

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

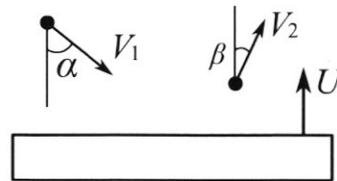
Класс 11

Вариант 11-02

Шифр

(заполняется секретарем)

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.

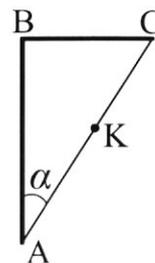


- 1) Найти скорость V_2 .
 - 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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).

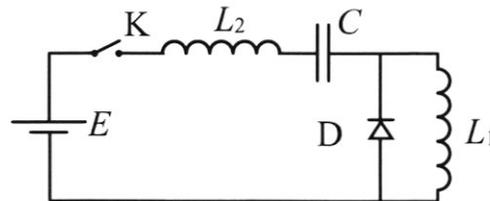
- 1) Найти отношение начальных объемов гелия и неона.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал неон гелию?

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.



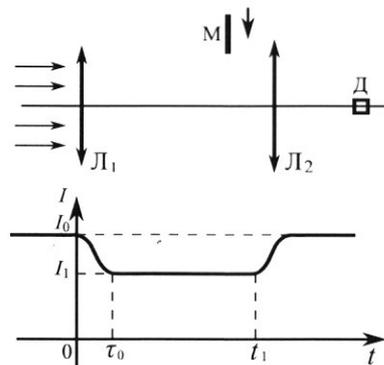
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно 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 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 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 D , на выходе которого сила 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 $5F_0/4$ 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

Или дано: $D = \frac{6}{25} \text{ ммоль}$
 $T_1 = 330 \text{ К}$
 $T_2 = 440 \text{ К}$
 $A = 0,31 \text{ Дж}$
 1) $V_{\text{кон}}$ - ?
 2) T - ?
 3) $A_{\text{мк}}$ - ?

Решение:

$V_{\text{кон}}$	$V_{\text{кон}}$
He p p	Ne
T_1	T_2

He	p p	Ne
T		T

1) Пусть неизменно объем, замкнутой системы $V_{\text{кон}}$, объем замкнутой системы $V_{\text{кон}} \Rightarrow$ так как процесс изотермический, то он н-е в равновесии $\Rightarrow p_{\text{He}} = p_{\text{Ne}} = p$ в любой момент времени \Rightarrow замкнем уравнение состояния газа для He: $p V_{\text{кон}} = \nu R T_1$ $V_{\text{кон}} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{3}{4}$
 для Ne: $p V_{\text{кон}} = \nu R T_2 \Rightarrow V_{\text{кон}} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{4}{3}$

Пусть V - объем сосуда $\Rightarrow V_{\text{кон}} = \frac{3}{4} V$; $V_{\text{кон}} = \frac{4}{3} V$.

2) В равновесии все-таки $p_{\text{He}} = p_{\text{Ne}} = p$
 $T = \text{const} \Rightarrow V_{\text{He}} = V_{\text{Ne}} = V \Rightarrow$ ищем:
 $p \cdot \frac{V}{2} = \nu R T$
 $p \cdot \frac{3}{4} V = \nu R T_1$
 $\Rightarrow \frac{T}{T_1} = \frac{V \cdot 4}{2 \cdot 3V} \Rightarrow T = \frac{4}{6} T_1 = \frac{330 \cdot 2}{3} = 385 \text{ К}$

3) Газ охладился от 440 К до 385 К \Rightarrow изм-е вo внутр энергии $|Q_{\text{мк}}| = \left| \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_1) \right|$, так как перем совершили работу, т.к. $\frac{V}{2} < \frac{4}{3} V \Rightarrow$
 $|A| = \left| \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_1) \right| \Rightarrow |Q_{\text{мк}}| = \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_1)$, а

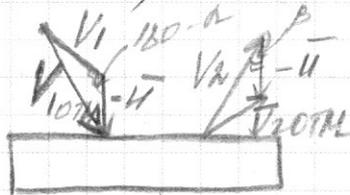
так как система теплоизолирована, то $Q_{\text{мк}} = -Q_{\text{мв}}$, т.е. тепло передано все равно, верно \Rightarrow
 $|Q_{\text{мк}}| = |Q_{\text{мв}}| = \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \left[\frac{5}{2} \cdot \frac{6}{25} \cdot 2,31 \cdot (440 - 385) \right] \text{ Дж}$
 $= \frac{8,31 \cdot 3 \cdot 5}{2} = 8,31 \cdot 33 = 274,23 \text{ Дж}$

Отв. 1) 3:4 ; 2) 385 К; 3) 244,73 Дж.

№ 1 1) Так как при взаимодействии шарика и плиты при ударе по горизонтальной оси шарик не деформируется, то горизонтальная составляющая скорости шарика не изменится \rightarrow

$$V_1 \sin \alpha = V_2 \sin \beta \Rightarrow V_2 = V_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 6 \text{ м/с} \cdot \frac{2 \cdot \frac{1}{3}}{\frac{1}{3}} = 12 \text{ м/с} \Rightarrow V_2 = 12 \text{ м/с}$$

2) Перейдем в СО - движущуюся с ней вместе, тогда \vec{u} эта система отсчета ива инерциальной и рассмотрим удар шарика, движ. в СО относительно \vec{V} и в неподвиж. СО плиту.



~~после удара плита движется и~~

Т.к. плита невесомая и в ней движется с u -осью \rightarrow вычисл. энергии отлета шарика отлетит неподвижной после соударения \rightarrow

по 3-му закону сохранения энергии:

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

$$V_1^2 + u^2 - 2V_1 u \cos(180^\circ - \alpha) = V_2^2 + u^2 - 2V_2 u \cos \beta$$

$$2u(V_1 \cos \alpha + V_2 \cos \beta) = V_2^2 - V_1^2$$

$$u = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2(V_1 \cos \alpha + V_2 \cos \beta)} = \frac{(12 - 6)(12/6)}{2(12 \cdot \frac{1}{3} + 6 \cdot \frac{2}{3})} = \frac{6 \cdot 2}{2(4 + 4)} = \frac{6}{4} = 1.5 \text{ м/с}$$

$$u = \frac{3 \cdot 12}{2(4\sqrt{5} + 4\sqrt{2})} = \frac{3 \cdot 3}{2(\sqrt{5} + \sqrt{2})} = \frac{9}{2(\sqrt{5} + \sqrt{2})} = \frac{9(\sqrt{5} - \sqrt{2})}{2 \cdot 3} = \frac{3(\sqrt{5} - \sqrt{2})}{2} \text{ м/с}$$

Отв. 1) 12 м/с

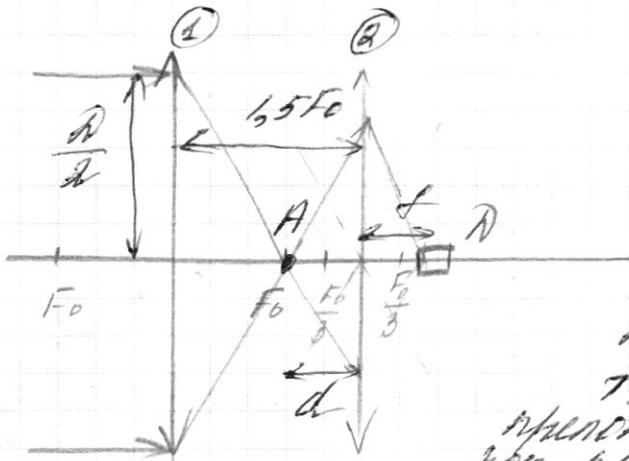
2) $\frac{3(\sqrt{5} - \sqrt{2})}{2}$ м/с

№ 5. Дано: F_0, D, T_0

$$M_1 = \frac{2}{3} T_0$$

Найти: 1) f - ?
2) V - ?
3) δ - ?

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



1) Т.к. линза собирающая, то при перемещении $11-20'$ сдвигаемого объектива лучи, идя от предмета в O линзы, будут собираться в фокусе (на F_0 от первой линзы)

Валер лучи параллельны т.А, в кот. собир. лучи, почти едина, от первой линзы, как предмет (между F_0 и F_0 линзы) \Rightarrow

$$d = 1,5F_0 - F_0 = 0,5F_0$$

f - F_0 от 12 до фотодетектора \Rightarrow

$$\frac{1}{0,5F_0} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F_0}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{F_0} - \frac{1}{F_0} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{F_0} \Rightarrow f = F_0$$

2) При перемещении мишеней интенсивность света уменьшается, т.к. мишень не прозрачна и закрывает часть лучей

Т.к. $U \perp P \perp N \perp S$, где N - нормаль к поверхности линзы на фотодетектор, S - F_0 , кот. замыкает ширину лучей в объективе.

Т.к. $F_0 = R$ (диаметр), то если размер мишеней d , то $N = R - d$

Причем, по закону Брэгга, что так увеличивается в толщину вращается F_0 , а потом перестанет \Rightarrow пластина перпендикулярно волна в зону света, тогда $d = \lambda/2$, где λ - широта пластинки \Rightarrow

$$\frac{U_0}{U_1} = \frac{R}{R - \lambda/2} \Rightarrow \frac{9}{8} = \frac{R}{R - \lambda/2} \Rightarrow 9R - 9\lambda/2 = 8R \Rightarrow 9\lambda/2 = R \Rightarrow \lambda = \frac{2R}{9} \text{ мкм}$$

3)

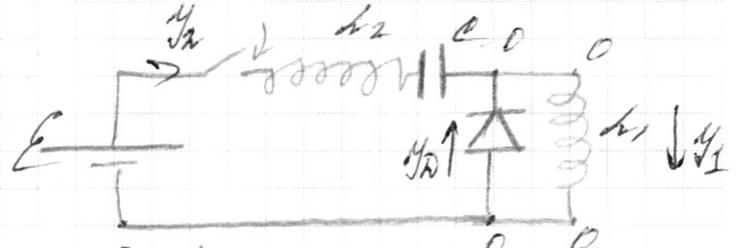
Задача: Вращение и момент прощала в-ме
 Вектор от. световой →

$$f_1 = \frac{D}{V} = \frac{D \cdot 90^\circ}{R} = 90^\circ$$

Ответ: 1) f_0 ; 2) $\frac{D}{90^\circ}$; 3) 90°

№ 4. Дано: $L_1 = 3H$
 $L_2 = 4H$
 $C = E$

- 1) T — ?
- 2) Q_{01} — ?
- 3) Q_{02} — ?



2) Рассчитаем ток →
 на катушке L_2
 на катушке L_1

0) Если глась закрыт, то $U_{L1} = U_{L2} = 0 \Rightarrow$ ток в цепи нет, т.к. индукция не инд. → глась открыт и $U_{L1} = U_{L2} = 0$. т.к. контур открытый по глась в L_2

по 3-му сохр. энергии: $\frac{L_1 I_1^2}{2} + \frac{L_2 I_2^2}{2} + \frac{Q_0^2}{2C} = 0$

→ const →

$$L_1 I_1 \cdot I_1' + L_2 I_2 \cdot I_2' = 0$$

$$\frac{Q_0}{L_2 C} + Q_0' = 0 \Rightarrow$$

3) т.к. $U = \frac{1}{C} Q \Rightarrow$

$$T = 2\pi \sqrt{L_2 C} = \sqrt{2\pi L_2 C} \quad \text{с}$$

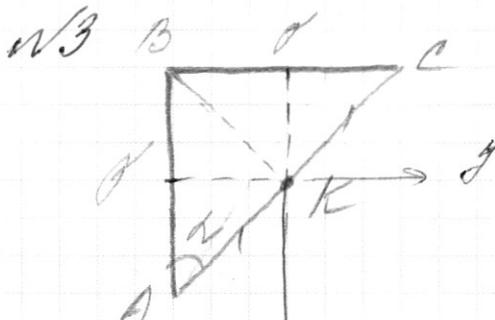
$Q_0 \text{ макс} \Rightarrow C E \Rightarrow$

$$I_{02} = C E \cdot \frac{1}{\sqrt{L_2 C}} = \sqrt{\frac{E^2 C}{L_2}} \quad \text{А}$$

4)

0. вв: 1) $2\pi \sqrt{L_2 C} \quad \text{с}$
 2) $E \sqrt{\frac{C}{L_2}} \quad \text{А}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



1) Электрическое поле в т.к от поверхности AB направлено вдоль оси x , а от поверхности AD вдоль оси y , т.к. они имеют одинаковую площадь, то $|\vec{E}_{AB}| = |\vec{E}_{AD}| \Rightarrow |\vec{E}_1 + \vec{E}_2| = \sqrt{2} |\vec{E}_{AB}| \Rightarrow$

и напря-е в т.к увеличится в $\sqrt{2}$ раз.



и напря-е в т.к увеличится в $\sqrt{2}$ раз.

Выводим что площадь, которую имеет поверхность AB в τ и площадь поверхности AD равны от τ M с AB \Rightarrow $E_1 + E_2 = E$, E направ. вдоль оси x

$$E_K = \sqrt{\left(\frac{q\sigma}{\epsilon_0}\right)^2 + \left(\frac{q\sigma}{\epsilon_0}\right)^2}$$

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

$$|E_1| = |E_2| \Rightarrow k \frac{qQ}{r^2}, E = \sqrt{2} E_1 \cos \alpha$$

$$\cos \alpha = \frac{aM}{\sqrt{2}K} \Rightarrow \frac{a}{\sqrt{2}K}$$

$$E = \sqrt{2} \cdot \int \frac{q}{d^2} \cdot \frac{a}{\sqrt{2}K} dQ$$

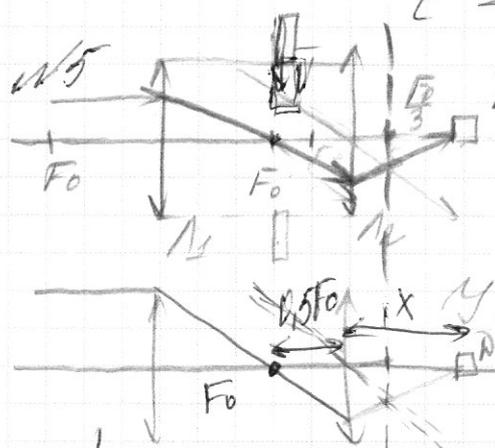
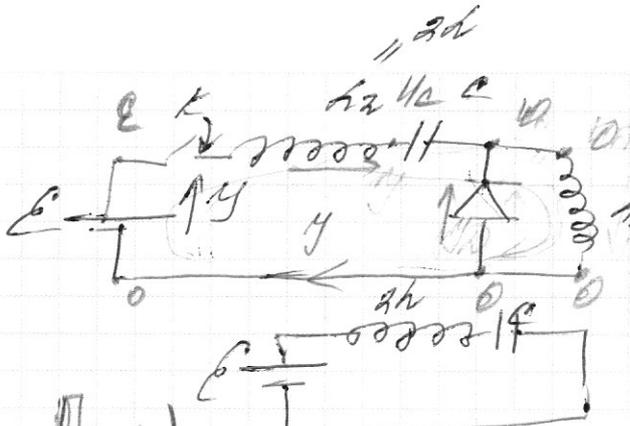
Ответ: 1) $\sqrt{2}$; 2) $\frac{\sqrt{2}q\sigma}{\epsilon_0}$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

W4.



$N = V / (h - F_0)$
НУЖНО V.



$\frac{1.3}{F_0} = \frac{1}{0.5 F_0}$
 $\frac{1}{F_0} - \frac{1}{F_0} = \frac{1}{X}$
 $\frac{1}{F_0} = \frac{1}{X} \Rightarrow X = F_0$

УНР $\Rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{F_0 \cdot 9}{8 F_0} = \frac{9}{8} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{N}{N - V F_0}$
 $\frac{9}{8} = \frac{9 N}{8 N - 8 V F_0} = \frac{N}{N - V F_0}$
 $N = 9 V F_0$
 $V = \frac{N}{9 F_0}$

WS $\frac{V_1^2}{2} + \frac{V_2^2}{2} = \frac{V_A^2}{2} + \frac{V_B^2}{2}$

$V_1 \cos \alpha = V_2 \cos \beta$
 $V_2 = V_1 \cdot \frac{15 \cdot 3}{3 \cdot \sqrt{3}} = V_1 \cdot \frac{15}{\sqrt{3}} = V_1 \cdot \frac{5\sqrt{3}}{1}$
 $V_2 = \frac{5\sqrt{3}}{1} V_1$

$V_A^2 = 10 V_1^2$
 $V_B^2 = V_1^2 = \frac{6 V_1^2}{10} = \frac{3 V_1^2}{5}$
 $V_1 \cos \alpha = V_1 \cdot \frac{\sqrt{5}}{3} + \frac{5 V_1}{4} \cdot \frac{\sqrt{3}}{3}$
 $= V_1 \frac{\sqrt{5}}{3} + \frac{5 V_1 \sqrt{3}}{12}$

$V_{отн}^2 = V^2 + V_1^2 + 2 V V_1 \cos \alpha$
 $= V^2 + V_1^2 - 2 V V_1 \cos \beta$
 $- V_1^2 + V_2^2 = 2 V (V_1 \cos \alpha + V_1 \cos \beta)$
 $U = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2(V_1 \cos \alpha + V_1 \cos \beta)} = \frac{-3 V_1^2}{8 \cdot 4 V_1 \cdot \sqrt{5}}$
 $= \frac{-9 \cdot 3}{8 \cdot 4 \cdot \sqrt{5}} = \frac{-27}{16 \sqrt{5}}$

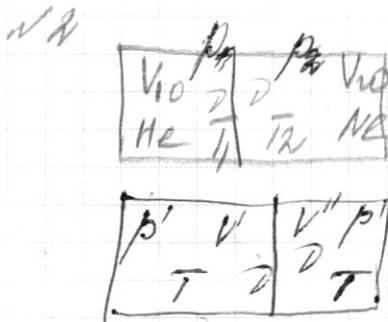
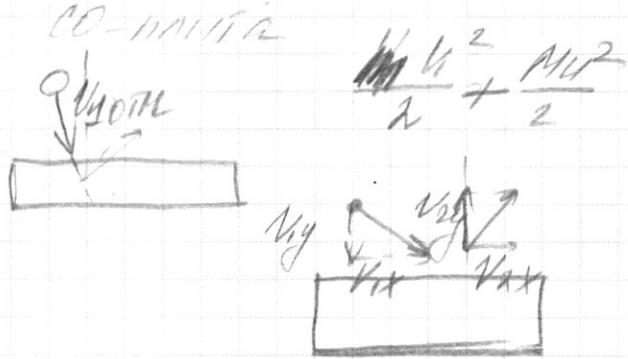
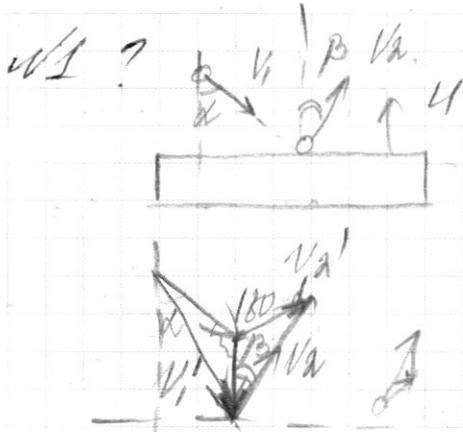
$U_N = h \frac{dy}{dt} = h y'$
 $U_N = h \frac{y^2}{2}$

$C U_N + \frac{h y^2}{2} = const.$
 $2 C U_N \cdot U_N' + h y \cdot y' = 0$

$U_N = \frac{Q}{C}$
 $y = \frac{dq}{dt}$
 $C \cdot \frac{Q}{C} \cdot U_N' + h y \cdot y' = 0$
 $\frac{Q}{C} + 9 y^2 = 0$
 $T = 2 \pi \cdot \sqrt{\frac{C}{9}}$

$N = \frac{D}{9 F_0} (61 - F_0)$
 $9 F_0 = 61 - F_0$
 $10 F_0 = 61$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



① $\rho v_1 = \rho' v_1' = \rho' v_1' \gamma$, $\frac{v_1}{v_2} = \frac{v_1'}{v_2'} = \frac{3}{4}$

② $\rho' v_1' = \rho v_1 = \rho v_1 \gamma$, $v_1' = v_1 \gamma = \frac{v_1}{\sqrt{1-\beta^2}}$

$\rho v_1 = \rho' v_1' \Rightarrow \rho \cdot \frac{3}{4} v_1 = \rho' \cdot \frac{3}{4} v_1 \gamma \Rightarrow \rho = \rho' \gamma$

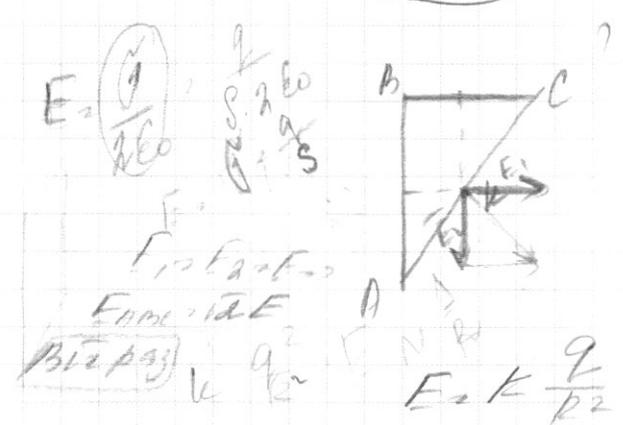
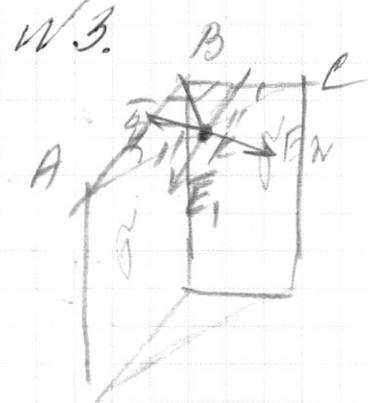
$\frac{3}{4} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{\gamma} \Rightarrow \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{\gamma} \Rightarrow \gamma = \frac{5}{4}$

③ $Q_{HE} = |A + W_{HE}|$
 $Q_{HE} = \left| \frac{3}{2} \rho A (T - T_0) \right| + \rho A (T - T_0) = \frac{5}{2} \rho A \cdot 55$

$T = 385 K$

$\frac{5}{2} \cdot 55 \cdot 8,31 \cdot 43 = 33,8, 31 = 684,23 \text{ Дж}$

8.
 $\begin{matrix} 8,31 \\ + 1,33 \\ \hline 9,64 \\ 22,93 \\ \hline 284,23 \end{matrix}$



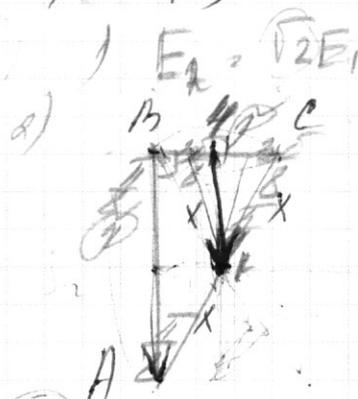
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1) Так как шар неупругий, то вертикальные составляющие скорости не сохр. в отражении, а горизонтальные сохр. \Rightarrow

$$m_1 v_{1x} = v_2 \cos \alpha \Rightarrow v_2 = \frac{v_1 \cos \alpha}{\cos \beta}$$

$$= \frac{v_1 \sqrt{1 - \frac{4}{9}}}{\sqrt{\frac{5}{8}}} = \frac{3 \cdot \frac{15}{8}}{\frac{\sqrt{2}}{2}} = \frac{3\sqrt{10}}{2}$$

переходим в со-матрицу \Rightarrow шар упругий \Rightarrow
 $v_{1y} \rightarrow v_{2y}$ (см (*))



$$\frac{1}{2} - \frac{1}{8} = \frac{35}{8} \quad \text{или} \quad \frac{42}{52}$$

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{BE}{AB} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$f_2 = AB = S \Rightarrow f_1 = S \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\frac{1}{R^3} = -3 \frac{1}{R^2}$$

$$\int \frac{1}{R^2} \frac{dR}{AB}$$

$$\frac{1 - \sqrt{2}}{1 - \cos \frac{\pi}{4}} = \frac{1 - \sqrt{2}}{1 - \frac{\sqrt{2}}{2}}$$

$$\frac{1 - \sqrt{2}}{1 - \frac{\sqrt{2}}{2}} = \frac{1 - \sqrt{2}}{1 - \frac{1}{2}}$$

$$u \leq v_2 \cos \beta$$

$$u \leq \frac{3\sqrt{10}}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

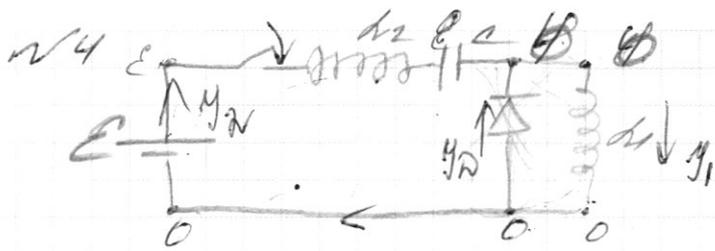
$$v_1^2$$

$$\frac{m u^2}{m}$$

$$\frac{m u^2}{2} + m v_{10m}^2 = m v_{20m}^2$$

$$\frac{m}{m} (u^2)_{1/2} v_{10m}^2 = v_{20m}^2$$

$$v_1^2 = v_2^2 + 2 v_1 u \cos \alpha + 2 u^2 \cos^2 \alpha$$



$$u_2 = 0$$

$$E_1 = -h \frac{dy}{dt}$$

$$y_2 = y_1 - y_0$$

$$u_0 = \frac{q_0}{c}$$

$$E - y_2 = h_1 y_1' + k_1 y_1$$

$$(E - h_2) dy_2 = h_2 y_2' + k_2 y_2$$

$$\textcircled{1} E = h_1 y_1' + k_1 y_1 + h_2 y_2' + k_2 y_2$$

$$0 = q_0' + h_2 y_2''$$

Теперь

$$\textcircled{2} \frac{h_1 h_2 y_1'^2}{2} + \frac{h_1 k_1 y_1^2}{2} + \frac{h_2 k_2 y_2^2}{2} = \text{const}$$

Если не конес то $h_1 h_2 y_1 y_2' + h_1 y_1' y_2 + \frac{q_0}{c} q_0' = 0$
 в $h_1 \Rightarrow$ манн там ррталс 0 и таа const

$$\frac{q_0^2}{2c} + \frac{h_2 y_2^2}{2} = \text{const}$$

$$\frac{q_0}{c} q_0' + h_2 y_2 y_2' = 0$$

$$\frac{q_0}{c h_2} + q_0'' = 0$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{h_2 c}{2k_2}} = 2\pi \sqrt{\frac{h_2 c}{k_2}}$$

$$q = q_0 \sin \omega t + \varphi_0, \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{h_2 c}}$$

$$q_{\max} = q_0 \omega$$

$$q_{\max} = \frac{cE}{\sqrt{h_2 c}}$$

$$q_{\max} = \frac{cE}{\sqrt{h_2 c}} = E \sqrt{\frac{c}{h_2}}$$

$$q = 4D \cdot S_1$$

$$q_{AB} = D \cdot S_2$$

$$\frac{q_{BC}}{q_{AB}} = 4 \cdot \frac{S_1}{S_2}$$

