

4.1.  4.2.  4.3. 

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

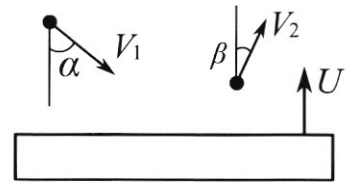
Класс 11

Вариант 11-02

Шифр

(заполняется секретарём)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость $V_1 = 6$ м/с, направленную под углом α ($\sin \alpha = \frac{2}{3}$) 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.

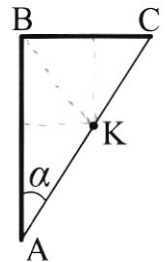
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится гелий, во втором – неон, каждый газ в количестве $\nu = 6/25$ моль. Начальная температура гелия $T_1 = 330$ К, а неона $T_2 = 440$ К. Температуры газов начинают медленно выравниваться, а поршень начинает медленно двигаться. Оба газа одноатомные, газы считать идеальными. $R = 8,31$ Дж/(моль К).

1) Найти отношение начальных объемов гелия и неона.

2) Найти установившуюся температуру в сосуде.

3) Какое количество теплоты передал неон гелию?

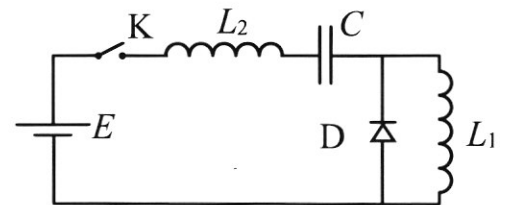
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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 $\sigma_1 = 4\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/8$. 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 $L_1 = 3L$, $L_2 = 2L$, конденсатора емкостью C , диода Д (см. рис.). Ключ К разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в L_2 .

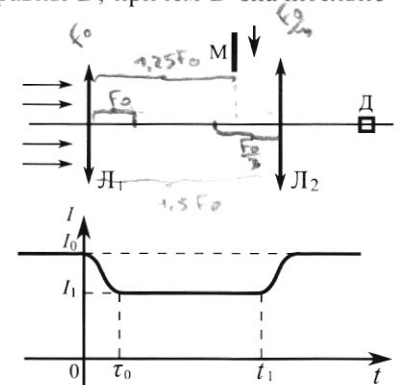


1) Найти период T этих колебаний.

2) Найти максимальный ток I_{01} , текущий через катушку L_1 .

3) Найти максимальный ток I_{02} , текущий через катушку L_2 .

5. Оптическая система состоит из двух соосных тонких линз L_1 и L_2 (см. рис.) с фокусными расстояниями F_0 и $F_0/3$, соответственно. Расстояние между линзами $1,5F_0$. 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 $5F_0/4$ от L_1 . На рисунке показана зависимость тока I фотодетектора от времени t (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1 = 8I_0/9$.

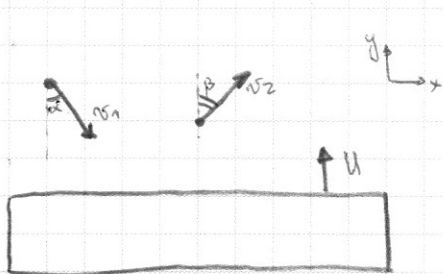


1) Найти расстояние между линзой L_2 и фотодетектором.

2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1 .

Известными считать величины F_0 , D , τ_0 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



①

1) $v_2 = ?$

2) $u = ?$

$$\cos \alpha = \frac{\sqrt{5}}{3}$$

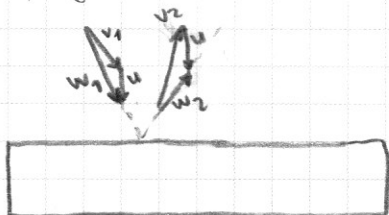
$$\cos \beta = \frac{2\sqrt{2}}{3}$$

~~Перейдём в СО плиты~~

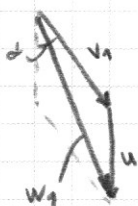
- Т.к. поверхность плиты гладкая, то вдоль оси x на шарик не действует никакие внеш. силы. Следов-но, ~~из~~ импульс шарика по оси x сохраняется:

$$m v_1 \sin \alpha = m v_2 \sin \beta \Leftrightarrow v_2 = v_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 6 \cdot \frac{\frac{2}{3}}{\frac{1}{3}} = 12 \text{ м/с}$$

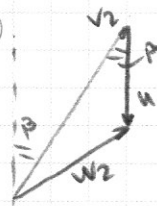
- Перейдём в СО плиты:



В этой СО шарик подлетел со скоростью $\vec{v}_1 - \vec{u}$, а отлетел со скоростью $\vec{v}_2 - \vec{u}$.



$$w_1^2 = v_1^2 + u^2 - 2 v_1 u \cdot \cos(\pi - \alpha)$$



$$w_2^2 = v_2^2 + u^2 - 2 v_2 u \cdot \cos \beta$$

Из ЗСЗ: $v_1^2 + u^2 + 2 v_1 u \cos \alpha = v_2^2 + u^2 - 2 v_2 u \cos \beta$

$$2u(v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta) = v_2^2 - v_1^2 \Rightarrow u = \frac{\overset{\text{min}}{v_2^2 - v_1^2}}{2(v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta)}$$

- Миним. знамен-ль: $v_1 \cos \alpha + u = v_2 \cos \beta \cos \beta - u \Leftrightarrow u^{\overset{\text{max}}{\text{min}}} = \frac{v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha}{2}$

Ответ: 1) 12 м/с

2) $\left[\frac{v_2^2 - v_1^2}{2(v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta)} ; \frac{v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha}{2} \right]$

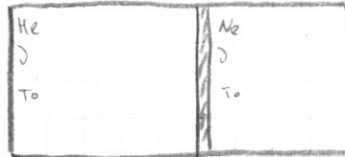
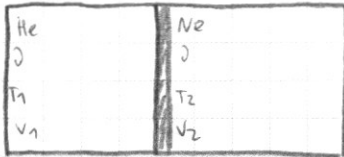


черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2



1) $\frac{V_1}{V_2} = ?$

2) $T_0 = ?$

3) $Q = ?$ от неона к гелию.

• Т.к. процесс выравнивания темп-р и увеличение ширины происходят очень медленно, то давл-я газов в сосудах в кажд. мом. вр. отличаются на очень малую величину. Тогда можно считать, что в начал. мом. вр. давлениа в частях сосуда (почти) равны. Обозначим это давлениа за p_0 .

• Ур-е Менделеева-Клапейрона для гелиа и неона в начал. мом. вр.:

$$\left. \begin{aligned} p_0 V_1 &= \nu R T_1 \\ p_0 V_2 &= \nu R T_2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{330 \text{ K}}{440 \text{ K}} = \frac{33}{44} = \frac{3}{4} = 0,75 \quad \left. \begin{aligned} V_1 &= \frac{3}{4} V \\ V_2 &= \frac{4}{7} V \end{aligned} \right\}$$

• Т.к. сосуд теплоизолирован и работы против внеш. сил газы не совершают (и так как давл-я газов почти равны, то их работы отличаются с точностью до знака), то внутр. энергия сосуда сохраняется:

~~$$\Delta U = 0 \Leftrightarrow \frac{3}{2} \nu R T_0 + \frac{3}{2} \nu R T_0 - \left(\frac{3}{2} \nu R T_1 + \frac{3}{2} \nu R T_2 \right) = 0$$~~

$$2T_0 = T_1 + T_2 \Leftrightarrow T_0 = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{330 + 440}{2} \text{ K} = \frac{770}{2} \text{ K} = 385 \text{ K}$$

$\text{He 'в конез. сост.}$ $\text{Ne 'в конез. сост.}$ $\text{He 'в начал. сост.}$ $\text{Ne 'в конез. сост.}$

• Ур-е Менд.-Клапейрона для 2-х газов в начал. и ф. процес. сост.:

$$\left. \begin{aligned} p_0 \cdot \frac{3}{4} V &= \nu R T_1 & p_0 \cdot \frac{4}{7} V &= \nu R T_2 \\ p \cdot kV &= \nu R T_1' & p \cdot (1-k)V &= \nu R T_2' \end{aligned} \right\} \Rightarrow p = p_0 \Rightarrow \text{это изобар. процес.}$$

• Внутр. эн. сохр-ся $\Rightarrow \frac{3}{2} \nu R T_1 + \frac{3}{2} \nu R T_2 = \frac{3}{2} \nu R T_1' + \frac{3}{2} \nu R T_2'$

- I казано тиг гад геме:

$$Q = \Delta U + A$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_0 - T_1)$$

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV = p_0 \left(\frac{V}{2} - \frac{3}{7} V \right) = p_0 \cdot \frac{V}{14} = \frac{\nu R T_1}{V_1} \cdot \frac{V}{14} = \frac{\nu R T_1}{\frac{3}{7}} \cdot \frac{V}{14} = \frac{7}{3 \cdot 14} \nu R T_1 = \frac{\nu R T_1}{6}$$

~~$$Q = \frac{3}{2} \nu R \left(\frac{T_1 + T_2}{2} - T_2 \right)$$~~

$$Q = \frac{3}{2} \nu R (T_0 - T_1) + \frac{\nu R T_1}{6}$$

Т.к. сосуд теплоу-и, то это тепло и есть тепло, переданное неонам.

$$Q = \frac{3}{2} \nu R \left(\frac{3}{2} (T_0 - T_1) + \frac{T_1}{6} \right) = \frac{6}{25} \cdot 8,31 \left(\frac{3}{2} (385 - 330) + \frac{330}{6} \right) \text{ Дж}$$

$$Q \approx 2 \left(\frac{3}{2} \cdot 55 + 55 \right) \text{ Дж} = (3 \cdot 55 + 110) \text{ Дж} = (165 + 110) \text{ Дж} = 275 \text{ Дж}$$

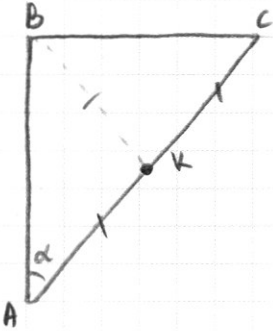
Ответ: 1) 0,75

2) 385 K

3) 275 Дж

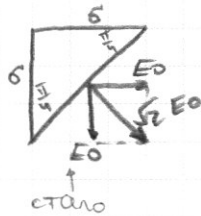
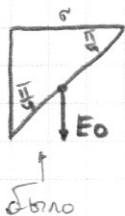
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3



- Проведём BK. По св-ву прямоуг. Δ -ка $BK = KC = AK$. Тогда из симметрии заключаем, что напряж-ть в $(O)K$, создаваемая пластиной BC, направлена перп-но BC. Пусть она равна E_0 .
- Заметим, что $\Delta ABK = \Delta BCK \Rightarrow$ если зарядить ~~эту~~ плоскость AB с такой же поверх. плотностью, то напряж-ть в $(O)K$ от создав-я пластиной AB будет также перп-на AB и равна E_0 .

Получаем:



\Rightarrow напряж-ть увеличится в $\sqrt{2}$ раз.

- Из симметрии напряжён-ть в $(O)K$, создав-я (AB) и (BC), состоит-но из перп-н-ных. Воспольз-ся теоремой, к-я гласит, что напряж-ть, созд-я плоск-ю в нек-ой точке равна $E_1 = \frac{\sigma \cdot \Omega}{\epsilon_0}$, где Ω - телес. угол, под к-им из точки видно плоскость, σ - ~~плотность~~ ^{численный} коэф-т, значение кот-го подставим в дальнейшем. Также воспольз-ся тем фактом, что в конусе телес. угол при вершине равен $\Omega = 2\pi(1 - \cos \Theta)$.

• Тогда, получаем:

$$\text{напр-ть в } O1K \text{ от } AB: E_{AB} = \frac{\sigma \cdot \sigma_2}{\epsilon_0} \cdot 2\pi(1 - \cos(\frac{\pi}{2} - \alpha)) = \frac{\sigma \sigma_2}{\epsilon_0} \cdot 2\pi(1 + \sin \alpha)$$

$$\text{напр-ть в } O1K \text{ от } BC: E_{BC} = \frac{\sigma \cdot \sigma_1}{\epsilon_0} \cdot 2\pi(1 - \cos(\alpha))$$

К сожал-ю, я точно не помню значение коэф-та σ . ~~Возьму~~ Мне кажется, что $\sigma = 1$. Однако точно я не помню, поэтому если я ошибся в значении σ , но всё же решение, что было до этого момента правильное, и надеюсь, что смогу получить за эту часть баллы.

$$\text{Итак, } \sigma = 1 \Rightarrow E_{AB} = \frac{\sigma \pi \sigma}{\epsilon_0} (1 + \sin \alpha)$$

$$E_{BC} = \frac{2\sigma \pi}{\epsilon_0} (1 - \cos \alpha)$$

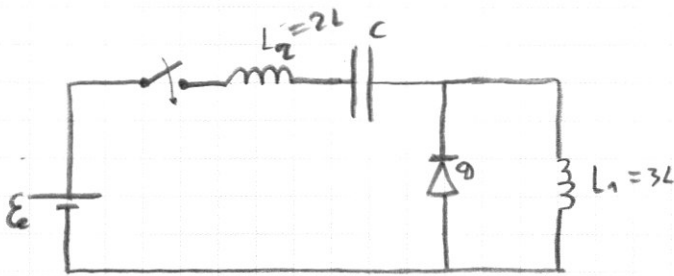
$$E_0 = \sqrt{E_{AB}^2 + E_{BC}^2} = \frac{\sigma \pi}{\epsilon_0} \cdot \sqrt{64(1 + \sin \frac{\pi}{8})^2 + 4(1 - \cos \frac{\pi}{8})^2} = \frac{\sigma \pi}{\epsilon_0} \cdot \sqrt{64(1 + \sin \frac{\pi}{8})^2 + 4(1 - \cos \frac{\pi}{8})^2}$$

Ответ: 1) $\sqrt{2}$

$$2) \frac{\sigma \pi}{\epsilon_0} \cdot \sqrt{64(1 + \sin \frac{\pi}{8})^2 + 4(1 - \cos \frac{\pi}{8})^2}$$

$$2) \frac{2\sigma \pi}{\epsilon_0} \sqrt{16(1 + \sin \frac{\pi}{8})^2 + (1 - \cos \frac{\pi}{8})^2}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



4

1) $T = ?$

2) $I_{01}^{\max} = ?$

3) $I_{02}^{\max} = ?$

• Ф-ла Томпсона: $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{L_0}{C}}$

В нашем случае с учётом нашего диода: $T = 2 \cdot 2\pi \cdot \sqrt{\frac{5L}{C}} = 4\pi \sqrt{\frac{5L}{C}}$

- Ток I_{01} максим-н, когда энергия L_1 макс-на, т.е. ~~всегда~~ когда конденсатор заряжен.

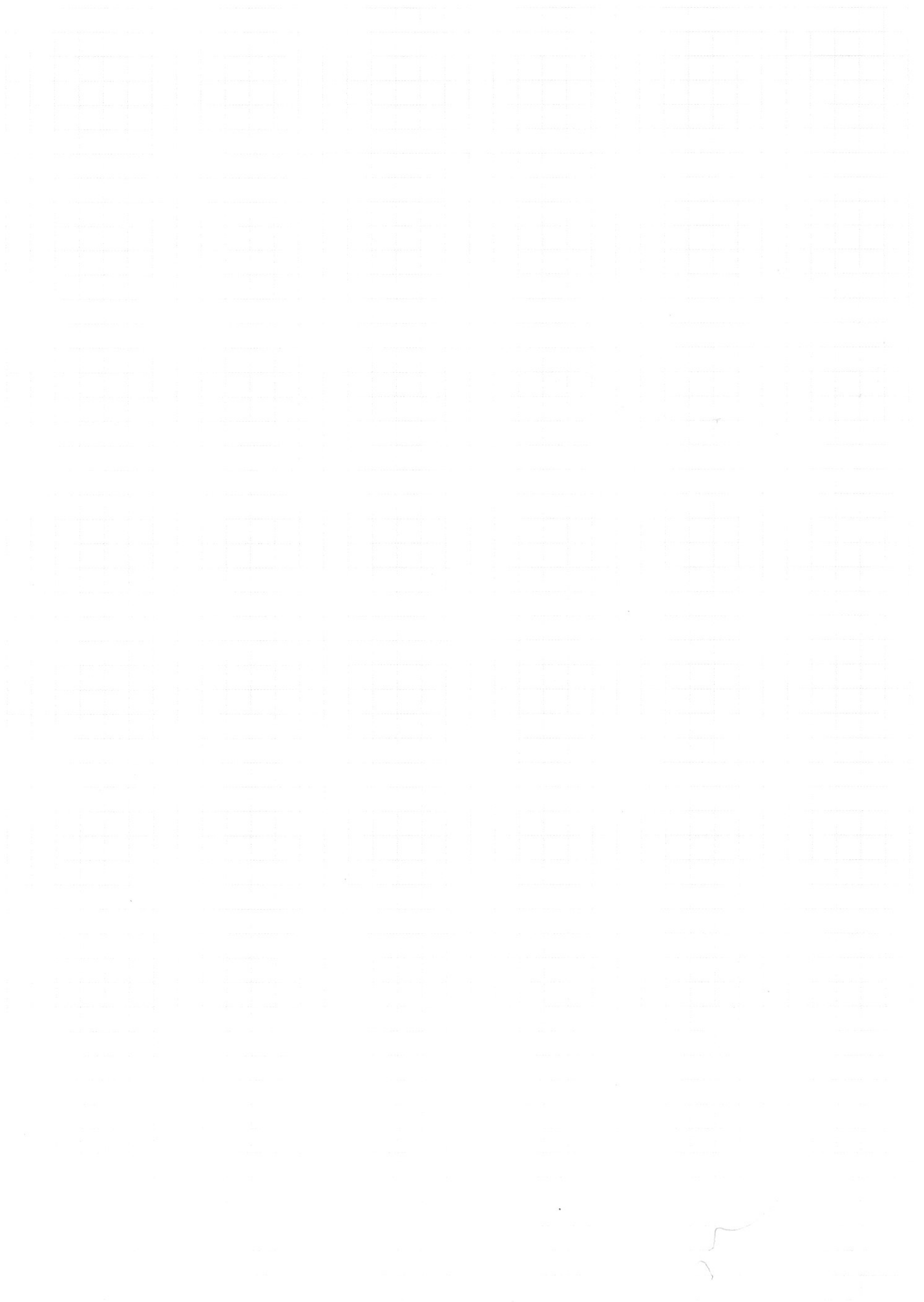
~~На зна...~~ U_3 зна сум. эн.: $\mathcal{E}(\mathcal{E}C) = \frac{2L I_{01}^2}{2} + \frac{3L \cdot I_{01}^2}{2} + \frac{C \mathcal{E}^2}{2}$

$$\frac{C \mathcal{E}^2}{2} = \frac{5}{2} L I_{01}^2 \Leftrightarrow I_{01} = \sqrt{\frac{C \mathcal{E}^2}{5L}} = \sqrt{\frac{C}{5L}} \mathcal{E}$$

- Аналогично находим I_{02} , но только когда ток течёт через диод, а не L_1 :

$$\mathcal{E}(\mathcal{E}C) = \frac{2L I_{02}^2}{2} + \frac{C \mathcal{E}^2}{2} \Leftrightarrow L I_{02}^2 = \frac{C \mathcal{E}^2}{2} \Leftrightarrow I_{02} = \sqrt{\frac{C}{2L}} \cdot \mathcal{E}$$

Ответ: $4\pi \cdot \sqrt{\frac{5L}{C}}$; $\sqrt{\frac{C}{5L}} \mathcal{E}$; $\sqrt{\frac{C}{2L}} \mathcal{E}$.

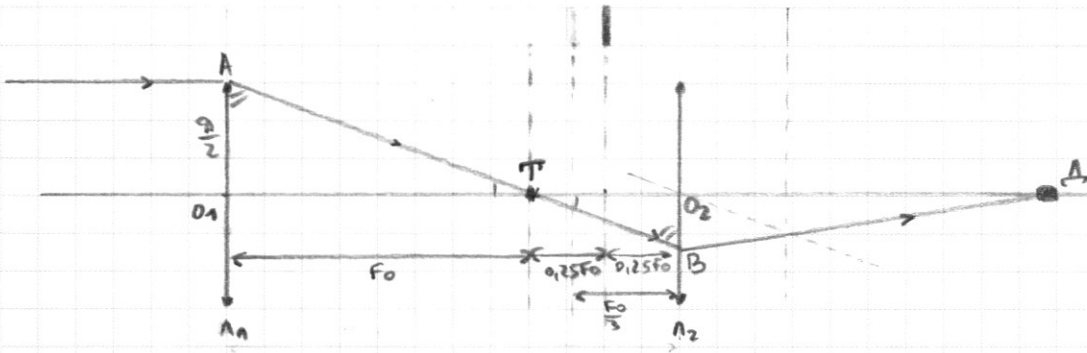


черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

5



- На L_1 L_2 падает параллел. пучок света. По св-ву линзы после преломл. в L_1 он фокусируется в фокусе L_1 на расст. F_0 от неё. Для L_2 эта точка будет реал. предметом.

- Ф-ла линзы для преломл. в L_2 :

$$\frac{1}{1,5F_0} + \frac{1}{f} = \frac{1}{|F_0/3|} \Leftrightarrow \frac{1}{f} = \frac{3}{F_0} - \frac{2}{F_0} = \frac{1}{F_0} \Leftrightarrow f = F_0$$

В условии сказано, что прошедший через L_1 и L_2 свет фокусируется на фотодетекторе $\Rightarrow f = F_0$ - это и есть искоим. расстояние.

- Из подобия ΔO_1AT и ΔO_2BT : $\frac{2}{0,25F_0} = \frac{F_0}{0,25F_0} = 2 \quad 2|O_2B| = \frac{2}{2} \quad |O_2B| = \frac{2}{4}$

- T - ток через $\Delta A \sim$ мощность пучка \sim площадь пучка в плоскости AB .

$$\frac{8}{9} I_0 = \frac{\pi(\frac{2}{4})^2 - \pi H^2}{\pi(\frac{2}{4})^2} = 1 - \frac{H^2 \cdot 16}{2^2}, \text{ где } H - \text{ диаметр мишени}$$

$$\frac{16H^2}{2^2} = \frac{1}{9} \quad \frac{4H}{2} = \frac{1}{3} \quad 12H = 2 \Leftrightarrow H = \frac{2}{12}$$

- «Кривая» часть графика $I(t)$ - это когда мишень «входит» («выходит») в пучок.

$$v \tau_0 = H \Leftrightarrow v = \frac{H}{\tau_0} = \frac{2}{12 \tau_0}$$

- Прямой участок графика $I(t)$ - когда мишень полностью в пучке.

$$v(t_1 - \tau_0) = \frac{|AB|}{2} - H = |O_2B| - H = \frac{2}{4} - \frac{2}{12} = \frac{2}{6}$$

$$\frac{2}{12 \tau_0} (t_1 - \tau_0) = \frac{2}{6} \quad 2\tau_0 = t_1 - \tau_0 \Leftrightarrow t_1 = 3\tau_0$$

Ответ: 1) F_0

2) $\frac{9}{1200}$

3) 300



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Large grid area for writing the answer.

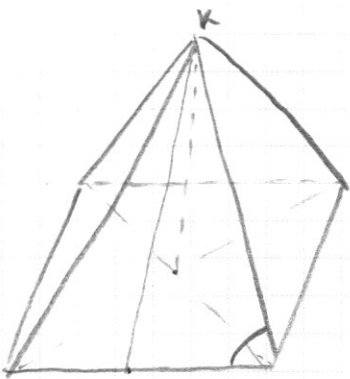
черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



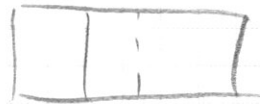
черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

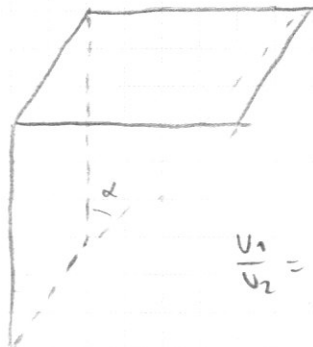


$$E_s = \sigma_s$$

$$\frac{\sigma_s \cdot \Delta l}{4\epsilon_0}$$



$$v = 2\pi$$



$$P \cdot V = J R T$$

$$P dV + V dP = J R dT$$

$$P_0 \frac{3}{5} V = J R T_1 \quad P_0 = \frac{7}{3} \frac{J R T_1}{V} \quad \frac{7}{3} T_1$$

$$P \frac{V}{2} = J R T_0 \quad P = 2 \frac{J R T_0}{V} \quad 2 T_0$$

$$\frac{7}{3} T_1 = \frac{2}{3} 330 = 7 \cdot 110 = 770$$

$$2 T_0 = 770$$

$$P_0 \cdot \frac{3}{5} V = J R T_1 \quad P_0 \cdot \frac{4}{7} V = J R T_2$$

$$P \cdot k V = J R T_1' \quad P (1-k) V = J R T_2'$$

$$T_1 + T_2 = T_1' + T_2'$$

$$\frac{3}{7} \frac{P_0 V}{J R} + \frac{4}{7} \frac{P_0 V}{J R} = \frac{k P V}{J R} + \frac{(1-k) P V}{J R}$$

$$P_0 = P$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{3}{4} \quad 4 v_1 = 3 v_2$$

$$v_1 = \frac{3}{4} v_2$$

$$\frac{3}{4} v_2 + v_2 = V$$

$$\frac{7}{4} v_2 = V \quad v_2 = \frac{4}{7} V$$

$$v_1 = \frac{3}{7} V$$

$$P_0 = P !!!$$

$$kV + (1-k)V = V$$

$$\frac{4}{7} - \frac{3}{7} = \frac{7-6}{14} = \frac{1}{14}$$

$$\begin{array}{r} -330 \\ 30 \\ \hline 30 \end{array} \quad \begin{array}{r} 6 \\ 55 \\ \hline 30 \end{array}$$

$$55 \cdot 3 = 150 + 15$$

$$\begin{array}{r} 165 \\ + 110 \\ \hline 275 \end{array}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Черновик.

$$pV = \nu RT \quad \nu kT V = \nu RT$$

$$p = \nu kT \quad \frac{\nu NA}{V} kT = \nu RT$$

$$\nu = \frac{N}{V} = \frac{\nu NA}{V}$$

$$\begin{array}{r} 720 \overline{) 2} \\ \underline{6} \\ 17 \\ \underline{16} \\ 10 \end{array}$$



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

$$Q = \Delta U + A$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_0 - T_1) \quad \Delta A = p \Delta V = \nu RT \frac{\Delta V}{V} \quad Q = \Delta U + A$$

$$pV = \nu RT \quad p = \frac{\nu RT}{V}$$

$$Q_1 = \Delta U_1 + A_1 \quad Q_1 = -Q_2 \quad A_1 = -A_2$$

$$Q_2 = \Delta U_2 + A_2$$

$$Q_2 - Q_2 = \Delta U_1 - A_2$$

$$-2Q_2 = -2A_2 + (\Delta U_1 - \Delta U_2)$$

$$-Q_2 = -\Delta U_2 - A_2$$

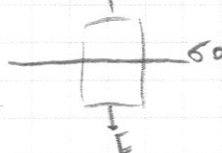
$$2Q_2 = 2A_2 + (\Delta U_2 - \Delta U_1)$$

$$A_2 = Q_2 + \frac{\Delta U_2 - \Delta U_1}{2}$$

$$A_1 = -A_2$$

$$2E\phi = \sigma_0 \phi / \epsilon_0$$

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



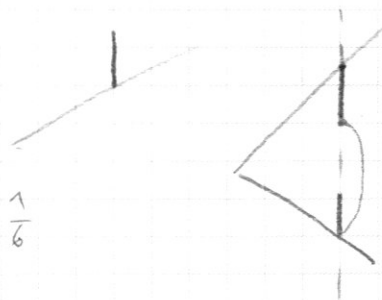
$$\begin{array}{r} 80 \overline{) 8} \\ \underline{16} \\ 20 \\ \underline{16} \\ 40 \end{array}$$

$$30,0$$

$$\begin{array}{r} 22,5 \\ \underline{67,5} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 5 \overline{) 4} \\ \underline{4} \\ 10 \\ \underline{10} \\ 20 \end{array}$$

$$\frac{1}{4} - \frac{1}{12} = \frac{3-1}{12} = \frac{1}{6}$$



$$Q_1 = \Delta U_1 - A_2 = \Delta U_1 + \frac{\Delta U_2 - \Delta U_1}{2} - Q_2$$

$$C = \frac{\Delta U_1}{\phi} = \frac{\Delta U_2}{\phi}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

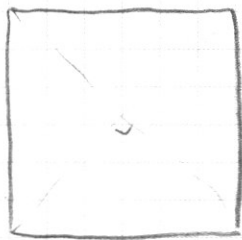


$$\frac{360^\circ - 2\alpha}{2} = 180^\circ - \alpha$$



$$v_n \cos \alpha + u$$

$$v_1 \cos \alpha + u$$



$$l = \frac{4\sqrt{3}}{6}$$

$$\frac{5 \cdot l}{4 \epsilon_0}$$

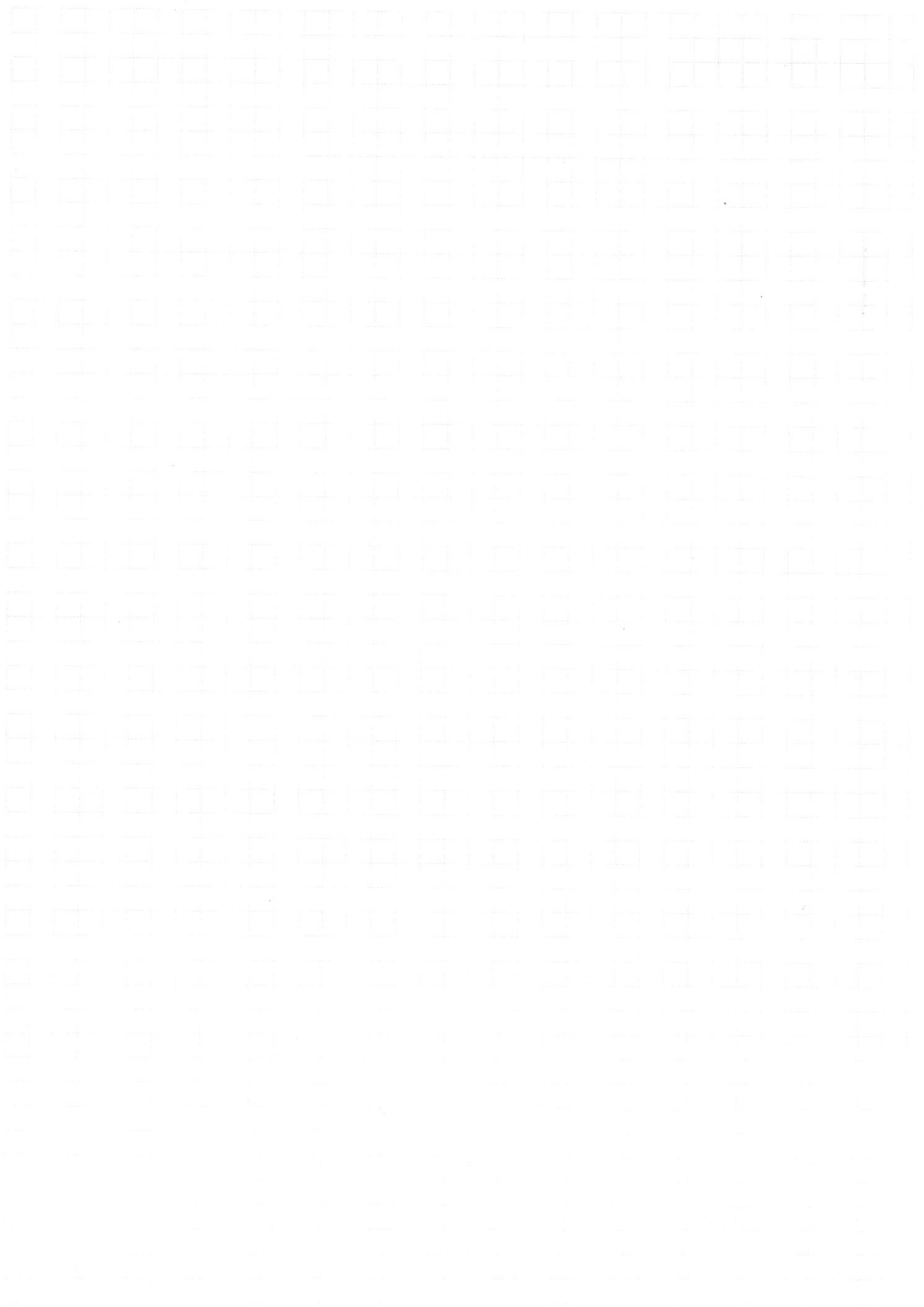
$$E = \frac{4 \epsilon_0 l}{\epsilon_0}$$

$$l = 2\sqrt{3} (1 - \cos \theta)$$

$$\frac{1}{2} - \frac{1}{8}$$

$$\frac{4-1}{2(\sqrt{3})}$$

$$E \rightarrow 3L \ddot{i} + 2L \ddot{i} = \frac{q}{\epsilon}$$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)