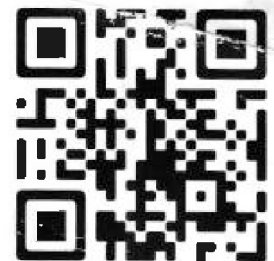




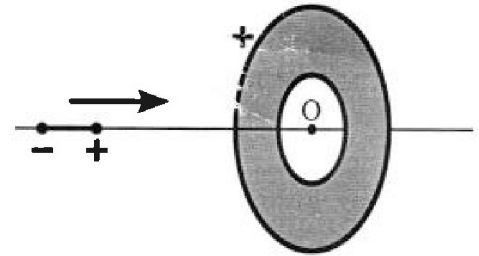
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-01

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



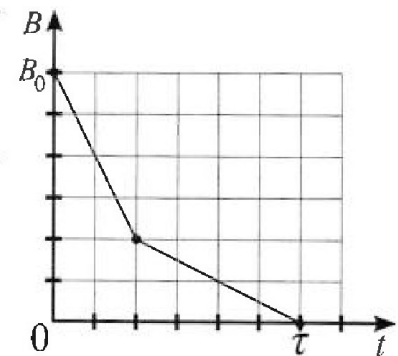
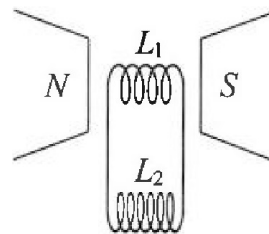
3. В плоском тонком диске в форме круга имеется круглое отверстие (см. рис.). Центры диска и отверстия совпадают в точке O . Диск имеет однородно распределенный по поверхности положительный заряд. Система из двух жестко связанных равных по модулю и противоположных по знаку точечных зарядов (диполь) движется с некоторой начальной скоростью из бесконечно удаленной точки вдоль оси симметрии диска и пролетает через отверстие. Заряды диполя находятся на маленьких шариках, на диполь действуют только силы электрического поля диска, диск закреплен, при пролете диполь не отклоняется от оси диска. Минимальная начальная скорость диполя, необходимая для пролета, равна V_0 . Диполью сообщают начальную скорость $2V_0$.



1) Найти скорость диполя при пролете центра диполя через центр отверстия.

2) Найти разность максимальной и минимальной скоростей диполя при пролете.

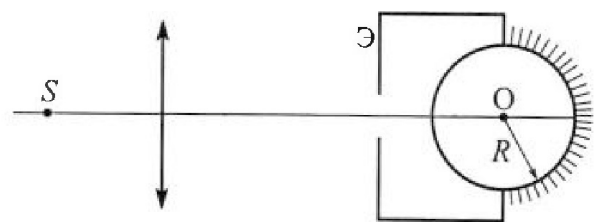
4. Катушка индуктивностью $L_1 = L$ с числом витков n и площадью каждого витка S_1 находится во внешнем однородном магнитном поле с индукцией B_0 . Силовые линии поля перпендикулярны плоскости каждого витка. Вторая катушка индуктивностью $L_2 = 4L$ находится вне поля (см. рис.). Сопротивление катушек и соединительных проводов пренебрежимо мало. Изначально тока в катушках нет. Внешнее поле выключают в течение времени τ . Зависимость индукции внешнего поля от времени показана на рисунке. Взаимной индуктивностью катушек пренебречь.



1) Найти ток I_0 через катушку L_1 в конце выключения внешнего поля.

2) Найти заряд, протекший через катушку L_1 за время выключения внешнего поля.

5. На главной оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием F расположены центр O прозрачного шара и точечный источник S , удаленный от линзы на расстояние $a = 1,5F$ (см. рис.). На поверхность шара, противоположную поверхности входа лучей, нанесено идеально отражающее зеркальное покрытие. С шаром жестко скреплен непрозрачный экран $\mathcal{E}$ с небольшим круглым отверстием. Если шар расположен так, что расстояние от центра линзы до ближайшей к нему точки шара равно $b = 8F/3$, то изображение источника в системе «линза-шар» совпадает с самим источником при любом показателе преломления вещества шара.



1) Найти радиус R шара.

После того, как центр шара переместили вдоль оптической оси так, что расстояние от него до центра линзы увеличилось на $\Delta = 2F$, изображение источника снова совпало с самим источником.

2) Найти показатель преломления вещества шара.

Отражение света от наружной поверхности шара пренебрежимо мало. Экран $\mathcal{E}$ обеспечивает малость углов α лучей (падающих на шар) с оптической осью и справедливость приближения $\sin \alpha \approx \alpha$.



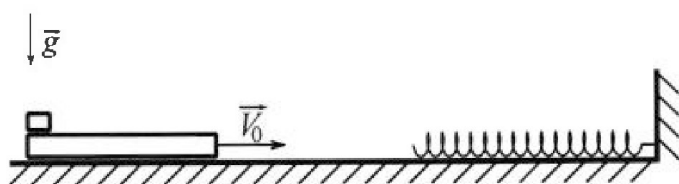
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-01

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



1. Длинная доска массой $M = 2$ кг, на одном конце которой лежит небольшой брусок массой $m = 1$ кг, движется по горизонтальной гладкой поверхности со скоростью $V_0 = 2$ м/с. В некоторый момент доска начинает сжимать лежащую на поверхности легкую достаточно длинную пружину с коэффициентом жёсткости $k = 27$ Н/м, которая одним концом упирается в стенку (см. рис.). Коэффициент трения скольжения бруска по доске $\mu = 0,3$. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Число «пи» в расчётах можете считать равным $\pi \approx 3$. Груз и доска всё время движутся в одной вертикальной плоскости.

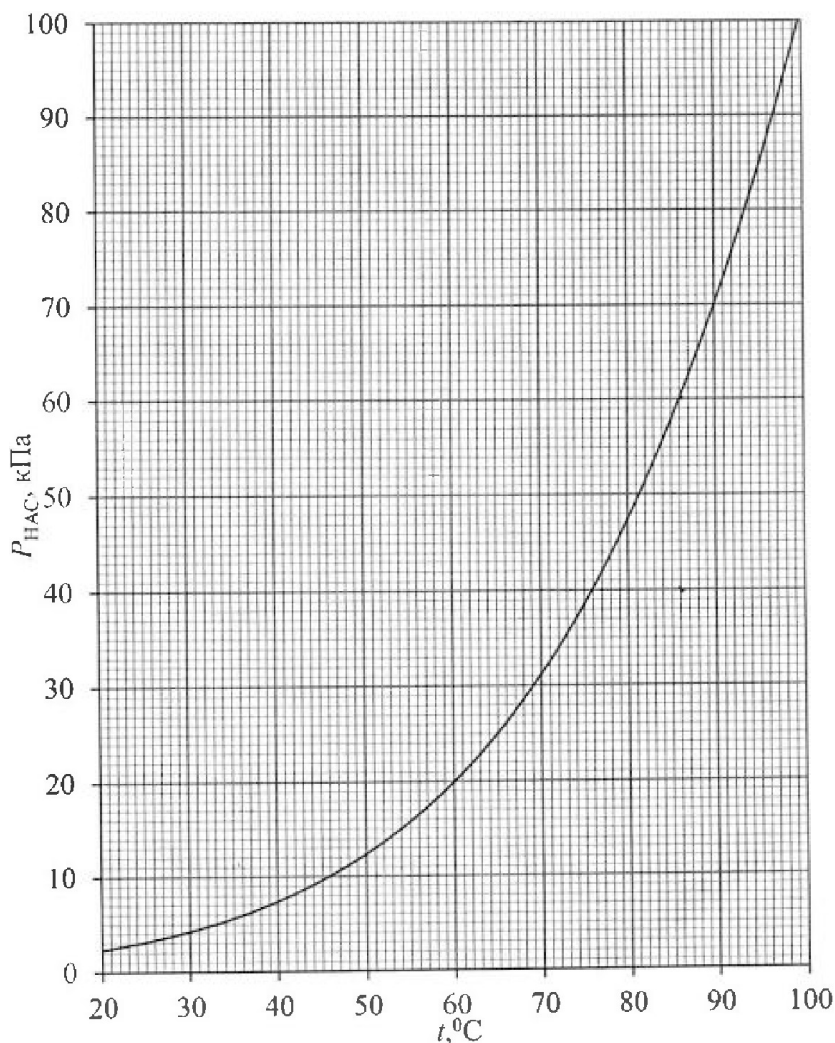


- 1) Найдите сжатие пружины в тот момент, когда начнётся относительное движение бруска и доски.
- 2) Найдите промежуток времени с момента начала сжатия пружины до момента начала относительного движения бруска и доски.
- 3) Найдите ускорение доски в момент максимального сжатия пружины.

2. В вертикальном цилиндре с гладкими стенками под массивным поршнем находится влажный воздух при давлении $p_0 = 150$ кПа, температуре $t_0 = 86$ °С и относительной влажности $\phi_0 = 2/3$ (66,7%). Содержимое цилиндра постепенно остывает до температуры $t = 46$ °С. Известен график зависимости давления насыщенного пара воды от температуры.

- 1) Найти парциальное давление пара P_1 при 86 °С.
- 2) Найти температуру t^* , при которой начнётся конденсация пара.
- 3) Найти отношение объёмов содержимого цилиндра V/V_0 в конце и в начале остывания.

Объёмом жидкости по сравнению с объёмом газа можно пренебречь. Пар считать идеальным газом.





На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 из 6

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

1. До мая пруж. фем. как. ед. системы, $(M+m)ax = kx$ (x-сдвиг пружины)

$am = mg \leftarrow$ в момент мая пруж. $(M+m)mg = kx_n \Rightarrow x_n = \frac{(M+m)mg}{k}$
поскольку значение не вышло из $x_n = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 10}{24} = \frac{1}{6} \text{ м} \approx 0,17 \text{ м}$ ~~ошибка~~

До пруж. $-(M+m)\ddot{x} = kx \quad \omega = \sqrt{\frac{M+m}{k}} \quad x = A \sin\left(\sqrt{\frac{M+m}{k}} t + \phi\right)$

A момент сейсм. из-за (при скрепленных пружинах)

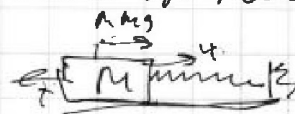
$$\frac{(M+m)v_0^2}{2} = \frac{kA^2}{2} \quad A = v_0 \sqrt{\frac{M+m}{k}} \quad x = v_0 \sqrt{\frac{M+m}{k}} \sin\left(\sqrt{\frac{M+m}{k}} t + \phi\right)$$

это значит, движение мая пруж. не вычислено

$A = 2 \cdot \sqrt{\frac{1}{2}} = \frac{1}{3} \text{ м} \approx 0,33 \text{ м}$ $\leftarrow$ начало мая, когда $x(t) =$

$x_n = \frac{1}{6} \text{ м} \Rightarrow \sqrt{\frac{M+m}{k}} t = \frac{\pi}{6} \Rightarrow t = \frac{\pi}{6} \sqrt{\frac{M+m}{k}} = \frac{1}{6} \text{ сек.} \approx 0,17 \text{ с}$ ~~ошибка~~

После пруж. оно уже не закончено (до мая сдвиг),
а система ~~ошибка~~ вынуждена идти



В момент мая пруж. ~~ошибка~~

$am = u$ из ЗСЭ: $\frac{(M+m)v_0^2}{2} = \frac{(M+m)u^2}{2} + \frac{kx_n^2}{2} \quad u = \sqrt{v_0^2 - \frac{kx_n^2}{(M+m)}}$

Значит с мая мая пруж. системой перейдет из

$\frac{(M+m)v_0^2}{2} = \frac{(M+m)u^2}{2} + \frac{kx_n^2}{2} \quad \text{ЗСЭ: } \frac{Mu^2}{2} + \frac{kx_n^2}{2} + mgm(x - x_n) =$

$$x_k - \frac{mgm}{k} x_k + \frac{mgm}{k} x_n = x_n^2 - \frac{Mu^2}{2k} = 0$$

$$x_k = \frac{mgm}{k} + \sqrt{\frac{m^2 g^2 m^2}{k^2} - \frac{2mgmx_n}{k} + x_n^2 + \frac{Mu^2}{k}} = \frac{mgm}{k} + \sqrt{\frac{m^2 g^2 m^2}{k^2} - \frac{2mgmx_n}{k} + x_n^2 + \frac{Mu^2}{k}}$$

$$x_k = \frac{mgm}{k} + \sqrt{\frac{m^2 g^2 m^2}{k^2} - \frac{2mgmx_n}{k} + x_n^2 + \frac{Mu^2}{k}} = \frac{mgm}{k} + \sqrt{\frac{m^2 g^2 m^2}{k^2} - \frac{2mgmx_n}{k} + x_n^2 + \frac{Mu^2}{k}}$$

$$T_{\max} = x_k k = mgm + \sqrt{Mu^2 k - 2mgmx_n k} \quad F_{\max} = \sqrt{Mu^2 k - 2mgmx_n k} \quad a_{\max} = \sqrt{\frac{Mu^2 k}{M} - \frac{2mgmx_n k}{M}}$$

Ответ: $a = \sqrt{\frac{Mu^2 k}{M} - \frac{2mgmx_n k}{M}}$



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
2 из 6

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

2. В нач. $p_{пар} = p_0 \cdot p(t_0) = \frac{2}{3} \cdot 60 \text{ кПа} = 40 \text{ кПа}$

Когда кап. становится, $v_{н+}$, m_k . $p = \text{const} = \frac{m g}{S}$ (м-масса поршня)
пока пар не конденсируется, отв. давл. газов
пост. ($T_{пар} = T_{воз}$, $p_{пар} v_{пар} = \text{const}$) $p_{пар}$ и $p_{воз} = \text{const}$, а увелич.
конденсация капели, когда $p(t)$, ρ_c м. давл.
насыщ. пар, $\sigma_{пар} = p_{пар}$ Это при $t = 46^\circ \text{C}$

в кап. $p_{пар} = 110 \text{ кПа}$ в кон. $p_{пар} = p(46^\circ \text{C}) = 10 \text{ кПа}$
 $p_{воз} = 110 \text{ кПа}$ $p_{воз} = 140 \text{ кПа}$

$$pV = \nu RT \Rightarrow \frac{p_0 V_0}{p_1 V_1} = \frac{T_0}{T_1} \Rightarrow \frac{p_0 V_1}{p_1 V_0} = \frac{T_0}{T_1} \Rightarrow \frac{V_1}{V_0} = \frac{p_0 T_1}{p_1 T_0}$$

Подставляем значения для воздуха и пар

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{110 \text{ кПа} \cdot (293,15)^\circ \text{C}}{140 \text{ кПа} \cdot (320,15)^\circ \text{C}} = \frac{3509}{5026} \approx 0,7$$

Ответ: 140 кПа $\Delta 26^\circ \text{C}$ 320,15



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 2 3 4 5 6 7

СТРАНИЦА
3 из 6

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

3.



$$d\varphi(x, \rho) = \frac{2\pi \rho d\rho \sigma}{4\pi \epsilon_0 (\rho^2 + x^2)}$$

$$\varphi(x) = \int_a^R \frac{2\pi \sigma \rho d\rho}{4\pi \epsilon_0 (\rho^2 + x^2)} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \int_a^R \frac{d\rho}{\rho^2 + x^2}$$

$$\rho^2 + x^2 = a \quad da = 2\rho d\rho$$

$$= \frac{\sigma}{4\epsilon_0} \left(2\sqrt{\rho^2 + x^2} \right) = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} (\sqrt{R^2 + x^2} - \sqrt{a^2 + x^2})$$

For $x \rightarrow \infty$ $\Rightarrow \lim_{x \rightarrow \infty} \varphi(x) = 0$
 $\lim_{x \rightarrow 0} \varphi(x) = E_{\max}$

$$E_n = q\varphi(x) - q\varphi(x+L) \quad L \text{ given given}$$

$$E_n = \frac{\sigma a}{2\epsilon_0} (\sqrt{R^2 + x^2} - \sqrt{a^2 + x^2} - \sqrt{R^2 + (x+L)^2} + \sqrt{a^2 + (x+L)^2})$$

given $\Rightarrow L$ given,

$$E_n = \frac{\sigma a}{2\epsilon_0} (\sqrt{R^2 + x^2} - \sqrt{a^2 + x^2} - \sqrt{R^2 + (x+L)^2} + \sqrt{a^2 + (x+L)^2})$$

$$\sqrt{1+z} \approx 1 + \frac{z}{2}$$

$$E_n \approx \frac{\sigma a}{2\epsilon_0} (\sqrt{R^2 + x^2} - \sqrt{a^2 + x^2} - \sqrt{R^2 + (x+L)^2} + \sqrt{a^2 + (x+L)^2})$$

$$E_n \rightarrow \max \Rightarrow x \left(\frac{1}{\sqrt{R^2 + x^2}} - \frac{1}{\sqrt{a^2 + x^2}} \right) + \max$$

$$\frac{d}{dx} \left(x \left(\frac{1}{\sqrt{R^2 + x^2}} - \frac{1}{\sqrt{a^2 + x^2}} \right) \right) = 0$$

$$\Rightarrow \frac{R^2 + x^2 - 2x^2}{(R^2 + x^2)^{3/2}} - \frac{a^2 + x^2 - 2x^2}{(a^2 + x^2)^{3/2}} = 0$$

$$R^2(R^2 + x^2) = a^2(a^2 + x^2) \quad R^2(R^2 + x^2) = a^2(a^2 + x^2)$$

$$x^2 = \frac{R^2 a^2}{R^2 - a^2} \quad x = \frac{Ra}{\sqrt{R^2 - a^2}}$$

Следовательно, во в центре колец не находится в

макс $x=0$ $E = 0 \Rightarrow$ это минимум

Значит $\frac{4\pi \epsilon_0 L}{2} = \frac{4\pi \epsilon_0 L}{2} + E_{\max}$

$$U = (2 - \sqrt{3})U_0$$

$$U_0 = \sqrt{3}U_0$$

$$E_n = \frac{\sigma L}{2\epsilon_0} x \left(\frac{1}{\sqrt{R^2 + x^2}} - \frac{1}{\sqrt{a^2 + x^2}} \right)$$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.



СТРАНИЦА

4 из 6

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

$$4. \mathcal{E} = -2\dot{I} \quad \mathcal{E} = -\dot{\Phi} \Rightarrow L_1\dot{I} + L_2\dot{I} = \dot{B}S, n \Rightarrow dI = \frac{S \dot{B}}{L_1 + L_2} dt$$

$$I = \frac{S \dot{B}}{L_1 + L_2} \Rightarrow B = \frac{S \dot{B}}{5L}$$

$$I(t) = \frac{S \dot{B}}{5L} B(t)$$

$$dq(t) = I(t)dt = \frac{S \dot{B}}{5L} B(t)dt \Rightarrow q = \frac{S \dot{B}}{5L} \int B(t)dt$$

↑
S по графику B(t)

$$S = \frac{B_0 \cdot \pi}{3} \Rightarrow q = \frac{S \dot{B}_0 T}{15L}$$

$$\text{Ответ: } \frac{S \dot{B}_0}{L_1 + L_2} = \frac{S \dot{B}_0}{5L}$$

$$\frac{S \dot{B}_0 T}{(L_1 + L_2) \cdot 5} = \frac{S \dot{B}_0 T}{15L}$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

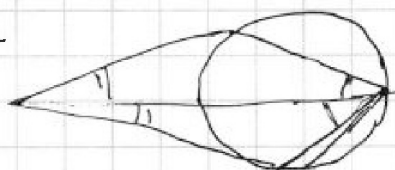
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

СТРАНИЦА
6 ИЗ 6

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

При $x=R$ (прямой аполлон) при повороте апу.
пересечении с Γ в Γ ,
при $x=2R$ при будет при симметрии

$\Rightarrow$ создаем изобр. висящими
схем. рис $\rightarrow$



Можно получить

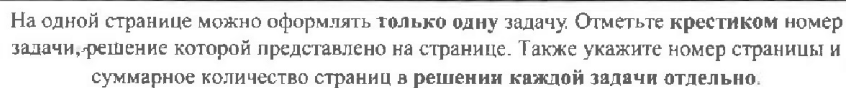
$$x = 2R = \frac{5h}{5n-6} R$$

$$10h - 0 = 5h \quad 5n = 12 \quad n = 2,4$$

При $n=2,4$ при при ~~о~~ прямой апу.
симметрии $\Rightarrow S' \rightarrow S^* = S' \Rightarrow$ изобр. S будет
BS

даны: $R = \frac{F}{3} \quad n = 2,4$

$$\frac{h}{x} + \frac{6h}{5h} = \frac{h}{R} \quad x = \frac{1}{\frac{1}{R} (1 - \frac{6}{5h})} \quad x = \frac{5h}{5h-6} R$$



7

СТРАНИЦА
ИЗ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

$$\oint (\vec{E} \cdot d\vec{l}) = \frac{2}{5} \frac{Q_2}{t} = \frac{1}{2} \frac{B_0}{t} \cdot \int \vec{l} \cdot d\vec{l}$$

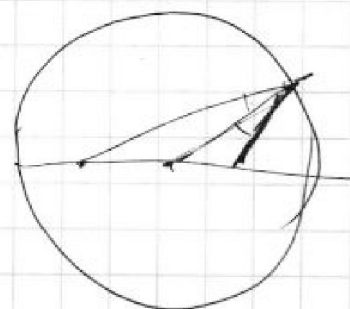
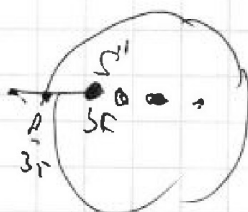
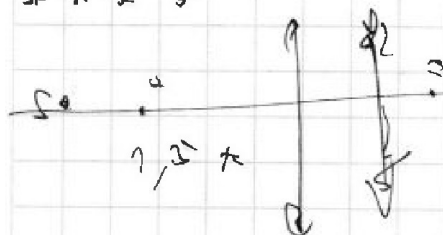
$$dI = \frac{S \cdot h}{L_1 + L_2} dB$$

$$I_0 = \frac{S_{1h}}{5L} B_0$$

$$I = \frac{S_n}{5A} \quad 15$$

$$dq = S dt \Rightarrow q = \frac{S_1 n}{5k} \int_{12}^{13} b_1 T dT$$

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{x} = \frac{2}{x}$$



$$\frac{dx}{dt} = x^2 + \frac{dx}{dt} \cdot \frac{1}{x^2} \cdot x^2$$

$$\frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3} = \frac{4}{9}$$

$$\frac{\frac{1}{\alpha} \sqrt{1 + \alpha^2}}{\alpha}$$

$$\frac{x^2 + 1}{x} p$$

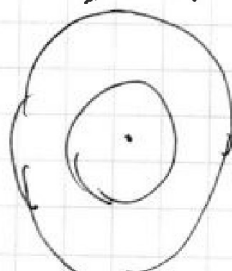
$$dB = \frac{\partial \ln}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial p} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial \ln}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial p} \cdot \frac{\partial p}{\partial x}$$

$$-2a_1^2 \frac{da_1^2}{da_1^2}$$

23 90x

$$\frac{2r}{(r-n)}$$

$$\frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)} = \epsilon_0$$



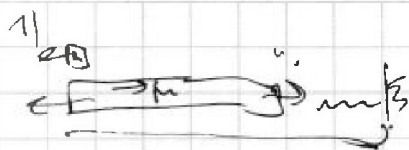


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 2 3 4 5 6 7
☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

СТРАНИЦА
__ ИЗ __

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



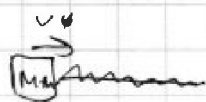
$$kx = (M+m)a$$

$$am = 2mg$$

$$am = T - 2mg$$

$$\frac{kx}{M+m} = mg$$

$$x = \frac{(M+m)mg}{k} = \frac{3 \cdot 0,5 \cdot 10}{24} = \frac{1}{3} m \approx 0,33 m$$



$$-(M+m)\ddot{x} = kx \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{M+m}}$$

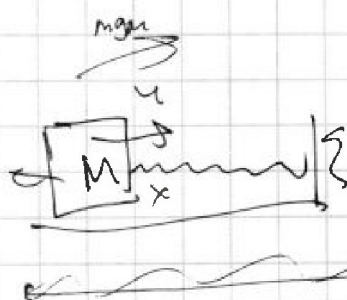
$$x = A \sin \omega t$$

$$\frac{(M+m)v_0^2}{k} = \frac{kA^2}{2}$$

$$A = v_0 \sqrt{\frac{M+m}{k}} \quad x = v_0 \sqrt{\frac{M+m}{k}} \sin \left(\sqrt{\frac{k}{M+m}} t \right)$$

$$A = 2 \sqrt{\frac{3}{24} \cdot \frac{1}{9}} = \frac{2}{3} m$$

$$\sqrt{\frac{k}{M+m}} t = \frac{\pi}{6} \quad t = \frac{\pi}{6} \sqrt{\frac{M+m}{k}} = \frac{\pi}{6} \cdot \frac{1}{6} = \frac{1}{6} c$$



$$\frac{245 + 26}{24 \cdot 46} =$$

$$\begin{array}{r} 319 \\ 24 \overline{) 359} \\ \underline{202} \\ 5780 \\ \underline{3151} \\ 590 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 891 \\ 11 \\ \underline{891} \\ 991 \\ \underline{991} \\ 001 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 245 \\ 46 \\ \underline{319} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 71 \cdot 319 \\ \underline{14 \cdot 359} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 319 \cdot 2 \\ \underline{638} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 35090 \\ 30156 \\ \underline{49360} \\ 52254 \\ \underline{41060} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 359 \\ 14 \\ \underline{1436} \\ 5540 \\ \underline{5026} \end{array}$$

$P > 100 kH$
 $W < 10 kH$
 $P' < 100 kH$

$$\begin{array}{r} 10 \\ 40 \\ \underline{10} \\ 10,166 \end{array}$$

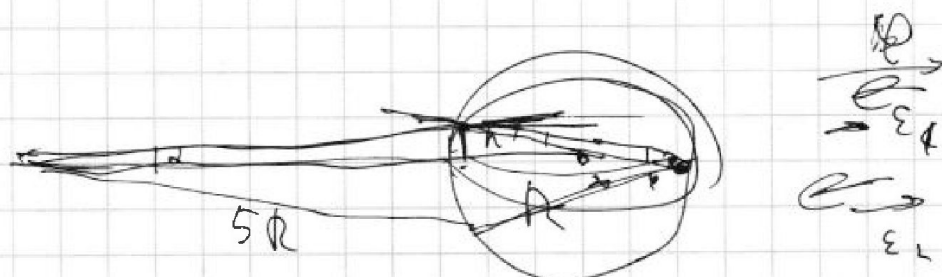
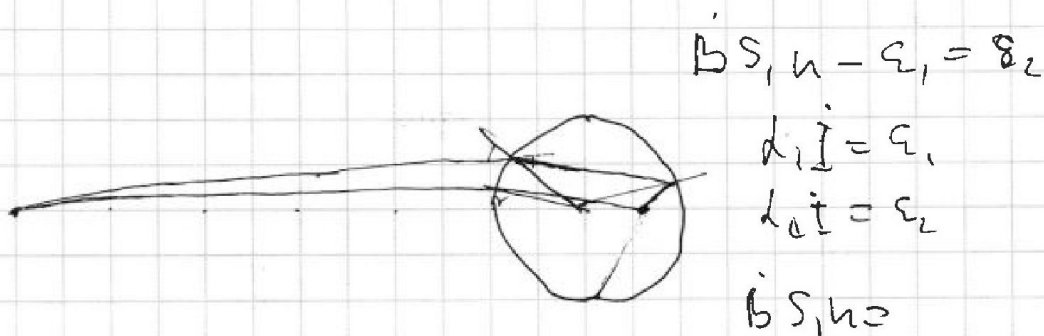


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
__ ИЗ __

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

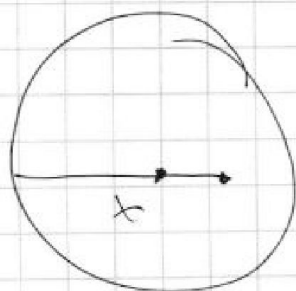


$$\frac{h}{5R} + \frac{h}{R} = \frac{6h}{5Rn} \quad \frac{h}{x} \neq \frac{6h}{5Rn} \approx \frac{h}{R}$$

$$x = \frac{5n}{5n-6} R$$

$$ka \mu / c^2$$

$$R \left(\frac{5n-6}{5n} \right)$$



$$k \approx \frac{1}{2} \frac{1}{\epsilon_0}$$

$$\frac{1}{\epsilon_0} \left(\frac{1}{\sqrt{A^2 + x^2}} - \frac{1}{\sqrt{R^2 + x^2}} \right)$$

$$\frac{1}{2\epsilon_0} \frac{1}{\sqrt{R^2 + x^2}}$$