



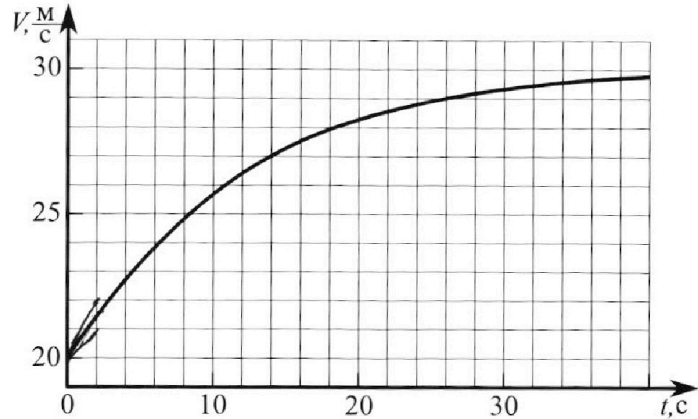
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-04



Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

1. Мотоциклист массой (вместе с мотоциклом) $m = 240$ кг движется с постоянной скоростью и затем разгоняется на прямолинейном горизонтальном участке дороги так, что мощность, передаваемая от двигателя на ведущее колесо, остается постоянной. График зависимости скорости от времени при разгоне показан на рисунке. В конце разгона сила сопротивления движению равна $F_k = 200$ Н.



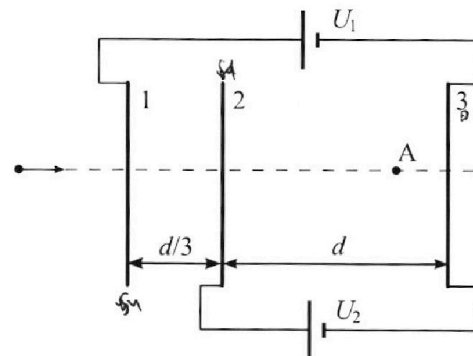
- 1) Используя график, найти ускорение мотоцикла в начале разгона.
- 2) Найти силу сопротивления движению F_0 в начале разгона.
- 3) Какая часть мощности, передаваемой на ведущее колесо, идет на преодоление силы сопротивления движению в начале разгона? Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объемом V разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится углекислый газ, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при комнатной температуре T_0 . При этом жидкость занимала объём $3V/8$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 4T_0/3 = 373$ К. Установившийся объём его верхней части стал равен $V/8$.

По закону Генри, при заданной температуре количество Δv растворённого газа в объёме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta v = kpw$. Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры $k \approx 0,6 \cdot 10^{-3}$ моль/(м³·Па). При конечной температуре T углекислый газ в воде практически не растворяется. Можно принять, что $RT \approx 3 \cdot 10^3$ Дж/моль, где R - универсальная газовая постоянная. Давлением водяных паров при комнатной температуре и изменением объёма жидкости в процессе нагревания пренебречь. Все газы считать идеальными.

- 1) Найти отношение количеств вещества в газообразном состоянии в верхней и нижней частях до нагревания.
- 2) Определите начальное давление в сосуде P_0 . Ответ выразить через $P_{\text{атм}}$ (нормальное атмосферное давление) с числовым коэффициентом в виде обыкновенной дроби.

3. Три проводящие плоские мелкие сетки находятся друг напротив друга на расстояниях d и $d/3$ (см. рис.). Размеры сеток значительно больше d . Изначально сетки не заряжены. К сеткам подсоединили источники с напряжением $U_1 = 5U$ и $U_2 = U$. Частица массой m и зарядом $q > 0$ движется по направлению к сеткам и перпендикулярно сеткам, имея скорость V_0 на расстоянии от сеток, намного большем их размеров. Частица пролетает через сетки, не отклоняясь от прямолинейной траектории. Заряд q намного меньше модуля зарядов сеток.



- 1) Найти модуль ускорения частицы в области между сетками 2 и 3.
- 2) Найти разность $K_3 - K_2$, где K_2 и K_3 — кинетические энергии частицы при пролете сеток 2 и 3.
- 3) Найти скорость частицы в точке А на расстоянии $3d/4$ от сетки 2.

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 11-04

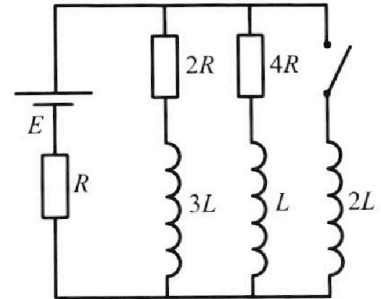
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



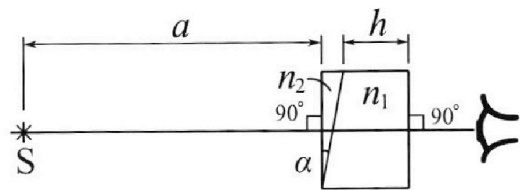
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток I_{20} через резистор с сопротивлением $4R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью $2L$ сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением $4R$ при замкнутом ключе?

Ответы давать с числовыми коэффициентами в виде обыкновенных дробей.



5. Оптическая система состоит из двух призм с показателями преломления n_1 и n_2 и находится в воздухе с показателем преломления $n_{\text{в}} = 1,0$. Точечный источник света S расположен на расстоянии $a = 100$ см от системы и рассматривается наблюдателем так, что источник и глаз наблюдателя находятся на прямой, перпендикулярной наружным поверхностям призм (см. рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 14$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.



(см. рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 14$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

- 1) Считая $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$, $n_2 = 1,7$, найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$, $n_2 = 1,7$, найдите расстояние между источником и его изображением, которое будет видеть наблюдатель.
- 3) Считая $n_1 = 1,4$, $n_2 = 1,7$, найдите на каком расстоянии от источника будет его изображение, которое увидит наблюдатель.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

✓ 1.

1) Заметим, что в начале разгона за $t_0 = 2$ секунды ΔV (возрастание скорости) оказалось > 1 м < 2 м/с.

$$\Rightarrow \Delta V \sim \frac{1+2}{2} = 1,5 \text{ м/с.} \Rightarrow a_0 = \frac{\Delta V}{t_0} = \frac{1,5}{2} = \underline{\underline{0,75 \text{ м/с}^2}}$$

2). Заметим, что при $V = 30 \text{ м/с}$, $\frac{dV}{dt} \approx 0$.
Мощность вытается $P = (m \frac{dV}{dt} + F) \cdot V$; F — сила сопл.
 \Rightarrow при $V_k = 30 \text{ м/с}$:

$$P = \left(m \frac{dV}{dt} + F_k \right) \cdot V_k = F_k \cdot V_k = 200 \text{ Н} \cdot 30 \text{ м/с} = \underline{\underline{6000 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}}}}$$

В начале движения: $V_0 = 20 \text{ м/с}$; $a_0 = 0,75 \text{ м/с}^2$.

$$\Rightarrow P = (m a_0 + F_0) V_0 = (240 \cdot 0,75 + F_0) \cdot 20 = 6000$$

$$\frac{6000}{20} = 180 + F_0 \Rightarrow F_0 + 180 = 300 \Rightarrow \underline{\underline{F_0 = 120 \text{ Н}}}$$

$$3) P_{\text{сопл.}} = F_0 V_0 = 120 \cdot 20 = \underline{\underline{2400 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}}}}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{сопл.}}}{P} = \frac{2400}{6000} = \underline{\underline{0,2}}$$

Ответы: 1) $0,75 \text{ м/с}^2$

2) 120 Н

3) $0,2$.

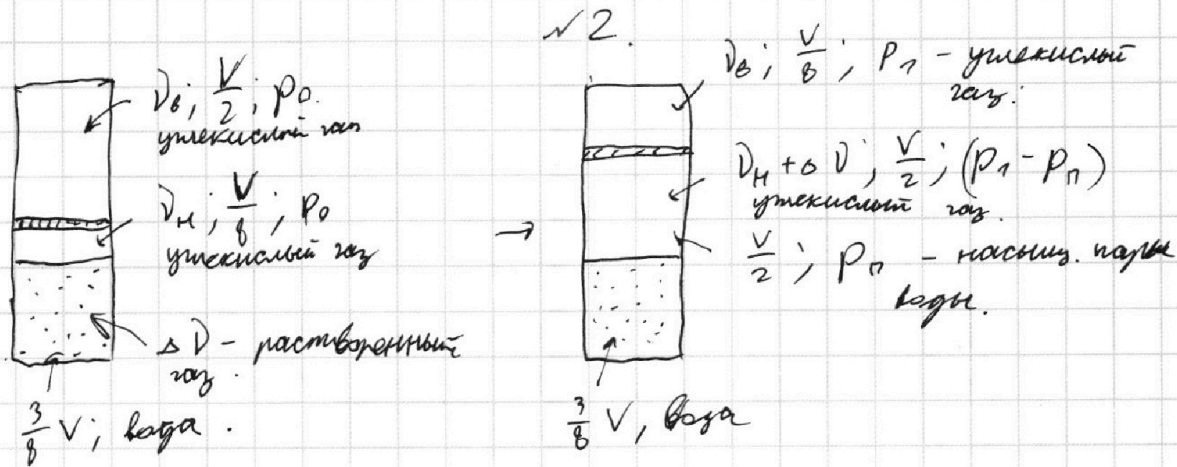
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$T = \frac{4T_0}{3} = 373 \text{ K} \approx 100^\circ \text{C} \Rightarrow \text{давление насыщ. паров воды при } T \quad p_0 = p_{\text{атм.}}$$

V_0 - кол-во углекислого газа над поршнем.

V_H - над поршнем жид. газ.

ΔV - было растворено в воде углек. газа.

Запишем ур-ния состояния идеального газа и закон Бойля:

$$p_0 \frac{V}{2} = \nu_0 R T_0 \quad \text{над поршнем, до нагрева}$$

$$p_1 \frac{V}{8} = \nu_0 R T \quad \text{над поршнем, после нагрева}$$

$$p_0 \frac{V}{8} = \nu_H R T_0 \quad \text{над поршнем, до нагрева}$$

$$(p_1 - p_{\text{атм.}}) \cdot \frac{V}{2} = (\nu_H + \Delta \nu) R T \quad \text{над поршнем, после нагрева}$$

$$\frac{3V}{8} \cdot \kappa p_0 = \Delta \nu \quad \text{закон Бойля}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{p_0 V}{2} = \nu_0 R T_0 & (1) \\ \frac{p_1 V}{8} = \nu_0 R \cdot \frac{4}{3} T_0 & (2) \\ \frac{p_0 V}{8} = \nu_H R T_0 & (3) \\ (p_1 - p_{\text{атм.}}) \frac{V}{2} = (\nu_H + \Delta \nu) R \cdot \frac{4}{3} T_0 & (4) \\ \frac{3V}{8} \cdot \kappa p_0 = \Delta \nu & (5) \end{cases} \Rightarrow$$

из (1) и (3):

Поделим (1) на (3):

$$\frac{\frac{p_0 V}{2}}{\frac{p_0 V}{8}} = \frac{\nu_0 R T_0}{\nu_H R T_0} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\nu_0}{\nu_H} = \frac{1}{\frac{1}{4}} = 4$$

$$\Rightarrow \frac{\nu_0}{\nu_H} = \underline{\underline{4}}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

№ 2 (продолжение).

$$\Rightarrow V_B = 4 V_M.$$

$$\Rightarrow \begin{cases} p_0 V = 6 V_M R T_0 \\ p_1 V = 32 V_M R \frac{4}{3} T_0 \end{cases} \quad \Rightarrow$$

$$(p_1 - p_{atm}) V = \left(V_M + \frac{3V}{8} k p_0 \right) R \cdot \frac{8}{3} T_0$$

$$\Rightarrow \begin{cases} V_M = \frac{p_0 V}{6 R T_0} \\ p_1 = \frac{128 V_M R T_0}{3 V} = \frac{128 \frac{p_0 V}{6 R T_0} \cdot R T_0}{3 V} = \frac{16}{3} p_0. \end{cases}$$

$$\left(\frac{16}{3} p_0 - p_{atm} \right) V = \left(\frac{p_0 V}{6 R T_0} + \frac{3V}{8} k p_0 \right) R \cdot \frac{8}{3} T_0$$

$$\frac{16}{3} p_0 - p_{atm} = \frac{p_0}{3} + \frac{3 k p_0 R T_0}{8}$$

$$\Rightarrow p_{atm} = p_0 \left(\frac{16}{3} - \frac{1}{3} - k R T_0 \right)$$

$$\Rightarrow p_0 = \frac{p_{atm}}{\frac{15}{3} - k R T_0}$$

$$R T_0 = 3 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{mol}} =$$

$$= \frac{4}{3} R T_0 \Rightarrow R T_0 = \frac{3}{4} \cdot 3 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$$\Rightarrow p_0 = \frac{p_{atm}}{\frac{15}{3} - 0,6 \cdot 10^3} = \frac{3 \cdot 3 \cdot 10^3}{4}$$

$$= p_{atm} \cdot \frac{1}{\frac{15}{3} - \frac{27}{20}} = p_{atm} \cdot \frac{60}{279} = \underline{\underline{p_{atm} \cdot \frac{20}{73}}}$$

⇒ Ответ: 1) 4
2) $\frac{20}{73} \cdot p_{atm}$.

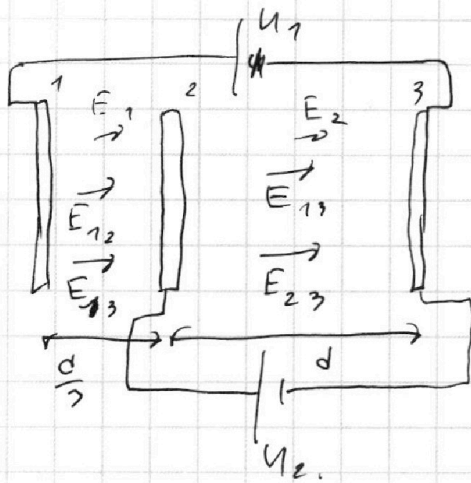
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$E_{ij} \rightarrow$ поле между i и j сетками

Тогда $E_{12} = \frac{U_1 - U_2}{\frac{d}{3}} = \frac{(5\varphi - \varphi) \cdot 3}{d}$

$$= \frac{12\varphi}{d}$$

$$E_{13} = \frac{U_1}{\frac{d+d}{3}} = \frac{15\varphi}{4d}$$

$$E_{23} = \frac{U_2}{d} = \frac{\varphi}{d}$$

Тогда $E_1 = E_{12} + E_{13} = \frac{12\varphi}{d} + \frac{15\varphi}{4d} = \frac{63\varphi}{4d}$

$$E_2 = E_{13} + E_{23} = \frac{15\varphi}{4d} + \frac{\varphi}{d} = \frac{19\varphi}{4d}$$

Тогда: $m \cdot a_{23} = F_{23} = q \cdot E_{23}$

$$\Rightarrow a_{23} = \frac{q}{m} \cdot E_{23} = \frac{q}{m} \cdot \frac{19\varphi}{4d} = \frac{19}{4} \frac{q\varphi}{md}$$

$$K_3 - K_2 = K_{23} = q \cdot E_2 \cdot d = q \cdot \frac{19\varphi}{4d} \cdot d = \frac{19}{4} q \cdot \varphi$$

V_a : $\frac{mV_a^2}{2} = \frac{mV_0^2}{2} + K_{12} + K_{2A} = \frac{mV_0^2}{2} + q \cdot \frac{d}{3} \cdot E_1 + q \cdot \frac{3d}{4} \cdot E_2$

$$= \frac{mV_0^2}{2} + \frac{219 \cdot 2\varphi}{4} + \frac{579\varphi}{4} = \frac{mV_0^2}{2} + \frac{78}{4} q\varphi$$

$$\Rightarrow V_a = \sqrt{V_0^2 + \frac{39q\varphi}{m}}$$

Ответы: 1) $\frac{19}{4} \frac{q\varphi}{md}$

2) $\frac{19}{4} q \cdot \varphi$

3) $\sqrt{V_0^2 + \frac{39q\varphi}{m}}$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

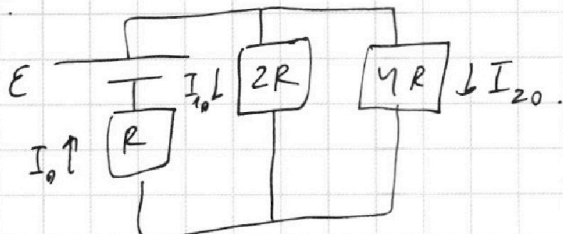


рч.

До замыкания ключа цепи установився \Rightarrow

\Rightarrow катушки можно считать проводом \Rightarrow

схема:



$$\Rightarrow I_{10} + I_{20} = I_0; \quad I_0 \cdot R + I_{10} \cdot 2R + I_{20} \cdot 4R = E$$

$$I_0 \left(R + \frac{2R \cdot 4R}{2R + 4R} \right) = E \quad \Rightarrow \quad I_0 \cdot \frac{7}{3} R = E \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_0 = \frac{3}{7} \frac{E}{R} \quad I_{10} = \frac{2I_0}{3} = \frac{2}{7} \frac{E}{R}$$

$$I_{10} \cdot 2R = I_{20} \cdot 4R \Rightarrow I_{20} = \frac{I_{10}}{2} = \frac{1}{7} \frac{E}{R}$$

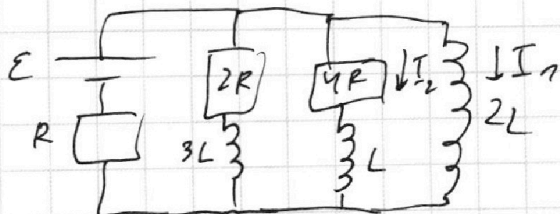
После замыкания ключа на катушке $2L$ будет напряжение $U_{2L0} = E - I_0 R = E - \frac{3}{7} \frac{E}{R} \cdot R =$

$$= \frac{4}{7} E. \quad U_{2L0} = -2L \frac{dI}{dt} \Rightarrow \left| \frac{dI}{dt} \right| = \frac{U_{2L0}}{2L} = \frac{4/7 \cdot E}{2L} =$$

$$= \frac{2}{7} \frac{E}{L}$$

После замыкания ключа и установления режима катушка $2L \approx$ провод. $\Rightarrow I_{2L1} = \frac{E}{R}$.

Рассмотрим процесс зарядки. Пусть режим установився за время T :



$$2L \cdot \frac{dI_1}{dt} = I_2 \cdot 4R - L \frac{dI_2}{dt}$$

$$\int_0^T 2L \frac{dI_1}{dt} \cdot dt = \int_0^T (I_2 \cdot 4R - L \frac{dI_2}{dt}) \cdot dt$$

$$\Rightarrow 2L I_1(T) = -4R \cdot 4R + L I_2(0)$$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

 МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

19 (продолжение)

$$\Rightarrow q_{4R} \cdot 4R = L I_2(0) - 2L I_1(T) \quad I_1(T) = I_{2LT} = \frac{\mathcal{E}}{R}$$

$$I_2(0) = I_{20} = \frac{\mathcal{E}}{7R}$$

$$\Rightarrow |q_{4R}| = \left| \frac{L I_{20} - 2L I_{2LT}}{4R} \right| = \left| \frac{\frac{L\mathcal{E}}{7R} - \frac{2L\mathcal{E}}{R}}{4R} \right| = \underline{\underline{\frac{13L\mathcal{E}}{28R^2}}}$$

- Answer:*
- 1) $\frac{1}{7} \frac{\mathcal{E}}{R}$
 - 2) $\frac{2}{7} \frac{\mathcal{E}}{L}$
 - 3) $\frac{13}{28} \frac{L\mathcal{E}}{R^2}$

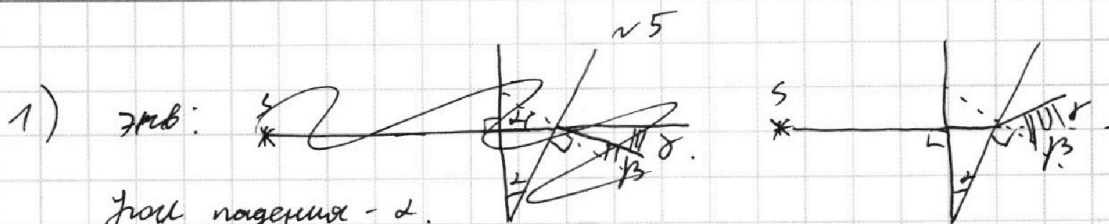
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



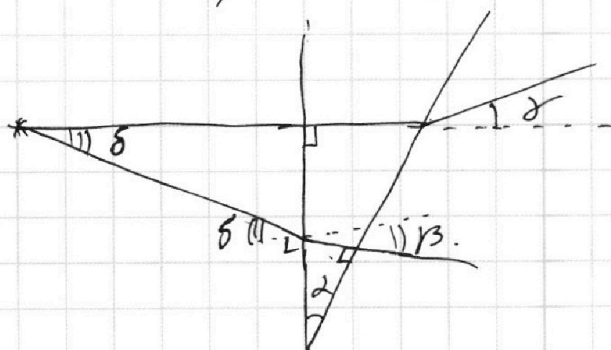
Угол падения - α .

Т.к. левая грань \perp лучу \Rightarrow на ней не происходит отклонения
 закон Снелля: $n_2 \cdot \sin \alpha = n_1 \cdot \sin \beta$. Т.к. $n_1 = n_0 = 1$, то
 $-\alpha + \beta = \alpha$. Отклонение - γ .
 Т.к. углы малы $\Rightarrow \sin x \approx x \Rightarrow$
 $\Rightarrow 1,7 \cdot \alpha = 1 \cdot \beta \Rightarrow \beta = 1,7 \alpha$
 $\gamma = \beta - \alpha = \alpha(1,7 - 1) = 0,7 \alpha$

Т.к. углы малы $\Rightarrow x \approx \sin x \approx \tan x$

$= \beta - \alpha = 1,7 \alpha - \alpha = 0,7 \alpha = \underline{\underline{0,07 \text{ рад}}}$

2). рассмотрим 2 луча: I \perp левой грани, второй
 такой, что \perp правой грани



\Rightarrow отклонение I - γ
 (из п. 1)

откл. II - β

$\sin \delta \cdot n_0 = \sin \beta \cdot n_2$

$\Rightarrow \delta = \beta \cdot n_2 \Rightarrow$ Т.к.

II \perp правой грани, то
 $\beta = \alpha$

$\Rightarrow \delta = n_2 \cdot \alpha$

Т.к. толщина призмы с
 n_2 мале \Rightarrow Эвб:

$AB = SA \cdot \tan \delta = a \cdot \delta$

$AT = \frac{AB}{\tan \alpha} = \frac{AB}{\alpha} = \frac{a \delta}{\alpha} = a \cdot n_2$

$AZ \cdot \tan \gamma = AB \cdot \frac{AT - AZ}{AT}$

$\Rightarrow AZ \cdot \gamma = a \cdot \delta \cdot \frac{a n_2 - AZ}{a n_2}$

$AZ \cdot 2(n_2 - 1) = a \cdot n_2 \cdot \alpha \cdot \left(1 - \frac{AZ}{a n_2}\right) \Rightarrow AZ = a \cdot \alpha \Rightarrow SS' = AZ \cdot \tan \delta =$
 $= a \cdot \alpha \cdot 2(n_2 - 1) = \underline{\underline{7 \text{ см}}}$

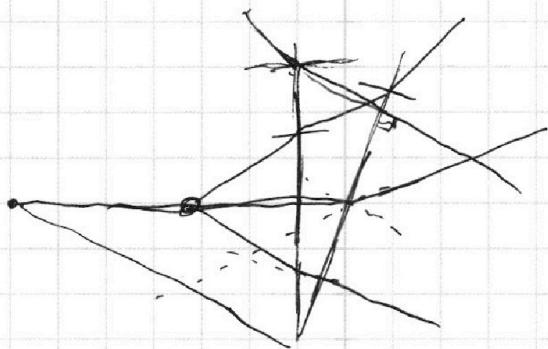
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

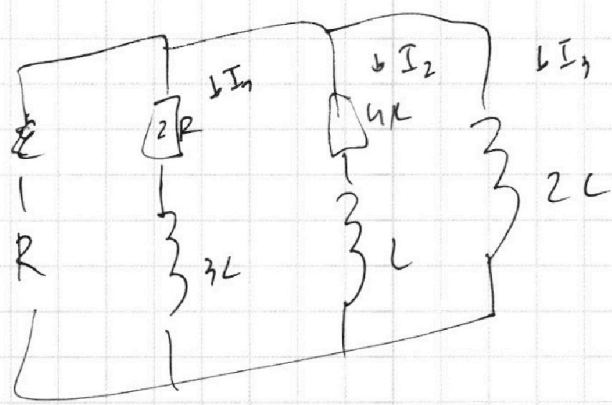


$$\frac{q n_2 - A z}{n_2 - 1}$$

$$A z =$$

$$A z n_2 - A z =$$

$$= q n_2 - A z.$$



$$-2L \frac{dI_3}{dt} = \varepsilon - (I_1 + I_2 + I_3)R.$$

$$0,07 \cdot 100 = 7$$

$$\Rightarrow 2L \frac{dI_3}{dt} = I_2 4R - L \frac{dI_2}{dt} =$$

$$= I_1 \cdot 2R - 3L \frac{dI_1}{dt}.$$

$$\int_0^T 2L \frac{dI_3}{dt} dt = \int_0^T (I_2 4R - L \frac{dI_2}{dt}) dt$$

$$2L \frac{\varepsilon}{4R} = -q \cdot 4R = L \cdot 0 + L \cdot I_{20}.$$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 1 2 3 4 5 6 7

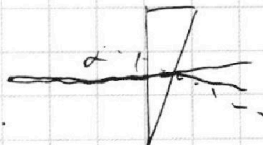
МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$\left(\frac{m \Delta V}{2t} + F\right) V.$$

$$m \cdot 200 \text{ м} \cdot 9 \text{ км/с} = P.$$



0,75

$$a_0 = 1 \text{ км/с}^2$$

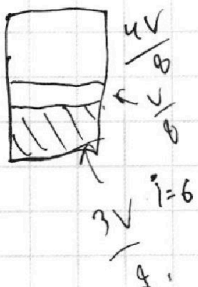
$$L = n_2 \lambda$$

$$F \cdot V = \frac{1200}{40000} = \frac{1}{5}$$

$$0,1 \left(1 - \frac{1}{1,7}\right)$$

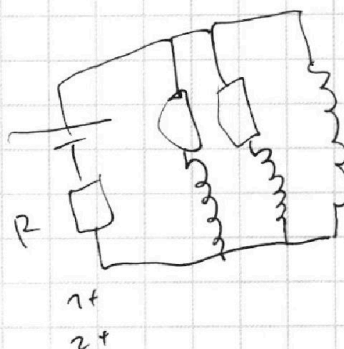
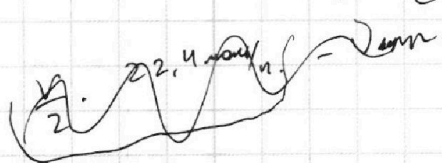
$$\lambda = \frac{L}{n_2} = \frac{60 \cdot 20}{200 \cdot 30}$$

$$\frac{200 \cdot 30}{20} - 240 - 600P$$



$$\frac{0,02}{1,7}$$

$$20 + 220 = \frac{F \cdot n_1 \cdot k_1}{c_1 \cdot a_1} = \frac{k_2}{c_2 \cdot a_2}$$

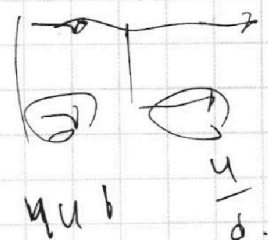


$\frac{1}{2} k \cdot \Delta x$

$$\begin{cases} P_0 \frac{V}{2} = \nu_0 R T_0 \\ P_1 \frac{V}{8} = \nu_0 R T \\ P_0 \frac{V}{8} = \nu_M R T_0 \\ P_1 \frac{V}{2} = (\nu_M + \Delta \nu) R T \\ \frac{3V}{8} \cdot k \cdot p_0 = \Delta \nu \end{cases}$$

$$P_0 \frac{V_0}{2} = \nu_M \Delta \nu$$

$$\frac{154}{2d}$$



$$\frac{m V_1^2}{2}$$

$$\frac{9}{4} = \frac{6}{70}$$

$$\frac{9}{4} = \frac{3}{5}$$

$$\frac{219}{3} = 73$$

$$\times 27$$

$$\frac{27}{20}$$

$$\frac{20}{20}$$

$$\frac{300 - 81}{60}$$

$$\frac{219}{60}$$

$$E_{00} = \sqrt{\frac{6}{220}}$$

$$\frac{124}{d}$$