

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

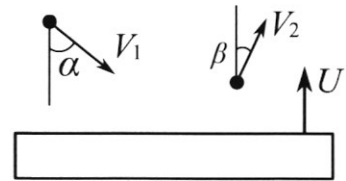
Класс 11

Вариант 11-02

Шифр

(заполняется секретарем)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость $V_1 = 6$ м/с, направленную под углом α ($\sin \alpha = \frac{2}{3}$) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2 , составляющей угол β ($\sin \beta = \frac{1}{3}$) с вертикалью.

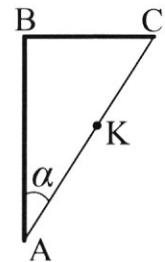


- 1) Найти скорость V_2 .
 - 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится гелий, во втором – неон, каждый газ в количестве $\nu = 6/25$ моль. Начальная температура гелия $T_1 = 330$ К, а неона $T_2 = 440$ К. Температуры газов начинают медленно выравниваться, а поршень начинает медленно двигаться. Оба газа одноатомные, газы считать идеальными. $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

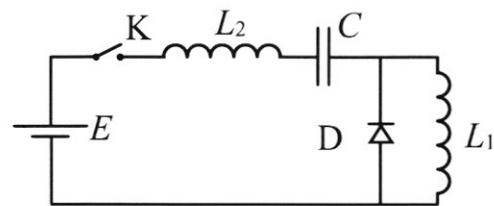
- 1) Найти отношение начальных объемов гелия и неона.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал неон гелию?

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.



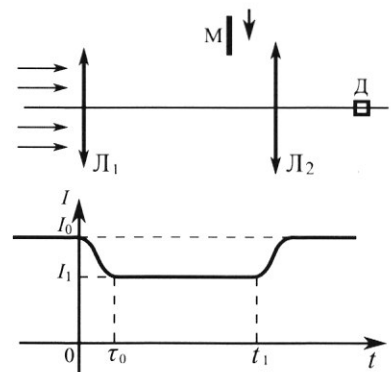
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 4\sigma, \sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/8$. 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 $L_1 = 3L, L_2 = 2L$, конденсатора емкостью C , диода D (см. рис.). Ключ K разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в L_2 .



- 1) Найти период T этих колебаний.
- 2) Найти максимальный ток I_{01} , текущий через катушку L_1 .
- 3) Найти максимальный ток I_{02} , текущий через катушку L_2 .

5. Оптическая система состоит из двух соосных тонких линз L_1 и L_2 (см. рис.) с фокусными расстояниями F_0 и $F_0/3$, соответственно. Расстояние между линзами $1,5F_0$. 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 D , на выходе которого сила тока пропорциональна мощности падающего на него света. Круглая непрозрачная мишень M , плоскость которой перпендикулярна оси системы, движется с постоянной скоростью перпендикулярно оси системы так, что центр мишени пересекает ось на расстоянии $5F_0/4$ от L_1 . На рисунке показана зависимость тока I фотодетектора от времени t (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1 = 8I_0/9$.



- 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 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2. V_1 и V_2 - начальные объемы гелия и неона соответственно, P_0 - начальное давление в сосуде.

$$\begin{cases} P_0 V_1 = \nu R T_1 \\ P_0 V_2 = \nu R T_2 \end{cases} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = 0,75$$

T_k - установившаяся температура в сосуде; P_k - установившееся давление в сосуде;

V_1' и V_2' - установившиеся объемы гелия и неона соответственно.

$$\begin{cases} P_k V_1' = \nu R T_k \\ P_k V_2' = \nu R T_k \end{cases} \Rightarrow V_1' = V_2'; T_k =$$

$$V_1 + V_2 = V_1' + V_2' = V_0 \text{ - объем сосуда} \Rightarrow V_1' = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

Поршень движется незаметно \Rightarrow можно считать, что давление, оказываемое газом в любой момент равно $\Rightarrow A_1 = -A_2$ (A_1 и A_2 - ~~равны~~ работы гелия и неона соотв.),

т.к. давления равны, а силы противоположны $\Rightarrow A_1 + A_2 = 0$

ΔU_1 и ΔU_2 - изменения внутренней энергии гелия и неона соответственно

Сосуд теплоизолирован $\Rightarrow \Delta U_1 + A_1 + \Delta U_2 + A_2 = 0 \Rightarrow \Delta U_1 = -\Delta U_2 \Rightarrow$

$$\Delta U_1 \Rightarrow \frac{i}{2} \nu R \Delta T_1 = -\frac{i}{2} \nu R \Delta T_2 \Rightarrow T_k - T_1 = T_2 - T_k \Rightarrow T_k = \frac{T_1 + T_2}{2} = 385 \text{ K}$$

Q - ~~работа~~ ^{количество} теплоты, переданное неонам гелию

$$Q \in \Delta U_1 + A_1 = \frac{i}{2} \nu R \Delta T_1 \text{ Заметим, что } A_1 = -A_2 \text{ в любой момент времени}$$

$$\Rightarrow \Delta U_1 = -\Delta U_2 \Rightarrow \Delta T_1 = \Delta T_2 \text{ в любой момент времени} \Rightarrow T_1(t) + T_2(t) = \text{const} \Rightarrow$$

$$P(t) \cdot (V_1(t) + V_2(t)) = \nu R (T_1(t) + T_2(t)) = \text{const} \text{ и } V_1(t) + V_2(t) =$$

$$= V_0 \Rightarrow P(t) = \text{const} \Rightarrow A_1 = P_0 (V_1' - V_1) = \nu R (T_k - T_1)$$

$$Q_k = A_1 + \Delta U_1 = \nu R (T_k - T_1) + \frac{i}{2} \nu R (T_k - T_1) = \frac{i+2}{2} \nu R (T_k - T_1) = \frac{5}{2} \cdot \frac{6}{25} \cdot 18,31 \cdot$$

$$\cdot 55 \text{ Дж} = 3 \cdot 11 \cdot 0,31 \text{ Дж} \approx 274 \text{ Дж}$$

$$\text{Ответ: } \frac{V_1}{V_2} = \frac{3}{4}; T_k = 385 \text{ K}; Q = 274 \text{ Дж}$$

1. Направим ось Ox горизонтально, Oy - вертикально.

m - масса шарика.

3. С.И. для Ox : $m v_1 \sin \alpha = m v_2 \sin \beta \Rightarrow v_2 = v_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 12 \frac{m}{c}$

Для v_y - вертикальная составляющая $v_1 \Rightarrow v_y = \cos \alpha \cdot v_1 = \frac{\sqrt{5}}{3} v_1 = 2\sqrt{5} \frac{m}{c}$

v_y' - вертикальная составляющая $v_2 \Rightarrow v_y' = \cos \beta \cdot v_2 = \frac{2\sqrt{2}}{3} v_2 = 8\sqrt{2} \frac{m}{c}$

Плита движется $\Rightarrow u \leq v_y'$ (или $u = v_y'$ при абсолютно упругом ударе)

При абсолютно упругом ударе было бы:

Перейдем в С.О. плиты \Rightarrow шарик движется на плиту со скоростью u (горизонтально)

Вертикальная составляющая скорости шарика равна $v_y + u$, а плиты $-v_y' - u$

абсолютно упругий удар \Rightarrow 3.С.З. $\Rightarrow \frac{m(v_y + u)^2}{2} = \frac{m(v_y' - u)^2}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow v_y + u = v_y' - u \Rightarrow v_y' = 2u - v_y$ (либо $v_y + u = u - v_y'$, что неверно, т.к. $-v_y' \neq v_y$)

Получаем, что $v_y' \leq 2u - v_y \Rightarrow u \geq \frac{v_y + v_y'}{2} = 4\sqrt{2} + \sqrt{5} \frac{m}{c}$

Ответ: $v_2 = 12 \frac{m}{c}$; $u \in [4\sqrt{2} + \sqrt{5}; 8\sqrt{2}]$ (или $[3\sqrt{2} + \sqrt{5}; \sqrt{128}]$)

5. f - расстояние между линзой и фокусом объектива

F - фокусное расстояние второй линзы; l - расстояние от первой точки, в которой фокусируется свет.

Пучок параллельных п.о.о. \Rightarrow свет фокусируется на расст. F_0 от первой

линзы $\Rightarrow l = 1,5 F_0 - F_0 = \frac{F_0}{2}$

Вторая точка фокусировки света есть изображение первой такой точки \Rightarrow

$\Rightarrow \frac{1}{f} + \frac{1}{l} = \frac{1}{F} \Rightarrow f = \frac{Fl}{l - F} = F_0 \frac{\frac{F_0}{2} - 0,5 F_0}{\frac{F_0}{2} - F_0} = F_0$

$D \ll F_0 \Rightarrow$ отклонение лучей, попавших на L_2 от п.о.о. мало \Rightarrow можно

считать интенсивность одинаковой в ~~этом~~ сечении пучка на ~~этом~~ движущейся линзе $\Rightarrow \frac{S_1 - S_2}{S_1} = \frac{F_1}{F_0}$ (S_1 - площадь линзы)

~~плотности~~; площадь S_1 этого сечения = ~~плотности~~ $\frac{S}{4}$, т.к. пл-ть движущейся

линзы находится на расстоянии $1,5 F_0 - \frac{5}{4} F_0 = \frac{1}{4} F_0 = \frac{l}{2} \Rightarrow$ площадь

этого сечения в 4 раза меньше площади ~~объектива~~ S

Первая точка фокусировки лучей в 2 раза ближе к L_2 , чем к $L_1 \Rightarrow$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

S_2 в 4 раза меньше площади лампы $\Rightarrow S_1 = \frac{S}{4} = \frac{\pi D^2}{64}$

$$\frac{S_1 - S_2}{S_1} = \frac{I_1}{I_0} = \frac{8}{9} \Rightarrow S_2 = \frac{S_1}{9} = \frac{\pi D^2}{64 \cdot 9} \Rightarrow \text{диаметр лампы } d = \sqrt{\frac{4 S_2}{\pi}} = \frac{D}{12}$$

$$D_1 - \text{диаметр лампы } S_1 \Rightarrow D_1 = \sqrt{\frac{4 S_1}{\pi}} = \frac{D}{4} = 3d$$

$v = \frac{d}{\tau_0}$, т.к. в течение этого времени I ~~какая-то~~ сила тока фотопредактора непрерывно менялась $\Rightarrow v = \frac{D}{12 \tau_0}$

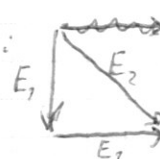
$$t_1 = \frac{D_1 - d}{v} = \frac{3d - d}{\frac{d}{12 \tau_0}} = \frac{2d}{\frac{d}{12 \tau_0}} = \frac{24 \tau_0}{1} = 24 \tau_0$$

т.к. в течение этого времени лампа была направлена в ~~этом~~ направлении света площадью S_1

Ответ: $f = F_0$; $v = \frac{D}{12 \tau_0}$; $t_1 = 24 \tau_0$

3. 1) $\alpha = \frac{\pi}{4} \Rightarrow$ треугольник ABC - равнобедренный \Rightarrow система симметрична относительно $BC \Rightarrow$ ~~поле от~~ напряженность поля от пластинки BA будет равна напряженности от BC , но перпендикулярна ей и направлена

E_1 - напряженность поля в первом случае, E_2 - во втором

Составим векторный треугольник:  \rightarrow получим $E_2 = \sqrt{2} E_1 \Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{E_2}{E_1} = \sqrt{2}$$

Ответ: в $\sqrt{2}$ раз



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)»

| |
|--------------------------------------|
| ШИФР (заполняется секретарём) |
|--------------------------------------|

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

| | | |
|--|--|--|
| | | |
|--|--|--|

черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)»

| |
|------|
| ШИФР |
|------|

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

| | |
|--|--|
| | |
|--|--|

черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$2U - U_y$

$$2U - U_y$$

$$U_y' = \frac{2\sqrt{2}}{3} \cdot 12 = 8\sqrt{2}$$

$$U \geq 8\sqrt{2}$$

$$\frac{2}{3}U_1 = \frac{2}{3}U_2 \Rightarrow U_2 = 2U_1 = 12$$

$$U_y = \frac{\sqrt{5}}{3} \cdot 6 = 2\sqrt{5}$$

$$\begin{array}{r} 8,31 \\ \times 1,55 \\ \hline 2793 \\ 2493 \\ \hline 29123 \end{array}$$

$$2U - U_y \geq U_y' \Rightarrow U \geq \frac{U_y + U_y'}{2} = \sqrt{5} + 4\sqrt{2}$$

- ① U_2
- ② U_2
- ③ U_2
- ④ U_2
- ⑤ U_2

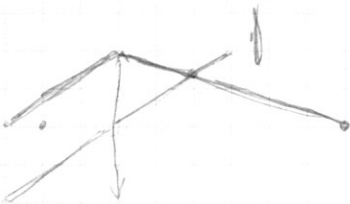


$$U \in [\sqrt{5} + \sqrt{32}, \sqrt{128}]$$

$$k \frac{P_0}{d^2} \quad U_1 = \frac{3}{7}U_0 \quad U_2 = \frac{4}{7}U_0$$

$$\frac{3}{F_0} = \frac{2}{F_0} + \frac{1}{f}$$

$$f = F_0 \frac{F_1}{\sqrt{F}} = \frac{F \cdot 1,5F}{0,5F}$$



$$f = F_0$$

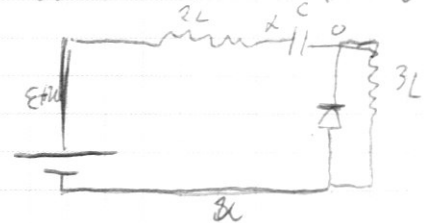
$$d = \frac{P}{f} \quad \left[v = \frac{d}{t_0} = \frac{P}{6t_0} \right]$$

$$t_1 - t_0 = \left(\frac{P}{2} - d \right) / v = \frac{P}{3v} = 2\tau_0 \quad t_2 = 3\tau_0$$

$$P_k V_0 = 2VRT_k$$

$$P_0 V_0 = \gamma R(T_1 + T_2)$$

$$T_k = (T_1 + T_2) \frac{2P_k}{2P_0}$$



$$Q_2 = -Q_1$$

$$A_2 = -A_1$$

$$Q_1 = A_1 + \Delta U_1$$

$$Q_2 = A_2 + \Delta U_2 = -A_1 + \Delta U_2 = -Q_1 \Rightarrow \Delta U_2 = -\Delta U_1 \Rightarrow \frac{1}{2} \gamma R \Delta T_1 = -\frac{1}{2} \gamma R \Delta T_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_k - T_1 = T_2 - T_k \Rightarrow T_k = \frac{T_1 + T_2}{2} = 385 \text{ K}$$

$$Q_2 = A_2 + \Delta U_2 = \gamma R \Delta T_2 + \frac{1}{2} \gamma R \Delta T_2 = \frac{3}{2} \gamma R \Delta T_2 = \frac{5}{2} \gamma R \cdot 55 \text{ K}$$

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

$$\frac{cu^2}{2} = \frac{q^2}{2c}$$

$$\frac{q^2}{2c} + \frac{LI^2}{2} = \text{const}$$

$$\frac{q}{c} + LI = 0$$

$$q + Lc\dot{q} = 0$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

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

$$\mathcal{E} = 2LI_2 + \frac{q}{c} + 3LI_1$$

$$\mathcal{E}_q = \frac{2LI_2^2}{2} + \frac{q^2}{2c} + \frac{3LI_1^2}{2}$$

$$L\dot{I} + \frac{q}{c} = \text{const}$$

$$q + \dot{q} \cdot Lc = \text{const} \quad [C] = \left[\frac{q \cdot s}{A \cdot m} \right]$$

$$[L] = \left[\frac{W \cdot s}{A^2} \cdot \frac{C^2}{m} \right]$$

$$[Lc] = [C^2]$$

$$I_0 = I_1 - I_2$$

$$i_0 = \dot{I}_1 - \dot{I}_2$$

$$I_2 + I_0 = I_1$$

$$I_0 \geq 0 \Rightarrow I_2 \leq I_1$$

$$2\dot{I}_2 = 3\dot{I}_1 + \frac{q}{c} - \frac{\mathcal{E}}{L}$$

$$3\dot{I}_1 = 2\dot{I}_2 + \frac{\mathcal{E}}{L} - \frac{q}{cL}$$

$$3I_1 = 2I_2 + \frac{\mathcal{E} - q}{cL}$$

