

# NORDIC-BALTIC PHYSICS OLYMPIAD 2022

## 1. TÀU THOÁT (8 điểm)

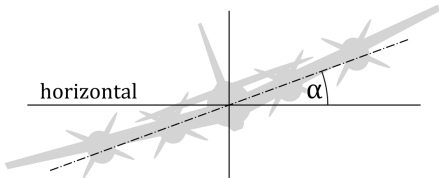
Trong một vụ thử vũ khí hạt nhân, một quả bom được thả từ một máy bay đang bay ở độ cao  $H = 9$  km và được cài đặt để nổ ở độ cao  $h = 500$  m so với mặt đất. Lực cản không khí tác dụng lên quả bom trong khi nó rơi có thể bỏ qua. Ngay sau khi thả bom, máy bay bắt đầu rời khỏi vụ nổ. Phi hành đoàn được bảo vệ khỏi sóng bức xạ từ vụ nổ bằng một màn chắn, nhưng máy bay không có khả năng chống lại sóng xung kích cần phải tránh khỏi vị trí nổ bom càng xa càng tốt.

i) (1 điểm) Tốc độ tối đa của máy bay khi bay thẳng trên không (độ cao không đổi) là  $v_0$ . Hỏi góc bổ nhào của máy bay phải có giá trị lớn nhất là bao nhiêu để tốc độ của máy bay không vượt quá tốc độ âm thanh  $c$ ? Khối lượng máy bay là  $m$ , lực cản của không khí là  $F_d = kv^2$ , và gia tốc rơi tự do là  $g$ .

Để đơn giản, giả sử rằng từ bây giờ (sau khi thả bom) máy bay luôn giữ độ cao không đổi và bay với tốc độ không đổi  $v = 190$  m/s, và sự chuyển động của không khí được giới hạn bởi tỷ số lực nâng và trọng lượng máy bay cực đại  $n = 2,5$ . Gia tốc rơi tự do  $g = 9,81$  m/s<sup>2</sup>.

ii) (1 điểm) Sau khi thả bom, máy bay còn bay được bao lâu trước khi xung điện từ ở bom nổ truyền đến nó?

iii) (1 điểm) Xác định bán kính cong nhỏ nhất  $R$  của quỹ đạo chuyển động của máy bay và góc nghiêng  $\alpha$  của máy bay so với phương ngang (xem hình vẽ)?



iv) (3 điểm) Đề xuất một quỹ đạo cho chuyển động của máy bay để nó thoát xa vụ nổ một cách nhanh nhất. Tính toán các tham số cần thiết để xác định hình dáng quỹ đạo thoát và vị trí tương đối của nó so với điểm kích nổ.

v) (2 điểm) Dựa vào quỹ đạo thoát ở trên, xác định khoảng cách từ điểm kích nổ đến máy bay khi sóng

xung kích đuổi kịp nó? Khoảng cách an toàn cho máy bay được ước tính là 25 km. Máy bay có khả năng thoát khỏi vụ nổ không? Giả sử rằng sóng xung kích truyền đi với vận tốc  $u = 350$  m/s. Để đơn giản, trong phần này bạn có thể sử dụng các gần đúng để đơn giản hóa các biểu thức toán học.

## 2. KHÍ (6 điểm)

Một hộp thể tích  $V$  chứa  $\nu$  mol khí đơn nguyên tử có khối lượng mol  $\mu$  ở nhiệt độ thấp không đáng kể. Hộp được dịch chuyển với tốc độ  $v$  lớn hơn nhiều so với tốc độ của chuyển động nhiệt, sau đó ngừng lại ngay lập tức.

i) (2 điểm) Tìm nhiệt độ bên trong hộp sau khi hộp ngừng lại.

ii) (2 điểm) Tìm áp suất tác dụng lên mặt trước của hộp (mặt nằm ở phía trước khi hộp chuyển động) ngay sau khi hộp dừng lại.

iii) (2 điểm) Bây giờ, một quả cầu khí (helium,  $\mu = 4$  g/mol) có bán kính  $r = 1$  cm, nhiệt độ  $T = 300$  K được bao bọc bởi chân không. Quỹ đạo tự do trung bình của các phân tử khí lớn hơn nhiều so với bán kính  $r$ . Ở một thời điểm nào đó, vỏ ngoài của quả cầu bị vỡ và sau  $\tau = 5$  ms, một phần khí phụt ra được giữ lại ngay lập tức bởi các vách ngăn tạo thành một hình lập phương có thể tích  $V = 1$  m<sup>3</sup>. Tìm nhiệt độ  $T'$  của khí trong hình lập phương ngay sau khi nó hình thành, bỏ qua nhiệt dung của thành hộp. Lấy  $R = 8,31$  J/kgK.

## 3. TÊN LỬA (5 điểm).

Một tên lửa photon được gia tốc bởi một chùm laser chiếu từ mặt đất: gương trên tên lửa sẽ phản xạ các photon trong chùm sáng một cách chính xác theo hướng ngược lại. Khối lượng nghỉ của tên lửa là  $M_0$  không thay đổi trong suốt quá trình di chuyển. Năng lượng của các photon do laser phát ra (và phản xạ lại bởi tên lửa) là  $\alpha M_0 c^2$ . Công suất của laser không thay đổi theo thời gian.

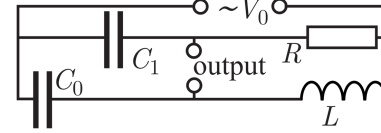
i) (1 điểm) Tốc độ  $v$  mà tên lửa đạt được là bao nhiêu nếu  $\alpha = 1 \times 10^{-6}$ ?

ii) (2 điểm) Tốc độ mà tên lửa đạt được nếu  $\alpha = 1$ ?

iii) (2 điểm) Gia tốc của tên lửa, theo cảm nhận của hành khách (tức là lực quán tính tác dụng lên họ) thay đổi bao nhiêu lần giữa thời điểm bắt đầu và kết thúc tăng tốc nếu  $\alpha = 1$ ? Viết biểu thức tốc độ cuối cùng của tên lửa  $v$ .

## 4. BỘ LỘC XOAY CHIỀU (5 điểm)

Một nguồn xoay chiều với biên độ  $V_0$  và tần số góc  $\omega_0$  được đặt vào mạch ở dưới.



i) (2 điểm) Với tần số góc  $\omega_0$  bằng bao nhiêu thì điện áp đầu ra (output) sẽ có giá trị lớn về cùng?

ii) (3 điểm) Bây giờ, giả thiết tần số góc  $\omega$  lớn gấp đôi giá trị vừa tìm được ở ý trước,  $\omega = 2\omega_0$ . Điện dung  $C_1$  được chọn sao cho độ lệch pha  $\varphi$  giữa các điện áp đầu vào và đầu ra đạt cực đại (các tham số  $C_0$ ,  $L$  và  $R$  giữ không đổi). Xác định độ lệch pha  $\varphi$  và biên độ điện áp ra  $V_{out}$ .

## 5. DẢI SẮT TỪ (12 điểm)

**Dụng cụ:** Một thước kẹp, một thước kẻ, giấy vẽ đồ thị, một cảm biến từ trở được nối với nguồn điện đặt trong một hộp, một đồng hồ vạn năng có hai dây nối, một dải từ được làm từ vật liệu từ mềm có độ dày 0,25 mm - **Không uốn cong nó quá mạnh để tránh gây**.

i) (0,5 điểm) Dùng một dây nối cổng COM và một dây nối cổng  $V\Omega mA$  của đồng hồ vạn năng tới hai đầu quả chuỗi. Đặt đồng hồ vạn năng ở thang đo một chiều (DC) 20 V và nối các đầu dây (dạng kẹp cá sấu) vào hai điện cực kim loại trên hộp nguồn (chúng nằm ngay hai điểm mà từ đó các dây màu đỏ và đen đi ra khỏi hộp). Ghi lại điện áp  $E$  trên hai đầu ra của hộp nguồn. Nếu điện áp hiện trên đồng hồ dưới 3,0 V, em yêu cầu đổi nguồn.

Đối với tất cả các phép đo từ trường, nếu điện áp của nguồn được giữ chính xác là 3 V, thì giá trị của mỗi millivolt (mV) hiện trên máy đó sẽ tương ứng với độ lớn của cảm ứng từ là 10 microtesla ( $\mu T$ ). Tuy nhiên, số hiện lên theo đơn vị milivôn (mV) lại tỉ lệ thuận với cả từ trường và điện áp nguồn.

Nối hai đầu dây kẹp cá sấu với dây màu vàng và màu đỏ của cảm biến từ. Lưu ý rằng: (a) cảm biến có thể có giá trị ban đầu khác 0 (offset) ngay cả khi không có từ trường, vôn kế vạn năng vẫn chỉ giá trị  $V_0$  khác 0; (b) luôn tồn tại từ trường Trái đất. Trong phần dưới

đây, tránh đo các từ trường mạnh ứng với số chỉ trên vôn kế lớn hơn 500 mV, vì từ trường mạnh như vậy có thể gây ra sự thay đổi giá trị ban đầu  $V_0$ . Nếu vô tình đưa cảm biến vào từ trường lớn như vậy, em cần xác định và sử dụng giá trị mới của  $V_0$ . Cảm biến từ trường được đánh dấu bằng một chấm tròn nhỏ trên cạnh của nó, nó chỉ hướng của thành phần từ trường đang được đo.

ii) (1,5 điểm) Xác định điện áp ban đầu  $V_0$  và độ lớn của từ trường Trái đất  $B_E \equiv |\vec{B}_E|$ , cũng như xác định góc giữa phương thẳng đứng và phương của  $\vec{B}_E$ .

Bây giờ, hãy gắn nam châm vào dải từ sao cho mặt tròn của nam châm chạm mặt dải ở gần một đầu của dải. Sử dụng một hệ tọa độ Đề-các x-y nằm trong mặt phẳng chứa dải từ, trục đối xứng dài nhất của dải dùng làm trục x,  $x = 0$  tại tâm của nam châm.

Từ trường tổng là sự chồng chất từ trường của nam châm  $\vec{B}_m$ , từ trường của dải từ  $\vec{B}$  và từ trường của Trái đất  $\vec{B}_E$ . Dưới đây ta chỉ quan tâm đến  $\vec{B}$ . Giả thiết  $\vec{B}_m$  chỉ phụ thuộc vào khoảng cách từ nam châm và nó không đổi khi tách nam châm ra khỏi dải từ.

iii) (2,5 điểm) Đo thành phần từ trường thẳng đứng  $B_z = B_z(L/2, y)$  gây ra bởi dải từ có dính nam châm, như một hàm của  $y$  trong khoảng  $-w/2 \leq y \leq w/2$ , tại  $x = L/2$ ; trong đó  $w$  là bề rộng và  $L$  là chiều dài của dải từ. Tìm tỷ số  $\kappa$  giữa  $B_z$  và  $B_z(L/2, 0)$ , trong đó từ trường trung bình

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

Giả sử rằng  $\kappa$  không đổi dọc theo dải từ.

iv) (3,5 điểm) Đo  $B_z(x, 0)$  ở gần mặt dải, như một hàm của  $x$ , vẽ đồ thị kết quả thu được.

v) (2,5 điểm) Gọi  $J_s$  là từ hóa bão hòa của dải từ; ước tính giá trị  $J_s \mu_0$  (có thể nói định tính, đây là giá trị lớn nhất của từ trường B mà sắt từ còn chịu được).

vi) (1,5 điểm) Bằng thực nghiệm, chứng minh rằng với các giá trị nhỏ của  $x$  thì độ từ hóa bên trong dải từ đã đạt tới bão hòa.

**6. MỌI VẬT (6 điểm)**

Mắt bình thường có khả năng nhìn rõ một vật nếu vật nằm cách mắt một khoảng từ 25,0 cm đến vô cực. Mắt cận thị nhìn sẽ nhìn rõ như mắt thường với sự hỗ trợ của một kính áp tròng có độ tụ là -6,00 đi ốp.

**i) (1 điểm)** Khoảng nhìn rõ của mắt cận thị khi không đeo kính áp tròng là bao nhiêu?

**ii) (2 điểm)** Nếu một người, thay vì dùng kính áp tròng, lại đeo kính nằm cách mắt 2,00 cm thì độ tụ của kính phải đeo bằng bao nhiêu đủ để giúp mắt cận thị nhìn bình thường?

**iii) (3 điểm)** Xe ô tô dẫn động cầu trước có thể đứng vững trên đường nhựa dốc khi dùng phanh khóa cả bốn bánh với độ dốc của đường không quá 45 độ, và có thể lên dốc khi độ dốc của đường không quá 22 độ. Một xe ô tô dẫn động cầu sau có thể đi lên đường dốc với độ dốc lớn nhất bằng bao nhiêu? Giả sử rằng trọng tâm của ô tô cách đều cả bánh trước và bánh sau.

**7. ELECTRON TRONG TỪ TRƯỜNG (9 điểm)**

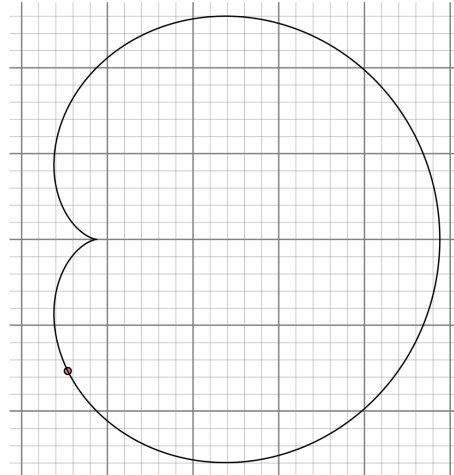
Theo bài toán này ta xét hai electron (khối lượng  $m$  và điện tích  $-e$ ) chuyển động trong từ trường đều có cảm ứng từ  $B$  sao cho khoảng cách giữa hai electron luôn không đổi; các câu hỏi khác nhau sẽ xem xét các tình huống khác nhau.

**i) (2 điểm)** Khoảng cách giữa các electron rất lớn nên có thể bỏ qua lực đẩy tĩnh điện của chúng. Tại một thời điểm nhất định, góc giữa các vectơ vận tốc của các electron là  $\alpha \neq 0$  và một trong hai electron chuyển động hướng tới electron kia với tốc độ  $v$ . Vẽ các quỹ đạo của cả hai electron. Tốc độ của electron kia là bao nhiêu?

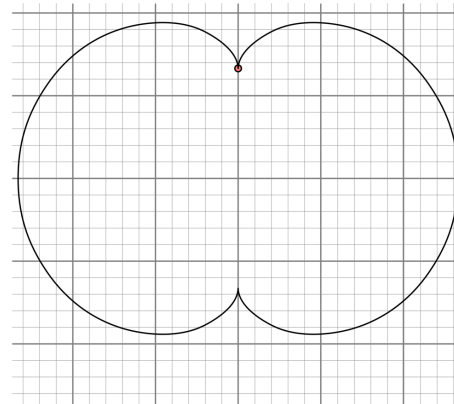
**ii) (1 điểm)** Lực đẩy tĩnh điện vẫn được bỏ qua. Bây giờ, quỹ đạo của hai electron giao nhau, và tại một thời điểm nhất định, vận tốc của một trong số chúng là  $\vec{v}$ . Có thể nói gì về vận tốc của electron kia tại cùng một thời điểm? Vẽ phác cả hai quỹ đạo.

**iii) (2 điểm)** Khoảng cách  $l$  giữa các electron là bao nhiêu nếu cả hai thực hiện chuyển động tuần hoàn với tốc độ không đổi theo chu kỳ  $\frac{6\pi m}{Be}$ ?

**iv) (2 điểm)** Hình dưới đây mô tả quỹ đạo của một trong các electron đối với một số điều kiện ban đầu nhất định. Tại thời điểm khi một electron đang ở vị trí đánh dấu bằng vòng tròn nhỏ thì electron còn lại đang ở vị trí nào? Xác định chu kỳ của chuyển động này?



**v) (2 điểm)** Hình dưới đây mô tả quỹ đạo của một trong các electron đối với một số điều kiện ban đầu nhất định. Tốc độ của electron kia là bao nhiêu tại thời điểm electron thứ nhất đang ở vị trí đánh dấu bằng vòng tròn nhỏ?



**8. ĐỘ SÁNG CỦA CÁC HÀNH TINH (9 điểm).**

Trong bài toán này, các khoảng thời gian được đo bằng năm (y), và các khoảng cách được đo bằng đơn vị thiên văn (au); khoảng cách từ Trái đất đến Mặt trời là  $R_{\oplus} = 1$  au. Các hành tinh và Mặt trăng được cho là chuyển động cùng một hướng trên các quỹ đạo tròn

thuộc cùng một mặt phẳng, gọi là mặt phẳng hoàng đạo. Khoảng cách từ Sao Kim đến Mặt trời là  $R_{\ominus} = 0,72$  au, và khoảng cách từ Sao Hỏa đến Mặt trời là  $R_{\oplus} = 1,5$  au. Trong một số phần dưới đây, bạn sẽ cần phải giả định các hành tinh tán xạ theo định luật Lambert, nghĩa là khi bạn có thể quan sát toàn bộ đĩa hành tinh được chiếu sáng bởi ánh sáng Mặt trời thì các phần ở giữa của đĩa cũng có độ sáng giống hệt như các phần ở rìa của đĩa. Trong toàn bộ bài toán, giả sử rằng người quan sát đang ở Tallinn, tại tọa độ địa lý 59,5° Bắc và 24,7° Đông. Trục của Trái đất nghiêng 23,5° so với pháp tuyến của mặt phẳng hoàng đạo.

**i) (0,7 điểm)** Khi nào bạn có thể nhìn thấy trăng hình lưỡi liềm đang mọc? Chọn một hoặc nhiều tùy chọn (A, B và/hoặc C) và biện luận câu trả lời của bạn bằng sơ đồ mô tả Mặt trời, Mặt trăng và Trái đất. Các tùy chọn:

- A: ngay sau khi Mặt trời lặn;
- B: lúc nửa đêm;
- C: ngay trước khi Mặt trời mọc.

**ii) (1,2 điểm)** Góc cực điểm (tức là góc cực đại phía trên đường chân trời) của trăng tròn trong ngày đồng chỉ ở Tallinn bằng bao nhiêu?

**iii) (1,2 điểm)** Độ sáng biểu kiến (độ rọi tại Trái đất, hay là mật độ quang thông) của các hành tinh có thể thay đổi trong một khoảng giá trị. Độ sáng biểu kiến của sao Hỏa thay đổi bao nhiêu lần giữa các thời điểm nó ở gần Trái đất nhất và xa Trái đất nhất?

**iv) (1,2 điểm)** Khoảng thời gian trên Trái đất giữa các thời điểm sao Hỏa ở gần Trái đất nhất và ở xa Trái đất nhất là bao nhiêu?

**v) (1,2 điểm)** Từ mùa thu đến mùa xuân, không bao giờ có thể nhìn thấy Sao Kim vào lúc nửa đêm. Người ta có thể nhìn thấy nó tối đa trong bao lâu kể từ khi mặt trời lặn?

**vi) (2,5 điểm)** Biểu thị độ sáng biểu kiến chuẩn hóa  $I/I_0$  dưới dạng hàm của  $R_{\oplus}$ ,  $R_{\ominus}$ , và khoảng cách  $L$  từ Trái đất đến Sao Kim. Ở đây, hằng số chuẩn hóa  $I_0$  có thể được chọn tùy ý. Gợi ý:  $I/I_0$  phải là một đa thức của  $L^{-1}$ .

**vii) (1 điểm)** Tìm khoảng cách  $L = L_0$  khi độ sáng biểu kiến của Sao Kim có giá trị lớn nhất và khoảng cách góc giữa Sao Kim và Mặt Trời tại thời điểm đó.

**9. NAM CHÂM TRONG THỦY TINH (12 điểm)**

**Dụng cụ:** Một hình trụ thủy tinh trong suốt bên trong chứa một nam châm hình trụ với hai đầu trên và dưới được bọc giấy bạc; một trụ đặc đồng chất; một thước kẹp; hai tấm phẳng (để tạo mặt phẳng nghiêng cho các hình trụ có thể lăn xuống); hai viên gạch (để điều chỉnh độ dốc của mặt phẳng nghiêng); một hộp để chặn/chứa các trụ sau khi lăn; một cái thước (có thể dùng để giữ các trụ ban đầu trước khi lăn); một bút đánh dấu (để đánh dấu trên các trụ), hãy hỏi giám thị xem có cần làm sạch các điểm đánh dấu hay không; một bút chì (để đánh dấu trên mặt phẳng nghiêng).

**Lưu ý:** hình trụ thủy tinh chứa nam châm rất đắt tiền và dễ vỡ, hãy cẩn thận để tránh làm rơi nó xuống sàn.

Trong tất cả các nhiệm vụ, cố gắng để sai số ít nhất. Bạn sẽ được điểm ở cả việc đưa ra phương án thí nghiệm để giảm sai số và cả phần kết quả thí nghiệm của bạn.

**i) (1 điểm)** Xác định độ cao của nam châm và tính sai số của kết quả.

**ii) (3 điểm)** Gia tốc của hình trụ khi lăn xuống phụ thuộc vào góc nghiêng và tỉ số  $\kappa = I_0 / MR^2$ , trong đó  $I_0$  là mômen quán tính của trụ so với trục,  $M$  là khối lượng và  $R$  là bán kính tiết diện của trụ. Xác định tỉ số  $\kappa$  đối với hình trụ thủy tinh chứa nam châm bên trong.

**iii) (2,5 điểm)** Xác định đường kính của nam châm. Gợi ý: không cần biết chiết suất của thủy tinh.

**iv) (2,5 điểm)** Hình trụ thủy tinh gồm hai lớp với hai chiết suất khác nhau: chiết suất của phần lõi  $n_c$  khác với chiết suất của phần bên ngoài  $n_0$  (phần lõi thủy tinh có đường kính trong bằng đường kính của nam châm). Xác định chiết suất  $n_0$  và ước lượng sai số của kết quả.

**v) (3 điểm)** Xác định chiết suất  $n_c$ .