0 978288 020006
97-82-88-02
(65.11)

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант 2

Место проведения Москва
город

ДЕШИФР

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников «Ломоносов»
наменование олимпиады

по физике
профиль олимпиады

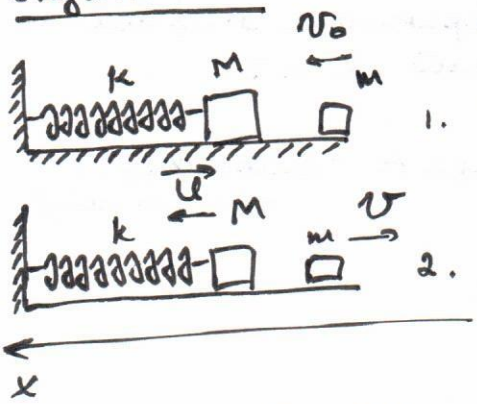
Клейменова Максима Игоревича
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

Дата
«21» февраля 2020 года

Подпись участника

97-82-88-02
(65.11)

Задача 1.1.2



Дано: M, m; $\tau = \frac{5}{8}T_0$

Найти: $n = \frac{M}{m}$

Решение:

1. по закону сохранения импульса (для состояний 1 – до столкновения и 2 – после столкновения) в проекции на ось x:

$$mv_0 = Mu - mv; \quad m(v_0 + v) = Mu.$$

2. по закону сохранения энергии для состояний 1 и 2:

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + \frac{Mu^2}{2} \Rightarrow m(v_0^2 - v^2) = Mu^2$$

	Т	З.	Под
1	10	15	[illegible]
2	8	15	[illegible]
3	10	5	[illegible]
4	8	14	[illegible]
Σ	36	49	

3. $\begin{cases} m(v_0 + v) = Mu, & (1) \\ m(v_0 + v)(v_0 - v) = Mu^2; & (2) \end{cases}$

Поделим 2е уравнение на 1е

$$v_0 - v = u$$

$$\oplus \begin{cases} mv_0 + mv = Mu, \\ mv_0 - mv = mu; \end{cases}$$

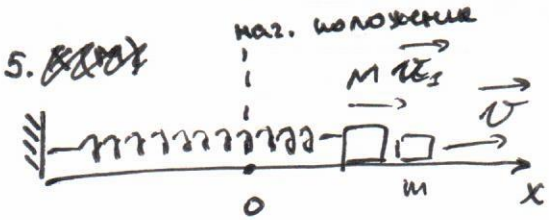
$$2mv_0 + 0 = (m+M)u \Rightarrow u = \frac{2mv_0}{m+M}.$$

$$\ominus \begin{cases} mv_0 + mv = Mu, \\ Mv_0 - Mv = Mu; \end{cases}$$

$$(m-M)v_0 + (m+M)v = 0 \Rightarrow v = \frac{M-m}{M+m}v_0.$$

85

4. Тело M совершает колебания (гармонические), период которых равен $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{M}{k}}$ (по формуле периода простейшего пружинного маятника) $\Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{k}{M}}$

5. 

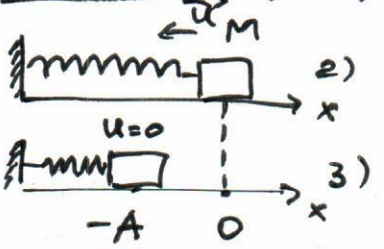
Развернув ось координат и ~~записав~~ определив точку 0 в начальном положении тела, запишем уравнение движения каждого тела

$$x_M = A \cdot \sin(\omega t - \pi)$$

т.к. координаты сначала отрицательные

$x_m = vt$ (трения нет, движется равномерно и прямолинейно)

Задача 1.1.2 (продолжение)



По закону сохранения энергии для состояний 2 и 3:

$\frac{Mu^2}{2} = \frac{kA^2}{2}$ (где A – амплитуда колебаний)

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

$x_m = u\sqrt{\frac{M}{k}} \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{k}{M}} \cdot t - \pi\right)$

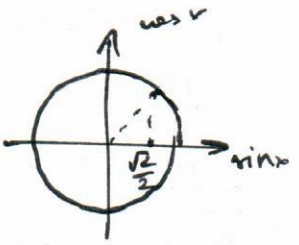
6. В момент столкновения (когда M догнал m) координаты тел равны

$x_m(\tau) = x_M(\tau)$

$v_\tau = u\sqrt{\frac{M}{k}} \cdot \sin\left(\tau\sqrt{\frac{k}{M}} - \pi\right); \quad v_\tau = -u\sqrt{\frac{M}{k}} \sin\left(\tau\sqrt{\frac{k}{M}}\right)$

7. $\tau = \frac{5}{8} \cdot 2\pi\sqrt{\frac{M}{k}} = \boxed{\frac{5}{4}\pi\sqrt{\frac{M}{k}}}$ Подставим τ

$\frac{5}{4}\pi\sqrt{\frac{M}{k}} \cdot v = -u\sqrt{\frac{M}{k}} \cdot \sin\left(\frac{5}{4}\pi\sqrt{\frac{M}{k}} \cdot \sqrt{\frac{k}{M}}\right)$



$\frac{5\pi v}{4}\sqrt{\frac{M}{k}} = u\sqrt{\frac{M}{k}} \sin\frac{\pi}{4} \quad | \cdot 4$

$5\pi v = 4u \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$

$5\pi v = 2u\sqrt{2}$. Подставим значение v и u

$5\pi \cdot \frac{M-m}{M+m} v_0 = 2 \cdot \frac{2mv_0}{M+m}\sqrt{2} \quad | \cdot \frac{M+m}{v_0}$

$5\pi \cdot (M-m) = 4m\sqrt{2}$

$5\pi M - 5\pi m = 4\sqrt{2} \cdot m$

$5\pi M = m(5\pi + 4\sqrt{2}) \quad | : m$

$5\pi \frac{M}{m} = 5\pi + 4\sqrt{2} \Rightarrow \frac{M}{m} = \frac{5\pi + 4\sqrt{2}}{5\pi} = 1 + \frac{4\sqrt{2}}{5\pi}$.

Ответ: $n = 1 + \frac{4\sqrt{2}}{5\pi}$

97-82-88-02
(65.11)

Вопрос. Какие колебания называются гармоническими? Дайте определения амплитуды и фазы гармонических колебаний.

Гармонические колебания — колебания, в которых изменение величин описывается законами синуса или косинуса.

Амплитуда гармонических колебаний — максимальное отклонение от положения равновесия.

Фаза гармонических колебаний показывает, какая часть периода прошла на данный момент времени с момента начала предыдущего колебания.

Например, для колебаний тока в контуре:

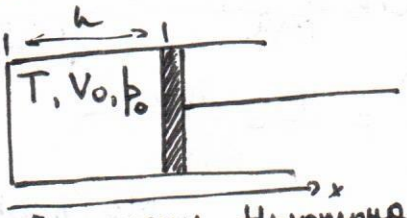
$i = I_m \sin(\underbrace{\omega t + \varphi_0}_{\text{фаза колебаний}})$

I_m — амплитуда (максимальное значение силы тока)

Задача 2.4.2.

Дано:
$T_B = 100°C$
$h = 0{,}35\,м$
$\Delta m = 0{,}1\,кг$
$M = 10\,кг$
$S = 100\,см^2 (10^{-4}\,м^2)$
$p_A = 10^5\,Па$
$\mu = 0{,}018\,кг/моль$
$R = 8{,}3\,Дж/(моль \cdot К)$
Найти: Δh

1)

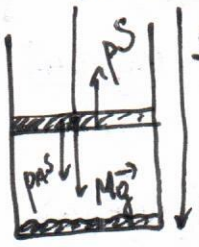


По II закону Ньютона (для поршня в проекции на ось x)

$p_0 S - p_A S = Ma_x$ ($a_x = 0$, поршень покоится) $\Rightarrow$

$\Rightarrow p_0 = p_A$

2)



По II закону Ньютона (для поршня в проекции на ось y)

$Mg + p_A S = p'S$

3) Т.к. во второй случае на дне сосуда находится вода, пар в самом сосуде НАСЫЩЕННЫЙ.

4) По закону Дальтона:

1. $p_0 = p_{пара} + p_{воздуха\,1}$ 2. $p = p_{насыщ.пара} + p_{воздуха\,2}$

5) Воздух считается изотермически $\Rightarrow$ по закону Бойля-Мариотта:

$p_{в1} h S = p_{в2} (h - \Delta h) S \Rightarrow p_{в1} h = p_{в2} (h - \Delta h)$

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

6) Известно, что давление насыщенного пара при $T_B = 100°C$ равно атмосферному $\Rightarrow p_{нп} = p_A$

$p = p_{нп} + p_{в2} = p_A + p_{в2}$

7) Подставим во II закон Ньютона (2)

$Mg + p_A S = pS$; $Mg + p_A S = p_A S + p_{в2} S \Rightarrow p_{в2} = \frac{Mg}{S}$

8) Найдём массу насыщ. пара по закону Менделеева-Клапейрона

$p_{нп} V = \frac{m}{\mu} R T_B \Rightarrow m = \frac{p_{нп} V \mu}{RT_B} = \frac{p_{нп} S (h - \Delta h) \mu}{RT_B} = \frac{p_A S (h - \Delta h) \mu}{RT_B}$

Значит, общая масса воды:

$m_0 = m + \Delta m = \frac{\mu p_A S (h - \Delta h) + \Delta m R T_B}{RT_B}$

Давление (пара) воды в 1 случае:

(из уравнения Менделеева-Клапейрона)

$p_{пара} V_0 = \frac{m_0}{\mu} R T_B \Rightarrow p_{пара} = \frac{\mu p_A S (h - \Delta h) + \Delta m R T_B}{\mu h S}$

9) $p_{в1} = \frac{p_{в2} (h - \Delta h)}{h} = \frac{Mg (h - \Delta h)}{hS}$

10) (см. п. 4) $p_0 = p_A$ ($p_{в2}$, $p_{пара}$) ⊛ $p_A = \frac{Mg (h - \Delta h)}{hS} + \frac{\mu p_A S (h - \Delta h) + \Delta m R T_B}{\mu h S}$

⊛ $p_A = (h - \Delta h) \cdot \left(\frac{Mg}{hS} + \frac{p_A}{\mu h} \right) + \frac{\Delta m R T_B}{\mu h S}$

$p_A - \frac{\Delta m R T_B}{\mu h S} = (h - \Delta h) \cdot \frac{Mg + p_A S}{hS} \quad | \cdot \mu h S$

$\mu p_A h S - \Delta m R T_B = \mu (h - \Delta h)(Mg + p_A S)$

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

$\Delta h = h - \frac{p_A h S}{Mg + p_A S} + \frac{\Delta m R T_B}{\mu (Mg + p_A S)}$ 15

Поскольку в условии не указана размерность Δm, подставлять численные значения не будем.

Ответ: $\Delta h = h - \frac{\mu p_A h S - \Delta m R T_B}{(Mg + p_A S) \mu} = \frac{\mu Mgh + \Delta m R T_B}{\mu (Mg + p_A S)} \approx 0{,}18\,м$ (18 см)

97-82-88-02
(65.11)

Вопрос. Какие виды парообразования вы знаете? Дайте определение удельной теплоты парообразования.

Парообразование разделяется на испарение (частицы вылетают из вещества при любой температуре) и кипение (характерно для кристаллических тел: при некоторой температуре жидкость интенсивно переходит в пар; температура в процессе кипения постоянна). Существует ещё один специфический вариант парообразования – кавитация, представляющий собой переход тела из твёрдого состояния в газообразное, минуя жидкую фазу.

Удельная теплота парообразования (L) показывает, какое количество теплоты необходимо сообщить телу массой 1 кг, чтобы перевести его из жидкого состояния в газообразное: $Q = Lm \Rightarrow L = \frac{Q}{m}$.

Вопрос. Сформулируйте закон электромагнитной индукции и правило Ленца:

$\mathcal{E}_i = -\Phi'$

Электродвижущая сила, индуцируемая в катушке при изменении проходящего через него магнитного потока, равна скорости изменения магнитного потока, взятой с обратным знаком. (Закон ЭМИ)

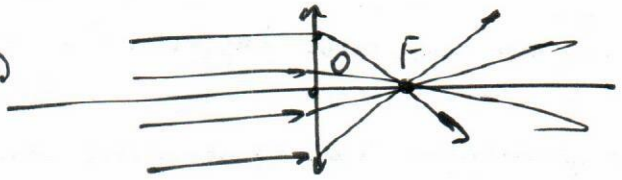
Правило Ленца: при изменении проходящего через контур магнитного потока в контуре возникает индукционный ток такого направления, что магнитное поле тока препятствует внешнему воздействию (изменению магнитного потока).

Вопрос. Какие линзы называют тонкими? Дайте определение фокусного расстояния и оптической силы линз.

Тонкими линзами называются такие линзы, для которых справедливо параксиальное приближение.

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

Все лучи, падающие на линзу параллельно её главной оптической оси, пересекаются в точке за линзой, называемой фокусом линзы.



Фокусное расстояние — расстояние от оптического центра линзы до её фокуса.

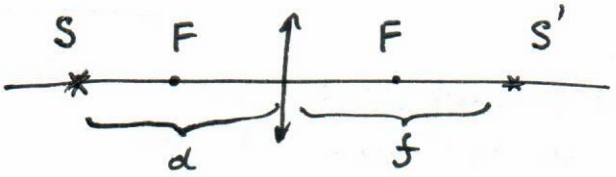
Оптическая сила линзы — величина, обратная фокусному расстоянию.

$$D = \pm \frac{1}{F}$$ ("+", если линза собирающая; "−", если линза рассеивающая)

Задача 4.10.12

$F = 15$ см
$d = 30$ см
$L = 8$ см
h - ?

1)

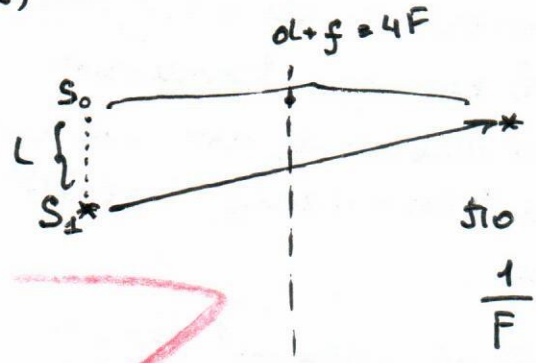


По формуле тонкой линзы для 1 случая

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

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{15} - \frac{1}{30} = \frac{1}{30} \Rightarrow f = 30 \text{ см}. \quad (f = d = 2F)$$

2)



Луч S_1S_1' проходит через оптический центр нового положения линзы и не преломляется

По формуле тонкой линзы

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{4F - d_1} + \frac{1}{d_1}; \quad \frac{Fd_1 + 4F^2 - d_1F}{d_1(4F - d_1)F} = \frac{d_1(4F - d_1)}{Fd_1(4F - d_1)}$$

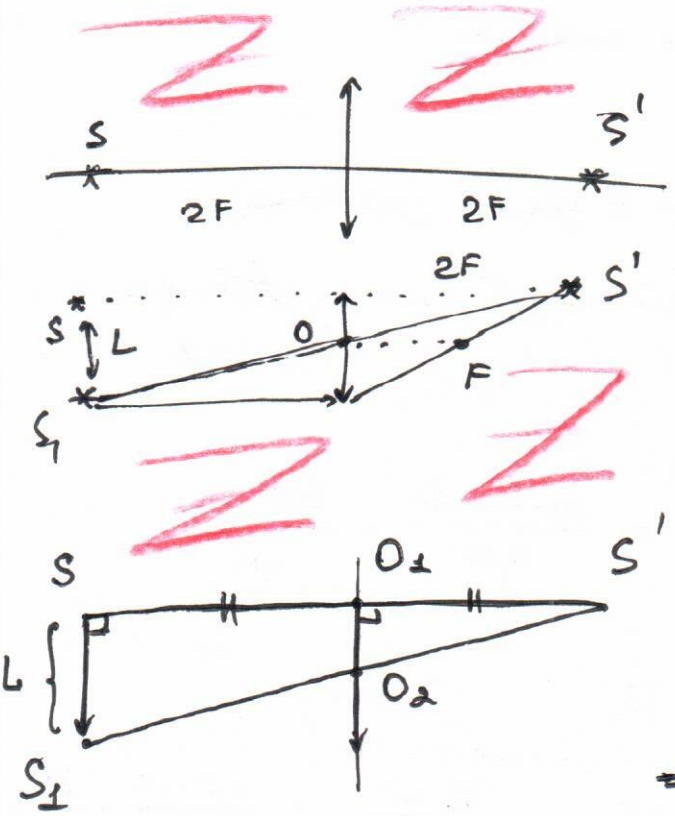
$$\frac{4F^2}{Fd_1(4F - d_1)} = \frac{4Fd_1 - d_1^2}{Fd_1(4F - d_1)}$$

$$d_1^2 - 4Fd_1 + 4F^2 = 0 \Rightarrow (d_1 - 2F)^2 = 0$$

Расстояние до плоскости линзы не изменится $d_1 = 2F$

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

Задача 4.10.2 (продолжение)



Т.к. расстояние от источника света до плоскости линзы осталось неизменным, значит новый оптический центр будет лежать на пересечении луча S_1S' и плоскости линзы.

Смещение линзы $\Delta h = O_1O_2$.

O_1 и $O_2 \in \alpha$ (плоскости линзы) $\Rightarrow ? \; O_1O_2 \perp SS'$

$S_1S \perp SS'$ по условию $\Rightarrow$

$\Rightarrow SS_1 \parallel O_1O_2$

$SO_1 = O_1S$; $O_1O_2 \parallel SS_1 \Rightarrow O_1O_2$ – ср. линия $\triangle SS'S_1$ (по признаку)

$$O_1O_2 = \frac{SS_1}{2} = \frac{L}{2} = \frac{8}{2} = 4\text{см}$$

Ответ: на 4 см вправо в сторону смещения источника.

Задача 3.7.2.

$N = 100$

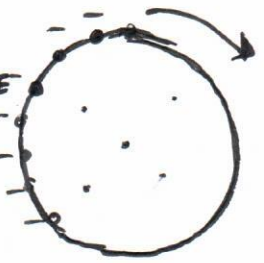
$m = 10\text{мг}\ (10^{-5}\ \text{кг})$

$q = 10^{-7}\ \text{Кл}$

$n = 8\ \frac{\text{кадров}}{\text{с}}$

$B_0 - ?$

Чтобы кольцо в кадре оставалось неподвижным, необходимо, чтобы за время смены кадра ($\tau = \frac{1}{n}$) шарик встал на место соседнего.



Угловая скорость шариков $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{\frac{2\pi}{N}}{\frac{1}{n}} = \frac{2\pi n}{N}$ (V)

При изменении магнитного потока, проходящего через сечение кольца ($\Phi_1 = B_0 S$) возникает движение зарядов (в нашем случае шариков), такое, чтобы создаваемое магнитное поле было направлено вверх – по правилу Ленца

Скорость шарика $v = \omega R = \frac{2\pi n}{N} R$

Угловое ускорение каждого шарика:

$a_ц = \frac{v^2}{R}$

$F_{центр} = ma_ц = \frac{mv^2}{R}$ (по II закону Ньютона).

Видимо, на шарики действует сила ~~Ампера~~ Лоренца.

Не обосновано и неверно

$F_л = qvB = F_{центр}$

$qvB = \frac{mv^2}{R}$

$qB = m\omega \Rightarrow B = \frac{m\omega}{q} = \frac{m \cdot 2\pi n}{qN} = \frac{2\pi mn}{qN}$

$B = \frac{10^{-5} \cdot 2\pi \cdot 8}{10^{-4} \cdot 10^{-2}} = 16\pi$ Тл

$[B] = \frac{1 \cdot кг \cdot 1/с}{Кл \cdot 1} = \frac{кг}{Кл \cdot с} = \frac{кг}{А \cdot с^2} = \frac{кг \cdot м}{с^2 \cdot А \cdot м} = \frac{Н}{А \cdot м} =$

$= Тл.$

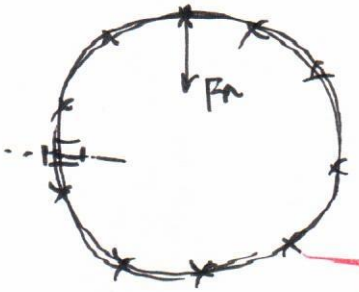
Ответ: $B_{0\,min} = \frac{2\pi n \cdot m}{N \cdot q} = 16\pi$ Тл

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

черновик.

$J = \frac{q}{\Delta t} = \frac{Nq}{T} = qN\nu$

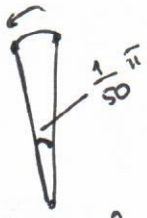
$\nu = 8\frac{м}{с}$ $\quad v = 2\pi\nu$



$F_л = qvB_0 \quad \mathcal{E}_i = -\Phi'$

$F_A = BIl \quad \mathcal{E}_{si} = LJ' \quad 100 см^2 = 10^{-2} м^2$

$\frac{F_л}{m} = \frac{v^2}{R} = \omega v$



$qvB_0 = \omega v$

$\omega = qB_0$

$2\pi\nu = qB_0$

$B_0 = \frac{2\pi\nu}{q}$

$\cancel{\frac{qvB_0}{m} = \frac{4\pi^2 R^2 \nu^2}{R}}$

$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{1}{50}\pi \cdot \nu_{кам} = \frac{8}{50} = \frac{4}{25}$ $\quad \Delta t = \frac{1}{\nu_{кам}}$

$\Delta h = h - \frac{\mu p_A h S - \Delta m R T_0}{\mu(Mg + p_A S)}$

$[\Delta h] = m - \frac{\cancel{\frac{моль}{моль}} \cdot (Па \cdot м \cdot м^2) - \cancel{кг \cdot \frac{Дж \cdot К}{моль \cdot К}}}{\cancel{\frac{кг}{моль \cdot Н}}\left(кг \cdot \frac{м \cdot с^2}{с^2} + Па \cdot м^2\right)} = \frac{Дж}{Н} = м.$

$\Delta h = 0{,}35 - \frac{0{,}018 \cdot 10^5 \cdot 0{,}35 \cdot 10^{-2} - 10^{-3} \cdot 8{,}31 \cdot 373}{0{,}018(10 \cdot 10 + 10^5 \cdot 10^{-2})} =$

$= 0{,}35 - \frac{18 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3 - 0{,}3{,}73 \cdot 8{,}31}{18 \cdot 10^{-3}(10^2 + 10^3)} = 0{,}35 - \frac{30{,}9963}{18 \cdot 1{,}1} = \frac{30{,}9963}{19{,}8}$

~~309,86~~ ~~31~~

~~309,963 | 19,8~~

$\Delta h = \frac{\mu Mgh + \Delta m R T_0}{\mu(Mg + p_A S)}$

$\Delta h = \frac{0{,}018 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 0{,}35 + 10^{-3} \cdot 8{,}31 \cdot 373}{18 \cdot 10^{-3}(10 \cdot 10 + 10^5 \cdot 10^{-2})} =$

$= \frac{1{,}8 \cdot 0{,}35 + 0{,}831 \cdot 3{,}73}{19{,}8} = \frac{0{,}630 + 3{,}11740}{19{,}8}$

$0{,}35 \cdot 11{,}8 = 0{,}630$

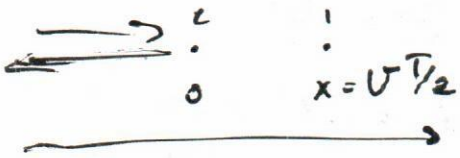
$3{,}73 \cdot 8{,}31 = 30{,}9963$

$3{,}73 \cdot 19{,}8 = 1550 - 1386 = 1584$

Черновик.

$\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

$T/2$



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

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

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

$x = A\sin\omega t = A\sin\frac{k}{M}t$

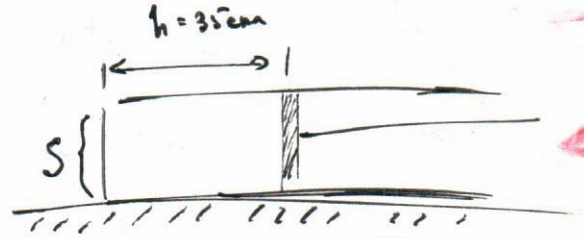
$(t=0,\ x=0)$.

$x_2 = u\sqrt{\frac{M}{k}}\sin\sqrt{\frac{k}{M}}t$

$x_1 = vt$

$$\begin{array}{r} 5 \\ 22 \\ 373 \\ \times\ 0{,}83 \\ \hline 1119 \\ +\ 2984 \\ \hline 309{,}59 \end{array}$$

$\frac{\cancel{10{,}35}}{3}$



$$\begin{array}{r} 309{,}59 \\ \times\ 1{,}4 \\ \hline 309{,}59 \\ 309{,}59 \\ \hline 34054{,}9 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 100 \\ +\ 273 \\ \hline 373 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 0{,}018 \\ 110 \\ \hline 180 \\ +\ 18 \\ \hline 1{,}980 \end{array}$$

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

$$\Delta h = 0{,}35 - \frac{10^5 \cdot 0{,}35 \cdot 10^{-4}}{10\cdot 10 + 10^5 \cdot 10^{-4}} + \frac{0{,}1 \cdot 8{,}3 \cdot 373}{0{,}018(10\cdot 10 + 10^5 \cdot 10^{-4})}$$

$$\Delta h = 0{,}35 - \frac{3{,}5}{110} + \frac{309{,}59}{0{,}018\cdot 110} = 0{,}35 - \frac{7}{22} + \frac{34054{,}9}{\cancel{0{,}018}\ 1{,}98}$$

$$\begin{array}{r} 34054{,}90 \\ -\ 198 \\ \hline 425 \\ -\ 396 \\ \hline 294 \\ -\ 198 \\ \hline 969 \\ 792 \\ \hline 1770 \end{array} \quad \begin{array}{r} 33 \\ 198 \\ \hline 1214 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 309{,}59 \\ -\ 198 \\ \hline 1115 \\ -\ 990 \\ \hline 1259 \\ 1188 \\ \hline 10 \end{array} \quad \begin{array}{r} 54 \\ 198 \\ \hline 156 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 309{,}590 \\ -\ 18 \\ \hline 129 \\ 126 \\ \hline 135 \\ -\ 18 \\ \hline 179 \\ -\ 162 \\ \hline 170 \\ -\ 162 \\ \hline 880 \end{array} \quad \begin{array}{r} 5 \\ 18 \\ \hline 1299 \end{array}$$

172

$3{,}5 + 1299$