

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

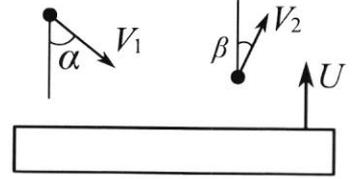
Класс 11

Вариант 11-04

Шифр

(заполняется секретарем)

1. 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.

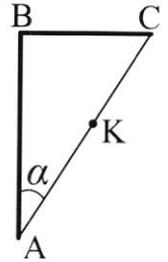


1) Найти скорость V_2 .
 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
 Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

2. 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).

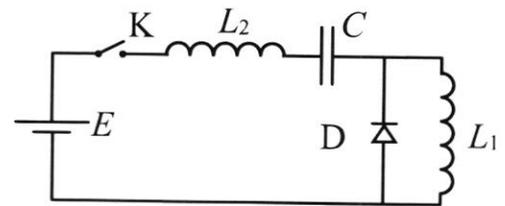
- 1) Найти отношение начальных объемов аргона и криптона.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал криптон аргону?

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.



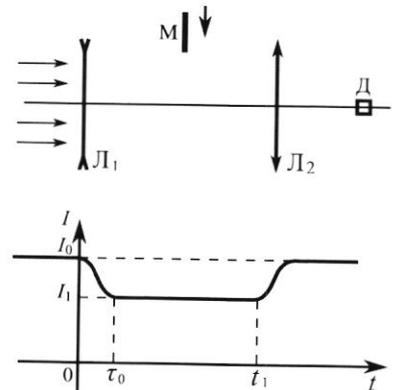
1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно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

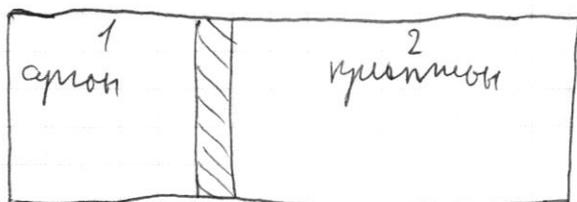
5. Оптическая система состоит из двух соосных тонких линз L_1 и L_2 (см. рис.) с фокусными расстояниями $-2F_0$ и F_0 , соответственно. Расстояние между линзами $2F_0$. Диаметры линз одинаковы и равны D , причем D значительно меньше F_0 . На линзу L_1 падает параллельно оси системы пучок света с одинаковой интенсивностью в сечении пучка. Прошедший через обе линзы свет фокусируется на фотодетекторе D , на выходе которого сила тока пропорциональна мощности падающего на него света. Круглая непрозрачная мишень M , 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 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№2



$$V = \frac{3}{5} \text{ моль}$$

$$T_1 = 320 \text{ К}$$

$$T_2 = 400 \text{ К}$$

$$C_V = \frac{3}{2} R$$

1) т.к. поршень движется медленно \Rightarrow

в каждый момент давления равны

тогда для аргона $V_a p_0 = \nu R T_1$ (p_0 - нач. давление

для криптона $V_k p_0 = \nu R T_2$ V_a и V_k - объемы

аргона и криптона)

$$\frac{V_a}{V_k} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{320}{400} = \frac{16}{20} = \frac{8}{10} = \frac{4}{5}$$

2) если записать I начало термодинамики для газов

$$\text{аргон} : Q_a = A_a + C_V \nu (T_k - T_1) \quad (T_k - \text{конечная температура})$$

$$\text{криптон} : Q_k = A_k + C_V \nu (T_k - T_2)$$

но т.к. сосуд термодинамически $\Rightarrow Q_k = -Q_a$

и т.к. в два окна сосуд через поршень $\Rightarrow A_k = -A_a$

$$C_V \nu (2T_k - T_1 - T_2) = 0$$

$$T_k = \frac{T_1 + T_2}{2} = 360 \text{ К}$$

3) процесс будет изобарный. при этом $V_a = 4x$; $V_k = 5x$

т.к. кол-во в-ва и температуры в конце одинаковы \Rightarrow и объемы будут одинаковые

V_x - конечный объем

$$V_x = 4,5x$$

$$A_a = p_0 (V_x - V_a) = p_0 \cdot 0,5x$$

$$V_a p_0 = \nu R T_1$$

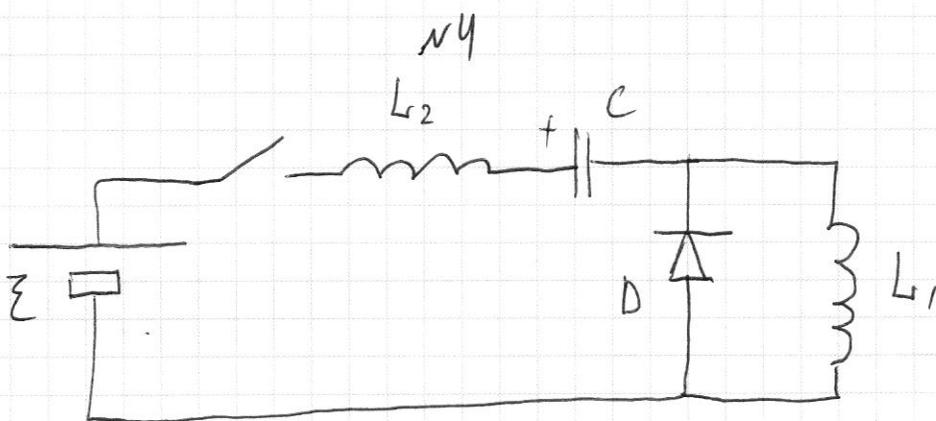
$$4x p_0 = \nu R T_1 \Rightarrow A_a = \frac{\nu R T_1}{8}$$

$$Q_a = A_a + c_v \nu (T_k - T_1)$$

$$Q_a = \frac{\nu R T_1}{8} + \frac{3}{2} R \nu (T_k - T_1) = \frac{3 \cdot 8,31}{5 \cdot 8} \cdot 320 + \frac{3 \cdot 8,31 \cdot 3}{2 \cdot 5} \cdot 40 =$$

$$= \frac{3}{5} \cdot 8,31 \left(320 + 40 \cdot \frac{3}{2} \right) = \frac{3 \cdot 8,31}{5} \cdot 380 \approx 1892,4 \text{ Дж}$$

Ответ: 1) $\frac{4}{5}$; 2) 360к; 3) 1892,4 Дж



Σ
 $L_1 = 5L$
 $L_2 = 4L$
 C

сначала будет колебания без диода, но если кон будет с одной катушкой $L' = L_1 + L_2 = 9L$ поле того кон ток изменит направление, ток через L_1 меняться не может, т.к. через диод течет ток, но на нем нет падения напряжения \Rightarrow ток в L_1 будет равен нулю.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

первая катушка - колебательный контур с частотой $\omega_1 = \sqrt{\frac{1}{C(L_1+L_2)}}$
 $= \sqrt{\frac{1}{9LC}} = \frac{1}{3} \frac{1}{\sqrt{LC}}$

вторая катушка - контур с частотой $\omega_2 = \sqrt{\frac{1}{4C_2}} = \sqrt{\frac{1}{4C}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{C}}$

$q_1(0) = 0$ $\dot{q}_1(0) = 0$ $\dot{q}_1 = i_1$

$$\Sigma - \frac{q_1}{C} - L_2 \frac{di_1}{dt} - L_1 \frac{di_1}{dt} = 0$$

$$\ddot{q}_1 + \frac{1}{(L_1+L_2)C} q_1 = \frac{\Sigma}{L_1+L_2}$$

$q_1 = A_1 \cos(\omega_1 t) + \Sigma \cdot C \Rightarrow A_1 = -\Sigma C \cdot \frac{\Sigma \sqrt{C}}{3L}$

$\dot{q}_1 = -A_1 \omega_1 \sin(\omega_1 t) \Rightarrow I^{(1)} = \Sigma \sqrt{\frac{C}{9L}} = I_{01}$ - ток максимален
 через L_1 т.к. во второй катушке через L_1 ток не течет

при переключении на вторую катушку $\dot{q}(0) = 0; q(0) = 2\Sigma C$

$\frac{q_2}{C} - L_2 \frac{di_2}{dt} - \Sigma = 0$ $\dot{q}_2 = -i_2$

$$\ddot{q}_2 + \frac{1}{CL_2} q_2 = \frac{\Sigma}{L_2}$$

$q_2 = A_2 \cos(\omega_2 t) + \Sigma C \Rightarrow A_2 = \Sigma C$

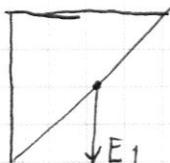
$\dot{q}_2 = -A_2 \omega_2 \sin(\omega_2 t) \Rightarrow I^{(2)} = \Sigma \sqrt{\frac{C}{4L}} = \frac{\Sigma}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} = I_{02}$

$T = \frac{T}{\omega_1} + \frac{T}{\omega_2} = \frac{T}{\sqrt{LC}} \cdot \frac{5}{6}$

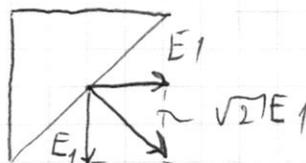
Ответ: 1) $T = \frac{T}{\sqrt{LC}} \cdot \frac{5}{6}$; 2) $I_{01} = \frac{\Sigma}{3} \sqrt{\frac{C}{L}}$; 3) $I_{02} = \frac{\Sigma}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$

№3

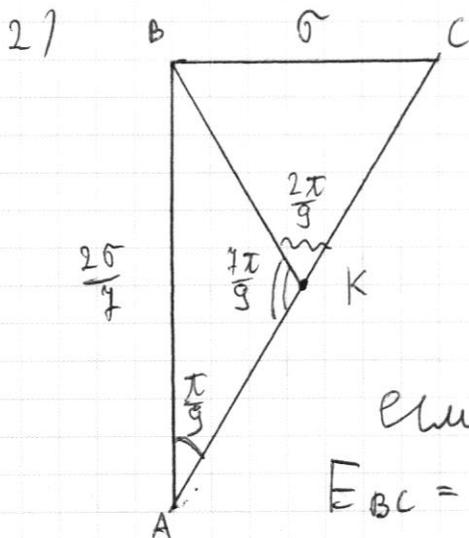
1) т.к. $\angle = \frac{\pi}{4} \Rightarrow AB = BC \Rightarrow$ в точке К они создают одинаковые E_1
 тогда когда только BC



BC и AB



\Rightarrow в $\sqrt{2}$ раз ($E_1 \perp$ соответствующей стороне в силу симметрии)



разделим BC на гориз. стержни, каждый из них будет под углом $\frac{2\pi}{9} \Rightarrow \Delta E = \frac{2\pi}{9} \cdot \frac{\sigma}{4\pi\epsilon_0}$ от каждого из стержней и теперь

еще проинтегрируем по стержням

$$E_{BC} = \left(\frac{2\pi}{9} \cdot \frac{\sigma}{4\pi\epsilon_0} \right) \cdot 2 = \frac{2\pi}{9} \cdot \frac{\sigma}{2\pi\epsilon_0}$$

т.к.

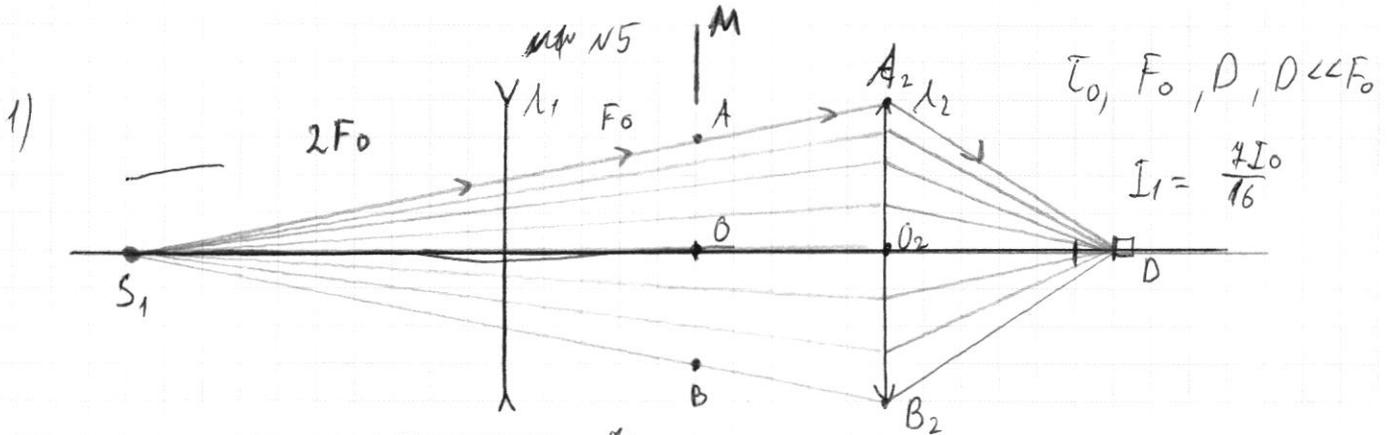
$$E_{AB} = \frac{7\pi}{9} \cdot \frac{\sigma \cdot 2}{4} \cdot \frac{1}{2\pi\epsilon_0} = \frac{\sigma}{9\epsilon_0}$$

$$E_{BC} = \frac{2\pi}{9} \cdot \frac{\sigma}{2\pi\epsilon_0} = \frac{\sigma}{9\epsilon_0}$$

$$E_{\Sigma} = \sqrt{2} \cdot \frac{\sigma}{9\epsilon_0}$$

Ответ: 1) в $\sqrt{2}$ раз; 2) $E_{\Sigma} = \frac{\sqrt{2} \sigma \sqrt{2}}{9\epsilon_0}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



|| лучи $\Rightarrow a = \infty$ чл
гд L_1

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_1'} = -\frac{1}{2F_0} \Rightarrow \frac{1}{a_1'} = -\frac{1}{2F_0} \Rightarrow \text{левая } L_1 \text{ на } 2F_0$$

$$\Rightarrow a_2 = 2F_0 + 2F_0 = 4F_0$$

$$\frac{1}{4F_0} + \frac{1}{a_2'} = \frac{1}{F_0} \Rightarrow \frac{1}{a_2'} = \frac{3}{4F_0} \Rightarrow a_2' = \frac{4}{3}F_0$$

2) м.к. $I_1 = \frac{9I_0}{16} \Rightarrow$ из-за M теряется $\frac{9I_0}{16}$ м.к. свет

~~с одинаковой интенсивностью в сечении~~

только параллельные лучи попадают в D

$$AB \approx \frac{AO}{A_2O_2} = \frac{S_1O}{S_1O_2} = \frac{3F_0}{4F_0} \Rightarrow AO = \frac{3}{4} A_2O_2 \Rightarrow AB = \frac{3}{4} A_2B_2 =$$

$= \frac{3}{4} D \Rightarrow M$ закрывает $\frac{9}{16} AB$ (м.к. свет с одинаковой интенсивностью в сечении) \Rightarrow раз $M - L = \frac{9}{16} \cdot \frac{3}{4}$

$$D = \frac{27}{64} D \Rightarrow V = \frac{27}{64} D / \tau_0 = \frac{27D}{64\tau_0}$$

t_1 - время между выстрелами между точками A и B \Rightarrow
 расстояние между точками M пройден путь $(AB - L) =$
 $= \left(\frac{3}{4} - \frac{27}{64} \right) D = \frac{48 - 27}{64} D = \frac{21}{64} D \Rightarrow t_1 = \frac{AB - L}{V} = \frac{21 D}{64} \cdot \frac{64 T_0}{27 D} =$
 $= \boxed{\frac{21}{27} T_0}$

Ответ: 1) $\frac{4}{3} F_0$; 2) $\frac{27}{64} \frac{D}{T_0}$; 3) $\frac{21}{27} T_0 = \frac{7}{9} T_0$

н1

1) м.к. линия гладкая $\Rightarrow F_{\text{уп}} = 0 \Rightarrow$ ~~м.к.~~ движение по дугам сохранится $\Rightarrow m V_1 \sin \alpha = m V_2 \sin \beta$

$$V_2 = V_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{18 \cdot 2 - 5}{3 \cdot 3} = \boxed{20 \text{ м/с}}$$

2) $U_{\text{max}} = V_2 \cos \beta$ (моче произойдет бы еще один удар)

$$V_2 \cdot \frac{4}{5} = 16 \text{ м/с}$$

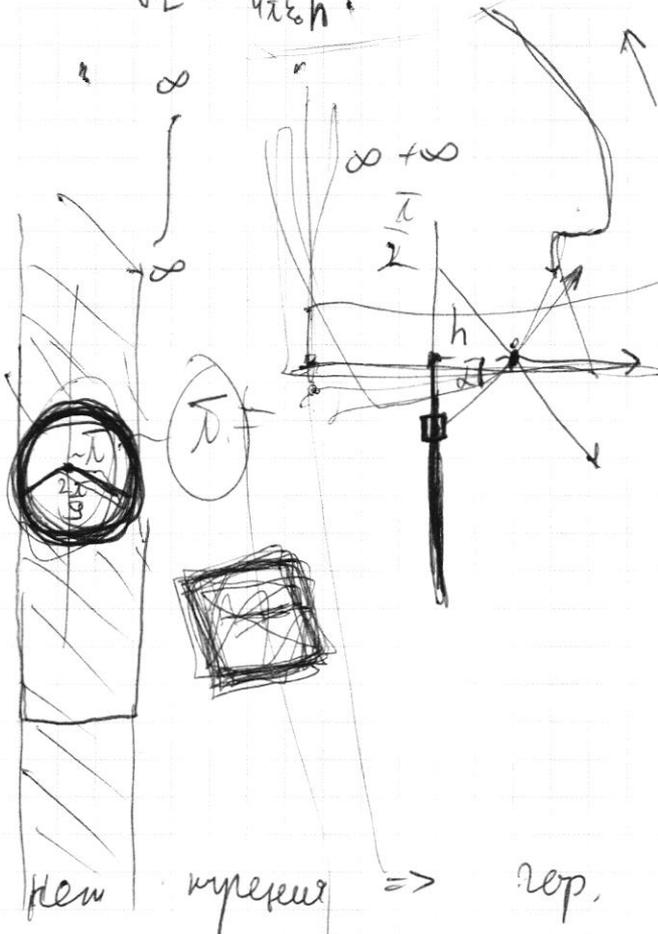
$$V_1 \cos \alpha = 18 \cdot \frac{\sqrt{5}}{3} = 6\sqrt{5} \text{ м/с}$$

~~когда удар упругий, но~~
 если бы удар был упругим, то $V_2 \cos \beta = V_1 \cos \alpha +$
 $+ 2U^* \Rightarrow U^* = \frac{16 - 6\sqrt{5}}{2} = 8 - 3\sqrt{5} \Rightarrow$ ~~но~~ $U^* = U_{\text{min}}$

м.к. при неупругом ударе меньше ~~большая~~ кинетическая энергия.

Ответ: 1) 20 м/с; 2) $8 - 3\sqrt{5} \text{ м/с} < U < 16 \text{ м/с}$

$$dE = \frac{2\sigma}{4\pi\epsilon_0 h} \sin\varphi_1 \cdot dP$$



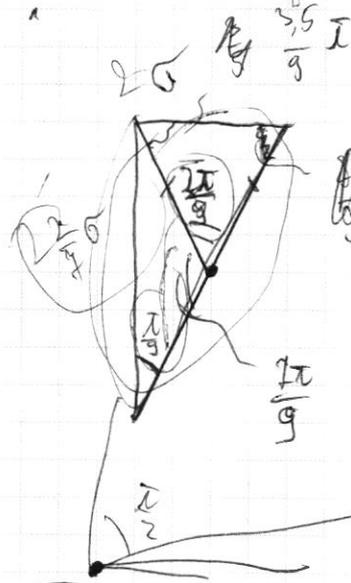
$$\frac{dL h}{\cos^2 L}$$

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

$$\frac{mV_2}{\sin\alpha} = \frac{mV_1}{\sin\beta} \Rightarrow$$

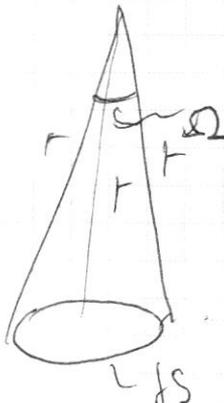
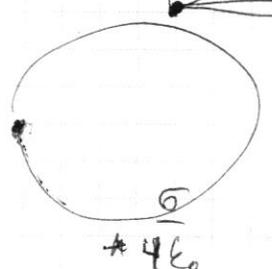
$$V_2 = V_1 \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$$

Несм. кручение \Rightarrow пер. состояние не меняется

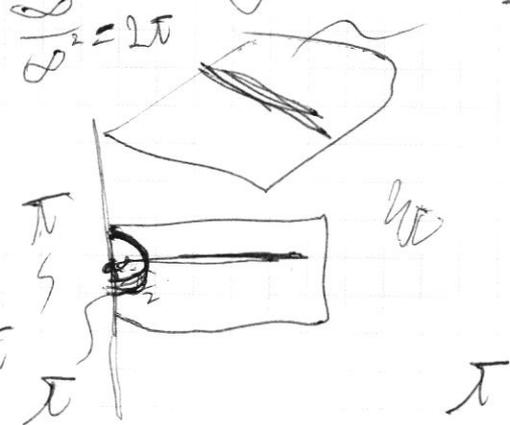


$$\frac{\sigma}{\Sigma} = \frac{4.5}{g} \pi$$

$$dE = \Omega \frac{\sigma}{4\pi\epsilon_0} = \Omega \frac{\sigma}{4\pi\epsilon_0}$$



$$dE = \frac{\sigma dS}{4\pi\epsilon_0 r^2} \parallel \Omega$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\begin{array}{r} 380 \overline{) 5} \\ 35 \\ \hline 30 \\ 48 \\ \underline{27} \\ 21 \end{array}$$

$$\frac{48}{21}$$

$$\begin{array}{r} 1 \\ \times 76 \\ \hline 228 \\ 226 \\ \hline \times 228 \\ 83 \\ \hline 684 \\ \hline 1824 \\ \hline 1892,4 \end{array}$$

$$\frac{\pi}{9} = 20^\circ \quad \int E = \frac{\sigma dl}{4\pi\epsilon_0 h} \cdot \int \cos\varphi$$

$$\frac{4,5}{9} \pi = 90^\circ$$

$$\int E = \frac{\sigma dl}{4\pi\epsilon_0 h} \cdot (\sin\varphi_1 - \sin(-\varphi_1)) =$$

$$\frac{3}{9} \pi = 60^\circ$$

$$= \frac{2\sigma dl}{4\pi\epsilon_0 h} \cdot \sin\varphi_1$$

$$\frac{1,5}{9} \pi = 30^\circ$$

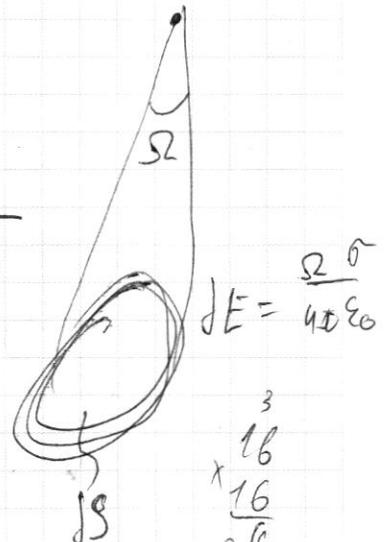
$$\frac{2}{3} - \frac{3}{5} = \frac{10}{15} - \frac{9}{15} = \frac{1}{15}$$

$$\begin{array}{r} 1 \\ \times 16 \\ \hline 48 \end{array}$$

$$\frac{4}{9}$$

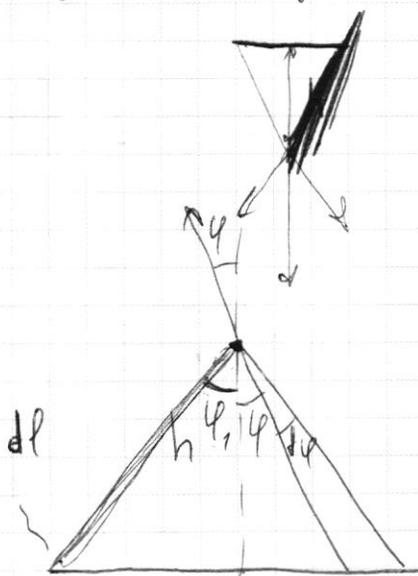
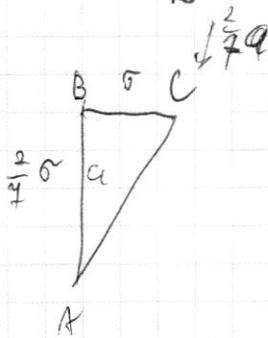
$$\frac{3,5}{9} \pi$$

$$\int E = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0}$$



$$\int E = \frac{\sigma S}{4\pi\epsilon_0 h}$$

$$\begin{array}{r} 3 \\ \times 16 \\ \hline 96 \\ 16 \\ \hline 256 \end{array}$$



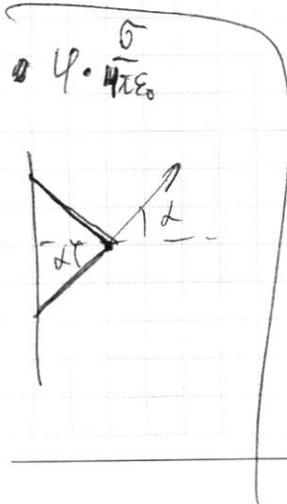
$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{x}{h}$$

$$\frac{1}{\cos^2\varphi} = \frac{dx}{\int x \cdot h}$$

$$dx = \frac{h d\varphi}{\cos^2\varphi}$$

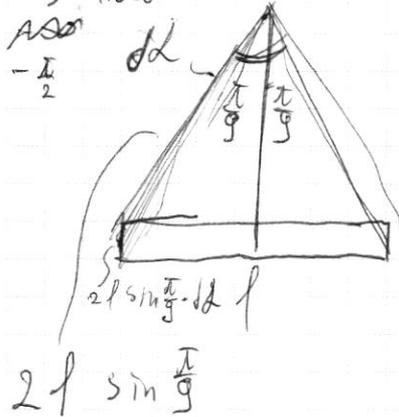
$$\int E = \frac{\sigma dx \cdot dl}{4\pi\epsilon_0 \cdot \frac{h^2}{\cos^2\varphi}} \cdot \cos\varphi$$

$$= \frac{\sigma h d\varphi h \cdot \cos^2\varphi \cdot \cos\varphi}{\cos^2\varphi \cdot 4\pi\epsilon_0 h^2}$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{q\sigma}{4\pi\epsilon_0} \cdot \cos\alpha \, d\alpha = \frac{q\sigma}{4\pi\epsilon_0} (1 + 1) = \frac{q\sigma}{2\pi\epsilon_0}$$



$$\Omega = \frac{S}{r^2} = \frac{2l^2 \sin^2 \frac{\pi}{9} \cdot d\alpha}{2 \cdot 4l^2 \sin^2 \frac{\pi}{9}} = \frac{d\alpha}{2 \sin^2 \frac{\pi}{9}}$$

$$\frac{mU^2}{2} + \frac{mV_1^2}{2} = \frac{mU^2}{2} + \frac{mV_2^2}{2} + Q \sin \frac{2\pi}{9} \cdot d\alpha$$

$$\frac{mV_1^2}{2} = \frac{mV_2^2}{2} + Q$$

$$\frac{2Q}{m} = V_1^2 - V_2^2$$

$$mV_1 \cos\alpha + mU = mV_2' \cos\alpha$$

$$\begin{array}{r} 228 \\ \times 83 \\ \hline 684 \\ 1824 \\ \hline 18924 \end{array}$$

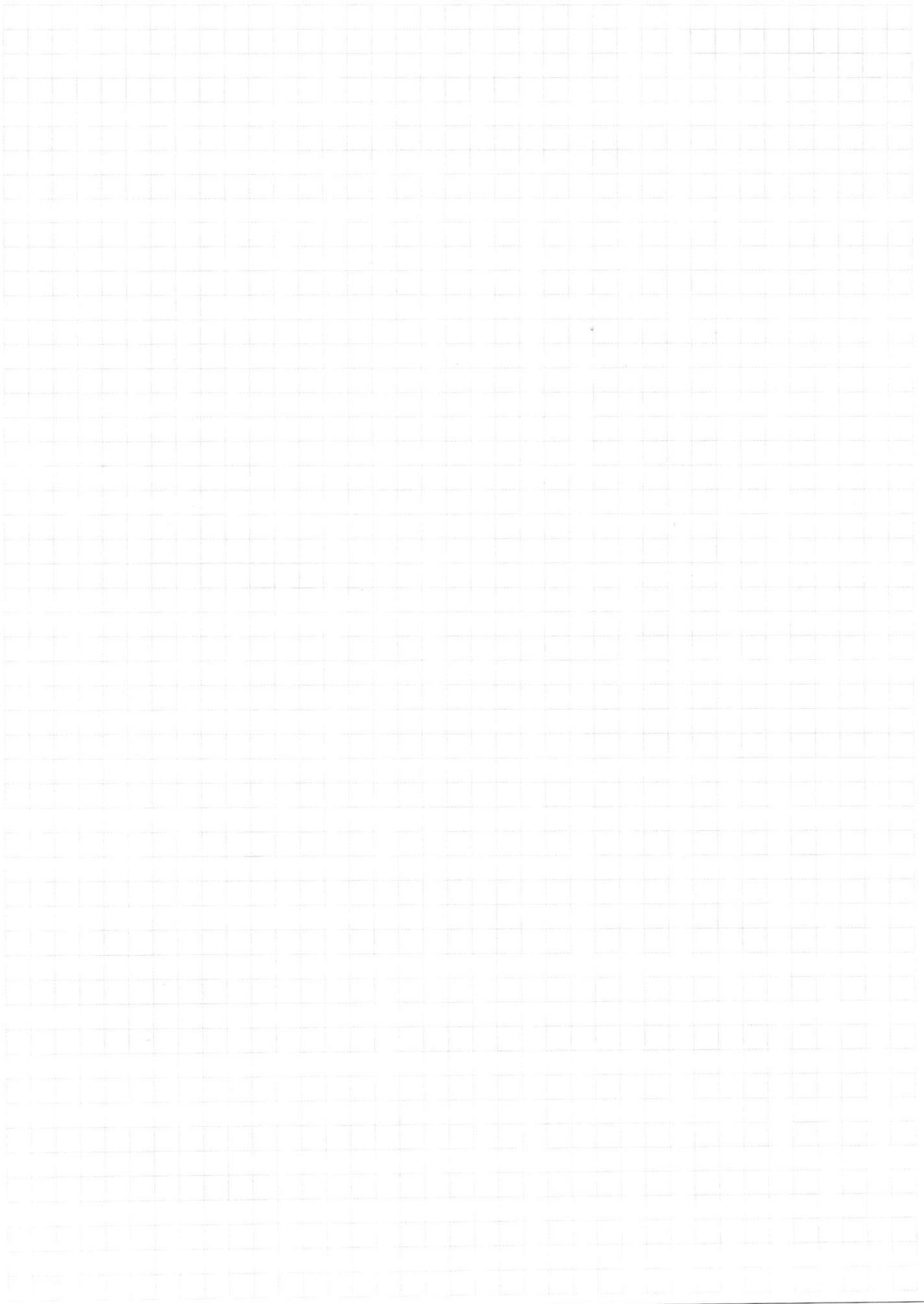
$$\frac{16 - 6\sqrt{5}}{2} = 8 - 3\sqrt{5}$$

$$8 > 3\sqrt{5}$$

$$64 > 45$$

$$\begin{array}{r} 380 \overline{) 5} \\ 35 \\ \hline 30 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1 \\ 46 \\ \times 3 \\ \hline 228 \end{array}$$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)