

# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

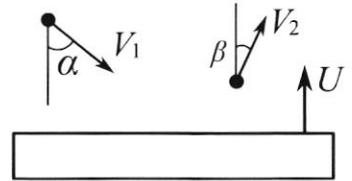
Класс 11

Вариант 11-03

Шифр

(заполняется секретарём)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью  $U$  вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость  $V_1 = 12$  м/с, направленную под углом  $\alpha$  ( $\sin \alpha = \frac{1}{2}$ ) 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.

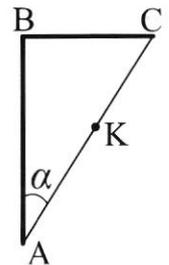
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится водород, во втором – азот, каждый газ в количестве  $\nu = 6/7$  моль. Начальная температура водорода  $T_1 = 350$  К, а азота  $T_2 = 550$  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 водорода и азота.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал азот водороду?

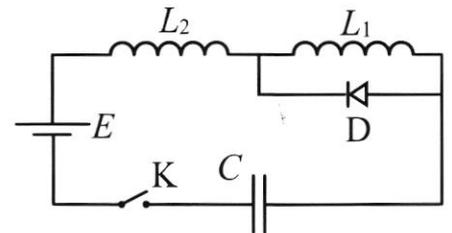
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.

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  $\sigma_1 = 3\sigma$ ,  $\sigma_2 = \sigma$ , соответственно. Угол  $\alpha = \pi/5$ . Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

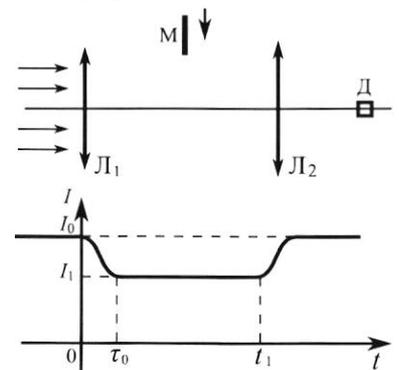


4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС  $E$ , катушек с индуктивностями  $L_1 = 4L$ ,  $L_2 = 3L$ , конденсатора емкостью  $C$ , диода D (см. рис.). Ключ  $K$  разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в  $L_1$ .



- 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 фокусными расстояниями  $3F_0$  и  $F_0$ , соответственно. Расстояние между линзами  $2F_0$ . 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  $F_0$  от  $L_1$ . На рисунке показана зависимость тока  $I$  фотодетектора от времени  $t$  (секундомер включен в момент начала уменьшения тока).  $I_1 = 5I_0/9$ .

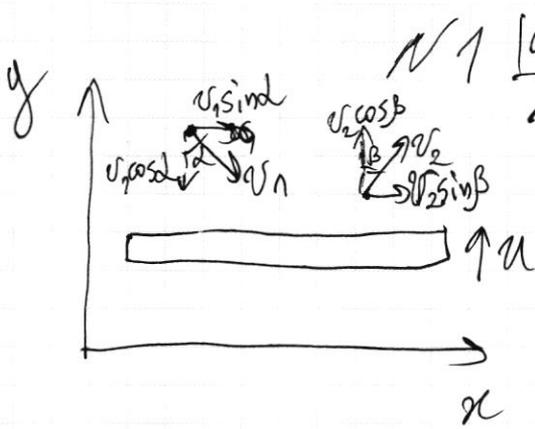


- 1) Найти расстояние между линзой  $L_2$  и фотодетектором.
- 2) Определить скорость  $V$  движения мишени. 3) Определить  $t_1$ .

Известными считать величины  $F_0$ ,  $D$ ,  $\tau_0$ .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

- $v_1 = 12 \text{ м/с}$
- $\sin \alpha = \frac{1}{2}$
- $\cos \alpha = \frac{\sqrt{3}}{2}$
- $\sin \beta = \frac{1}{3}$
- $\cos \beta = \frac{2\sqrt{2}}{3}$
- 1)  $v_2 = ?$
- 2)  $u = ?$



№ 1 (Все ответы структурированы на последней (6) странице)

1) вдоль оси x изменения в скорости очевидно нет  
м.к. ков. ударом  
тогда  $v_1 \sin \alpha = v_2 \sin \beta$

$$v_2 = 12 \cdot \frac{1}{2} \cdot 3 = 18 \text{ м/с}$$

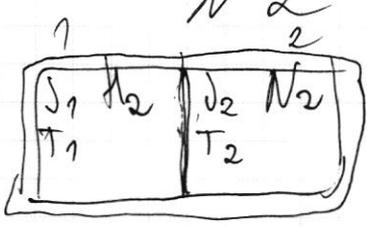
2) вдоль оси y после удара о массивную плиту скорость увеличивается на  $2u$  (известный факт)

$m(v_1 \cos \alpha + 2u) = v_2 \cos \beta \cdot m \Rightarrow u = \frac{18 \cdot \frac{2\sqrt{2}}{3} - 12 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{2} = 6\sqrt{2} - 3\sqrt{3} \text{ м/с}$

По этому при абс. упругом ударе, тогда при любом другом (неупругом)  $v_1 \cos \alpha + 2u \rightarrow v_2 \cos \beta \Rightarrow u \approx 6\sqrt{2} - 3\sqrt{3} \text{ м/с}$

Вообще  $u > 6\sqrt{2} - 3\sqrt{3} \text{ м/с}$ , м.к. скажем, что неупругий удар

- 1)  $v_1 = v_2 = \frac{6}{2}$
- $T_1 = 350 \text{ K}$
- $T_2 = 550 \text{ K}$
- $C_{v1} = C_{v2} = \frac{5}{2} R$
- $R = 8,31$



По ЗСЭ:  
 $u_1 + u_2 = u_1' + u_2'$   
 $\frac{5}{2} \nu_1 R T_1 + \frac{5}{2} \nu_2 R T_2 = \frac{5}{2} \nu_1 R T_1' + \frac{5}{2} \nu_2 R T_2'$

$$T' = \frac{T_1 + T_2}{2} = 450 \text{ K}$$

$$\frac{p_1 V_1 = \nu_1 R T_1}{p_2 V_2 = \nu_2 R T_2} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{350}{550} = \frac{7}{11}$$

- 1)  $v_1 = ?$
- 2)  $T' = ?$
- 3)  $Q_1 = ?$

3)  $p_1' = p_2' \Rightarrow m, k \cdot v' = \frac{\nu R T'}{p'} \Rightarrow v_1' = v_2' = \frac{v_1 + v_2}{2}$

Черновик

$$V_1' = \frac{V_1 + V_2 \frac{11}{2}}{2} = \frac{9}{2} V_1 \quad \left( T_1 = 350 \text{ K} \quad T_2' = 450 \text{ K} \right)$$

полученное  $\Rightarrow$  исправим

$i=5$

$$Q_1 = \Delta U_1 + A_1 = \frac{5}{2} \nu_1 R (T_2' - T_1) + A_1$$

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_1' V_1 \frac{9}{2}}{T_1'} \Rightarrow p_1 = p_1' \cdot \frac{9}{2} \cdot \frac{2}{9} \Rightarrow p_1 = p_1'$$

следовательно  $A_1 = p_1 (V_2 - V_1) = \nu_1 R (T_2' - T_1)$

$$Q_1 = \frac{7}{2} \nu_1 R (T_2' - T_1) = \frac{7}{2} \cdot \frac{5}{2} \cdot 8,31 \cdot 100 = 2493 \text{ Дж}$$

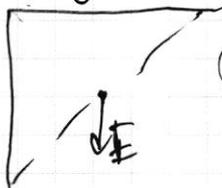
№ 3

по м. Шур,

$$E' = E \cdot \sqrt{2}$$

1)  $\alpha = \frac{\pi}{4} = 45^\circ$

$\frac{E'}{E} = ?$



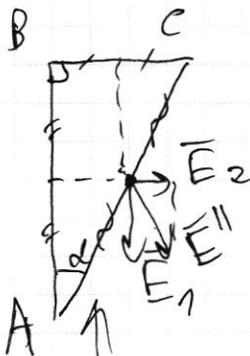
$$\frac{E'}{E} = \sqrt{2}$$

2)  $\alpha_1 = 30^\circ$

$\alpha_2 = 60^\circ$

$\alpha = \frac{\pi}{5} = 36^\circ$

$E'' = ?$



$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \Rightarrow E_1 = \frac{3\sigma}{2\epsilon_0}; E_2 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

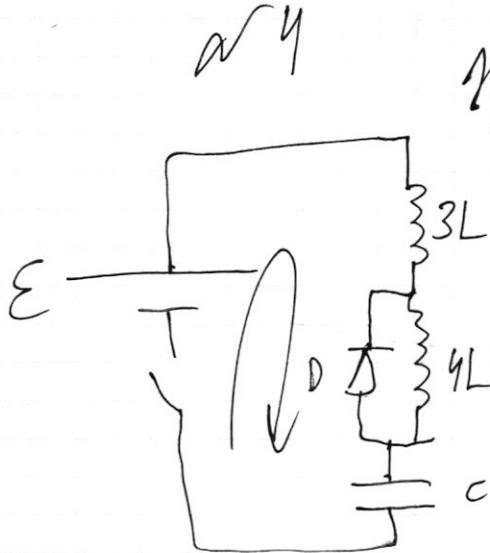
$$E'' = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \sqrt{\frac{5\sigma^2}{2\epsilon_0^2}}$$

т.к. плоскости бесконечны, все боковые компоненты компенсируются

Черновик

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

- $\varepsilon$   
 $L_1 = 4L$   
 $L_2 = 3L$   
 $C$
- 
- 1)  $T = ?$   
 2)  $I_{1m} = ?$   
 3)  $I_{2m} = ?$



~~$T = 2\pi\sqrt{LC}$~~   
 ~~$= 2\pi\sqrt{(L_1+L_2)C}$~~   
 ~~$= 2\pi\sqrt{7LC}$~~

~~$T = 2\pi\sqrt{LC}$~~ .  $\varepsilon$  - не выкинет на  $\omega$   
 а мышь смещает положение  
 равновесия

1)  $t_1$  - первая часть периода  
 $t_1 = \pi\sqrt{(L_1+L_2)C} = \pi\sqrt{7LC}$  - год закрыта  
 $t_2 = \pi\sqrt{L_2C} = \pi\sqrt{3LC}$  - год открыта

$L_1$  - не участвует

$T = t_1 + t_2 = \pi\sqrt{LC}(\sqrt{7} + \sqrt{3})$

2) ток максимален, когда  $I_1' = 0$   
 по 2 пр. Кирхгофа:

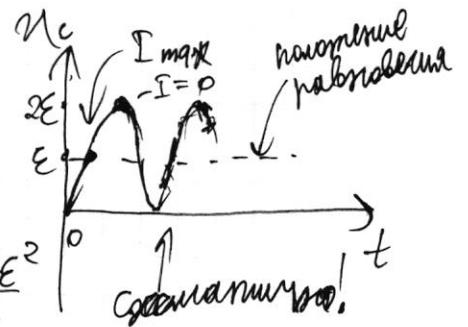
$\varepsilon = 3LI' + 4LI' + \frac{q}{C} \Rightarrow U_C = \varepsilon$

ток.  $\varepsilon$  - положение равновесия -  $W_{cmax} = \frac{C \cdot \varepsilon^2}{2}$

$0 = \frac{7LI_{1m}^2}{2} + \frac{C \cdot 4\varepsilon^2}{2} - \frac{C\varepsilon^2}{2} = A_{ист}$ ;  $A_{ист} = \varepsilon \cdot C(2\varepsilon - \varepsilon) = C\varepsilon^2$

$I_{1m} = \varepsilon \cdot \sqrt{\frac{C}{7L}}$

$U_{cmax} = 2\varepsilon$ , т.к.  $\omega$  - за картину  
 сдвига нуль смещает положение  
 равновесия на  $U_{равн} = \varepsilon \Rightarrow U_{cmax} = \varepsilon + \varepsilon = 2\varepsilon$



3) Поток на  $L_2$ -буген максимален во 2 части референда  
 м.к.  $L_{2m}$ -буген менше

$$A_{\text{вст}} = \varepsilon \cdot C(\varepsilon - 2\varepsilon) = -C\varepsilon^2$$

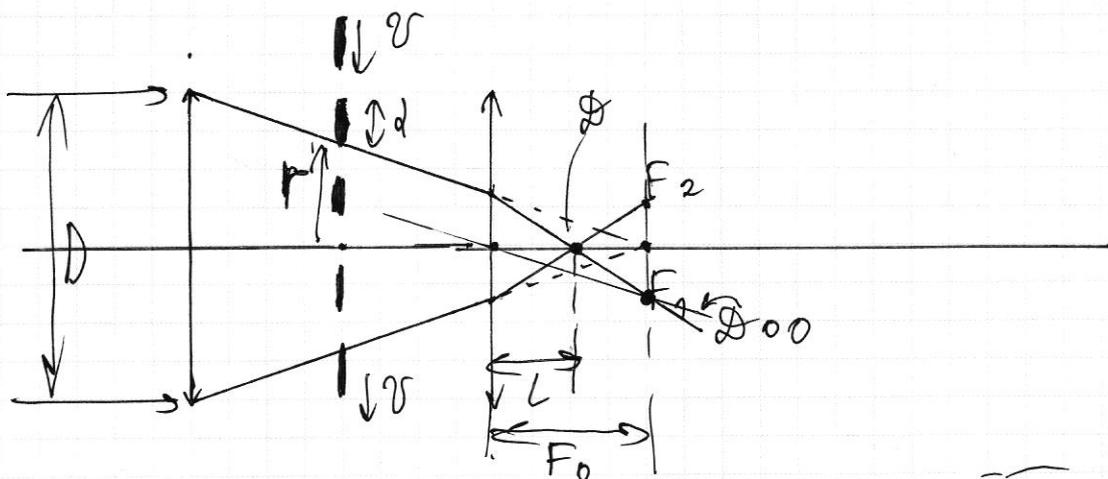
✓ ЗСЭ:

$$-0 + \frac{3L I_{2m}^2}{2} + \frac{C \cdot 9\varepsilon^2}{2} + \frac{C\varepsilon^2}{2} = -C\varepsilon^2$$

$$I_{2m} = \varepsilon \cdot \frac{C}{3 \cdot L}$$

N5

- $F_0 = F_2$
- $F_1 = 3F_0$
- $I_0 = kP$
- $I_1 = \frac{5}{9} I_0$
- $t_0$
- $D$



$$d = v \cdot t_0$$

можно записать:  $\frac{1}{F_0} = \frac{1}{L} - \frac{1}{F_0} \Rightarrow L = \frac{F_0}{2}$

- 1)  $L$  - ?
- 2)  $v$  - ?
- 3)  $t_1$  - ?

1) Для  $L_2$ :  $\frac{1}{F_0} = \frac{1}{L} - \frac{1}{F_0} \Rightarrow L = \frac{F_0}{2}$

2) При  $I_1$  - мишень полностью находится в потоке света и  $d = v \cdot t_0$  диаметр мишени

Найдем радиус потока в плоскости фокусирующей линзы

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Из подобия получаем  $\frac{D}{2} = \frac{r}{\frac{r}{2}} \Rightarrow r = \frac{D}{3}$

$S = \pi \frac{D^2}{4}$       $S' = \pi \frac{d^2}{4} = \pi \frac{v^2 \tau_0^2}{4}$

пока диаметр внутри потока, он всегда меньше

$\Gamma_1 = \frac{5}{9} \Gamma_0$

$\Gamma = k P$

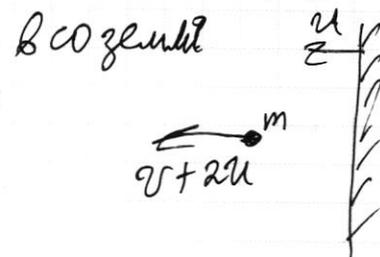
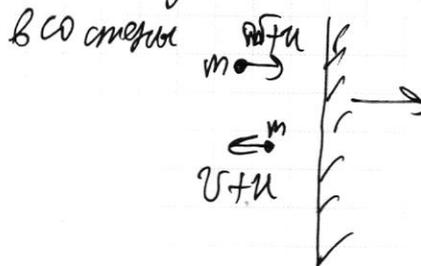
$P_1 = \frac{\Gamma_1}{k} \quad P_1 = \frac{5 \Gamma_0}{9 k} = \frac{5}{9} P_0$

$P \sim S \Rightarrow S_1 = \frac{5}{9} S \Rightarrow \pi \left( \frac{D}{9} - \frac{v^2 \tau_0^2}{4} \right) = \frac{5}{9} \pi \frac{D^2}{4}$

$\frac{v^2 \tau_0^2}{4} = \frac{4}{9} \frac{D^2}{9} \Rightarrow v = \frac{4 D}{9 \tau_0}$

$t_1 = \frac{2r}{v} + \tau_0 = 2 \frac{\frac{D}{3}}{\frac{4 D}{9 \tau_0}} + \tau_0 = \frac{5}{2} \tau_0$

Доказательство ~~отсутствует~~ из известного факта в 1 задаче



N 1

Ответ: 1)  $v_2 = 18 \text{ м/с}$ ; 2)  $u > 6\sqrt{2} - 3\sqrt{3} \text{ м/с}$

N 2

Ответ: 1)  $\frac{V_1}{V_2} = \frac{7}{11}$ ; 2)  $T^L = 450 \text{ K}$ ; 3)  $Q_1 = 2493 \text{ Дж}$

N 3

Ответ: 1)  $\frac{|E'|}{|E|} = \sqrt{2}$ ; 2)  $E^A = \sqrt{\frac{5 \cdot 6^2}{2 \cdot \epsilon_0^2}}$

N 4

Ответ: 1)  $T = \pi \sqrt{LC} (\sqrt{3} + \sqrt{7})$ ; 2)  $I_{1m} = \epsilon \cdot \sqrt{\frac{q \cdot C}{7 \cdot L}}$ ; 3)  $I_{2m} = \epsilon \cdot \sqrt{\frac{q \cdot C}{3 \cdot L}}$

N 5

Ответ: 1)  $L = \frac{F_0}{2}$ ; 2)  $v = \frac{4}{9} \cdot \frac{D}{\tau_0}$ ; 3)  $t_1 = \frac{5}{2} \tau_0$



### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$u = \frac{18^6 \cdot \frac{2\sqrt{2}}{3} - 12^6 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{2} = 6\sqrt{2} - 3\sqrt{3}$$

$$\begin{aligned} p_1' V_1' &= \nu_1 RT_1' \\ p_2' V_2' &= \nu_2 RT_2' \end{aligned} \Rightarrow p_1' V_1' = p_2' V_2'$$

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_1' V_1'}{T_1'}$$

$$\frac{350^2}{950^2} \cdot \frac{g}{g}$$

$$\frac{831}{2493}$$

$$\frac{\sqrt{\pi}}{5} \approx \frac{180}{5} = 36$$

$$\frac{9LI_{1m}^2}{2} = \frac{36^2}{2} \neq 2592$$

$$\frac{9LI^2}{2} = 1$$

$$\frac{9LI^2}{2} = 36^2$$

$$1 = \frac{9LI^2}{2}$$



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Blank grid area for writing the answer.

черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №       
(Нумеровать только чистовики)

