

## أولمبياد شمال البلطيق للفيزياء 2022

### 1. الهرب (8 نقاط) — Päivo Simson

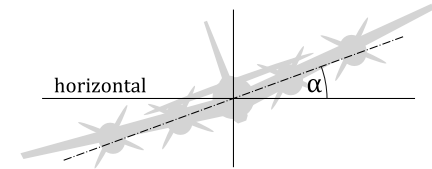
خلال تجربة سلاح نووي، أفلتت قنبلة من على متن طائرة ارتفاعها  $H = 9 \text{ km}$ ، بحيث أنها ستفجر على ارتفاع  $h = 500 \text{ m}$  من سطح الأرض. تأثير مقاومة الهواء على القنبلة أثناء سقوطها مهم. بدأت الطائرة بالهرب مباشرة بعد إسقاط القنبلة. ركبها محميون من الإشعاع عبر وقاء حام، لكن الطائرة ستأثر بالموجة الصدمية، ولذا ستحتاج أن تكون أبعد ما يمكن من نقطة الانفجار.

(i) (نقطة) السرعة العظمى للطائرة عند تحليقها بارتفاع ثابت هي  $v_0$ . ماهي زاوية النزول العظمى بحيث أن سرعتها لن تتعدى سرعة الصوت  $c$ ؟ كتلة الطائرة  $m$ ، وقوة مقاومة الهواء عليها  $F_d = kv^2$ ، وتسارع الجاذبية  $g$ .

للتبسيط، افترض من الآن فصاعداً أن الطائرة تحلق على ارتفاع ثابت بسرعة ثابتة  $v = 240 \text{ m/s}$ ، وأن كل المناورات الجوية محدودة بنسبة الرفع إلى الوزن العظمى  $n = 2.5$ . تسارع الجاذبية  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ .

(ii) (نقطة) بعد إسقاط القنبلة، كم لدى الطائرة من وقت قبل أن يصلها الإشعاع القادم من القنبلة؟

(iii) (نقطة) ما هو أصغر نصف قطر تقوس ممكن  $R$  لمسار الطائرة، وزاوية ميلان الطائرة حينها (أنظر للرسم)؟



(iv) (3 نقاط) اقترح مساراً للهرب السريع. احسب كل المعاملات التي تصف المسار هذا، وكذلك موقعه النسبي لنقطة الانفجار.

(v) (نقطتان) اعتماداً على المسار المقترح، ما بُعد الطائرة عن نقطة الانفجار عندما تصلها الموجة الصدمية؟ يُقدَّر بأن المسافة الآمنة هي  $25 \text{ km}$ ، فهل تقدر الطائرة على الهرب من الانفجار بأمان؟ افترض أن متوسط سرعة الموجة الصدمية  $u = 350 \text{ m/s}$ . في هذه الفقرة، يمكنك أن تستخدم تقريبات مُبررة لتبسيط الحسابات الجبرية عند الحاجة.

### 2. غاز (6 نقاط) — Jaan Kalda

مُملء صندوق حجمه  $V$  مول من غاز أحادي الذرة كتلته المولية  $\mu$  عند درجة حرارة منخفضة جداً. لقد كان الصندوق يتحرك بسرعة  $v$  (أكبر بكثير من سرعة الغاز الحرارية)، ثم توقفت فجأة.

(i) (نقطتان) أوجد درجة الحرارة داخل الصندوق عند الاتزان الحراري.

(ii) (نقطتان) أوجد الضغط على الجدار الأمامي (الذي كان في المقدمة عندما كان الصندوق يتحرك) بعد التوقف مباشرة.

(iii) (نقطتان) تخيل الآن كرة مملوءة بالغاز (هيليوم،  $\mu = 4 \text{ g/mol}$ ) نصف قطرها  $r = 1 \text{ cm}$  عند درجة حرارة  $300 \text{ K}$ ، ويحيطها فراغ. متوسط المسار الحر للذرات أكبر بكثير من  $r$ . عند لحظة ما، جدران الكرة تحطمت، وبعد  $\tau = 5 \text{ ms}$ ، حُبس جزء من الغاز عبر وضع جدران جديدة بشكل لحظي، بحيث كونت وعاءً مكعباً حجمه  $V = 1 \text{ m}^3$ . أوجد درجة الحرارة الغاز داخل المكعب  $T'$  عند الاتزان. أهمل السعة الحرارية لجدران الوعاء المكعب.

### 3. صاروخ (5 نقاط) — Jaan Kalda

يُسرع صاروخ فُوتُونِيّ بواسطة شعاع ليزر قادم من الأرض: مرآة الصاروخ تعكس الفوتونات بالاتجاه المعاكس تماماً. كتلة الصاروخ السكونية  $M_0$  لم تتغير خلال الرحلة. الطاقة الكاملة للفوتونات التي أطلقها الليزر (والتي عكستها المرآة لاحقاً) هي  $\alpha M_0 c^2$ . قدرة الليزر ثابتة زمنياً.

(i) (نقطة) ما السرعة  $v$  التي سيصل لها الصاروخ لو كانت  $\alpha = 1 \times 10^{-6}$ ؟

(ii) (نقطتان) ما السرعة  $v$  التي سيصل لها الصاروخ لو كانت  $\alpha = 1$ ؟

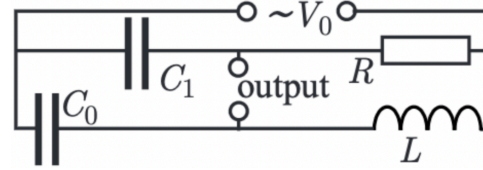
(iii) (نقطتان) ما النسبة بين تسارع الصاروخ بالنسبة للركاب (أي القوة التصورية) عند بداية التسارع ونهايته، لو كانت  $\alpha = 1$ ؟ عبر عن جوابك بدلالة سرعة الصاروخ النهائية  $v$ .

### 4. فلتر AC (5 نقاط) — Jaan Kalda

تم تطبيق جهد متردد سعته  $V_0$  وتردده الزاوي  $\omega_0$  على الدائرة الموضحة أدناه.

(i) (نقطتان) عند أي تردد زاوي  $\omega_0$  سيكون فرق جهد الخرج output لانهائياً؟

(ii) (3 نقاط) اجعل التردد الزاوي  $\omega$  ضعف ما وجدت في الفقرة السابقة،  $\omega = 2\omega_0$ . السعة  $C_1$  اختيرت بحيث أن فرق الطور  $\phi$  بين فرق جهد المدخل والمخرج أكبر ما يمكن (باعتبار  $C_0, L$  و  $R$  ثابتين). أوجد فرق الطور  $\phi$  ومقدار فرق جهد المخرج  $V_{\text{out}}$ .



### 5. شريط فيرومغناطيسي (12 نقطة) — Jaan Kalda و Eero Uustalu

الأدوات: مقياس سُك، مسطرة، أوراق رسم بياني، حساس مجال مغناطيسي مُقاوِمِي مُوصَل ببطاريات في حامل بطاريات، مَلْتِمِيتَر مع سلكين، مغناطيس دائم، وشريط مصنوع من مادة فيرومغناطيسية لينة — لا تحبها كثيراً لتجنب الأضرار.

(i) (0.5 نقطة) وَصِّل نهايات الـ banana بمنفذ الـ COM ومنفذ الـ  $V\Omega mA$  في الملتيميتر. شغل الملتيميتر على مدى الـ  $20V (DC)$ ، ثم المس النهائيين المعدنيتين لحامل البطاريات (والتي توجد قرب النقاط التي تخرج منها الأسلاك الحمراء والسوداء) باستخدام نهايات crocodile. سجِّل فرق الجهد  $\mathcal{E}$  على مخرج حامل البطاريات. لو كان فرق الجهد أقل من  $3.0 \text{ V}$ ، يمكنك أن تطلب تبديل البطاريات.

لكل قياساتك للمجال المغناطيسي، تذكر أنه لو كان فرق جهد البطارية  $3 \text{ V}$  بالضبط، فإن كل  $mV$  في القراءة سيرتبط بـ  $10 \text{ mT}$  في قوة المجال المغناطيسي. على الرغم من هذا، القراءة بالـ  $mV$  تتناسب مع كُلِّ من المجال المغناطيسي و فرق جهد البطارية.

وَصِّل نهايات crocodile بالسلكين الأصفر والأحمر للحساس المغناطيسي. تذكر أن (أ) قد يكون للحساس offset لا صفري: حتى لو لم يكن هنالك مجال مغناطيسي، قراءة الملتيميتر  $V_0$  قد لا تكون صفراً؛ (ب) مجال الأرض المغناطيسي دائماً موجود. فيما يلي، تجنّب قياس المجالات المغناطيسية المرتبطة بقراءة فرق جهد أعلى من  $500 \text{ mV}$

—مجالات قوية كهذه قد تغير قيمة الـ  $V_0$  offset. لو عرضت الحساس لمجال كهذا بالخطأ، حدد قيمة  $V_0$  الجديدة واستخدمها.

الحساس المغناطيسي عليه علامة بيضاء صغيرة على أحد حوافه. هذه النقطة تشير باتجاه مركبة المجال المغناطيسي التي يتم قياسها.

(ii) (1.5 نقطة) أوجد الـ  $V_0$  offset ومقدار المجال المغناطيسي للأرض  $B_E = |\vec{B}_E|$ ، والزاوية بين الاتجاه الرأسي و  $\vec{B}_E$ .

الآن، ثبت المغناطيس بالشريط الفيرومغناطيسي بحيث أن وجهه الدائري يلمس سطح الشريط قرب إحدى نهاياته. لنستخدم محاوراً إحداثية متعامدة يكون فيها مستوى  $x-y$  هو مستوى الشريط، حيث أن محور التماثل الأطول للشريط هو محور  $x$ ، و  $x=0$  هو موقع مركز المغناطيس الدائم.

المجال المغناطيسي الكامل عبارة عن تراكم مجال المغناطيس الدائم  $\vec{B}_m$ ، مجال الشريط الفيرومغناطيسي الممغنط  $\vec{B}$ ، ومجال الأرض المغناطيسي  $\vec{B}_E$ . سنهم بـ  $\vec{B}$  فقط أدناه. افترض أن  $\vec{B}_m$  يعتمد فقط على البعد عن المغناطيس وأنه لن يتغير عندما يفصل المغناطيس عن الشريط.

(iii) (2.5 نقطة) قس المجال الرأسي  $B_z = B_z(L/2, y)$  الناتج عن الشريط مع المغناطيس كدالة في  $y$ ،  $-w/2 \leq y \leq w/2$ ، عند  $x = L/2$ ، حيث  $w$  ترمز للعرض  $L$  لطول الشريط. احسب النسبة  $\kappa = \langle B_z \rangle / B_z(L/2, 0)$ ، حيث أن متوسط المجال المغناطيسي

$$\langle B_z \rangle \equiv \int_{-w/2}^{w/2} B_z(L/2, y) dy.$$

افترض أن  $\kappa$  تظل ثابتة على طوال الشريط.

(iv) (3.5 نقطة) قس  $B_z(x, 0)$  قرب سطح الشريط، كدالة في  $x$ ، وارسم نتائج القياس.

(v) (2.5 نقطة) لترمز  $J_s$  للمغنة عند التشبع المغناطيسي لمادة الشريط؛ قَدِّر قيمة  $J_s \mu_0$  (وهي، إلى حد ما، أكبر قيمة للمجال المغناطيسي  $B$  يمكن للفيرومغناطيس حملها).

(vi) (1.5 نقطة) أثبت عملياً أنه ضمن قيم صغيرة لـ  $x$ ، المغنة داخل الشريط وصلت الإشباع المغناطيسي.

العين الطبيعية السليمة تستطيع أن ترى جسما بوضوح لو كان على بُعد 25.0 cm إلى مالانهاية من العين. يمكن للعين ذات قصر النظر أن ترى مثل السليمة بمساعدة عدسة لاصقة قدرتها البصرية -6.00 dioptres.

(i) (نقطة) ماهو مدى النظر الواضح للعين ذات قصر النظر بدون العدسة اللاصقة؟

(ii) (نقطتان) لو استخدم شخص نظارات بدلا من العدسات اللاصقة، وكانت العدسة في النظارت على بعد 2.00 cm من العين، فما قدرة العدسة البصرية الكافية لمساعدة العين ذات قصر النظر لترى بشكل طبيعي؟

(iii) (3 نقاط) سيارة دفع أمامي ستظل ثابتة على طريق منحدر عندما تُوَقَّف فراملها كل الكفريات الأربعة طالما أن زاوية الانحدار أقل من  $45^\circ$ ، ويمكن أن تُقاد أماميا للأعلى طالما أن الزاوية أقل من  $22^\circ$ . ماهي أكبر زاوية انحدار يمكن فيها قيادة السيارة للخلف (رَبُوس) لأعلى المنحدر؟ افترض أن مركز جاذبية السيارة في المنتصف بين الكفريات الأمامية والخلفية.

7. إلكترونان في مجال مغناطيسي (9 نقاط) — Jaan Kalda و Kaarel Hänni

فيما يلي سندرس حركة إلكترونين (بكتلة  $m$  وشحنة  $-e$ ) في مجال مغناطيسي منتظم  $B$ ، بحيث أن المسافة بينهما تظل ثابتة دائما، كل فقرة تدرس احتمالية مختلفة.

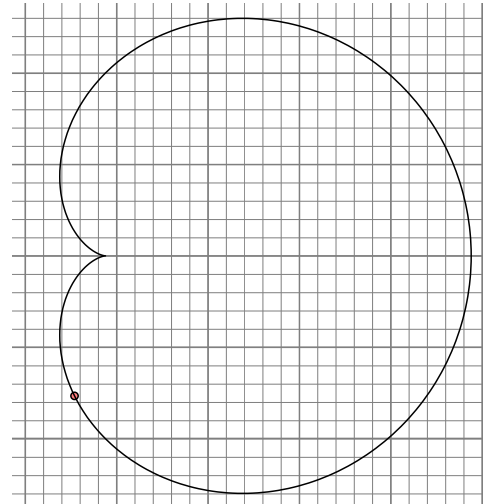
(i) (نقطتان) المسافة بين الإلكترونين كبيرة لدرجة أن التناثر الكهروستاتيكي بينهما مهم. في لحظة ما، الزاوية بين متجهي سرعة الإلكترونين هي  $\alpha \neq 0$ ، حيث أن أحدهما يتحرك باتجاه الآخر بسرعة  $v$ . ارسم مسار كلٍّ من الإلكترونين. ما سرعة الإلكترون الآخر؟

(ii) (نقطة) ما زال التناثر مهملا هنا. الآن، مسارا الإلكترونين يتقاطعان، وفي لحظة ما، السرعة المتجهة لأحدهما هي  $v$ . ما الذي يمكن قوله عن السرعة المتجهة للإلكترون الآخر عند

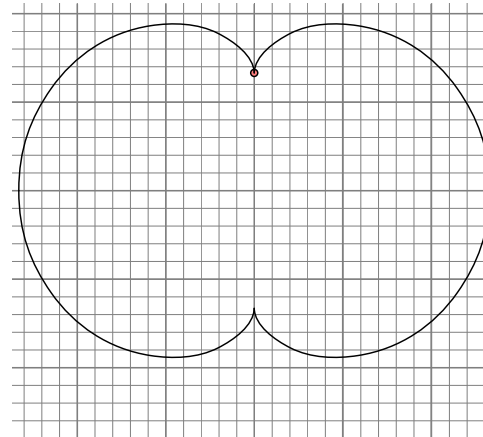
نفس اللحظة؟ ارسم كلا المسارين.

(iii) (نقطتان) ماهي المسافة  $l$  بين الإلكترونين لو كان كلاهما يتحرك حركة دورية زمنها  $\frac{6\pi m}{Be}$ ، وكانت سرعتهم ثابتة؟

(iv) (نقطتان) الشكل أدناه يوضح مسار أحد الإلكترونين لظروف ابتدائية معينة. أين الإلكترون الآخر عندما يكون الأول عند الدائرة الصغيرة؟ ماهو الزمن الدوري لهذه الحركة؟



(v) (نقطتان) الشكل أدناه يوضح مسار أحد الإلكترونين عند ظروف ابتدائية معينة، ما سرعة الإلكترون الآخر عندما يكون الأول عند الدائرة الصغيرة؟



8. سطوع الكواكب (9 نقاط) — Topi Löytäinen و Jaan Kalda

في هذه المسألة، تقاس الفترات الزمنية بالسنين  $(y)$ ، والمسافات بالوحدات الفلكية (au)؛ المسافة بين الأرض والشمس هي  $R_{\oplus} = 1 \text{ au}$ . سنفترض أن الكواكب والقمر تتحرك على نفس المستوى، والذي يُدعى بمستوى مسار الشمس، في مسارات دائرية وبنفس الاتجاه. المسافة بين الزهرة والشمس  $R_{\odot} = 0.72 \text{ au}$ ، والمسافة بين المريخ والشمس  $R_{\oplus} = 1.5 \text{ au}$ . في بعض الفترات، سنفترض أن الكواكب تعمل كبعثات لامبرية، أي أنه عندما ترى قرص الكوكب مضاءً بالكامل بأشعة الشمس، فإن الأجزاء الوسطى من القرص ستبدو بنفس سطوع حواف القرص. خلال هذه المسألة، افترض أن المراقب يقع في تالين، عند الإحداثيات الجغرافية  $59.5^\circ \text{N}$  و  $24.7^\circ \text{E}$ . محور الأرض مائل بزاوية  $23.5^\circ$  بالنسبة للعمودي على مستوى مدار الشمس.

(i) (0.7 نقطة) متى يمكنك رؤية الهلال الجديد؟ اختر خيارا أو عدة خيارات (A, B, and/or C)، وبرر جوابك برسمة توضح الشمس، القمر، والأرض. اختر من هذه الخيارات:  
A: مباشرة بعد الغروب؛  
B: أثناء منتصف الليل؛  
C: مباشرة قبل الشروق.

(ii) (1.2 نقطة) ما هي زاوية الأوج (أي الزاوية العظمى فوق الأفق) للقمر الكامل أثناء الانقلاب الشتوي في تالين؟

(iii) (1.2 نقطة) قيمة السطوع الظاهري للكواكب (إضاءةها كما تُرى من الأرض) قد تتغير كثيرا. بكم مرة يتغير السطوع الظاهري للمريخ بين أقرب وأبعد مسافة له من الأرض؟

(iv) (1.2 نقطة) ماهي المدة الزمنية بين كون المريخ أقرب وأبعد ما يمكن من الأرض؟

(v) (1.2 نقطة) من الحريف حتي الربيع، لا يمكن أن تُرى الزهرة أبداً أثناء منتصف الليل. ما أطول مدة يُمكن رؤية الزهرة فيها بعد غروب الشمس؟

(vi) (2.5 نقطة) عبّر عن السطوع الظاهري المُعَيَّر  $I/I_0$  كدالة في  $R_{\oplus}$ ،  $R_{\odot}$ ، والمسافة بين الأرض والزهرة  $L$ . يمكن اختيار ثابت المعايرة  $I_0$  اعتباطيا. تليح:  $I/I_0$  كثيرة حدود في  $L^{-1}$ .

(vii) (نقطة) أوجد المسافة  $L = L_0$  عندما تكون الإضاءة الظاهرية للزهرة أكبر ما يمكن، وكذلك الزاوية بين الزهرة والشمس حينها.

9. مغناطيس في زجاجة (12 نقطة) — Jaan Kalda و Ero Uustalu

الأدوات: أسطوانة شفافة داخلها مغناطيس أسطواني دائم مع غطاء رقيق يغطي أعلاها وأسفلها؛ أسطوانة صلبة مصنوعة من مادة متجانسة؛ مقياس سُمك؛ لُوْحان (لصنع سطح مائل تتدرج عليه الأسطوانات)؛ طوبتان (لتثبيت السطح المائل وتغيير زاوية الميلان)؛ صندوق لإمساك الأسطوانات المتدرجة؛ مسطرة — يمكن استخدامها لإطلاق الأسطوانات؛ قلم دائم — فقط للتعليم على الأسطوانات، أسأل مُظَمِّمًا لو تحتاج لمسح العلامات؛ قلم رصاص — للتعليم على الألواح. انتبه! الأسطوانة الزجاجية ذات المغناطيس هشة وغالية، تعامل معها بحذر وتجنب إيقاعها على الأرض.

في كل المهام، حاول أن تحصل على أفضل إحكام precision ممكن. ستحصل على النقاط بناء على الخطوات التي تتخذها لتحسين الإحكام وكذلك لدقة accuracy نتائجك.

(i) (نقطة) أوجد ارتفاع المغناطيس بأدق ما يمكن، وقدر الشك في نتيجتك.

(ii) (3 نقاط) التسارع الذي تتدرج به أسطوانة على سطح مائل يعتمد على زاوية الميلان، وعلى النسبة  $\kappa = I_0/MR^2$ ، حيث  $I_0$  هو عزم القصور الذاتي بالنسبة للمحور،  $M$  هي كتلتها، و  $R$  نصف قطرها. أوجد النسبة  $\kappa$  للأسطوانة الزجاجية ذات المغناطيس.

(iii) (2.5 نقطة) أوجد قطر المغناطيس. تليح: أوجد طريقة لإيجاده بدون معرفة معامل انكسار الزجاج.

(iv) (2.5 نقطة) لاحظ أن الجزء الشفاف من الأسطوانة مصنوع من مادتين مختلفتين: معامل انكسار الجزء المركزي  $n_c$  مختلف قليلا عن معامل انكسار الجزء الخارجي من الأسطوانة  $n_o$  (الجزء المركزي له نفس قطر المغناطيس). أوجد معامل الانكسار  $n_o$ ، وقدر الشك في نتيجتك.

(v) (3 نقاط) أوجد معامل الانكسار  $n_c$ .