



80-54-44-70
(06.4)



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант 3

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников Ломоносов

по физике

Емсева Армена Вячеславовича
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

Вход 16²⁸ - 16³⁰ М

Оценки 17:17

Дата

«21» февраля 2020 года

Подпись участника

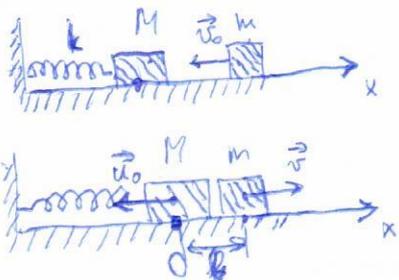
Емсева

+1 балл Мамба

80-54-44-70
(66.4)

Черновик

1.1.3



$$\begin{cases} -mv_0 = -Mu_0 + mv \\ \frac{mv_0^2}{2} = \frac{Mu_0^2}{2} + \frac{mv^2}{2} \\ m(v_0^2 - v^2) = Mu_0^2 \\ m(v_0 + v) = Mu_0 \\ v_0 - v = u_0 \end{cases}$$

~~$-mv_0 = -Mu_0 + mv$~~ , ~~$v_0 - v = u_0$~~

~~$-mv_0 = -Mv_0 + Mv + mv$~~

~~$v = v_0 \cdot \frac{M-m}{M+m}$~~

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

Найдем амплитуду кол:

$$\frac{Mu_0^2}{2} = \frac{kA^2}{2}$$

$$A = \frac{M}{k} u_0$$

$$A = u_0 \sqrt{\frac{M}{k}}$$

$T = \frac{2\pi}{\omega}; \omega = \frac{2}{3}T \Rightarrow \frac{2}{3} \cdot \frac{2\pi}{\omega} = \frac{4\pi}{\omega} = \frac{4\pi}{3}$

~~$x(t) = -A \cdot \sin(\omega t)$~~

~~$x_m(t) = l + vt$~~

~~$x_m(\frac{2T}{3}) - x(\frac{2T}{3}) = l$~~

~~$l + \frac{2}{3}T \cdot v + A \cdot \sin(\omega \cdot \frac{2T}{3}) = l$~~

~~$\frac{4\pi}{3} \cdot \sqrt{\frac{M}{k}} \cdot v + u_0 \cdot \sqrt{\frac{M}{k}} \cdot \sin(\frac{4\pi}{3}) = 0 \quad | : \sqrt{\frac{M}{k}} \Rightarrow \sin \frac{4\pi}{3} = -\frac{2\sqrt{3}}{2}$~~

~~$\frac{4\pi}{3} v = u_0 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$~~

~~$v = \frac{3\sqrt{3}}{8\pi} u_0$~~ ~~$v_0 = \frac{3\sqrt{3}}{8\pi} (v_0 - v)$~~

~~$v + \frac{3\sqrt{3}}{8\pi} v = \frac{3\sqrt{3}}{8\pi} v_0$~~

~~$(8\pi + 3\sqrt{3})v = 3\sqrt{3}v_0$~~

~~$v = \frac{3\sqrt{3}}{8\pi + 3\sqrt{3}} v_0 = v_0 \cdot \frac{M-m}{M+m} = v_0 \cdot \frac{\frac{M}{k} - 1}{\frac{M}{k} + 1} = v_0 \cdot \frac{n-1}{n+1}$~~

~~$n-1 = B \cdot n + B, B = \frac{3\sqrt{3}}{8\pi + 3\sqrt{3}}$~~

~~$n(n+B) = B+1, n = \frac{B+1}{1-B} = \frac{8\pi + 8\pi}{8\pi} = \frac{3\sqrt{3} + 1}{4\pi}$~~

88
 8 15
 8 14
 3 15
 10 15
 T 3

Черновики

Потенциальная энергия - это работа потенциальной силы по перемещению тела в точку с нулевым потенциалом.

$$E_n = \int A_{F_n} = \int \vec{F}_n \cdot d\vec{r}, \text{ где } \vec{r} - \text{вектор, соединяющий с началом в точке с нулевым потенциалом и концом в теле.}$$

Если поле потенциальной силы однородно, то формула принимает вид:

$$E_n = F_n \cdot r, \text{ где } r - \text{расстояние между телом и точкой с нулевым потенциалом.}$$

Вблизи поверхности Земли ~~равномерно~~ поле силы тяжести можно считать однородным. Считая, что на поверхности Земли потенциал равен нулю (нулевой потенциальный уровень), получаем:

$$E_n = mgh, \text{ где } m - \text{масса тела, } h - \text{высота над поверхностью Земли.}$$

Для деформированной пружины: $\int -kx dx = -\frac{kx^2}{2} \Big|_x^0 = -\frac{k \cdot 0}{2} + \frac{kx^2}{2} = \frac{kx^2}{2}$

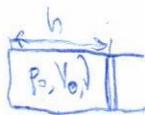
$$E_{упр} = \int_x^0 F_{упр} dx = \int_x^0 -kx \cdot dx = \frac{kx^2}{2}, \text{ где } k - \text{коэффициент упругости пружины, } x - \text{ее деформация.}$$

$$E_n = mgh, \quad E_{упр} = \frac{kx^2}{2}$$

2.4.3.

Температура кипения - температура, при которой ~~вещь~~ жидкость начинает переходить в газообразное состояние.

При увеличении давления температура кипения увеличивается.

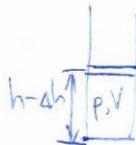


$$p_0 V_0 = \nu R T$$

$$p_0 S h = \nu R T$$

$$V_0 = \frac{p_0 S h}{R T}$$

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho}$$



$$p V = \nu R T$$

$$p = p_0 + \frac{M g}{S}, \quad V = (h - \Delta h) S,$$

$$V_0 = \frac{p_0 S h}{R T} \quad V = V_0 - \Delta V$$

$$(p_0 + \frac{M g}{S})(h - \Delta h) S = (V_0 - \frac{\Delta m}{\rho}) R T$$

$$(p_0 S + M g)(h - \Delta h) = (V_0 - \frac{\Delta m}{\rho}) R T$$

~~Mg~~

$$M = \frac{(\frac{p_0 S h}{R T} - \frac{\Delta m}{\rho}) R T}{h - \Delta h} = p_0 S$$

Черновик

$$M = \frac{\rho_0 S h - \frac{\Delta m R t}{M} - \rho_0 S h + \rho_0 S a h}{(h - \Delta h) g} = \frac{\rho_0 S a h = \frac{\Delta m R t}{M}}{g(h - \Delta h)}$$

$$M = \frac{10^5 \cdot 10^{-2} \cdot 5 \cdot 10^{-2} - \frac{10^{-4} \cdot 8,33 \cdot 373}{18 \cdot 10^{-3}}}{10 \cdot 30 \cdot 10^{-2}} = \frac{50 - \frac{8,3 \cdot 373 \cdot 10^{-1}}{18}}{3} = \frac{590,41}{54} \approx 10,934$$

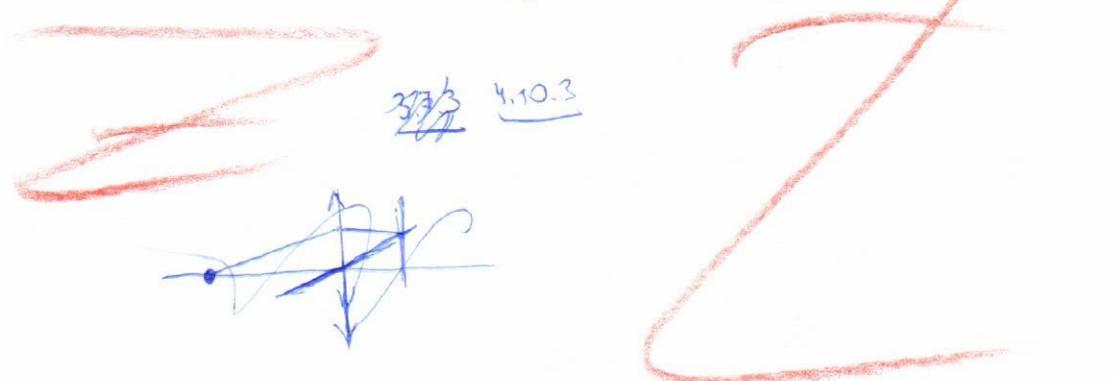
3 · 18 = 54

$$\begin{array}{r} 373 \\ 0,83 \\ \hline + 1119 \\ 2984 \\ \hline 309,59 \end{array}$$

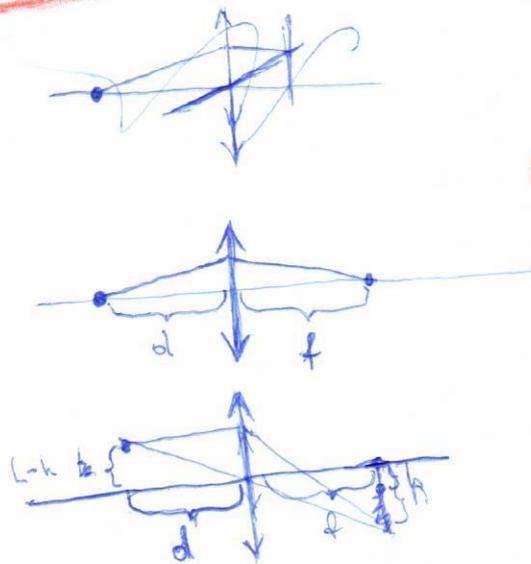
$$\begin{array}{r} 8,33 \\ \times 18 \\ \hline 150 \\ 900 \\ \hline 90000 \\ - 309,59 \\ \hline 590,41 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 590,41 \\ 54 \overline{) 10,933...} \\ \underline{- 504} \\ 181 \\ \underline{- 162} \\ 180 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 54 \\ \times 9 \\ \hline 486 \\ \times 54 \\ \hline 162 \end{array}$$

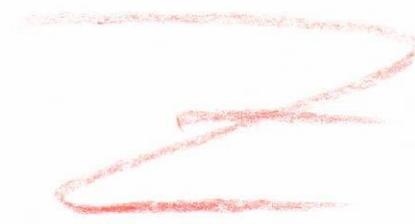


~~373/3~~ 4,10.3



$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$$

$$f = \frac{1}{\frac{1}{F} - \frac{1}{d}} = \frac{F \cdot d}{d - F}$$

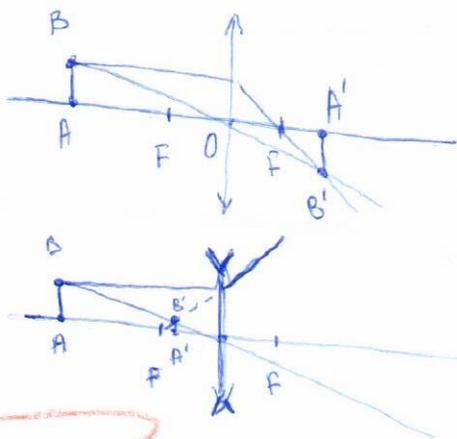


$$\frac{L-h}{d} = \frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d}$$

$$\frac{1}{F} - \frac{1}{d} = \frac{L-h}{d \cdot F}$$

$$F = \frac{1}{\frac{L-h}{d \cdot F} + \frac{1}{d}} = \frac{hd}{L} = \frac{2 \cdot 24}{6} = 8 \text{ cm}$$

Черновик



AMM 3.7.3

Угловая скорость

$$L \propto \frac{B}{v}$$

$$\frac{LI^2}{2} = E$$

$$L = \frac{2E}{I^2}$$

$$[L] = \left[\frac{Dm}{A^2} \right] = \left[\frac{H \cdot m \cdot c^2}{Ka^2} \right] = \left[\frac{A^2 \cdot \mu_m \cdot c}{A^2} \right] = [\mu_m c]$$

$$B = \frac{I \cdot [l \times dl]}{r^3} = \frac{I l}{r^2} \rightarrow A$$

$$[B] = \left[\frac{A \cdot m}{m^2} \right] = \left[\frac{A}{m} \right]$$

$$\int_{\Sigma} \vec{j} \cdot d\vec{l} = - \frac{dL}{dt}$$

$$E_0 N = m \frac{dv}{dt}$$

$$[P] = [T_m \cdot m^2]$$

$$[L] = [P] = [T_m \cdot m^2]$$

$$[L] = \left[\frac{Dm \cdot c}{A^2} \right] = \left[T_m \cdot m^2 \cdot \frac{m}{A} \cdot \frac{1}{m^2} \cdot \frac{Dm}{A^2} \right] =$$

$$\left[\frac{Dm \cdot c}{A^3} \right] = \left[\frac{B \cdot Ka \cdot c^3}{Ka^3} \right] = \left[\frac{Bc^3}{Ka^2} \right]$$

$\times 314$
 $\frac{32}{628}$
 $\frac{342}{3848}$

$$E = - \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{dB}{dt} \cdot \pi R^2$$

$$E = E_{0l} = E \cdot 2\pi R$$

$$\frac{dB}{dt} \cdot \pi R^2 = E \cdot 2\pi R$$

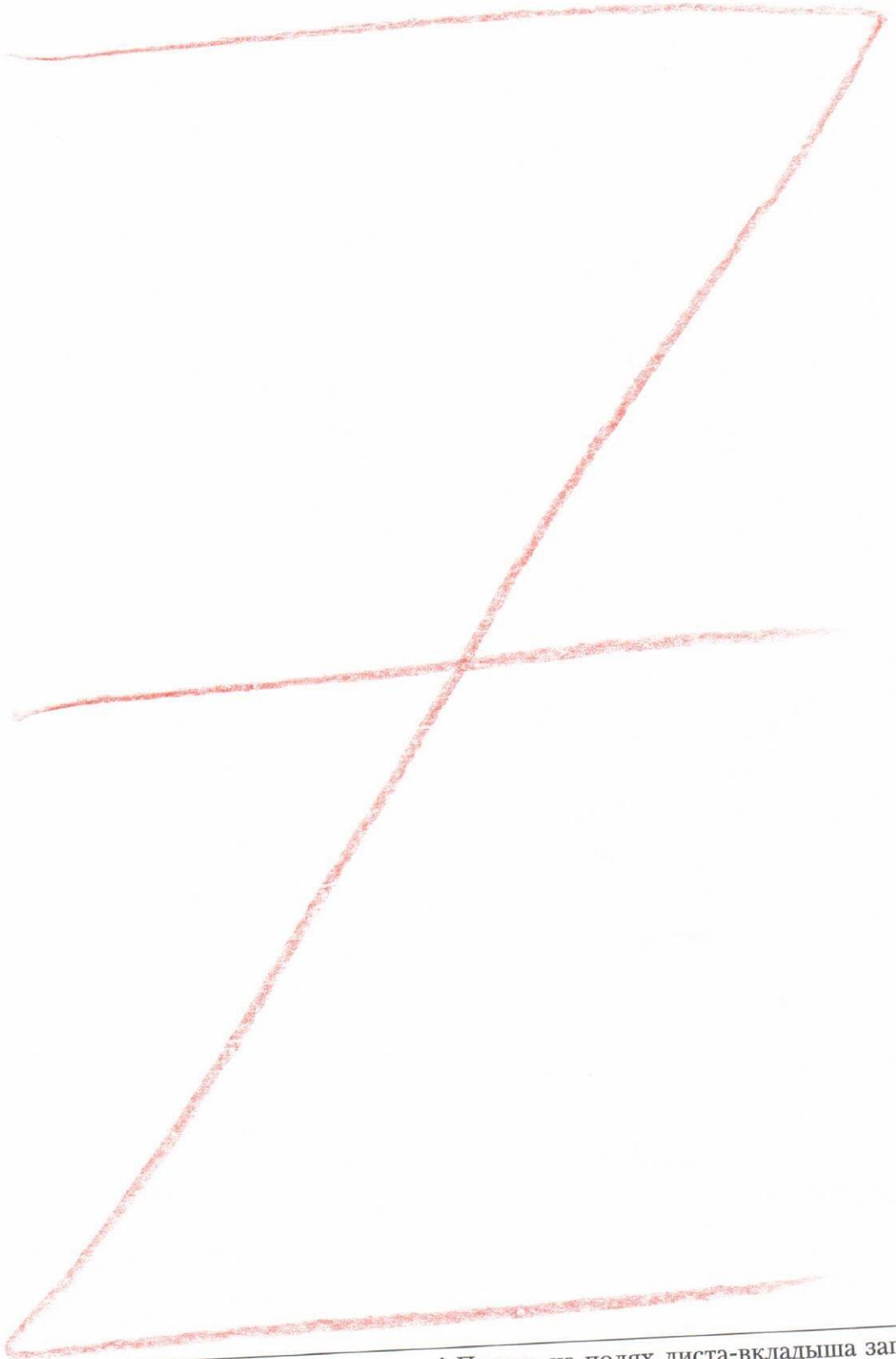
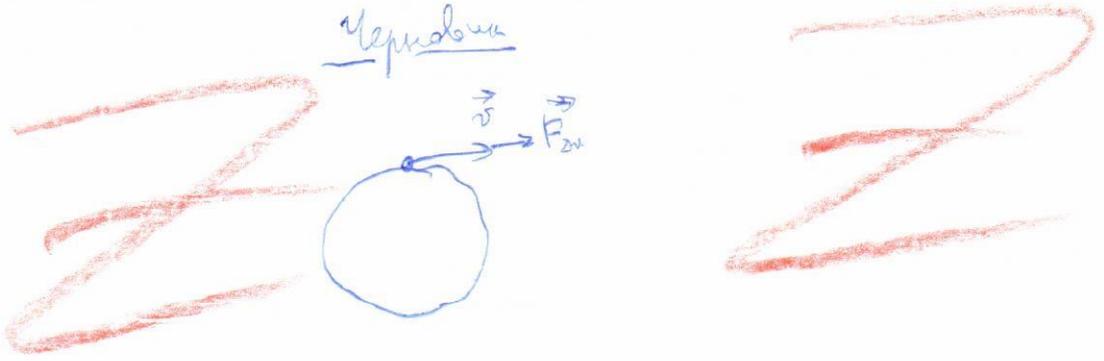
$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{\nu}$$

$$\omega = 2\pi\nu$$

$$E = \frac{R}{2} \cdot \frac{dB}{dt}$$

80-54-44-70
(66.4)

Черновик



Подписывать лист-вкладыш запрещается! Писать на полях листа-вкладыша запрещается!

Числовые

3.7.3

Внимание

Вопрос:

ЭДС самоиндукции равна $\mathcal{E}_s = - \frac{dI}{dt} L$, где L - индуктивность проводника

Индуктивность - характеристика проводника, зависящая от скорости изменения тока в нем. Измеряется в Гн (Генри)

$\Phi = LI$



Дано:

- $\omega = 10 \text{ рад/с}$
- $q = 10^{-7} \text{ Кл}$
- $B_0 = 100 \text{ Тл}$
- $n = 8 \text{ колеб/с}$

$N_{\text{min}} = ?$

①

Число
Пусть ν - частота вращения кольца.
Чтобы вращение кольца оставалось невозвратным, необходимо:
 $\nu = n \cdot k, k \in \mathbb{Z} (k \neq 0, \text{н.к. колеба вращения})$

② Уменьшение B создает вихревое электрическое поле \vec{E} .

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{dB S \cos \alpha}{dt} = - \frac{dB}{dt} S, S = \pi R^2, \text{ где } R - \text{ радиус кольца}$$

$$\mathcal{E} = - \frac{dB}{dt} \cdot \frac{1}{2} \pi R^2 \quad (1)$$

$\alpha = 90^\circ \Rightarrow \cos \alpha = 1$

Но также:

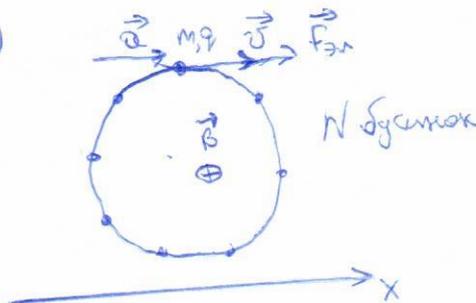
$$\mathcal{E} = E_d = E \cdot 2\pi R \quad (2)$$

③ Приравняем (1) и (2):

$$- \frac{dB}{dt} \frac{1}{2} \pi R^2 = E \cdot 2\pi R$$

$$E = - \frac{R}{2} \cdot \frac{dB}{dt} \quad (3)$$

④



5) По II закону Ньютона:

$$m\vec{a} = \vec{F}_{ЭВ}$$

$$Ox: ma = Eq = q \cdot \frac{qR}{2} \cdot \frac{dB}{dt}$$

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{qR}{2m} \cdot \frac{dB}{dt}$$

$$dv = -\frac{qR}{2m} \cdot dB$$

$$\int_0^v dv = -\frac{qR}{2m} \int_B^0 dB$$

$$v_1 = -\frac{qR}{2m} \cdot B - \text{ скорость, которую прибавим к скорости}$$

Т.к. всего частиц N , то конечная скорость v частицы:

$$v = Nv_1 = -\frac{qBRN}{2m}$$

$$v = \omega R, \quad \omega = \frac{d\varphi}{dt} = 2\pi\nu$$

$$\nu = \frac{v}{2\pi R} = -\frac{qBN}{4\pi m}$$

6)

$$\nu \sim N, \quad \nu = n \cdot k, \quad k \in \mathbb{Z}$$

Сначала, N_{\min} System при $k = -1$. ($N_{\min} > 0$)

$$\nu = n = +\frac{qBRN}{4\pi m} \cdot N_{\min}$$

$$N_{\min} = \frac{4\pi m n}{qB} \approx 100$$

7)

$$N_{\min} = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-6} \cdot 8}{10^{-7} \cdot 100} \approx \frac{32 \cdot 3,14 \cdot 10^{-1}}{1} \approx 9,848$$

$$\text{Ответ: } N_{\min} = \frac{4\pi m n}{qB} \approx 9,848$$

Числовые

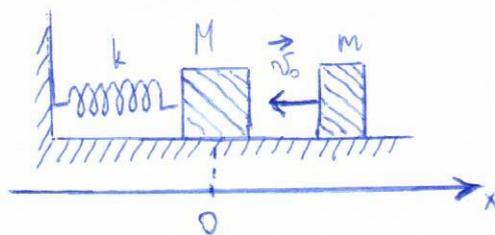
Чистовик.

1.1.3

Дано:

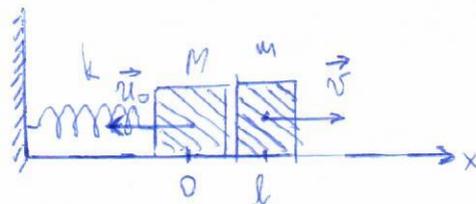
$$t_1 = \frac{2T}{3}$$

①



~~до столкновения до соударения~~

$$v = \frac{M}{m} \cdot ?$$



после удара

② Запишем закон сохранения импульса (1) и закон сохранения энергии (2):

$$\begin{cases} -mv_0 = -Mv_0 + mv & (1) \\ \frac{mv_0^2}{2} = \frac{Mv_0^2}{2} + \frac{mv^2}{2} & (2) \end{cases} \cdot 2$$

$$\begin{cases} m(v_0 + v) = Mv_0 \\ m(v_0^2 - v^2) = Mv_0^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} m(v_0 - v)(v_0 + v) = Mv_0^2 & (3) \\ m(v_0 + v) = Mv_0 & (4) \end{cases}$$

Поделим (3) на (4):

$$v_0 - v = v_0 \quad (5)$$

Подставим (5) в (4):

$$-mv_0 = -Mv_0 + Mv + mv$$

$$v(M + m) = v_0(M - m)$$

$$v = \frac{M - m}{M + m} v_0 = \frac{\frac{M}{m} - 1}{\frac{M}{m} + 1} v_0 = \frac{n - 1}{n + 1} v_0 \text{ где } n = \frac{M}{m}$$

③ Найдём амплитуду A колебаний бруска массой M после столкновения. Когда вся кинетическая энергия бруска перейдёт в потенциальную энергию деформации пружины, она ~~равна~~ деформирующая на величину A .

$$\frac{Mv_0^2}{2} = \frac{kA^2}{2}$$

$$A^2 = \frac{M}{k} v_0^2$$

$$A = v_0 \sqrt{\frac{M}{k}} \quad (8)$$

Числовые

④ Запишем уравнения движения для брусьев:

$x(t) = -A \sin(\omega t)$ - для бруса массы M (гармон. колебания)

$x_m(t) = l + vt$ - для бруса массы m ,

где l - координата бруса массы m при первом соударении.

Пусть когда брус массы M достигнет бруса массы m :

$$x_m(t_1) - x(t_1) = l$$

$$l + vt_1 + A \sin(\omega t_1) = l$$

$$v \cdot \frac{2}{3}T + A \sin(\omega \cdot \frac{2}{3}T) = 0, \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k}}, \quad A = u_0 \sqrt{\frac{M}{k}} \quad (u_0 \text{ (СИ)})$$

$$v \cdot \frac{2}{3} \cdot 2\pi \sqrt{\frac{M}{k}} + u_0 \sqrt{\frac{M}{k}} \cdot \sin(\omega \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3}) = 0 \quad | : \sqrt{\frac{M}{k}}$$

$$\frac{4\pi}{3} v + u_0 \sin(\frac{4\pi}{3}) = 0, \quad \sin(\frac{4\pi}{3}) = -\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\frac{4\pi}{3} v = \frac{\sqrt{3}}{2} u_0$$

Подставим (5):

$$\frac{4\pi}{3} v = \frac{\sqrt{3}}{2} v_0 - \frac{\sqrt{3}}{2} v$$

$$v \cdot \frac{8\pi + 3\sqrt{3}}{6} = \frac{\sqrt{3}}{2} v_0$$

$$v = \frac{3\sqrt{3}}{8\pi + 3\sqrt{3}} v_0 \quad (9)$$

⑤ На u_0 (7):

Приравняем (7) и (9):

$$\frac{3\sqrt{3}}{8\pi + 3\sqrt{3}} v_0 = \frac{n-1}{n+1} v_0 \quad | : v_0 \neq 0$$

$$n(n+1) \frac{3\sqrt{3}}{8\pi + 3\sqrt{3}} = n-1$$

$$n \cdot \left(1 - \frac{3\sqrt{3}}{8\pi + 3\sqrt{3}}\right) = \frac{3\sqrt{3}}{8\pi + 3\sqrt{3}} + 1$$

$$n \cdot \frac{8\pi}{8\pi + 3\sqrt{3}} = \frac{8\pi + 6\sqrt{3}}{8\pi + 3\sqrt{3}}$$

$$n = \frac{8\pi + 6\sqrt{3}}{8\pi} = \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} + 1$$

Ответ: $n = \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} + 1$

Чистовик

Вопрос:

Потенциальная энергия - это энергия, равная работе поперечной силы при перемещении тела в точку с нулевым потенциалом.

$$E_n = A_{F_n} = \int_z^0 F_n \cdot dz, \text{ где } z - \text{расстояние между точкой с нулевым потенциалом и телом.}$$

Вблизи поверхности Земли поле силы тяжести можно считать однородным. Считая, что на поверхности Земли потенциал равен нулю (нулевой потенциальный уровень), получим:

$$E_n = mgh, \text{ где } m - \text{масса тела, } h - \text{его высота над поверхностью Земли.}$$

Для деформирующейся пружины (в точке с нулевой деформацией потенциал равен 0):

$$E_{\text{упр}} = \int_x^0 F_{\text{упр}} dx = \int_x^0 -kx dx = -\frac{kx^2}{2} \Big|_x^0 = -\frac{k \cdot 0^2}{2} + \frac{kx^2}{2} = \frac{kx^2}{2}, \text{ где}$$

k - коэффициент упругости пружины, x - её деформация.

$$E_n = mgh, \quad E_{\text{упр}} = \frac{kx^2}{2}$$

2.4.3

Дано:

$$t = 100^\circ\text{C} = 373\text{K}$$

$$h = 35\text{cm} = 35 \cdot 10^{-2}\text{m}$$

$$\Delta h = 5 \cdot 10^{-2}\text{m}$$

$$t = \text{const}$$

$$\Delta m = 10^{-4}\text{kg}$$

$$S = 100\text{cm}^2 = 10^{-2}\text{m}^2$$

$$p_0 = 10^5\text{Pa}$$

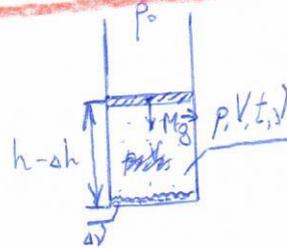
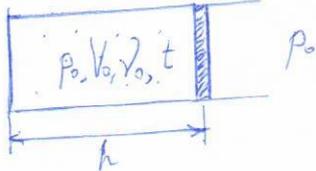
$$\gamma = 13 \frac{\text{N}}{\text{м}^3}$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$R = 8,3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$M = ?$

①



②

Из уравнения Менделеева - Клапейрона:

$$p_0 V_0 = \nu R t$$

$$\nu_0 = \frac{p_0 V_0}{R t}, \quad V_0 = S h$$

$$\nu_0 = \frac{p_0 S h}{R t} \quad (1)$$

③

$$p V = \nu R t \quad (2)$$

$\nu = \nu_0 - \Delta \nu$, где $\Delta \nu$ - кол-во конденсировавшихся молекул

$$\Delta \nu = \frac{\Delta m}{\mu} \quad (3)$$

Т.к. на газ сверху давит поршень, то:

$$p = p_0 + p_n = p_0 + \frac{M_0 g}{S} \quad (4)$$

Числовые

Подставить (3) и (4) в (2):

$$\left(p_0 + \frac{Mg}{S}\right) \cdot V = \left(p_0 - \frac{\Delta m}{\mu}\right) R t, \quad V = S(h - \Delta h)$$

Подставить (1):

$$\left(p_0 + \frac{Mg}{S}\right) \cdot S(h - \Delta h) = \left(\frac{p_0 S h}{R t} - \frac{\Delta m}{\mu}\right) R t$$

$$(p_0 S + Mg)(h - \Delta h) = p_0 S h - \frac{\Delta m R t}{\mu}$$

$$p_0 S + Mg = \frac{p_0 S h - \frac{R t}{\mu} \Delta m}{h - \Delta h}$$

$$Mg = \frac{p_0 S h - \frac{R t}{\mu} \Delta m - p_0 S (h - \Delta h)}{h - \Delta h}$$

$$M = \frac{p_0 S \Delta h - \frac{R t}{\mu} \Delta m}{(h - \Delta h) g}$$

$$\textcircled{4} \quad M = \frac{10^5 \cdot 10^{-2} \cdot 5 \cdot 10^{-2} - \frac{8,3 \cdot 373 \cdot 10^{-4}}{18 \cdot 10^{-3}}}{(35 - 5) \cdot 10^{-2} \cdot 10} \approx 10,93 \text{ кг}$$

Ответ: 10,93 кг

Вопросы:

Температура кипения — температура, ~~какая~~ при которой ~~вещ-во~~ ~~может~~ может переходить в газообразное состояние из жидкого агрегатного состояния или наоборот.

При увеличении давления температура кипения увеличивается.

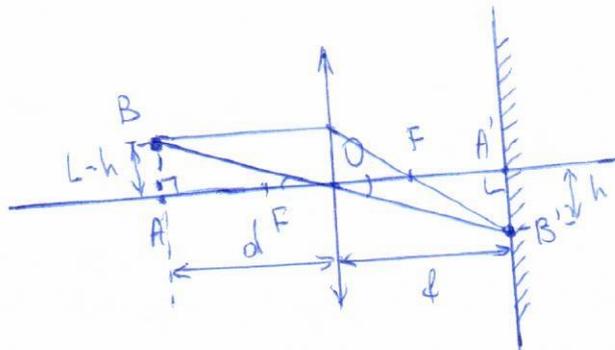
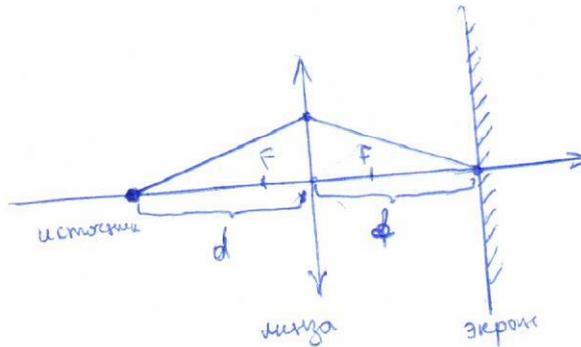
Чистовик

4.10.3

Дано: ①

$d = 24 \text{ см}$
 $L = 6 \text{ см}$
 $h = 2 \text{ см}$

$R = ?$



после перемещения

② Линзу сместим в ту же сторону, что и источник, т.к. если двигаем линзу параллельно ~~оптической~~ оптической оси, то изображение источника будет уже не на экране. Т.е. линзу двигаем вертикально. Если двигаем линзу в противоположную с источником сторону, то изображение будет еще сильнее сдвигаться в ту же сторону, что и при сдвиге источника.

③ $\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F}$

$f = \frac{1}{\frac{1}{F} - \frac{1}{d}} = \frac{F \cdot d}{d - F}$ (1)

④ $\triangle ABO \sim \triangle A'B'O$ (по 2-м углам), т.к. $\angle AOB = \angle A'O'B'$ (как вертик.), $\angle BAO = \angle B'A'O = 90^\circ$

Из подобия следует, что:

$\frac{AB}{AO} = \frac{A'B'}{A'O} \Rightarrow \frac{L-h}{d} = \frac{h}{f}$

Подставим (1):

Числовик

$$\frac{L-h}{d} = h \cdot \frac{d-F}{Fd} = h \cdot \left(\frac{1}{F} - \frac{1}{d} \right)$$

$$\frac{1}{F} - \frac{1}{d} = \frac{L-h}{hd}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{L-h}{hd} + \frac{1}{d} = \frac{L-h+h}{hd} = \frac{L}{hd}$$

$$F = \frac{hd}{L}$$

5) $F = \frac{2 \cdot 24}{6} = 8 \text{ см}$

Ответ: 8 см

Вопросы:

для построения изображений в линзах используются 3 правила:

- 1) луч, идущий через оптический центр линзы, не преломляется
- 2) ~~луч~~ если луч идет параллельно главной оптической оси линзы, то прямая, проходящая через перпендикулярный луч, будет содержать фокус линзы.
(или прямые, их содержащие)
- 3) Все лучи, вышедшие из источника, после преломления собираются в изображении этого источника.

