

ĐỀ THI CHÍNH THỨC

Đề thi gồm 04 trang

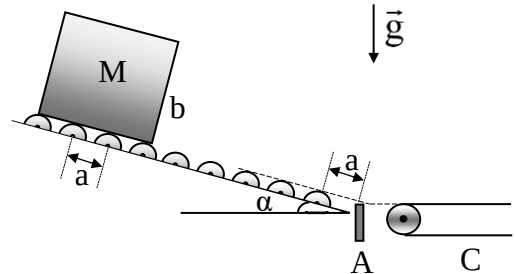
Môn thi: VẬT LÝ

Thời gian: 240 phút (không kể thời gian giao đề)

Ngày thi thứ hai: 02/4/2021

CÂU I (4,0 điểm)

Cho một cơ hệ như Hình 1. Hệ gồm một băng truyền nghiêng một góc $\alpha = 10^\circ$ so với mặt phẳng ngang, một giá đỡ cứng A và một băng truyền ngang C. Băng truyền nghiêng đủ dài và có cấu tạo gồm giá đỡ cứng cố định trên có gắn nhiều con lăn. Các con lăn có dạng khối trụ, đồng chất, khối lượng $m = 200 \text{ g}$, bán kính $r = 1 \text{ cm}$ và có trục quay đi qua tâm hai mặt đáy của khối trụ. Trục quay nằm ngang theo phương vuông góc với mặt phẳng hình vẽ. Khoảng cách giữa hai trục quay liên tiếp $a = 5 \text{ cm}$, gia tốc trọng trường $g = 10 \text{ m/s}^2$.



Hình 1

Xét chuyển động của một khối hàng M đồng chất hình lập phương cạnh $b = 40 \text{ cm}$, khối lượng $M = 2 \text{ kg}$. Bỏ qua ma sát của các trục quay; sức cản của không khí. Biết: các con lăn ban đầu đứng yên và chỉ quay khi khối hàng trượt qua; khi gia tốc của khối hàng nhỏ hơn g thì các con lăn chỉ lăn không trượt so với khối hàng.

Yêu cầu:

1. Khối hàng M chuyển động không vận tốc đầu từ đỉnh của băng truyền nghiêng. Tìm vận tốc cực đại của khối hàng trên băng truyền nghiêng.
2. Khi khối hàng M đến cuối băng truyền nghiêng, cạnh góc của khối hàng chạm vào giá đỡ cứng A. Giả sử khối hàng chỉ chuyển động quay quanh A sau va chạm. Tìm chiều dài tối thiểu của băng truyền nghiêng để khối hàng có thể sang được băng truyền C.

CÂU II (4,0 điểm)

Trong bài này ta xét một số tính chất nhiệt của hệ khí Bose gồm N hạt có spin nguyên trong thể tích V ở nhiệt độ T , khối lượng mỗi hạt là m . Biết rằng số trạng thái có năng lượng nằm trong khoảng từ ϵ đến $\epsilon + d\epsilon$ là:

$$dS(\epsilon) = 2\pi(2m)^{3/2} g V h^{-3} \sqrt{\epsilon} d\epsilon$$

và số hạt trung bình trong một trạng thái có năng lượng ϵ tuân theo phân bố Bose – Einstein:

$$\bar{n}(\epsilon, T) = \frac{1}{e^{\alpha + \frac{\epsilon}{kT}} - 1}$$

ở đây k là hằng số Boltzmann, T là nhiệt độ tuyệt đối của hệ, α là một hàm không âm phụ thuộc vào số hạt và đồng biến với T (liên quan với nó, hàm $\mu = -\alpha kT$ được gọi là thế hóa học), g là độ suy biến của mức năng lượng ϵ , h là hằng số Planck.

Yêu cầu:

1. Xây dựng biểu thức liên hệ giữa α , năng lượng E của hệ và nhiệt độ T trong trường hợp tổng quát; sự phụ thuộc của α vào T khi $e^{\alpha + \frac{\epsilon}{kT}} \gg 1$ (trường hợp phân bố Bose – Einstein suy biến thành thống kê cổ điển Boltzmann $\bar{n}(\epsilon, T) = \frac{1}{e^{\alpha + \frac{\epsilon}{kT}}}$).

2. Chứng minh rằng: khi nhiệt độ hạ xuống nhiệt độ tới hạn T_0 tồn tại một khoảng nhiệt độ $0 < T < T_0$ mà trong khoảng đó $\alpha = 0$. Xây dựng biểu thức và tính T_0 cho khí Bose Heli 4 có khối lượng riêng 120 kg/m^3 và $g = 1$.

3. Chứng minh rằng trong khoảng nhiệt độ $0 < T < T_0$ số hạt tham gia chuyển động nhiệt chỉ còn lại $N' < N$ hạt. Số $\Delta N = N - N'$ hạt không tham gia chuyển động nhiệt nữa mà chuyển sang một pha khác gọi là “pha ngưng tụ”. Tính ΔN qua N , T và T_0 .

4. Một trong các kỹ thuật làm lạnh để đạt được nhiệt độ xảy ra chuyển pha ngưng tụ là thực hiện việc “bay hơi lạnh”. Cụ thể là sau khi làm lạnh bằng laser để đạt nhiệt độ cỡ mK, các hạt được nạp vào “bẫy” tạo bởi trường ngoài. Từ đây một số hạt có động năng lớn hơn năng lượng trung bình của các hạt trong bẫy sẽ thoát ra khỏi bẫy và các hạt còn lại sẽ được làm lạnh.

Gọi E là năng lượng trung bình của một hạt trong bẫy. Giả sử trong thời gian ngắn Δt có một lượng ΔN hạt với năng lượng trung bình của mỗi hạt bằng $(1+\beta)E$ (với $\beta > 0$) thoát khỏi bẫy và sự bay hơi này làm cho năng lượng trung bình của hạt thay đổi một lượng ΔE ($\Delta E/E$ và $\Delta N/N$ là những lượng nhỏ). Hãy thiết lập mối liên hệ giữa ΔE và ΔN .

Giả sử rằng ban đầu nhiệt độ của hệ là $T_i = 2.10^{-4} K$, trong mỗi chu kỳ Δt có 1% hạt thoát ra, $\beta = 2$. Tính nhiệt độ của hệ sau khoảng thời gian 350 Δt .

5. Dựa vào phương trình trạng thái $p = \frac{2E}{3V}$ của khí lượng tử, hãy chứng minh rằng: khí Bose suy

biến thành khí Boltzmann cổ điển thì phương trình này trở thành phương trình Clapeyron – Mendeleev.

6. Hãy tính áp suất khí Bose ở nhiệt độ $T < T_0$. Từ đó, chứng minh rằng: áp suất khí Bose chỉ phụ thuộc nhiệt độ mà không phụ thuộc thể tích; khi $T \rightarrow 0$ dòng khí Bose lượng tử được phun mạnh vào một bề mặt sẽ không gây áp lực lên bề mặt đó.

7. Chứng minh rằng: điều kiện khí Bose suy biến thành khí Boltzmann cổ điển cũng là giới hạn mà khoảng cách trung bình giữa các hạt rất lớn so với bước sóng de Broglie của chuyển động nhiệt

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2\pi mkT}}.$$

$$\text{Cho: } \int_0^{\infty} \frac{x^{1/2} dx}{e^x - 1} = 2,31; \int_0^{\infty} \frac{x^{3/2} dx}{e^x - 1} = 1,006\sqrt{\pi}; \int_0^{\infty} x^{1/2} e^{-x} dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2}; \int_0^{\infty} x^{3/2} e^{-x} dx = \frac{3\sqrt{\pi}}{4};$$

khối lượng nguyên tử Heli $m_{He4} = 6,644.10^{-27} kg$; hằng số Planck $h = 6,626.10^{-34} Js$; hằng số Boltzmann $k = 1,38.10^{-23} JK^{-1}$.

CÂU III (4,0 điểm)

Một số bài toán từ trường phức tạp có thể được giải quyết thông qua bài toán điện trường, đây gọi là phương pháp tương tự trong điện-từ trường. Trong điện trường, mômen điện của một lưỡng cực điện được định nghĩa $\vec{p} = q\vec{d}$ có thể được coi là hai đơn cực điện “điện tích điểm” có điện tích trái dấu $\pm q$, đặt rất gần và cách nhau một khoảng $|\vec{d}|$ không đổi. Vector $\vec{d}$ hướng từ đơn cực điện $-q$ sang đơn cực điện $+q$. Giả sử rằng có thể xây dựng một lưỡng cực từ với hai đơn cực từ “từ tích điểm”, tương tự trong điện trường, mômen từ của một lưỡng cực từ cũng được “định nghĩa” là $\vec{p}_m = q_m\vec{d}$ và được tạo bởi hai đơn cực từ có từ tích trái dấu $\pm q_m$, đặt rất gần và cách nhau một khoảng $|\vec{d}|$ không đổi. Vector $\vec{d}$ hướng từ đơn cực từ $-q_m$ sang đơn cực từ $+q_m$. Một vòng dây có dòng điện chạy qua có thể coi như là một lưỡng cực từ tạo bởi hai đơn cực từ có từ tích trái dấu cách nhau một khoảng bằng khoảng cách giữa mặt trên và mặt dưới vòng dây.

Trong môi trường chân không, một điện tích điểm q sẽ gây ra cường độ điện trường tại điểm cách nó

$$\vec{r} \text{ là } \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^3} \vec{r} \text{ thì tương tự như vậy từ tích điểm } q_m \text{ cũng sẽ gây ra cảm ứng từ tại điểm cách nó}$$

$$\vec{r} \text{ là } \vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q_m}{r^3} \vec{r}.$$

Cho gia tốc trọng trường là $\vec{g}$.

1. Giữ cố định một ống dây điện thẳng có đường kính D , chiều dài L , các vòng dây trên ống được cuốn sát nhau với số vòng là N . Cho dòng điện I không đổi chạy ngược chiều kim đồng hồ trên dây cuốn ống. Chọn hệ tọa độ trụ với các trục tọa độ là ρ, φ, z , gốc O gắn vào một đầu của ống dây (Hình 3a).

Yêu cầu:

a) Dùng “phương pháp tương tự trong điện-từ trường” hãy xác định vectơ cảm ứng từ tại điểm $\vec{r}(\rho, \varphi, z)$ ($|\vec{r}| \gg D$) theo $\rho, z, D, N, L, I, \mu_0$.

b) Một vòng dây kim loại tròn bán kính $\frac{D}{2}$, khối lượng M , điện trở R , đặt vuông góc với trục của ống dây (trùng với trục Oz). Ban đầu trong vòng dây không có dòng điện. Từ độ cao $z > 0$, thả vòng dây với vận tốc ban đầu bằng không. Giả thiết trong quá trình chuyển động thẳng xuống dưới, mặt phẳng vòng dây luôn vuông góc với trục Oz (Hình 3b). Kể từ sau khi vòng dây được thả, gia tốc a_z và vận tốc tức thời v_z của vòng dây liên hệ với nhau theo hệ thức:

$$a_z = v_z f(z) + C$$

Chứng minh rằng: $C = g$;

$$f(z) = -\frac{\pi^2 \mu_0^2 D^5 I^2 L^2}{512 M R N^2} \left[\frac{1}{(D^2/4 + z^2)^{3/2}} - \frac{1}{[D^2/4 + (z+L)^2]^{3/2}} \right]^2.$$

2. Xét một lưới được làm từ tấm phẳng và được khoan một mạng lưới dày đặc các lỗ nhỏ. Ban đầu, lưới này ở trạng thái không siêu dẫn, giữ một nam châm nhỏ hình trụ khối lượng M , mômen lưỡng cực từ $\vec{p}_m$ sao cho trục của trụ nam châm vuông góc với bề mặt lưới và cách lưới một khoảng z_0 . Sau đó, lưới được làm lạnh để trở thành siêu dẫn. Tiếp theo, nam châm được di chuyển dọc trục đến vị trí cách lưới là z . Cho biết: kích thước của các lỗ lưới nhỏ hơn nhiều so với z_0 và z ; kích thước của lưới lớn hơn nhiều so với z_0 và z .

Yêu cầu:

a) Tìm lực tương tác giữa lưới và nam châm tại vị trí z theo μ_0, p_m, z, z_0 .

b) Xét trường hợp $z = z_0 + \delta$, với $\delta \ll z_0$, xác định chu kỳ dao động nhỏ theo phương dọc trục của nam châm theo μ_0, p_m, M, z_0 .

Cho: $(1 \pm x)^n \approx 1 \pm nx$ khi $|x| \ll 1$.

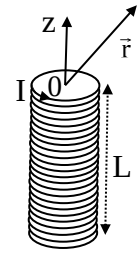
CÂU IV (4,0 điểm)

Chiếu một chùm sáng kết hợp, đơn sắc, song song, bước sóng λ vào một màn chắn sáng phẳng có ba khe sáng S_1, S_2 và S_3 theo phương vuông góc với màn. Các khe sáng S_1, S_2 và S_3 có độ rộng tương ứng là $a_1 = 10\lambda$, $a_2 = 20\lambda$ và $a_3 = 30\lambda$ (chiều dài các khe rất lớn so với độ rộng của chúng). Khoảng cách giữa các khe liên tiếp là $d_1 = 1200\lambda$ và $d_2 = 600\lambda$. Thấu kính hội tụ TK có tiêu cự f ($f \gg d_1$) được đặt song song với màn chắn sáng để thu hình ảnh giao thoa lên màn quan sát E đặt tại tiêu diện của thấu kính và song song với màn chắn sáng như Hình 4.

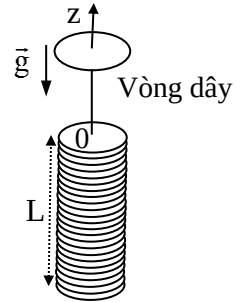
1. Các khe S_2 và S_3 được che kín. Xác định sự phân bố cường độ sáng trên màn E như là hàm của góc nhiễu xạ θ .

2. Cả ba khe không bị che; góc nhiễu xạ là nhỏ. Hãy:

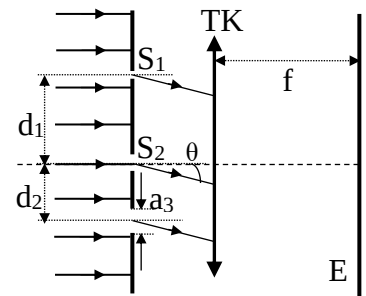
a) Xác định biểu thức của cường độ sáng trên màn E theo góc nhiễu xạ θ .



Hình 3a



Hình 3b



Hình 4

- b) Tính khoảng cách giữa hai cực đại chính liên tiếp trên màn E.
- c) Tính cường độ sáng tại điểm trên màn E ứng với $\theta_1/2$ (θ_1 là góc nhiễu xạ ứng với cực đại chính bậc một).
- d) Xác định độ rộng của các vân sáng trung tâm gây bởi nhiễu xạ của từng khe riêng biệt.
- đ) Tính số cực đại chính trong miền có độ rộng bằng $L = f/80$ nằm đối xứng hai bên cực đại chính trung tâm trên màn E.

CÂU V (4,0 điểm)

Bài phương án thực hành xác định thông số tụ dò và tần số nguồn điện.

Cho các dụng cụ và linh kiện sau:

- Một tụ dò có thể coi như hệ gồm một tụ điện C_x và một điện trở R_x mắc song song với nhau (giá trị C_x và R_x chưa biết và cần xác định);
- Một nguồn điện xoay chiều có tần số f (giá trị tần số f của nguồn chưa biết và cần xác định);
- Một hộp điện có hai đầu ra gồm một tụ biến đổi C và hộp điện trở R mắc nối tiếp. Dụng cụ này cho phép đặt được giá trị của tụ và giá trị điện trở;
- Hai điện trở thuần có giá trị R_1 và R_2 biết trước;
- Một tụ điện có điện dung C_1 biết trước;
- Một còi điện D sẽ phát tiếng kêu khi có dòng điện chạy qua;
- Dây nối, khóa K cần thiết.

Yêu cầu:

1. Trình bày cách xác định R_x và C_x của tụ dò.
2. Trình bày cách xác định tần số f của nguồn xoay chiều.

HẾT

Ghi chú:

- Thí sinh không được sử dụng tài liệu.
- Giám thị không giải thích gì thêm.