden wir die idealisierte Modellkurve (b).



i) (1 Punkt) Um die V-I-Kurve der Diode zu messen, ist die Diode in Serie mit einer verstellbaren Spannungsquelle verbunden (die Spannung \mathcal{E} kann von 0V bis 1V eingestellt werden), siehe Stromkreis (a). Das Amperemeter hat Innenwiderstand $r = 2\Omega$; die angelegte Spannung beträgt $\mathcal{E} = 50\text{mV}$. Was ist die Spannung V_i über der Diode und der Strom I_i ? Verwende die echte V-I-Kurve der Diode.



ii) (1 Punkt) Jetzt möchten wir den Effekt der Selbstinduktivität der Kabel untersuchen. Um eine solche Induktivität zu berücksichtigen, muss der Stromkreis wie in Skizze (b) angepasst werden; sei $L = 500\text{nH}$. Der Schalter K ist offen bis die Spannung auf $\mathcal{E} = 250\text{mV}$ eingestellt ist und wird darauf geschlossen. Wie lange dauert es bis der Strom den Wert $I_1 = 20\text{mA}$ erreicht? Vernachlässige fortan (ausser anders angegeben) den Innenwiderstand der Batterie und des Amperemeters (setze $r = 0$) und verwende die idealisierte V-I-Kurve der Diode.

iii) (1 Punkt) Der Aufbau ist gleich wie in Teil ii). Wie lange dauert es ab dem Schliessen des Schalters bis die Spannung über der Diode den Wert $V_2 = 500\text{mV}$ erreicht?

iv) (2 Punkte) Der Aufbau ist gleich wie in Teil ii). Zeichne den Strom durch die Diode als Funktion der Zeit und finde Periode und Amplitude der Stromschwingungen.

v) (2 Punkte) Stromkreis (b) wird nun verwendet, um die V-I-Kurve der Diode zu messen. Für jeden Datenpunkt wird die Spannung auf den gewünschten Wert eingestellt während der Schalter offen ist. Dann wird der Schalter geschlossen. Wenn der Strom im Amperemeter mit hoher Frequenz oszilliert, wird die **mittlere Stromstärke** angezeigt. Zeichne die erwarteten Messergebnisse, also den mittleren Strom durch das Amperemeter als Funktion der angelegten Spannung $V = \mathcal{E}$.

vi) (1 Punkt) Bisher haben wir angenommen, dass die Diode perfekt ist; in der Realität hat die Diode eine kleine unerwünschte Kapazität $C = 30\text{pF}$. Wenn wir das berücksichtigen, sieht unser Stromkreis wie in Skizze (c) aus. Wir nehmen wieder an, dass das Amperemeter Innenwiderstand $r = 2\Omega$ hat. Nach dem Schliessen des Schalters wurde die Spannung langsam von $\mathcal{E} = 0\text{mV}$ auf $\mathcal{E} = 150\text{mV}$ erhöht, so dass ein stationärer (schwingungsfreier) Bereich $V(t) \equiv V_0$ and $I(t) \equiv I_0$ erreicht wurde. Nimm an, dass der Strom und die Spannung über der Diode leicht gestört werden: $I = I_0 + \delta I(t)$ und $V = V_0 + \delta V(t)$, wobei I_0 and V_0 die in Teil i) gefundenen Werte sind. Für kleine Störungen kann die V-I-Kurve der Diode linearisiert werden, was zu $\delta V = R_d \delta I$ führt, wobei R_d der *differentielle Widerstand* der Diode ist. Bestimme den Wert von R_d .

vii) (2 Punkte) An die vorherige Frage anknüpfend kann man zeigen, dass die Frage der Stabilität für den Stromkreis (c), also ob kleine Störungen $\delta I(t)$ exponentiell wachsen oder nicht, äquivalent ist zur Frage der Stabilität von Stromkreis (d) (die Batterie wurde

entfernt und die Diode wird durch ihren differentiellen Widerstand ersetzt). Was ist die grösste Induktivität L der Kabel, sodass das System stabil ist?

3. KEGELFÖRMIGER RAUM (3 Punkte) — *Matěj Vigh*.

Das Innere eines modernen Museums ist ein perfekter, gerader Kreiskegel mit halbem Öffnungswinkel 60° (d.h. die Wände sind 60° gegenüber der Vertikalen geneigt). Von der Mitte des Bodens aus benötigt ein Geschoss mindestens Geschwindigkeit v_0 , um die Spitze (d.h. den höchsten Punkt der Wände) zu erreichen. Was ist die benötigte Mindestgeschwindigkeit, um die Wand des Kegels zu erreichen?

4. DROHNE (9 Punkte) — *Lasse Franti und Jaan Kalda*. Eine Drohne zieht einen Quader mit einem Seil, wie in der Skizze (auf einer separaten Seite) dargestellt. Der Quader rutscht langsam mit konstanter Geschwindigkeit über den horizontalen Boden. Der Quader besteht aus einem homogenen Material. Du wirst Messungen an der Skizze vornehmen müssen. Die Grössen und Distanzen sind bis auf einen unbekanntem Skalierungsfaktor korrekt dargestellt. Falls du die Aufgaben am Bildschirm liest: es sind einige Hilfslinien eingezeichnet (die nützlich oder unnötig sein können).

i) (2 Punkte) Bestimme den Reibungskoeffizient zwischen dem Quader und dem Boden.

ii) (2 Punkte) Bestimme die Masse des Quaders, wenn die Masse der Drohne $m = 1\text{kg}$ ist.

iii) (2 Punkte) Als nächstes untersuchen wir den Flug einer Drohne in adiabatischer Atmosphäre. In adiabatischer Atmosphäre bewegen sich Luftpakete stetig hoch oder runter und expandieren oder komprimieren dabei adiabatisch. Es kann gezeigt werden, dass in adiabatischer Atmosphäre die Temperatur linear von der Höhe z abhängt: $T = T_0 - zg/c_p$, wobei $c_p = 1.00\text{J/g}$ die spezifische Wärmekapazität von Luft bei konstan-

tem Druck bezeichnet und $g = 9.81 \text{ m/s}^2$. Bestimme die Luftdichte ρ als Funktion der Höhe, der Dichte ρ_0 auf Bodenhöhe ($z = 0$), der spezifischen Wärme von Luft bei konstantem Volumen $c_v = 0.718 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$ und weiteren zuvor definierten Grössen.

iv) (3 Punkte) Nimm an, dass die maximale Flughöhe z_{max} einer Drohne durch die Leistung ihres Motors begrenzt ist. Bestimme z_{max} für eine Drohne, deren Motorenleistung gerade ausreichen würde, eine zusätzliche Last von **50%** der Masse der Drohne anzuheben. Du kannst den Einfluss von Turbulenz

auf die Schubkraft der Drohne vernachlässigen.

5. FLASCHENKLANG (8 Punkte) — *Jaan Kalda und Eero Uustalu. Material:* eine leere 1-Literflasche, eine kleine Tasse (etwa 100 ml) mit bekanntem Volumen (oder etwas anderes, womit du Wasservolumen bestimmen kannst), ein Smartphone mit installiertem “Physics Toolbox Sensor Suite” oder “Physics Toolbox Pro” (schreib auf, welche Version du benutzt hast).

Wenn du über die Flaschenöffnung bläst,

kannst du einen Pfeifton erzeugen: ein sanfter (bis mässig starker) Luftstrom muss die Flaschenöffnung senkrecht zur Flaschenachse passieren. Die Aufgabe ist, die Abhängigkeit der Frequenz f des erzeugten Tons als Funktion des Wasservolumens V in der Flasche zu bestimmen.

i) (4 Punkte) Miss die Tonfrequenz mit dem “tone detector” oder “spectrum analyzer” der “Physics Toolbox” (sobald die App gestartet ist, findest du das Menu oben links in der Ecke), während du über die Flaschenöffnung bläst. Falls du einen schönen Klang hin-

bekommst, verwende den “tone detector”; sonst den “spectrum analyzer” um die Frequenz der Spitze des Spektrums zu bestimmen. Tabelliere deine Messdaten.

ii) (1 Punkt) Schlage eine Funktion vor, basierend auf entweder theoretischen Überlegungen oder deinen Messdaten, welche f abhängig von V beschreibt.

iii) (3 Punkte) Überprüfe die Korrektheit deines Vorschlags für die Abhängigkeit graphisch und bestimme die Parameter. Es wird keine Fehlerrechnung verlangt.

