

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

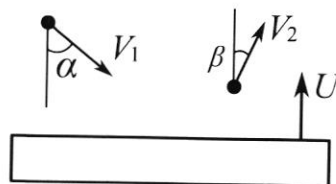
Класс 11

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.

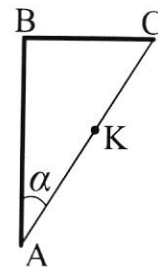


- 1) Найти скорость V_2 .
 - 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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?

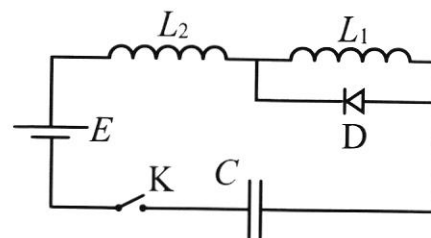
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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?

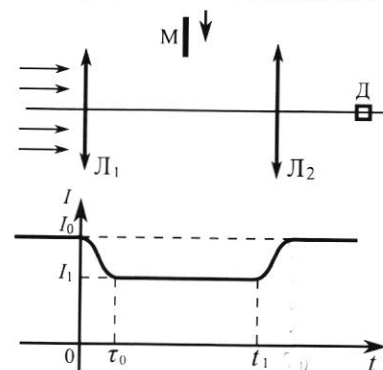
2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 3\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/5$. Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

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). $I_1 = 5I_0/9$.

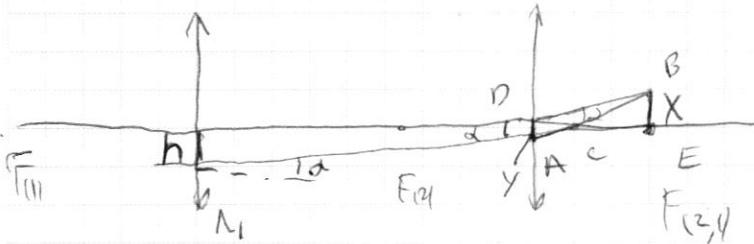


- 1) Найти расстояние между линзой L_2 и фотодетектором.
- 2) Определить скорость V движения мишени.
- 3) Определить t_1 .

Известными считать величины F_0 , D , τ_0 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

5



1) Чтобы определить расстояние от фотодетектора и линзы или надо определить в какой точке орбиту сфокусирует лучи

Если возьмем луч параллельный главной оптической оси линзы падающий на расстоянии h от нее, тогда после преломления линзы L_1 , он пойдет под углом α , где $\tan \alpha = \frac{h}{3F_0}$ из этого угла находим расстояние ~~до~~ точку на фокальной плоскости, где луч пересечет ось линзы, для этого выстроим луч параллельный главной оптической оси и найдём $x = \tan \alpha \cdot F_0 = \frac{h}{3}$, сам же луч пересечет линзу на расстоянии y , от главной оптической оси и далее рассмотрим треугольники $\triangle ACD \sim \triangle CDE$

$$\frac{DC}{AD} = \frac{CE}{BE} \Rightarrow DC = CE \Rightarrow DC = \frac{F_0}{2}, \text{ значит луч пройдет}$$

сфокусируется на расстоянии $\frac{F_0}{2}$ от линзы \Rightarrow там и установит фотодетектор $e = \frac{F_0}{2}$

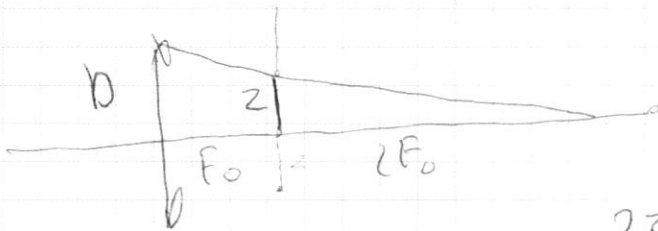
а чтобы найти диаметр D' , тогда $V_{\text{свет}} = D'$
лучи идут, луч равняется n' и тогда мы сможем выразить скорость.

$$P = \frac{E}{\Delta t} \quad E = h\nu n, \text{ где } n \text{ коэффициент преломления}$$

$$\text{света фотона света, тогда } n \sim D \Rightarrow E \sim D \Rightarrow P \sim D$$

а это в свою очередь означает, что $I \sim D$, т.к. $I \sim P$
 $\frac{I_0}{I_1} = \frac{D}{D_1}$ $D_1 = \frac{5}{9} D \Rightarrow V_{20} = \frac{5}{9} D$, $\frac{I_0}{I_1} = \frac{5D}{9D_0}$, т.е. все

как t_1 , как как определяем, какой путь пройдет
 шарик, шарик займет первый путь на расстоянии



$$z = \frac{2}{3} D, \text{ тогда}$$

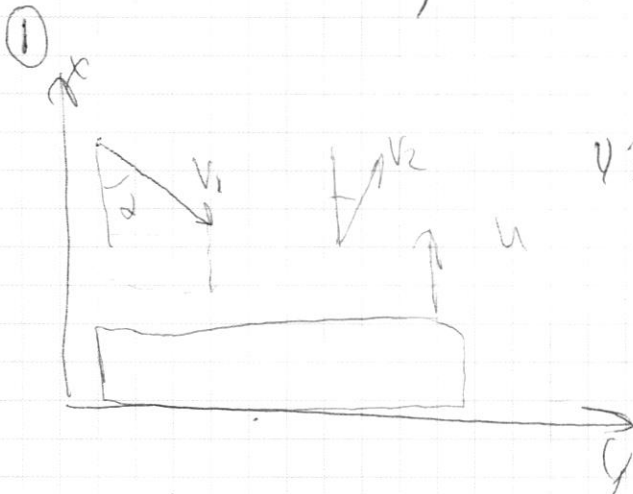
весь путь равен

$$2z + D_1 = \frac{4}{3} D + \frac{5}{9} D = \frac{17}{9} D$$

$$T = \frac{17 \cdot D \cdot g}{9 \cdot 5D} \cdot \frac{1}{g} = \frac{17}{5} T_0, \text{ но это время полного пролета} \Rightarrow$$

$$t_1 = T - T_0 = \frac{12}{5} T_0 = 2,4 T_0$$

Ответ: $l = \frac{F_0}{2}$; $V = \frac{5}{9} \frac{D}{T_0}$; $t_1 = 2,4 T_0$



V_1 и V_2 не действуют шарик

$m \Rightarrow$ шарик шар

в проекции на Oy шарик

движется

$$m V_1 \sin \alpha = m V_2 \sin \beta$$

$$V_2 = \frac{V \sin \alpha}{\sin \beta} = 18 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2) шар неупругий, рассмотрим угол шарик, первый шарик

U_1 , при ударе шарик неупругий, тогда в CO шарик

второй шарик ~~остановится~~ в скорости

второй шарик после удара в проекции на Ox $V_2' = 0$

$$\Rightarrow V_2 \cos \beta = U_1, U_1 = \frac{18 \sqrt{8}}{3} = 60 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Открыть книгу, когда удар абсолютно упругий
Поскольку $V \in OX$ найти эти скорости v
проекции на Ox равны по модулю

$$V_1 \cos \alpha + u_2 = V_2 \cos \beta - u_1$$

$$u_1 = V_2 \cos \beta - V_1 \cos \alpha$$

$$u_2 = \frac{V_2 \cos \beta - V_1 \cos \alpha}{2} = \frac{18\sqrt{8}}{3} - \frac{12\sqrt{3}}{2} = 3\sqrt{8} - 3\sqrt{3}$$

$$u_2 = 3(\sqrt{8} - \sqrt{3}) \frac{m}{c}$$

Значит u лежит в пределах этих скоростей v
зависимости от того, сколько энергии перешло в книгу
 $3(\sqrt{8} - \sqrt{3}) \frac{m}{c} \leq u < 6\sqrt{8}$

Ответ: 1) $18 \frac{m}{c}$ 2) $(3(\sqrt{8} - \sqrt{3}), 6\sqrt{8}) \frac{m}{c}$ и $u \in (3(\sqrt{8} - \sqrt{3}), 6\sqrt{8})$

2)

1) Из условия в сосуде равновесие $\Rightarrow P_1 = P_2 = P_0$

$$P_0 V_1 = \nu_1 R T_1 \Rightarrow \frac{V_1}{T_1} = \frac{350}{450} = \frac{7}{9}$$

$$P_0 V_2 = \nu_2 R T_2 \Rightarrow \frac{V_2}{T_2} = \frac{450}{450} = 1$$

2) При протекании процесса температура изобарична $\Rightarrow P_0 = \text{const}$

$$\left. \begin{array}{l} P_0 V_0 = (\nu_1 + \nu_2) R T_0, \text{ где } V_0 = V_1 + V_2 = \nu V_0 = \frac{9}{18} V_0 \\ P_0 \frac{7}{9} V_0 = \nu_1 R T_1 \end{array} \right\} \nu_2 = \frac{11}{18} \nu_0$$

$$\frac{18}{7} = \frac{V_1 + V_2}{V_1} \frac{T_0}{T_1} \Rightarrow \frac{T_0}{T_1} = \frac{7}{9} \Rightarrow T_0 = 450 \text{ K}$$

~~№ 10. $Q = C \Delta T$ или как процесс изобарный~~

~~$$C = \frac{\sqrt{3} R}{2} \Rightarrow Q = \frac{3 \sqrt{3} R \Delta T}{2}$$~~

~~$$C_V = \frac{5R}{2} = \frac{i}{2} R \Rightarrow i = 5$$~~

$$C_V = \frac{Q_V}{\Delta T} = \frac{\frac{i}{2} U R \Delta T}{\Delta T} = \frac{i}{2} U$$

$$C_P = \frac{Q_P}{\Delta T} = \frac{\frac{i}{2} U R \Delta T + U R \Delta T}{\Delta T} = \frac{i+2}{2} U = C_V + U$$

$$C_V = \frac{5R}{2} U \Rightarrow C_P = \frac{7R}{2} U$$

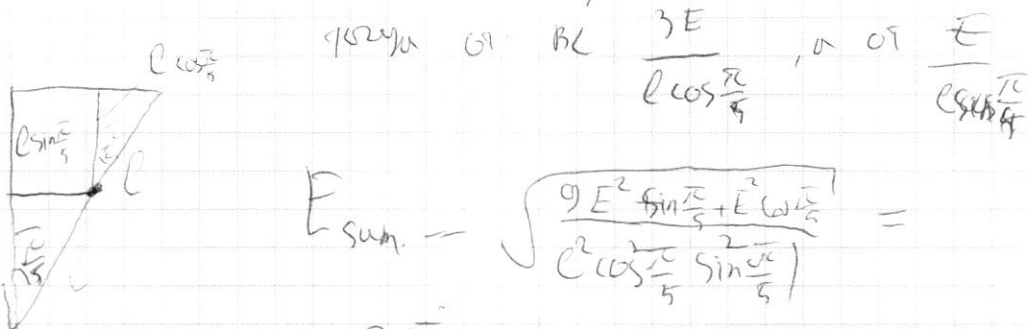
$$Q = C_P \Delta T = \frac{7R}{2} U \Delta T = \frac{7}{2} \cdot 8,31 \cdot 6 \cdot 100 = 831,3 = 2493$$

Ответ: 1) $\frac{7}{2}$ 2) изок 3) 2493 КДж

3.

1) Изобразим комплексные базы E_1 , после того, как зарядили вторую пластину, расстояние между пластинами от второй базы так же E_0 , так как угол $\alpha = \frac{\pi}{4}$, от точки К к каждой из пластин расстояние от точки E_0 при том угле наклона перпендикулярно пластин и их суммарная составляющая $\sqrt{2} E_0$ $k = \frac{\sqrt{2} E_0}{E_0} = \sqrt{2}$

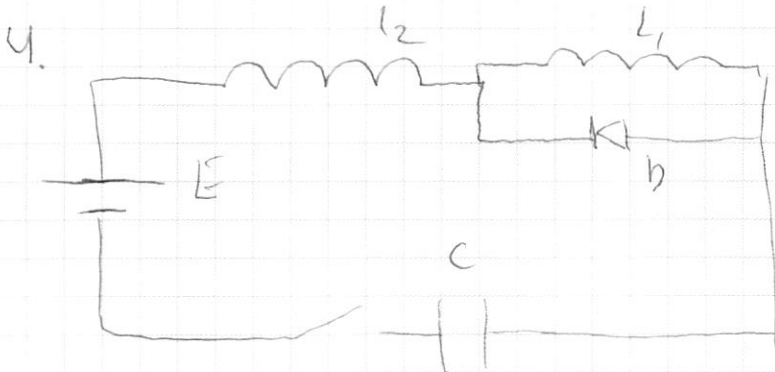
2) Пусть комплекс от BC = $3E$, тогда от AB = E



$$E_{\text{sum}} = \sqrt{\frac{9E^2 \sin^2 \frac{\pi}{4} + E^2 \cos^2 \frac{\pi}{4}}{E^2 \cos^2 \frac{\pi}{4} + \sin^2 \frac{\pi}{4}}} =$$

$$= \frac{2E}{E \sin^2 \frac{\pi}{4}} \sqrt{\sin^2 \frac{\pi}{4} + \cos^2 \frac{\pi}{4}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



- 2) максимальный ток будет, когда через катушку не будет протекать ток $I_{0k} = 0$ ток через $L_1 = I_{m1}$

$$E_{\Delta\varphi} = \frac{E^2 C}{2L} + \frac{(L_2 + L_1) I_{m1}^2}{2}, \quad \Delta\varphi = E C - 0 = E C$$

$$I_{m1}^2 = \frac{E^2 C}{L_2 + L_1} = \frac{E^2 C}{4L} \Rightarrow I_{m1} = E \sqrt{\frac{C}{4L}}$$

- 3) максимальный ток через L_2 будет, когда ток через L_1 тока не будет

$$E_{\Delta\varphi} = \frac{E^2 C}{2} + \frac{L_2 I_{m2}^2}{2} \Rightarrow I_{m2}^2 = \frac{E^2 C}{L_2} = \frac{E^2 C}{3L}$$

$$I_{m2} = E \sqrt{\frac{C}{3L}}$$

$$1) T = 2\pi \sqrt{4LD} = 4\pi \sqrt{LD}$$

Ответ: $4\pi \sqrt{LD}$; $E \sqrt{\frac{C}{4L}}$; $E \sqrt{\frac{C}{3L}}$.



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

$$t = \frac{D}{u} \gamma_0 - \gamma_0 = \frac{1}{u} \gamma_0 D$$

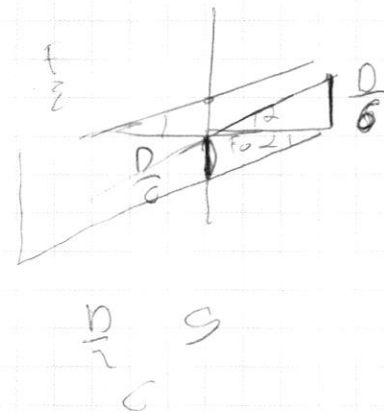
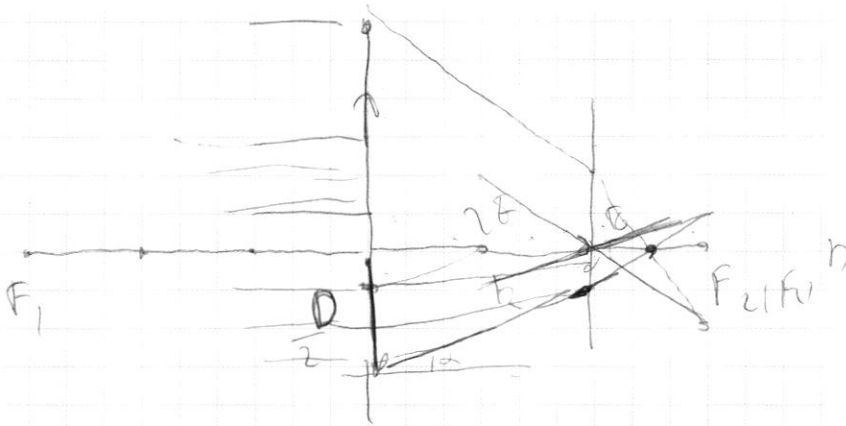
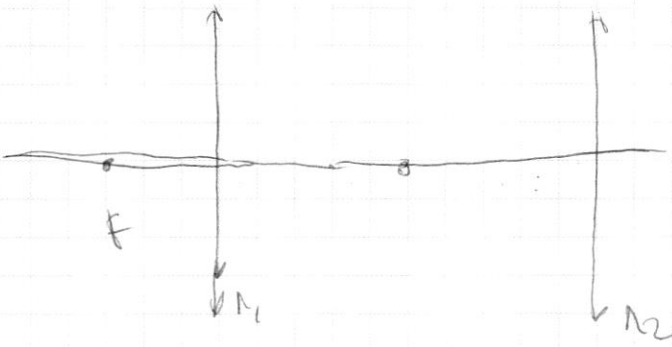
$$\frac{u}{g} D = \gamma_0 V$$

$$V = \frac{u}{g} \frac{D}{\gamma_0}$$

$$\frac{D}{D'} = \frac{g}{5}$$

$$\frac{D}{h'} = \frac{5}{g}$$

$$h' = \frac{5}{g} D$$

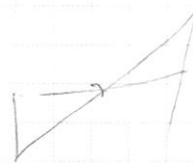


$p \text{ se}$

$$P = \frac{u \gamma T}{\cancel{h}}$$

$$\text{by } d. \quad \frac{D}{\gamma F_0} \sim \frac{3F_0}{\frac{D}{2}} = F_0$$

$$\frac{h}{\sigma}$$



$$\frac{u \gamma T d}{\sigma} \gamma_0 V = l$$

$$E = h\nu$$

$$I \sim h\nu n \sigma$$

$$n \sim D$$

$$I_0 = h\nu n \sigma$$

$$g_0 = h\nu D \text{ const}$$

$$g_0' = h\nu n' \text{ const}$$

$$\frac{g_0}{g_0'} = \frac{D}{n'}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{\sqrt{RT}}{v^2}$$

$$\frac{\sqrt{R}}{v}$$

$$\sqrt{R} \left(\frac{1}{v} \right)$$

$$\sqrt{R} \ln \left| \frac{v_1}{v_2} \right| = \sqrt{R} \ln \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{5}{2} \ln \frac{T_1}{T_2} = \frac{12}{7} \ln \frac{v_1}{v_2}$$

$$\left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{\frac{5}{2}} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{12}{7}}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{\frac{12}{35}} \quad \frac{11}{18} \quad \frac{1}{2}$$

$$\left(\frac{11}{9} \right)^{\frac{12}{35}} = \frac{T_1}{T_0}$$

$$T_0 = \frac{T_1}{\left(\frac{11}{9} \right)^{\frac{12}{35}}}$$

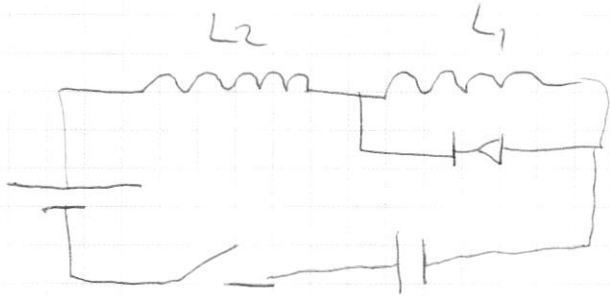
$$\frac{7}{T_0} \dots$$

$$T_0 = \frac{T_1}{\left(\frac{7}{9} \right)^{\frac{12}{35}}}$$

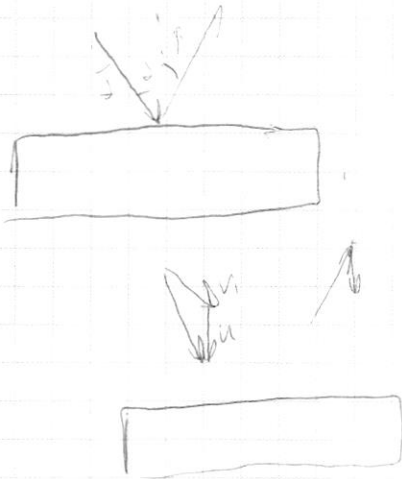
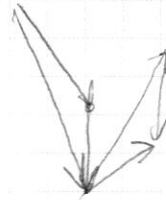
L

$$L_c$$

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



$$\frac{L_1 I^2}{2}$$



$$m(V_1 \cos \alpha + U) = mV_2 + m(V_2 \cos \beta - U)$$

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

$$V_1 \sin \alpha = V_2 \sin \beta$$

$$12 \cdot \frac{1}{2} \cdot 3 = V_2$$

$$V_2 = 18$$

$$\frac{6}{2} + 18U = \frac{6}{2}$$

$$U = 3(\sqrt{8} - \sqrt{3})$$

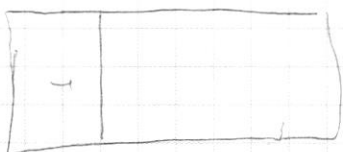
$$1 - \frac{1}{4}$$

$$\frac{6}{9}$$

$$\frac{6}{50}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$V = \frac{6}{7} \text{ мкл}, T_1 = 350 \text{ K}, T_2 = 550 \text{ K}$$



$$p_0 V_1 = \nu R T_1$$

$$p_0 V_2 = \nu R T_2$$

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

$$\frac{p_1 \cdot 11 V_0}{18} = \nu R T_1$$

$$p_2 \cdot \frac{1}{2} V_0 = \nu R T_2$$

$$pV = \nu R T$$

$$p_1 \frac{V}{2} = \nu R T_1$$

$$\frac{\nu R \Delta T}{\nu} =$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{7}{11} \quad V_2 = \frac{11}{7} V_1$$

$T_1 \downarrow$

$n = 1$

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



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

$C_V =$

$$\frac{\nu R \Delta T}{2} \cdot \frac{\nu R \Delta T}{\nu R \Delta T} = \frac{Q}{\nu R \Delta T}$$

$$\frac{Q}{\nu}$$

$$\frac{V_2}{V_2 + V_1}$$

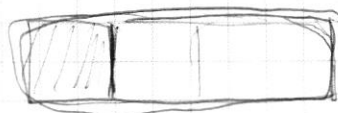
$$\frac{11 V_1}{7}$$

$$\frac{11 + 7}{2}$$

$$\frac{550}{350} = \frac{11}{7}$$

$$Q = \nu R \Delta T$$

C_V



$$\Delta V = \frac{11 V_0}{18}$$

$$\frac{1}{2} V_0 - \frac{11 V_0}{18} = \frac{1}{2} V_0 - \frac{11}{18} V_0 = \frac{9 - 11}{18} V_0 = -\frac{2}{18} V_0 = -\frac{1}{9} V_0$$

$$\frac{2}{10} V_0 = \frac{1}{5} V_0$$

$$pV = \nu R T$$

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

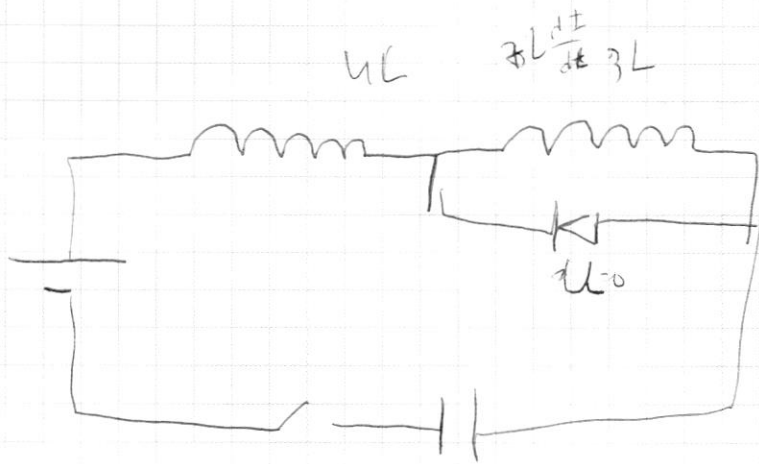
$$\frac{\nu R T \Delta V}{V} \Delta T C_V \quad \Delta V = \frac{1}{9} V_0$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Handwritten work on a grid background. At the top left, there is a small sketch of a sine wave and the label $m \cdot v_i$.

The main part of the work consists of several diagrams and equations:

- Equation 1:** $(v \sin \alpha + U)^2 + v_1^2 \cos^2 \alpha = m$
- Diagram 1 (Left):** A vertical axis with a point labeled 10 and a horizontal axis.
- Diagram 2 (Top Right):** A right-angled triangle with a vertical side labeled $D-n$ and a horizontal side labeled x . A dashed line indicates the hypotenuse. Below it, the expression $\frac{2}{3}(n-n_1)$ is written.
- Equation 2:** $\frac{3}{2} = \frac{D}{x}$
- Equation 3:** $x = \frac{2}{3}n$
- Diagram 3 (Middle Right):** A right-angled triangle with a vertical side labeled $D-n_1$ and a horizontal side labeled x . Below it, the expression $\frac{2}{3}(n-n_1)$ is written.
- Equation 4:** $\frac{D-n_1}{x} = \frac{2F_0}{3K_0}$
- Equation 5:** $x = \frac{3}{2}(n-n_1)$
- Diagram 4 (Bottom Left):** A right-angled triangle with a vertical side labeled $\frac{3}{2}$ and a horizontal side labeled $2F_0$. Below it, the expression $3K_0$ is written.
- Diagram 5 (Bottom Right):** A right-angled triangle with a vertical axis and a horizontal axis, showing a dashed line and a solid line.



$$\int P dV$$

$$P = \frac{VR T}{V}$$

$$Eq = \frac{Cu^2}{2} - \frac{Cu^2}{2} + Uq + \frac{L_1 I_1^2}{2} - \frac{L_2 I_2^2}{2} - \frac{PVR T dV}{V}$$

$$T = 2\pi \sqrt{4LC}$$

$$\frac{VRT}{V} dV = Q dV$$

$$Q = P dV$$

$$\frac{q}{C} = \frac{L dI}{I}$$

$$LC = \frac{q}{I}$$

$$W = \frac{1}{4LC}$$

$$E \cdot F = \frac{E^2 C}{2} + \frac{7LI^2}{2}$$

$$F_{\text{возд}} = \frac{P}{S}$$

$$I = \frac{E \sqrt{C}}{\sqrt{7L}}$$

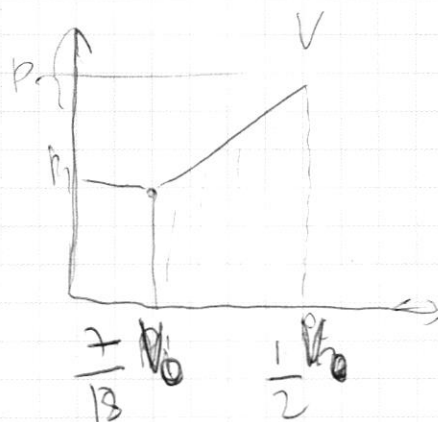
$$F = P \cdot S$$

$$F = PV$$

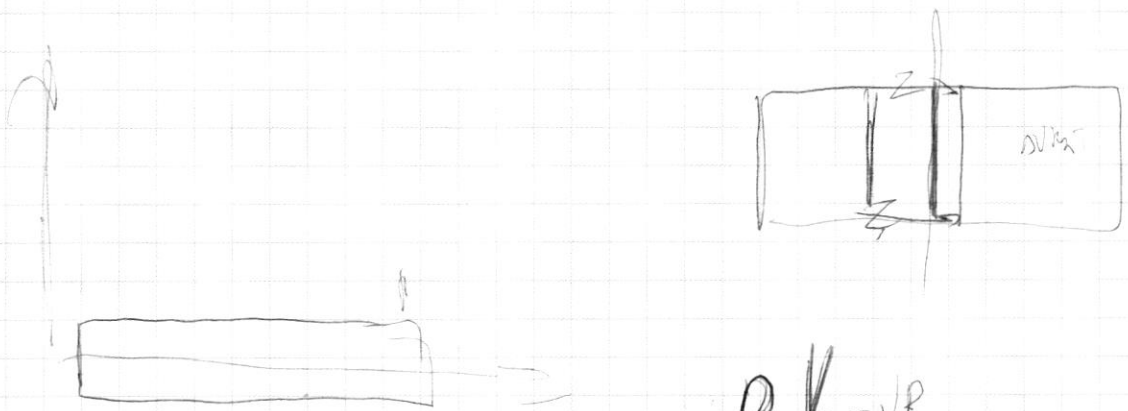
$$Q = P dV$$

$$\frac{P_0}{2}$$

$$z$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\frac{mV_1 + mV_2}{2}$$

$$mV_1 + mV_2 = mV_2 + mV_1$$

$$p_0 V_0 = \nu R T_1$$

$$p = \frac{18 \nu R T_1}{7 V_0}$$

$$p = \frac{2 \nu R T_2}{V_0}$$

$$\Delta p = \frac{4 \nu R (T_2 - T_1)}{V_0}$$

$p = \text{const}$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{11}{9}$$

$$p = \frac{18 \nu R T_1}{7 V_0}$$

$$p = \frac{2 \nu R T_2}{V_0} = \nu R T_2$$

$$p = \frac{V_0}{2} = \nu R T_2$$

$$\frac{7}{36} = \frac{1}{18}$$

$$\frac{350 \cdot 7}{36}$$

$$\frac{p_0 V_0 7}{18} = \sqrt{RT_1}$$

$$\frac{p V_0}{2} = \sqrt{RT_x} \quad p = \frac{V_1 + V_2}{V_0} RT_1$$

$$\frac{p_0 V_0 11}{18} = \sqrt{RT_2}$$

$$\frac{p}{2} V_0 = \sqrt{RT_x}$$

$$2u(V_1 - V_2) =$$

$$\frac{p_0}{p} \frac{11}{9} = \frac{T_2}{T_x}$$

$$\frac{p_0}{p} \frac{7}{9} = \frac{T_1}{T_x}$$

$$u V_0 = V_2 \sin^2 \alpha + V_1^2 \sin^2 \alpha$$

$$p = \frac{V_0}{V}$$

$$\frac{p 11}{9} = T_2$$

$$T_x = \frac{9}{11} T_2$$

$$\frac{550}{\pi} 9 = 450$$

$$P_{\text{ш}} = 20RT$$



$$\Delta T = 160K$$

$$Q = n \Delta T C = 5$$



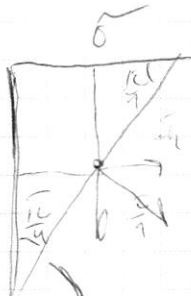
$$\frac{104 \cdot 4.3}{u}$$

$$\frac{18 \cdot 8}{9} = \frac{144.3}{u}$$

$$C_V =$$

$$U R \Delta T + \frac{d}{\tau} n R \Delta T$$

35



(2)

$$V_1^2 \sin^2 \alpha + 2k u + u^2 =$$

$$Q = \frac{3}{2} R n \Delta T$$

35

$$P = \frac{u}{\sqrt{2}}$$

$$P = \frac{V_1}{\sqrt{2}}$$

$$- V_2 \sin^2 \alpha + 2k u + u^2 =$$

$$C_p = \frac{3}{2} R \quad E_{d=4} \quad E_{u=8}$$

$$a = \frac{q}{c}$$

$$c = \frac{E}{d}$$

$$E = \frac{q}{cd} =$$

$$E = \frac{q}{5d}$$

3.4

$$U R \Delta T$$



$$u = 2a$$

$$\frac{q d}{S} =$$

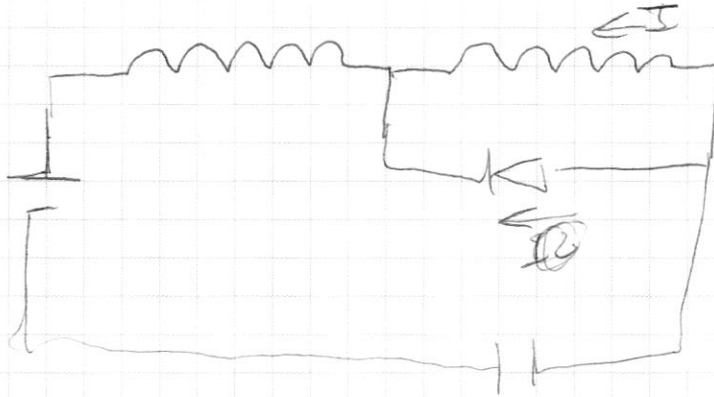
$$\frac{90}{18+12} = 3$$

$$216 \cdot 18 = 3888$$

$$181 \quad - 363$$

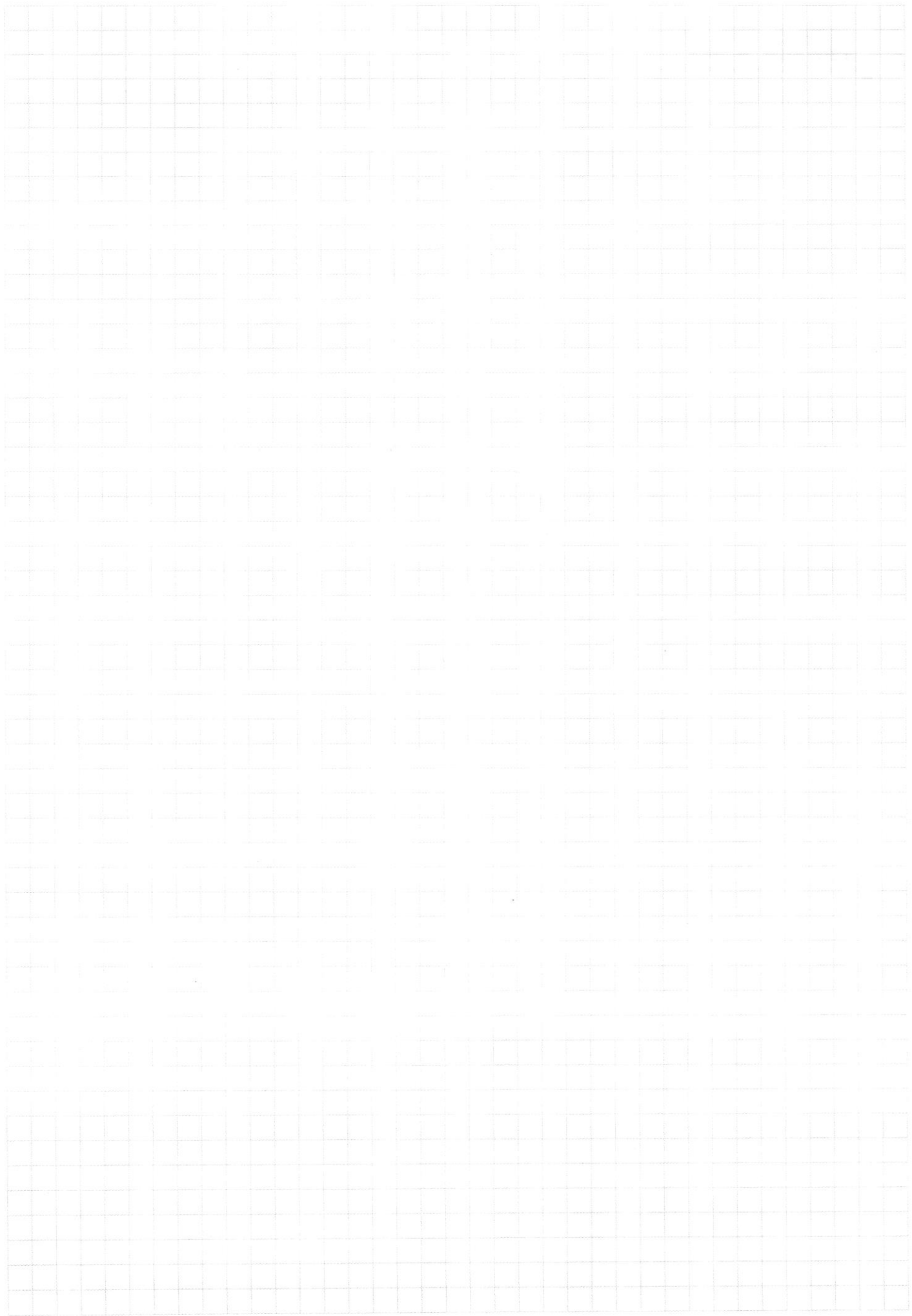
$$218.8 \quad - 36.5 = 182.3$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$E_{\text{ср}}^2 = \frac{CE^2}{2} + UEC + \frac{U^2 R^2}{2} + \frac{3LI^2}{2}$$

$$E = \frac{CE}{2} + UE + LI$$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)