



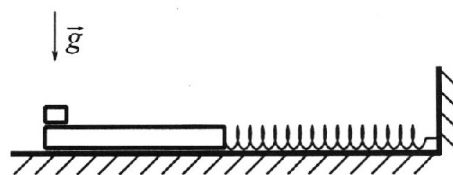
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-02

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



1. Длинную доску массой $M = 2$ кг удерживают на горизонтальной гладкой поверхности. На одном конце доски лежит небольшой брусок массой $m = 1$ кг, а в другой конец упирается легкая сжатая пружина жёсткостью $k = 50$ Н/м, прикрепленная к стенке. Коэффициент трения скольжения бруска по доске $\mu = 0,3$. Доску отпускают, она начинает движение, а брусок начинает двигаться относительно доски. Начальное сжатие пружины подобрано так, что в момент, когда ускорение доски почти достигает нуля первый раз, относительное движение бруска по доске прекращается. 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.

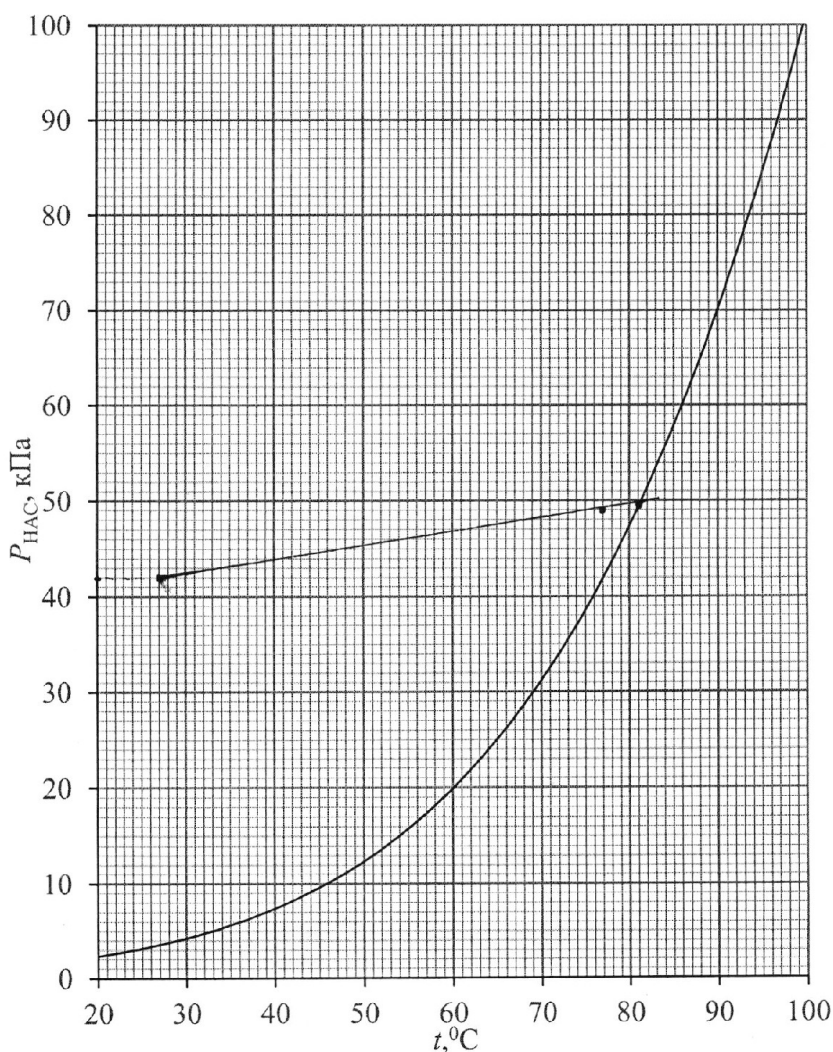


- 1) Найдите сжатие пружины в момент времени, когда относительное ускорение бруска и доски станет равным нулю, впервые после начала движения.
- 2) Найдите ускорение доски сразу после начала движения.
- 3) Найдите скорость доски в момент времени, когда относительное ускорение бруска и доски станет равным нулю, впервые после начала движения.

2. В сосуде постоянного объема находятся в равновесии влажный воздух при температуре $t_0 = 27$ °С и жидкая вода. Масса жидкой воды в 11 раз больше массы пара. Содержимое сосуда постепенно нагревают до температуры $t = 97$ °С. В результате вся вода превращается в пар. Известен график зависимости давления насыщенного пара воды от температуры.

- 1) Найти отношение масс пара в конце и в начале нагревания.
- 2) Найти температуру t^* , при которой прекратится испарение воды.
- 3) Найти относительную влажность ϕ в конце нагревания.

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





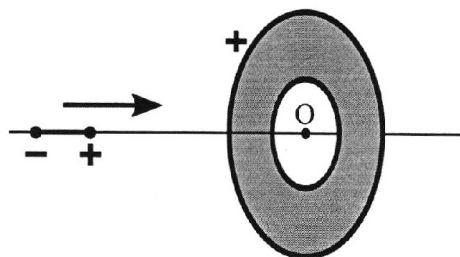
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-02

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

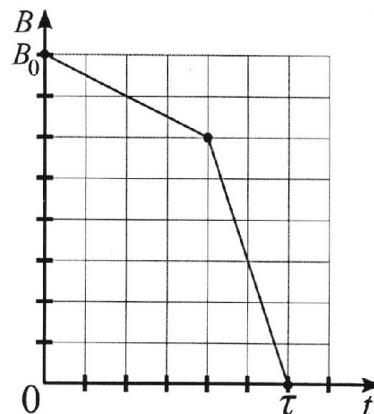
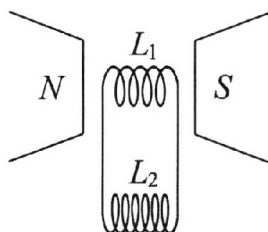


3. В плоском тонком диске в форме круга имеется круглое отверстие (см. рис.). Центры диска и отверстия совпадают в точке O . Диск имеет однородно распределенный по поверхности положительный заряд. Система из двух жестко связанных равных по модулю и противоположных по знаку точечных зарядов (диполь) движется 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 . Заряды диполя уменьшают по модулю в 2 раза и сообщают дипольно начальную скорость V_0 .



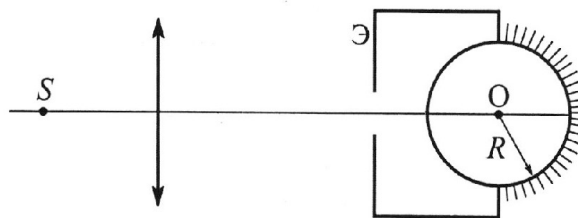
- 1) Найти скорость диполя при пролете центра диполя через центр отверстия.
- 2) Найти разность максимальной и минимальной скоростей диполя при пролете.

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 $L_2 = 6L$ 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_2 в конце выключения внешнего поля.
- 2) Найти заряд, протекший через катушку L_2 за время выключения внешнего поля.

5. На главной оптической оси тонкой собирающей линзы расположены центр O прозрачного шара радиуса R и точечный источник S (см. рис.). Расстояние между источником S и центром линзы $a = 2R$. 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 $b = 7R$, то изображение источника в системе «линза-шар» совпадает с самим источником при любом показателе преломления вещества шара.



- 1) Найти фокусное расстояние линзы F .

После того, как центр шара переместили вдоль оптической оси так, что расстояние от него до центра линзы уменьшилось на $\Delta = 4R$, 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 $\sin \alpha \approx \alpha$.

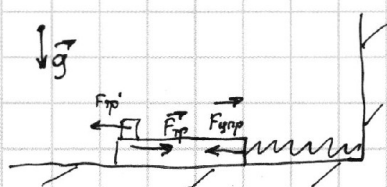


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении **каждой задачи отдельно**.

1	2	3	4	5	6	7
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

СТРАНИЦА
1 ИЗ 1

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!



M, m, g

$k, \mu, \pi \approx 3$

$$Ma_0 = F_{упр} - F_{тр} = kx_0 - \mu mg$$

при $a_{допки} = 0$, $v_g = v_d$

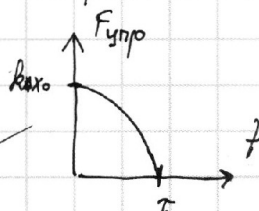
$$F_{тр} \tau = m v_g \delta, \quad \int_0^\tau F_{упр} dt - F_{тр} \tau = M v_g \delta g$$

из 2-го 3. Ньютона

центр масс совершает гармонические колебания $\frac{1}{4}$ периода

$$\tau = \frac{1}{4} T = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m+M}{k}}$$

$$\int_0^\tau F_{упр} dt = k \int_0^\tau x_0 \cos x dx = -k x_0$$





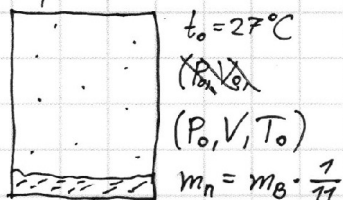
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении **каждой** задачи **отдельно**.

1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

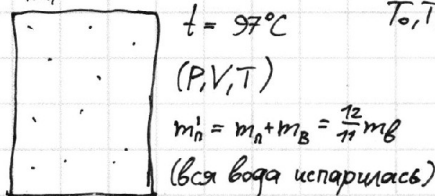
СТРАНИЦА
1 ИЗ 1

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!

пар нас.



пар ненас.



T_0, T, T^* — абсолютн. температура

$$T_0 = 300 \text{ K}$$

$$T = 370 \text{ K}$$

$$1) \frac{m'_n}{m_n} = \frac{\frac{12}{11} m_B}{\frac{1}{11} m_B} = 12$$

2) при темп. t^* пар всё ещё насыщенный, значит $P = P_{\text{нас}}(t^*)$
 $P_0 = P_{\text{нас}}(t_0)$ из тех же соображений

ур-е Менделеева-Клапейрона: $P_{\text{нас}}(t_0)V = \frac{m_n}{M} RT_0$
 для $t=t_0$ и $t=t^*$ $P_{\text{нас}}(t^*)V = \frac{m'_n}{M} RT^*$ т.к. вся вода испарилась

$$\frac{P_{\text{нас}}(t_0)}{P_{\text{нас}}(t^*)} = \frac{m_n}{m'_n} \frac{T_0}{T^*}, \quad \frac{P_{\text{нас}}(t^*)}{P_{\text{нас}}(t_0)} = 12 \frac{T^*}{T_0}, \quad P_{\text{нас}}(t^*) = 12 \frac{P_{\text{нас}}(t_0)}{T_0} T^*$$

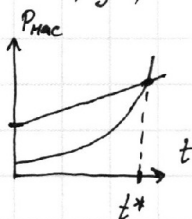
$P_{\text{нас}}(t^*)$ — прямая пропорциональна T^*

$P_{\text{нас}}(T^*)$ — прямая из нач. координат, ищем пересек. с реальной зависимостью $P_{\text{нас}}(t)$:

$$P_{\text{нас}}(T^*) = \alpha T^*$$

$$\alpha = \frac{12 \cdot P_{\text{нас}}(t_0)}{T_0} = \frac{12 \cdot 3,5 \text{ кПа}}{(273+27) \text{ K}} =$$

$$= \frac{42}{300} \frac{\text{кПа}}{\text{K}} = \frac{7}{50} \frac{\text{кПа}}{\text{K}},$$



$$\alpha T_0 = 42 \text{ кПа}$$

на график. методом находим $t^* = 81^\circ \text{C}$

3) конец: $PV = \frac{m'_n}{M} RT$, начало: $P_{\text{нас}}(t_0)V = \frac{m_n}{M} RT_0$

$$\frac{P}{P_{\text{нас}}(t_0)} = \frac{m'_n}{m_n} \frac{T}{T_0} = 12 \cdot \frac{370 \text{ K}}{300 \text{ K}} = \frac{12 \cdot 37}{30}, \quad P = P_{\text{нас}}(t_0) \frac{2 \cdot 37}{5}$$

$$\varphi = \frac{P}{P_{\text{нас}}(t)} = \frac{2 \cdot 37}{5} \frac{P_{\text{нас}}(t_0)}{P_{\text{нас}}(t)} = \frac{2 \cdot 37}{5} \frac{3,5 \text{ кПа}}{91 \text{ кПа}} = \frac{2 \cdot 37 \cdot 0,7}{91} = \frac{2 \cdot 37}{130} = \frac{74}{130} = \frac{37}{65}$$

Ответ: 1) 12; 2) ~~11~~ 81°C ; 3) $\frac{37}{65}$

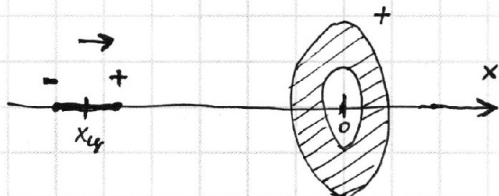


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

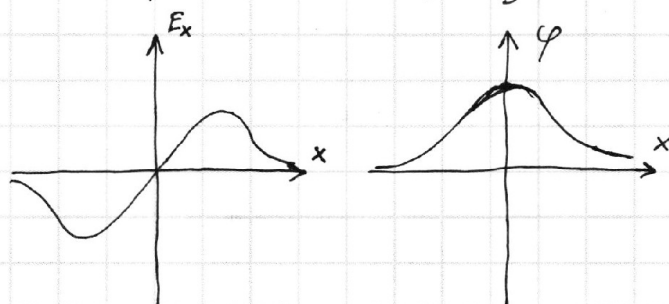
СТРАНИЦА
1 ИЗ 2

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!



потенциал такого диска ($\varphi = \int E dx$) сначала возрастает при прикл. из бесконечности, в $x=0$ достигает максимума, затем убывает:

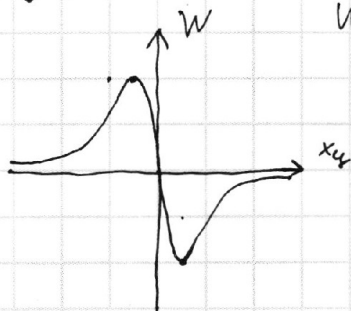
рассмотрим поле ^{на осц} положительного заряженного диска с отверстием: в центре его напряжённость равна 0, при удалении от центра растёт, далее убывает (на бесконечности — 0), $\vec{E}$ направлен от центра диска:



потенциальн. энергия ~~каждого~~ зарядов диполя в зависимости от координаты его центра выглядит так:

$$W_{\pm} = q\varphi_{\pm}(x)$$

суммарная пот. энергия:



$$W = q\varphi_+(x) - q\varphi_-(x)$$

при $x=0$, $W=0$,

$$\text{т.е. } E = K + W = K = K_0 = \frac{mV_0^2}{2}$$

$$K = K_0 \Rightarrow V = V_0 \quad (\text{вне зависимости от знат. зарядов диполя})$$

1) $V = V_0$
(K — кинетич. энергия)

при начальн. скор., равной минимальной, прямая $W = \frac{mV_0^2}{2}$ проходит через максимум $W(x)$, т.к. в нём $K=0$ из ЗСЭ

2) ~~при уменьшении заряда~~ уменьшение зарядов в 2 раза ($q_1 = \frac{1}{2}q_0$):

$$q_1 = \frac{1}{2}q_0 \Rightarrow W_1 = \frac{1}{2}W_0 \quad \text{т.к. } W \sim q$$

$$W_{\max,0} = \frac{mV_0^2}{2}, \quad W_{\max,1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{mV_0^2}{2} = \frac{mV_0^2}{4}$$

миним. и максим. скорость будет в макс. и мин. W соответственно

$$K_{\min} = \frac{mV_0^2}{2} - W_{\max,1} = \frac{mV_0^2}{4}, \quad K_{\max} = \frac{mV_0^2}{2} + W_{\max,1} = \frac{3mV_0^2}{4}$$



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 2

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!

$$V_{\max} = \sqrt{\frac{2K_{\max}}{m}} = \sqrt{\frac{3}{2}V_0^2} = V_0\sqrt{\frac{3}{2}}$$

$$V_{\min} = \sqrt{\frac{2K_{\min}}{m}} = \sqrt{\frac{1}{2}V_0^2} = V_0\sqrt{\frac{1}{2}}$$

$$V_{\max} - V_{\min} = V_0\left(\frac{\sqrt{3}-1}{\sqrt{2}}\right)$$

$$\text{Ответ: } 1) V_0 ; \quad 2) \frac{\sqrt{3}-1}{\sqrt{2}} V_0$$

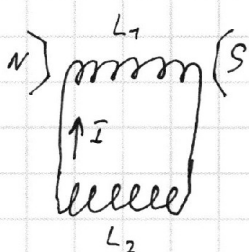


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении **каждой задачи отдельно**.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 ИЗ 1

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!



$$L_1 = l, L_2 = 6L, n, S, B_0, \tau$$

$\mathcal{E}_i$ — ЭДС инд. внеш. поля в L_1

$\mathcal{E}_{s1}, \mathcal{E}_{s2}$ — ЭДС самоинд. в L_1, L_2

т.к. ЭДС самоинд. препятств. возникн. тока, ~~тогда~~

$$\mathcal{E}_i - \mathcal{E}_{s1} - \mathcal{E}_{s2} = 0$$

$$\mathcal{E}_i = \mathcal{E}_{s1} + \mathcal{E}_{s2}, \quad \left| \frac{d\Phi}{dt} \right| = (L_1 + L_2) \frac{dI}{dt} = 7L \frac{dI}{dt}$$

Φ — магн. поток через L_1 , $\Phi = nSB$

$$1) \quad nS \left| \frac{dB}{dt} \right| = 7L \frac{dI}{dt}, \quad \text{проинтегрируем по времени}$$

$$nS \left| \frac{B(t) - B_0}{dt} \right| = 7LI_0, \quad I_0 = \frac{nSB_0}{7L}$$

2) для $t \in [0; \tau]$:

$$nS |B(t) - B_0| = 7LI(t), \quad nS (B_0 - B(t)) = 7LI(t), \quad \text{проинтегрир. по времени}$$

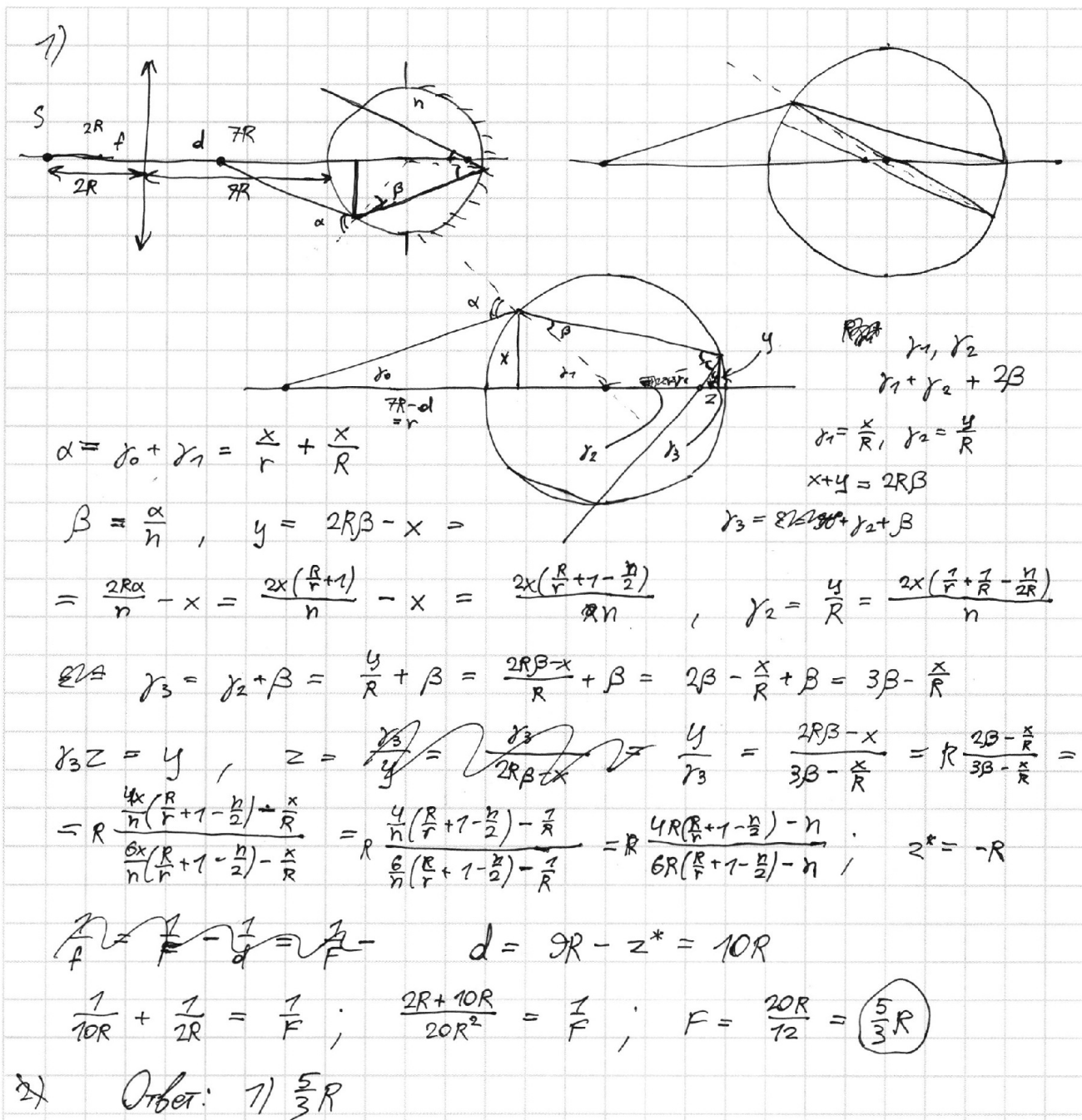
$$nS \frac{nS}{7L} \int_0^t (B_0 - B(t')) dt' = \tau q(t), \quad \text{т.к. } dq = I dt$$

пусть $t = \tau$, $\int_0^\tau (B_0 - B(t)) dt$ — площадь "наш" графиком $B(t)$ (между $B(t)$, $B=B_0$ и $t=\tau$)

$$\int_0^\tau (B_0 - B(t)) dt = 14 \cdot \frac{B_0 \tau}{48}$$

$$q(\tau) = q = \frac{nS}{7L} \cdot 14 \frac{B_0 \tau}{48} = \frac{nSB_0 \tau}{24L}$$

$$\text{Ответ: } 1) \frac{nSB_0}{7L}; \quad 2) \frac{nSB_0 \tau}{24L}$$





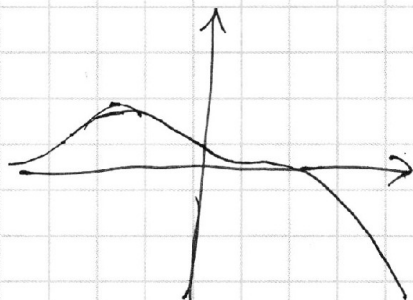
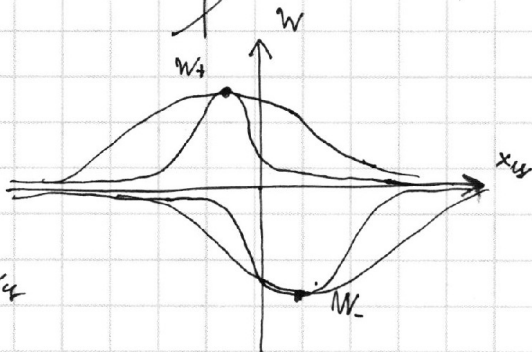
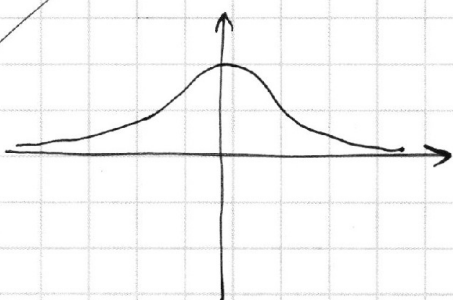
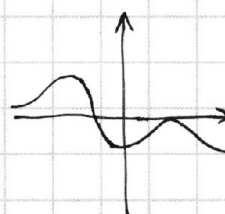
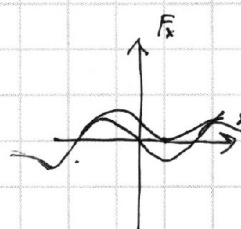
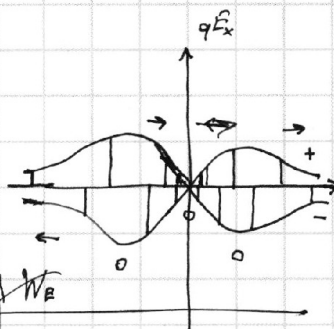
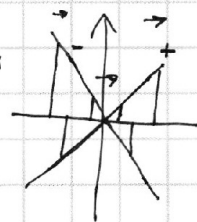
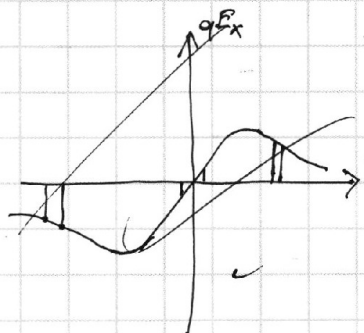
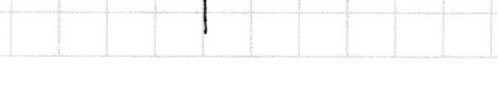
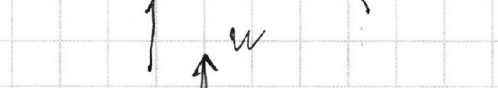
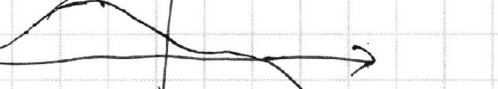
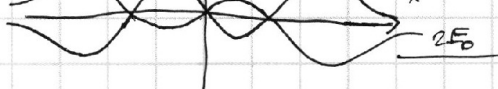
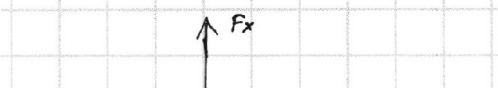
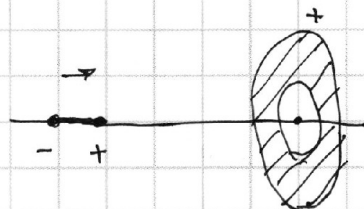
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении **каждой** задачи **отдельно**.

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!

$$3C\exists: \frac{mV_0^2}{2} = \frac{mV^2}{2} + W$$





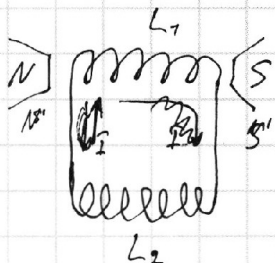
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



$$L_1, L_2, n, S, B_0$$

$$\epsilon_{i1} = \epsilon_{i2} \quad \epsilon_{i1} - \epsilon_{i1} - \epsilon_{i2} = 0$$

$$\epsilon_{i1} = \epsilon_{s1} + \epsilon_{s2}$$

$$\frac{d\phi}{dt} = (L_1 + L_2) \frac{dI}{dt}$$

$$\left| \frac{d\phi}{dt} \right| = (L_1 + L_2) \frac{dI}{dt}, \quad \phi = nSB, \quad \frac{d\phi}{dt} = -\frac{1}{3} \frac{B_0}{\tau} \quad \text{при } t < \frac{2}{3}\tau$$

$$\frac{d\phi}{dt} = -\frac{6/8}{1/3} \frac{B_0}{\tau} = -\frac{3 \cdot 3}{4} \frac{B_0}{\tau} = -\frac{9}{4} \frac{B_0}{\tau}$$

$$\left| \frac{d\phi}{dt} \right| = (L_1 + L_2) \frac{dI}{dt}, \quad \left| \Delta \phi \right| = nSB_0 = (L_1 + L_2) \Delta I = (L_1 + L_2) I_0$$

$$1) \quad I_0 = \frac{nSB_0}{L_1 + L_2} = \frac{nSB_0}{7L}$$

$$2) \quad \left| \frac{d\phi}{dt} \right| = (L_1 + L_2) \frac{dI}{dt}, \quad nS \left| \frac{dB}{dt} \right| = (L_1 + L_2) \frac{dI}{dt}$$

$$\left| B - B_0 \right| = \frac{L_1 + L_2}{nS} I$$

$$B_0 - B = \frac{L_1 + L_2}{nS} I, \quad B \approx \frac{L_1 + L_2}{nS} q = \int_0^{\tau} (B_0 - B) dt$$

$$q = \frac{nS}{7L} \int_0^{\tau} (B_0 - B) dt = \frac{nS}{7L} \cdot 14 \cdot \frac{B_0 \tau}{48} =$$

$$= \frac{nSB_0 \tau}{24L}$$

площадь "кад"
графиком (между ломаной
 $B(t)$, прямыми $B=B_0, t=\tau$)



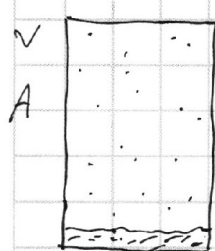
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!

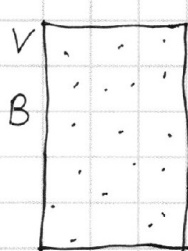


$$t_0 = 27^\circ\text{C}$$

$$\frac{1}{T_0}$$

$$m_{\text{он}} = \frac{1}{11} m_{\text{об}}$$

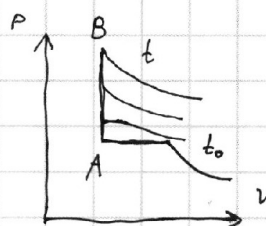
$$P_0$$



$$t = 97^\circ\text{C}$$

$$T$$

$$m_{\text{ин}}$$



$$1) \quad m_{\text{ин}} = m_{\text{он}} + m_{\text{об}} = \frac{12}{11} m_{\text{об}}$$

$$m_{\text{он}} = \frac{1}{11} m_{\text{об}}$$

$$\frac{m_{\text{ин}}}{m_{\text{он}}} = \frac{12}{1} = 12$$

$$2) \quad P_0 V = \frac{m_{\text{он}}}{M} R T_0 = P_{\text{нас}}(t_0) V$$

$$P_{\text{нас}}(t^*) V = \frac{m_{\text{он}} + m_{\text{об}}}{M} R T^*$$

$$\frac{35}{70} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{350}{420}$$

$$\frac{P_{\text{нас}}(t^*)}{P_{\text{нас}}(t_0)} = \frac{m_{\text{он}} + m_{\text{об}}}{m_{\text{он}}} \frac{T^*}{T_0} = \frac{12}{1} \frac{T^*}{T_0} = 12 \frac{T^*}{T_0}$$

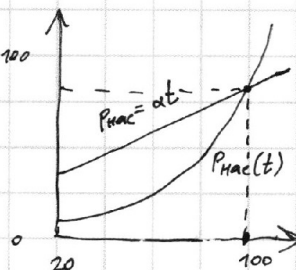
$$P_{\text{нас}}(t^*) = P_{\text{нас}}(t_0) \cdot 12 \frac{T^*}{T_0} \quad \text{— прямая на графике } P_{\text{нас}}(t)$$

$$= \alpha T^*$$

$$\alpha = P_{\text{нас}}(t_0) \cdot \frac{12}{T_0} = 3,5 \text{ кПа} \cdot \frac{12}{(273+27)\text{K}} = \frac{3,5 \text{ кПа} \cdot 12}{300 \text{ K}} = \frac{42}{300} \frac{\text{кПа}}{\text{K}} = \frac{7}{50} \frac{\text{кПа}}{\text{K}}$$

$$\alpha(273+27) = \alpha T_0 = 42 \text{ кПа}$$

$$t^* = 87^\circ\text{C}$$



$$3) \quad P_{\text{нас}}(t^*) = \frac{(m_{\text{он}} + m_{\text{об}})}{M} R T^*$$

$$P_{\text{нас}}(t_0) = \frac{m_{\text{он}}}{M} R T_0$$

$$\varphi = \frac{P}{P_{\text{нас}}(t)} = \frac{\frac{3}{40} P_{\text{нас}}(t_0)}{P_{\text{нас}}(t)} =$$

$$= \frac{3}{40}$$

$$P_{\text{нас}} = \frac{m_{\text{он}} + m_{\text{об}}}{M} R T$$

$$\frac{P_{\text{нас}}(t_0)}{P} = \frac{m_{\text{он}} + m_{\text{об}}}{m_{\text{он}}} \frac{T_0}{T} = \frac{12}{1} \frac{1}{11} = \frac{300 \text{ K}}{270 \text{ K}} =$$

$$= 12 \cdot \frac{10}{9} = \frac{40}{3}$$



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!

