أولمبياد شمال البلطيق للفيزياء 2020

1. حالة الماء (6 نقاط) — Johan Runeson.
سنستكشف في هذا السؤال مخطط الحالة (الطور) للماء (راجع الأشكال البيانية في صفحة منفصلة).

الشكل الأول يوضح مخطط الحالة في المنطقة المجاورة للنقطة الثلاثية (s– صلب، l– سائل، g– غاز). بينما يظهر الشكل الثاني منحنى الانصهار (الصور المكبرة على صفحة منفصلة). عندما تكون حالتان α و β في اتزان، منحنى تحول الحالة يتبع قانون كلاوسيوس- كلابيرون:

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

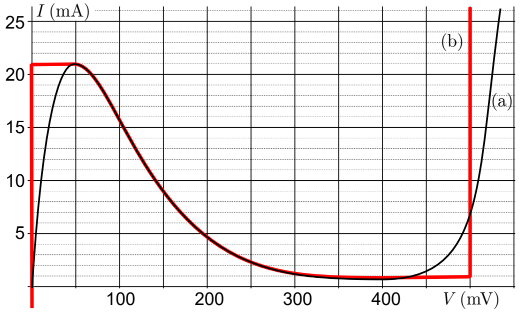
بحيث أن H_α هي الإنثالبي النوعية (الإنثالبي لوحدة الكتل) للحالة α، و V_α هو الحجم النوعي (الحجم لوحدة الكتل).

i) (1.5 نقطة) باستخدام $V_g \gg V_l$، أوجد تعبيرا لمنحنى تحول السائل-غاز $p(T)$ بدلالة حرارة التبخر الكامنة $\Delta H_{lg}\equiv H_l-H_g$، الضغط p_0 عند أي نقطة مرجعية على المنحنى، ثابت الغازات R والكتلة المولية μ.

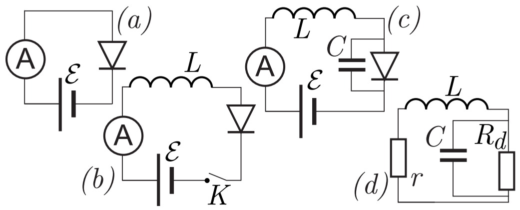
ii) (1.5 نقطة) قَرِّب الأرض كنظام له غلاف جوي متجانس يتكون من الهواء وبخار الماء، في اتزان مع بحر من الماء السائل. لو ارتفعت درجة حرارة الغلاف الجوي بمقدار$3°C$، فما نسبة ارتفاع ضغط بخار الماء؟ (درجة حرارة الأرض الحالية $15°C$). قد تحتاج القيم $R=8.314\mathrm{J\ mol^{-1}K^{-1}}$ و $\mu=18.015\mathrm{g\ mol^{-1}}$.

iii) (3 نقاط) استخدم تقريبات منطقية واحسب الفرق في الحجم النوعي بين الماء السائل والثلج، V_l-V_s، عند الضغط الجوي.

2. الدايود النفقي (10 نقاط) — Jaan Kalda
منحنى $V-I$ لدايود نفقي مبين في الشكل المجاور بمنحنى (a). سنستخدم النموذج المثالي، منحنى (b)، في بعض أجزاء المسألة.



i) (1 نقطة) من أجل أن نقيس منحنى $V-I$ للدايود، تم توصيله على التوالي مع مصدر طاقة قابلة للتغيير (قيمة القوة الدافعة الكهربائية $\mathscr{E}$ يمكن تعديلها من $0\mathrm{V}$ إلى $1\mathrm{V}$)، أنظر لدائرة (a). الأميتر له مقاومة داخلية $r=2\Omega$، الجهد المطبق هو $\mathscr{E}=50\mathrm{mV}$. ماهو جهد الدايود V_i والتيار I_i؟ استخدم منحنى $V-I$ الحقيقي للدايود.



ii) (1 نقطة) لندرس تأثير الحث الذاتي للأسلاك، وحتى نفعل هذا، الدائرة يجب أن تُعدَّل كما هو موضح في الدائرة (b)؛ لتكن $L=500\mathrm{nH}$. المفتاح الكهربائي K تُرِك مفتوحا حتى عُدِّل الجهد المطبق إلى $\mathscr{E}=250\mathrm{mV}$، ثم أُغْلق بعدها. كم الوقت اللازم حتى يصل التيار إلى $I_1=20\mathrm{mA}$؟ أهمل من الآن فصاعدا (حتى يقال لك غيره) المقاومتين الداخليتين للبطارية والأميتر ($r=0$)، واستخدم منحنى $V-I$ المثالي للدايود.

iii) (1 نقطة) على نفس وضع فقرة (ii)، كم الوقت الذي سيمضي من بعد إغلاق المفتاح حتى يصل جهد الدايود $V_2=500\mathrm{mV}$؟

iv) (2 نقطة) على نفس وضع فقرة (ii)، ارسم تيار الدايود كدالة في الزمن وأوجد الزمن الدوري وسعة اهتزازات التيار.

v) (2 نقطة) سَتُسْتَخْدَم الدائرة (b) لقياس منحنى $V-I$ للدايود: لكل نقطة بيانية، أثناء كون المفتاح الكهربائي مفتوحا، سَيُعَدَّل الجهد المطبق للقيمة المرغوبة، ثم يُغلق المفتاح. لاحظ أنه عندما تتذبذب قيمة التيار المار خلال الأميتر بتردد عالٍ، فإن الأميتر يقرأ **متوسط التيار**. ارسم النتائج المتوقعة للقياسات، أي متوسط التيار المار خلال الأميتر كدالة في الجهد المطبق $V=\mathscr{E}$.

vi) (1 نقطة) افترضنا حتى الآن أن الدايود جهاز عديم العيوب، لكنه في الحقيقة لديه سعة مكثف صغيرة، لتكن $C=30\mathrm{pF}$. بأخذ هذا بعين الاعتبار، يمكن رسم الدائرة كما هو موضح في (c). لنفترض مجددا أن الأميتر غير مثالي بمقاومة داخلية $r=2\Omega$. ولنفترض أنه بعد إغلاق المفتاح الكهربائي، تم رفع الجهد المُطَبق ببطء من $\mathscr{E}=0\mathrm{mV}$ إلى $\mathscr{E}=150\mathrm{mV}$ بحيث أننا نصل إلى حالة ثابتة (عديمة الاهتزازات) بـ $V(t)\equiv V_0$ و $I(t)\equiv I_0$. افترض أن اضطرابا صغيرا حصل لتيار وفرق جهد الدايود:$I=I_0+\delta I(t)$ و $V=V_0+\delta V(t)$، حيث أن V_0 و I_0 هي القيم التي كنا سنحصل عليها في فقرة (i) لو كانت $\mathscr{E}=150\mathrm{mV}$. لاضطرابات صغيرة، منحنى $V-I$ يمكن تقريبه كخط، مما ينتج عنه $\delta V=R_d\delta I$، حيث أن R_d هي المقاومة التفاضلية للدايود. أوجد R_d.

vii) (2 نقطة) إكمالا على الفقرة الماضية، من الممكن برهنة أن مسألة استقرار الدائرة (c)، هل سينمو اضطراب التيار الصغير $\delta I(t)$ بشكل أسي أو لا، مكافئة لمسألة استقرار الدائرة (d) (حذفت البطارية، واستبدل الدايود بمقاومته التفاضلية من الفقرة الماضية). ما هو أكبر معامل حث L للأسلاك بحيث يظل النظام مستقرا؟

3. الغرفة المخروطية (3 نقاط) — Maté Vigh
المنطقة الداخلية لمتحف حديث عبارة عن مخروط قائم الزاوية بنصف زاوية رأسية $60°$ (أي أن الجدران مائلة بزاوية $60°$ بالنسبة للرأسي). أقل سرعة يحتاجها مقذوف من مركز قاعدة الهرم للوصول لرأس الهرم هي v_0. ما هي أقل سرعة لازمة للوصول لجدار المخروط؟

4. درون (9 نقاط) — Lasse Franti و Jaan Kalda.
يقوم درون بسحب متوازي مستطيلات بحبل كما هو ظاهر في الرسم، متوازي المستطيلات ينزلق ببطء على سطح أفقي بسرعة ثابتة. متوازي المتسطيلات مصنوع من مادة متجانسة. يمكنك أن تقوم بأخذ قياسات من الرسم (الموجود في صفحة منفصلة) بافتراض أن الأبعاد والمسافات عليه صحيحة إلى معامل مضاعف ما. لمساعدتك في حالة ما لم يكن لديك طابعة، وكان عليك قراءة المسألة مباشرة من الشاشة، فقد وضعت بعض الخطوط المتقطعة على الرسم (التي قد تكون مفيدة أو غير مفيدة).

i) (2 نقطة) أوجد معامل الاحتكاك بين متوازي المستطيلات والأرضية.

ii) (2 نقطة) أوجد كتلة متوازي المستطيلات لو كانت كتلة الدرون $m=1\mathrm{kg}$.

iii) (2 نقطة) سنقوم الآن بدراسة طيران الدرون في غلاف جوي أدياباتيكي. في الغلاف الأدياباتيكي، الكتل الهوائية تحرك باستمرار للأعلى وللأسفل، وأثناء هذا تمدد و تتقلص أدياباتيكيا. من الممكن إثبات أنه في غلاف جوي أدياباتيكي، درجة الحرارة ستكون دالة خطية في الارتفاع z: $T=T_0-zg/c_p$، حيث $T_0=293\mathrm{K}$، $c_p=1.00\mathrm{Jg^{-1}K^{-1}}$ هي الحرارة النوعية للهواء عند ضغط ثابت، و $g=9.81\mathrm{m/s^2}$. أوجد كثافة الهواء كدالة في الارتفاع، بدلالة الكثافة ρ_0 عند سطح الأرض ($z=0$)، الحرارة النوعية للهواء عند حجم ثابت $c_v=0.718\mathrm{Jg^{-1}K^{-1}}$، وكميات تم تعريفها مسبقا.

iv) (3 نقاط) بافتراض أن أعلى ارتفاع لتحليق الدرون بدون أي حمولة z_{max} ناتج عن حدودية قدرة المحرك، أوجد z_{max} بمعرفة أن قدرة محرك الدرون بالكاد كافية لرفع حمولة تساوي 50% من وزنه بالكامل من على الأرض. يمكنك إهمال تأثير الاضطراب على دفع الدرون.

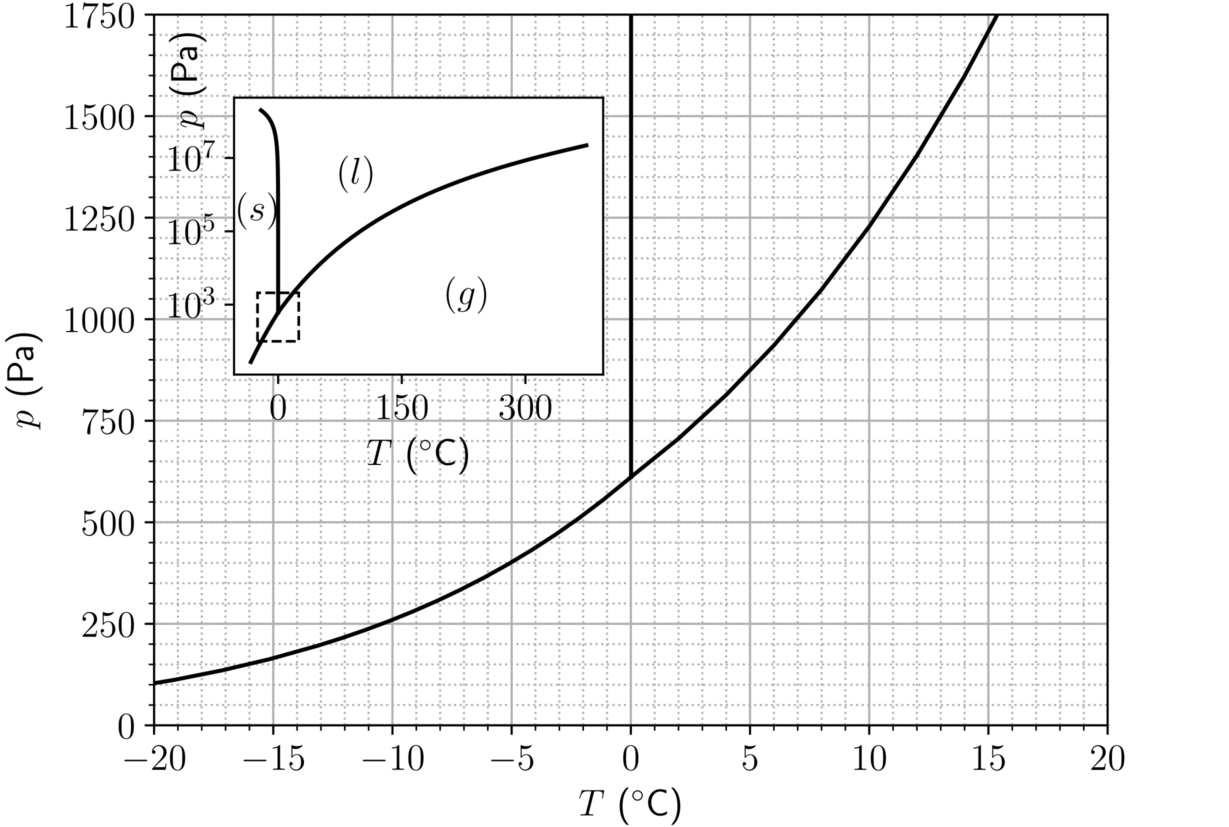
5. صوت القارورة (8 نقاط) — *Jaan Kalda* و *Eero Uustalu*. الأدوات: قارورة 1-لتر فارغة، كوب صغير (حوالي 100ml) بحجم معروف (أو أي أداة أخرى لقياس حجم الماء)، هاتف ذكي محمل عليه تطبيق Physics Toolbox Sensor Suite أو Physics Toolbox Pro (حدد على ورقتك أي نسخة استخدمت).

لو قمت بالنفخ بالقرب من فتحة القارورة، من الممكن أن يتكون صوت صفير: يجب أن يتدفق الهواء بشكل لطيف (إلى شديد نوعا ما) من عند فتحة القارورة باتجاه عمودي على محور القارورة. مهمتك هي دراسة اعتماد تردد الصوت الناتج f على الحجم V المستحوذ من قبل الماء داخل القارورة.

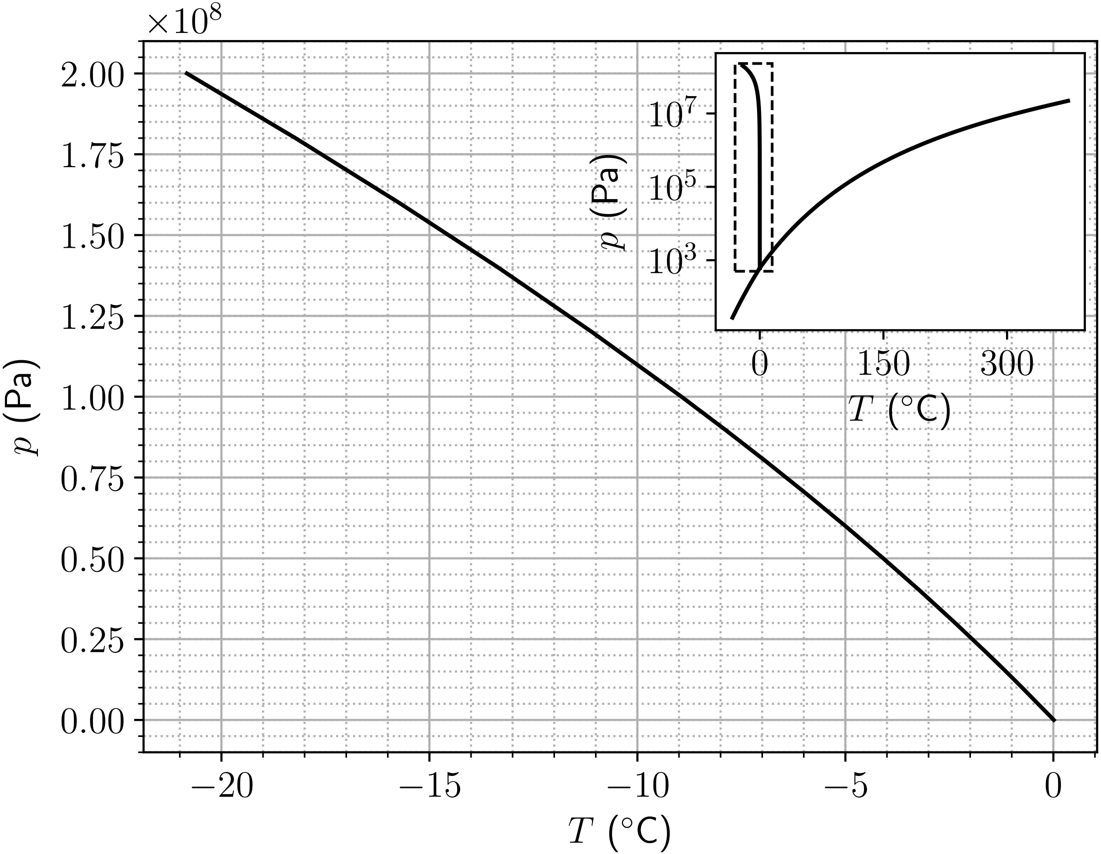
i) (4 نقاط) أثناء النفخ بالقرب من فتحة القارورة، قِسْ تردد الصوت باستخدام أَيٍّ من tone detector أو spectrum analyzer من Physics Toolbox (عندما تفتح التطبيق، يمكنك سحب قائمة الخيارات من الزاوية العلوية اليسرى في الشاشة). إذا استطعت أن تحصل على صوت مميز جيد، استخدم tone detector، إن لم تستطع فقم باستخدام spectrum analyzer لتحديد التردد عند قمة الطيف. جَدْوِل قياساتك.

ii) (1 نقطة) باستخدام اعتبارات نظرية أو بتحليل البيانات، اقترح دالة تصف اعتماد f على V.

iii) (3 نقاط) اختبر مدى صحة اقتراحك لهذه العلاقة بالرسم بيانيا وأوجد معاملات الرسم البياني. تحليل الخطأ ليس مطلوبا.



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
(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)