



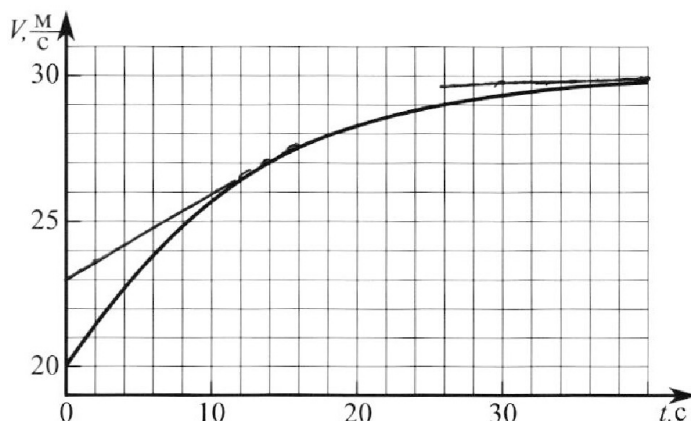
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-02

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



1. Мотоциклист массой (вместе с мотоциклом) $m = 300$ 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 $F_k = 405$ Н.



1) Используя график, найти ускорение мотоцикла при скорости $V_1 = 27$ м/с.

2) Найти силу сопротивления движению F_1 при скорости V_1 .

3) Какая часть мощности, передаваемой на ведущее колесо, идет на преодоление силы сопротивления движению при скорости V_1 ?

Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

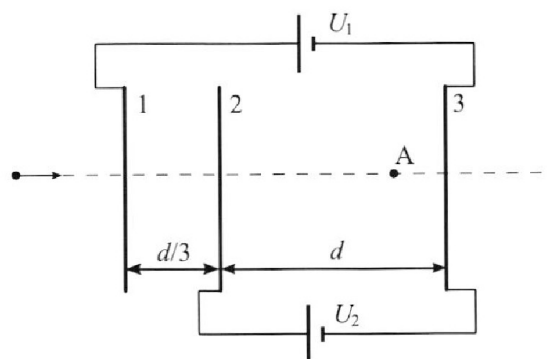
2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объемом V разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится азот, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при комнатной температуре T_0 . При этом жидкость занимала объем $V/4$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 4T_0/3 = 373$ К. Установившийся объем его верхней части стал равен $V/6$.

По закону Генри, при заданной температуре количество Δn растворённого газа в объеме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta n = kpw$. Объем 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 объема 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 конечное давление в сосуде P . 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 $U_1 = 2U$ 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 A на расстоянии $2d/3$ от сетки 2.



Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 11-02

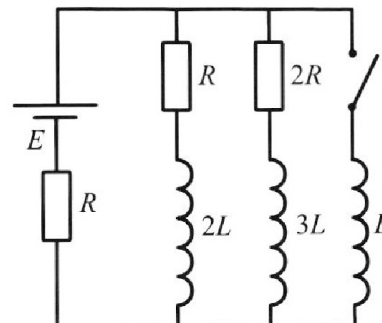
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



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 $2R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью L сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением $2R$ 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 $n_v = 1,0$. Точечный источник света S расположен на расстоянии $a = 200$ см от системы и рассматривается наблюдателем так, что источник и глаз наблюдателя находятся на прямой, перпендикулярной наружным поверхностям призм (см. рис.). Угол $\alpha = 0,05$ рад можно считать малым, толщина $h = 9$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

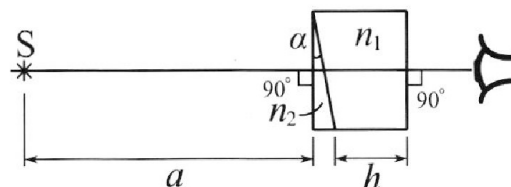


рис.). Угол $\alpha = 0,05$ рад можно считать малым, толщина $h = 9$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

- 1) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,6$, найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,6$, найдите расстояние между источником и его изображением, которое будет видеть наблюдатель.
- 3) Считая $n_1 = 1,8$, $n_2 = 1,6$, найдите на каком расстоянии от источника будет его изображение, которое увидит наблюдатель.

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!



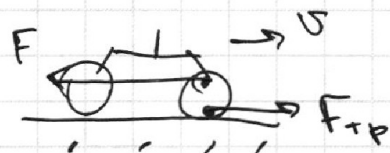
1) Проведем касательную в т. $v = 27 \text{ м/с}$

По коэф. наклона

Ответ:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{4}{14} = \frac{2}{7} \text{ м/с}^2$$

2) По графику видно, что в конце разгона касательная к графику почти горизонтальна $\Rightarrow a_k \approx 0 \Rightarrow F_{трk} \approx F_k$



Мощность, перед. на вед. колесо:

$$P = F_{тр} v = \text{const}$$

$$F_{трk} v_k = F_{тр} v_1$$

II 2-й Ньютона для момента $v = v_1$:

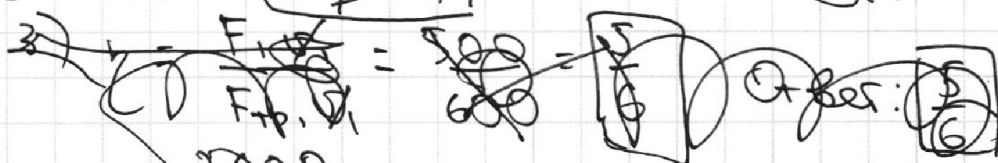
$$F_{тр1} - F_1 = ma_1$$

$$F_1 = F_{тр1} - ma_1 = F_{трk} \frac{v_k}{v_1} - ma_1 = 405 \cdot \frac{40}{27} -$$

$$- 300 \cdot \frac{2}{7} = 15 \cdot 40 - \frac{600}{7} = 600 - \frac{600}{7} = \frac{3600}{7} \text{ Н}$$

Ответ:

$$\frac{3600}{7} \text{ Н}$$



$$F_1 = \frac{3600}{7}$$

$$3) \eta = \frac{F_1 v_1}{F_{тр1} v_1} = \frac{F_1}{F_{тр1}} = \frac{\frac{3600}{7}}{15 \cdot 40} = \frac{6}{7}$$

$$= \frac{6}{7}$$

$$\text{Ответ: } \frac{6}{7}$$

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!



1) Упр-е со сс. где азота и угл. газа: $\begin{cases} \nu_{N_2} RT_0 = p_0 \frac{V}{2} (1) \\ \nu_{CO_2} RT_0 = p_0 \frac{V}{4} (2) \end{cases}$ габл. равны, т.к. порчи невелики

p_0	$\frac{V}{2}$
N_2	
$\frac{V}{4} p_0$	$\frac{V}{4}$
CO_2	

ответ:

$$\frac{\nu_{N_2}}{\nu_{CO_2}} = 2$$

$\frac{V}{4}$

2)

N_2	$\leftarrow \frac{V}{6}$
$CO_2 + \text{угл.}$	
$\frac{V}{4}$	

При $T = 373 K$ $p_{\text{вод. пар.}} =$

$$= p_{\text{атм}} \quad V_{\text{вод. пар.}} = V - \frac{V}{4} - \frac{V}{6} = \frac{5}{6}V - \frac{V}{6} = \frac{4}{6}V = \frac{2}{3}V$$

$$p = p_{\text{атм}} + p_{CO_2} \quad \Delta \nu_0 = k p_0 \frac{V}{4} - \text{растворено } CO_2 \text{ в воде указательно}$$

$$\nu_{CO_2}' = \nu_{CO_2} + \Delta \nu_0$$

Упр-е со сс. при T : $\begin{cases} \nu_{CO_2}' RT = p_{CO_2} \frac{V}{12} (1) \\ \nu_{N_2} RT = p \frac{V}{6} (3) \end{cases}$

(1): $\nu_{CO_2}' RT = p_{CO_2} \frac{V}{12}$
 $\nu_{CO_2}' = \frac{p_{CO_2}}{p_0} \cdot \frac{7}{3}$
 $\frac{4}{8} = \frac{p_{CO_2}}{p_0} \cdot \frac{7}{3}$
 $\frac{1}{2} = \frac{p_{CO_2}}{p_0} \cdot \frac{7}{3}$
 $\frac{p_{CO_2}}{p_0} = \frac{3}{14}$
 $p = p_{\text{атм}} + p_{CO_2}$
 $p = p_0$
 $p_{CO_2} = \frac{1}{14} p_0$
 $p = \frac{13}{14} p_0$
 $\nu_{CO_2} = \frac{1}{14} \cdot \frac{V}{12}$

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!

МФТИ

~~$$p_0 = p_{CO_2} + p_{H_2O}$$

$$p_{CO_2} = \frac{1}{6} p_0$$

$$p_{H_2O} = \frac{5}{6} p_0$$~~

~~$$(1) : (3)$$

$$\frac{p_{CO_2}}{p_{H_2O}} = \frac{1}{5}$$~~

~~См. 809. на 2 + 102:~~

~~$$p_{H_2O} RT = p_{H_2O} \frac{7}{12} V (5)$$~~

~~$$(5) = (1) \quad p_{H_2O} RT = p_{H_2O} \frac{7}{12} V$$~~

~~$$(1) : (3) \quad \begin{cases} p_{CO_2} RT = p_{CO_2} \frac{7}{12} V (1) \cdot 1.2 \\ 2 p_{CO_2} RT = (p_{CO_2} + p_{H_2O}) \frac{V}{6} (3) \end{cases}$$~~

~~$$2 p_{CO_2} RT = (p_{CO_2} + p_{H_2O}) \frac{V}{6} (3)$$~~

~~$$2 p_{CO_2} RT = \left(p_{CO_2} \frac{7}{6} - p_{CO_2} \frac{1}{6} - p_{H_2O} \frac{1}{6} \right) V$$~~

~~$$2 k p_0 \frac{V}{4} RT = (p_{CO_2} - \frac{p_{H_2O}}{6}) V$$~~

~~$$p_{CO_2} = \frac{p_{H_2O}}{6} + 2 k p_0 \frac{RT}{4} (*)$$~~

~~$$(3) : (4) \quad \frac{T}{T_0} = \frac{p}{p_0} \cdot \frac{1}{6} \cdot 2$$~~

~~$$\frac{4}{3} = \frac{p}{3 p_0} \Rightarrow p = p_0$$~~

~~$$p = p_{H_2O} = \frac{p_{H_2O}}{6} + 2 k p RT$$~~

~~$$p (1 - 2 k RT) = \frac{7}{6} p_{H_2O}$$~~

~~$$p = \frac{7 p_{H_2O}}{6 (1 - 2 k RT)} = \frac{7 p_{H_2O}}{6 (1 - 2 \cdot 0.6 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3)}$$~~

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!



$$(*) \quad p - p_{\text{агм}} = \frac{p_{\text{агм}}}{6} + \frac{k p R T}{8}$$

~~$$p(1 - kRT)$$~~

$$p \left(1 - \frac{kRT}{8}\right) = \frac{7}{6} p_{\text{агм}}$$

$$p = \frac{7}{6 \left(1 - \frac{kRT}{8}\right)} p_{\text{агм}} = \frac{7}{6 \left(1 - \frac{0,6 \cdot 18 \cdot 3 \cdot 10^8}{8}\right)} p_{\text{агм}} =$$

$$= \frac{7}{6 \left(1 - \frac{9}{5 \cdot 8}\right)} p_{\text{агм}} = \frac{7 \cdot 40}{6(40 - 9)} p_{\text{агм}} = \frac{7 \cdot 40}{6 \cdot 31} p_{\text{агм}} =$$

$$= \boxed{\frac{140}{93} p_{\text{агм}}} \quad \text{Ответ}$$

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!

$$\frac{mv_0^2}{2} + \cancel{\frac{8}{3}} Uq \cdot \cancel{\frac{2}{3}} + q \cancel{\frac{5}{2}} \cancel{\frac{4}{3}} \cdot \cancel{\frac{2}{3}} = \frac{mv_A^2}{2}$$

$$\frac{mv_0^2}{2} + \frac{8}{3} Uq = \frac{mv_A^2}{2}$$

~~$$v_A = \frac{2}{m} \sqrt{\frac{mv_0^2}{2} + \frac{8}{3} Uq}$$~~

$$v_A = \sqrt{\frac{2}{m} \left(\frac{mv_0^2}{2} + \frac{8}{3} Uq \right)} = \sqrt{v_0^2 + \frac{16}{3} \frac{Uq}{m}}$$

↑
ответ

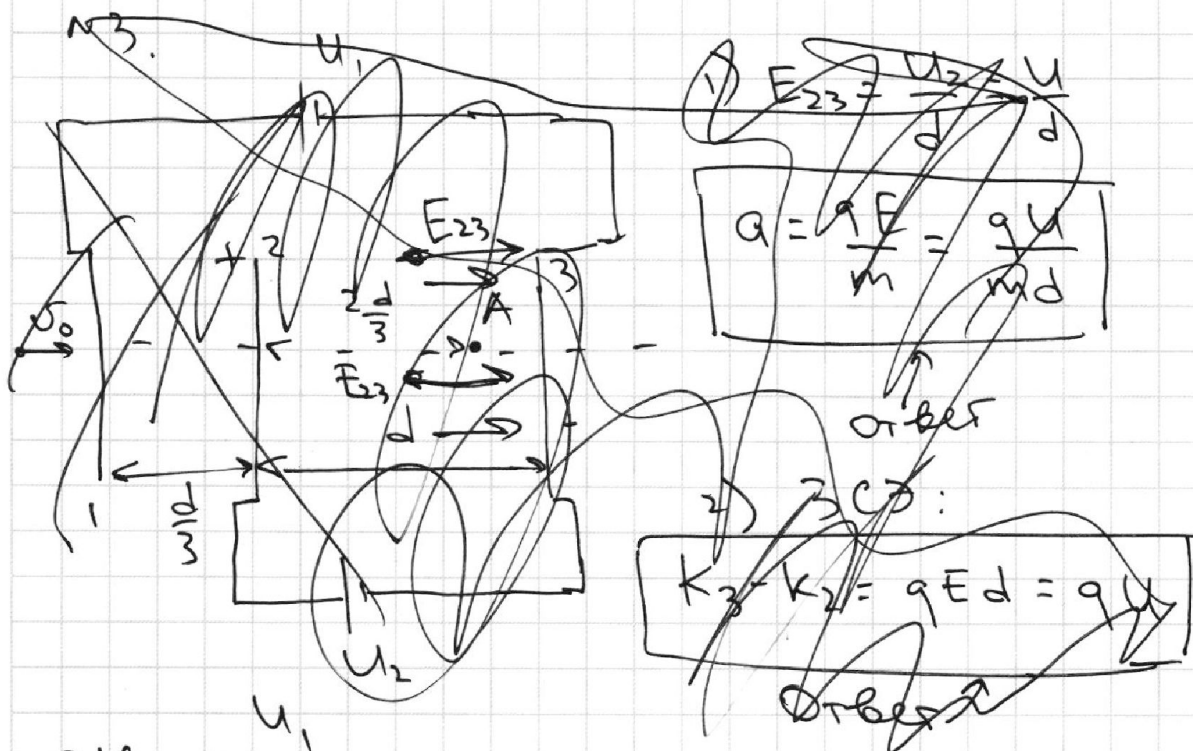
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!

МФТИ



$$1) E = E_{13} + E_{23} = \frac{U}{d} + \frac{2U}{\frac{U}{3}} = \frac{5U}{2d}$$

$$a = \frac{qE}{m} = \frac{5qU}{2md}$$

2) 3C):

$$k_3 - k_2 = A_E = qEd = \frac{5}{2} qU$$

3) 3C):

$$\frac{mU_0^2}{2} + qE_{12} \frac{d}{3} + qE_{23} \frac{2d}{3} = \frac{mU_A^2}{2} \quad E_{12} = \frac{U}{3d}$$

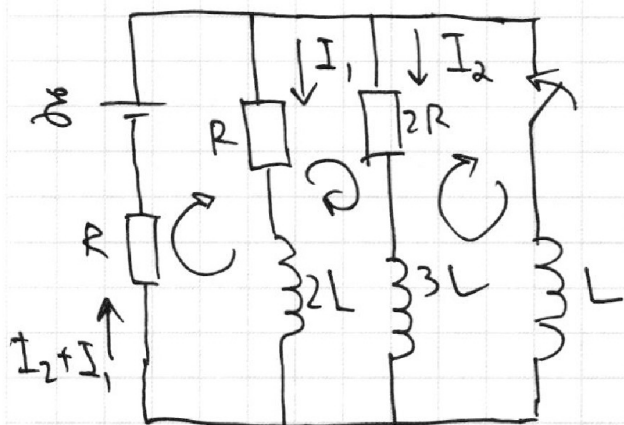
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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) В уст. режиме
напр. на катушках
нет

II пр. Кирхгофа

$$\begin{cases} I_{20} 2R - I_{10} R = 0 \quad | \cdot 2 (*) \\ \mathcal{E} = I_{10} R + (I_{20} + I_{10}) R \end{cases}$$

$$(*) I_{10} = \frac{2}{5} \frac{\mathcal{E}}{R}$$

$$5 I_{20} R = \mathcal{E} \Rightarrow I_{20} = \frac{\mathcal{E}}{5R} \text{ Ответ}$$

~~2) После замыкания $I_{L0} = 0$~~

~~II пр. Кирхгофа для всех контуров:~~

~~$$\mathcal{E} - L(\dot{I}_{L0}) = (I_{20} + I_{10}) R$$~~

~~$$(*) \frac{2}{5} \mathcal{E} - I_{10} R = 0 \Rightarrow I_{10} = \frac{2}{5} \frac{\mathcal{E}}{R}$$~~

~~$$\mathcal{E} - L(\dot{I}_{L0}) = \frac{3}{5} \mathcal{E} \Rightarrow (\dot{I}_{L0}) = \frac{2}{5} \frac{\mathcal{E}}{L}$$~~

~~Ответ:~~

~~2) После замыкания $I_{L0} = 0$ II пр.~~

~~Кирхгофа для всех контуров:~~

~~$$\mathcal{E} - L \dot{I}_L = (I_{10} + I_{20}) R$$~~

~~$$\mathcal{E} - 3L \dot{I}_2 = (I_{10} + I_{20}) R + I_{20} 2R$$~~

~~$$\mathcal{E} - 2L \dot{I}_1 = (I_{10} + I_{20}) R + I_{10} R$$~~

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐



2) Сразу после замыкания ключа ток не увеличивается $\Rightarrow$ падение напр. на резисторах не изм. и напр. на $2L$ и $3L$ отсут.

И крпх. где пр. конг. $L(\dot{I}_L)_0 = 2I_{20}R$
 $(\dot{I}_L)_0 = \frac{2}{5} \frac{\mathcal{E}}{L} \leftarrow \text{ответ.}$

3) ~~Магнетизм~~

И крпх $\begin{cases} L\dot{I}_L = 2I_2R + 3L\dot{I}_2 & (1) \\ L\dot{I}_L = I_1R + 2L\dot{I}_1 \\ L\dot{I}_L = \mathcal{E} - (I_1 + I_2)R \end{cases}$

~~$2I_2R + 3L\dot{I}_2 = \mathcal{E} - (I_1 + I_2)R$~~

~~$2I_2R + 3L\dot{I}_2 = I_1R + 2L\dot{I}_1$~~

$2I_2R + 3L \frac{dI_2}{dt} = I_1R + 2L \frac{dI_1}{dt}$

$\int 2I_2 dt \cdot R + \int 3L dI_2 = \int I_1 dt \cdot R + \int 2L dI_1$

$2q_2R + 3L(I_{2\max} - I_{20}) = q_1R + 2L(I_{1\max} - I_{10}) (*)$

~~$I = I_{\max}$ достигается при $U_L = 0$, т.е. $U_{3L} = 0$~~

~~$I_{1\max} = I_{10}, I_{2\max} = I_{20}$~~

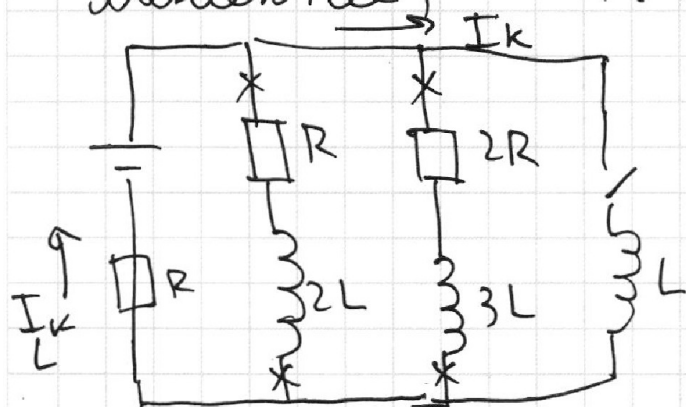
~~$2q_2R$~~

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!



Когда режим установится, напр. на катушках будет равно 0 (т.к. токи не меняются) т.к. $U_L = 0$ ~~через R и R~~



и $2R$ замкнуты на перемычку $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ через них ток не идет $\Rightarrow$ после уст. ток течет только по ветви.

контур

$$I_k = \frac{E}{R}$$

$$I_{1k} = 0 = I_{2k}$$

$$(*) \quad 2q_2 R - 3L I_{20} = q_1 R - 2L I_{10}$$

$$2q_2 R - 3L \frac{E}{5R} = q_1 R - 2L \frac{2E}{5R}$$

$$2q_2 R = q_1 R - \frac{L E}{5R}$$

$$(1) \quad L \frac{dI_k}{dt} = 2I_2 R + 3L \frac{dI_2}{dt}$$

$$\int_0^t L dI_k = \int_0^t 2I_2 dt \cdot R + \int_0^t 3L dI_2$$

$$L \frac{E}{R} = 2q_2 R + 3L \frac{E}{5R}$$

$$2q_2 R = \frac{8}{5} E \frac{L}{R}$$

Ответ: $q_2 = \frac{4EL}{5R^2}$

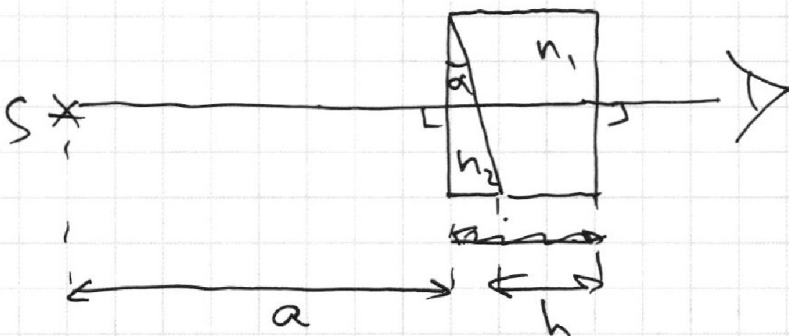
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

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



1) $\alpha \ll 1$ $\beta \ll 1$ 1 луч входит без преломл.
 3-й слой n_2 $\beta = n_2 \alpha$
 Угол откл.
 $\gamma = \beta - \alpha = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \alpha =$
 $= (1,6 - 1) \cdot 0,05 = 0,6 \cdot 0,05 = \boxed{0,03 \text{ рад}}$

2) Пусть 1 луч 1 мв.тн
 прищел, 2 луч
 под углом δ к
 прямой "ис-тн"
 и для 2-го луча

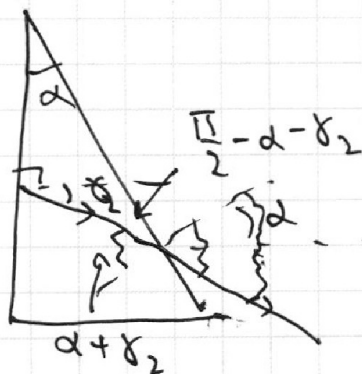
~~$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$~~

$n_1 \gamma = n_2 \delta_2$ или

$n_2 (\alpha + \delta_2) = n_1 \delta_3$

$\delta_3 = \frac{n_2 \alpha + n_1 \delta}{n_1}$

$\delta_{\text{откл}} = \delta_3 - \alpha = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \alpha + \delta =$
 $= 2 \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \alpha$



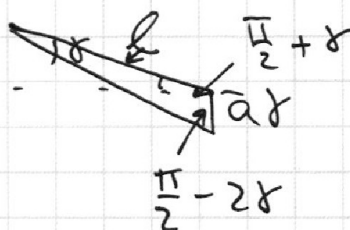
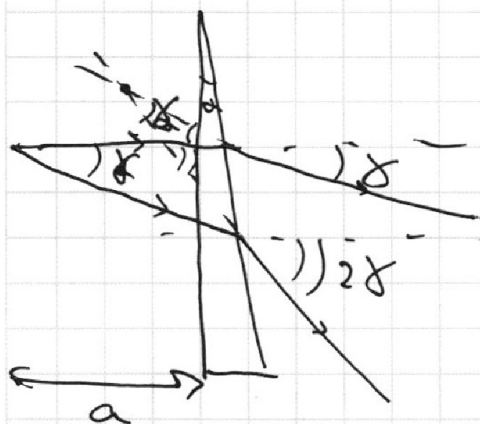
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

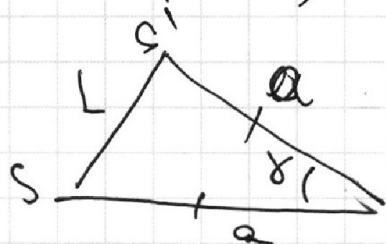
МФТИ

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



~~l - расст.~~ l - расст. от уобр. до места вх. 1-го луча

$$\frac{l}{\sin(\frac{\pi}{2} - 2\delta)} = \frac{a\delta}{\sin \delta} \Rightarrow l \approx a (\delta \ll 1)$$

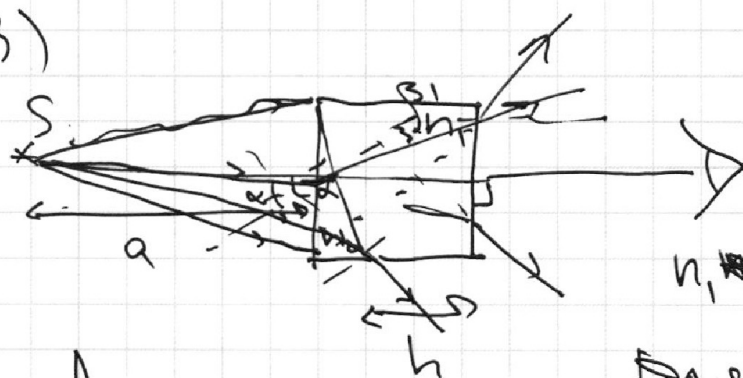


$$L \approx a\delta = 200 \cdot 0.003 = 6 \text{ см}$$

Δ ответ

L - расст. между иср. и уобр. (уобр. миним.), поэтому крив. его не увидит

3)



$$n_1 \sin \delta_1 = n_2 \alpha$$

Для 2-го луча по з. углом δ :

$$\delta = n_2 \beta$$

$$n_2 (\alpha + \beta) = n_1 \delta$$

$$n_2 \alpha + \delta = n_1 \delta$$

$$\delta_{\text{откл}} = \delta - \alpha = (n_2 - 1)\alpha + \frac{n_2}{n_1} \alpha + \frac{\delta}{n_1}$$



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!

$$L \frac{dI}{dt} = IR$$