

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

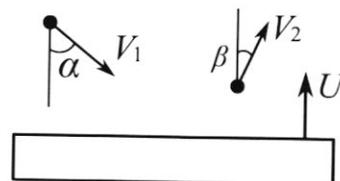
Класс 11

Вариант 11-01

Шифр

(заполняется секретарём)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость $V_1 = 8$ м/с, направленную под углом α ($\sin \alpha = \frac{3}{4}$) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2 , составляющей угол β ($\sin \beta = \frac{1}{2}$) с вертикалью.

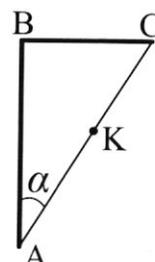


- 1) Найти скорость V_2 .
 - 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится азот, во втором – кислород, каждый газ в количестве $\nu = 3/7$ моль. Начальная температура азота $T_1 = 300$ К, а кислорода $T_2 = 500$ 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 азота и кислорода.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал кислород азоту?

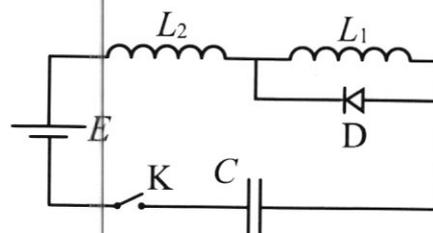
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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?

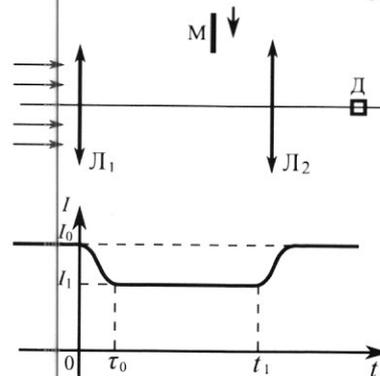
2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 2\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/7$. Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС E , катушек с индуктивностями $L_1 = 2L$, $L_2 = L$, конденсатора емкостью C , диода D (см. рис.). Ключ К 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 фокусным расстоянием F_0 у каждой. Расстояние между линзами $3F_0$. 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 $2F_0$ от L_1 . На рисунке показана зависимость тока I фотодетектора от времени t (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1 = 3I_0/4$.



- 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

1) скорость по горизонтали не меняется. В 1 случае она составляет $v_1 \sin \alpha = 6 \text{ м/с}$, а во втором $v_2 \sin \beta$, $v_2 \sin \beta = v_1 \sin \alpha \Rightarrow v_2 = \frac{v_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{6 \cdot 3}{4} = 12 \text{ м/с}$

2) При столкновении с пластиной скорость шарика по вертикали изменяется на $2v$, в 1 случае скорость по вертикали $v_1 \cos \alpha = 8 \cdot \sqrt{1 - \frac{9}{16}} = \frac{8\sqrt{7}}{4} =$

$$= 2\sqrt{7}$$

Во втором случае $v_2 \cos \beta = 12 \sqrt{1 - \frac{1}{4}} = \frac{12\sqrt{3}}{2} = 6\sqrt{3}$

$$\text{Тогда } v = \frac{v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha}{2} = \frac{6\sqrt{3} - 2\sqrt{7}}{2} = 3\sqrt{3} - \sqrt{7}$$

Ответ: а) 12 м/с б) $3\sqrt{3} - \sqrt{7}$

№4.

1) Система предметов имеет из себя следующие: катушка ток увеличивается и направляет по часовой стрелке, а катушка дроссель замыкает и через него ток не течет. Тогда 2 катушки обидей индуктивности $3L$ имеют ток $\sqrt{\frac{L}{3ZC}}$, и т.к ток положительный в цепи и дроссель замыкает

это время на промежутке от 0 до π , но период тако-
во состояния - $\frac{\pi}{\omega} = \pi \sqrt{LC}$, но дальше на проме-

жутке от π до 2π ток меняет свои направ-
ление и через катушку L_2 ток не поменяет, т.к.
открытая цепь. А значит ток в катушке в данный
момент $\frac{1}{\sqrt{LC}}$, а период - $\pi \sqrt{LC}$, дальше все

повторится. Значит общий период = $\pi t = \pi \sqrt{LC} +$
 $+ \pi \sqrt{LC} = 2\pi \sqrt{LC} (\sqrt{3} + 1)$

2) Т.к. катушки в 1 состоянии последовательно
то ток на них одинаков и в максимуме
равен u ; $CE = \frac{CE}{\sqrt{3LC}} = \sqrt{\frac{C}{3L}} \cdot E$, это и будет

максимум на L_1 и на L_2 же минимум во
2 состоянии $u_2 \cdot CE = \frac{CE}{\sqrt{LC}} = \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot E$

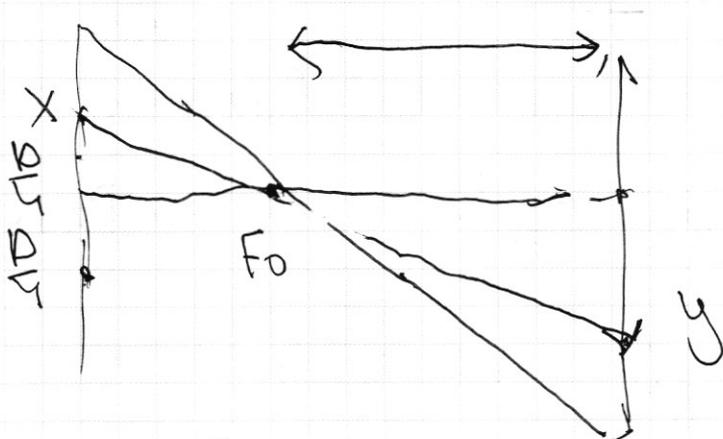
Ответ: а) $2\pi \sqrt{LC} (\sqrt{3} + 1) \cdot \delta$ б) $\sqrt{\frac{C}{3L}} \cdot E$ в) $\sqrt{\frac{C}{L}} \cdot E$

15.

Все параллельные лучи сойдутся после 2 линзы
на расстоянии F_0 от 1 линзы, то есть на рас-
стоянии $2F_0$ от 2 линзы и сойдутся после
2 линзы на фотодетекторе $\Rightarrow \frac{1}{F_0} = \frac{1}{2F_0} + \frac{1}{x}$, где
 x расстояние от фотодетектора до линзы $\Rightarrow x = 2F_0$.

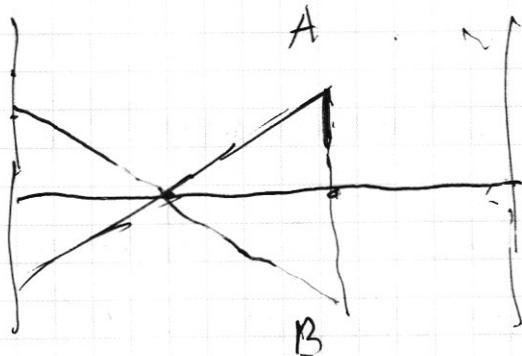
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2) Рассмотрим кинку из лучей вообще попарно
на 2 меззу $2F_0$



$\frac{y}{x} = \frac{2F_0}{F_0} \Rightarrow$ последний луч который коснется

L_2 будет на расстоянии ρ от оптической
оси, а попарному мимельно расположен на
 F_0 от фокуса этого расстояние 1 меззу, то
луч, который будет проходить, не коснется мимельно
также только если мимельно будет касаться объек-
тив D_2 , то есть:



мимельно не даст пройти
лучам, касаться только
в области АВ

Мы знаем, что минимальный ток $= \frac{3}{4} I_0$, это значит, что минимальная длина $\frac{1}{4} AB$, а $AB = \frac{D}{2} \Rightarrow$ длина минимума $\frac{D}{8}$, но также с момента закрытия первого луча до второго - t_0 , то есть $\frac{D}{8} = t_0 \cdot v \Rightarrow v = \frac{D}{8t_0}$ AB

3) Минимум возникает в области, когда её край пройдет еще $\frac{3}{8} D$, а т.к. на $\frac{D}{8}$ уже

по времени t_0 , то на $\frac{3}{8} D - 3t_0 \Rightarrow t_1 = t_0 + 3t_0 = 4t_0$.

Ответ: 1) $2f_0$; 2) $\frac{D}{8t_0}$; 3) $4t_0$

n_2 .

1) Так как изначально все находилось под давлением P_0 и были равны, а значит

$$P V_1 = \nu R T_1, \text{ где } V_1 - \text{объем азота}$$

$$P V_2 = \nu R T_2, \text{ где } V_2 - \text{объем кислорода}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{3}{5}, \text{ тогда общий объем, если объем ки-}$$

$$\text{орода} - V = \frac{8}{5} V$$

2) В конце, т.к. $v_1 = v_2$, то температура сравняется. И значит $P_1 = P_2 = P_0$, а т.к. в конце поршень не движется, то давление равно

а значит равно и объем $\Rightarrow V_k = \frac{4}{5} V$, тогда

изменение внутр. энергии

тела которое выделится излучением -

$$\frac{5V}{2} \left(\frac{4}{5} p_k - p \right) = \frac{p + p_k}{2} \cdot \frac{1}{5} V$$

и оно по знаку равно против направлению ^{излучения} ~~теплого~~ ^{теплого} тела, то есть

$$\frac{5V}{2} \left(\frac{4}{5} p_k - p \right) - \frac{p + p_k}{2} \cdot \frac{1}{5} V = -\frac{5V}{2} \left(\frac{4}{5} p_k - p \right) -$$

$$p - \frac{p + p_k}{2} \cdot \frac{1}{5} V, \text{ тогда}$$

$$\frac{5V}{2} \left(\frac{4}{5} p_k - p \right) = \frac{5V}{2} \left(p - \frac{4}{5} p_k \right), \text{ а значит}$$

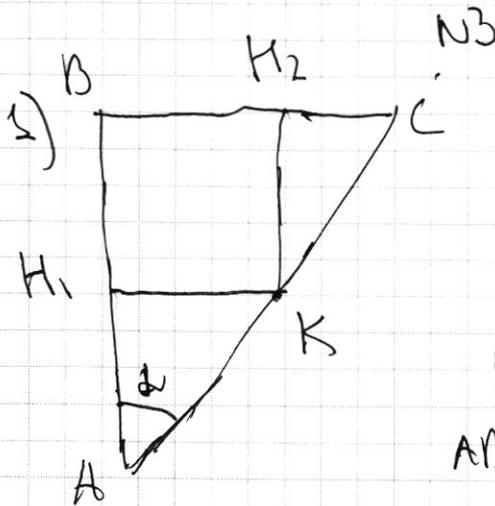
$\frac{8}{5} p = \frac{8}{5} p_k \Rightarrow p = p_k \Rightarrow$ температура газа
увеличилась, если $\frac{3}{5} pV = \nu RT_1$, где $T_1 = 300$,

$$\text{то } \frac{4}{5} pV = \nu RT, \text{ то } T = 400$$

$$3) \text{ Тепло, которое отдан излучением: } C \cdot V \cdot \Delta T = \\ = \frac{5R}{2} \cdot \frac{3}{7} \cdot 100 = \frac{5}{2} \cdot \frac{3}{7} \cdot 831 \cdot 100 \approx 1000 \text{ Дж}$$

Ответ: 1) $\frac{3}{5}$; 2) 400°C 3) 1000 Дж .

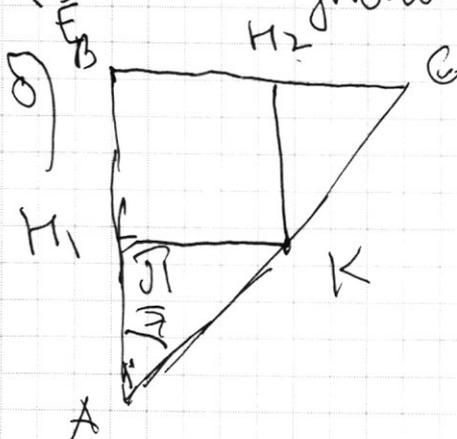
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Если $\alpha = \frac{\pi}{4}$, то треугольник равнобедренный и заряды на АВ и ВС равны, т.е. $KH_1 = KH_2 \Rightarrow$ напряженности от АВ и ВС равны и перпендикулярны.

верны, значит скалярная была направлена \vec{E} , но модуль $|\vec{E}| = E_1$, а тогда:

значит т.к. 90° , она стала $\sqrt{2}E_1$, значит увеличилась в $\sqrt{2}$ раз.



Пусть $AC = l$, $AB = l \cos \alpha$
 $BC = l \cdot \sin \alpha$

$$q_{AB} = \frac{\sigma \cdot l \cos \alpha}{2\epsilon_0} = \frac{\sigma \cdot l \cdot \cos \alpha}{2\epsilon_0}$$

$$q_{BC} = \frac{\sigma \cdot l \sin \alpha}{2\epsilon_0}$$

$$\sqrt{E_{KAB}^2 + E_{KBC}^2} = \frac{\sigma}{\epsilon} \sqrt{\frac{\cos^2 \alpha}{4} + \frac{\sin^2 \alpha}{4}}$$

$$KH_1 = l \cdot \sin \alpha, E_{KAB} = \frac{\sigma \cdot l \cdot \cos \alpha}{2\epsilon_0} = \frac{\sigma \cdot l \cdot \cos \alpha}{\epsilon \cdot 2}$$

$$E_{KBC} = \frac{\sigma \cdot l \cdot \sin \alpha}{2\epsilon_0} = \frac{\sigma \cdot l \cdot \sin \alpha}{\epsilon \cdot 2}$$

$$\frac{\sigma \cdot l \cdot \sin \alpha}{\epsilon \cdot 2 \cos \alpha} = \frac{\sigma \cdot l \cdot \tan \alpha}{\epsilon}$$

но и есть ответ.

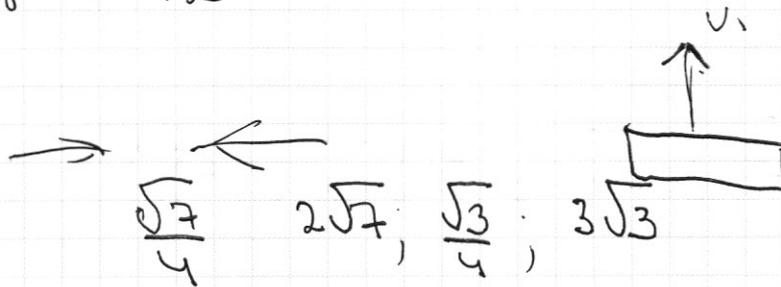
Ответ: 1) $\sqrt{2}$ 2) $\frac{\sigma}{\epsilon} \sqrt{\frac{\cos^2 \alpha}{4} + \frac{\sin^2 \alpha}{4}}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N2

$$v_1 \sin \alpha = 6; v_2 \sin \beta = 6; \boxed{v_2 = 12}$$

$8 \rightarrow 12$



N2

$$p_1 v_1 = \nu R T_1; p_1 = \frac{\nu R T_1}{v_1}$$

$$p_2 v_2 = \nu R T_2; p_2 = \frac{\nu R T_2}{v_2}$$

$x = \frac{3R}{5}$

$y = k$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1 v_2}{T_2 v_1}; T_1 v_2 = T_2 v_1; \frac{v_1}{v_2} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$\frac{\nu R T_1}{v_1} = \frac{\nu R T_2}{v_2}; \frac{T_1}{v_1} = \frac{T_2}{v_2}; \frac{T_1}{T_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$\nu R dT =$$

$$p_1 \frac{4}{5} \nu$$



$$\frac{4}{5} \nu$$

$$p \cdot \frac{3}{5} \nu = \nu R \cdot 300; \boxed{400}$$

$$C_{\nu} \nu \Delta T = 100 \cdot \frac{3}{7} \cdot 8,31 = \frac{300 \cdot 8,31}{7} =$$

$$\frac{100 \cdot 3 \cdot 8,31 \cdot 5}{7} = \frac{50 \cdot 3 \cdot 8,31}{7} = \boxed{\frac{750 \cdot 8,31}{7}}$$

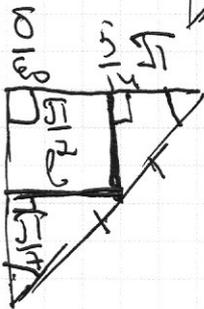
$$q = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$k \frac{q}{e^2}, \quad k \frac{q}{e}$$

$$\sqrt{2}$$

$$\frac{\pi - \pi}{2} - \frac{\pi}{2} = \frac{3\pi}{4}$$

$$\frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

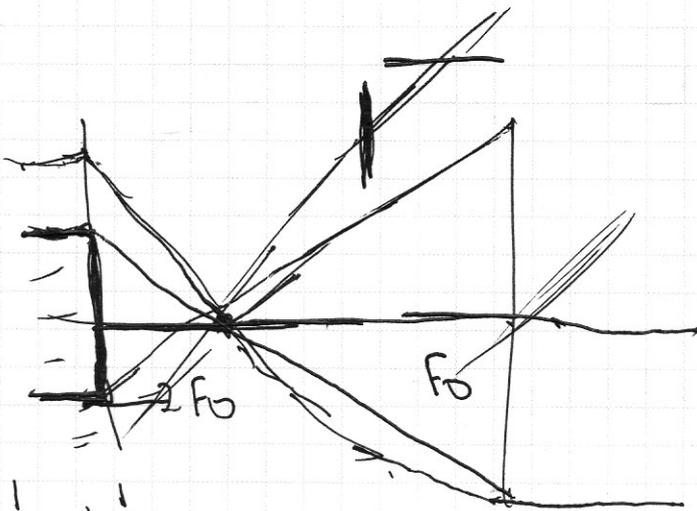


$$\frac{\sigma}{2\epsilon_0} \cdot \frac{1}{\tan \frac{3\pi}{4}}$$

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

$$q = CU \cdot \cos(\omega t)$$

$$I = CU \cdot \omega \cdot \sin(\omega t)$$



$$\frac{1}{F_0} = \frac{1}{3F_0} + \frac{1}{d}$$

$$\frac{d + 3F_0}{3F_0 d} = \frac{1}{F_0}$$

F_0

$$d = \frac{1}{3} F_0 \quad 2 F_0$$

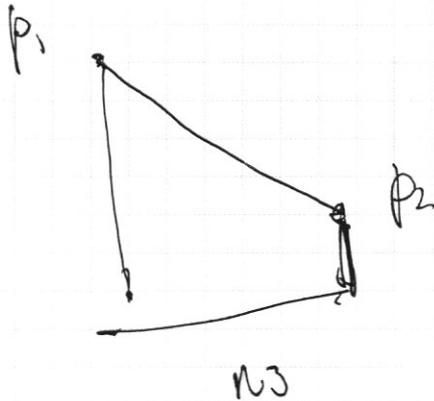
$$C_v \cdot v \cdot dT + A$$

$$vRT + pdv, \quad \frac{4}{5} pV$$

$$vR \cdot 100$$

$$\frac{5}{2} vRT + A$$

$$\frac{p_1 + p_2}{2} dV$$



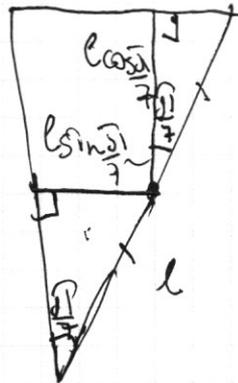
$$2S \cdot q_{in} = \frac{\sigma \cdot S}{\epsilon_0}$$

$$q_{in} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

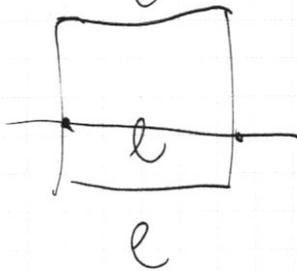
$$\frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$\frac{\sigma l}{\epsilon_0 \cdot l \sin \frac{\pi}{7}}$$

$$\frac{\sigma l}{2\epsilon_0 \cdot l \cos \frac{\pi}{7}}$$



$$\frac{2\sigma \cdot l \cdot \cos \frac{\pi}{7}}{2\epsilon_0 \cdot l \cdot \cos \frac{\pi}{7}}$$



$$\frac{q_{in}}{\epsilon_0} \quad \text{ctg}^2$$

$$\frac{\cos^2}{\sin^2} + \frac{\sin^2}{\cos^2} = \frac{\cos^4 + \sin^4}{\sin^2 \cos^2} = (\cos^2 + \sin^2)^2 - 2$$

$$q_{in} \cdot 2l = \frac{\sigma \cdot l}{\epsilon_0}$$

$$q_{in} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

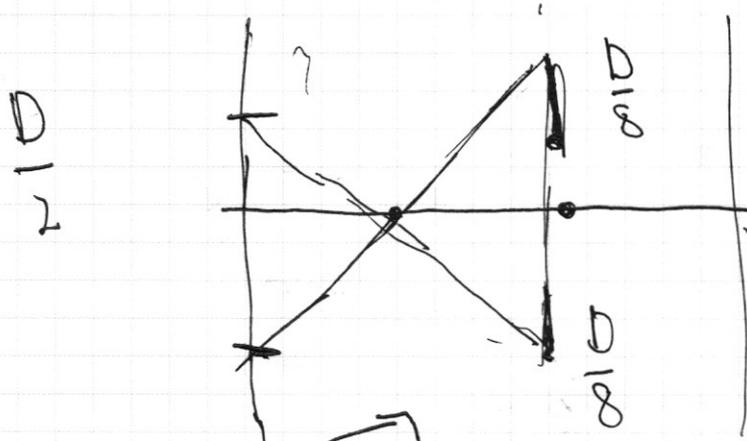
$$\frac{\sigma}{\epsilon_0} \sqrt{\frac{\text{ctg}^2 \frac{\pi}{7} + 4 \text{tg}^2 \frac{\pi}{7}}{7}}$$

$$\frac{2l \cdot \sigma \cdot \cos \frac{\pi}{7}}{\epsilon_0 \cdot l \cdot \sin \frac{\pi}{7}} =$$

$$\frac{2\sigma}{\epsilon_0} \cdot \text{ctg} \frac{\pi}{7}$$

$$\frac{2\sigma}{\epsilon_0} \cdot \text{tg} \frac{\pi}{7}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$0 \Rightarrow \frac{D}{8} - t_1$$

$$\boxed{\frac{D}{8t_1}}$$

$$\downarrow 2V$$

$$\boxed{4V}$$

$$\uparrow V$$

$$\frac{3D}{8} \Rightarrow \boxed{4t_2}$$

N_1

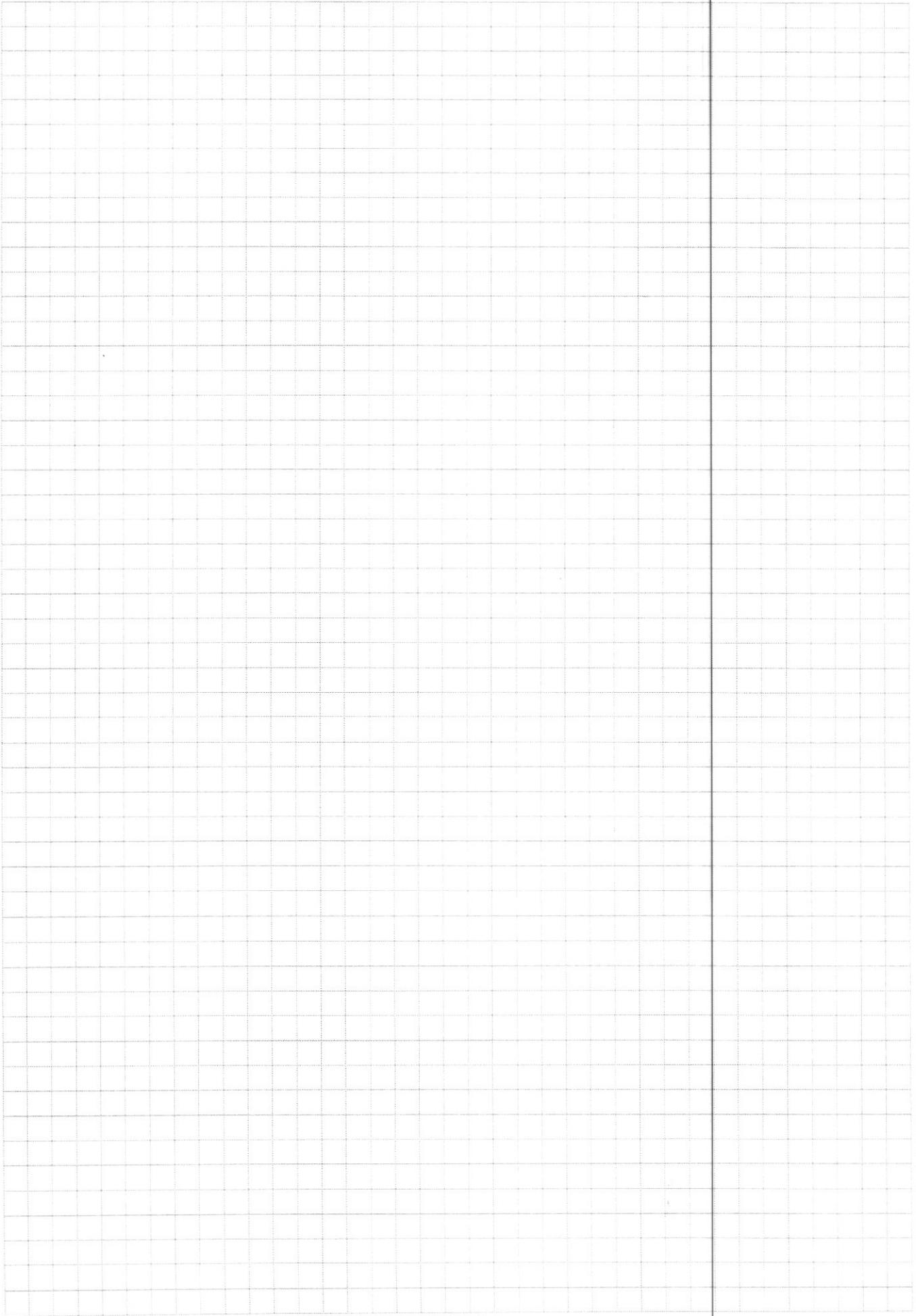
$$12 \quad v_1 \cos \alpha = \frac{8 \cdot \sqrt{7}}{16} = \frac{\sqrt{7}}{2}$$

$$12 \cdot \cos \beta = 12 \cdot \frac{\sqrt{3}}{4} = 3\sqrt{3}$$

$$\frac{3\sqrt{3} - \frac{\sqrt{7}}{2}}{2} = \boxed{\frac{3\sqrt{3}}{2} - \frac{\sqrt{7}}{4}}$$

N_2

$C_0 \Delta T$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\frac{3}{5} V$ ρ 300 V ρ 500
 $\frac{4}{5} V$ ρ_1 T $\frac{4}{5} V$ ρ_1 T

$URdT = W \left(\frac{4}{5} \rho_1 - \frac{3}{5} \rho \right)$ $\frac{4}{5} \cdot \frac{3}{5} = \frac{3}{5}$

$\frac{5}{2} V \left(\frac{4}{5} \rho_1 - \frac{3}{5} \rho \right) \cdot \frac{\rho_1 + \rho}{2} \cdot \frac{V}{5} = 750 \cdot 72 \cdot \frac{831}{8}$

$= \left(\frac{5}{2} V \left(\frac{4}{5} \rho_1 - \rho \right) \right) \cdot \frac{\rho_1 + \rho}{2} \cdot \frac{1}{3} V =$

$\frac{4}{5} \rho_1 = \frac{3}{5} \rho = \frac{4}{5}$

$\rho V = 500 R V$ $V \left(\frac{4}{5} \rho_1 - \rho \right) = URdT \frac{750 \cdot 831}{8}$

$\frac{4}{5} V \rho_1 = 500 T R V$

$\frac{3}{5} V \rho = 500 \cdot 300 V R$ $V \left(\rho_1 \right)$

$\frac{4}{5} V \rho_1 = T V R$ $\rho_1 = \frac{3}{4} \rho$

$(\rho + \rho_1) \cdot \frac{1}{5} V = \frac{5}{2} V$

$\frac{5}{2} V \left(\frac{4}{5} \rho_1 - \frac{3}{5} \rho \right) = \frac{5}{2} V \left(\frac{4}{5} \rho_1 - \rho \right)$

$\frac{4}{5} \rho_1 - \frac{3}{5} \rho = \rho - \frac{4}{5} \rho_1 ; \quad 8 \rho_1 = 8 \rho$

(750)

$$-300 C_v \cdot V + 2pV - pV_2 = -500 C_v \cdot V + pV_2 - pV$$

$$200 C_v \cdot V = 2pV_2 - 2pV$$

$$200 C_v \cdot V = p(2V_2 - 3V)$$

$$p = \frac{VRT_2}{V}$$

$$\frac{200 \cdot 5}{2} \cdot R \cdot V = \frac{VRT_2}{V} (2V_2 - 3V)$$

$$\frac{2V_2 - 3V}{V} = 1; \quad V_2 = 1,5V$$

$$2V_2 = 4V; \quad V_2 = 2V$$

$$\frac{200 \cdot 5 \cdot R \cdot V}{2} = \frac{VRT_2}{V} (2V_2 - 3V)$$

$$\frac{8}{5} pV = V$$

$$V = 2V_2 - 3V; \quad V_2 = 2V$$

$$100 C_v \cdot V = p(V_2 - V)$$

p

$$100 C_v \cdot$$

$$\frac{500}{2} \cdot R \cdot V = \frac{VRT_2}{V} (V_2 - V)$$

$$\frac{2}{V} (V_2 - V) = 1$$

$$2V_2 - 2V = V; \quad 2V_2 = 3,5V; \quad V_2 = 1,5V$$

$$\frac{8}{5} - \frac{3}{2} = \frac{16}{10} - \frac{15}{10} = \frac{1}{10}$$

$$\frac{4}{5} V$$

$$C_v \cdot V \cdot \Delta T$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$q = CU \omega \sin \omega t$$

$$I = CU \omega \sin \omega t$$

$$I_1 = \frac{U}{L}, \quad I_2 = \frac{U}{3L}$$

$$Cv \cdot v + A$$

$$\left(\frac{8}{5} v_2 - \frac{3}{5} v \right) = \left(v - v_2 \right)$$

$$v = \frac{1}{3L} \quad u \quad \frac{1}{3L} U \quad \times$$

$$(v_2 - v)$$

$$\left(\frac{8v}{5} - v_2 + v \right)$$

$$Cv \cdot v \cdot (T - T_1) + A = Cv \cdot v (T_2 - T) - A$$

$$2Cv \cdot v \cdot T + 2A = Cv \cdot v (T_2 + T_1)$$

$$Cv \cdot v \cdot T + A = Cv \cdot v - 400$$

$$Cv \cdot v T_1 + A = -A - Cv \cdot v T_2$$

$$2A = Cv \cdot v \cdot (T_1 - T_2) \quad \text{too}$$

$$pV = \nu RT_1$$

$$p p = \frac{\nu RT_1}{V}$$

$$50 \quad Cv \cdot v \cdot 50$$

$$T - T_1 + 50 = T - T_2 - 50$$

$$Cv \cdot v \cdot 50 = p dV$$

$$\frac{5R}{2} \cdot v \cdot 50 = \frac{\nu RT_1}{V} \cdot dV$$

$$125 = 300 \cdot \frac{dV}{V} \quad \frac{125}{300} = \frac{1}{12}$$

$$U_1 \left(\frac{8}{5} - U_1 \right)$$

$$U \Rightarrow U_2 \quad U_2 = U$$

$$\frac{3}{5} U \Rightarrow \frac{8}{5} U - \left(\frac{U_2}{5} \right) U_2$$

$$\boxed{V - U_2}$$

$$\frac{3}{5} v \left(\frac{8v}{5} - v_2 + v \right) - \frac{3}{5} v = 2v - v_2$$

$$Cv \cdot v \cdot (T - 300) + p (v - v_2) = Cv \cdot v (T - 500) + p (v_2 - v)$$