

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

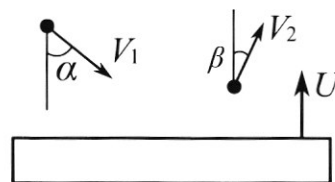
Класс 11

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.

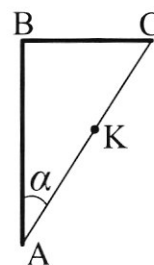
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится гелий, во втором – неон, каждый газ в количестве $\nu = 6/25$ моль. Начальная температура гелия $T_1 = 330$ 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?

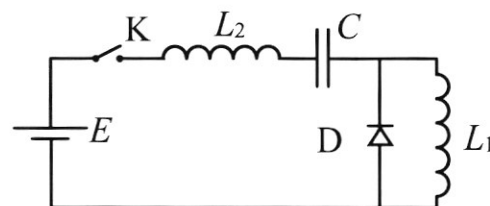
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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 D (см. рис.). Ключ К разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в L_2 .

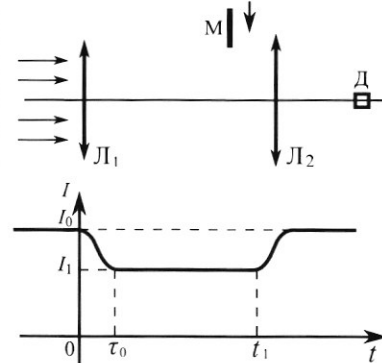


1) Найти период T этих колебаний.

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



$$T_1 = 330 \text{ K}$$

$$T_2 = 440 \text{ K}$$

$$\nu = 6/25 \text{ моль}$$

$$\left. \begin{aligned} p_{\text{He}} V_{\text{He}} &= \nu R T_1 \\ p_{\text{Ne}} V_{\text{Ne}} &= \nu R T_2 \end{aligned} \right\}$$

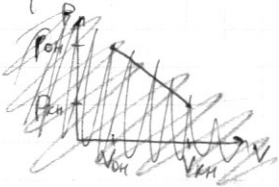
В самом начале, когда теплопередача не началась, поршень был в равновесии \rightarrow

$$\rightarrow p_{\text{He}} = p_{\text{Ne}} \xrightarrow{\text{"калийной"} \quad \text{"гелий"}} \\ \text{Тогда } \frac{V_{\text{Ne}}}{V_{\text{He}}} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{440}{330} = \frac{4}{3}$$

2) Сосуд теплоизолирован } \rightarrow вся энергия тепла будет передаваться
Поршень теплопроводящий } гелию, пока не сравняется их T .

$$Q_H = A_H + \Delta U_H$$

$T_1 < T_2 \rightarrow$ гелий будет расширяться \rightarrow конечной V_{He} газа гелия будет меньше начального V_{He} гелия, \Rightarrow совершается отрицат. работа (гелием). У гелия $V \downarrow, T \downarrow \rightarrow p = \text{const}$. Тогда и у гелия



$$p = \text{const.}$$

$$p \Delta V_1 = \nu R (T_2 - T_k) \text{ - для гелия}$$

$$p \Delta V_2 = \nu R (T_k - T_1) \text{ - для гелия}$$

$$\Delta V_1 = \Delta V_2 \rightarrow T_k - T_1 = T_2 - T_k \rightarrow T_k = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{330 + 440}{2} = 385 \text{ K}$$

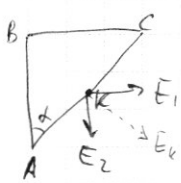
$$3) Q = A + \Delta U = p \Delta V + \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \nu R \Delta T + \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{5}{2} \nu R \Delta T =$$

$$p_0 V_0 = \nu R_0 T \text{ (n.2)}$$

$$= \frac{5}{2} \cdot \frac{6}{25} \cdot 8,31 \cdot 55 = \frac{6 \cdot 11 \cdot 8,31}{2} = 33 \cdot 8,31 = 274,23 \text{ Дж}$$

Ответ: 1) $\frac{4}{3}$ 2) 385 K 3) ~~274,23~~ Дж.

3) 1)



$$d = \frac{\pi}{4} \rightarrow AB = BC \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon}$$

$$\text{Если } E_{BC} = E_{AB}$$

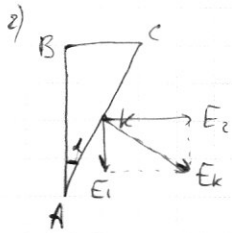
$$AB = BC \rightarrow \rho(K; AB) = \rho(K; BC)$$

} то $E_1 = E_2$

$$\Rightarrow E_k = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = E_1 \sqrt{2}$$

Если же $E_{AB} = 0$, то $E_k = E_1$

\Rightarrow при перемещении точки AB расстояние $E \uparrow \sqrt{2}$ раз в точке K.



$$d = \frac{\pi}{8}$$

$$\left\{ \begin{aligned} \cos \frac{\pi}{8} &= \sqrt{\frac{1 + \cos \frac{\pi}{4}}{2}} \\ \sin \frac{\pi}{8} &= \sqrt{\frac{1 - \cos \frac{\pi}{4}}{2}} \end{aligned} \right.$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{r} &= \sqrt{\frac{1 - \cos \frac{\pi}{4}}{1 + \cos \frac{\pi}{4}}} = \sqrt{\frac{1 - \cos^2 \frac{\pi}{4}}{(1 + \cos \frac{\pi}{4})^2}} = \frac{\sin \frac{\pi}{4}}{1 + \cos \frac{\pi}{4}} = \\ &= \frac{\sqrt{2}/2}{1 + \sqrt{2}/2} = \frac{\sqrt{2}}{2 + \sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}(2 - \sqrt{2})}{2} = \frac{2 - \sqrt{2}}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} - 1 \end{aligned}$$

Пусть $BC = x$

$$\frac{BC}{AB} = \frac{x}{AB} = \frac{1}{\sqrt{2}} \rightarrow AB = \frac{x}{\frac{1}{\sqrt{2}}} = x(\sqrt{2} + 1)$$

$$\rho(K; BC) = \frac{AB}{2} = \frac{x(\sqrt{2} + 1)}{2}$$

$$\rho(K; AB) = \frac{BC}{2} = \frac{x}{2}$$

По условию, $\sigma_{BC} = 4\sigma$, $\sigma_{AB} = \sigma$

$$\left. \begin{aligned} &\rightarrow E_1 = 4 \cdot E_2 \cdot \frac{1}{(\sqrt{2} + 1)^2} = \\ &= 4 E_2 \cdot \frac{1}{3 + 2\sqrt{2}} = \frac{4 E_2 (3 - 2\sqrt{2})}{9 - 8} = \\ &= 4 E_2 (3 - 2\sqrt{2}). \end{aligned} \right\}$$

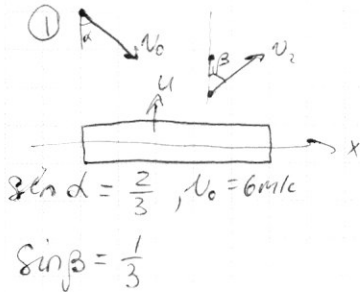
$$E_k = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = E_2 \sqrt{1 + 16(3 - 2\sqrt{2})^2} = E_2 \sqrt{1 + 16(9 + 8 - 12\sqrt{2})} = \\ = E_2 \sqrt{273 - 192\sqrt{2}}$$

$$\sqrt{2} \approx 1,4 \rightarrow 273 - 192\sqrt{2} \approx 4,2 \rightarrow E_k \approx E_2 \cdot \sqrt{4,2} \approx 2,05 \cdot E_2$$

$$E_2 = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon} \Rightarrow E_k \approx 2,05 \cdot \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon}$$

Ответ: 1) в $\sqrt{2}$ раз 2) $E_k = 2,05 \cdot \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



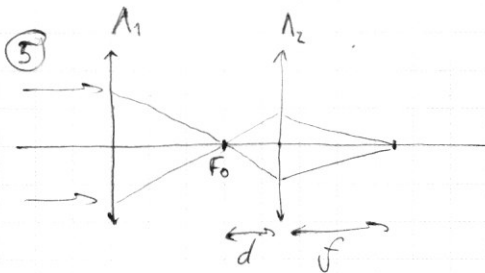
1) Найдем проекции на Ox : $U_x = 0 \rightarrow$

$$\rightarrow m v_{x0} = m v_{xk} \rightarrow v_{x0} = v_{xk}$$

$$v_0 \cdot \sin \alpha = v_k \sin \beta$$

$$v_k = \frac{v_0 \cdot \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{6 \cdot \frac{2/3}{1/3}}{1/3} = 12 \text{ м/с.}$$

Ответ: 1) 12 м/с



1) В первую линзу приходят параллельные лучи \rightarrow собираются в фокусе F_0 .

Между линзами $1,5f_0$

$$\Rightarrow d = 1,5 F_0 - F_0 = \frac{F_0}{2}$$

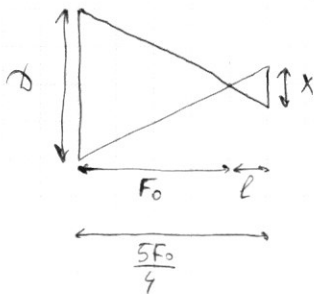
Для второй линзы: $\frac{1}{F_2} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$

$$F_2 = \frac{F_0}{3}, d = \frac{F_0}{2}$$

$$\rightarrow \frac{3}{F_0} - \frac{2}{F_0} = \frac{1}{f} = \frac{1}{F_0} \rightarrow f = F_0 \rightarrow \text{расстояние м/у } L_2 \text{ и}$$

фотодетектора D равно F_0 .

2) Мишень проходит \neq на расст. $\frac{5F_0}{4}$ от L_1 .



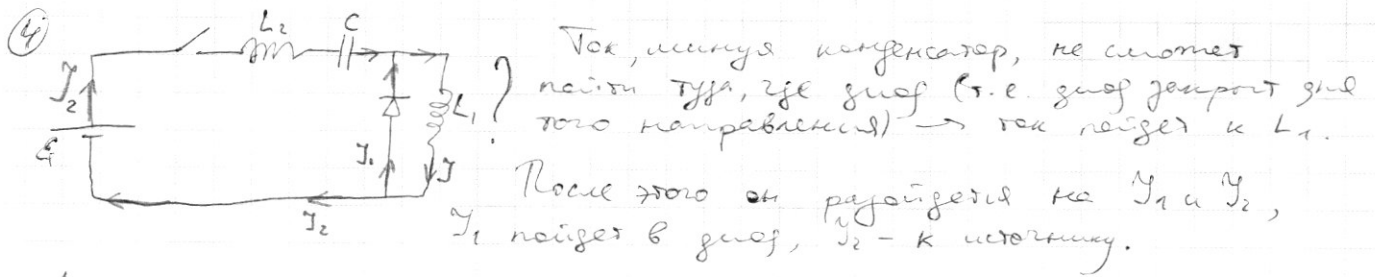
Тогда из подобия треугольников получим:

$$\frac{D}{x} = \frac{F_0}{l} = \frac{F_0}{\frac{5F_0}{4} - F_0} = \frac{F_0}{F_0/4} = 4 \rightarrow D = 4x.$$

$$x = \frac{D}{4} \rightarrow \text{это расстояние проходит мишень за}$$

время T_0 по вертикали. Тогда, если $v_m = \text{const}$, то $v_m = \frac{x}{T} = \frac{D}{4T}$.

Ответ: 1) F_0 ; 2) $\frac{D}{4T_0}$



Для резонанса $L_2 = 2L$ $T = 2\pi\sqrt{L_2 C} = 2\pi\sqrt{2LC}$

$I_{L_2} = I_{mx} \cdot \cos(\omega t + \varphi_0)$

$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{1}{\sqrt{2LC}}$

$C = \frac{q}{U_c}$, $q' = I_c = I_{L_2} \rightarrow q = -\frac{I_{mx} \sin(\omega t + \varphi_0)}{\omega}$

$q_{mx} = \frac{I_{mx}}{\omega} = I_{mx} \cdot \sqrt{2LC}$

$C = const \rightarrow$ при $q \uparrow$ $U_c \uparrow \rightarrow$ при q_{mx} будет $U_{mx} = \varepsilon$

$C = \frac{I_{mx} \sqrt{2LC}}{\varepsilon} \rightarrow I_{mx} = \frac{C \cdot \varepsilon}{\sqrt{2LC}} = \varepsilon \cdot \sqrt{\frac{C}{2L}}$ - через 2 катушки

Ответ: 1) $T = 2\pi\sqrt{2LC}$ 2) ? 3) $I_{mx} = \varepsilon \cdot \sqrt{\frac{C}{2L}}$



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



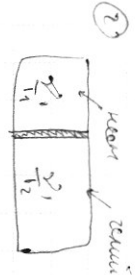
черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{110}{10} \sqrt{\frac{5}{2}} = \frac{132}{5} \cdot 0,31 \cdot 22 = \frac{132}{5} \cdot 0,31 = 26,4 \cdot 0,31$$

$$E = \frac{100}{200} \cdot \frac{100}{200} \cdot 100 \cdot 23 (7)$$



$$\left\{ \begin{aligned} p_{\text{конт}} V_{\text{конт}} &= \nu R T_1 \\ p_{\text{вак}} V_{\text{вак}} &= \nu R T_2 \end{aligned} \right.$$

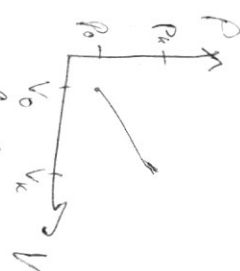
$$T_{\text{конт}} = T_{\text{вак}}$$

$$p_{\text{конт}} V_{\text{конт}} = p_{\text{вак}} V_{\text{вак}}$$

$$p_0 V_{0H} = p_{\text{конт}} V_{\text{конт}} = p_{\text{вак}} V_{\text{вак}} = \nu R T_2$$

$$p_{\text{конт}} V_{\text{конт}} = p_{\text{вак}} V_{\text{вак}} = \nu R T_2$$

$$p_{\text{конт}} V_{\text{конт}} + p_{\text{вак}} V_{\text{вак}} = \nu R T_2$$



$$A = (p_0 + p_{\text{конт}}) (V_0 - V_0) \cdot \frac{1}{2} =$$

$$= \frac{1}{2} p_{\text{конт}} V_0 - \frac{1}{2} p_0 V_0$$

$$Q = \frac{1}{2} p_{\text{конт}} V_0 - \frac{1}{2} p_0 V_0 + \frac{3}{2} \nu R T_1 - \frac{3}{2} \nu R T_2$$

$$M_H = M_H \cdot \nu$$

$$M_H = M_H \cdot \nu$$

$$330 \cdot 0,31 = \nu R T_2$$

температура

$$\frac{V_{\text{вак}}}{V_{\text{конт}}} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{330}{110} = \frac{440}{330} = \frac{4}{3}$$

$$\left\{ \begin{aligned} p_{\text{конт}} V_{\text{конт}} - p_0 V_{0H} &= \nu R T_1 - \nu R T_2 \\ p_{\text{вак}} V_{\text{вак}} - p_0 V_{0H} &= \nu R T_2 - \nu R T_1 \end{aligned} \right.$$

$$p_{\text{конт}} V_{\text{конт}} = p_0 V_{0H} + \nu R T_1 - \nu R T_2$$

$$p_{\text{вак}} V_{\text{вак}} = p_0 V_{0H} + \nu R T_2 - \nu R T_1$$

$$V_{\text{вак}} = \frac{4}{3} V_{\text{конт}}$$

$$p_{\text{конт}} V_{\text{конт}} - \frac{4}{3} p_0 V_{0H} = \nu R T_1 - \nu R T_2$$

$$p_0 V_{0H} + \nu R T_1 - \nu R T_2 = \nu R T_2 - \nu R T_1$$

$$V_{\text{вак}} = 4x$$

$$V_{\text{конт}} = 3x$$

$$Q_H = \frac{1}{2} p_{\text{конт}} V_0 + \frac{1}{2} p_0 V_{0H} + \frac{3}{2} \nu R T_1 + \frac{3}{2} \nu R T_2$$

$$= \frac{1}{2} \nu R T_1 + \frac{1}{2} \nu R T_2 - \frac{3}{2} \nu R T_1 + \frac{3}{2} \nu R T_2$$

$$Q_H = Q_H \rightarrow T_{\text{конт}} - T_2 = -T_1 + T_2$$

$$T_{\text{конт}} = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{330 + 440}{2} = 385 \text{ K}$$

$$= \frac{770}{2} = 385 \text{ K}$$

$$-\frac{1}{3} p_0 V_{0H} + \nu R T_1 - \nu R T_2 = \nu R T_2 - \nu R T_1$$

$$-\frac{1}{3} \nu R T_1 + 2 \nu R T_1 - \nu R T_2 = \nu R T_2$$

$$-\frac{1}{3} T_1 + 2 T_1 - T_2 = T_2$$

$$2 T_2 = T_1 + \frac{4}{3} T_1$$

$$= 2 \nu R \cdot (440 - 385) = 2 \nu R \cdot 55 = \nu R \cdot 110 = \frac{6}{25} \cdot 0,31 \cdot 110 = \frac{219,384}{25} \text{ Дж}$$

$$1) E_{AC} = \frac{q}{\epsilon \epsilon_0}$$

$$d = \frac{x}{4} \rightarrow AB=BC = x, \quad AC = x\sqrt{2}$$

$$k\text{-сеп. } AC \rightarrow Bk = Ck = Ak = \frac{x\sqrt{2}}{2}$$

$$\rho(k; BC) = \rho(k; AC)$$

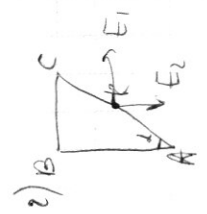
~~Решено в квесте~~

всум $E_{AB} = E_{BC}$, то $\theta \cdot k \cdot E_1 = E_2$, $E_k = \sqrt{2} E_1 \rightarrow 16 \sqrt{2} \text{ пкВ}$

$$E_{BC} = \frac{qQ}{\epsilon_0 \epsilon} = 4 \cdot E_{AC}$$

$$d = \frac{x}{8} \cdot \cos \frac{\pi}{8} = \sqrt{\frac{\sqrt{2}}{2}} = \frac{2+\sqrt{2}}{4}$$

$$BC = x \rightarrow AC = \frac{4x}{2+\sqrt{2}} = 2x(2+\sqrt{2})$$



$$\rightarrow AB = x \sqrt{4(2+\sqrt{2})^2 - 1} = x \sqrt{8(3+2\sqrt{2}) - 1} = x \sqrt{23+16\sqrt{2}}$$

$$\rho(k; BC) = \frac{AB}{2} = x \cdot \frac{\sqrt{23+16\sqrt{2}}}{2}$$

$$\rho(k; AB) = \frac{BC}{2} = \frac{x}{2}$$

$$E_k = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = E_1 \sqrt{1 + \frac{16(23+16\sqrt{2})}{17}} = E_1 \sqrt{\frac{17+368-256\sqrt{2}}{17}}$$

$$\approx E_1 \sqrt{1,6} = E_1 \sqrt{\frac{16}{10}} = E_1 \cdot \frac{4}{\sqrt{10}} \approx E_1 \cdot \frac{4}{3,16}$$

$$= E_1 \cdot \frac{40}{31} \approx 1,3 E_1$$

$$\rightarrow E_k \approx 1,3 \cdot \frac{qQ}{\epsilon_0 \epsilon}$$

$v_1 \cdot \sin \alpha = v_2 \cdot \sin \beta \rightarrow v_2 = 12 \text{ м/с}$

$v_{x0} = v_{xk}$

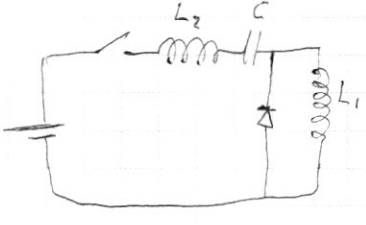
$v_{y0} = 0 \rightarrow m v_{y0} = m v_{yk} \rightarrow v_{yk} = 0$

$$\begin{array}{r} 40,0 \\ -3,1 \\ \hline 36,9 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 123 \\ \times 69 \\ \hline 1107 \\ 738 \\ \hline 8487 \end{array}$$

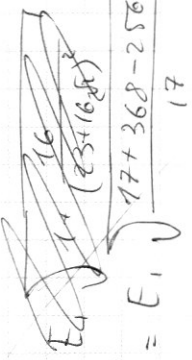
$$525 - 512 = 17$$

$$\begin{array}{r} 23 \\ \times 16 \\ \hline 138 \\ 460 \\ \hline 368 \end{array}$$



$$\begin{array}{r} 272 \\ \times 102 \\ \hline 544 \\ 2720 \\ \hline 27704 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3,1 \\ \times 3,1 \\ \hline 9,61 \end{array}$$



$$60 = 6 \cdot \frac{2}{3} = 4$$



$$60 = 6 \cdot \frac{2}{3} = 4$$

$$200 \beta = \frac{a}{v} \rightarrow a = v \cdot \frac{1}{3}$$

$$6 = \sqrt{v^2 - a^2} = v \sqrt{1 - \frac{1}{9}} = v \cdot \frac{2\sqrt{2}}{3}$$

$$6 = v \cdot k$$

$$36 = k^2 a^2 + k^2 b^2$$

$$\rightarrow E_k \approx 1,3 \cdot \frac{qQ}{\epsilon_0 \epsilon}$$



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

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

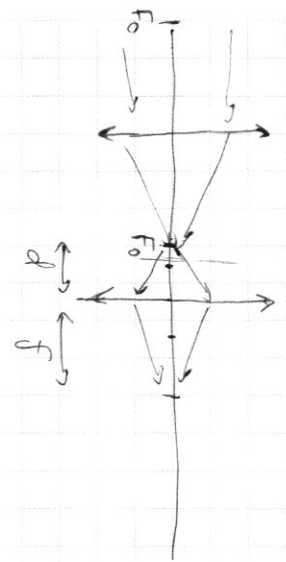
ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



$$d = 1.5 F_0 - F_0 = \frac{1}{2} F_0$$

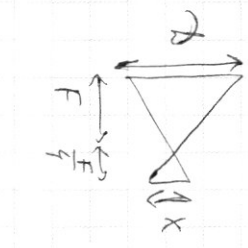
$$\frac{1}{F_0/3} = \frac{3}{F_0} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

$$\frac{3}{F_0} = \frac{2}{F_0} + \frac{1}{f} \rightarrow$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F_0} \rightarrow f = F_0$$

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

$$P = \frac{W}{T}$$



$$x = \frac{D}{4}$$

$$u = \frac{x}{R} = \frac{D}{4R}$$