

# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

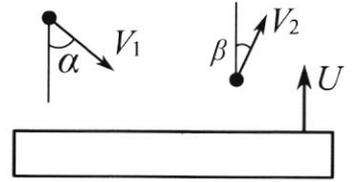
Класс 11

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.

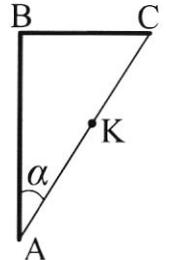
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится водород, во втором – азот, каждый газ в количестве  $\nu = 6/7$  моль. Начальная температура водорода  $T_1 = 350$  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?

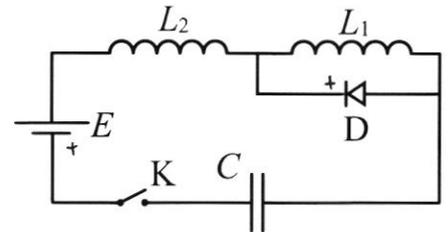
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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  $L_1$ .

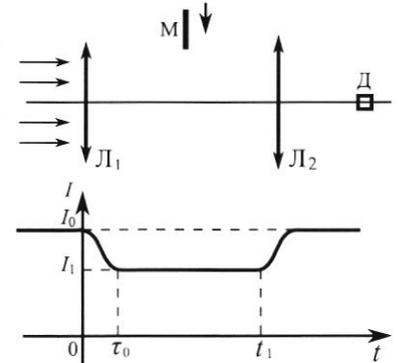


1) Найти период  $T$  этих колебаний.

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

Дано 1)  $PV = \nu RT$  - закон Менделеева-Клапейрона 1/2

$T_1 = 350 \text{ K}$       тк  $V_1 = V_2$ ;  $P_1 = P_2$

$T_2 = 550 \text{ K}$        $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{350}{550} = \frac{7}{11}$

$\nu = \frac{6}{7} \text{ моль}$

$C_V = \frac{5}{2} R$

2) тк сосуд теплоизолирован  $\Rightarrow$   
E - константа (энергия)

или из линейности ( $U \propto T^2$ )  
 $U = \frac{5}{2} \nu R T \Rightarrow T_{\text{уст}} = \frac{T_1 + T_2}{2} = 450 \text{ K}$

3)  $\delta A = dV \Delta P$  тк процесс квазистатический  $\Delta P \ll P = \frac{\nu RT}{V}$

$\Rightarrow$  вся энергия перешла через теплоту

$Q = (T_2 - T_{\text{уст}}) \nu C_V = (T_{\text{уст}} - T_1) \nu C_V$

$Q = 100 \text{ K} \cdot \frac{6^3}{7} \cdot \frac{5}{2} R = \frac{2000}{7} R \approx 286 \text{ Дж}$

$\frac{7500}{7} R \approx 1780 \text{ Дж}$

Из определения телесного угла  $\Omega$  и напряженности  $E_1$  поля ( $\vec{E}_1 \parallel \vec{y}$ )  $\Rightarrow$

№3

$$E_1 = \frac{\Omega \cdot \sigma}{4\pi \epsilon_0} ; \Omega - \text{телесный угол}$$

1) Так  $BK = KC = AK$  Так  $\Delta ABC$  равносторонний  $\Rightarrow$

$E_x \text{ танг} = 0$  от любой из пластин  $\Rightarrow$

$$E_1 = \frac{\pi \cdot \sigma}{4\pi \epsilon_0} \cdot \frac{1}{\sin \alpha} = \frac{\sqrt{2} \sigma}{4 \epsilon_0}$$

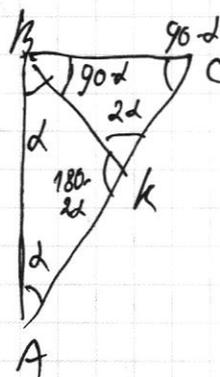
2)  $E_x = 0$  сд пункт ?

$$\Omega_a = \frac{2\alpha}{2\pi} \cdot 4\pi = \frac{4}{5}\pi \quad (\text{против } BC)$$

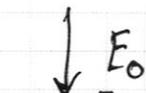
$$\Omega_b = \frac{\pi - 2\alpha}{2\pi} \cdot 4\pi = \frac{6}{5}\pi \quad (\text{против } AB)$$

$$E_2^2 = \left( \frac{3 \cdot \frac{4}{5}\pi \sigma}{4\pi \cdot \epsilon_0} \right)^2 + \left( \frac{\frac{6}{5}\pi \cdot \sigma}{4\pi \epsilon_0} \right)^2 = \text{Пифагор}$$

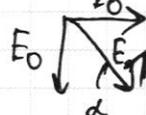
$$E_2 = \frac{\sigma}{5 \epsilon_0} \cdot \frac{3\sqrt{5}}{2}$$



1) Ислучай



II случай



$$\text{Так } \alpha = \frac{\pi}{4} \quad \sin \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\text{То отношение напряженностей } k = \frac{E_1}{E_0} = \frac{1}{\sin \frac{\pi}{4}} = \sqrt{2}$$

1) Так трения нет  $\Rightarrow$

$v_{1H} = v_{2H}$  - горизонтальные компоненты сохраняются

$$\sin \alpha v_2 = v_1 \sin \alpha \Rightarrow v_2 = v_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha} = 12 \cdot \frac{1}{2} \cdot 3 = \underline{18 \text{ м/с}}$$

2) И во всех случаях  $v_{\text{плиты}} < v_{\text{ш}} \cdot v$

$\Rightarrow$  Если  $v_1$  - направлена вверх, то

$\uparrow$  ВЕРТИКАЛЬНАЯ  
КОМП.

~~два~~ решения войдут в другой случай

( $v_1$  направлена вниз)

$$\Delta v = v_{v1} + v_{v2} = 12 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} + 18 \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot 2}{3} = 6(2\sqrt{2} + \sqrt{3}) \text{ м/с}$$

II ПЕРЕСЯДЕМ В СО  $v_{1v} \downarrow$ , ТОГДА ШАРИК

ДО УДАРА СТАНЕТ НЕПОДВИЖЕН ВО ОЛЬ ОСИ  $\perp$  ПЛИТЕ

ТОГДА ЕСТЬ ДВА КРАЙНИХ СЛУЧАЯ (РЕШЕНИЯ МЕЖДУ НИМИ):

А) Абс. упр.  $\Delta v = v_{\text{отн.пл}} \cdot 2$

Б) Абс. не упр.  $\Delta v = v_{\text{отн.пл}}$

( $v_{\text{отн.пл}}$  - скорость  
плиты в СО)

$$A) v_{\text{пл}} = -v_1 + \frac{\Delta v}{2} \quad ; \quad B) v_{\text{пл}} = -v_1 + \Delta v = v_{2v}$$

$$v_{\text{пл(A)}} = \frac{v_{2v} - v_{1v}}{2} = \underline{6(2\sqrt{2} - \sqrt{3}) \text{ м/с}}$$

$$v_{\text{пл(B)}} = \underline{12\sqrt{2} \text{ м/с}}$$

РЕШЕНИЯ МЕЖДУ  
НИМИ

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1) В ПЕРВЫЕ ПОЛПЕРИ ОАА  $I_{L_1} \neq 0 \Rightarrow$  [14]  
 В0 ВТОРЫЕ  $I_{L_2} = 0$  Тк  $(U_{L_1} = 0$  Тк ДИОД  
 ИДЕАЛЬНЫЙ)

$$I = \frac{I_1 + I_2}{2};$$

$$\xi = L \ddot{q}; \quad U = \frac{q}{C}; \quad \ddot{q} + q \cdot \frac{1}{LC} = 0 \Rightarrow \omega^2 = \frac{1}{LC}$$

$$T_1 = 2\pi \sqrt{L_2 C}; \quad T_2 = 2\pi \sqrt{(L_1 + L_2) C} \quad (\text{Тк ИСТОЧНИК } \xi \text{ НЕ ВЛИЯЕТ НА } \omega)$$

$$T = \frac{(\sqrt{3} + \sqrt{7}) \sqrt{LC} \pi}{1}$$

2) ~~Х~~ МОЖНО ПРЕДСТАВИТЬ  $\begin{matrix} C \\ | \\ \text{---} \\ | \\ C \end{matrix} \begin{matrix} \xi \\ \text{---} \\ \xi \end{matrix}$  (ПОСЛ СОБА)  
 КАК ЗАРЯЖЕННЫЙ КОНДЕНСАТОР КОНД. И БАТАР.  
 (ИЗ ЛИНЕЙНОСТИ  $q = C U$ )

$$W = \frac{C \xi^2}{2} = \frac{I_{1M}^2 \cdot (L_1 + L_2)}{2} = \frac{I_{2M}^2 L_2}{2} \quad \text{ИЗ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ}$$

$$I_{1M} = \sqrt{\frac{C}{4L}} \xi \quad ; \quad 3) \quad I_{2M} = \sqrt{\frac{C}{3L}} \xi \quad \text{ОТВЕТ}$$

PS. СНАЧАЛА ТОК ИДЕТ ЧЕРЕЗ ОБЕ КАТУШКИ (ОДИНАКОВЫМ)  
 ДИОД ЗАКРЫТ

ДАЛЬШЕ ТОК ИДЕТ ЧЕРЕЗ  $L_2$  И ДИОД (ТОК  $L_1 = 0$ )

PS 2) АНАЛОГИ Я С ПРУЖИНКОЙ И СМЕЩЕНИИ ПОЛОЖИТЕЛЬНО  
 РАВНОВЕСИЯ

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1) Из рисунка - две линзы собирающие

15

из определены фокусы, лучи после  $\mathcal{L}_1$  соберутся  
на расстоянии  $3F_0$  от нее  $(2F_0 - 3F_0 = -F_0)$

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F_0} \quad \text{для } \mathcal{L}_2 \quad \text{формула линзы}$$

$$a = -F_0 \Rightarrow b = \frac{F_0}{2}$$

2)  $I \propto S_{\text{откр. части}}$

$S_1$  - площадь диска света  
на  $F_0$

$$S_1 = \frac{\pi D^2}{9}$$

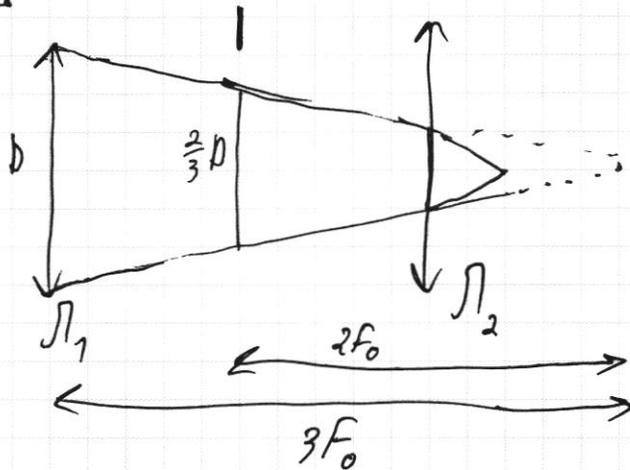
$$S_0 = \left(1 - \frac{I_1}{I_0}\right) \cdot S_1 \quad S_0 = \frac{4}{81} D^2$$

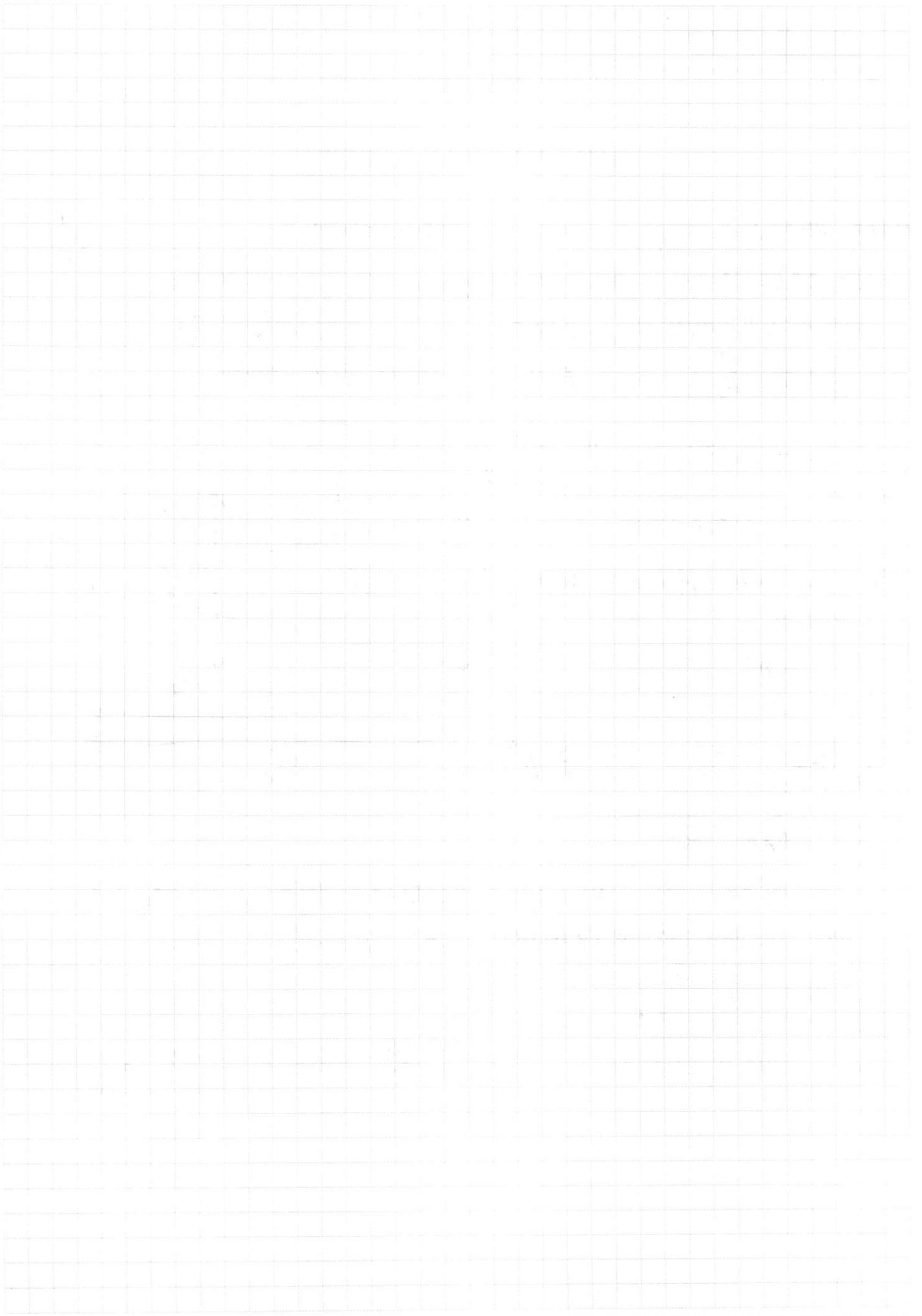
$$\Rightarrow D_{\text{пл}} = \frac{4}{9}$$

за время  $\tau_0$  мишень успевает дойти до момента, когда  
она полностью освещена  $\Rightarrow v = \frac{D_{\text{пл}}}{\tau_0}$

$$v = \frac{4}{9} \frac{D}{\tau_0}$$

$$3) \quad v \cdot t_1 = \frac{2}{3} D \quad ; \quad t_1 = \frac{2}{3} \frac{D}{v} \cdot \tau_0 \cdot \frac{9}{4} = \underline{1,5 \tau_0}$$





черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

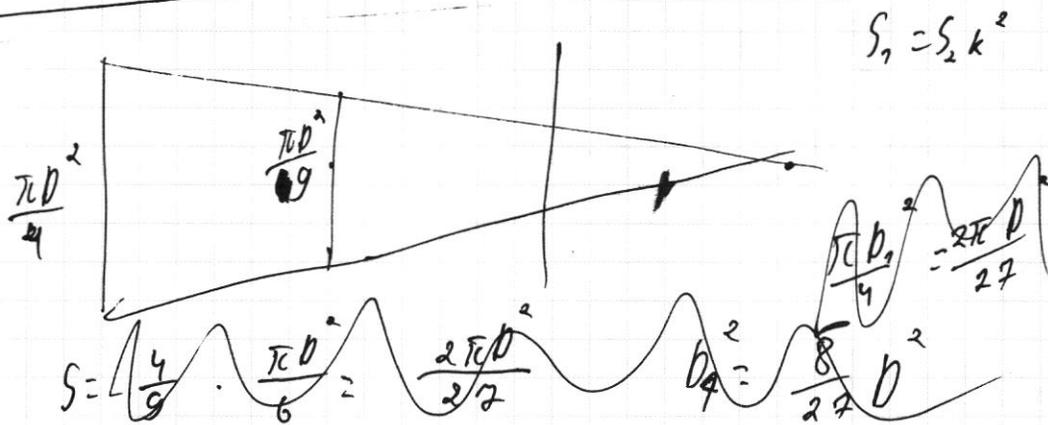
Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

$$U_{\text{кв}} = q = cU \quad ; \quad u = \frac{q}{c} \quad ; \quad \mathcal{E} = L \frac{dI}{dt} = L \ddot{q}$$

$$L \ddot{q} + \frac{q}{c} = 0 \quad ; \quad \ddot{q} + q \frac{1}{Lc} = 0$$

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

$$\omega^2 = \frac{1}{Lc}$$



$$S = \frac{4}{9} \cdot \frac{\pi D^2}{9} \Rightarrow D_1 = D \cdot \frac{4}{9}$$

$$\frac{D_1}{\tau_0} = \nu$$

$$t = \frac{\frac{2}{3} D - D_1}{\nu}$$

$$\frac{2}{3} - \frac{4}{9} = \frac{6}{9} - \frac{4}{9} = \frac{2}{9}$$

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\sin \alpha = \frac{1}{3} \quad \cos \alpha = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

$$\sin \alpha = \frac{1}{3} \quad \cos \alpha = \frac{2\sqrt{2}}{3} \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{2\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{4}$$

*Handwritten scribbles*

$$H_1 = H_2; \quad H_1 = \operatorname{tg}_1 \cdot V_1; \quad H_2 = \operatorname{tg}_2 \cdot V_2$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\operatorname{tg}_2}{\operatorname{tg}_1}$$

$$V_1 = 6 \text{ м/с}; \quad V_2 = 12 \text{ м/с}$$

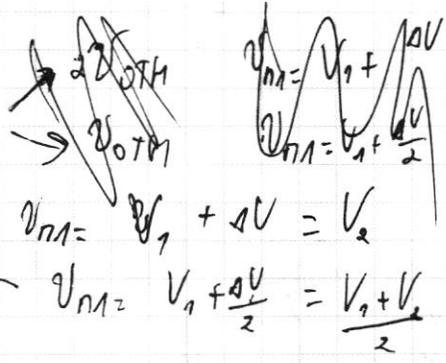
$$V_1 = 6\sqrt{3} \text{ м/с}; \quad V_2 = 12\sqrt{2}$$

$$I \quad \Delta V = 6(2\sqrt{2} + \sqrt{3})$$

$$II \quad \Delta V = 6(2\sqrt{2} - \sqrt{3})$$

$$I \quad v_{пл} = -V_1 + \frac{\Delta V}{2} = \frac{V_2 - V_1}{2}$$

$$v_{пл} = -V_1 + \Delta V = V_2$$



$$\frac{100}{7} = 10 + 4 = 14$$

5 1  
24  
83  
72  
792  
7992

$$\frac{2000}{7} \approx 300 - 14 = 286$$

$$\frac{7245}{7} = 200 - 22 = 178$$

$$\frac{155}{7} = 20 + 2 = 22$$

7  
75  
83  
45  
720  
7245

$$\frac{\sigma \cdot \epsilon_0}{4\pi \epsilon_0}$$

$$\frac{2\pi \cdot \sigma}{2 \cdot 4\pi \cdot \epsilon_0} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$g_f = \frac{9}{4} = \frac{45}{4} = \frac{3\sqrt{5}}{2}$$



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)