



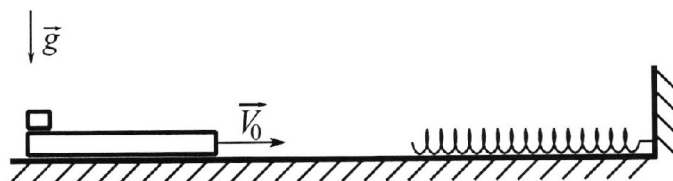
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

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.

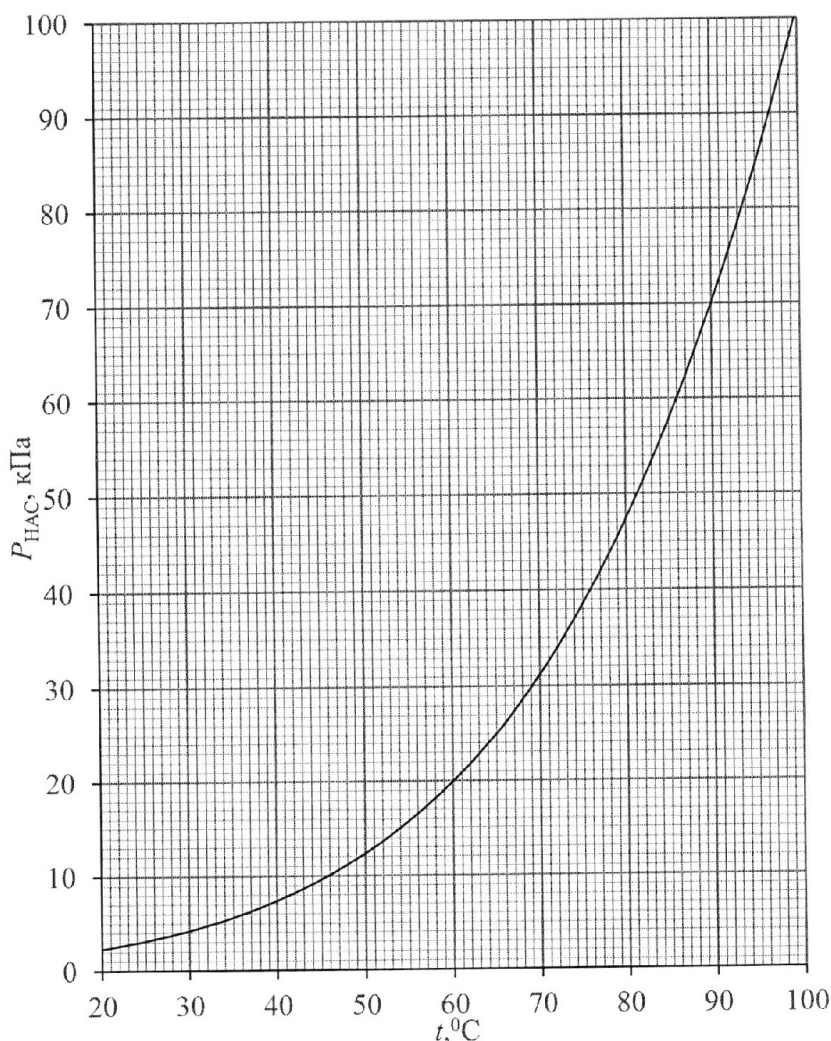


- 1) Найдите сжатие пружины в тот момент, когда начнётся относительное движение бруска и доски.
- 2) Найдите промежуток времени с момента начала сжатия пружины до момента начала относительного движения бруска и доски.
- 3) Найдите ускорение доски в момент максимального сжатия пружины.

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 $\varphi_0 = 2/3$ (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.





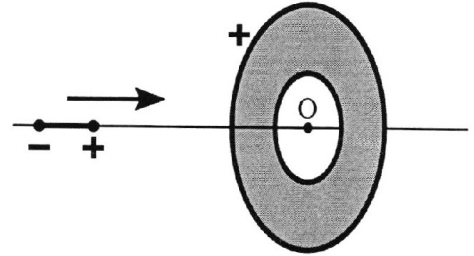
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-01

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

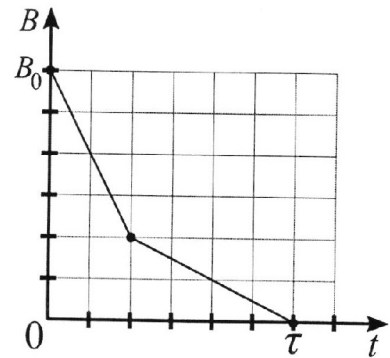
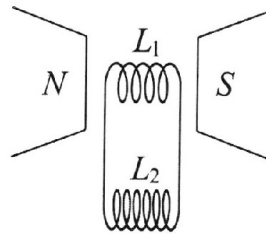


3. В плоском тонком диске в форме круга имеется круглое отверстие (см. рис.). Центры диска и отверстия совпадают в точке O . Диск имеет однородно распределенный по поверхности положительный заряд. Система из двух жестко связанных равных по модулю и противоположных по знаку точечных зарядов (диполь) движется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



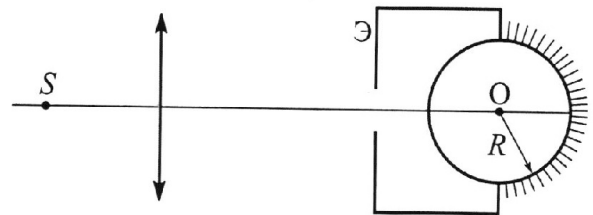
- 1) Найти скорость диполя при пролете центра диполя через центр отверстия.
- 2) Найти разность максимальной и минимальной скоростей диполя при пролете.

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, протекающий 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 $\sin \alpha \approx \alpha$.

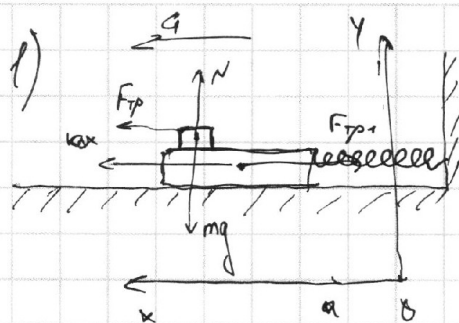


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 из 3

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) Пока они движутся вместе:

2.3.Н.: $(M+m)a_x = k\Delta x$ - для сист.
по ОХ доска + брусок

, где Δx - статическая деформация

2) 2.3.Н.: ОХ: $ma = F_{тр}$

ОУ: $mg - N - mg = 0$ } $a \leq \mu g$

$F_{тр} \leq \mu N$

↓
усл-ие совм.
движения

3) $\frac{k\Delta x}{M+m} \leq \mu g \Rightarrow \Delta x \leq \frac{\mu g(M+m)}{k} \Rightarrow \text{при}$

$\Delta x = \frac{\mu g(M+m)}{k} = \frac{0,3 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 27 \text{ Н/м} (2 \text{ кг} + 1 \text{ кг})}{27 \text{ Н/м}} = \frac{1}{3} \text{ м} =$

$\Delta x = \frac{1}{3} \text{ м}$ касаются и отн. дв-ие, если система

проедет до такого Δx .

Проверю с помощью ЗСЭ: $\frac{(M+m)V_0^2}{2} = \frac{k\Delta x^2}{2} =$

$= \frac{3 \text{ кг} \cdot (2 \text{ м/с})^2}{2} = \frac{27 \text{ Н/м} \cdot (\frac{1}{3} \text{ м})^2}{2} = (6 - 1,5) \Delta x \approx 4,5 \Delta x > 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow$ хватит эн-ии, чтобы ~~на~~ скатывался на Δx и кас. отн.

дв-ие.

Ответ: $\frac{1}{3} \text{ м} \approx 0,33 \text{ м}$



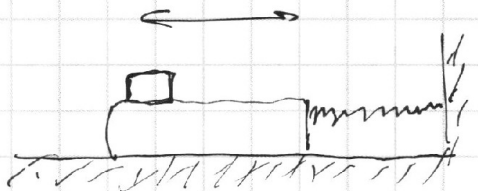
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 из 3

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)



до нат. со отн. дв-ия доска
и брусок - одно целое

После соприк с пружиной нат. колебания бруска с доской на пружине

$$v_{\max} = v_0 \Rightarrow A = \frac{v_0}{\omega_0} = \frac{v_0}{\sqrt{\frac{k}{m'}}} \Rightarrow A = \sqrt{\frac{m'}{k}} v_0, \text{ где } \omega_0 - \text{цикл. част. колеб.}$$

A - амплитуда
 $m' = M + m$ - массы сист.

$$\Delta x = A \cdot \sin \omega_0 \tau - x(t) \text{ для данных колеб. при } x = \Delta x$$

($v_{\max}$ - макс)

$$\tau = \arcsin\left(\frac{\Delta x}{A}\right) \cdot \frac{1}{\omega_0}$$

τ - время от момента до
достижения макс

$$\tau = \arcsin\left(\sqrt{\frac{k}{m'}} \cdot \frac{\mu g (M+m)}{v_0}\right) \cdot \sqrt{\frac{m'}{k}}$$

$$\tau = \arcsin\left(\sqrt{\frac{k}{m'}} \cdot \frac{\Delta x}{v_0}\right) \cdot \sqrt{\frac{m'}{k}} = \arcsin\left(\sqrt{\frac{27 \text{ Н/м}}{3 \text{ кг}}} \cdot \frac{\frac{1}{3} \text{ м}}{\frac{1}{2} \text{ м/с}}\right) \cdot \sqrt{\frac{3 \text{ кг}}{27 \text{ Н/м}}} = \frac{1}{2}$$

$$= \frac{\pi}{6} \cdot \frac{1}{3} \text{ с} = \frac{\pi}{18} \text{ с} = \frac{1}{6} \text{ с}$$

Ответ: $\frac{1}{6} \text{ с}$

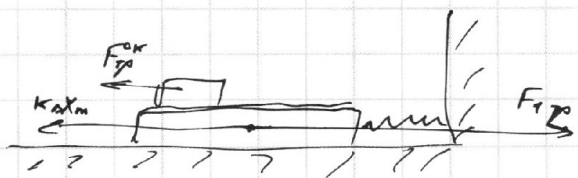
3) С мом. нат. пруж. до тех стати доска и брусок

большее уск по ох, чем груз $\Rightarrow$ при так стати $v_{gx} > v_x \Rightarrow$

$F_{\text{тр}}$ на груз действ. по ох. и там

$$F_{\text{тр}}^{\text{ск}} = \mu N \Rightarrow F_{\text{тр}} = F_{\text{тр}}^{\text{ск}} = \mu N = \mu mg$$

(уск + направление)



$$\Delta x_{\max} \Rightarrow \frac{d(\Delta x)}{dt} = 0 \Rightarrow v_g = 0$$

или



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 3

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 зб-ии до нел. протк.:

ЗСЭ: $\frac{(M+m)V_0^2}{2} = \frac{K\Delta X^2}{2} + \frac{(M+m)V_{ск}^2}{2}$, где $V_{ск}$ - ск. при которой нел. протк.

$$V_{ск} = \sqrt{\frac{2}{M+m} \left(\frac{(M+m)V_0^2}{2} - \frac{K\Delta X^2}{2} \right)} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4,5 \text{ Дж}}{3 \text{ кг}}} = \sqrt{3} \text{ м/с}$$

При зб-ии после нел. протк. на доску действ. $K\Delta X$ и $F_{тр} = \text{const}$

ЗСЭ: $\left(\frac{M V_{ск}^2}{2} + \frac{K\Delta X_m^2}{2} \right) - \left(\frac{M V_{ск}^2}{2} + \frac{K\Delta X^2}{2} \right) = F_{тр}(\Delta X_m - \Delta X)$

или

$$F_{тр}(\Delta X_m - \Delta X) = \frac{(M+m)V_0^2}{2} - \frac{K\Delta X_m^2}{2}$$

$$K\Delta X_m^2 + 2\mu mg\Delta X_m - 2\mu mg\Delta X - \frac{(M+m)V_0^2}{2} = 0$$

$$274 \text{ Н} \cdot \Delta X_m^2 + 6 \text{ Н} \cdot \Delta X_m - 14 \text{ Дж} = 0$$

$$\Delta X_m = \frac{-6 \pm \sqrt{6^2 + 4 \cdot 274 \cdot 14}}{2 \cdot 274}$$

$$\Delta X_m = \frac{-3 \pm \sqrt{(3)^2 + 14 \cdot 274 \cdot \frac{4}{m}}}{27 \frac{4}{m}} = \left(\frac{-3 + \sqrt{9 + 378}}{27} \right) \text{ м}$$

$$\Delta X_m = \frac{-3 + 3\sqrt{43}}{27} \text{ м} = \frac{\sqrt{43} - 1}{9} \text{ м}$$

$$Ma' = K\Delta X_m - \mu mg \Rightarrow a' = \frac{27 \frac{4}{m} \left(\frac{\sqrt{43} - 1}{9} \text{ м} \right) - 3 \text{ Н}}{2 \text{ кг}}$$

Ответ: $a' = \frac{3\sqrt{43} - 6}{2} \text{ м/с}^2$



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!

$$1) \frac{p_1}{p_{\text{нас}}^{16^\circ\text{C}}} = \varphi_0 \Rightarrow p_1 = \varphi_0 \cdot \overset{\substack{\uparrow \\ \text{из гр.}}}{p_{\text{нас}}^{16^\circ\text{C}}} = \frac{2}{3} \cdot 60 \text{ кПа} = \boxed{40 \text{ кПа}}$$

$$2) \text{ В } p_0 = p_1 + p_2 = \frac{\gamma_1 RT}{V} + \frac{\gamma_2 RT}{V} \Rightarrow p_1 = \text{const пока } \gamma_1 \text{ и } \gamma_2 - \text{const}$$

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= \frac{\gamma_1 RT}{V} \\ p_2 &= \frac{\gamma_2 RT}{V} \end{aligned} \right\} = \frac{p_1}{p_2} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2}$$

В Насыщенная конденс, когда пар станет нас.

$$\text{В } p_{\text{нас}}^{t^*} = p_1 \text{ из гр. : } \boxed{t^* = 70^\circ\text{C}}$$

3) После начала конд пар всегда нас.

$$t_k = 273^\circ - \text{перевод}$$

$$\text{При } t = 46^\circ\text{C} : p_{\text{нас}}^{16^\circ\text{C}} = 10 \text{ кПа}$$

в К.

$$p_0 = p_2' + p_{\text{нас}}^{16^\circ\text{C}}$$

$$\frac{p_2' V}{(t + t_k)} = \frac{p_2 V_0}{(t_0 + t_k)} \Rightarrow \frac{V}{V_0} = \frac{p_2}{p_2'} \cdot \frac{t + t_k}{t_0 + t_k} = \frac{p_0 - p_1}{p_0 - p_{\text{нас}}^{16^\circ\text{C}}} \cdot \frac{t + t_k}{t_0 + t_k}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{8}{9} \cdot \frac{320 \text{ К}}{360 \text{ К}} \cdot \frac{110 \text{ кПа}}{140 \text{ кПа}} = \frac{88}{126} = \frac{44}{63}$$

$$\frac{V}{V_0} \approx \frac{44}{63}$$



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

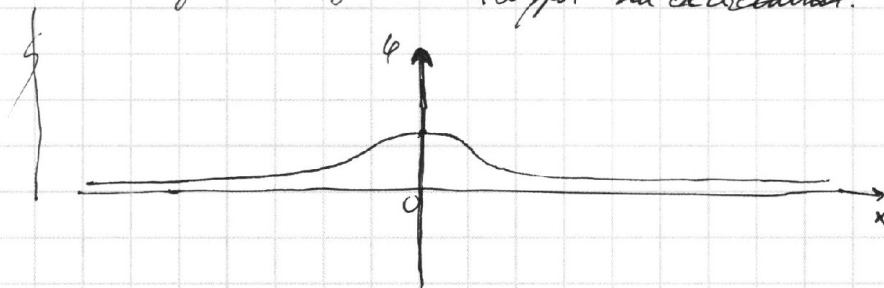
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

1) Потенциал данной фигуры - ~~потенциал~~ ~~не~~ сумма пот. колец по пр-пу суперпозиции. Пот. каждого кольца симметричен отн. 0 и max в 0. придем с беск. на оси к центру на оси от мон. возр.



Гипотеза $\Rightarrow$ пот. фигуры будет иметь те же св-ва.

Км. вид. пот. данной фигуры на осесиммет. оси:



Из симметрии отн. 0 $\Rightarrow$ ~~то~~ когда центр диполя будет совп. с центром кольца + и - будут как на осн. $\phi \Rightarrow$

$$\Rightarrow W_n = q\phi - q\phi = 0 = W_n^{\infty} \Rightarrow \boxed{\text{Ответ: } V_1 = 2V_0}$$

2) При пролете min ск-ть $V_0 \Rightarrow$ некоторое экстр. положение слева, где $W_n^{\text{max}} = \frac{m V_0^2}{2} = \frac{3}{4} m V_0^2$

W_n справа от кольца будет противоположно и при этом

$$\text{max в } W_n^{\text{min}} = -\frac{3}{4} \frac{m V_0^2}{2}$$

$$\text{ЗСЭ: } \begin{cases} v_{\min} = \sqrt{(2V_0)^2 - W_n^{\text{max}} \cdot \frac{2}{m}} = \sqrt{4V_0^2 - V_0^2} = \sqrt{3} V_0 \\ v_{\max} = \sqrt{(2V_0)^2 - W_n^{\text{min}} \cdot \frac{2}{m}} = \sqrt{4V_0^2 + V_0^2} = \sqrt{5} V_0 \end{cases} \quad \boxed{\text{Ответ: } \Delta V = (\sqrt{5} - \sqrt{3}) V_0}$$



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
☒

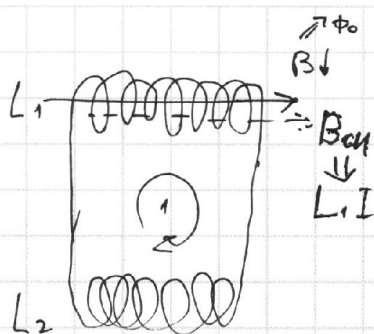
5
☐

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!



1) **Правильно** Кирхгофа :

$$\frac{d(L_1 I + \Phi)}{dt} + \frac{d(L_2 I)}{dt} = 0$$

$$(L_1 + L_2) dI = - d\Phi$$

$$(L_1 + L_2) I = - (B - B_0) S_1 n$$

$$I = \frac{(B_0 - B) S_1 n}{L_1 + L_2} = (B_0 - B) \cdot \frac{S_1 n}{5L}$$

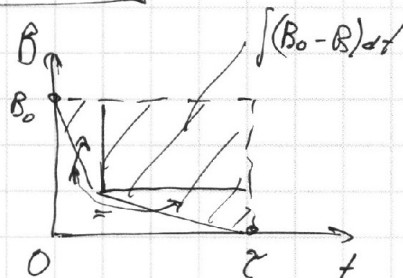
$$\text{В конце выкл } B = 0 \Rightarrow I = \frac{B_0 S_1 n}{5L}$$

$$\text{Ответ: } I = \frac{B_0 S_1 n}{5L}$$

$$2) dq = I dt = (B_0 - B) dt \cdot \frac{S_1 n}{5L}$$

$$q = \int_0^{\tau} (B_0 - B) dt \cdot \frac{S_1 n}{5L}$$

$$\int_0^{\tau} (B_0 - B) dt = \frac{2}{3} B_0 \tau$$



$$\text{Ответ: } q = \frac{2}{15} \cdot \frac{B_0 S_1 n \tau}{L}$$



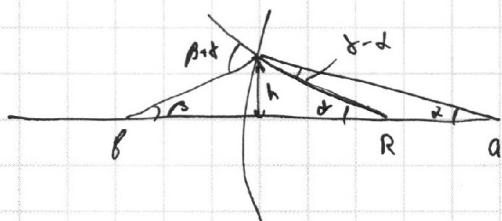
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!

1)



$$n(x-\alpha) = \beta + x - \beta - \text{и } \alpha, \beta, x - \text{малы.}$$

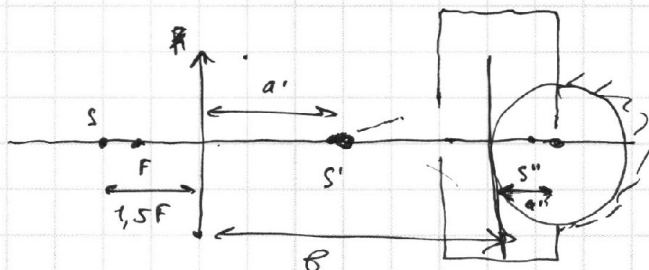
$$(n-1)x = n\alpha + \beta$$

$$(n-1)\frac{h}{R} = \frac{n\alpha}{a} + \frac{\beta}{b}$$

Ф-ла Шнегера:

$$\frac{n-1}{R} = \frac{n}{a} + \frac{1}{b}$$

2)



$$\text{ФТЛ: } \frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{\frac{2}{3}F}$$

$$\frac{2F}{3} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{F}$$

$$a' = 3F$$

$$\text{Ф-ла Шнегера: } \frac{1}{b-a'} + \frac{n}{a''} = \frac{(n-1)}{R} \quad (1)$$

$$\frac{a''}{n} = \left(\frac{n-1}{R} + \frac{3}{F} \right)^{-1} \rightarrow \frac{n}{R} = \frac{n-1}{R} + \frac{3}{F}$$

$$\text{Ф. ф. зеркала: } \frac{1}{2R-a''} + \frac{1}{a''} = \frac{2}{R} \Rightarrow a'' = a''' = R \quad \Rightarrow \quad \boxed{R = \frac{F}{3}}$$

Из пр-та бр. лучей: если $a''' = 2R - a'' \Leftrightarrow$ изобр. после отр.

пойдет пойдет по той же пути назад ($s'' = s'''$)

$$\text{Ответ: } \boxed{R = \frac{F}{3}}$$



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
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!

2) Во 2м пункте аналогично $a''' = 2R - a'' = R$, но

$$\omega F = \frac{8}{3}F + 2F = \frac{14}{3}F$$

Запишу (1): $\frac{a'''}{R} = \frac{1}{\frac{14}{3}F - 3F} + \frac{R}{R} = \frac{R-1}{R}$

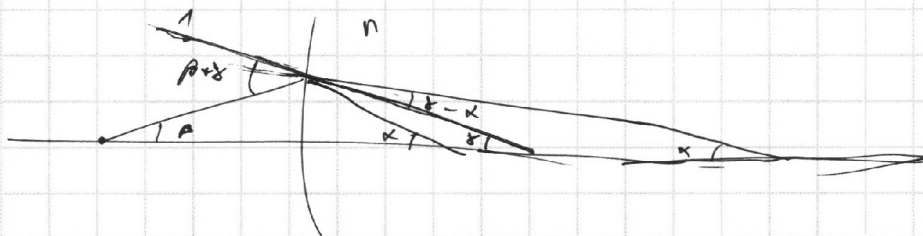


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.



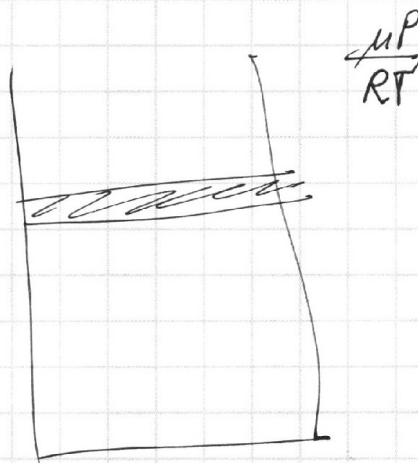
СТРАНИЦА
__ ИЗ __

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!



$$n(\gamma - \alpha) = \beta + \gamma$$

$$\frac{(n-1)}{R} = \frac{P}{a} + \frac{1}{b} \quad \& \quad \frac{P}{P_{max}}$$





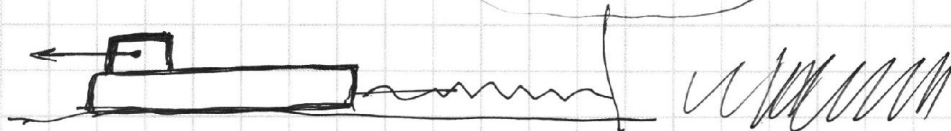
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☒ 2 ☒ 3 ☒ 4 ☒ 5 ☒ 6 ☒ 7 ☒

СТРАНИЦА
__ ИЗ __

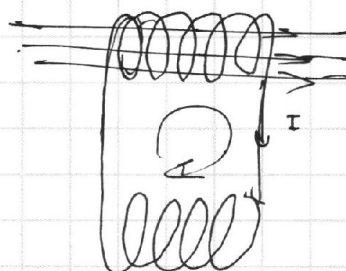
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

$$\Sigma L \Delta I + \Delta \Phi = 0$$



$$\frac{d(LI + \Phi)}{dt} = 0$$

$$m(v \Delta t) \quad 6n \cdot \frac{1}{3} m = 2$$



$$\Sigma L(I - 0) + (B - B_0) \Delta = 0$$

$$\times \frac{14}{27}$$

$$\times \frac{27}{14}$$

$$\frac{108}{27} = 378$$

$$\frac{d(LI + \Phi)}{dt} =$$

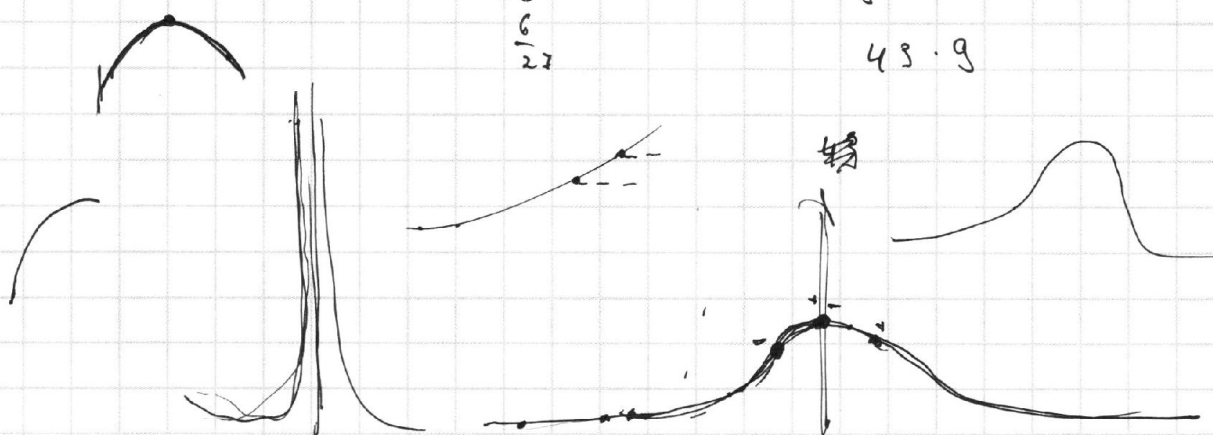
$$\frac{d(LI + \Phi)}{dt} =$$

$$dLI + B_0 \Delta n L$$

$$\begin{array}{r} 387 \overline{) 3} \\ 3 \\ \hline 08 \\ 6 \\ \hline 27 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 129 \overline{) 3} \\ 12 \\ \hline 9 \end{array}$$

$$43 \cdot 9$$



$$dLI$$