Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

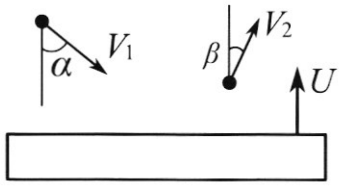
Класс 11

Вариант 11-04

Шифр

(заполняется секретарём)

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 $\alpha\left(\sin\alpha = \dfrac{2}{3}\right)$ к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2, составляющей угол $\beta\left(\sin\beta = \dfrac{3}{5}\right)$ с вертикалью.



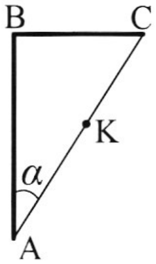
1) Найти скорость V_2.
2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.

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?

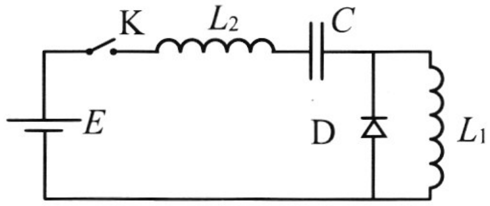
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины AB и BC перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром B. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру B.



1) Пластина BC заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке K на середине отрезка AC, если пластину AB тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?

2) Пластины BC и AB 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 K на середине отрезка AC.

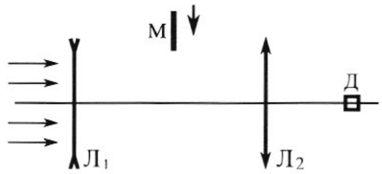
4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС E, катушек с индуктивностями $L_1 = 5L$, $L_2 = 4L$, конденсатора емкостью C, диода D (см. рис.). Ключ K разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в L_2.

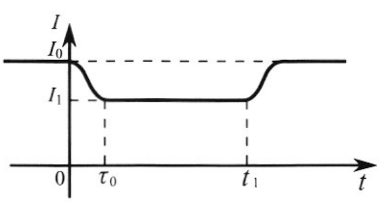


1) Найти период T этих колебаний.
2) Найти максимальный ток I_{01}, текущий через катушку L_1.
3) Найти максимальный ток I_{02}, текущий через катушку L_2.

5. Оптическая система состоит из двух соосных тонких линз Л$_1$ и Л$_2$ (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 Л$_1$ 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 $Л_1$. 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 Л$_2$ и фотодетектором.
2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1.

Известными считать величины F_0, D, τ_0.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано:

$v_1 = 18$ м/с

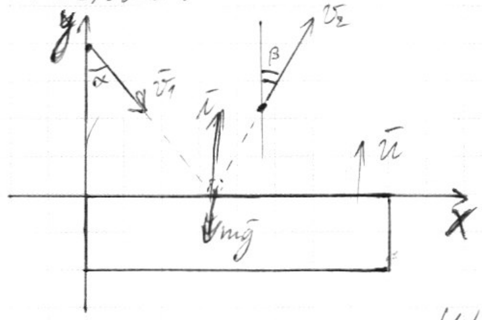
$\sin\alpha = \frac{2}{3}$

$\sin\beta = \frac{3}{5}$

v_2; u - ?

Решение: №1

$\cos\alpha = \frac{\sqrt{5}}{3}$ $\cos\beta = \frac{4}{5}$



m - масса шарика.

Введём координатные оси Ox и OY как показано на рисунке. В момент удара шарика о плиту на него действуют 2 силы: сила тяжести mg и сила реакции опоры со стороны плиты $\bar{N}$. Проекции обеих этих сил на ось OX равны нулю. Тогда в процессе удара импульс шарика вдоль оси OX должен остаться постоянным или $\Delta p_x = 0. \Rightarrow p_{1x} = p_{2x}$

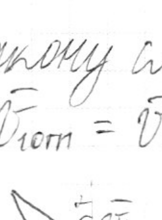
$m v_{1x} = m v_{2x}$

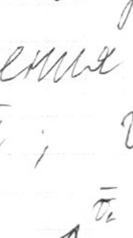
$v_1 \cdot \sin\alpha = v_2 \cdot \sin\beta \Rightarrow v_2 = v_1 \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$

$v_2 = 18 \cdot \frac{2 \cdot 5}{3 \cdot 3} = 20$ м/с

Перейдём в СО плиты. Найдём скорости шарика относительно плиты до удара ($v_{1отн}$) и после удара ($v_{2отн}$). По закону сложения скоростей:

$\bar{v}_{1отн} = \bar{v}_1 - \bar{u}$; $\bar{v}_{2отн} = \bar{v}_2 - \bar{u}$





По теореме косинусов для этих треугольников скоростей:

$v_{1отн}^2 = v_1^2 + u^2 - 2v_1 u \cos(180° - \alpha) = v_1^2 + u^2 + 2v_1 u \cos\alpha$

$v_{2отн}^2 = v_2^2 + u^2 - 2v_2 u \cos\beta$

☐ черновик ☑ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

(Нумеровать только чистовики)

Поскольку удар неупругий, то часть кинетической энергии шарика при ударе должна перейти в тепло, или:

$E_{k1} = E_{k2} + Q \Rightarrow Q = E_{k1} - E_{k2}$

Так как $Q > 0$, то $E_{k1} - E_{k2} > 0$

$$\frac{m v_{1отн}^2}{2} - \frac{m v_{2отн}^2}{2} > 0$$

$$v_{1отн}^2 - v_{2отн}^2 > 0$$

$$v_1^2 + u^2 + 2v_1 u\cos\alpha - v_2^2 - u^2 + 2v_2 u\cos\beta > 0$$

$$v_1^2 - v_2^2 + 2u(v_1\cos\alpha + v_2\cos\beta) > 0$$

$$2u(v_1\cos\alpha + v_2\cos\beta) > v_2^2 - v_1^2$$

$$u > \frac{v_2^2 - v_1^2}{2(v_1\cos\alpha + v_2\cos\beta)}$$

$$u > \frac{20^2 - 18^2}{2\left(18\cdot\frac{\sqrt5}{3} + 20\cdot\frac{4}{5}\right)} = \frac{19}{3\sqrt5 + 8} \text{ м/с}$$

С другой стороны, чтобы шарик отскочил от плиты, а не ~~[illegible]~~ прилип к ней нужно, чтобы скорость плиты u была меньше проекции скорости шарика v_2 на ось OY: $u < v_{2y}$

$$u < v_2\cos\beta = 20\cdot\frac{4}{5} = 16 \text{ м/с}$$

Таким образом, окончательно: $\frac{19}{3\sqrt5+8}$ м/с $< u < 16$ м/с

Ответ: $v_2 = 20$ м/с; $\frac{19}{3\sqrt5+8}$ м/с $< u < 16$ м/с

№2

Дано:

$\nu = \frac{3}{5}$ моль

$T_1 = 320$ K

$T_2 = 400$ K

$\frac{V_1}{V_2}; T_3; Q_1 - ?$

Решение:

Ar; ν; p_0; V_1; T_1	Kr; ν; p_0; V_2; T_2

Так как изначально поршень покоился, то давления газов в начальный момент времени были равны. Пусть начальное давление газов - p_0. Запишем уравнения Менделеева-Клапейрона

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

для аргона и криптона в начальный момент времени:

$$\left.\begin{aligned} p_0 V_1 &= \nu R T_1 \\ p_0 V_2 &= \nu R T_2 \end{aligned}\right| \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{320}{400} = \frac{4}{5} \Rightarrow V_2 = \frac{5}{4} V_1$$

Поскольку общий объём системы не меняется, то суммарная работа системы ($A_{сис}$) равна нулю, а поскольку сосуд теплоизолирован, то ~~система~~ общая энергия системы постоянна ($\Delta Q_{сис} = 0$). По 1-му закону термодинамики: $\Delta Q_{сис} = A_{сис} + \Delta U_{сис} \Rightarrow \Delta U_{сис} = 0 \Rightarrow U_{нач} = U_{кон}$

$$U_{нач} = U_1 + U_2 = \frac{3}{2}\nu R T_1 + \frac{3}{2}\nu R T_2 = \frac{3}{2}\nu R (T_1 + T_2)$$

$$U_{кон} = U_1' + U_2' = \frac{3}{2}\nu R T_3 + \frac{3}{2}\nu R T_3 = 3\nu R T_3$$

$$\frac{3}{2}\nu R (T_1 + T_2) = 3\nu R T_3 \Rightarrow T_3 = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{320+400}{2} = 360\,K$$

Поскольку поршень движется медленно и температура газов также изменяется медленно, то давления газов можно считать равными в любой момент времени. Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона в конечный момент времени. (p - давление газов в конечный момент времени. V_1', V_2' - объёмы Ar и Kr соответственно)

$$\left.\begin{aligned} pV_1' &= \nu R T_3 \\ pV_2' &= \nu R T_3 \end{aligned}\right| \Rightarrow V_1' = V_2'$$

Пусть объём всего сосуда V, тогда

$$V_1 + V_2 = V; \quad V_1 + \frac{5}{4}V_1 = \cancel{V} \Rightarrow V_1 = \frac{4}{9}V$$

$$V_1' + V_2' = V; \quad 2V_1' = V \Rightarrow V_1' = \frac{V}{2} \Rightarrow pV = 2\nu R T_3$$

$$\Delta V_1 = V_1' - V_1 = \frac{V}{2} - \frac{4}{9}V = \frac{V}{18}$$

Найдём отношение давлений Ar в начальный и конечный момент времени:

$$\left.\begin{array}{l} p_0 V_1 = \nu R T_1 \\ p V_1' = \nu R T_3 \end{array}\right| \Rightarrow \frac{p_0 V_1}{p V_1'} = \frac{T_1}{T_3} \Rightarrow \frac{p_0}{p} = \frac{V_1' T_1}{V_1 T_3} = \frac{V \cdot T_1 \cdot 9}{2 \cdot 4 V T_3} = \frac{9 T_1}{8 T_3} = \frac{9 \cdot 320}{8 \cdot 360} = 1$$

Поскольку давления газов не могут одновременно повышаться или понижаться, то $p_1 = const = p_0 = p$

По 1-му закону термодинамики:

$Q_1 = A_1 + \Delta U_1$

$A_1 = p_1 \Delta V_1 = p \cdot \frac{V}{18} = \frac{2\nu R T_3}{18} = \frac{\nu R T_3}{9}$

$\Delta U_1 = \frac{3}{2}\nu R T_3 - \frac{3}{2}\nu R T_1 = \frac{3}{2}\nu R (T_3 - T_1)$

$Q_1 = \frac{\nu R T_3}{9} + \frac{3}{2}\nu R (T_3 - T_1) = \frac{\nu R}{2}\left(\frac{29}{9}T_3 - 3T_1\right) = \frac{3 \cdot 8{,}31}{5 \cdot 2}\left(\frac{29}{9} \cdot 360 - 3 \cdot 320\right) =$

$= 249{,}3$ Дж

Ответ: $\frac{V_1}{V_2} = \frac{4}{5}$; $T_3 = 360$ К; $Q = 249{,}3$ Дж

№3

Дано:

1) $\alpha = \frac{\pi}{4}$

2) $\alpha = \frac{\pi}{9}$

$\sigma_1 = \sigma$

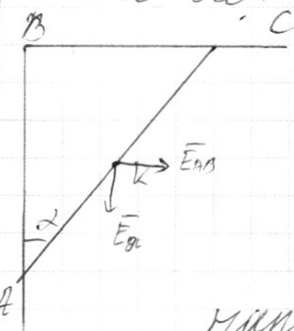
$\sigma_2 = \frac{2}{7}\sigma$

---

1) $n = \frac{E_1}{E_0}$ - ?

2) E - ?

Решение:



1) Пусть пластина BC заряжена с поверхностной плотностью заряда σ (для определённости $\sigma > 0$), тогда в точке K она создаёт электрическое поле с напряжённостью $E_0 = E_{BC} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$. Если ~~и её~~ пластину AB зарядить, то она также будет создавать в т. K электрическое поле с напряжённостью E_0. По принципу суперпозиции: $\bar{E}_1 = \bar{E}_{BC} + \bar{E}_{AB}$

Так как $\bar{E}_{BC} \perp \bar{E}_{AB}$, то $E_1 = \sqrt{E_0^2 + E_0^2} = E_0\sqrt{2}$

$n = \frac{E_0\sqrt{2}}{E_0} = \sqrt{2}$

2) Пластина BC создаёт в т. K поле с напряжённостью

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$E_{BC} = \frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$

Пластина AB создаёт в ~~поле~~ т. K поле с напряжённостью $E_{AB} = \frac{\sigma_2}{2\varepsilon_0} = \frac{2\sigma}{2\varepsilon_0 \cdot 7} = \frac{\sigma}{7\varepsilon_0}$

По принципу суперпозиции: $\vec{E} = \vec{E}_{AB} + \vec{E}_{BC}$. Так как $\vec{E}_{AB} \perp \vec{E}_{BC}$:

$E = \sqrt{E_{AB}^2 + E_{BC}^2} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{7\varepsilon_0}\right)^2 + \left(\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\right)^2} = \frac{\sigma\sqrt{53}}{14\varepsilon_0}$

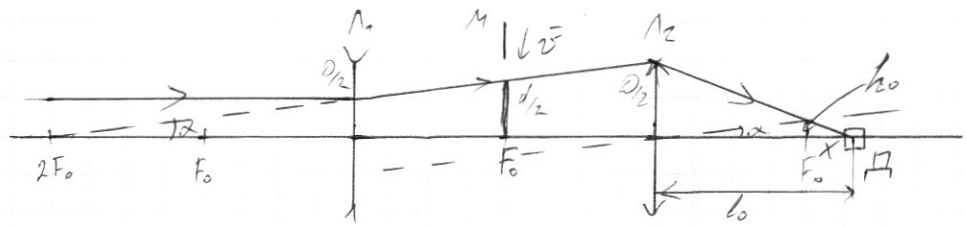
Ответ: $n = \sqrt{2}$; $E = \frac{\sigma\sqrt{53}}{14\varepsilon_0}$

№5

Дано:
F_0; D; τ_0
$I_1 = \frac{7}{16} I_0$

l_0; V; t_1?

Решение:



На рисунке изображён ход одного из крайних лучей. Введём угол α (показан на рис.)

$tg\,\alpha = \frac{D}{2 \cdot 4F_0} = \frac{D}{8F_0}$

$h_0 = F_0 \cdot tg\,\alpha = F_0 \cdot \frac{D}{8F_0} = \frac{D}{8}$

Из подобия треугольников:

$\frac{h_0}{\frac{1}{2}D} = \frac{x}{x + F_0} \Rightarrow h_0 x + h_0 F_0 = \frac{1}{2} x D$;

$x\left(\frac{1}{2}D - h_0\right) = h_0 F_0 \Rightarrow x = \frac{h_0 F_0}{\frac{1}{2}D - h_0} = \frac{\frac{D}{8} \cdot F_0}{\frac{D}{2} - \frac{D}{8}} = \frac{F_0}{3}$

$l_0 = F_0 + x = \frac{4}{3} F_0$

Диаметр светового потока ~~на~~ на расстоянии F_0 от $Л_1$ – d.

$\frac{d}{2} = 3F_0 \cdot tg\alpha \Rightarrow d = 6F_0\, tg\alpha = 6F_0 \cdot \frac{D}{8F_0} = \frac{3}{4}D$

P – мощность света. $I \sim P$ $\quad P \sim S_{потока} \Rightarrow$ ~~S~~

$\Rightarrow I \sim S_{потока}$ $\quad$ Пусть $I = kS_{потока}$

$S_0 = \frac{\pi}{4}\cdot\left(\frac{3D}{4}\right)^2$ – площадь потока ~~не~~ не перекрытого мишенью.

$S_1 = S_0 - S_{миш} = \frac{\pi}{4}\left(\frac{3D}{4}\right)^2 - \frac{\pi}{4}d_м^2 = \frac{\pi}{4}\left(\left(\frac{3D}{4}\right)^2 - d_м^2\right)$ $\quad d_м$ – диаметр мишени

S_1 – минимальная площадь светового потока.

$I_0 = kS_0$

$I_1 = kS_1$ $\Bigg| \Rightarrow \frac{I_1}{I_0} = \frac{S_1}{S_0}$

~~Д~~ $\frac{7I_0}{16I_0} = \frac{S_1}{S_0} \Rightarrow S_1 = \frac{7}{16}S_0$

$\frac{\pi}{4}\left(\left(\frac{3D}{4}\right)^2 - d_{миш}^2\right) = \frac{7}{16}\cdot\frac{\pi}{4}\cdot\left(\frac{3D}{4}\right)^2 \Rightarrow d_{миш}^2 = \frac{9}{16}\left(\frac{3D}{4}\right)^2 \Rightarrow d_{миш} = \frac{9}{16}D$

В промежутке времени от нуля до τ_0 мишень не полностью находится в потоке, т. е.:

~~vt~~ $v\tau_0 = d_м \Rightarrow v = \frac{d_м}{\tau_0} = \frac{9D}{16\tau_0}$

$v(t_1 - \tau_0) = \frac{3}{4}D - d_м$ ~~$= \frac{3}{16}$~~

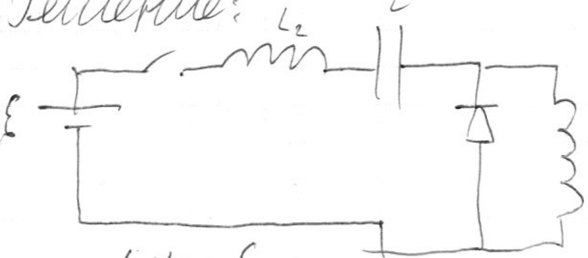
$\frac{9D}{16\tau_0}(t_1 - \tau_0) = \frac{3}{16}D \Rightarrow t_1 - \tau_0 = \frac{\tau_0}{3} \Rightarrow t_1 = \frac{4}{3}\tau_0$

Ответ: $l_0 = \frac{4}{3}F_0$; $v = \frac{9D}{16\tau_0}$; $t_1 = \frac{4}{3}\tau_0$

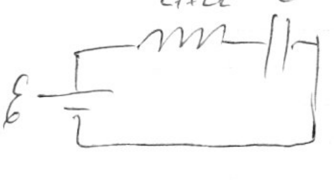
№4

Дано: $L_1 = 5L$; $L_2 = 4L$
L; C; $\mathcal{E}$
I_{01}; I_{02}; T – ?

Решение:



При протекании тока по часовой стрелке, данная цепь эквивалентна следующей:



Период колебаний здесь: ~~$T_1 = 3\sqrt{LC}$~~ $T_1 = 6\pi\sqrt{LC}$

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

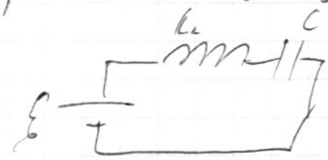
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

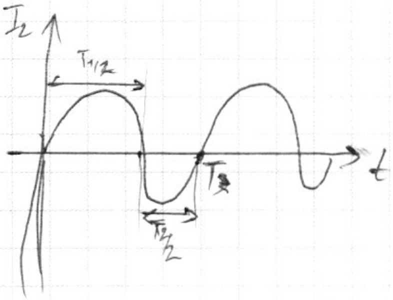
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

При протекании тока против часовой стрелке цепь эквивалентна следующей:



Период колебаний в ней: ~~$T_2 = 2\sqrt{}$~~ $T_2 = 4\pi\sqrt{LC}$

Примерный график зависимости тока через L_2 от времени:



Из графика: $T = \dfrac{T_1 + T_2}{2} = 5\pi\sqrt{LC}$

При $I_{01} \to I'_{01} = 0 \Rightarrow \mathcal{E}_{L1} = \mathcal{E}_{L2} = 0 \Rightarrow \mathcal{E} = U_C = \dfrac{q}{C} \Rightarrow q = C\mathcal{E}$

$A_{ист} = \Delta W_L + \Delta W_C$

$\mathcal{E} q = \dfrac{5LI_{01}^2}{2} + \dfrac{CU_C^2}{2} + \dfrac{4LI_{01}^2}{2} \Rightarrow I_{01} = \dfrac{\mathcal{E}}{3}\sqrt{\dfrac{C}{L}}$

Ответ: $T = 5\pi\sqrt{LC}$; $I_{01} = \dfrac{\mathcal{E}}{3}\sqrt{\dfrac{C}{L}}$

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

☐ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

(Нумеровать только чистовики)

При $I_{01} \to \cancel{\varepsilon}\ I_{01}' = 0 \Rightarrow \varepsilon = U_C = \frac{q}{C} \Rightarrow q = C\varepsilon$

Если в L_1 есть ток, то в L_2 ток такой же

$A_{ист} = \Delta W_{L_1} + \Delta W_C + \Delta W_{L_2}$

$\Delta q\,\varepsilon = \frac{5LI_{01}^2}{2} + \frac{CU_C^2}{2} + \frac{4LI_{01}^2}{2} \quad | \cdot 2$

$2C\varepsilon^2 = 9LI_{01}^2 + C\varepsilon^2$; $\quad C\varepsilon^2 = 9LI_{01}^2 \Rightarrow I_{01} = \frac{\varepsilon}{3}\sqrt{\frac{C}{L}}$

Если $I_{02} \uparrow\uparrow I_{01} \Rightarrow I_{02} = I_{01}$. Если $I_{02} \uparrow\downarrow I_{01}$: $\varepsilon_{i2} = 0$. $\varepsilon_{i1} = 0$ т.к. умод.

$p(V_1 + dV) = \nu R(T_1 + dT)$

$p(V_2 - dV) = \nu R(T_2 - dT)$

$\Delta T_1 = -\Delta T_2$

$\Delta V_1 = -\Delta V_2$

$p_1\frac{V_1}{T_1} = \frac{p_{1}V_1 + \Delta V_1}{T_1 + \Delta T_1}$

$\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_2 + \Delta V_2}{T_2 + \Delta T_2}$

$\cancel{p_1V_1T_1} + p_1V_1\Delta T = \cancel{p_1V_1T_1} + \Delta p V_1 T_1 + p_1 \Delta V_1 T_1 + \Delta p \Delta V_1 T_1$

$p_1V_1\Delta T = \Delta p_1 V_1 T_1 + p_1 \Delta V_1 T_1$

~~$V_1T_1 + V_1\Delta T_1 = V_1T_1 +$~~

$(p_1 + \Delta p)(V_1 + \Delta V)T_1$

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\cancel{k\left(\frac{3}{4}D-d_M\right)^2=\frac{7}{16}k\left(\frac{3}{4}D\right)^2}$

$k\frac{\pi}{4}\left(\left(\frac{3D}{4}\right)^2-d_M^2\right)=\frac{7}{16}k\frac{\pi}{4}\left(\frac{3}{4}D\right)^2$

$d_M^2=\frac{9}{16}\left(\frac{3D}{4}\right)^2=\left(\frac{9D}{16}\right)^2 \quad d_M=\frac{9}{16}D$

$v\tau_0=d_M \Rightarrow v=\frac{9D}{16\tau_0}$

В период времени от τ_0 до t_1 мишень полностью находится в световом пучке. Тогда путь, который прошла мишень за это время:

$v(t_1-\tau_0)=\frac{3D}{4}-d_M$

$v(t_1-\tau_0)=\frac{3}{4}D-\frac{9}{16}D=\frac{3}{16}D$

$\frac{9D}{16\tau_0}(t_1-\tau_0)=\frac{3}{16}D \qquad 3(t_1-\tau_0)=\tau_0$

$t_1-\tau_0=\frac{\tau_0}{3} \Rightarrow t_1=\frac{4}{3}\tau_0$

Ответ: $t_0=\frac{4}{3}\tau_0$; $v=\frac{9D}{16\tau_0}$; $t_1=\frac{4}{3}\tau_0$

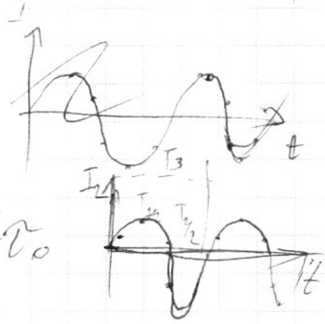
$v(t_1+2\tau_0)=\frac{3}{4}D+2d_M$

$v(t_1+2\tau_0)=\frac{3}{4}D+\frac{18}{16}D=\frac{30}{16}D$

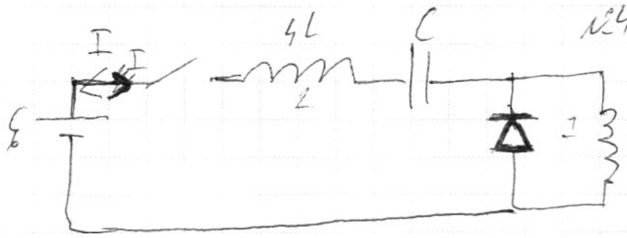
$\frac{9D}{16\tau_0}(t_1+2\tau_0)=\frac{30}{16}D$

$t_1+2\tau_0=\frac{10}{3}\tau_0$

$t_1=\frac{10}{3}\tau_0-\frac{6}{3}\tau_0=\frac{4}{3}\tau_0$



№4



$\mathcal{E};C;L \qquad T;\ I_{01}\quad I_{02}-?$

2-е П.К.: $\mathcal{E}=\mathcal{E}_{i2}+U_C+\mathcal{E}_{i1}$

$\mathcal{E}=4L\frac{dI}{dt}+\frac{q}{C}+5L\frac{dI}{dt}$

$T=2\pi\sqrt{CL} \qquad q'=I$

$T=\frac{2\pi}{\omega_0} \Rightarrow \omega_0=\frac{1}{\sqrt{CL}}$

$\cancel{\mathcal{E}=4L\frac{dI}{dt}} \quad \mathcal{E}=4LI'+\frac{q}{C}+5LI'=9LI'+\frac{q}{C}$

$0=9LI''+\frac{I}{C} \quad I''+\frac{I}{9LC}=0 \Rightarrow \omega_1^2=\frac{1}{9LC} \Rightarrow \omega_1=\frac{1}{3\sqrt{LC}}$

$T_1=6\pi\sqrt{CL}$

$-\mathcal{E}+4LI'+\frac{q}{C}=0 \qquad T_2=4\pi\sqrt{LC}$

$4LI''+\frac{I}{C}=0 \quad I''+\frac{I}{4LC}=0 \Rightarrow \omega_2=\frac{1}{2\sqrt{LC}} \quad T=\frac{T_1+T_2}{2}=5\pi\sqrt{LC}$

☑ черновик ☐ чистовик (Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__ (Нумеровать только чистовики)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

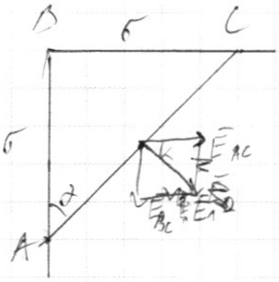
(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Надо д-ть, что $\frac{V}{T}$ - const.

$pV = \nu RT$

№3



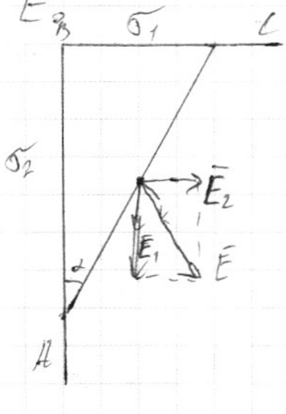
1) $\alpha = \frac{\pi}{4}$ $n = \frac{E}{E_0} - ?$

Пусть пластина BC заряжена с пов-й плотностью заряда б (для определённости $б > 0$), тогда она будет создавать в т. K эл-ое поле с напр-ю по модулю $E_0 = \frac{б}{2\varepsilon_0}$

Если зарядить AB, то она также будет создавать напряжённость $E_0 = \frac{б}{2\varepsilon_0}$

По принципу суперпозиции: $\bar{E} = \bar{E}_{BC} + \bar{E}_{AC}$ $E_{BC} \perp E_{AB}$, тогда по т. Пифагора: $E = \sqrt{E_0^2 + E_0^2} = E_0\sqrt{2}$

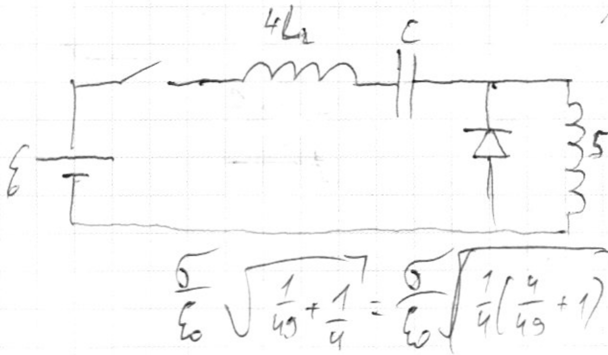
$\frac{E}{E_0} = \sqrt{2}$



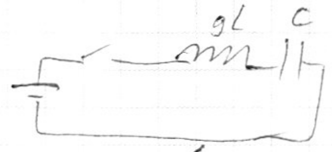
$E_1 = \frac{б_1}{2\varepsilon_0}$ $E_2 = \frac{б_2}{2\varepsilon_0}$ $б_1 = б$, $б_2 = \frac{2}{7}б$

$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \sqrt{\frac{б_1^2}{(2\varepsilon_0)^2} + \frac{б_2^2}{(2\varepsilon_0)^2}} = \frac{б}{2\varepsilon_0}\sqrt{1 + \frac{4}{49}} = \frac{б}{2\varepsilon_0}\sqrt{\frac{53}{49}} = \frac{б\sqrt{53}}{14\varepsilon_0}$

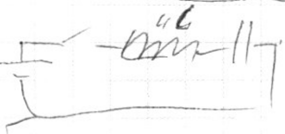
№4



Если I ↷



Если I ↶



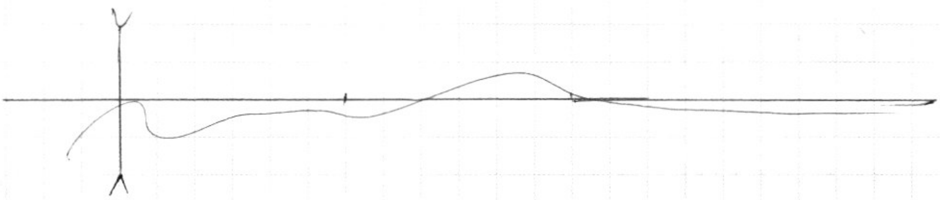
$\frac{б}{\varepsilon_0}\sqrt{\frac{1}{49} + \frac{1}{4}} = \frac{б}{\varepsilon_0}\sqrt{\frac{1}{4}\left(\frac{4}{49} + 1\right)} = \frac{б}{2\varepsilon_0}\sqrt{\frac{53}{49}} = \frac{б\sqrt{53}}{14\varepsilon_0}$

☑ черновик ☐ чистовик (Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__ (Нумеровать только чистовики)

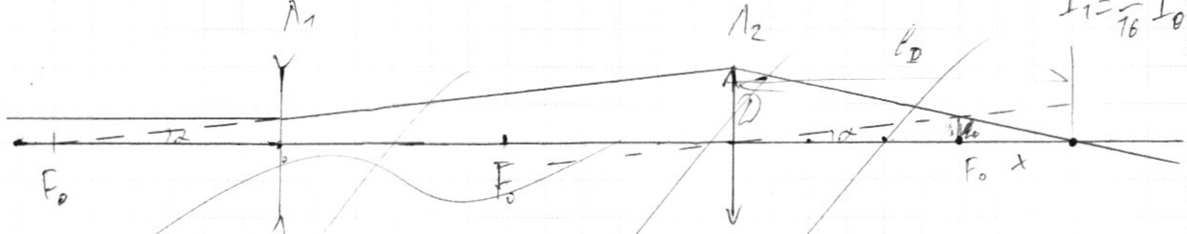
№5

$l_0; v; t_1 - ?$



$F_0; D; \tau_0$

$I_1 = \frac{7}{16} I_0$



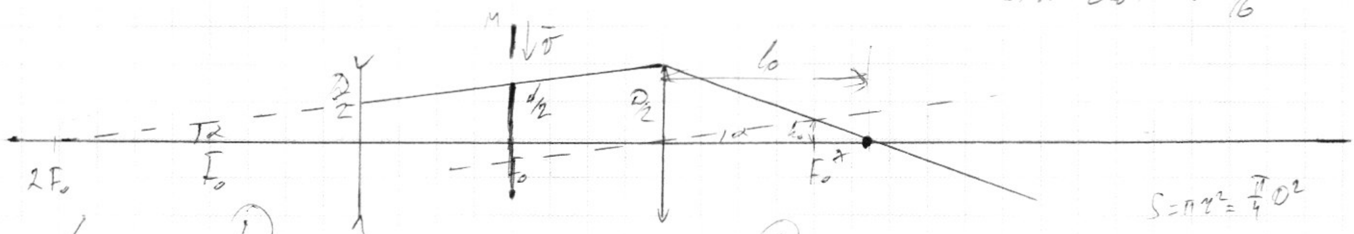
$tg\alpha = \frac{D}{3F_0}$ $h_0 = F_0 \cdot tg\alpha = F_0 \cdot \frac{D}{3F_0} = \frac{D}{3}$

$\frac{h_0}{D} = \frac{x}{F_0 + x}$; $xD = F_0 h_0 + h_0 x$

$x(D - h_0) = F_0 h_0 \Rightarrow x = \frac{F_0 h_0}{D - h_0} = \frac{F_0 \cdot \frac{D}{3}}{D - \frac{D}{3}} = \frac{F_0 \cdot 3}{3 \cdot 2} = \frac{F_0}{2}$

$l_0 = F_0 + x = \frac{3}{2} F_0$

$F_0; D; \tau_0$; $I_1 = \frac{7}{16} I_0$



$S = \pi r^2 = \frac{\pi}{4} D^2$

$tg\alpha = \frac{D}{8F_0}$; $h_0 = F_0 \cdot tg\alpha = F_0 \cdot \frac{D}{8F_0} = \frac{D}{8}$

$\frac{F_0}{4-1} = \frac{F_0}{3}$

$\frac{h_0}{D} = \frac{x}{F_0 + x}$; $h_0 F_0 + h_0 x = Dx$

$x(\frac{D}{2} - h_0) = h_0 F_0 \Rightarrow x = \frac{F_0 h_0}{\frac{D}{2} - h_0} = \frac{F_0 \cdot \frac{D}{8}}{\frac{D}{2} - \frac{D}{8}} = \frac{F_0 \cdot 4}{4 \cdot 3} = \frac{F_0}{3}$

$l_0 = F_0 + x = \frac{4}{3} F_0$

$I \sim P$ $P \sim S \Rightarrow I \sim S \Rightarrow \cancel{I \sim d^2}$ $S \sim r^2$; $\cancel{S \sim d^2}$

$\cancel{I = kd^2}$

$\frac{d}{2} = 3F_0 \cdot tg\alpha \Rightarrow d = 3F_0 \cdot 2 \cdot tg\alpha$

$d = 3F_0 \cdot 2 \cdot \frac{D}{8F_0} = \frac{3}{4} D$

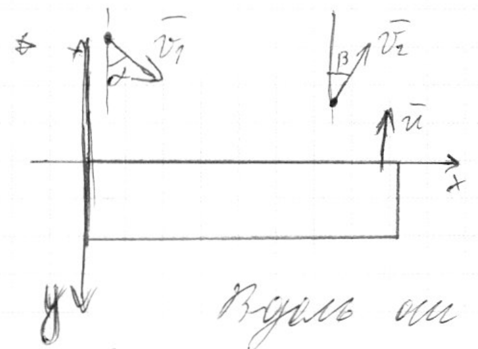
$\cancel{I_0 = k(\frac{3}{4}D)^2}$ $\cancel{I_0 = k \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (\frac{3}{4}D)^2}$

$I_0 = k S_0 = k \frac{\pi}{4} \cdot (\frac{3D}{4})^2$

Пусть диаметр мишени: d_M, тогда:

$\cancel{I_1 = k(\frac{3}{4}D - d_M)^2}$ $I_1 = k(S_0 - S_M) = k\frac{\pi}{4}\left((\frac{3D}{4})^2 - d_M^2\right)$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$v_1 = 18$ м/с $\sin\alpha = \frac{2}{3}$; $\cos\alpha = \frac{\sqrt{5}}{3}$ №1

$\sin\beta = \frac{3}{5}$; $\cos\beta = \frac{4}{5}$

$v_2 - ?$ $u - ?$

Вдоль оси Ox силы в момент удара не действуют.

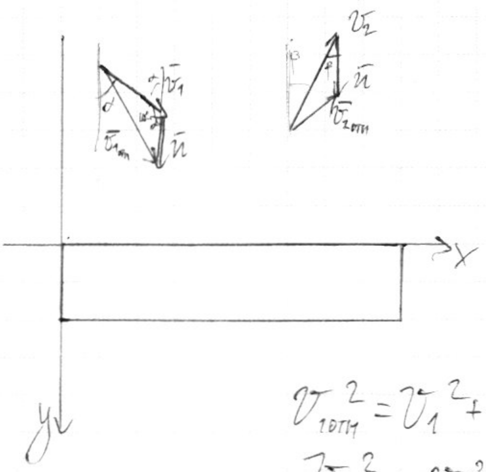
Следно: $\cancel{mv_{1x} = mv_{2x}}$ m- масса шарика

$p_x = const$

$\cancel{m}v_{1x} = \cancel{m}v_{2x}$

$v_1 \sin\alpha = v_2 \sin\beta \Rightarrow v_2 = v_1 \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = 18 \cdot \frac{2\cdot 5}{3\cdot 3} = 20$ м/с

В СО плиты:



$$\frac{mv_{1отн}^2}{2} = \frac{mv_{2отн}^2}{2} + Q$$

$$\frac{\cancel{m}v_{1отн}^2}{2} > \frac{\cancel{m}v_{2отн}^2}{2}$$

$$v_{1отн}^2 > v_{2отн}^2$$

$20^2 = 400$
$18^2 = 324$

$400 - 324 = 76$

$$v_{1отн}^2 = v_1^2 + u^2 - 2v_1u\cos(180^\circ - \alpha) = v_1^2 + u^2 + 2v_1u\cos\alpha$$

$$v_{2отн}^2 = v_2^2 + u^2 - 2v_2u\cos\beta$$

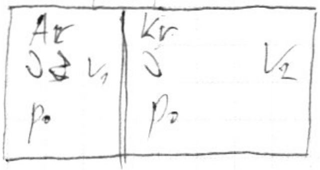
$$v_1^2 + \cancel{u^2} + 2v_1u\cos\alpha > v_2^2 + \cancel{u^2} - 2v_2u\cos\beta$$

$$2u(v_1\cos\alpha + v_2\cos\beta) > v_2^2 - v_1^2$$

$$u > \frac{v_2^2 - v_1^2}{2(v_1\cos\alpha + v_2\cos\beta)} = \frac{20^2 - 18^2}{2\left(18\cdot\frac{\sqrt5}{3} + 20\cdot\frac{4}{5}\right)} = \frac{76}{2(6\sqrt5 + 16)} = \frac{38}{2(3\sqrt5+8)} = \frac{19}{3\sqrt5+8}$$

Ответ: $v_2 = 20$ м/с; $16 > u > \frac{19}{3\sqrt5+8}$ м/с

$u < v_{2y} = v_2 \cdot \cos\beta = 20\cdot\frac{4}{5} = 16$ м/с



№2 1- аргон 2-криптон $\frac{V_1}{V_2}$; T_3; Q_{Ar} - ?

$\nu = \frac{3}{5}$ моль

$T_1 = 320$ K ; $T_2 = 400$K $R = 8{,}31 \frac{Дж}{моль\,K}$

Т. к. изначально ~~поршень~~ поршень покоился, то давления газов были равны. Запишем М.-К для Ar и Kr:

$$\left.\begin{array}{l} p_0 V_1 = \nu R T_1 \\ p_0 V_2 = \nu R T_2 \end{array}\right| \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{320}{400} = \frac{4\cdot 80}{5\cdot 80} = \cancel{0{,}8} = \frac{4}{5} = 0{,}8 \Rightarrow V_1 = 0{,}8 V_2 \Rightarrow$$

$\Rightarrow V_2 = 1{,}25 V_1$

Рассмотрим систему газов как единую систему. Т. к. общий объём газов = const $\Rightarrow A_{сист} = 0$. Т.к. поршень теплоизолирован, то $\Delta Q_{сист} = 0$. $\xRightarrow{\Delta U_{сист} = 0}$ $U_1 + U_2 = U_3$.

$$\nu R T_1 + \nu R T_2 = 2\nu R T_3 \Rightarrow T_3 = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{320+400}{2} = \frac{720}{2} = 360\,K.$$

$Q_{Ar} = A_{Ar} + \Delta U_{Ar}$

$\Delta U_{Ar} = U_{2Ar} - U_{1Ar} = \frac{3}{2}\nu R T_3 - \frac{3}{2}\nu R T_1 = \frac{3}{2}\nu R (T_3 - T_1)$

$A_{Ar} = \int_{V_1}^{V_1'} p\,dV$

$p_0 V_1 = \nu R T_1$ $\qquad$ $p_0 V_2 = \nu R T_2$

$p_1 V_1' = \nu R T_3$ $\qquad$ $p_2 V_2' = \nu R T_3$

Т.к. T меняется медленно, поршень движется медленно, то $p_1 = p_2$ в любой момент времени.

В конечном состоянии давления газов сравняются. $\Rightarrow p_1 = p_2 = p$

$$\left.\begin{array}{l} p V_1' = \nu R T_3 \\ p V_2' = \nu R T_3 \end{array}\right| \Rightarrow V_1' = V_2' = \frac{V}{2}$$ Пусть объём всего сосуда: V

$V_1 + V_2 = V$; $V_1 + \frac{5}{4}V_1 = V$; $\frac{9}{4}V_1 = V \Rightarrow V_1 = \frac{4}{9}V$

$\frac{pV}{2} = \nu R T_3 \Rightarrow pV = 2\nu R T_3$

$\Delta V_1 = V_1' - V_1 = \frac{V}{2} - \frac{4}{9}V = \frac{9-8}{18}V = \frac{1}{18}V$

~~$p_0 V_1 = \nu R T_1$~~
$$\left.\begin{array}{l} p_0 \cdot \frac{4}{9}V = \nu R T_1 \\ p \cdot \frac{V}{2} = \nu R T_3 \end{array}\right| \Rightarrow \frac{p_0}{p}\frac{4\cdot 2}{9} = \frac{T_1}{T_3} \Rightarrow \frac{p_0}{p} = \frac{9}{8}\frac{T_1}{T_3} = \frac{9\cdot 4\cdot 80}{8\cdot 360} = 1 \Rightarrow p_0 = p$$

$A_{Ar} = p_0 \Delta V = p\frac{V}{18} = \frac{\nu R T_3}{9}$

$Q_{Ar} = \frac{\nu R T_3}{9} + \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_1) = \nu R\left(\frac{T_3}{9} + \frac{3}{2}T_3 - \frac{3}{2}T_1\right) = \nu R\left(\frac{29}{18}T_3 - \frac{3}{2}T_1\right) = \frac{\nu R}{2}\left(\frac{29}{9}T_3 - 3T_1\right) = \frac{3\cdot 8{,}31}{5\cdot 2}\left(\frac{29\cdot 360}{9} - 3\cdot 320\right) =$

$= \frac{24{,}93}{10}\cdot 100 = 249{,}3$ Дж.

$\square$ черновик $\square$ чистовик Страница №__

(Поставьте галочку в нужном поле) (Нумеровать только чистовики)