

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

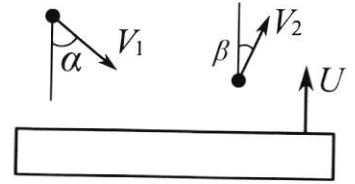
Класс 11

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

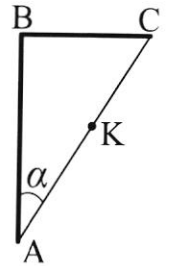
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится водород, во втором – азот, каждый газ в количестве $\nu = 6/7$ моль. Начальная температура водорода $T_1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

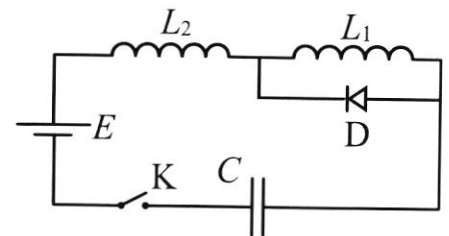
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



✓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 .

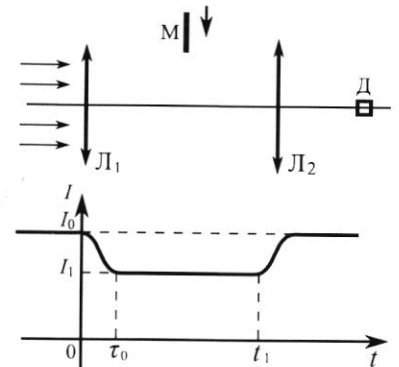


✓1) Найти период T этих колебаний.

✓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 , τ_0 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1) запишем уравнение Менделеева-Клапейрона для H_2 и N_2

$$V_{0H_2} \neq V_0 \begin{cases} V_{0H_2} p_0 = \nu R T_1 \\ V_{0N_2} p_0 = \nu R T_2 \end{cases}$$

$p_0,$ V_{0H_2}	$p_0,$ V_{0N_2}
H_2	N_2

$$\frac{V_{0H_2}}{V_{0N_2}} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{V_{0H_2}}{V_{0N_2}} = \frac{350}{550} = \frac{7}{11}$$

2)

T_1, V	T_2, V
p	p

когда газы в конце процесса
и газы в исходных процессах
 $V_{H_2} = V_{N_2} = V$

запишем 3СЗ:

$$\frac{5}{2} \nu R T_1 + \frac{5}{2} \nu R T_2 = \frac{10}{2} \nu R T$$

$$T_1 + T_2 = 2T \Rightarrow T = \frac{T_1 + T_2}{2}; T = 450K$$

3) найти объём
всего сосуда V_0

когда $V_{0H_2} = \frac{7}{18} V_0$

$$V = \frac{1}{2} V_0$$

докажем, что $p = p_0$. если это так,

$$\frac{V_{0H_2}}{T_1} = \frac{V_{0N_2}}{T_2}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{9}{7}; \frac{V_{0H_2}}{V_{0N_2}} = \frac{V}{V_0} = \frac{9}{7} \text{ ч.т.д.}$$

значит процесс
изобарный, $c_p = \frac{7}{2}$

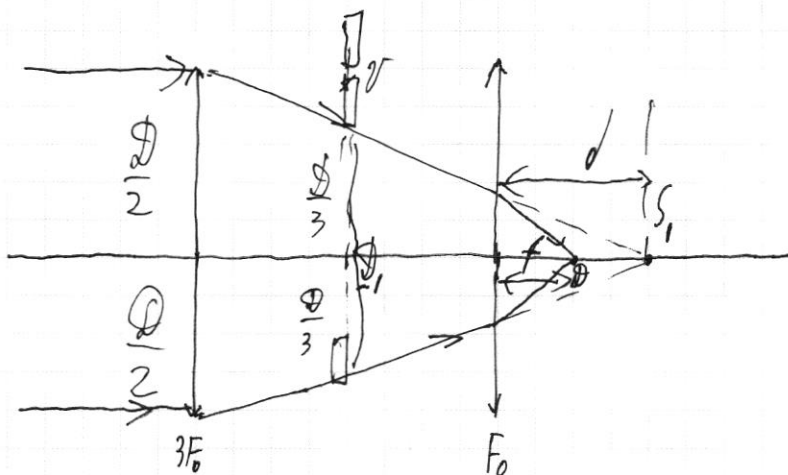
$$Q = \frac{7}{2} \nu R (T - T_1)$$

$$Q = \left(\frac{7}{2} \cdot \frac{6}{7} \cdot 8,31 \cdot (450 - 350) \right) \text{ Дж} = 2493 \text{ Дж}$$

Ответы: 1) $\frac{7}{11}, \frac{T_1}{T_2}$

3) $Q = \frac{7}{2} \nu R (T - T_1) = 2493 \text{ Дж}$

2) $T = \frac{T_1 + T_2}{2} = 450K$



рассеиваем под углом.
 s_1 - минимальное расстояние
 для λ_2 .

$$1) \frac{1}{F_0} = -\frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{dF_0}{d+F_0} = \frac{1}{2}F_0$$

2) поскольку $I \sim E^2$ (E - амплитуда), можно найти
 d - диаметр линзы. найдем D_1 , из подобия Δ -ов
 $D_1 = \frac{2D}{3}$

линза заслоняет свет, так уменьши на $\frac{4}{9}I_0$. т.е.

$$\frac{D_1 - d}{D_1} = \frac{I_0 - I_1}{I_0} \Rightarrow \frac{D_1 - d}{D_1} = \frac{4I_0}{9I_0} \Rightarrow d = \frac{4I_0}{9I_0} D_1 = \frac{4}{9} \cdot \frac{2D}{3} = \frac{8}{27}D$$

из ур-я $\sigma = \frac{8}{27} \tau_0$ $\tau = \frac{8D}{27\tau_0}$

3) линза должна пройти $\frac{2D}{3}$
 $t_1 = \frac{2D}{3\tau} = \frac{2D}{3 \cdot \frac{8D}{27\tau_0}} = \frac{9}{4} \tau_0$

- Ответы: 1) $f = \frac{1}{2}F_0$
 2) $\tau = \frac{8D}{27\tau_0}$
 3) $t_1 = \frac{9}{4} \tau_0$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

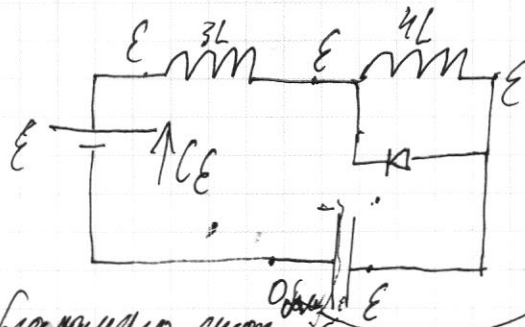
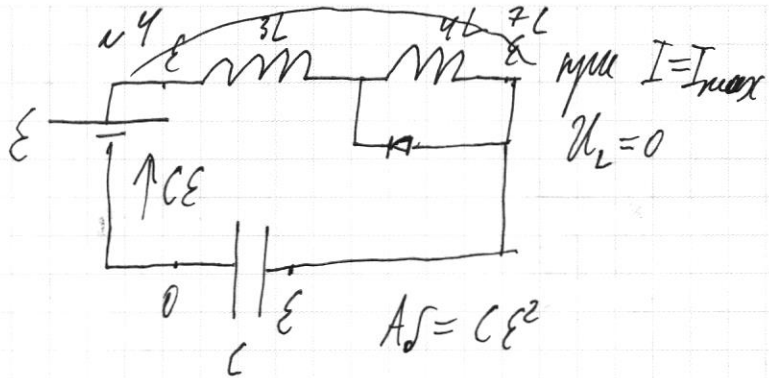
$$1) I_1 = \pi \sqrt{7LC + 3LC}$$

2) $3C\varepsilon$

$$C\varepsilon^2 = \frac{1}{2}C\varepsilon^2 + \frac{3}{2}LI_{1m}^2$$

$$C\varepsilon^2 = 3LI_{1m}^2$$

$$I_{1m} = \sqrt{\frac{C}{3L}} \varepsilon$$



минимум период

$$T_1 = 2\pi\sqrt{7LC} \text{ в } \text{одно} \text{ } \text{обратном} \text{ } \text{смер.}$$

ток через $4L$ не течет, поэтому $T_2 = 2\pi\sqrt{3LC}$. период $T_1 = 2\pi\sqrt{7LC}$
период через L_1 составной, ок под период T_1 , разбегна T_2 , ток
при этом равен 0 $T = \pi(\sqrt{7LC} + \sqrt{3LC})$

3) когда $I_{2x} = I_{2m}$, $U_{2x} = 0$, ток через L_1 нет, т.е.
дур, поэтому $I_{2m} = 0$

$$C\varepsilon^2 = \frac{1}{2}C\varepsilon^2 + \frac{3}{2}LI_{2m}^2$$

$$C\varepsilon^2 = 3LI_{2m}^2$$

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

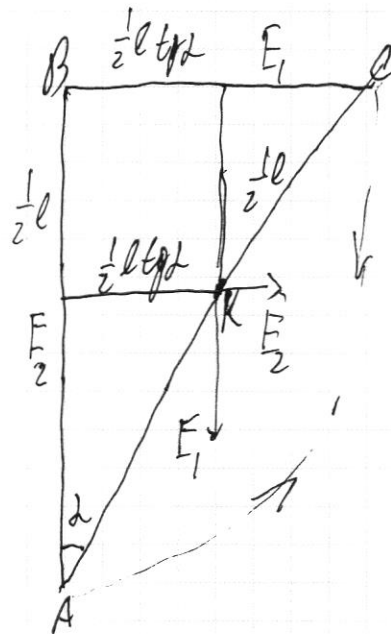
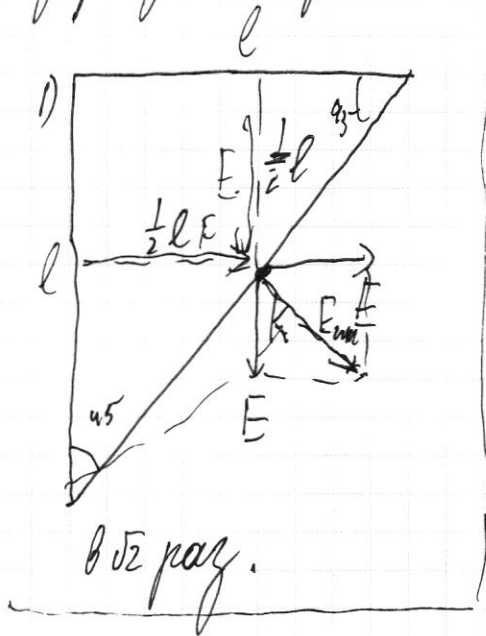
$$\text{Ответы: } 1) T = \pi\sqrt{LC}(\sqrt{7} + \sqrt{3})$$

$$2) I_{1m} = \sqrt{\frac{C}{3L}} \varepsilon$$

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

№3

плоскость создает однородное эл. поле. Воспользуемся принципом суперпозиции. Пусть $AB=l$. E_0 - поле без зарядов и т.



$$E = E_0$$

$$E_1 = \frac{3G}{2\epsilon_0} \epsilon \rho l$$

$$E_2 = \frac{G}{2\epsilon_0}$$

$$E = \sqrt{\left(\frac{G}{2\epsilon_0}\right)^2 (1 + 9\epsilon^2 \rho^2 l^2)} =$$

$$= \frac{G}{2\epsilon_0} \sqrt{1 + 9\epsilon^2 \rho^2 l^2}$$

Ответ: $\sqrt{2}$

1) $\frac{G}{2\epsilon_0} \sqrt{9\epsilon^2 \rho^2 l^2 + 1}$

№1

1) В зориз. соств. скорости сохраняются, т.к. паралл. скорости

$$v_{||} = v_1 \sin \alpha$$

$$v_2 = \frac{v_{||}}{\sin \beta} = \frac{v_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{3}{2} v_1 = 18 \frac{m}{c}$$

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \frac{1}{9}} = \sqrt{\frac{8}{9}} = \frac{2\sqrt{2}}{3}$$

2) $v_{\perp 1} = v_1 \cos \alpha = \frac{\sqrt{3}}{2} v_1$

$$v_{\perp 2} = v_2 \cos \beta = \frac{3}{2} v_1 \cdot \frac{2\sqrt{2}}{3} = \sqrt{2} v_1$$

Ответы: 1) $\frac{3}{2} v_1 = 18 \frac{m}{c}$
2) $v > v_1 \left(\frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{3}}{4} \right)$

первый случай:

$$2v < \sqrt{2} v_1 + \frac{\sqrt{3}}{2} v_1 =$$

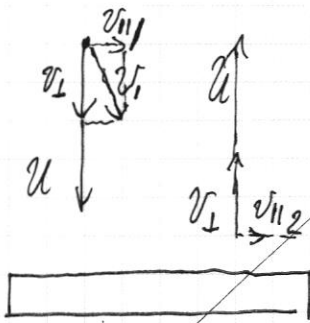
$$\neq v_1 \left(\frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right)$$

$$u \geq v_1$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

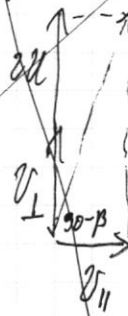
при переходе в со шмы. в кет сокращается верн токков
(по модулю)

ПСО - шмы



вернама в х ЛСО

$$U_{\perp} = U \cos \alpha$$

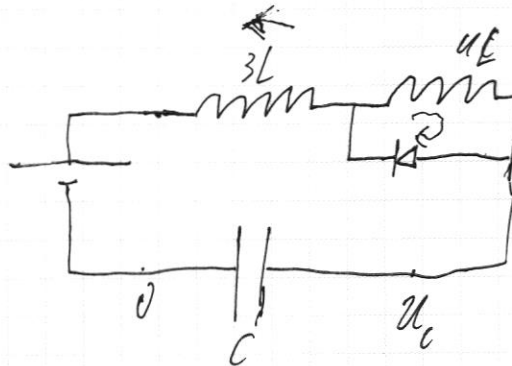


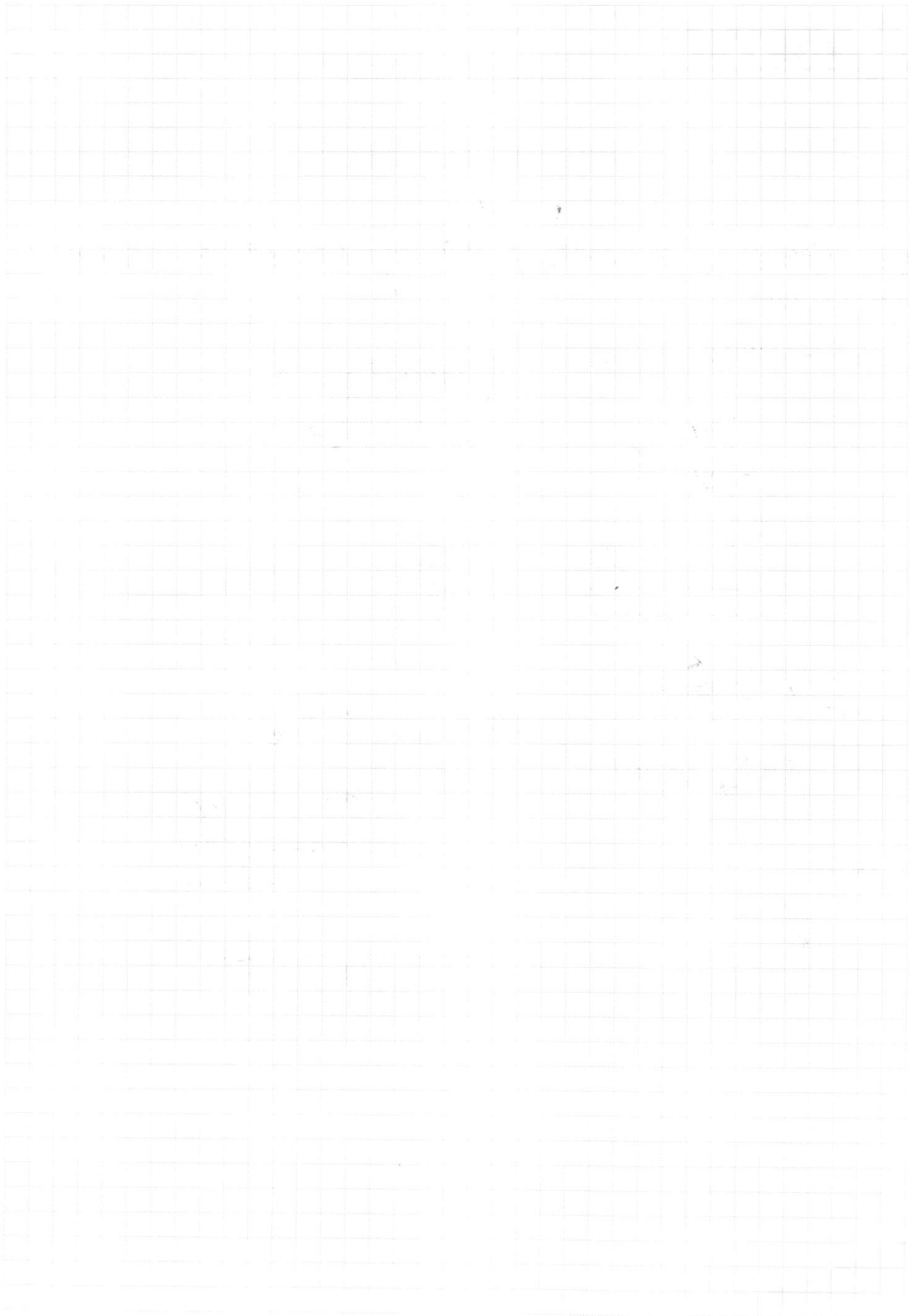
$$\sqrt{1 - \frac{1}{9}} = \frac{2\sqrt{2}}{3}$$

μ -ше $U_c = U_{\text{max}}$

$$I = I_{\text{IM}} \sin(\omega t)$$

до 100





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 № 5
(Нумеровать только чистовики)

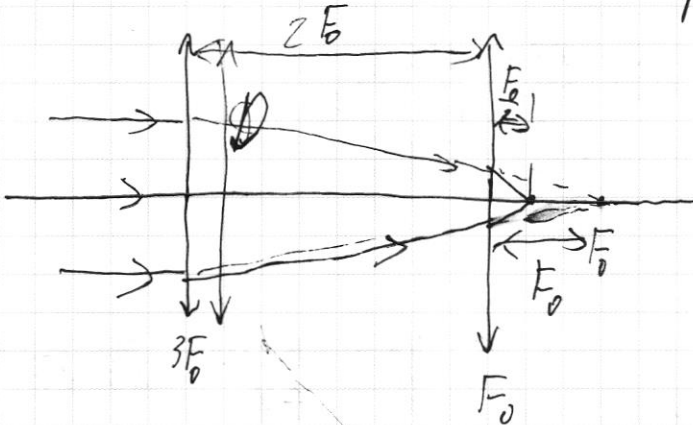


черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№5



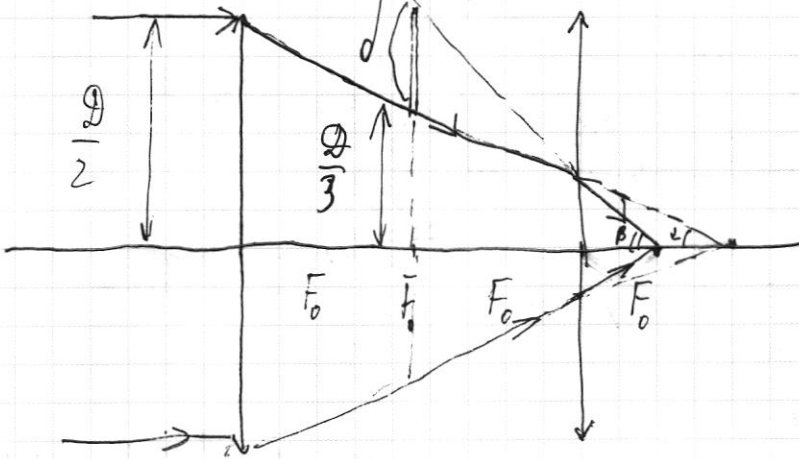
$$F = \frac{F_0}{2} \cdot \frac{3}{1}$$

$$k = \frac{4}{9} I_0$$

$$\frac{4}{9} \text{ от } \frac{2D}{3}$$

$$d = \frac{8D}{27}$$

$$v = \frac{d}{\tau_0} = \frac{8D}{27\tau_0}$$



$$v \cdot \frac{2D}{3} = t = \frac{2d}{3} = \frac{2D \cdot 27\tau_0}{3 \cdot 8D} = \frac{9}{4} \tau_0$$

$$t_1 = \frac{13}{4} \tau_0$$

$$\frac{9}{3} - \frac{10}{24}$$

$$\frac{2D}{3} = k I_0 \quad \frac{2D}{3} - d = \frac{5}{9} k I_0$$

$$k = \frac{2D I_0}{3 I_0}$$

$$d = \frac{2D}{3} - \frac{5}{9} I_0 \cdot \frac{2D}{3 I_0}$$

$$Q = \Delta U_1 + A$$

$$Q_2 = \Delta U_2 + A$$

$$\begin{array}{r} - \frac{831 \cdot 12}{7} \\ \hline 13 \\ - \frac{7}{61} \end{array}$$

$$2Q = \Delta U_1 + \Delta U_2$$

$$Q = \frac{\Delta U_1 + \Delta U_2}{2} = \frac{5}{2} \nu R (T - T_1) = \frac{5}{2} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{831 \cdot 100}{7} = \frac{15}{7} \cdot 831$$

$$Q_1 = +Q, \quad Q_2 = -Q$$

$$Q_1 = \Delta U_1 + A, \quad +Q = \Delta U_1 - A \Rightarrow Q = -A - \Delta U_2$$

$$Q_2 = \Delta U_2 + A, \quad -Q = \Delta U_2 + A \Rightarrow -Q = A + \Delta U_2$$

$$\Delta U_1 = -\Delta U_2$$

Объем V_0

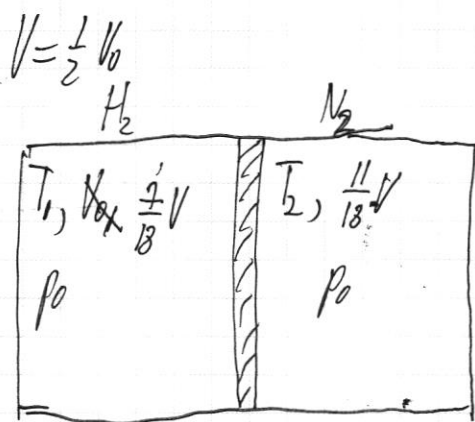
$$V_{01} + V_{02} = V$$

$$\frac{7}{11} V_{02} + V_{02} = V$$

$$\frac{18}{11} V_{02} = V$$

$$V_{02} = \frac{11}{18} V_0$$

$$V_{01} = \frac{7}{18} V_0$$



3-го линейная,

$$\frac{7}{2} \cdot \nu R 100 = \frac{7}{2} \cdot \frac{3}{2} \cdot 831 \cdot 100$$

$$p_0 = \frac{\nu R T_1}{V_{01}} = \frac{18 \nu R T_1}{7 V_0} = \frac{18}{7} \cdot \frac{18 \cdot 6 \cdot 831}{7 \cdot 7}$$

$$p = \frac{2 \nu R T}{V}$$

$$\frac{V}{V_{01}} = \frac{\frac{1}{2} V_0}{\frac{7}{18} V_0} = \frac{18}{7} = \frac{9}{7}$$

$$V = \frac{9}{7} V_{01} = \frac{9}{7} \cdot \frac{7}{18} V_0 = \frac{1}{2} V_0$$

$$V = \frac{9}{7} V_{01} \cdot \frac{831}{2493}$$

~~4.652~~

$$m \nu_1 \cos \alpha + M u = m \nu_2 \cos \beta + M u$$

$$\frac{9}{7} \cdot \frac{81}{427} + 81 \cdot \frac{3}{7} = 81 \cdot \frac{3}{7} + M u$$

$$T \sim V$$

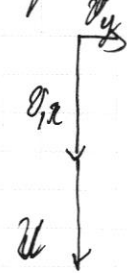
$$pV \sim V$$

$$p = \text{const}$$

$$\frac{45}{35} = \frac{9}{7}$$

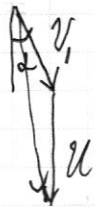
$$\frac{831}{2493}$$

перпендикуляр в со скорости



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

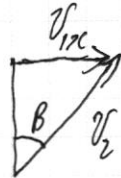
№1



перейдем в Σ системы



$$v_{ix} = v \sin \alpha = \frac{1}{2} v$$

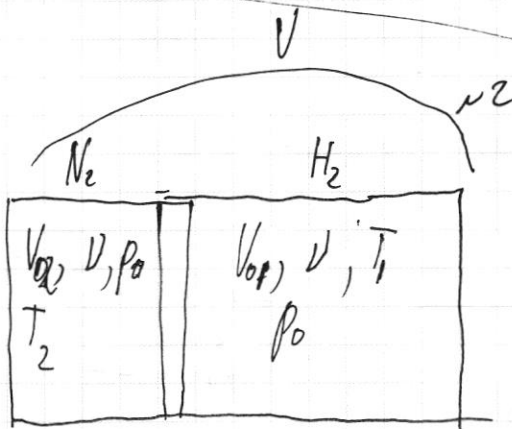


$$v_2 = \frac{v_{1x}}{\sin \beta} = \frac{\frac{1}{2} v}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{3}{2} v_1$$

$$\vec{v}_1 + 2 \vec{v}_2$$

гор. сост. не меняется

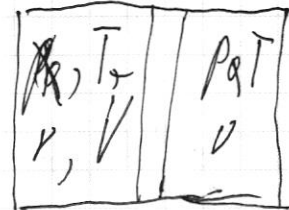
$$v_2 = \frac{3}{2} \cdot 12 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 18 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$



$$\begin{aligned} 1) V_{01} p_0 &= \nu R T_1 \\ V_{02} p_0 &= \nu R T_2 \\ \frac{V_{01}}{V_{02}} &= \frac{T_1}{T_2} \end{aligned}$$

$$\frac{V_{01}}{V_{02}} = \frac{350}{550} = \frac{7}{11}$$

2) $p_0 T$

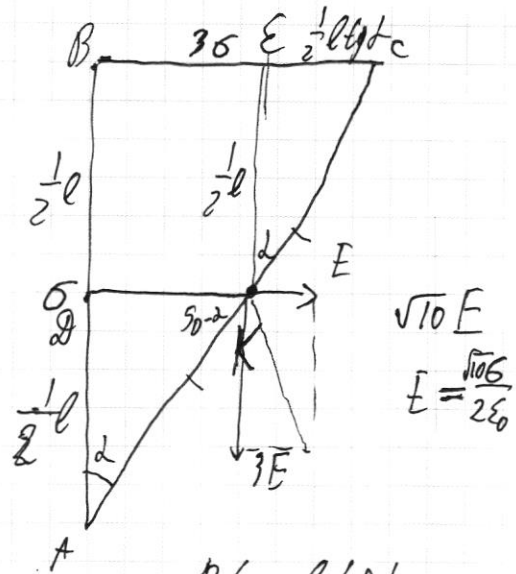
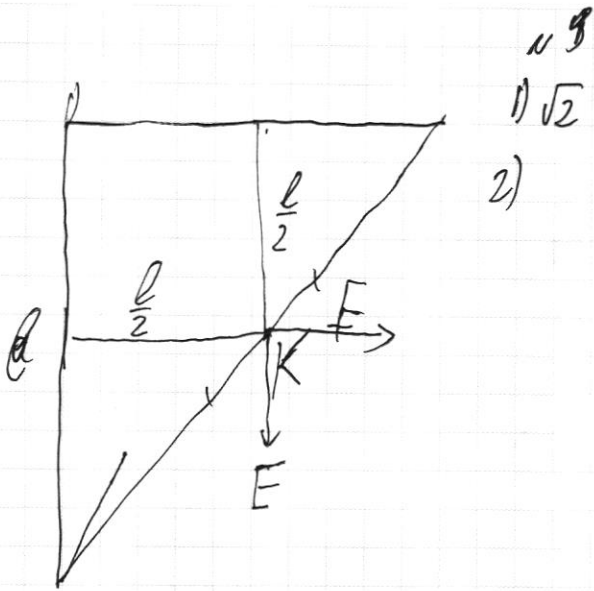


$$\frac{5}{2} \nu R T_1 + \frac{5}{2} \nu R T_2 = \frac{50}{2} \nu R T$$

$$\begin{aligned} T_1 + T_2 &= 2T \\ T &= \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{350 + 550}{2} = 450 \text{ K} \end{aligned}$$

$$pV = \nu RT$$

$$\begin{aligned} 3) \quad p_0 V_{02} &= \frac{T_2}{T_1} p_0 V_{01} \\ V_{02} &= \frac{T_2}{T_1} V_{01} \\ V_{01} &= \frac{T_1}{T_2} V_{02} \end{aligned}$$



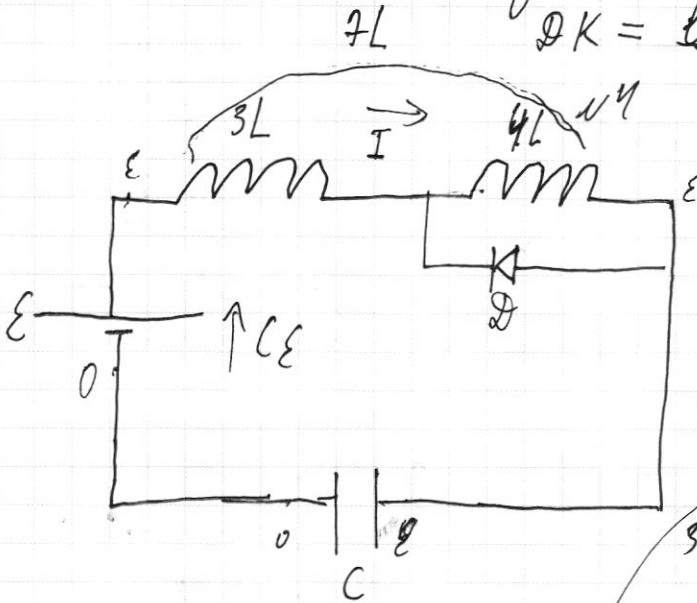
$$t \sin \alpha = \frac{EK}{l}$$

$$EK = l t \sin \alpha$$

$$BC = l t \sin \alpha$$

$$EK = \frac{l}{2}$$

$$E_{EK} = \dots$$



в одну сторону $T = 2\pi \sqrt{7LC}$

в другую $T = 2\pi \sqrt{3LC}$

2) нули $I_1 = I_{max}$ 1) =

$$CE^2 = \frac{7}{2} L I_1^2 + \frac{1}{2} CE^2$$

$$LE^2 = 7L I_1^2$$

$$I_1^2 = \frac{CE^2}{7L}$$

$$I_{1M} = \sqrt{\frac{C}{7L}} E$$

