



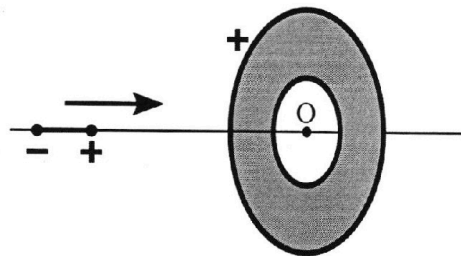
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-01

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



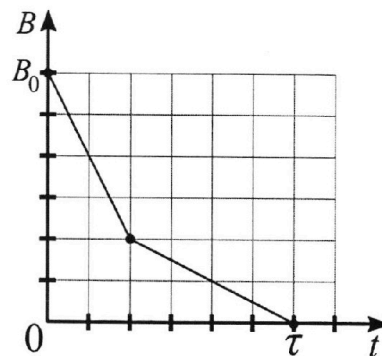
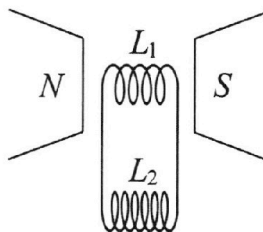
3. В плоском тонком диске в форме круга имеется круглое отверстие (см. рис.). Центры диска и отверстия совпадают в точке O . Диск имеет однородно распределенный по поверхности положительный заряд. Система из двух жестко связанных равных по модулю и противоположных по знаку точечных зарядов (диполь) движется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

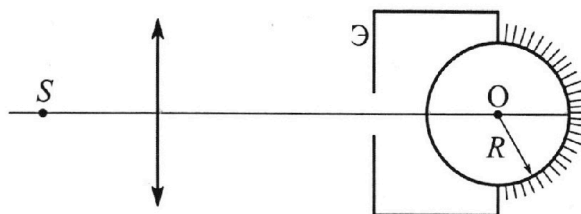
4. Катушка индуктивностью $L_1 = L$ с числом витков n и площадью каждого витка S_1 находится во внешнем однородном магнитном поле с индукцией B_0 . Силовые линии поля перпендикулярны плоскости каждого витка. Вторая катушка индуктивностью $L_2 = 4L$ находится вне поля (см. рис.). Сопротивление катушек 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 $\sin \alpha \approx \alpha$.



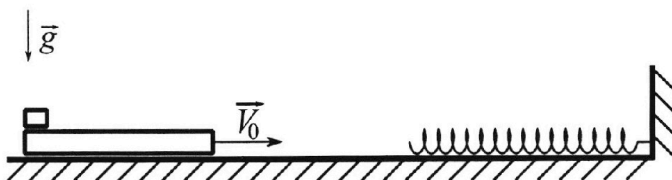
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

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 $\pi \approx 3$. Брусок и доска всё время движутся в одной вертикальной плоскости.

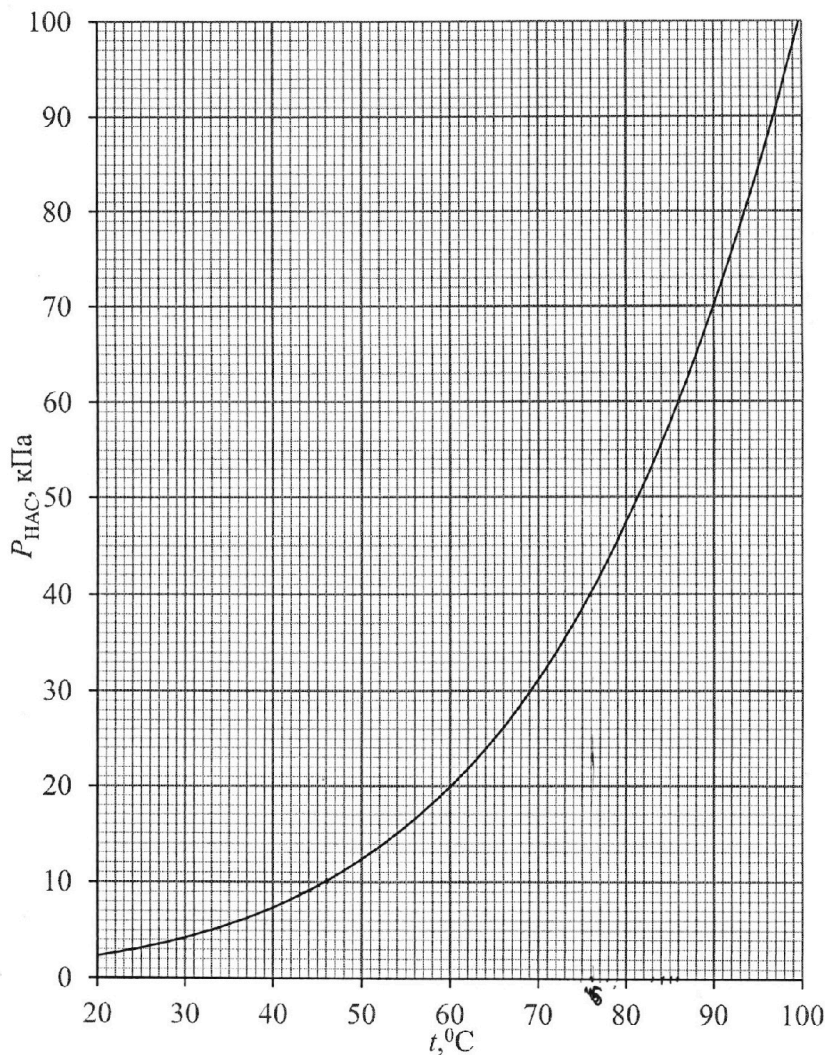


- 1) Найдите сжатие пружины в тот момент, когда начнётся относительное движение бруска и доски.
- 2) Найдите промежуток времени с момента начала сжатия пружины до момента начала относительного движения бруска и доски.
- 3) Найдите ускорение доски в момент максимального сжатия пружины.

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.



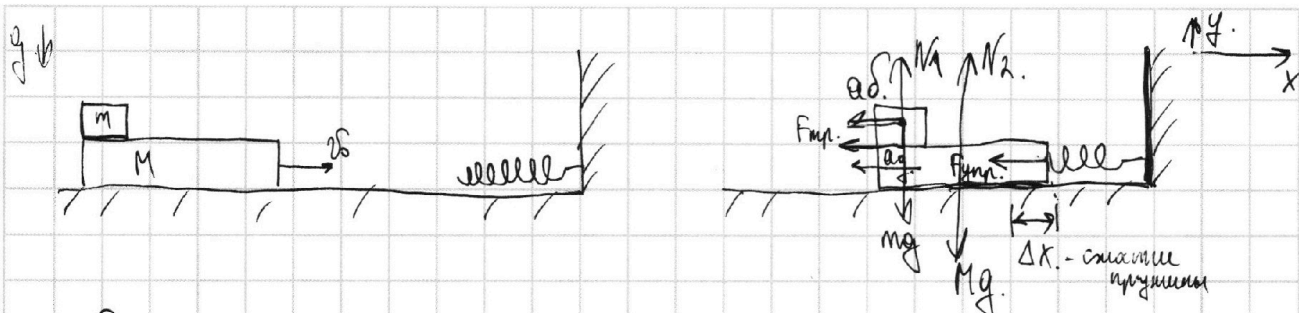


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



До момента начала отпос. движения, брусок и доска движутся ~~посл~~ совместно с одинак скоростью. ~~то~~

то ЗСЭ для „брусок + доска + пруж.“ нач. мом. = нач. отп. дви:

$$\frac{m v_0^2}{2} + \frac{M v_0^2}{2} = \frac{m v_1^2}{2} + \frac{M v_1^2}{2} + \frac{k \Delta x^2}{2} \quad \text{П.к. в этот момент дви.}$$

бруска отп. доски только начинается, ~~тогда~~ скорость бруска отп. доски = 0 $\Rightarrow$ в системе отсч. связ. с землей их скорости равны.

2 ЗИ для бруска в проекции на x: $-F_{\text{тр}} = -m a_{\text{б}}$. В момент „отрыва“ бруска $F_{\text{тр}}$ такая = $F_{\text{тр. макс}}$ $\Rightarrow F_{\text{т}} = M N_1$.

На 2 ЗИ для бруска в проекции на y: $N_1 = m g$.

По 3 ЗИ как брусок действ. на доску, так и доска действ. на брусок.

2 ЗИ для доски в проекции на ось x: $-F_{\text{упр}} + F_{\text{тр}} = M a_{\text{д}}$ $-M a_{\text{б}}$.

~~2 ЗИ для доски в проекции на ось y: $-N_1 + N_2$~~

Скорости бруска и доски равны до момента отп. дви $\Rightarrow$



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.



2

3

4

5

6

7

СТРАНИЦА

2 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!

$\Rightarrow$ равны ускорения $a_b = a_d$. Момент начала отп. движения - критическое положение, в этот момент можно также считать ускорения

равными. Пусть a_b $Mmg = ma_b$ $a_b = Mg = a_d$.

$Mg = F_{упр} - F_{тяг}$ $F_{упр} = k\Delta x$ (по закону Гука)

$$M \cdot Mg = k\Delta x - Mmg \quad \Delta x = \frac{M Mg + m Mg}{k} =$$

$$= \frac{Mg(M+m)}{k} = \frac{0,3 \cdot 10 (2+1)}{27} = \frac{1}{3} \text{ м.}$$

П.к. доска длинная, будем считать, что брусок с ней не соскальзывает, тогда брусок и доску можно рассмотреть как систему тел колебл. на пружине.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m+M}{k}} = 2 \cdot 3 \sqrt{\frac{3}{27}} = 2 \cdot 3 \sqrt{\frac{1}{9}} = 2 \text{ с.}$$

$$\text{Из 3СЭ найдем } v_1 \text{ и } v_2: v_1 = \sqrt{\frac{v_0^2(M+m) - k\Delta x^2}{M+m}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3 - 27 \cdot \frac{1}{9}}{3}} = \sqrt{3} \text{ м/с.}$$

Пусть время от начала сжатия пруж. до мом. нач. ^{отп.}поступ. дви. = t , тогда время дви. от бруска и доски от мом.

сжатия нач. поступ. отп. дви. до мом. макс. сжатия

пружины $t_f = \frac{T}{2} - t$. В этот промежуток времени брусок

движется с постоянным ускорением $Mg \Rightarrow v_2 = v_1 - Mg t_f$

$$= v_1 - Mg \left(\frac{T}{2} - t \right) = v_{\text{бруска в мом. макс. сжатия пружины.}}$$



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!

$$\text{ЗСБ для "брусок + доска + пруж."} = \frac{m v_0^2}{2} + \frac{M v_0^2}{2} = \frac{k \Delta x_{\max}^2}{2} +$$
$$+ \frac{m v_2^2}{2} \quad \text{Ек доски в этот мом} = 0, \text{ т.к. } v = 0.$$

Ответ: $1 \frac{1}{3} \text{ м.}$



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 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!

$$\frac{p_{\text{пар}}}{p_{\text{нас}}} = \varphi. \quad p_1 = p_{\text{пар}} = \varphi_0 \cdot p_{\text{нас}}(26^\circ\text{C}) = \frac{2}{3} \cdot 60 = 40 \text{ кПа.}$$

В нашем сосуде находится влажный воздух, т.е. 2 газа - пар и воздух. По зак Давидсона $p_n + p_b = p_0$.
 $p_n = p_1$ при $t = 26^\circ\text{C} \Rightarrow p_b = p_0 - p_1 = 20 \text{ кПа.}$

По 2 ЗП. сила давления газа на поршень = силе тяжести, действ. на поршень. $\Rightarrow$ давление газа = const = $p_0/5$

Конденсация пара начнется в момент, когда $p_{\text{пар}} = p_{\text{нас}}$.

По зак идеал М-Р: $p_b \cdot V_0 = \nu_b R \cdot T_0$ $\nu_b = \frac{p_b \cdot V_0}{R T_0}$
 $\frac{p_1 \cdot \nu_b R T_0}{p_b} = \nu_n R T_0. \quad \frac{\nu_b}{\nu_n} = \frac{p_b}{p_1} \cdot \frac{11}{4} \cdot \frac{V_0}{V_0} = \frac{\nu_b R T_0}{p_b}$
 $p_1 \cdot V_0 = \nu_n R T_0. \quad \nu_n = \frac{p_1 V_0}{R T_0}$ До момента начала конденсации кол-во без-ва газа не меняется.

$$p_{2n} \cdot V_1 = \nu_n R T^*$$

$$p_{2b} \cdot V_1 = \nu_b R T^*$$

$$p_{2n} = \frac{\nu_n R T^*}{V_1} = \frac{p_1 V_0 R T^*}{V_1 R T_0} \quad p_{2b} = \frac{\nu_b R T^*}{V_1} = \frac{p_b \cdot V_0 R T^*}{V_1 R T_0}$$

$$p_{2n} + p_{2b} = p_0 \quad \frac{T^*}{V_1 T_0} (p_1 V_0 + p_b V_0) = p_0$$

$$V_1 = \frac{\nu_n R T^*}{p_{2n}}$$

$$\frac{p_{2b} \cdot \nu_n R T^*}{p_{2n}} = \nu_b R T^*$$

$$p_{2b} \cdot \nu_n = p_{2n} \cdot \nu_b$$

$$p_{2b} \cdot \nu_n = p_{2n} \cdot \frac{11}{4} \nu_n$$



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!

~~$$p_1 \cdot V = \nu R \cdot T$$~~

$$p_2 v + p_2 n = p_0 \quad \frac{11}{4} p_2 n + p_2 n = p_0 \quad p_2 n = \frac{p_0 \cdot 4}{15} = \frac{150 \cdot 4}{15} = 40 \text{ кПа.}$$

Конденсация начнется при $p_{\text{нас. н}} = 40 \text{ кПа}$. Это соответ. ~~температура~~
 $t' = 46^\circ \text{C}$.

~~$$p_{n3} \cdot V = \nu R T_3$$~~

$$p_{b3} \cdot V = \nu R T_3 \quad p_{b3} \cdot V = \frac{p_b \cdot V_0 \cdot R T_0}{R T_0}$$

~~$$p_{n3} \cdot V = \nu R T_3$$~~

$$\frac{V}{V_0} = \frac{p_b}{p_{b3}} \cdot \frac{T_3}{T_0}$$

~~Для бэгга~~

$$\frac{p_b \cdot V_0}{T_0} = \frac{p_{b3} \cdot V}{T_3}$$

$$p_0 = p_{b3} + p_{n3} (t \leftarrow t_0) \quad p_{b3} = p_0 - 10 = 140 \text{ кПа.}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{110 \cdot (46 + 273)}{140 \cdot (86 + 273)} = \frac{11 \cdot 319}{14 \cdot 359} \approx 0.59$$

Ответ: 1) 40 кПа 2) 46°C 3) $\frac{11 \cdot 319}{14 \cdot 359}$



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**.

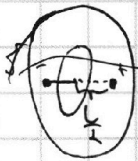


СТРАНИЦА
1 из 3

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!

Пусть m - масса диска. Q - заряд диска q^+ - заряд полн. зар. шарика q^- - отриц. заряд, R - радиус диска, r - радиус.

ЗСЭ: $\frac{m v_0^2}{2}$ - выреза, l - длина выреза зарядов диска.



При пролете диска через вырез сила Кулона действ. на полн. заряд = силе Кулона действ. на отриц. заряд.

Диск пролетит через диск, если пол. заряд окажется в его центре. В этом полн. разрыв F_K действ. на пол. заряд $= 0 \Rightarrow$ сила трения диска $= 0$. Выходная $= 0 \Rightarrow$

$$\text{ЗСЭ: } \frac{m v_0^2}{2} = E_n.$$



Разобьем заряд диска на малые заряды Δq .

Энергия создаваемая этими зарядами и q^- :

$$\frac{k \Delta q \cdot q^-}{\sqrt{l^2 + r'^2}}$$

Энергия созд. этими зарядами и q^+ :

$$\frac{k \Delta q \cdot q^+}{r'^2} \quad E_n = \sum \frac{k \Delta q \cdot q^-}{\sqrt{l^2 + r'^2}} + \sum \frac{k \Delta q \cdot q^+}{r'^2} =$$

$$= k q \left(- \sum \frac{\Delta q}{\sqrt{l^2 + r'^2}} + \sum \frac{\Delta q}{r'^2} \right)$$

ЗСЭ для диска в нач. момент и момент, когда полн.

Когда центр диска окажется в центре диска пол. энергия электрического поля, создаваемая зарядами q^- и зарядами q^+ =

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.

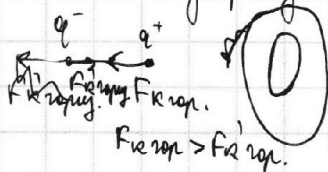
1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
2 ИЗ 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!

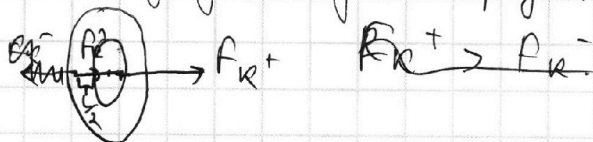
Энергия поля и заряда q^- (по модулю). П.к. $|q^+| \neq |q^-|$ и
расстояние от q^+ до каждой из точек диска = рас. от q^-
до каждой из точек диска то $E_{п+} = -E_{п-}$, то к $q^+ = -q^-$.
Зна это значит, что в этом положении потенци. энергия
взаимог. диполя и эл. поля, создав. диском $= 0 \Rightarrow$
ЗСЭ:
 $E_k = E_{k'} \Rightarrow \frac{m(\Delta v)^2}{2} = \frac{m v'^2}{2} \Rightarrow v' = 2v_0$. - скорость диполя
при пролете ц. диполя через ц. диска.

До того момента, как как пол. зар. диполя пройдет через ц. F_k
тормозит диполь:

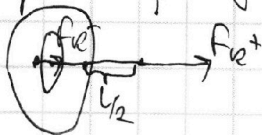


(вращ. составл. F_k
компенсируются)

После прох. пол. зар. через ц. диска до момента прох.
ц. диполя через диск. диполь разгоняется.



После прох. ц. диполя через ц. диска диполь также
разг:



При прохождении диполя через ц. диска диполь разгоняется $\Rightarrow$
 $v_{\min}$ - v диполя при прох. q^+ через ц. $v_{\max}$ - v диполя при прох.
 q^- через ц.



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.

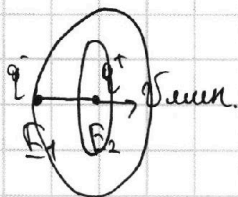


СТРАНИЦА

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!

1)

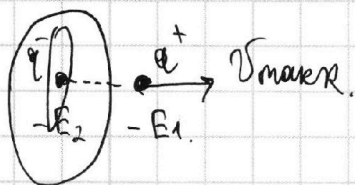


$$ЗЧБ: \frac{m(2v_0)^2}{2} = \frac{mv_{min}^2}{2} + E_n$$

$$E_n = E_1 + E_2 = \frac{mv_0^2}{2}$$

$$\frac{mv_{min}^2}{2} = \frac{3mv_0^2}{2} \quad v_{min} = \sqrt{3} v_0$$

2)



$$ЗЧБ: \frac{m(2v_0)^2}{2} = \frac{mv_{max}^2}{2} - E_2 - E_1$$

$$\frac{m(2v_0)^2}{2} = \frac{mv_{max}^2}{2} - \frac{m(2v_0)^2}{2} + \frac{mv_{min}^2}{2}$$

$$\frac{v_{max}}{v_{min}} = \sqrt{\frac{5}{3}}$$

$$\frac{mv_{max}^2}{2} = \frac{m(2v_0)^2}{2} + E_n = \frac{5mv_0^2}{2}$$

$$v_{max} = \sqrt{\frac{5}{3}} v_0$$

Ответ: 1) $2v_0$ 2) $\sqrt{\frac{5}{3}}$

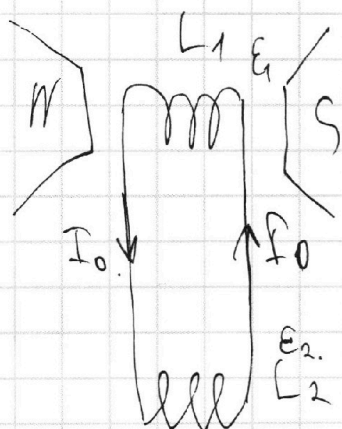


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 из 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!



П.к. сопротивление катушек и проводов отсутствует. Выполняется закон сохранения магнитного потока.

$$E_1 + E_2 = 0 \quad \frac{\Delta \Phi_1}{\Delta t} + \frac{\Delta \Phi_2}{\Delta t} = 0 \Rightarrow$$

$$\Delta \Phi_1 + \Delta \Phi_2 = \text{const.}$$

$$n B_0 \cdot S_1 - (I_0 L_1 + I_0 L_2) = I_0 L_1 + I_0 L_2. \quad I_0 = \frac{n B_0 S_1}{L_1 + L_2}$$

$$= \frac{n B_0 S_1}{5L} \quad I_0 =$$

В любой момент t справедливо: $n B_0 \cdot S_1 = I \cdot L_1 + I L_2 + n B(t) \cdot S_1$

$t \in (0; \frac{\tau}{3})$: $B = -\frac{1}{2} \frac{B_0}{\tau} t + B_0 \Rightarrow$

$$\Rightarrow I_1 = \frac{n B_0 \cdot S_1 - n (-\frac{1}{2} \frac{B_0}{\tau} t + B_0) \cdot S_1}{L_1 + L_2}$$

$$q_1 = \Delta t \cdot I_1(\frac{\tau}{3}) = \frac{\tau}{3} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{n B_0 S_1}{5L}$$

$$q_2 = \Delta t (I_2(t) - I_2(\frac{\tau}{3})) = \frac{\tau}{3} \left(\frac{4}{6} \cdot \frac{n B_0 S_1}{5L} - \frac{2}{3} \cdot \frac{n B_0 S_1}{5L} \right) = \frac{2\tau}{3}$$

$t \in (\frac{\tau}{3}; \tau)$: $B = -\frac{1}{2} \frac{B_0}{\tau} t + \frac{B_0}{3}$

$$I_2 = \frac{n B_0 S_1 - n (-\frac{1}{2} \frac{B_0}{\tau} t + \frac{B_0}{3}) \cdot S_1}{L_1 + L_2}$$



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
__ 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!

