

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

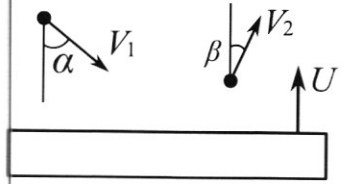
Класс 11

Вариант 11-01

Шифр

(заполняется секретарём)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость $V_1 = 8$ м/с, направленную под углом α ($\sin \alpha = \frac{3}{4}$) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2 , составляющей угол β ($\sin \beta = \frac{1}{2}$) с вертикалью.



1) Найти скорость V_2 .

2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.

Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

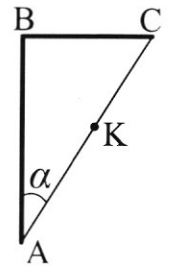
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится азот, во втором – кислород, каждый газ в количестве $\nu = 3/7$ моль. Начальная температура азота $T_1 = 300$ К, а кислорода $T_2 = 500$ К. Температуры газов начинают медленно выравниваться, а поршень начинает медленно двигаться. Газы считать идеальными с молярной теплоемкостью при постоянном объеме $C_V = 5R/2$. $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

1) Найти отношение начальных объемов азота и кислорода.

2) Найти установившуюся температуру в сосуде.

3) Какое количество теплоты передал кислород азоту?

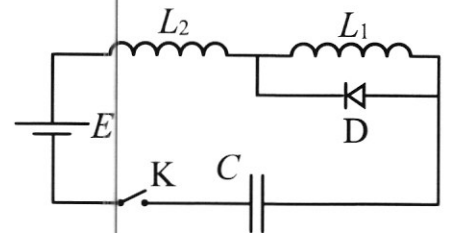
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?

2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 2\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/7$. Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС E , катушек с индуктивностями $L_1 = 2L$, $L_2 = L$, конденсатора емкостью C , диода D (см. рис.). Ключ К разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в L_1 .

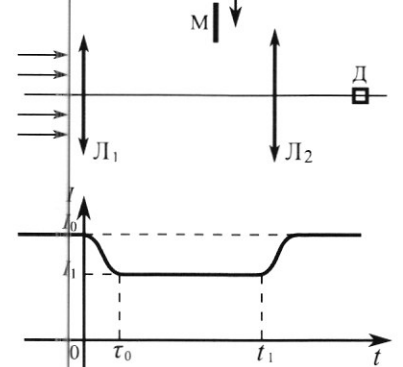


1) Найти период T этих колебаний.

2) Найти максимальный ток I_{M1} , текущий через катушку L_1 .

3) Найти максимальный ток I_{M2} , текущий через катушку L_2 .

5. Оптическая система состоит из двух соосных тонких линз L_1 и L_2 (см. рис.) с фокусным расстоянием F_0 у каждой. Расстояние между линзами $3F_0$. Диаметры линз одинаковы и равны D , причем D значительно меньше F_0 . На линзу L_1 падает параллельно оси системы пучок света с одинаковой интенсивностью в сечении пучка. Прошедший через обе линзы свет фокусируется на фотодетекторе Д, на выходе которого сила тока пропорциональна мощности падающего на него света. Круглая непрозрачная мишень М, плоскость которой перпендикулярна оси системы, движется с постоянной скоростью перпендикулярно оси системы так, что центр мишени пересекает ось на расстоянии $2F_0$ от L_1 . На рисунке показана зависимость тока I фотодетектора от времени t (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1 = 3I_0/4$.



1) Найти расстояние между линзой L_2 и фотодетектором.

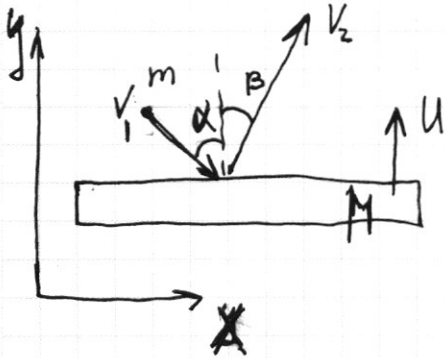
2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1 .

Известными считать величины F_0 , D , τ_0 .

N.J.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1



ЗСУ:

$$Ox: m v_1 \sin \alpha = m v_2 \sin \beta$$

$$Oy: M u - m v_1 \cos \alpha = M u_y + m v_2 \cos \beta$$

$$\frac{m M u}{2} \quad v_2 = v_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \approx 8 \cdot \frac{3}{4} \cdot 2 = 12 \text{ м/с}$$

$$\text{ЗСЭ: } \frac{M u^2}{2} + \frac{m v_1^2}{2} = \frac{m v_2^2}{2} + \frac{M u_y^2}{2} + Q$$

$$> (u^2 - u_y^2) + (v_1^2 - v_2^2) \frac{m}{M} \approx \frac{Q}{M} > 0$$

$$0 \leq u_y \leq u$$

$$u + \frac{m}{M} (v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta) = u - u_y$$

$$u_y = \frac{m}{M} (v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta) + u$$

$$\frac{m}{M} (v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta) (u + u_y) + (v_1^2 - v_2^2) \frac{m}{M} > 0$$

$$(v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta) (2u + \frac{m}{M} (v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta)) + (v_1^2 - v_2^2) > 0$$

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta} \neq \frac{m}{M} (v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta) < 2u \quad 0 < \alpha$$

при $m \leq M$:

или:

$$2u > \frac{144 - 64}{2\sqrt{7} + 6\sqrt{3}} + 2\sqrt{7} + 6\sqrt{3}$$

$$u > \left(\frac{20}{\sqrt{7} + 3\sqrt{3}} + \sqrt{7} + \sqrt{3} \right) \text{ м/с}$$

$$\frac{m}{M} (v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta) > u$$

$\leftarrow 2u$

$$\frac{m}{M} (v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta) \geq u$$

$$U_y = U - \frac{m}{M} (V_1 \cos \alpha + V_2 \cos \beta)$$

$$U_y \leq U$$

$$-U \leq -\frac{m}{M} (V_1 \cos \alpha + V_2 \cos \beta) \leq 2U$$

$$U \geq \frac{m}{M} (V_1 \cos \alpha + V_2 \cos \beta)$$

$$U \geq \frac{m}{M} (2\sqrt{7} + 6\sqrt{3})$$

$$U \geq -\frac{m}{M} (\sqrt{7} + 3\sqrt{3})$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \frac{9}{16}} = \frac{\sqrt{7}}{4}$$

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \frac{1}{4}} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$7 \leq 8$$

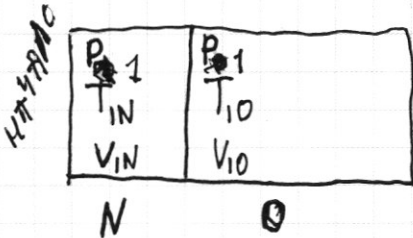
$$-4 \leq -2$$

$$U - \frac{m}{M} (V_1 \cos \alpha + V_2 \cos \beta) \leq U$$

$$0 \leq \frac{m}{M} (V_1 + \dots)$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N2 $\gamma = \frac{5}{3}$ моль $T_{1N} = 300K, T_{10} = 500K, C_V = \frac{5}{2}R$



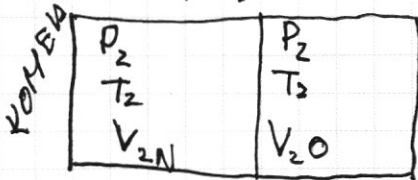
$$P_1 V_{1N} = \gamma R T_{1N}$$

$$P_1 V_{10} = \gamma R T_{10}$$

$$\frac{V_{1N}}{V_{10}} = \frac{T_{1N}}{T_{10}} = \frac{5}{3}$$

$$V_{\text{ср}} = V_{1N} + V_{10} = \frac{8}{3} V_{10}$$

$$V_{\text{ср}} = \frac{8}{3} V_{1N}$$



$$P_2 V_{2N} = \gamma R T_2$$

$$P_2 V_{20} = \gamma R T_2 \Rightarrow V_{20} = V_{2N} = V_2$$

$$V_{2N} = \frac{V_{\text{ср}}}{2}$$

$$V_{11} = \frac{5}{8} V_{\text{ср}}$$

$$\frac{V_{1N}}{V_{2N}} = \frac{5/8}{1/2} = \frac{5}{4}$$

$$Q = \int P dV + \gamma C_V \Delta T$$

для N: $\int P dV + \gamma C_V (T_2 - T_{1N}) = Q$

для 0: $-\int P dV + \gamma C_V (T_2 - T_{10}) = -Q$

②: $\gamma C_V (2T_2 - T_{1N} - T_{10}) = 0 \Rightarrow T_2 = \frac{T_{1N} + T_{10}}{2} = 400K$

~~$\int P dV = Q - \gamma C_V (T_2 - T_{1N})$~~

~~$= Q - \gamma C_V$~~

$2Q = 2 \int P dV + \gamma C_V (T_{10} - T_{1N})$

$PV^\gamma = \text{const} \Rightarrow$ см. Серая

~~$\int P dV =$~~
адиабатический

~~$P \frac{C_V + R}{C_V} = PV^{\frac{C_V + R}{C_V}} = \text{const}$~~

$Q = \frac{\gamma R T_2}{4} + \gamma C_V (T_2 - T_{1N})$

$P_1 = P_2 = P$

$\Rightarrow P = \text{const}$

$P_2 (V_{2N} - V_{1N}) = \gamma R T_2 \left(1 - \frac{V_{1N}}{V_{2N}}\right) = -\frac{\gamma R T_2}{4}$

$$Q = 2C_v(T_e - T_{in}) - \frac{2RT_2}{4} = 3 \cdot 2R \left(\frac{5}{2}T_2 - \frac{5}{2}T_{in} - \frac{1}{4}T_2 \right)$$

$$\Rightarrow 2R \left(\frac{9}{2}T_2 - \frac{5}{2}T_{in} \right) = \frac{3}{7} \cdot 8,31 \left(\frac{9}{2} \underset{1800}{400} - \frac{5}{2} \underset{750}{300} \right) = 450 \cdot 8,31 =$$

$$\approx 3740 \text{ Дж}$$

$$\begin{array}{r} 1050 \overline{) 7} \\ 350 \\ \hline 350 \\ \hline 150 \end{array}$$

$$8,31$$

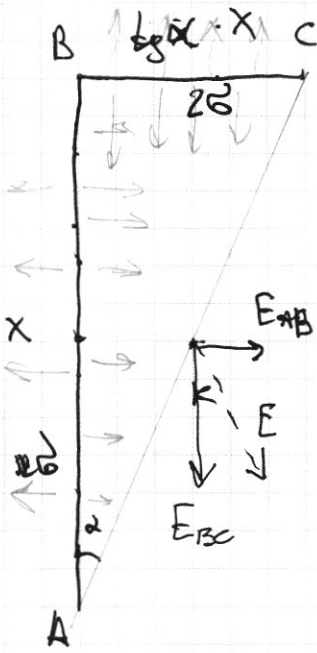
$$450$$

$$\hline 41550$$

$$3324$$

$$\hline 3739,50$$

2)



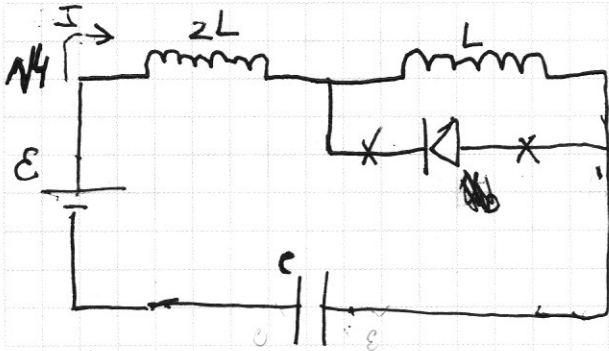
по т. Гаусса:

$$2E_{AB}S = \frac{\sigma S}{\epsilon_0} \quad E_{AB} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$2E_{BC}S = \frac{\sigma S}{\epsilon_0} \quad E_{BC} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

$$E = \sqrt{E_{AB}^2 + E_{BC}^2} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \sqrt{\frac{1}{4} + 1} = \frac{\sqrt{5}\sigma}{2\epsilon_0}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



ЭДС - напряжение источника тока
заряд

$$E = 2LI + LI + \frac{q}{C}$$

заряд батареи *заряд*

зарядки конденсатора

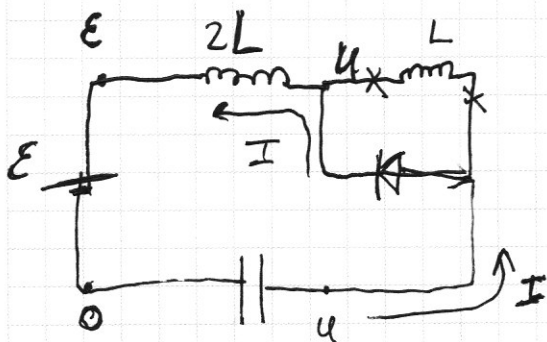
$$3L\ddot{q} + \frac{1}{C}q = E$$

$$\ddot{q} + \frac{1}{3LC}(q - EC) = 0$$

время зарядки

$$T_3 = \frac{1}{\omega_3} = \frac{1}{\sqrt{3LC}}$$

разрядка конденсатора



$$E = 2L\dot{i} + U$$

$$U = \frac{q}{C}$$

$$0 < U < E$$

$$0 < q < EC$$

$$E = 2L\dot{i} + \frac{q}{C}$$

$$\ddot{q} + \frac{1}{2LC}(q - EC) = 0$$

$$T_p = \pi\sqrt{2LC}$$

время разрядки

$$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{2LC}}$$

$$T = T_3 + T_p = \pi\sqrt{LC}(\sqrt{2} + \sqrt{3})$$

период

$$t_3 = 0$$

$$t_p = 0$$

$$q_3(t) = EC \cos(\omega_3 t_3) (1 - \cos(\omega_3 t_3))$$

$$q(t) = A \cos(\omega t) + EC$$

$$E_p = 0$$

$$q_p = EC$$

$$q_p(t) = EC (1 - \cos(\omega_p t_p))$$

$$I_p(t) = \dot{q}_p = EC \omega_p \sin(\omega_p t_p)$$

$$I_{p \max} = E\sqrt{\frac{C}{2L}} = I_{M2}$$

$$I_3(t) = EC \omega_3 \sin(\omega_3 t_3)$$

$$I_{3 \max} = E\sqrt{\frac{C}{3L}} = I_{M1}$$

$$q(t) = \varepsilon C = A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t) \Rightarrow I(t) = -A\omega \sin(\omega t) + B\omega \cos(\omega t)$$

$$t=0$$

$$q(0) = \varepsilon C = A$$

$$I(0) = B\omega$$

$$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{2LC}}$$

$$- \varepsilon C$$

$$\dot{I}(t) = -A\omega^2 \cos(\omega t) - B\omega^2 \sin(\omega t)$$

$$\dot{I}(0) = -A\omega^2 = 0$$

разрядка: $q_p(0) = \varepsilon C$

$$A = \varepsilon C$$

$$B = I(0) \omega_p$$

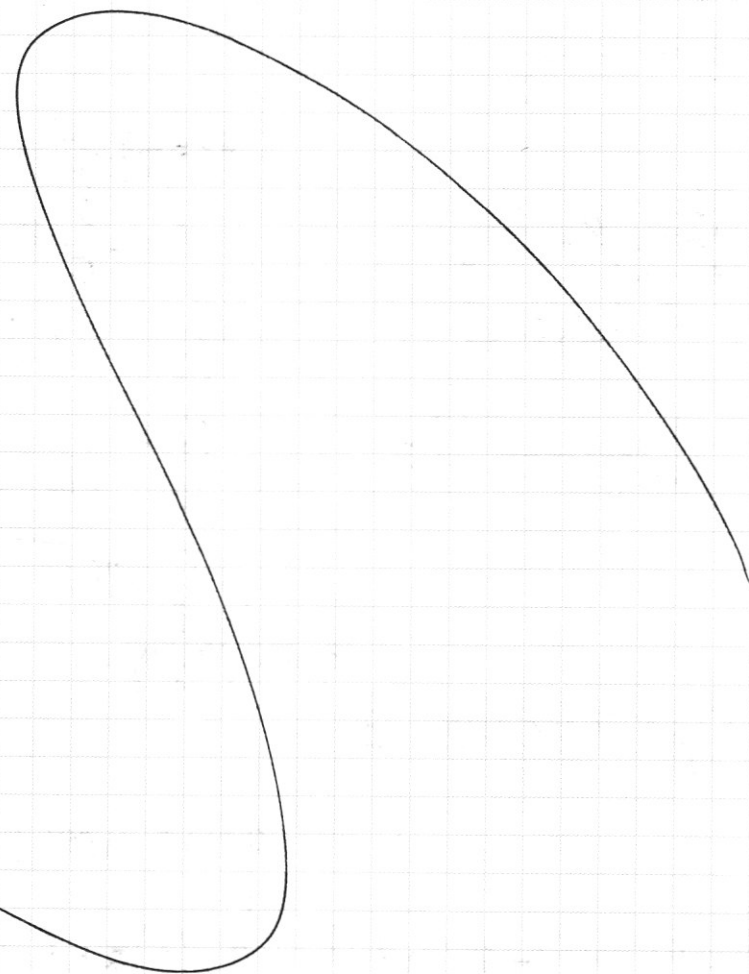
$$q_p(t) = \varepsilon C (1 - \sin(\omega t))$$

зарядка: $q_p(0) = 0$

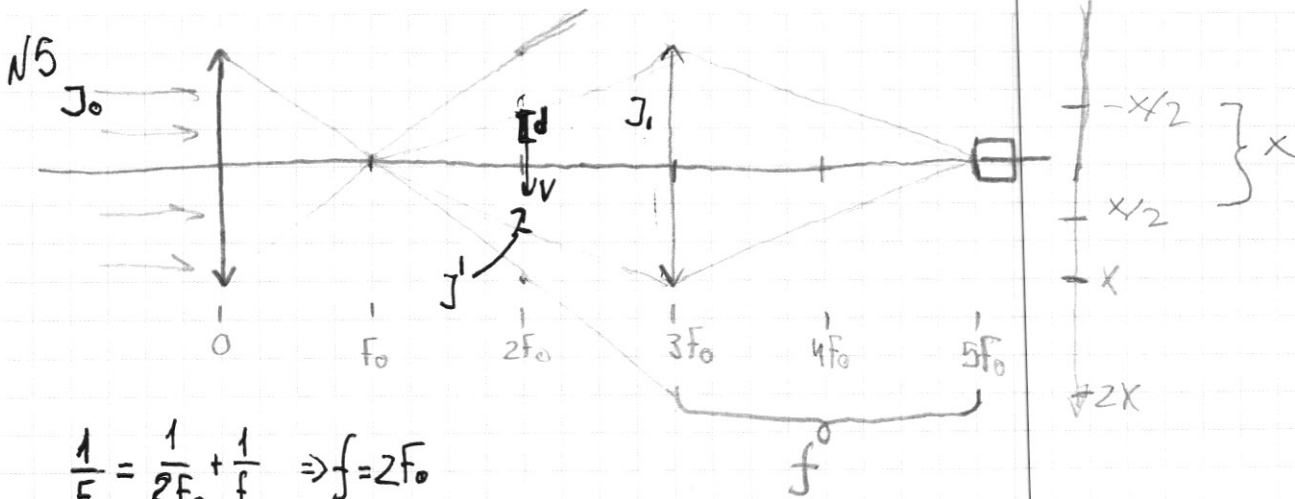
$$A = -\varepsilon C$$

$$B\omega = 0$$

$$q_p(t) = \varepsilon C (1 - \cos(\omega t))$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\frac{1}{f_0} = \frac{1}{2f_0} + \frac{1}{f} \Rightarrow \underline{f = 2f_0}$$

$$J_0 \pi x^2 = J_1 \pi (2x)^2 \quad J_1 = \frac{J_0}{4}$$

$$P_0 = J_0 \pi x^2 \quad P_1 = \alpha J_1 = \frac{\alpha}{2} J_0$$

$$V = \frac{x}{t_1} \quad V = \frac{d}{t_0}$$

$$J_1 \pi \left(\frac{x}{2}\right)^2 = J_1 \pi x^2 \quad J_1 = 4J_1$$

$$I_1 \quad P_1 = J_1 \pi \left(x^2 - \frac{x^2}{4}\right)$$

$$P_1 = J_1 \pi (x^2 - d^2) = J_1 \pi (x^2 - d^2)$$

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{P_1}{P_0} = \frac{x^2 - d^2}{x^2} = \frac{3}{4}$$

$$P_0 = J_1 \pi x^2$$

$$4x^2 - 4d^2 = 3x^2$$

$$4d^2 = x^2 \Rightarrow d = \frac{x}{2} = \frac{D}{2}$$

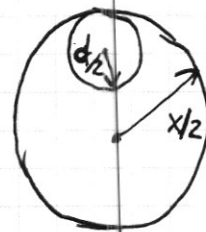
$$t_0 = t_0$$

$$x = D$$

$$V = \frac{D}{2t_0}$$

$$\frac{x}{t_1} = \frac{x}{2t_0}$$

$$t_1 = 2t_0$$



10/10

10/10