

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

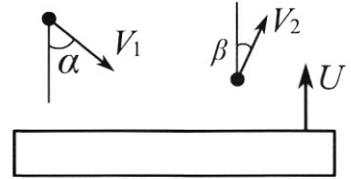
Класс 11

Вариант 11-04

Шифр

(заполняется секретарём)

3. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость $V_1 = 18$ 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 ($\sin \beta = \frac{3}{5}$) с вертикалью.



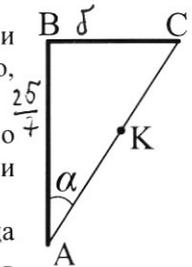
- 1) Найти скорость V_2 .
- 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.

Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

4. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится аргон, во втором – криптон, каждый газ в количестве $\nu = 3/5$ моль. Начальная температура аргона $T_1 = 320$ К, а криптона $T_2 = 400$ 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 аргона и криптона.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал криптон аргону?

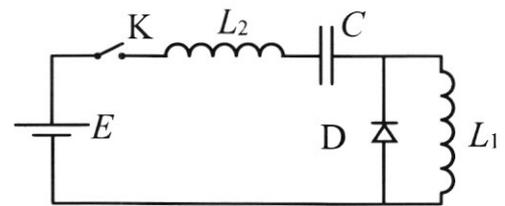
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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?

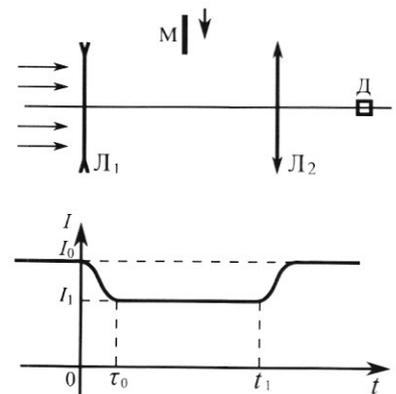
2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = \sigma, \sigma_2 = 2\sigma/7$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/9$. Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС E , катушек с индуктивностями $L_1 = 5L, L_2 = 4L$, 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_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 $-2F_0$ 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). $I_1 = 7I_0/16$



- 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 .

$$V_2 \cos \alpha \cos \varphi = V_2 \cos \beta - u \quad V \cos \alpha \cos \varphi = V_1 \cos \alpha + u$$

$V_2 \cos \alpha \cos \varphi < V \cos \alpha \cos \varphi$ — условие неупругости удара

$$V_2 \cos \beta - u < V_1 \cos \alpha + u$$

$$V_2 \cos \beta - V_1 \cos \alpha < 2u$$

$$u > \frac{V_2 \cos \beta - V_1 \cos \alpha}{2}$$

$$u > \frac{20 \cdot \frac{4}{5} - 18 \cdot \frac{\sqrt{5}}{3}}{2} = \frac{16 - 6\sqrt{5}}{2} = 8 - 3\sqrt{5} \text{ (м/с)}$$

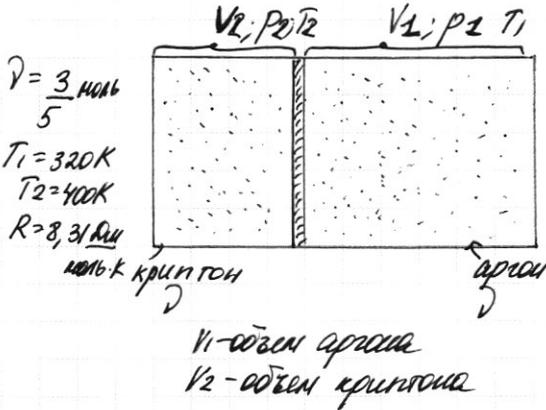
Если бы удар был
абсолютно упругим,
то $V \cos \alpha = V_2 \cos \alpha \Rightarrow$
 $u = \frac{V_2 \cos \beta - V_1 \cos \alpha}{2}$

Реш: 1) $V_2 = \frac{V \sin \alpha}{\sin \beta}$; $V_1 = 20 \text{ (м/с)}$

2) $u > \frac{V_2 \cos \beta - V_1 \cos \alpha}{2}$; ~~то~~ $u > 8 - 3\sqrt{5} \text{ (м/с)}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 2



1) Запишем уравнение Менделеева - Клапейрона для обоих газов:

$$p_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$p_2 V_2 = \nu R T_2$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\nu R T_1}{\nu R T_2}$$

$$\left(\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \right)$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{320}{400} = \frac{16}{20} = \frac{4}{5}$$

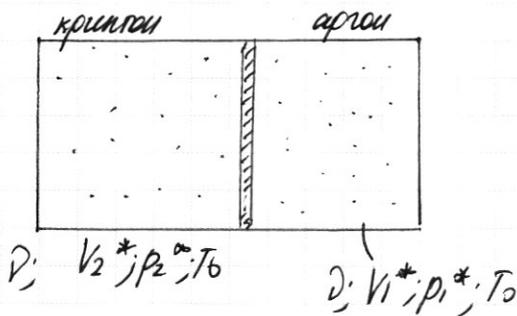
т.к. поршень движется
вертикально \Rightarrow давление
уравнено, если в каждый
момент времени моменты.

$$\Rightarrow p_1 = p_2$$

Поскольку $V_1 = 4V_2$, $V_2 = 5V_1$

V_0 - объем всего сосуда; $V_0 = V_1 + V_2 = 9V_1$

2) Рассмотрим сосуд, когда температура сравнялась:



3) Запишем г-е Менделеева - Клапейрона для обоих газов:

$$p_2^* V_2^* = \nu R T_0$$

$$p_1^* V_1^* = \nu R T_0$$

В момент выравнивания температур поршень остановился.

$$\rightarrow p_1^* = p_2^*$$

$$\rightarrow V_1^* = V_2^* = \frac{V_0}{2} = \frac{9V_1}{2}$$

Процесс, происходящий с
каждым объемом изохорический

$$\Rightarrow p_1^* = p_2^* = p_1 = p_2$$

$$\frac{9}{2} p_1 V_1 = \nu R T_0$$

$$\frac{9}{2} p_1 V_1 = \nu R T_0 \Rightarrow 9 p_1 V_1 = 2 \nu R T_0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_0 = \frac{T_1 + T_2}{2}; T_0 = \frac{320 + 400}{2} = 360\text{ (K)}$$

3) Ответ =

$$Q = \frac{3}{2} \nu R (T_0 - T_1); Q = \frac{3}{2} \cdot \frac{3}{5} \cdot 8,31 \cdot 40 = 36 \cdot 8,31 \approx 300\text{ (Дж)}$$

↑ передача энергии
Аргону.

сумм. работа A
газов = 0!
 $Q = 0$

ответ: $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}; \frac{V_1}{V_2} = \frac{4}{5}$ 2) $T_0 = \frac{T_1 + T_2}{2}; T_0 = 360\text{ K}$
3) $Q = \frac{3}{2} \nu R (T_0 - T_1); Q \approx 300\text{ Дж}$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 4

$$\begin{aligned} L_1 &= 5L \\ L_2 &= 4L \\ C & \end{aligned}$$

Сразу после замыкания ключа ток скачком через катушки не может $I_{01} = 0$; Напр-е на 1-вывод не учт. $U_C = 0$

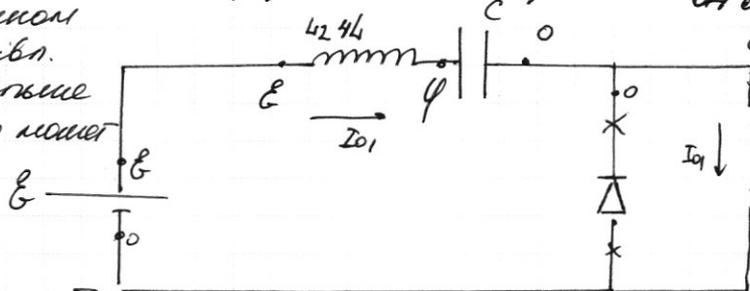
1) $T = 2\pi\sqrt{L_{экв}C}$ Катушки соединены последовательно \Rightarrow

$$\Rightarrow L_{экв} = L_1 + L_2 = 9L$$

$$\Rightarrow T = 2\pi\sqrt{9LC} = 6\pi\sqrt{LC}$$

2) Через катушку L_1 ток максимальен когда диод закрыт (через него не течет ток), ток течет в направл 2. Ток максимален через $L_1 \Rightarrow U_C$ максимален в этот момент в цепи

В каком направл. ток обьеме дль не может



Ток через $L_1 \Rightarrow I_{01}$, $U_C \Rightarrow U_{L1} = U_{L2} = 0$
Когда через катушку L_1 ток максимален \Rightarrow напрми. на ней равно 0

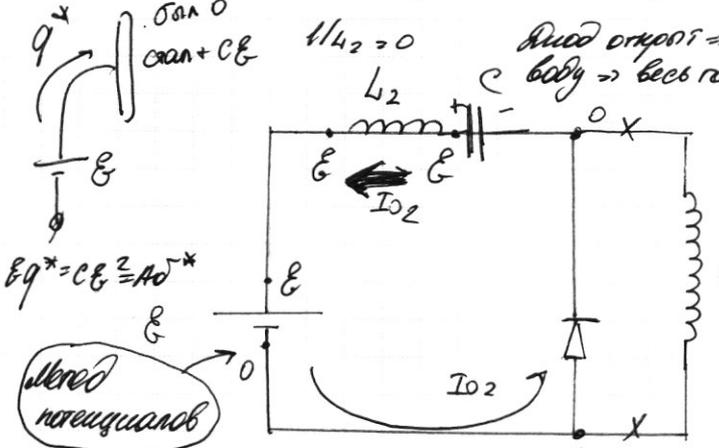
Диод идеальней, в его ВАХ мы находим в точке (0;0) в этот момент.

Метод потенциалов
ЗСЗ: $E \cdot Cq = \frac{Cq^2}{2} + \frac{(L_1 + L_2) I_{01}^2}{2}$

ЗСЭ: $C E^2 = \frac{C E^2}{2} + \frac{9L \cdot I_{01}^2}{2} \Rightarrow C E^2 = 9L \cdot I_{01}^2$
 $I_{01} = \frac{E}{3} \sqrt{\frac{C}{L}}$

в противополож. напрл. через $L_1 \Rightarrow U_C$ максимален в цепи $\Rightarrow U_{L1} = U_{L2} = 0 \Rightarrow U = E$

3) Рассмотрим случай, когда через L_2 максимальный ток I_{02} :



Диод открыт \Rightarrow экв. про- (если диод открыт, то ввду \Rightarrow весь ток через катушки)
 $A_0 = W_{L2} - 0 + W_{C2}$
ЗСЭ: $C E^2 = \frac{C E^2}{2} + \frac{L_2 \cdot I_{02}^2}{2}$

$$C E^2 = L_2 \cdot I_{02}^2$$

$$\frac{C E^2}{4L} = I_{02}^2$$

$(I_{02} = \frac{E}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}) > I_{01} \Rightarrow$ в этом напрл. такой максимал. ток через L_2

Ответ: 1) $T = 6\pi\sqrt{LC}$ 2) $I_{01} = \frac{E}{3} \sqrt{\frac{C}{L}}$
3) $I_{02} = \frac{E}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$

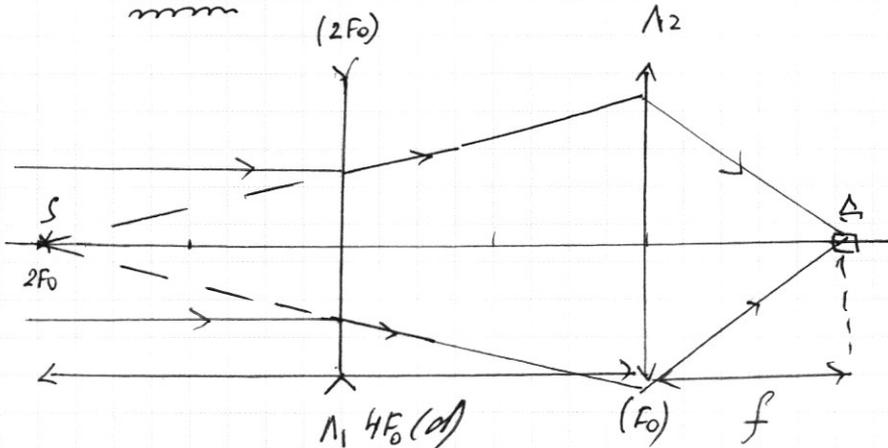


черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 5



лучи, идущие параллельно
рассеиваются пересекаются
в $2F_0$ (точнее продолжен
ии лучей)

оставим в $4F_0$ точечный
источник света S ,

он является действительным
предметом для линзы L_2 .

Изображение в линзе L_2 является мнимым в детектор \rightarrow детектор следует
установить на расстоянии f от L_2

ФТЛ:

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

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F_0} - \frac{1}{d} = \frac{1}{F_0} - \frac{1}{4F_0} = \frac{3}{4F_0} \Rightarrow \left(f = \frac{4F_0}{3} \right)$$

Мощность

В течение времени t_0 мощность величина. Интенсивность света

зависит от площади, которую освещает свет:

При I_0 $S_1 = \frac{\pi D^2}{4}$

При $I_2 = \frac{7I_0}{16}$ $S_2 = S_1 - S_M = \frac{\pi D^2}{4} - S_M$; диаметр мнимости d

$$\Rightarrow S_M = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$\frac{I_0}{I_2} = \frac{S_1}{S_2}$$

$$\frac{I_0 \cdot 16}{7I_0} = \frac{\frac{\pi D^2}{4}}{\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4}} \Rightarrow \frac{16}{7} = \frac{D^2}{D^2 - d^2}; \quad \begin{aligned} 16D^2 - 16d^2 &= 7D^2 \\ 9D^2 &= 16d^2 \\ (d &= \frac{3D}{4}) \end{aligned}$$

После того, как свет пройдёт L_1 , он распространяется на малом расстоянии
все параллельные лучи между линзами. Можно считать, что все лучи между линзами св.



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Продолшите задачи 5

$$\Rightarrow \left(\nu = \frac{d}{T_0} = \frac{3D}{4T_0} \right) - \text{процесс заслонения света линзой } T_0$$

$$t_1 = \frac{D-d}{\nu} = \frac{D - \frac{3D}{4}}{\frac{3D}{4T_0}} = \frac{D}{4 \cdot 3D} \cdot 4T_0 = \frac{T_0}{3}$$

После того, как линза выдет полностью, начнется промежуток времени T , за которое линза полностью опустится во элемент, как начал вылезать

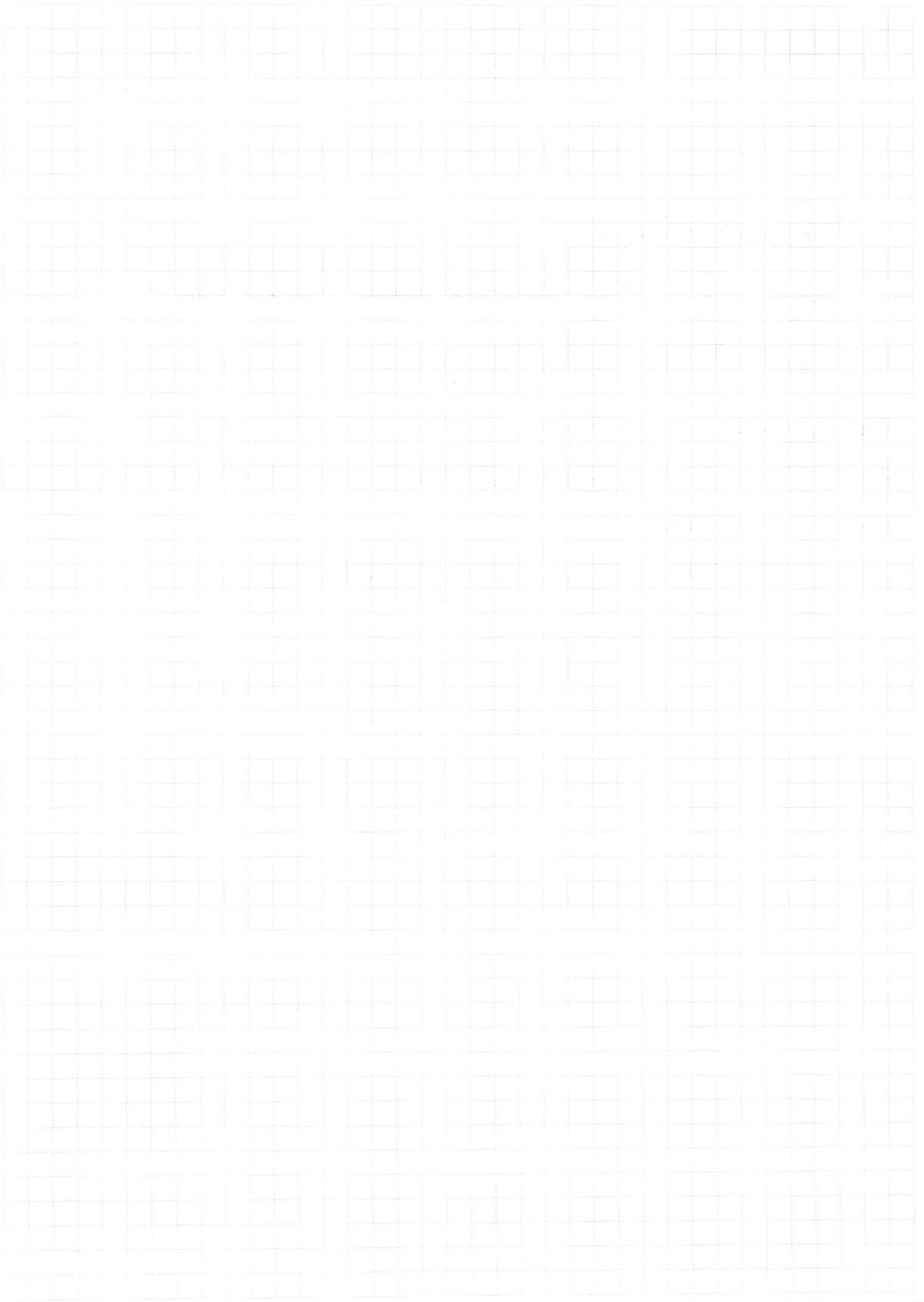
$$T = \frac{D-d}{\nu} = \frac{D - \frac{3D}{4}}{\frac{3D}{4T_0}} = \frac{D}{4 \cdot 3D} \cdot 4T_0 = \frac{T_0}{3}$$

$$\Rightarrow \left(t_1 = T_0 + \frac{T_0}{3} = \frac{4T_0}{3} \right)$$

Ответ: 1) $f = \frac{4T_0}{3}$

2) $\nu = \frac{3D}{4T_0}$

3) $t_1 = \frac{4T_0}{3}$

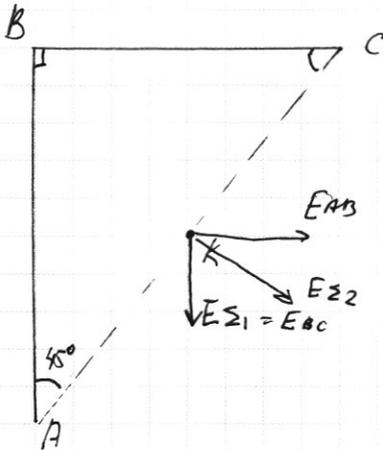


черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 3



Поле бесконечной
одномерно заряженной
плоскости одномерно
направлено от нее

Подсказка

- 1) Вектор напряженности поперечно
заряженной плоскости направлен
от нее. В случае, когда заряжена
только плоскость BC:

$$E_{\Sigma 1} = E_{BC} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}, \text{ в поле}$$

к BC верт. вниз

- 2) Если заряды AB зарядов
плоск., то $\vec{E}_{\Sigma 2} = \vec{E}_{AB} + \vec{E}_{BC}$ по принципу
суперпозиции

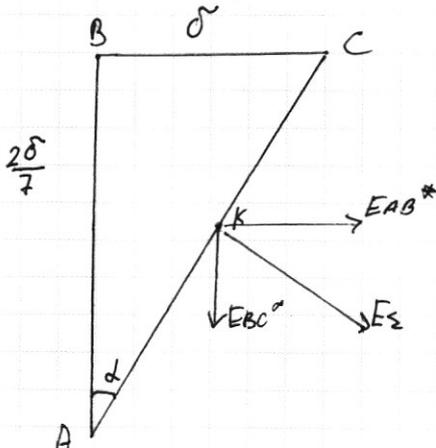
$$E_{AB} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$E_{\Sigma 2} = \sqrt{E_{AB}^2 + E_{BC}^2} = \sqrt{\frac{\sigma^2}{2\epsilon_0^2}} = \frac{\sigma}{\epsilon_0\sqrt{2}}$$

⇒ Напряженность в точке K
увеличится в

$$(n = \frac{E_{\Sigma 2}}{E_{\Sigma 1}} = \frac{\sigma \cdot 2\epsilon_0}{\epsilon_0\sqrt{2} \cdot \sigma} = \sqrt{2} \approx 1,4)$$

- 3) Рассмотрим случай, когда BC заряжена $\sigma_1 = \sigma$, AB $\sigma_2 = 2\sigma$



$$E_{BC}^* = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$E_{AB}^* = \frac{2\sigma}{2 \cdot \epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

$$\vec{E}_{\Sigma} = \vec{E}_{AB}^* + \vec{E}_{BC}^* \quad \text{по принципу суперпозиции}$$

$$E_{\Sigma} = \sqrt{E_{AB}^{*2} + E_{BC}^{*2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{\sigma^2}{4\epsilon_0^2} + \frac{\sigma^2}{\epsilon_0^2}} = \sqrt{\frac{5\sigma^2}{4\epsilon_0^2}} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \sqrt{5}$$

Ответ: 1) $n = \sqrt{2} \approx 1,41$; 2) $E_{\Sigma} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \sqrt{5}$

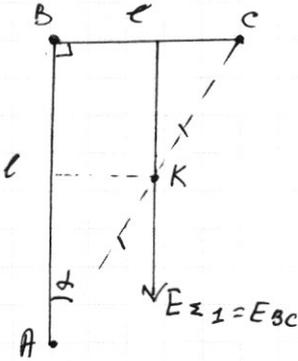


черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 3



Две перпендикулярные плоскости заряда
 $BC = \delta$

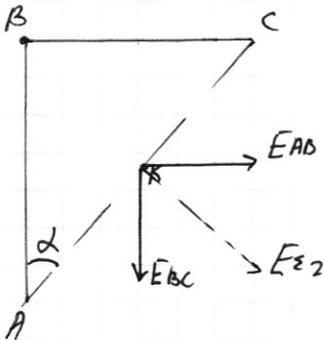
$$AB = BC = l$$

Начальный случай, когда заряжены только

BC:

$$E_{z1} = E_{BC} = \frac{\delta}{2\epsilon_0}$$

Второй, когда вложили вторую плоскость:



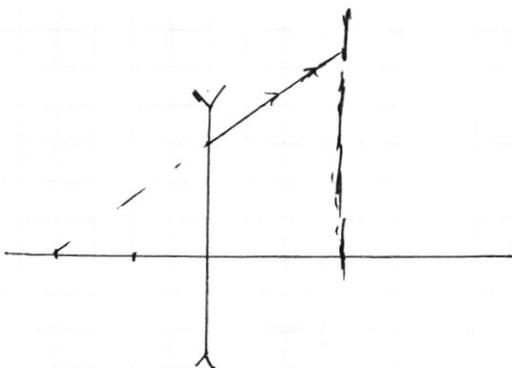
$$\vec{E}_{z2} = \vec{E}_{AB} + \vec{E}_{BC}$$

$$E_{AB} = \frac{\delta}{2\epsilon_0}; \quad E_{BC} = \frac{\delta}{2\epsilon_0}$$

$$E_{z2} = \sqrt{E_{BC}^2 + E_{AB}^2} = \sqrt{\frac{\delta^2}{4\epsilon_0^2} + \frac{\delta^2}{4\epsilon_0^2}} = \sqrt{\frac{\delta^2}{2\epsilon_0^2}} =$$

$$= \frac{\delta}{\epsilon_0 \sqrt{2}}$$

$$n = \frac{E_{z2}}{E_{z1}} = \frac{\frac{\delta}{\epsilon_0 \sqrt{2}}}{\frac{\delta}{2\epsilon_0}} = \frac{2}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} \approx 1.4$$



$$\frac{3}{5} \cdot \frac{3}{2} \cdot 231 \cdot 40 =$$

$$= 36831$$

$$1 = 360$$

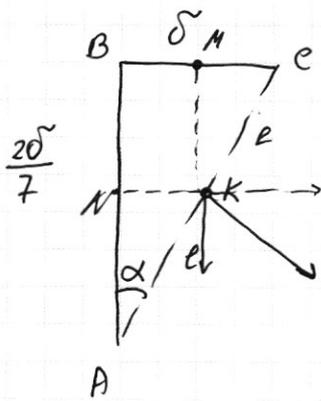
$$+ 831$$

$$36$$

$$4986$$

$$2493$$

$$\hline 29916$$



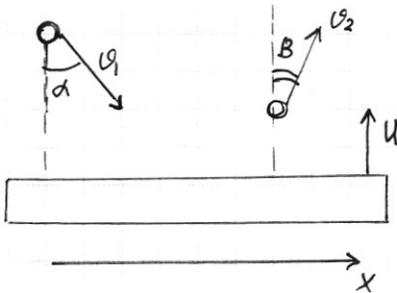
$$MK = \frac{l \cdot \cos \alpha}{g}$$

$$NK = \frac{l \cdot \sin \alpha}{g}$$

~~002~~

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 1



Плита массивная \Rightarrow мы имеем
дело с параболкой большого тела.

По горизонтали при ударе на шарик
не действует никаких сил (форма гладкая,
сила трения не действует) \Rightarrow по горизонтали
не будет изменения импульса.

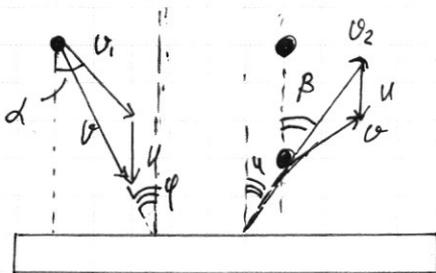
$$\Rightarrow v_{1x} = v_{2x}$$

$$\left. \begin{aligned} v_{1x} &= v_1 \sin \alpha \\ v_{2x} &= v_2 \sin \beta \end{aligned} \right\} \Rightarrow v_1 \sin \alpha = v_2 \sin \beta$$

$$\Rightarrow \left(v_2 = \frac{v_1 \sin \alpha}{\sin \beta}; v_2 = \frac{18 \cdot \frac{2}{3}}{\frac{3}{5}} = \frac{18 \cdot 2 \cdot 5}{3 \cdot 3} = 20 \text{ (м/с)} \right)$$

Также из-за того, что плита массивная, уменьшаем ее импульса
при ударе все плита можно пренебречь.

Перейдем в СО плиты:



В СО плиты угол падения

$$v_0 \cos \varphi = v_1 \cos \alpha + u$$

$$v_2 \cos \beta = u + v_0 \cos \varphi$$

Вд.

$$v_0 \cos \varphi = v_1 \cos \alpha + u$$

$$v_2 \cos \beta$$

$$\cos \beta = \frac{1}{5}$$

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

$p_{1x} = p_{2x}$
 $p_1 \sin \alpha = p_2 \sin \beta$

$$P_1 V_1 = 2RT_1 \quad P_1^* \frac{9V}{8} = 2RT_0$$

$$P_1 V_2 = 2RT_2$$

$$P_1 \cdot 4V = 2RT_1$$

$$P_1 \cdot 5V = 2RT_2$$

$$P_1^* \cdot 4.5V = 2RT_0$$

$$Q_{\text{app}} = \Delta U_{\text{app}} = \frac{3}{2} 2R(T_0 - T_2)$$

$$Q_{\text{app}} = \Delta U_{\text{app}} = \frac{3}{2} 2R(T_0 - T_1)$$

$$P_1 \cdot 9V = 2R(T_1 + T_2)$$

$$P_1^* \cdot 9V = 2RT_0$$

$$Q_{\text{конт}} = -A + \frac{3}{2} 2R(T_0 - T_2)$$

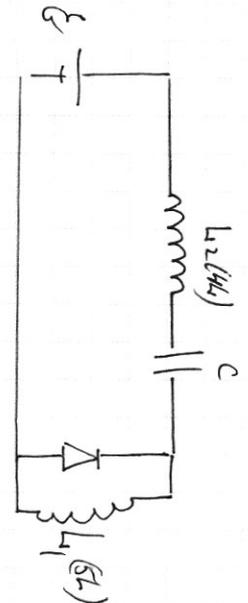
$$Q_{\text{app}} = A - \frac{3}{2} 2R(T_0 - T_1)$$

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

$$= \frac{3}{2} 2R \cdot 40$$

$$\begin{array}{r} \times 2 \quad \times 36 \quad \times 831 \\ \hline 4986 \\ 2493 \\ \hline 9916 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 831 \\ \times 36 \\ \hline 4986 \\ 2493 \\ \hline 29916 \end{array}$$



$$\begin{aligned} U_{\text{конт}} &= U_{\text{конт}} - U \\ U_{\text{конт}} &= U + U_{\text{конт}} \\ U_{\text{конт}} &= U_{\text{конт}} + U \end{aligned}$$