

ĐỀ THI CHÍNH THỨC

Đề thi gồm 05 trang

Môn thi: **VẬT LÝ**

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

Ngày thi thứ hai: **30/3/2019**

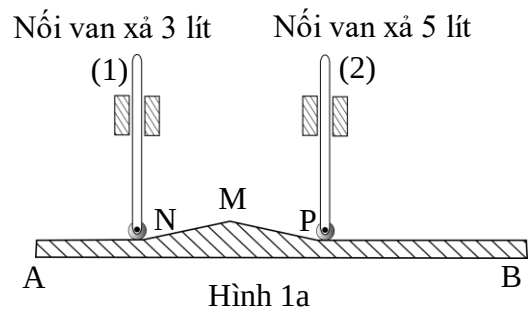
CÂU I (4,0 điểm)

Hệ thống tự động xả nước cho nhà vệ sinh trong trường học là một ý tưởng được đánh giá cao trong lĩnh vực vật lý tại cuộc thi khoa học kỹ thuật VSEF 2019. Điều đặc biệt là cơ chế hoạt động hoàn toàn nhờ kết cấu cơ học mà không cần đến các thiết bị điện tử. Trong bài này chúng ta sẽ xem xét, tính toán cho cơ cấu đó và cải tiến, đơn giản hóa ý tưởng để giúp các bạn có sản phẩm tốt hơn.

Yêu cầu hệ thống:

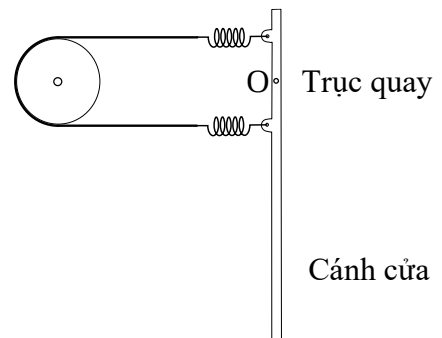
- Khi đẩy cửa vào, xả 3 lít nước để tráng bồn.
- Khi đẩy cửa ra, xả 5 lít nước để làm sạch.

1. Bộ phận chính của hệ thống được mô tả như Hình 1a (mặt cắt thẳng đứng của hệ). Các thanh trượt thẳng đứng (1) và (2) kích hoạt van xả nước khi chúng bị đẩy lên trên. Thanh nằm ngang AB sẽ tịnh tiến sang trái khi cửa được đẩy vào và tịnh tiến sang phải khi cửa đẩy ra. Trên AB có một nêm với tiết



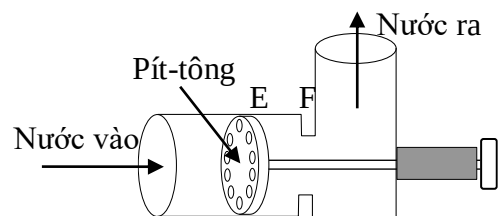
diện ngang là tam giác MNP. Áp lực $\vec{F}$ thẳng đứng xuống dưới do các van tác dụng lên thanh trượt AB có độ lớn 20 N. Các thanh cần trượt lên ít nhất 5 cm để kích hoạt các van xả nước. Hãy tính kích thước nhỏ nhất của đáy NP và chiều cao tam giác MNP để có thể mở cửa một cách nhẹ nhàng với lực đẩy lên thanh trượt AB không quá 5 N. Bỏ qua mọi ma sát.

2. Để cải tiến hệ thống trên, đề xuất thứ nhất là thay thanh trượt ngang AB bằng cơ cấu ròng rọc có bán kính R_0 như Hình 1b (hệ thống nhìn từ trên xuống). Cần tính toán để sao cho dây (không khối lượng) không bị trượt khi mở cửa. Cho hệ số ma sát giữa dây và ròng rọc là μ , gia tốc góc lớn nhất của cánh cửa khi mở là $\gamma_{\max}$, mô-men quán tính của cơ cấu ròng rọc là I (đối với trục quay cố định là trục của ròng rọc). Tìm lực căng ban đầu tối thiểu của dây để dây không bị trượt trên ròng rọc khi mở cửa.



Hình 1b

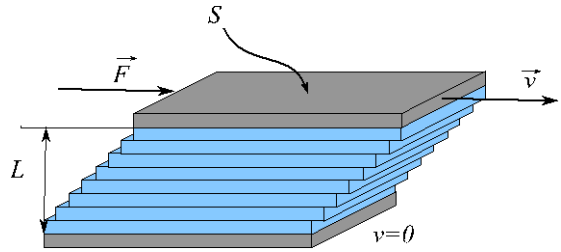
3. Trong thiết kế ban đầu, các van xả là hệ thống thùng chứa và van nổi khá cồng kềnh. Trong tính toán này ta sẽ xem xét đề xuất thứ hai là thay hệ thống các van xả bằng hệ thống van khóa chậm cấu tạo như Hình 1c. Pít-tông hình trụ tròn có khối lượng $m=100$ g, chiều dài $\ell=3$ mm, trên nó có khoan $n=25$ lỗ hình trụ tròn song song với trục của pít-tông, các lỗ được chế tạo đủ nhỏ để gần đúng có thể coi dòng nước chảy qua thành lớp. Bán kính tiết diện ngang của pít-tông là $R=3$ cm, bán kính tiết diện ngang của mỗi lỗ là $r=2$ mm. Khi pít-tông ở vị trí F các lỗ trên pít-tông bị



Hình 1c.

bịt kín. Trên quãng đường EF = 6 cm, hiệu áp suất nước ở hai mặt pít-tông là $\Delta p = 28,66$ Pa và không thay đổi. Độ nhớt của nước ở nhiệt độ phòng là $\eta = 1,0 \cdot 10^{-3}$ Pa.s. Để lượng nước xả đúng bằng 3 lít mỗi khi pít-tông di chuyển từ E đến F, ta cần chế tạo hệ thống tạo lực cản có độ lớn không đổi tác dụng lên pít-tông. Tính độ lớn của lực cản này. Bỏ qua ma sát giữa pít-tông và thành ống nước.

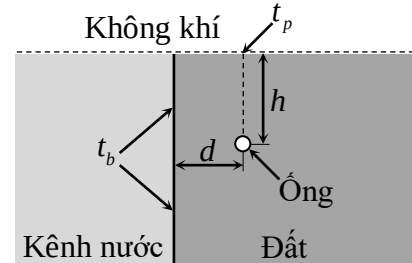
Gọi ý: độ nhớt của chất lưu được định nghĩa theo công thức $\eta = \frac{F.L}{S.v}$, trong đó F là lực cản tác dụng lên lớp chất lưu trên cùng để duy trì vận tốc v của nó so với lớp đứng yên cách nó một khoảng L , S là diện tích của bề mặt tiếp xúc của lớp chất lưu như mô tả trên Hình 1d.



Hình 1d

CÂU II (4,0 điểm)

Năng lượng nhiệt được lấy ra khỏi nhà máy điện bằng các ống kim loại bên trong chứa đầy nước. Ống chạy trong lòng đất ở độ sâu h tính từ mặt đất và ở khoảng cách d từ một kênh dẫn nước chạy song song với ống (Hình 2). Biết nhiệt độ của mặt đất ở ngay phía trên ống là t_p và nhiệt độ của nước ở phần tiếp xúc với đất là t_b .



Hình 2

Ta sử dụng các giả thiết sau:

- Mặt đất phẳng và nằm ngang, không có nhiệt truyền qua nó lên không khí (giả thiết không khí là vật liệu cách nhiệt). Độ dẫn nhiệt của đất là σ và như nhau ở mọi điểm.
- Kênh nước có độ sâu vô hạn và chứa nước đầy tới mặt đất, bờ kênh thẳng đứng và có nhiệt độ tại mọi điểm đều bằng t_b .
- Đất là đồng chất, nhiệt độ tại mọi điểm của nó không thay đổi theo thời gian.
- Đường kính ống nhỏ hơn rất nhiều so với h và d và nhiệt độ của ống không đổi.
- Không có nhiệt truyền do bức xạ.

1. Tìm công suất truyền nhiệt từ một đơn vị dài của ống, tức là lượng nhiệt tỏa ra đất trong một đơn vị thời gian từ một đơn vị độ dài ống theo σ, t_p, t_b, d và h .

2. Biết bán kính ống là R , tìm biểu thức tính nhiệt độ của nó theo σ, t_p, t_b, d, h và R .

3. Tính số cho cả hai ý trên với $h = 3\text{m}$, $d = 2\text{m}$, $t_p = 10^\circ\text{C}$, $t_b = 4^\circ\text{C}$, $R = 10\text{cm}$, độ dẫn nhiệt của đất $\sigma = 0,7\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Gợi ý: Theo định luật Fourier, nhiệt lượng δQ truyền trong thời gian dt qua diện tích dS đặt vuông góc với trục Ox mà dọc theo nó nhiệt độ T thay đổi là $\delta Q = -\sigma \frac{dT}{dx} dS dt$. Dấu trừ cho thấy nhiệt năng được truyền từ nơi có nhiệt độ cao về nơi có nhiệt độ thấp hơn.

CÂU III (4,0 điểm)

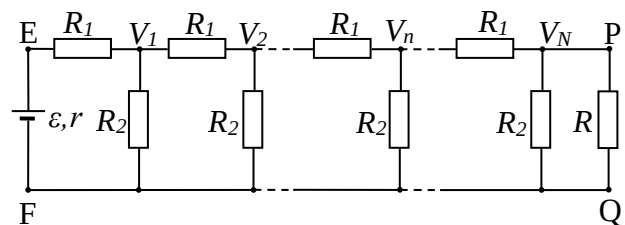
1. Một mạch điện gồm N các cặp điện trở R_1, R_2 được mắc với nhau một cách tuần hoàn (Hình 3a). Nguồn điện có suất điện động $\varepsilon = 18\text{V}$, điện trở trong $r = 2\Omega$.

a) Tính cường độ dòng điện qua điện trở R khi $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 6\Omega$, $R = 16\Omega$, $N = 19$.

b) Bỏ nguồn ε và điện trở R . Đầu mạch bên trái được nuôi bởi nguồn điện một chiều có hiệu điện thế U_0 có cực dương nối vào E, cực âm nối vào F; đầu mạch bên phải được nuôi bởi một nguồn điện một chiều có hiệu điện thế U_1 với cực dương nối vào P, cực âm nối vào Q và $U_1 < U_0$. Chọn gốc điện thế tại F.

b1) Phương trình thể hiện mối quan hệ giữa điện thế V_n, V_{n-1}, V_{n+1} tại các nút mạng thứ $n, n-1, n+1$ có dạng

$$V_{n-1} + V_{n+1} = \alpha V_n. \quad (1)$$



Hình 3a

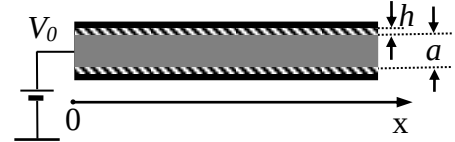
Tìm α theo R_1, R_2 .

b2) Biết nghiệm V_n của phương trình (1) có dạng $V_n = C\lambda^n$, với λ là đại lượng không thứ nguyên, C là hằng số.

- Tồn tại hai giá trị của λ là λ_1, λ_2 thỏa mãn (1). Khi đó nghiệm tổng quát có dạng $V_n = A\lambda_1^n + B\lambda_2^n$ (A, B là những hệ số). Tìm λ_1, λ_2 theo R_1, R_2 và A, B theo U_1, U_0, R_1, R_2, N .

- Cho $U_0 = 2U_1, R_2 = 20R_1, N = 19$. Tìm giá trị của n để tỉ số V_n/U_0 nhỏ nhất.

2. Một dây cáp rất dài, tiết diện tròn, được cấu tạo từ một lõi đồng có đường kính $a = 1 \text{ mm}$ và điện trở suất $\rho_1 = 2 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$; bao xung quanh là một lớp sơn cách điện có độ dày $h = 20 \mu\text{m}$ và điện trở suất $\rho_2 = 2 \cdot 10^8 \Omega \cdot \text{m}$; ngoài cùng là một lớp kim loại mỏng, dẫn điện tốt. Điện thế đặt vào một đầu lõi đồng là $V_0 = 100 \text{ V}$, đầu còn lại ở vô hạn và coi như nối đất (Hình 3b). Ngoài ra, lớp kim loại ngoài cùng cũng được coi như nối đất. Mạch điện trong ý 1 là mô hình gần đúng tốt để mô tả hiện tượng rò điện xảy ra trong dây cáp ở Hình 3b, trong đó các điện trở R_1 mô tả sự cản trở dòng điện đi dọc theo lõi đồng, còn các điện trở R_2 mô tả sự cản trở dòng điện rò từ lõi đồng ra lớp kim loại ngoài cùng qua lớp sơn cách điện.



Hình 3b

a) Tìm biểu thức của cường độ dòng điện trong lõi đồng ở điểm cách đầu 0 của sợi dây một khoảng là x .

b) Tìm cường độ dòng điện tại đầu dây cáp có $x = 0$. Ở khoảng cách nào thì cường độ dòng điện sẽ giảm một nửa?

Biết: $(1 + \beta\delta)^{x/\delta} \approx e^{\beta x}$, với β là một hằng số, $\delta \rightarrow 0$.

CÂU IV (4,0 điểm)

Giải Nobel Vật lý năm 2018 được trao cho ba nhà khoa học là A. Ashkin, G. Mourou và D. Strickland vì “những phát minh mang tính đột phá trong lĩnh vực vật lý laser” của họ. Trong bài này chúng ta tìm hiểu những nguyên lý cơ bản của laser.

Bộ phận chính của máy phát laser là hộp khuếch đại gồm môi trường hoạt chất có chiết suất n được chứa trong một hốc được coi là vật đen tuyệt đối. Hai đầu, dọc theo phương phát chùm laser, có hai gương với hệ số phản xạ lớn giúp môi trường hoạt chất có khả năng khuếch đại ánh sáng. Để đơn giản ta hãy xét laser hai mức, tức là các nguyên tử của môi trường hoạt chất có hai mức năng lượng là E_1 (gọi là mức 1) và E_2 (gọi là mức 2) với $E_2 > E_1$. Xét trong một đơn vị thể tích môi trường hoạt chất, gọi N_1, N_2 lần lượt là số nguyên tử ở mức 1 và mức 2. Các nguyên tử ở mức 1 có thể chuyển lên mức 2 bằng cách hấp thụ photon có tần số f_{21} thỏa mãn công thức

$$hf_{21} = E_2 - E_1,$$

với h là hằng số Planck. Do quá trình này mà sự thay đổi số nguyên tử ở mức 2 theo thời gian được tính theo công thức

$$\frac{dN_2}{dt} = B_{12}\rho N_1,$$

trong đó ρ là mật độ bức xạ có tần số f_{21} .

Từ mức 2, các nguyên tử có thể chuyển về mức 1 theo hai cách:

- Chuyển tự phát: là cách chuyển ngẫu nhiên, không phụ thuộc vào yếu tố bên ngoài và bức xạ phát ra được gọi là bức xạ tự phát. Với cách chuyển này, sự thay đổi số nguyên tử ở mức 1 theo thời gian được xác định theo công thức

$$\frac{dN_1}{dt} = AN_2.$$

- Chuyển cảm ứng: là cách chuyển phụ thuộc vào yếu tố bên ngoài và bức xạ phát ra gọi là bức xạ cảm ứng. Cách chuyển này làm cho sự thay đổi số nguyên tử ở mức 1 theo thời gian tuân theo công thức

$$\frac{dN_1}{dt} = B_{21}\rho N_2.$$

Trong các công thức trên A, B_{12}, B_{21} là các hệ số dương, chỉ phụ thuộc vào bản chất của môi trường hoạt chất (được gọi là các hệ số Einstein). Khi có cân bằng nhiệt động ở nhiệt độ T , số nguyên tử ở các mức năng lượng tuân theo phân bố Boltzmann

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp\left(-\frac{E_2 - E_1}{k_B T}\right),$$

với k_B là hằng số Boltzmann.

1. Thiết lập công thức liên hệ giữa các hệ số Einstein và ρ, f_{21}, T, h, k_B khi môi trường hoạt chất ở trạng thái cân bằng nhiệt động.

2. Mật độ bức xạ có tần số f_{21} thỏa mãn công thức Planck

$$\rho = \frac{8\pi h f_{21}^3}{(c/n)^3} \left[\exp\left(\frac{hf_{21}}{k_B T}\right) - 1 \right]^{-1}, \quad (2)$$

trong đó c là tốc độ ánh sáng trong chân không, n là chiết suất của môi trường hoạt chất. Thời gian sống trung bình của nguyên tử ở mức 2 đối với quá trình chuyển tự phát từ mức 2 về mức 1 là τ . Tìm A, B_{12}, B_{21} theo n, f_{21}, τ, h, c .

3. Để đặc trưng cho khả năng khuếch đại ánh sáng của môi trường hoạt chất ta sử dụng *hệ số tăng cường độ chùm laser*. Hệ số tăng cường độ được định nghĩa theo công thức

$$\gamma(f) = (N_2 - N_1) B_{21} \frac{nhf}{c} q(f),$$

trong đó $q(f)$ là hàm *cường độ vạch phổ*, nó phụ thuộc vào tần số f , độ rộng Δf của vạch phổ và phải thỏa mãn điều kiện chuẩn hóa. Để thuận tiện trong tính toán, điều kiện chuẩn hóa được chọn dưới dạng

$$\int_{-\infty}^{\infty} q(f) df = 1.$$

Xét cho máy phát laser khí He-Ne với chiết suất $n \approx 1$ có $\Delta N = N_2 - N_1 = 5,1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, bước sóng 632,8 nm, $\tau = 1,061 \cdot 10^{-9} \text{ s}$. Khối lượng nguyên tử khí Ne là $m = 20,18 \text{ u}$. Sau đây ta xem xét một cách độc lập ảnh hưởng của một số nguyên nhân khác nhau lên độ rộng vạch phổ.

a) Nguyên nhân đầu tiên gây ra độ rộng của vạch phổ là do sự bất định giữa năng lượng và thời gian. Trong trường hợp này hàm cường độ vạch phổ có dạng

$$q(f) = \frac{M}{(f - f_{21})^2 + (\Delta f / 2)^2},$$

với M là hệ số chuẩn hóa. Tính hệ số tăng cường độ ứng với tần số $f = f_{21}$.

b) Do các nguyên tử chuyển động nhiệt ở nhiệt độ phòng T_R mà vạch phổ có độ rộng do hiệu ứng Doppler. Lúc này hàm cường độ vạch phổ có dạng

$$q(f) = Q \exp\left(-\frac{mv^2}{2k_B T_R}\right),$$

với v là tốc độ chuyển động nhiệt của nguyên tử Ne, Q là hệ số chuẩn hóa. Tính hệ số tăng cường độ ứng với tần số $f = f_{21}$ tại $T_R = 300 \text{ K}$.

4. Xét một máy phát laser với môi trường hoạt chất là khí He-Ne có chiết suất $n \approx 1$, chứa trong hốc hình trụ tròn có đường kính 1 mm. Khi hoạt động, chùm laser phát ra có đường kính tiết diện ngang bằng 1 mm, bước sóng 632,8 nm với độ rộng tần số $1,5 \cdot 10^8 \text{ Hz}$ và công suất $P = 1,0 \text{ mW}$. Hệ số phản xạ của gương là 99%. Giả thiết công suất chùm laser phân bố đều trên tiết diện ngang của hốc thì mật độ cường độ I của chùm laser là công suất bức xạ của hốc trên một đơn vị tiết diện ngang của chùm laser trên một đơn vị độ rộng tần số và mật độ bức xạ là

$\rho = I / c$. Tính nhiệt độ theo công thức (2) của môi trường hoạt chất tại gần gương mà chùm laser phát ra.

Lấy $h = 6,625.10^{-34}$ J.s, $c = 3.10^8$ m.s⁻¹, $k_B = 1,38.10^{-23}$ J.K⁻¹, $u = 1,66.10^{-27}$ kg.

Cho tích phân $\int_{-\infty}^{\infty} e^{-ax^2} dx = \sqrt{\pi/a}, a > 0$.

CÂU V (4,0 điểm) (Thí sinh làm câu này trên Phiếu trả lời Câu V)

Công suất bức xạ nhiệt từ bề mặt diện tích S của một vật được nung nóng đến nhiệt độ T tuân theo định luật Stefan-Boltzmann $P = \alpha \sigma S(T^n - T_0^n)$, trong đó $n \geq 4$, hằng số Stefan-Boltzmann $\sigma = 5,67.10^{-8}$ W.m⁻².K⁻⁴, T_0 là nhiệt độ môi trường. Với vật đen tuyệt đối $\alpha = 1$, với vật không phải vật đen tuyệt đối thì $\alpha < 1$. Bài này khảo sát sự phát xạ của dây tóc bóng đèn sợi đốt với gần đúng $\alpha = 0,6$. Bỏ qua sự dẫn nở nhiệt của dây tóc và coi kích thước của nó không phụ thuộc vào nhiệt độ.

Cho các dụng cụ sau:

- Nguồn điện một chiều phù hợp, có hiệu điện thế thay đổi được.
- Một vôn kế có thang đo mili vôn (với độ chính xác 0,1 mV) và thang đo vôn (với độ chính xác 0,1 V).
- Một ampe kế có thang đo mili ampe (với độ chính xác 0,1 mA) và thang đo ampe (với độ chính xác 0,01 A).
- Một bóng đèn dây tóc.
- Điện trở bảo vệ, dây nối.

Bỏ qua ảnh hưởng của vôn kế và ampe kế đến mạch điện. Lấy sai số của dụng cụ đo bằng độ chính xác của dụng cụ đo.

Yêu cầu:

1. Vẽ sơ đồ mạch điện, nêu chi tiết cách đo để được số liệu ở Bảng 1 và Bảng 2 về hiệu điện thế U giữa hai đầu dây tóc và cường độ dòng điện I chạy qua dây tóc.
2. Ở miền hiệu điện thế nhỏ ta thu được số liệu ở Bảng 1.

Bảng 1

U (mV)	90,0	110,0	130,0	150,0	180,0
I (mA)	24,6	30,0	35,4	40,8	48,8

Xử lý số liệu trên để tìm điện trở của dây tóc bóng đèn ở nhiệt độ phòng (27°C).

3. Ở vùng nhiệt độ từ 300 K trở lên, điện trở suất ρ của dây tóc bóng đèn (đo theo đơn vị $\Omega.m$) phụ thuộc nhiệt độ T (đo theo đơn vị K) gần đúng theo công thức $T = 3,05.10^3 \rho^{0,83}$. Coi toàn bộ điện năng do bóng đèn tiêu thụ đều chuyển thành năng lượng bức xạ của dây tóc. Khi đèn bắt đầu sáng, số liệu thu được ở Bảng 2.

Bảng 2

U (V)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
I (A)	0,33	0,35	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45	0,46	0,48	0,50	0,51	0,53	0,54

- a) Xây dựng công thức xác định n dựa vào số liệu trên. Xử lý bảng số liệu này để tính n .
- b) Tìm bán kính tiết diện ngang và chiều dài của dây tóc bóng đèn này ở nhiệt độ phòng.

HẾT

Ghi chú:

- Thí sinh không được sử dụng tài liệu.
- Cán bộ coi thi không giải thích gì thêm.