



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

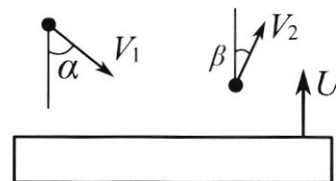
Класс 11

Вариант 11-02

Шифр

(заполняется секретарём)

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  $\alpha$  ( $\sin \alpha = \frac{2}{3}$ ) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью  $V_2$ , составляющей угол  $\beta$  ( $\sin \beta = \frac{1}{3}$ ) 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.

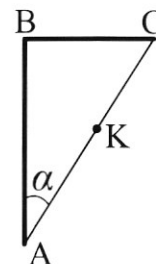
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится гелий, во втором – неон, каждый газ в количестве  $\nu = 6/25$  моль. Начальная температура гелия  $T_1 = 330$  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?

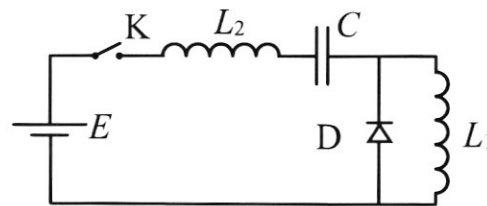
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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  $L_2$ .

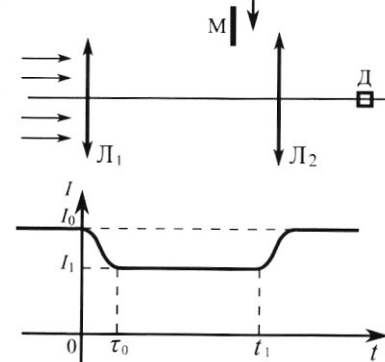


1) Найти период  $T$  этих колебаний.

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  $F_0$ ,  $D$ ,  $\tau_0$ .



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

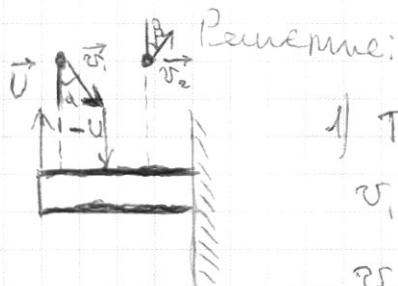
1.

$v_2; U - ?$

$$\sin d = \frac{v_1}{v_2}$$

$$\sin \beta = \frac{1}{3}$$

$$v_1 = 6 \frac{\mu}{c}$$



1) Т.к. нитка гладкая:

$$v_1 \cdot \sin d = v_2 \sin \beta$$

$$v_2 = v_1 \cdot \frac{\sin d}{\sin \beta} = 6 \frac{\mu}{c} \cdot \frac{\frac{2}{3}}{\frac{1}{3}} =$$

$$= 12 \left( \frac{\mu}{c} \right)$$

2) Перейдем в СО нитки:

горизонтальная составляющая  
Такая же.

Вертикальная:  $v_2 = v_1 \cdot \cos d + U$

$$v_{B_2} = v_2 \cdot \cos \beta - U$$

Удар не упругий:  $|v_2| \leq |v_{B_2}|$

$$v_2 \cdot \cos \beta - U \geq 0 \quad (\text{не может двигаться влево})$$

$$U \leq v_2 \cdot \cos \beta = 12 \frac{\mu}{c} \cdot \sqrt{1 - \sin^2 \beta} =$$

$$= 12 \frac{\mu}{c} \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{9}} = 11,3 \left( \frac{\mu}{c} \right)$$

$$v_2 \cdot \cos \beta - U \leq v_1 \cdot \cos d + U$$

$$2 \cdot U \geq v_2 \cdot \cos \beta - v_1 \cdot \cos d$$

$$U \geq \frac{v_2 \cdot \cos \beta - v_1 \cdot \cos d}{2} = \frac{12 \frac{\mu}{c} \cdot \sqrt{\frac{8}{9}} - 6 \frac{\mu}{c} \cdot \sqrt{1 - \frac{4}{9}}}{2} =$$

$$= 3,4 \left( \frac{\mu}{c} \right)$$

Ответ: 1)  $v_2 = 12 \frac{\mu}{c}$ ; 2)  $3,4 \frac{\mu}{c} < U < 11,3 \frac{\mu}{c}$

2

$$\frac{V_{He}}{V_{Ne}}; T_k; Q_2 - ?$$

$$\nu = \frac{6}{25} \text{ моль}$$

$$T_{He} = 330 \text{ K}$$

$$T_{Ne} = 440 \text{ K}$$

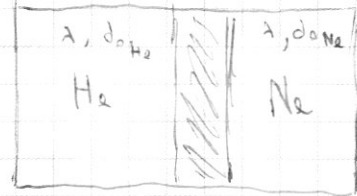
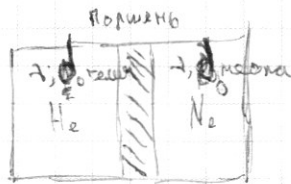
$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

He

Ne

$$F_{тр} = 0$$

Решение:



1) Уравнение состояния:

$$pV = \nu RT$$

$p_1 = p_2$  - условие равновесия

$$\begin{cases} pV_{He} = \nu R T_{He} \\ pV_{Ne} = \nu R T_{Ne} \end{cases} \Rightarrow \frac{V_{He}}{V_{Ne}} = \frac{T_{He}}{T_{Ne}}$$

$$\frac{V_{He}}{V_{Ne}} = \frac{330}{440} = \frac{3}{4}$$

2) По закону сохранения энергии:

$$U_1 + U_2 = U$$

$$\nu C_{v, He} T_{He} + \nu C_{v, Ne} T_{Ne} = \nu C_v T_k$$

$$C_{v, He} = C_{v, Ne} = \frac{3}{2} R$$

$$T_k = \frac{T_{He} + T_{Ne}}{2} = \frac{330 + 440}{2} = 385 \text{ (K)}$$

$$3) \nu C_v dT_{Ne} + p dV_{Ne} = -Q_2$$

$$\begin{cases} pV_{Ne} = \nu R T_{Ne} \\ pV_{Ne} = \nu R T_{Ne} \end{cases} \Rightarrow \frac{V_{Ne}}{V_{Ne}} = \frac{T_{Ne}}{T_{Ne}}$$

Процесс является изобарным:

$$Q_2 = \nu C_p (T_k - T_{He}) = \frac{6}{25} \cdot \frac{5}{2} \cdot 8,31 \cdot (385 - 330) = 274 \text{ Дж}$$

Ответ: 1)  $\frac{3}{4}$ ; 2) 385 K; 3) 274 Дж

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

③

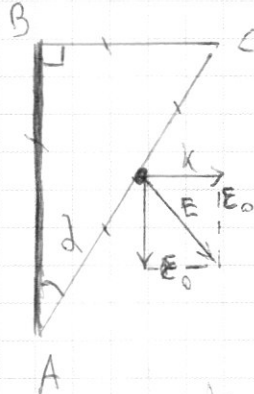
$\frac{E}{E_0}; E = ?$

1)  $\sigma_1 = 4\sigma$   
2)  $\sigma_2 = \sigma$

1)  $d = \frac{\pi}{4}$   
2)  $d = \frac{\pi}{8}$

$AB \perp BC$

Решение:



1)  $\angle CAB = 45^\circ \Rightarrow \angle ACB = 45^\circ$

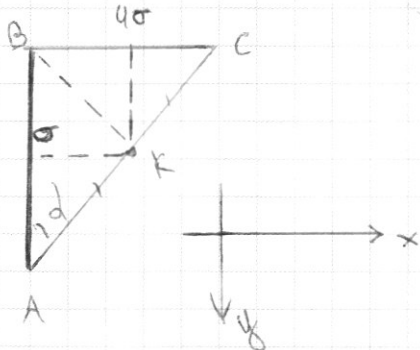
2) Из симметрии поля от пластины BC направлено перпендикулярно AB.

Пусть оно равно  $E_0$ .

Аналогично от пластины AB:

$E = \sqrt{2} E_0; \frac{E}{E_0} = \sqrt{2} = 1.41$

3)  $d = \frac{\pi}{8}; \sigma_1 = 4\sigma, \sigma_2 = \sigma$



Возможная симметрия:

Поле от BC - вдоль OY;

Поле от AB - вдоль OX.

$E = \frac{\sigma}{4\pi\epsilon_0} \cdot \Omega$  - поле от

пластины, виденной

под телесным углом  $\Omega$ .

$\Omega_{BC} = \frac{d}{\pi} \cdot 4 \cdot \pi = 4d$

$E_y = \frac{4\sigma}{4\pi\epsilon_0} \cdot 4d = \frac{16\sigma d}{4\pi\epsilon_0}$

$\Omega_{AB} = \frac{\pi}{2} - d$   
 $\frac{\pi}{2} \cdot 4 \cdot \pi = 4(\frac{\pi}{2} - d) = 2\pi - 4d$

$E_x = \frac{\sigma(2\pi - 4d)}{4\pi\epsilon_0}$

$d = \frac{\pi}{8} \Rightarrow E_y = \frac{16\sigma \frac{\pi}{8}}{4\pi\epsilon_0} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}, E_x = \frac{\sigma}{4\pi\epsilon_0} \cdot (2\pi - \frac{\pi}{2}) = \frac{3\sigma}{8\epsilon_0}$

$$E = \sqrt{E_y^2 + E_x^2} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \cdot \sqrt{\frac{9}{64} + \frac{1}{4}} = \frac{5\sigma}{8\epsilon_0}$$

Ответ: 1) 1,41 ; 2)  $\frac{5\sigma}{8\epsilon_0}$

4)

$T; I_{01}; I_{02}?$

$$\mathcal{E} = E$$

$$L_1 = 3L$$

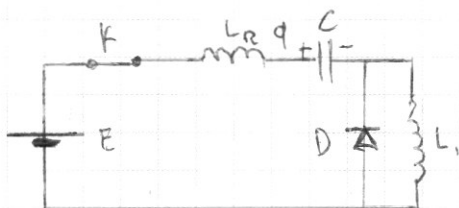
$$L_2 = 2L$$

C

D

K

Решение:



1)  $\begin{matrix} + & \leftarrow & - \\ | & & | \\ \hline \end{matrix}$  - ток не идет

$\begin{matrix} + & \rightarrow & - \\ | & & | \\ \hline \end{matrix}$  - ток идет

2) уравнения Кирхгофа:

$$-E + \ddot{q} \cdot (L_2 + L_1) + \frac{q}{C} = 0$$

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

$$Q = q - CE$$

$$\ddot{Q} \cdot (L_1 + L_2) + \frac{Q}{C} = 0$$

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

$$Q = A \sin(\omega t) + B \cos(\omega t)$$

$$Q = q - CE$$

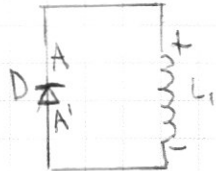
$$\varphi(0) = 0 : -CE = B$$

$$\dot{Q}(0) = 0 : A\omega = 0$$

$$Q = -CE \cos \omega t$$

$$q = CE(1 - \cos \omega t)$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

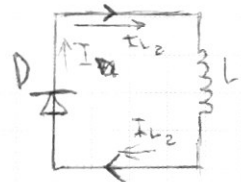
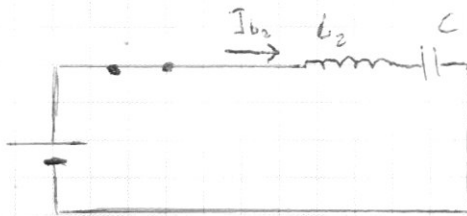


$$U_{L_1} = L_1 \dot{q} = L_1 C E \omega^2 \cos \omega t$$

Когда  $U_{L_1} = 0$ , открывается диод и

$$U_{A'} = 0, I_{L_1} = \text{const}$$

Далее возникают другие колебания:



$$C E \omega = I_{L_1}$$

$$I_{L_2} = -I_D + C E \omega$$

$$I_D = C E \omega - I_{L_2}$$

$$I_D \geq 0; I_{L_2} \leq C E \omega$$

Далее  $I_{L_2} \leq C E \omega$  всё время, поскольку амплитуда тока не превосходит максимальный ток.

$$T = \frac{2\pi L}{\omega} = \frac{2\pi L}{\frac{1}{\sqrt{L_2 C}}} = 2\pi L \sqrt{L_2 C} = 2\pi \sqrt{2LC}$$

3) max ток:  $I_{L_1 \max} = C E \frac{1}{\sqrt{(L_1 + L_2)C}} = E \sqrt{\frac{C}{5L}}$

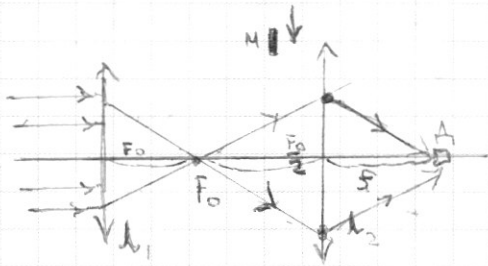
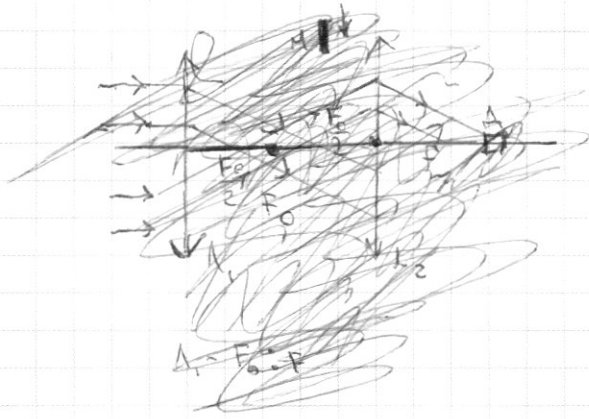
4) через  $L_2$  max ток аналогичен:  $I_{L_2 \max} = E \sqrt{\frac{C}{5L}}$

т.к. это максимальная амплитуда тока.

Ответ: 1)  $T = 2\pi \sqrt{2LC}$ ; 2)  $I_{L_1 \max} = E \sqrt{\frac{C}{5L}}$ ; 3)  $I_{L_2 \max} = E \sqrt{\frac{C}{5L}}$



5



1) Формула тонкой линзы:

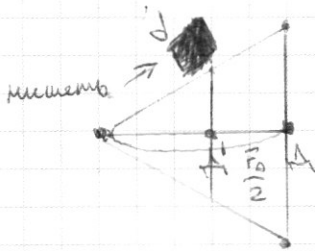
$$\frac{1}{F_n} = \frac{1}{f} + \frac{1}{f}$$

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

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

Тогда  $f = F_0$ .

2) Заметим, что, когда линза внутри телесного угла, ток постоянна  $\Rightarrow$  радиусная энергия постоянна.



Пусть размер линзы -  $d$ , тогда  $\frac{d}{f} = \tau_0 \Rightarrow f = \frac{d}{\tau_0}$

Найдем  $d$ , рассматривая

те же геометрическую площадь:

$$\frac{A'}{A} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{\pi d^2}{4} = \Delta S; \quad S' = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$\frac{\Delta S}{S'} = \frac{d^2}{D^2} = \left(\frac{d}{D}\right)^2 = 4 \cdot \frac{d^2}{D^2} = 1 - \frac{I_1}{I_0} = \frac{1}{9}$$

$$\frac{d}{D} = \frac{1}{6}$$

$$f = \frac{D}{6\tau_0}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3) Когда мышь встроит и выходит:

$$d_1 v = \Delta_1 = \frac{1}{2} \Delta$$

$$d_1 = \frac{\frac{1}{2} \Delta}{v} = \frac{\Delta}{2A} \cdot 6 \tau_0 = \underline{3 \tau_0}$$

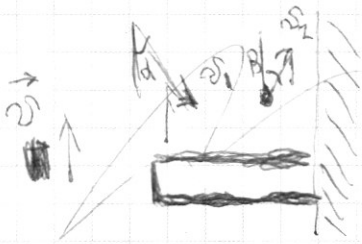
Ответ: 1)  $f = F_0$ ; 2)  $v = \frac{A}{6 \tau_0}$ ; 3)  $d_1 = 3 \tau_0$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



~~$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$~~

~~$v_1 \sin \alpha = v_1' \sin \alpha'$~~

~~$v_2 \sin \beta = v_2' \sin \beta'$~~

$v_2 - ?$

$v_2 \sin \beta = \frac{1}{3}$

$v_2; \beta - ?$

---

$v_1 = 6 \frac{m}{c}$

$\sin \alpha = \frac{2}{3}$

$\sin \beta = \frac{1}{3}$



2.

$\nu$   
~~100%~~  
 $\nu_{\text{мг}}; T; Q=?$

$\nu = \frac{6}{25} \text{ моль}$

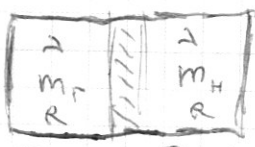
$T_1 = 330 \text{ K}$

$T_2 = 440 \text{ K}$

$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{K}}$

$F_{\text{тп}} = 0$

~~3/2~~



$T_1 = 330 \text{ K} \quad T_2 = 440 \text{ K}$

$pV = \nu RT$

~~$pV = \nu RT$~~

~~$pV = \nu RT$~~

~~$pV = \frac{3}{2} \nu RT$~~

~~№ 13  
33, 44~~

~~$\nu$~~

~~№ 13  
33, 44~~

~~Handwritten scribbles and illegible text at the bottom of the page.~~