



46-73-20-15
(64.29)



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант 1

Место проведения МОСКВА
город

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников Ломоносов
наименование олимпиады

по ФИЗИКЕ
профиль олимпиады

Козловского Николая Вячеславовича
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

Дата

«21» февраля 2020 года

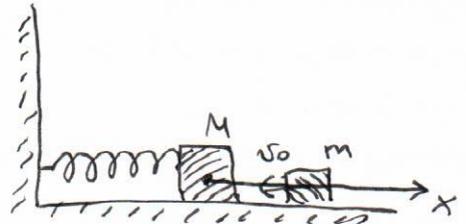
Подпись участника

46-73-20-15
(64,29)

Черновик
Числовик

Задача 1.1.1

Пусть после столкновения скорости брусков m и M равны v_1 и v соответственно. По закону сохранения импульса и закону сохранения энергии:



$$\begin{cases} m v_0 = m v_1 + M v & (1) \\ \frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v_1^2}{2} + \frac{M v^2}{2} & (2) \end{cases}$$

Выразим v_1 из (1) и подставим в (2):

$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{M v^2}{2} + \frac{(m v_0 - M v)^2}{2m}$$

$$M v^2 - 2 m v_0 v + \frac{m^2 v^2}{m} = 0 \quad | : M v$$

$$v - 2 v_0 + \frac{M v}{m} = 0$$

$$v = \frac{2 v_0}{\frac{M}{m} + 1} = \frac{2 m v_0}{M + m}$$

Тогда из (1): $v_1 = v_0 - \frac{M}{m} v = v_0 \frac{M - m}{M + m}$

Введём систему координат так, что начало координат — по центру бруска M в момент столкновения, а ось x направлена вдоль движения бруска m после столкновения (см. рис.).

Уравнение движения бруска M : $x = -A \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t$; его скорость $v(t) = x'(t) = -\sqrt{\frac{k}{m}} A \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t$ и $v_{max} = v = \frac{2 m v_0}{M + m} = A \sqrt{\frac{k}{m}}$

Тогда $A = \frac{2 m v_0}{M + m} \sqrt{\frac{m}{k}}$. Через время $t = \frac{7}{12} T$ брусок M будет в точке с координатой $x_1 = -A \sin \left(\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t \right) = \frac{2 m v_0}{M + m} \sqrt{\frac{m}{k}} \cdot \sin \left(\frac{1}{12} \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot \frac{7}{12} \cdot 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \right)$

За это время брусок m пройдёт то же расстояние x_1 , т.е. $v_1 \cdot \frac{7}{12} T = \frac{M - m}{M + m} v_0 \cdot \frac{\pi \cdot 7}{12} \sqrt{\frac{m}{k}} = \frac{2 m v_0}{M + m} \sqrt{\frac{m}{k}} \cdot \sin \left(\frac{1}{12} \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot \frac{7}{12} \cdot 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \right) = x_1$

Отсюда $\frac{7}{6} \pi (M - m) = 2 m \cdot \frac{1}{2}$

$$n = \frac{M}{m} = 1 + \frac{6}{7\pi} \approx 1,27$$

Ответ: ~~1,27~~ 1,27

15

Вопросы к 1.1.1:

- 1) Импульс материальной точки \vec{p} - векторная величина, равная произведению m и \vec{v} , где m и \vec{v} - масса и скорость частицы соответственно.
- 2) Импульс системы материальных точек \vec{P} есть сумма импульсов всех мат. точек этой системы: $\vec{P} = \sum_{i=1}^n \vec{p}_i$.
- 3) СИ: Импульс системы мат. точек, действие внешних сил на которую скомпенсировано или отсутствует, есть постоянная величина.

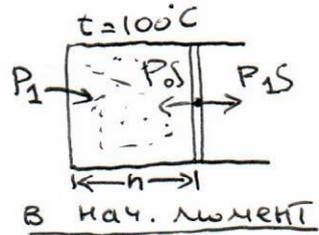


Задача 2.4.1



Рассмотрим равновесие поршня в нач. моменте:

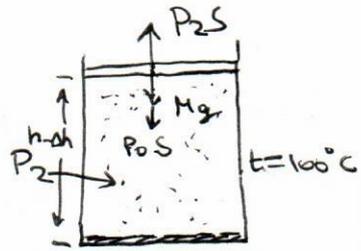
по II 3-му Нютона $P_0 S = P_1 S$
 внешнее давление среды $P_0 = P_1 = \frac{RT}{hS} (V_{возг} + V_{вод1})$ (1)
 (из ур-я Менделеева-Клапейрона)



Равновесие поршня в верт. состоянии:

$$Mg + P_0 S = P_2 S$$

$$Mg + \frac{RT}{h} (V_{возг} + V_{вод1}) = \frac{RT}{h-\Delta h} (V_{возг} + V_{вод2}), (2)$$



(давление $P_2 > P_1$; кол-во газа уменьшилось, поэтому объём также уменьшился).

Также, поскольку $P = 373 \text{ К} = \text{const}$ - давление

Из (1): $(V_{возг} + V_{вод1}) = \frac{h S P_0}{RT} = x$

Из (2): $(V_{возг} + V_{вод2}) = \frac{h-\Delta h}{RT} (Mg + \frac{RT}{h} x) = y$

Кол-во конденсировавшегося пара: $\Delta V = x - y =$
 $= \frac{h S P_0}{RT} - \frac{h-\Delta h}{RT} (Mg + S P_0) = \frac{\Delta h S P_0 - Mg(h-\Delta h)}{RT}$

Масса конденсировавшейся воды $\Delta m = M \Delta V =$

$$= \frac{M}{RT} (\Delta h S P_0 - Mg(h-\Delta h)) = \frac{0,018}{8,3 \cdot 373} (50 - 30) \approx 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ кг} = 0,12 \text{ г.}$$

Ответ: 0,12 г.

46-73-20-15
(64.29)

Вопросы к 2.4.1:

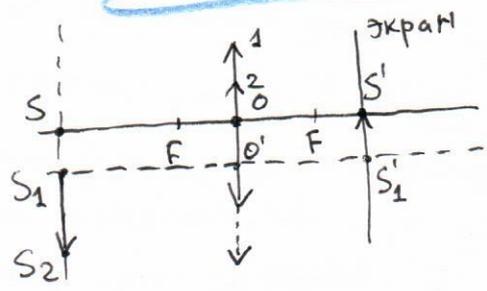
- 1) Насыщенный пар — пар, находящийся в ~~не~~ равновесии термодинамическом равновесии со своей жидкостью. +
- 2) С ростом температуры давление ρ и плотность нас. пара ~~так~~ увеличиваются.

$10 = \frac{1}{b} + \frac{1}{25}$
 $\frac{1}{10} = \frac{1}{b} + \frac{1}{25}$

$\frac{1}{f} = \frac{1}{10} - \frac{1}{25} = \frac{5}{50} - \frac{2}{50} = \frac{3}{50}$
 $f = \frac{50}{3} \approx 16.7$
 $\frac{1}{d} = \frac{1}{3.75} - \frac{1}{3} = \frac{2}{3.75} - \frac{1}{3} = \frac{2}{3}$

Задача 4.10.1

Найдём увеличение линзы $K = \frac{b}{d}$, где b — расстояние от линзы до изображения предмета. По формуле тонкой собирающей линзы:



$$\frac{1}{d} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \rightarrow b = \frac{1}{\frac{1}{f} - \frac{1}{d}} = \frac{df}{d-f}; K = \frac{b}{d} = \frac{f}{d-f} = \frac{10}{15} = \frac{2}{3} \quad (+)$$

~~Изображение~~ После смещения линзы из положения 1 в положение 2 её оптическая ось ~~SS'~~ сместилась в ось S_1S_1' . Если ~~переместить источник в т. S2~~, то при перемещении источника в т. S_2 ^{его} изображение в смещённой линзе попадет в S_1' , то $\frac{S_1'S_1}{S_2S_1} = K = \frac{2}{3}$, но $S_1'S_1 = 3$ см по условию, значит $S_2S_1 = \frac{3}{2} S_1'S_1 = 4.5$ см, а искомое расстояние $L = SS_2 = SS_1 + S_1S_2 = 3 + 4.5 = 7.5$ см.

Ответ: 7,5 см. (+)

Вопросы к 4.10.1:

- 1) Формула тонкой линзы: $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$, где a — расстояние от источника до плоскости линзы, b — расстояние от изображения источника — | | —, F — фокусное расстояние (если изображение мнимое, но перед $\frac{1}{b}$ будет стоять минус).
- 2) Увеличение линзы $K = \frac{b}{a}$ (от — размер изображения к размеру объекта).

Задача 3.7.1

ЧИСТОВУК

Если n - частота кадров в секунду, то $\frac{1}{n}$ - ~~длина~~ время между съемкой соседних кадров. Максимальное n (и минимальное $\frac{1}{n}$) достигается тогда, когда за



$t = \frac{1}{n}$ на кадре буковка переходит в соседнюю ей. Тогда период обращения кольца $T = \frac{100}{n} = \frac{2\pi}{\omega}$;

$\omega = \frac{2\pi n}{100}$ (4). Будем считать кольцо контуром, содержащим свободные заряды, способным создавать индукционный ток.

Пусть при выключении магнитного поля в нем возникла ЭДС \mathcal{E} . Тогда работа по разгону буковки ~~за 1 кадр~~ $A_p = q\mathcal{E} = \frac{mv^2}{2}$. Отсюда $\omega = \frac{v}{R} = \sqrt{\frac{2q\mathcal{E}}{mR}}$, где R - радиус кольца.

$|\mathcal{E}| = \left| -\frac{d\Phi}{dt} \right| = \frac{B_0 S}{t}$. Характерное время выключения $t = \frac{1}{n}$

тогда $\omega = \sqrt{\frac{2qB_0 S n}{m}} = \sqrt{\frac{2qB_0 S \cdot 2\pi R^2 n}{m}} = \sqrt{\frac{2qB_0 \pi n}{m}}$. Подставляя

в (1), получаем: $\frac{2\pi n}{100} = \sqrt{\frac{2qB_0 \pi n}{m}}$

$$\frac{4\pi^2 n^2}{10000} = \frac{2qB_0 \pi n}{m}$$

$$n = \frac{10000 \cdot qB_0 \pi}{2\pi m} \approx 1590 \text{ кадров/с}$$

ОТВЕТ: 1590 кадров/с.

Вопросы к 3.7.1:

1) Магнитный поток $\Phi = \oint (\vec{B} \cdot d\vec{S})$, где $d\vec{S}$ - вектор, равный численно площади участка ∇ (приблизительно плоского), направленный перп-но плоскости, в которой он лежит. \vec{B} - вектор магнитной индукции в данной на данном участке.

2) Э/м индукция - явление возникновения тока в замкнутом проводящем контуре при изменении магн. потока, пронизывающего этот контур.

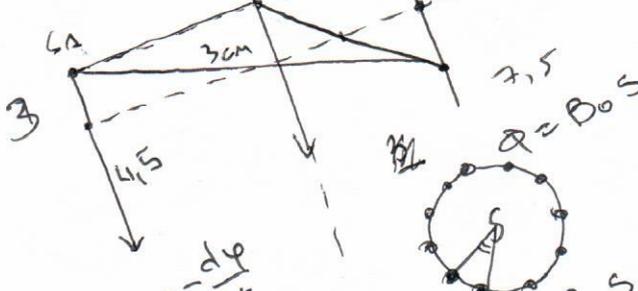
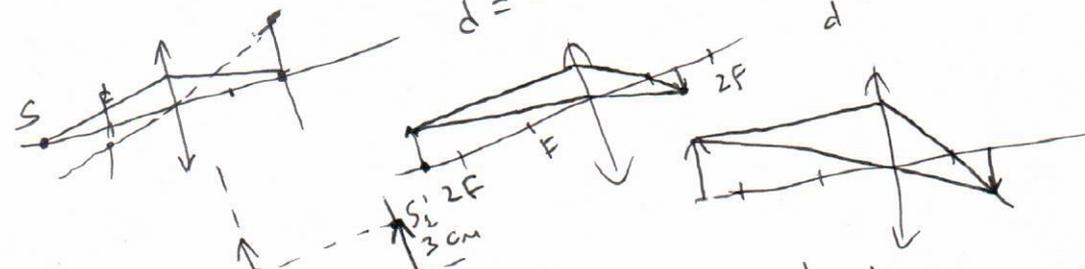
ЧЕРНОВИК



$r = 100$
 $h_1 = 10 \text{ мкГ}$
 $q = 10^{-7} \text{ Кл}$

$B = 100 \text{ Тл}$

$F = 10 \text{ см}$
 $d = 25 \text{ см}$

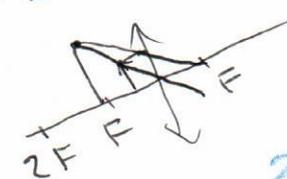


$\frac{1}{d} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$
 $b = \frac{1}{\frac{1}{f} - \frac{1}{d}} = \frac{df}{d-f}$
 $\frac{b}{d} = \frac{f}{d-f} = \frac{10}{15} = \frac{2}{3}$
 $\epsilon = -\frac{d\phi}{dt} = q \epsilon = \frac{m v^2}{2}$

$\epsilon = -\frac{d\phi}{dt}$
 $\frac{d\phi}{dt} = \dots$
 $B_0 S$
 $\frac{d}{dt}$
 h на расстоянии B сечень
 $\frac{1}{n}$ секунда - 1 шаг
 $\frac{100}{n}$ - время оборота кольца
 $\frac{1}{n}$ время сечения 1 шаг

$\epsilon = IR$
 $\frac{dq}{dt} R$
 $\epsilon = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{S dB}{dt}$
 $\epsilon q = -\frac{q S dB}{dt} = -\frac{q S B_0}{dt}$
 $q \epsilon = \frac{m v^2}{2}$
 $\epsilon = -\frac{d\phi}{dt} = \frac{B_0 S}{dt}$
 $\frac{d\phi}{dt} = \frac{d(LI)}{dt} = \frac{L dI}{dt}$

$n = \frac{100 \omega}{2\pi} = \frac{\omega}{2\pi}$
 $\omega = \frac{v}{R} = \frac{\sqrt{\frac{2q\epsilon}{m}}}{R}$
 $\approx \frac{100 \sqrt{\frac{2q\epsilon}{m}}}{2\pi R}$
 $\frac{d\phi}{dt} = \epsilon$
 $q U t = B \cdot k_1 = q U$
 $B \cdot k_1 = B \cdot A \cdot C = A \cdot C$
 $t = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$
 $\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$
 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$



ЧЕРМОВИК



$$\frac{1}{n} \cdot 100 = T = \frac{2\pi}{\omega} \quad \omega = \frac{2\pi n}{100} = \frac{v}{R}$$

$$LI^2$$

$$B_0 \pi R^2$$

$$\mathcal{E} = \frac{d\Phi}{dt}$$



$$\Delta\Phi = \Delta(BS)$$

$$\Delta\Phi = \mathcal{E} \Delta t$$

$$I = \frac{d\Phi}{dt} \cdot \frac{1}{R} = \frac{Nq\omega}{2\pi} = \frac{Nq\omega}{2\pi}$$

$$= \frac{m v^2}{2} \cdot \frac{1}{R}$$

$$S \frac{dB}{dt}$$

$$\int 2dt = B_0 S$$

$$B_0 S = \mathcal{E} t$$

$$B_0 S^2 = \mathcal{E}^2 t^2$$

$$\frac{B_0 S^2}{2\Phi} = BS$$

$$B_0 S n \int d\Phi$$



$$\mathcal{E} = \frac{S dB}{dt}$$

$$\int qE$$

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

$$I R t = -d\Phi$$

$$v = \sqrt{\frac{2qE}{m}}$$

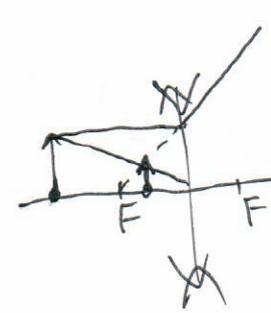
$$\omega = \sqrt{\frac{2qE}{m}} = \sqrt{\frac{2qB_0 \pi R^2 n}{m R}} = \sqrt{\frac{2qB_0 \pi n}{m}}$$

$$\frac{2qB_0 \pi n}{m} = \frac{q \pi^2 n^2}{10000}$$

$$n = \frac{10000}{2 \cdot 10000 \cdot 10^{-7} \cdot 100}$$

$$10^7 \cdot 10000 \cdot 100 = 10^{12}$$

$$10^{12} \cdot 3,14 = 3,14 \cdot 10^{12}$$



$$\frac{10000000 \cdot 628}{628} = 159 \text{ kV}$$

$$\frac{10000 \cdot 10^7 \cdot 100}{6,28 \cdot 10^4 \cdot 10^7}$$

$$\Phi = -\int E dr$$

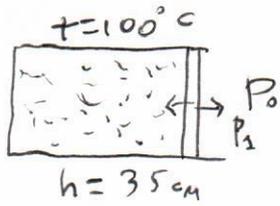
$$\frac{d(BS)}{dt} \cdot q = \frac{m v^2}{2}$$

$$\frac{dB}{dt} \cdot q S = \frac{m v^2}{2}$$

$$q S dB = \frac{m v^2}{2} dt$$

$$q S B_0 =$$





$\Delta h = 5 \text{ cm}$



$$\frac{Mg}{S} + P_0 = P_2$$

$$\frac{Mg}{S} + \frac{RT(\nu_{\text{Bo3}} + \nu_{\text{Bo2}})}{hS} = \frac{RT(\nu_{\text{Bo3}} + \nu_{\text{Bo2}})}{(h-\Delta h)S}$$

$$P_0 = P_2 = \frac{RT(\nu_{\text{Bo3}} + \nu_{\text{Bo2}})}{hS}$$

$$P = \frac{RT(\nu_1 + \nu_2)}{V}$$

$$PV = \nu RT$$

$$\frac{\nu_{\text{Bo3}} RT}{hS} = \frac{\nu_{\text{Bo2}} RT}{(h-\Delta h)S}$$

$$\nu_{\text{Bo3}}(h-\Delta h) = \nu_{\text{Bo2}} h$$

$$Mg + \frac{RT}{h}(\nu_{\text{Bo3}} + \nu_{\text{Bo2}}) = \frac{RT}{h-\Delta h}(\nu_{\text{Bo3}} + \nu_{\text{Bo2}})$$

$$\frac{RT(\nu_{\text{Bo3}} + \nu_{\text{Bo2}})}{hS} =$$

$$PV = \nu RT$$

$$RT \left(\frac{\nu_{\text{Bo3}} + \nu_{\text{Bo2}}}{h-\Delta h} - \frac{\nu_{\text{Bo3}} + \nu_{\text{Bo2}}}{h} \right) = Mg$$

$$= \frac{30 \cdot 11}{22} = 0,2727$$

$$P_{\text{atm}}(h-\Delta h) = \nu_{\text{Bo2}} RT$$

$$\nu_{\text{Bo2}} =$$

$$RT \left(\frac{h\nu_{\text{Bo3}} + \nu_{\text{Bo2}}}{h(h-\Delta h)} - \frac{h\nu_{\text{Bo3}} + \nu_{\text{Bo2}}}{h^2} \right) = Mg$$

$$\frac{\nu_{\text{Bo2}} RT}{(h-\Delta h)S} = P_0$$

$$\nu_{\text{Bo2}} = \frac{P_0 S (h-\Delta h)}{RT}$$

$$RT (h\nu_{\text{Bo3}} - (h-\Delta h)\nu_{\text{Bo3}})$$

$$Mg + \frac{RT}{h} \cdot hSP_0 = \frac{RT}{h-\Delta h} (hSP_0 - \Delta h SP_0)$$

$$P_{\text{atm}} = \frac{\nu_{\text{Bo2}} RT}{(h-\Delta h)S}$$

$$\nu_{\text{Bo3}} - \nu_{\text{Bo2}} =$$

$$\frac{1}{RT} (hMg - \Delta h Mg + hSP_0 - \Delta h SP_0) = \frac{hSP_0}{RT} - \frac{h-\Delta h}{RT} (Mg + P_0 S)$$

$$\Delta h (Mg + SP_0) - hMg = hSP_0 - \frac{h-\Delta h}{RT} (Mg + P_0 S)$$

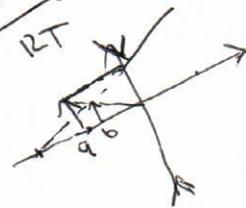
$$= \frac{\Delta h SP_0 - Mg(h-\Delta h)}{RT}$$

$$50 - 50 \cdot (0,05 - 0,05) = 50$$

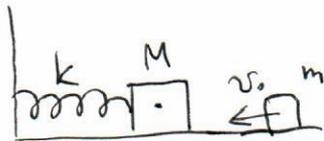
$$\frac{1}{9} - \frac{1}{10} = \frac{1}{90}$$

$$1 + \frac{6}{7,314}$$

$$\frac{6}{21,6822} = \frac{3}{11}$$



уирчээх болговт



$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k}}$$

$$m v_0 + M v =$$

$$= m v_0^2 - 2mMv_0v + M^2v^2$$

$$mMv_0 v^2 (M^2 + mM) = 2mMv_0$$

$$v = \frac{2mMv_0}{M^2 + mM} = v_1 = v_0 - \frac{M}{m}v =$$

$$x = A \cos \omega t$$

$$x = A \sin \omega t$$

$$v = A \omega \cos \omega t$$

$$v$$

$$\frac{1}{12}$$

$$= v_0 - \frac{M}{m} \cdot \frac{2mMv_0}{M^2 + mM} =$$

$$= v_0 - \frac{2Mv_0}{M+m} = v_0 \frac{M-m}{M+m}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{M}}$$

$$A = \frac{v_{max}}{\omega} =$$



$$A = \frac{2m v_0 \sqrt{\frac{m}{k}} \sin \frac{\pi}{12} \sqrt{\frac{k}{M}}}{M+m} =$$

$$= v_1 \cdot \frac{1}{12} \cdot 7$$

$$\frac{\sqrt{k}}{2\pi} =$$

$$\frac{2\pi}{6} = T$$



$$\cos = v_1 \cdot \frac{2\pi \sqrt{m}}{12} \cdot 7 =$$

$$= v_0 \frac{M+m}{M+m} \cdot \frac{7}{6} \pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$2m \sin \frac{1}{12} \sqrt{\frac{k}{m}} = (M+m) \cdot \frac{7}{6} \pi$$

$$\frac{7}{6} \pi (M-m) = m$$

$$\frac{100}{83} \frac{1201}{1201} \frac{169}{106} p. =$$

$$\frac{0,018 \cdot 20}{8,3 \cdot 373} =$$

$$= \frac{0,360,002}{9,3 \cdot 373} \frac{100}{83}$$

$$\frac{6}{7\pi} = \frac{M-1}{m}$$