

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

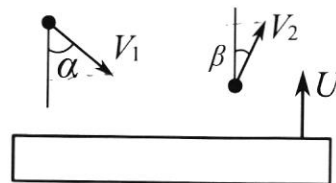
Класс 11

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.



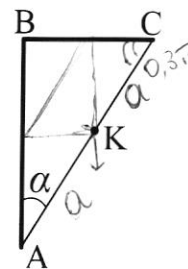
- 1) Найти скорость V_2 .
- 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.

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).

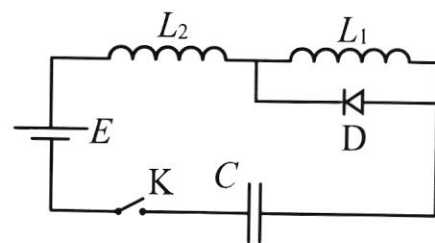
- 1) Найти отношение начальных объемов водорода и азота.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал азот водороду?

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.



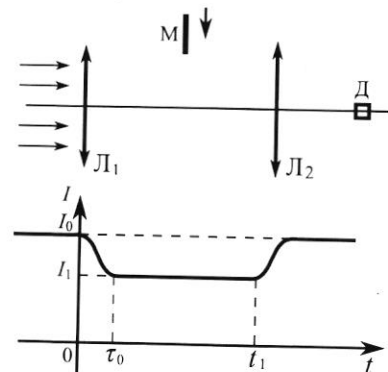
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно 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

№ 5

Дано: F_0, D, τ_0

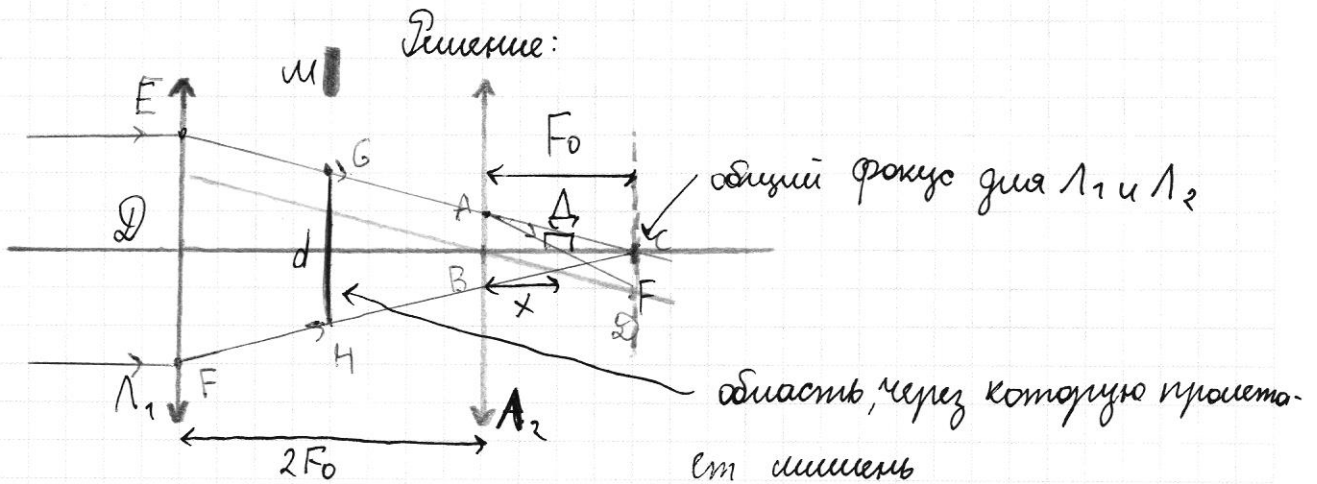
$$I_1 = \frac{5I_0}{9}$$

Найти: $x = ?$

$v = ?$

$t_1 = ?$

1)



$AB \parallel CD; AC \parallel BD \Rightarrow ABCD$ - параллелограмм

Детектор находится в точке пересечения диагоналей. Такая точка делит диагонали пополам $\Rightarrow x = \frac{BC}{2} = \frac{F_0}{2}$

2) Рассмотрим $\triangle CEF$ и $\triangle CGH$. Они подобны $\Rightarrow \frac{d}{D} = \frac{2F_0}{3F_0} = \frac{2}{3}$

I на детекторе падает, т.к. M , "движущая" через GH перекрывает часть лучей. В промежутке времени от 0 до t_1 экран выстает в область GH , т.е. в момент времени 0 нижний край экрана находится в G . В промежутке от t_0 до t_1 экран полностью оказывается в зоне перекрытия и летит через GH .

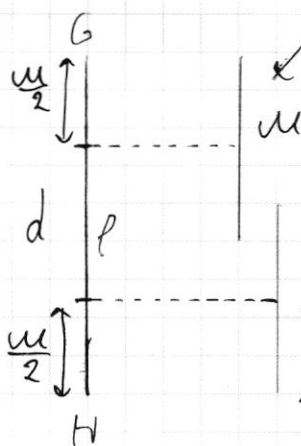
$$\frac{M}{d} = \frac{I_1}{I_0} = \sqrt{\frac{5}{9}}, \text{ т.к. } P \sim d^2 \sim I$$

$$\Rightarrow M (\text{размер экрана}) = \sqrt{\frac{5}{9}} d = \sqrt{\frac{5}{9}} \cdot \frac{2}{3} D = \frac{2\sqrt{5}}{9} D$$

$$v = \frac{M}{\tau_0} = \frac{2\sqrt{5} D}{9 \tau_0}$$

№5 (продолжение)

3)



← положение шмшши в момент t_0

шмшши конечно же не сшезцается по горизонталши, так наршсованно для удобства

← положение шмшши в момент t_1

За время от t_0 до t_1 шмшши проходит расстояние l

$$d = m + l \Rightarrow l = \frac{4}{9}d = \frac{4}{9} \cdot \frac{2}{3}D = \frac{8}{27}D$$

$$t_1 - t_0 = \frac{8D}{27V} = \frac{8D}{27} \cdot \frac{27T_0}{10D} = \frac{4}{5}T_0 \Rightarrow t_1 = 1,8T_0$$

Ответ: $x = \frac{F_0}{2}$; $V = \frac{10D}{27T_0}$; $t_1 = 1,8T_0$

№2

Дано: $v = \frac{6}{7}$ моль

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

Найти: $\frac{V_{N_2}}{V_{H_2}} = ?$

$T_1 = 350K$

$R = 8,31 \frac{Дж}{моль \cdot K}$

$T_x = ?$

$T_2 = 550K$

$Q = ?$

Решение:

1) В начальный момент времени, когда термодинамическое равновесие ещё не наступило давление в каждой части сосуда было равно (p).

Затем ур-е Менделеева-Клапейрона:

$$pV_{H_2} = \nu RT_1$$

$$pV_{N_2} = \nu RT_2 \Rightarrow \frac{V_{H_2}}{V_{N_2}} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{7}{11}$$

продолжение см. на след. стр.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№2 (продолжение)

2) После установления термодинамического равновесия:

$$p_1 V'_{H_2} = \nu R T_x$$

$$p_1 V'_{N_2} = \nu R T_x \Rightarrow V'_{H_2} = V'_{N_2}$$

$$V_0 = V'_{H_2} + V'_{N_2} = V_{H_2} + V_{N_2} = 2V'_{H_2} = \frac{18}{7} V_{H_2} \Rightarrow V'_{H_2} = \frac{9}{7} V_{H_2}$$

$p_1 = p$, т.к. в данном процессе $p = const$

$$\frac{T_x}{T_1} = \frac{V'_{H_2}}{V_{H_2}} = \frac{9}{7} \Rightarrow T_x = 450K$$

3) $Q = p_0 \Delta V + \frac{5}{2} \nu R_0 \Delta T = 3,5 \nu R_0 \Delta T = 350 \cdot \frac{6}{7} \cdot 8,31 = 2493 \text{ Дж}$ (все расчёты)

$$p_0 \Delta V = \nu R_0 \Delta T$$

(были схемы на черновик)

Ответ: $\frac{V_{H_2}}{V_{N_2}} = \frac{7}{11}$; $T_x = 450K$; $Q = 2493 \text{ Дж}$

№1

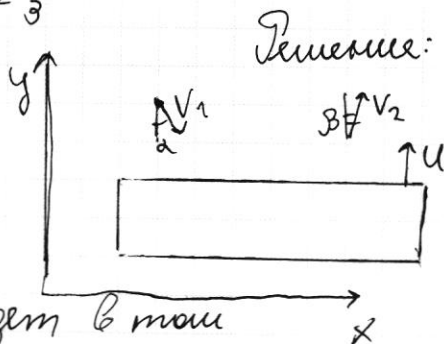
Дано: $V_1 = 18 \text{ м/с}$

Найти: $V_2 = ?$

$$\sin \alpha = \frac{1}{2}$$

$$u = ?$$

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



1) На p_x (проекцию) опуститься на ось x) столкновение не повлияет \Rightarrow запишем ЗСИ по оси x :
 $m V_1 \sin \alpha = m V_2 \sin \beta \Rightarrow V_2 = \frac{V_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{3}{2} V_1 = 18 \text{ м/с}$

2) u_{max} будет в том случае если при столкновении весь p_y начальный исчезнет $\Rightarrow u_{max} = V_2 \cos \beta = 18 \cdot \frac{2\sqrt{2}}{3} = 12\sqrt{2} \text{ м/с}$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

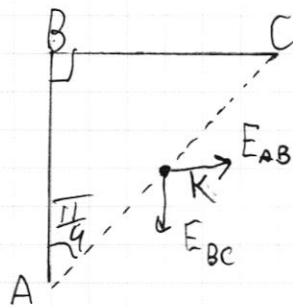
№1 (продолжение)

$$V_2 \cos \beta = V_1 \cos \alpha + u_{\min} \Rightarrow u_{\min} = 12\sqrt{2} - 6\sqrt{3} = 6(6\sqrt{2} - \sqrt{3})$$

Ответ: $V_2 = 18 \text{ мкс}$; $u \in [6(6\sqrt{2} - \sqrt{3}); 12\sqrt{2}]$

№3

1)

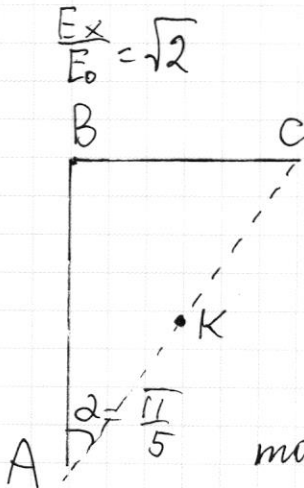


$$E_0 (\text{до зарядки } AB) = E_{BC}$$

П.к. $\triangle ABC$ - прямоугольный и равнобедренный $\Rightarrow E_{AB} = E_{BC} = E$

$$E_x = \sqrt{E^2 + E^2} = \sqrt{2} E$$

2)

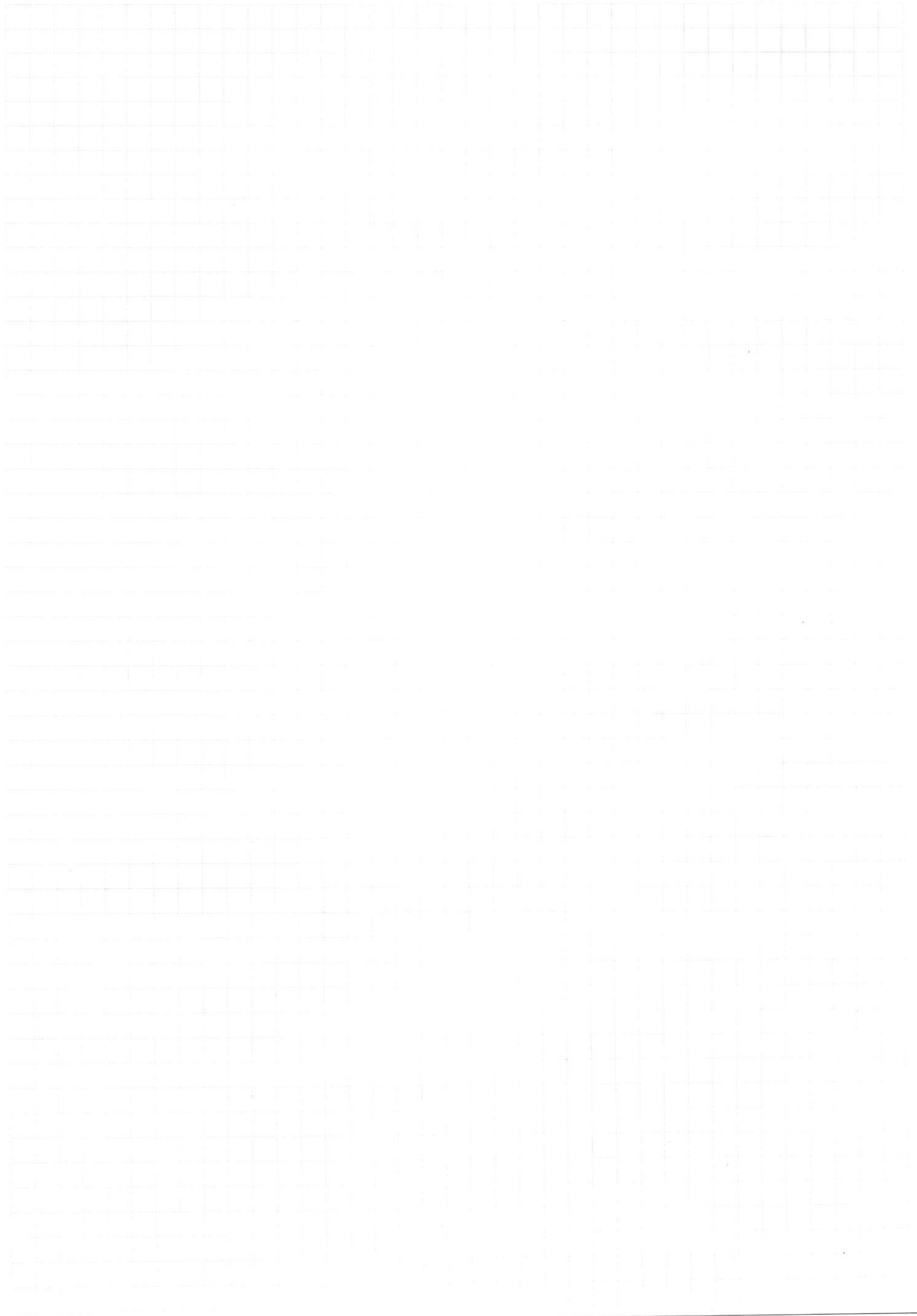


$$\tan \alpha = \frac{S_{BC}}{S_{AB}} \Rightarrow S_{BC} = \tan \alpha \cdot S_{AB}$$

П.к. в данном случае ABC не равнобедренный, то напряженность поля, создаваемого каждой пластинкой будет также зависеть от площади обкладок BC и AB (в треугольнике)

$$E_K = \sqrt{\left(\frac{3q}{S_{BC}}\right)^2 + \left(\frac{q}{S_{AB}}\right)^2} = \sqrt{\frac{9q^2}{S_{AB}^2 \tan^2 \alpha} + \frac{q^2}{S_{AB}^2}} = \sigma \sqrt{\frac{9}{\tan^2 \frac{\pi}{5}} + 1}$$

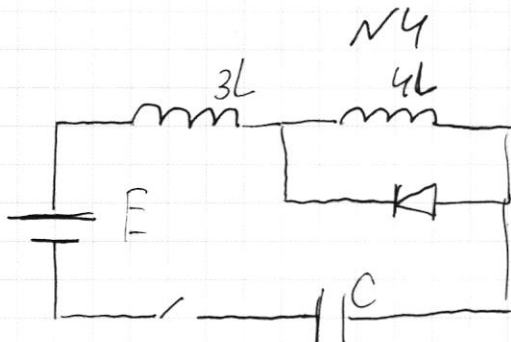
Ответ: $\frac{E_x}{E_0} = \sqrt{2}$; $E_K = \sigma \sqrt{\frac{9}{\tan^2 \frac{\pi}{5}} + 1}$



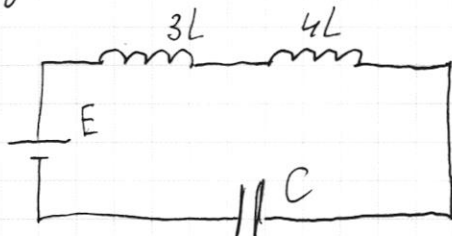
черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

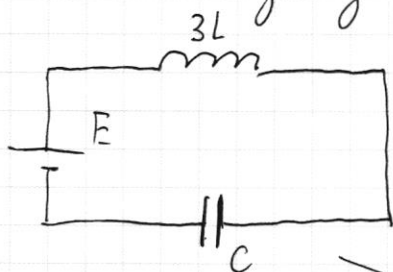


- 1) Изначально конденсатор будет заряжаться и схема будет соответствовать следующей:



t_1 (период колебаний в такой контуре) = $2\pi\sqrt{(L_1+L_2)C} = 2\pi\sqrt{7LC}$

После, конденсатор начнет разряжаться и диод будет закорачивать катушку L_2



$t_2 = 2\pi\sqrt{\cancel{7LC}} = 2\pi\sqrt{3LC}$

$T = t_1 + t_2 = 2\pi\left(\sqrt{\frac{1}{7LC}} + \sqrt{\frac{1}{3LC}}\right) = 2\pi\left(\sqrt{7LC} + \sqrt{3LC}\right)$

$3CE : q_0 E = \frac{q_0^2}{2C} \Rightarrow q_0 = 2CE$

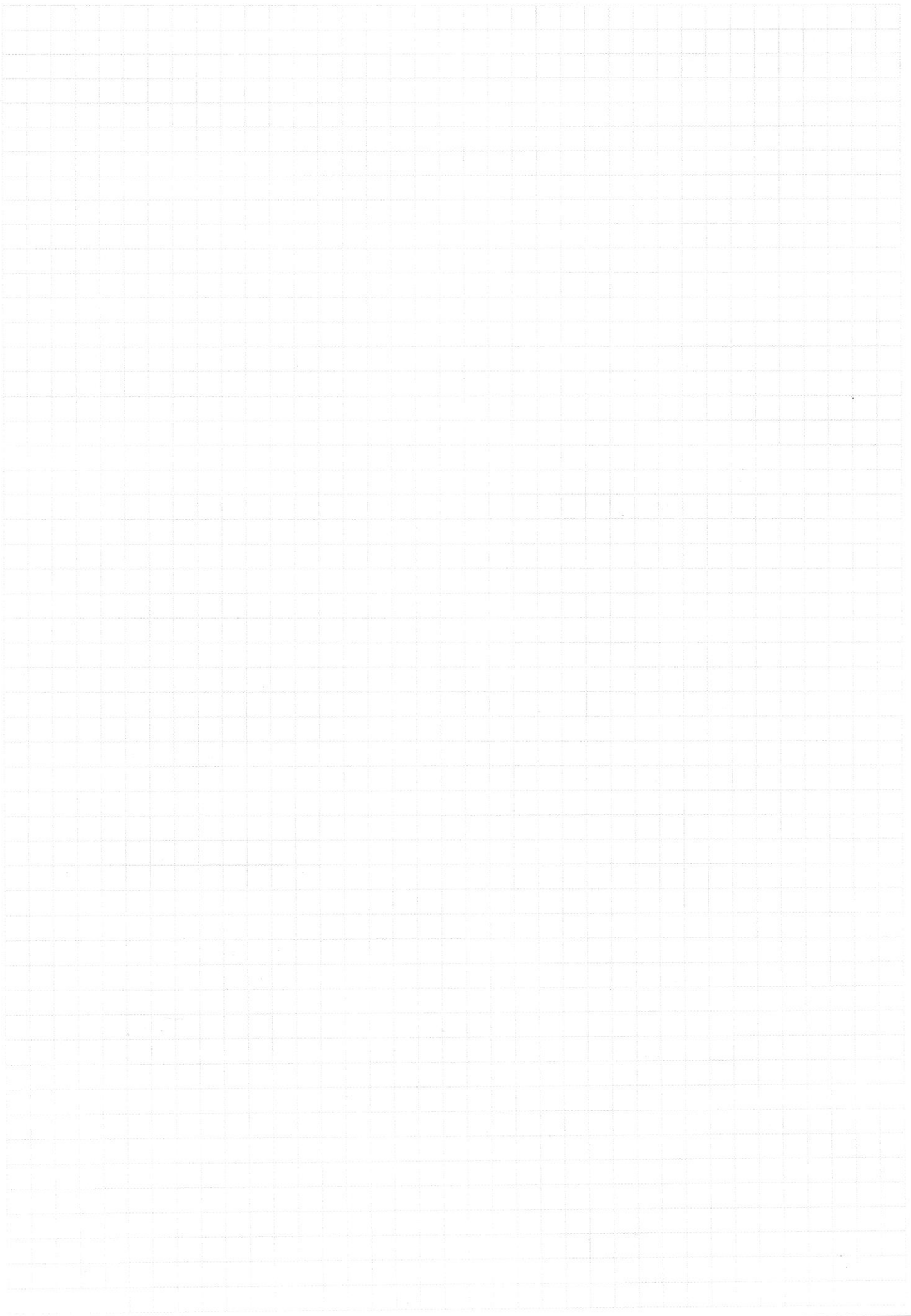
- 2) $I_{m1} = q_0 \cdot \omega_1$, где q_0 — заряд прошедший через схему = $2CE$

$I_{m1} = 2CE \cdot \sqrt{\frac{1}{7LC}}$

- 3) $I_{m2} = q_0 \cdot \omega_2 = 2CE \sqrt{\frac{1}{3LC}}$

$I_{m2} = \frac{2CE}{\sqrt{3LC}}$

Ответ: $T = 2\pi\sqrt{LC}(\sqrt{7} + \sqrt{3})$; $I_{m1} = \frac{2CE}{\sqrt{7LC}}$

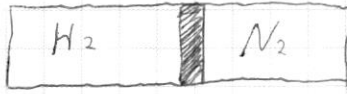


черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N2



$$p_{H_2} = p_{N_2}$$

$$\frac{V_{H_2}}{V_{N_2}} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{7}{11} \Rightarrow V_{\text{общ}} = V_{H_2} + V_{N_2} = \frac{11}{7} V_{H_2} + V_{H_2} = \frac{18}{7} V_{H_2} = 2 V_{H_2}' \Rightarrow$$

$$p V_{H_2} = \nu R T \rightarrow V_{H_2}' = V_{N_2}'$$

$$\Rightarrow V_{H_2}' = \frac{18}{14} V_{H_2} = \frac{9}{7} V_{H_2}$$

$$\frac{\nu R T_x}{T_1} = \frac{9}{7} \Rightarrow T_x = 450 \text{ K}$$

$$Q = p_0 V + \frac{5}{2} \nu R \Delta T = 3,5 \nu R \Delta T = 350 \cdot \frac{6}{7} \cdot 8,31 = 2493 \text{ Дж}$$

$$\begin{array}{r} \times 350 \\ 8,31 \\ \hline 350 \\ 1050 \\ 2800 \\ \hline 2908,5 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 2908,5 \\ 6 \\ \hline 17451,0 \end{array}$$

$$T_1 = \pi \sqrt{\frac{1}{L_1 \cdot \omega^2}} \cdot c$$

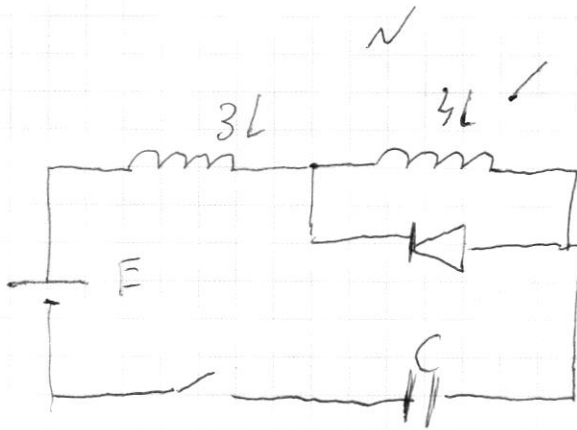
$$I_1 = q_0 \cdot \omega_1$$

$$T_2 = \pi \sqrt{\frac{1}{L_2}} \cdot c$$

$$I_2 = q_0 \cdot \omega_2$$

$$q = L \cdot \dot{q}$$

$$\begin{array}{r} 17451 \mid 7 \\ - 14 \\ \hline 34 \\ - 28 \\ \hline 65 \\ - 63 \\ \hline 21 \\ - 21 \\ \hline 0 \end{array}$$



$$E - 3L \frac{dI}{dt} - 4L \frac{dI}{dt} = \frac{q}{C}$$

$$\frac{dI}{dt} = \ddot{q}$$

$$E - 7L \ddot{q} = \frac{q}{C} \quad | \cdot C$$

~~$$EC - 7LC \ddot{q} = q$$~~

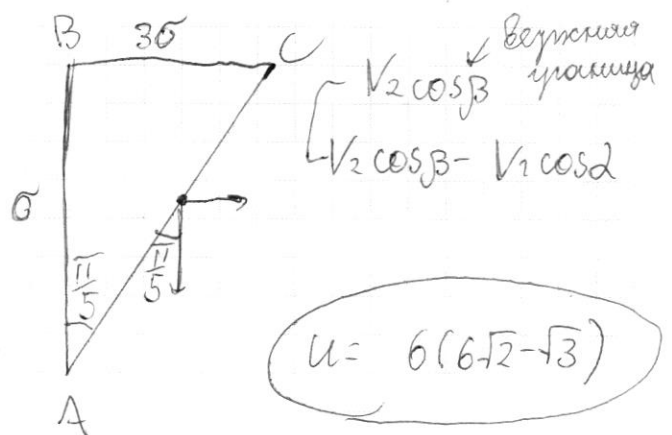
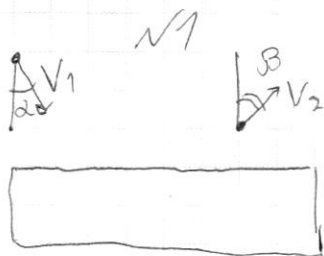
$$\frac{E}{7L} - \ddot{q} = \frac{q}{7LC}$$

$$\ddot{q} + \frac{q}{7LC} = \frac{E}{7L}$$

$$\omega^2 = \frac{1}{7LC} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{1}{7LC}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{1}{7LC}}$$

$\sqrt{3} \cdot 1) - \sqrt{2}$ раз



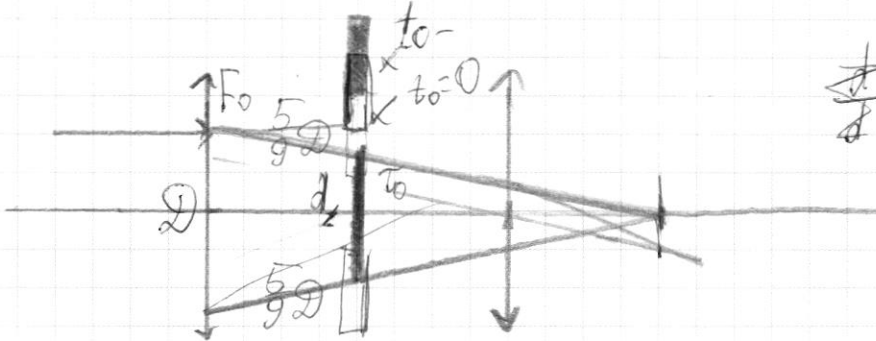
$$V_1 \sin \alpha = V_2 \sin \beta = 6 \Rightarrow V_2 = 18 \text{ мкс}$$

$$V_1 \cos \alpha = V_2 \cos \beta + U$$

$$\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 12 = 18 \cdot \frac{2\sqrt{2}}{2}$$

~~$$6 \cdot 6 = 12\sqrt{2} - U$$~~

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\frac{d}{D} = \frac{2}{3} \Rightarrow d = \frac{2}{3}D$$

$$M = \frac{5}{9}d = \frac{5 \cdot 2}{9 \cdot 3} = \frac{10}{27}D$$

1) $x = \frac{F_0}{2}$

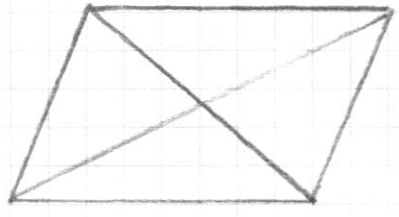
2) ~~$\frac{M}{g} = \frac{5D}{9}$~~ ~~$V = \frac{5D}{9T_0}$~~ $\Rightarrow \frac{10D}{27T_0} = V$

3)

$\sqrt{\frac{k}{m}} = \omega$
 $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$
 $L\ddot{q} + \frac{q}{C} = 0 \cdot L$
 $\ddot{q} + \frac{q}{LC} = 0$
 $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$
 $T = 2\pi\sqrt{LC}$
 $\frac{H}{\cancel{m} \cdot \cancel{k} \cdot \cancel{C}}$ $\frac{\cancel{m} \cdot \cancel{m}}{\cancel{L}^2 \cdot \cancel{m}}$ $\frac{\cancel{k} \cdot \cancel{m} \cdot \cancel{C}^2}{\cancel{m} \cdot \cancel{m}}$

$t_1 - T_0 = \frac{10D}{27V} = T_0 \Rightarrow t_1 = 2T_0$

~~$m\omega^2 x + x = 0$~~
 $\frac{k}{m}x + \ddot{x} = 0$



$$L \frac{dI_{\text{ин}}}{dt} = 0$$

$$\frac{\pi^{15}}{2} - \frac{\pi^{12}}{5} = \frac{3}{10} \pi = 0,3 \pi$$

$$\frac{S_{BC}}{S_{AB}} = \text{tg} \frac{\pi}{5} \Rightarrow S_{BC} = \text{tg} \frac{\pi}{5} \cdot S_{AB}$$

$$\sigma_1' = \frac{3q}{S_{BC}}$$

$$\sigma_2' = \frac{q}{S_{AB}}$$

$$E = \sqrt{\left(\frac{\sigma_1'}{2\epsilon_0}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2'}{2\epsilon_0}\right)^2} = \frac{1}{2\epsilon_0} \sqrt{\frac{(3q)^2}{S_{AB}^2 (\text{tg} \frac{\pi}{5})^2} + \frac{q^2}{S_{AB}^2}} =$$
$$= \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \sqrt{\frac{9}{\text{tg}^2 \frac{\pi}{5}} + 1}$$

$$E = 1,7 E_i =$$

$$q_0 E = \frac{q_0^2}{2C} \Rightarrow q_0 = 2CE$$