

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

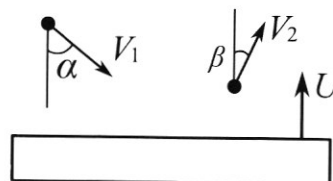
Класс 11

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.

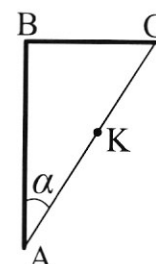


- 1) Найти скорость V_2 .
 - 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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).

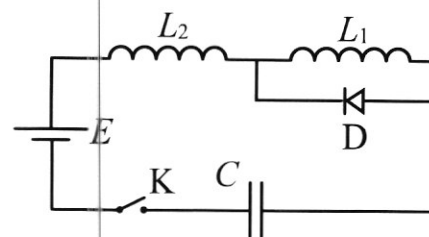
- 1) Найти отношение начальных объемов азота и кислорода.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал кислород азоту?

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.



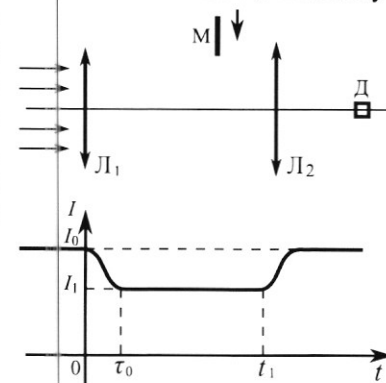
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно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

N1

$$V_1 = 8 \frac{M}{C}$$

$$\sin \alpha = \frac{3}{4}$$

$$\sin \beta = \frac{1}{2}$$



$$1) V_2 = ? \quad O_x: mV_1 \sin \alpha = mV_2 \sin \beta$$

$$V_2 = \frac{V_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{8 \cdot \frac{3}{4}}{\frac{1}{2}} = 12 \left(\frac{M}{C} \right)$$

$$2) O_y: V_1 \cos \alpha + 2u = V_2 \cos \beta$$

$$u = \frac{V_2 \cos \beta - V_1 \cos \alpha}{2} = \frac{V_2 \sqrt{1 - \sin^2 \beta} - V_1 \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}}{2} =$$

$$= \frac{12 \sqrt{1 - \frac{1}{4}} - 8 \cdot \sqrt{1 - \frac{9}{16}}}{2} \approx \frac{3\sqrt{3} - \sqrt{7}}{1} \approx 2,56 \left(\frac{M}{C} \right)$$

Ответ: 1) $12 \frac{M}{C}$ 2) $2,56 \frac{M}{C}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N_1
 $u_1, v_1, \sin \alpha = \frac{3}{4}, \sin \beta = \frac{1}{2}$

1) v_2 - ?
 2) u - ?

$O_x: m v_1 \sin \alpha = m v_2 \sin \beta$ $v_2 = \frac{v_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{8 \cdot \frac{3}{4}}{\frac{1}{2}} = 12 \frac{m}{c}$

$O_y: m v_1 \cos \alpha = m v_2 \cos \beta$

$O_y: \Delta p = m \cos \beta v_2 - (-\cos \alpha v_1) + u m = m(v_2 \sqrt{1 - \sin^2 \beta} + \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} v_1 + u)$

N_2 O_2

$v = \frac{3}{4}$ моль $T_1 = 500 K$ $T_2 = 500 K$ $C_v = \frac{5}{2} R$

1) $\frac{v_2}{v_1}$ - ? $v_1 p_1 = v R T_1$ $p_1 = p_2$
 $v_2 p_2 = v R T_2$ $\frac{T_1}{v_1} = \frac{T_2}{v_2}$ $\frac{v_2}{v_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{5}{3}$

2) T_0 - ? $\Delta u_1 + A_1 = \Delta u_2 + A_2$

$A_1 = -A_2$ $\frac{5}{2} v R (T_0 - T_1) + p(-v_1 + v_2) = \frac{5}{2} v R (T_0 - T_2) + p(v_{02} - v_2)$

$\frac{5}{2} v R (T_2 - T_1) = p v_{02} - p v_2 + p v_1 - p v_1$

$u_1 = \frac{5}{2} v R T_1$ $u_0 = \frac{5}{2} v R T_0$
 $u_2 = \frac{5}{2} v R T_2$ $u_{02} = \frac{5}{2} v R T_0$

$\frac{p v_1}{T_1} = \frac{p_0 v_0}{T_0}$
 $\frac{p_0 v_0}{T_0} = \frac{p_2 v_2}{T_2} = v R$
 $T_0 = \frac{p_0 v_0}{v R} = \frac{4}{5} \frac{v_2 p_0}{v R}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 2

$$\nu = \frac{5}{4} \text{ моль} \quad T_1 = 300 \text{ К} \quad T_2 = 500 \text{ К} \quad C_v = \frac{5}{2} R$$

$$1) \frac{V_2}{V_1} = ? \quad \begin{aligned} P_1 V_1 &= \nu R T_1 \\ P_2 V_2 &= \nu R T_2 \end{aligned} \quad P_1 = P_2 \Rightarrow \frac{T_1}{V_1} = \frac{T_2}{V_2} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{5}{3}$$

2) $T_0 = ?$

$$\Delta V_1 = \Delta V_2, \quad P_1 = P_2 \quad \text{в любой момент времени} \Rightarrow A_1 = -A_2$$

$$\Delta U_1 + A_1 = \Delta U_2 - A_2$$

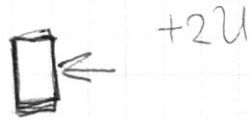
$$\Delta U_1 = \Delta U_2$$

$$\frac{5}{2} \nu R (T_0 - T_1) = \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_0)$$

$$T_0 = \frac{T_1 + T_2}{2} = 400 \text{ К}$$

$$3) Q = ? \quad Q = c m \Delta T = \frac{c m m}{\mu} \Delta T = C_m \nu \Delta T = \\ = C_v \nu (T_2 - T_0) \approx 889 \text{ Дж}$$

$$\text{Ответ: } 1) \frac{V_2}{V_1} = \frac{5}{3} \quad 2) T_0 = 400 \text{ К} \quad 3) Q = 889 \text{ Дж}$$



$$\text{Oy: } V_1 \cos \alpha + 2U = V_2 \cos \beta$$

$$2U = \frac{V_2 \cos \beta - V_1 \cos \alpha}{2} = \frac{12 \sqrt{1 - \frac{1}{4}} - 8 \cdot \sqrt{1 - \frac{9}{16}}}{2} =$$

$$= \frac{6 \sqrt{3}}{2} - \frac{4 \sqrt{7}}{4} = 3\sqrt{3} - \sqrt{7} = 3 \cdot 1,73 - 2,63 =$$

$$= 5,19 - 2,63 = 2,56$$

$$T_1 = 2\pi \sqrt{C(L_2 + L_1)}$$

$$T_2 = 2\pi \sqrt{CL_2}$$

$$T = \frac{T_1}{2} + \frac{T_2}{2} = \pi \sqrt{C} (\sqrt{L_2 + L_1} + \sqrt{L_2})$$



~~$$T = \pi \sqrt{C} \frac{D^2}{18}$$~~

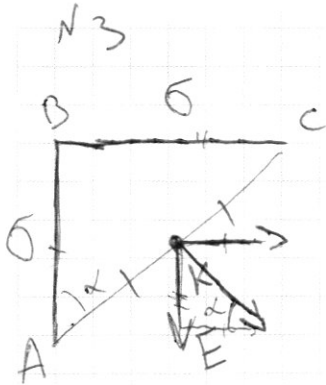
$$\sqrt{3} = 1,7$$

$$\sqrt{7} = 2,5$$

$$\begin{array}{r} \times 2,5 \quad 27 \\ \hline 125 \quad 189 \\ 50 \quad 54 \\ \hline 6,25 \quad 729 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2,6 \\ \hline 2,6 \\ \hline 156 \\ \hline 52 \\ \hline 676 \end{array}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



1) $E_{k2} = \frac{q}{2\epsilon_0} \sin \frac{\pi}{4}$

$E_{2S} = \frac{q}{2\epsilon_0}$

$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$

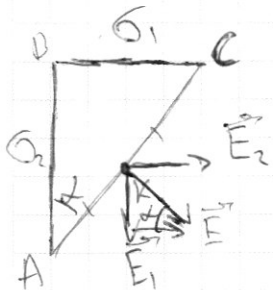
$\frac{180}{4} = 45^\circ$

$E_{k2} = \frac{E}{\sin \frac{\pi}{4}} = E\sqrt{2}$

$\frac{E_{k2}}{E_{k1}} = \frac{E_{k2}}{E} = \frac{E\sqrt{2}}{E} = \sqrt{2}$

2) $\sigma_1 = 2\sigma, \sigma_2 = \sigma, \alpha = \frac{\pi}{4}$

$E_{k-}?$



$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \sqrt{4 + 1} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \sqrt{5}$

$E_{k-} = \frac{E_1}{\sin \frac{\pi}{4}} = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \sin \frac{\pi}{4}}$

Ответ: 1) $\sqrt{2}$; 2) $\frac{\sigma}{\epsilon_0 \sin \frac{\pi}{4}}$

N4

$L_1 = 2L, L_2 = L, C$

1) T-?

2) I_{M1} -?

3) I_{M2} -?

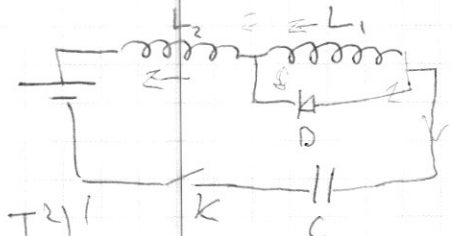
$E = L_2 \frac{\Delta I}{\Delta t} + L_1 \frac{\Delta I}{\Delta t} + CU$

$(W)' = (Eq)' = \left(\frac{q^2}{2C} + \frac{L_2 I_2^2}{2} + \frac{L_1 I_1^2}{2} \right)'$

$E\dot{q} = \frac{q\dot{q}}{C} + L_2 \dot{q}_2 \dot{q}_2 + L_1 \dot{q}_1 \dot{q}_1$

$q_1 = q_2$

$E = \frac{q}{C} + L_2 \dot{q} + \dot{q} L_1$



$(W = \frac{L I^2}{2} + \frac{q^2}{2C})'$

$L\dot{q}\dot{q} = -\frac{q\dot{q}}{C}$

$\ddot{q} = -\frac{q}{LC}$

$\frac{E - \frac{q}{C}}{L_2 + L_1} = \ddot{q}$

$\ddot{q} = \frac{E}{L_2 + L_1} - \frac{q}{C(L_2 + L_1)}$

$\omega^2 = \frac{1}{C(L_2 + L_1)} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{1}{C(L_2 + L_1)}} \Rightarrow T_1 = 2\pi \sqrt{C(L_2 + L_1)}$

$T_2 = 2\pi \sqrt{CL_2}$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №
(Нумеровать только чистовики)

$$T = \frac{T_1}{2} + \frac{T_2}{2} = \pi\sqrt{C} (\sqrt{L_2+L_1} + \sqrt{L_2})$$

$$I_L \rightarrow \max \Rightarrow \frac{\Delta I_L}{\Delta t} = 0$$

т.к. I_{M1} , на катушке 2 сила тока (I_2') также максимальна

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

$$Eq = \frac{L_1 I_{M1}^2}{2} + \frac{L_2 I_{M2}^2}{2} + \frac{CE^2}{2} = E^2 C$$

$$I_{M1} = I_{M2} = I_M$$

$$\frac{(L_1+L_2) I_M^2}{2} = \frac{CE^2}{2} \Rightarrow I_M = E \sqrt{\frac{C}{L_1+L_2}} = I_{M1}$$

При разрядке конденсатора:

$$Eq = \frac{L_2 I_{M2}^2}{2} + \frac{CE^2}{2} = E^2 C$$

$$I_{M2} = E \sqrt{\frac{C}{L_2}}$$

Ответ: 1) $T = \pi\sqrt{C} (\sqrt{L_2+L_1} + \sqrt{L_2})$ 2) $I_{M1} = E \sqrt{\frac{C}{L_1+L_2}}$ 3) $I_{M2} = E \sqrt{\frac{C}{L_2}}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$I_L \rightarrow \max \Rightarrow \frac{\Delta I_L}{\Delta t} = 0$$

$$I_{M1} \Rightarrow I_{M2}$$

$$E = \frac{q}{c}$$

$$Eq = \frac{L_1 I_{M1}^2}{2} + \frac{L_2 I_{M2}^2}{2} + \frac{CE^2}{2} = E^2 c$$

$$I_{M1} = I_{M2} = I_M$$

$$(L_1 + L_2) \frac{I_M^2}{2} = \frac{CE^2}{2} \Rightarrow I_M = E \sqrt{\frac{C}{L_1 + L_2}}$$

$$Eq = \frac{L_2 I_{M2}^2}{2} + \frac{CE^2}{2} = E^2 c$$

$$I_{M2} = E \sqrt{\frac{C}{L_2}}$$

NS

$$F_0, 3F_0; D \ll F_0, I_1 = \frac{3I_0}{4}$$

$$I \propto I_{\text{цнт}}$$

1) f_2 - ?

$$\frac{1}{F_0} = \frac{1}{2F_0} + \frac{1}{f_2}$$

2) V - ?

3) t_1 - ?

$$f_2 = \frac{2F_0^2}{2F_0 - F_0} = 2F_0$$

$$I_1 = \frac{3}{4}I_0 \Rightarrow I_{\text{цнт1}} = \frac{3}{4}I_{\text{цнт0}}$$

из $\triangle SAD$ и $\triangle SBC$ (\triangle подобны ($\angle BSC$ одинаковый, $AD \parallel BC$)):

$$AD = \frac{D}{4} \Rightarrow V = \frac{\frac{D}{2} - d}{t_1 - \tau_0} = \frac{d}{\tau_0}$$

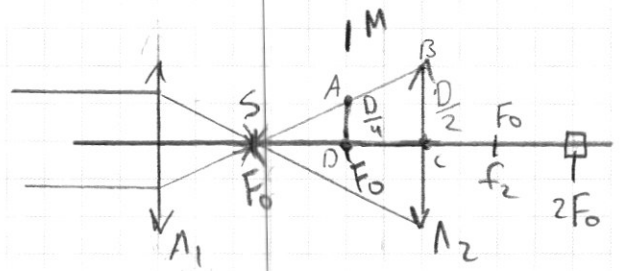
d - диаметр мишени

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{I_0 - I_1}{I_0} \Rightarrow \frac{4d^2}{D^2} = \frac{1}{4} \Rightarrow d = \frac{D}{4}$$

$$V = \frac{D}{4\tau_0}$$

$$t_1 = \frac{\frac{D}{2} - d}{V} + \tau_0 = \frac{\frac{D}{2} - \frac{D}{4}}{\frac{D}{4\tau_0}} + \tau_0 = \tau_0 + \frac{D \cdot 4 \cdot \tau_0}{4 \cdot D} = 2\tau_0$$

Ответ: 1) $2F_0$ 2) $\frac{D}{4\tau_0}$ 3) $2\tau_0$



Лучи из первой линзы (L_1) собираются в её фокусе, представим источник света на расстоянии $2F_0$ от L_2

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\rightarrow) Q = ? \quad Q = \frac{5}{2} \nu R (T_0 - T_2) - p \left(\frac{V}{2} - V_2 \right)$$

$$\frac{V}{2} = \frac{V_1 + V_2}{2} = \frac{\frac{3}{5} V_2 + V_2}{2} = \frac{4}{5} V_2$$

$$Q = \frac{5}{2} \nu R (T_0 - T_2) - p \left(V_2 - \frac{4}{5} V_2 \right) = \frac{5}{2} \nu R (T_0 - T_2) + \frac{p V_2}{5}$$

$$\Delta V_1 = \Delta V_2; p_1 = p_2$$

$$A_1 = -A_2 \quad \Delta U_1 + A_1 = \Delta U_2 - A_2$$

$$\Delta U_1 = \Delta U_2$$

$$\frac{5}{2} \nu R (T_0 - T_1) = \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_0)$$

$$T_0 = \frac{T_1 + T_2}{2} = 400 \text{ K}$$

$$Q = c m \Delta T = \frac{c \cdot m \cdot m}{\mu} \Delta T = c_m \nu \Delta T = \frac{5}{2} \cdot \frac{831}{14} \cdot \frac{3}{7} \cdot (500 - 400) = 100 \cdot \frac{831 \cdot 15}{14} = \frac{12465}{14} \approx 889 \text{ Дж}$$

$$\begin{array}{r} 12465 / 14 \\ 112 \quad | \quad 889 \\ \hline 126 \\ 172 \\ \hline 145 \\ 176 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 880 \\ 14 \\ \hline 3520 \\ 880 \\ \hline 14220 \\ 126 \\ \hline 14346 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 831 \\ 15 \\ \hline 4155 \\ 831 \\ \hline 12465 \end{array} \quad \frac{12465}{14} =$$