



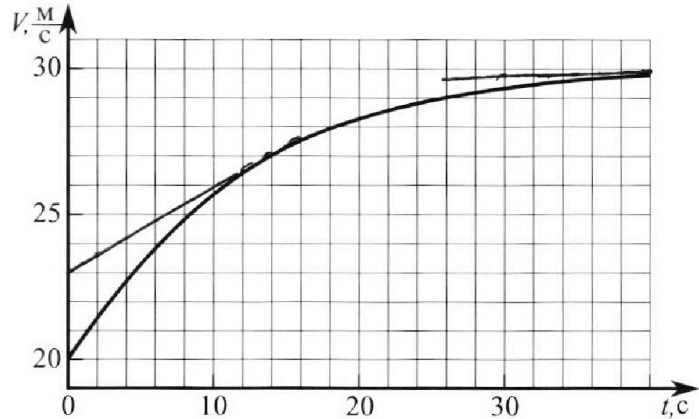
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## 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%.

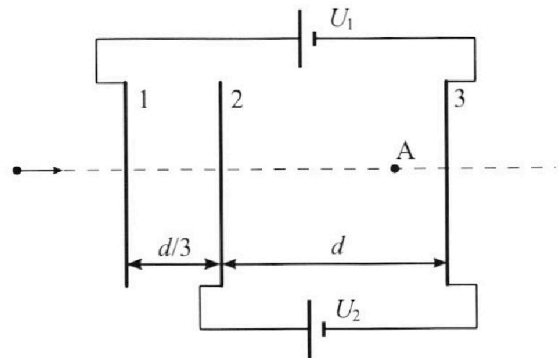
2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объёмом  $V$  разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится азот, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент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

По закону Генри, при заданной температуре количество  $\Delta v$  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/(м<sup>3</sup>·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 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

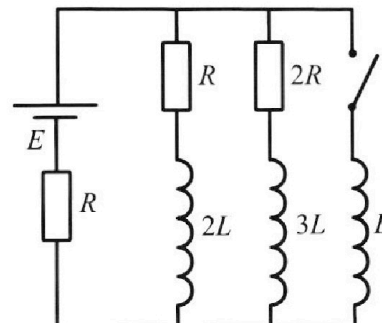


Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.

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.

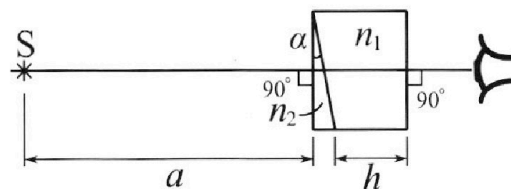


рис.). Угол  $\alpha = 0,05$  рад можно считать малым, толщина  $h = 9$  см. Толщина призмы с показателем преломления  $n_2$  на прямой «источник – глаз» намного меньше  $h$ . Отражения в системе не учитывать.

- 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

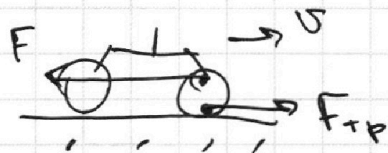
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

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

По коэф. наклона

Ответ:  $a_1 = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{4}{14} = \frac{2}{7} \text{ м/с}^2$

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 вез. колесо:

$P = F_{тр} v = \text{const}$

$F_{трk} v_k = F_{тр} v_1$

II 2-й закон Ньютона для момента  $v = v_1$ :

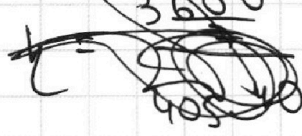
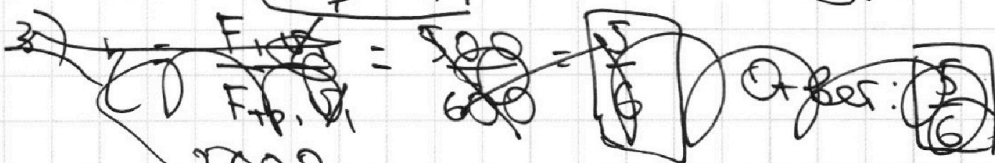
$F_{тр1} - F_1 = ma_1$

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

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

Ответ:

$\frac{3600}{7} \text{ Н}$



3)  $\eta = \frac{F_1 v_1}{F_{тр1} v_1} = \frac{F_1}{F_{тр1}} = \frac{\frac{3600}{7}}{405 \cdot \frac{40}{27}} =$

$\frac{6}{7}$

Ответ:  $\frac{6}{7}$

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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

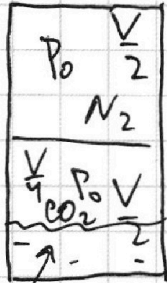
- 1  2  3  4  5  6  7

**МФТИ**

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

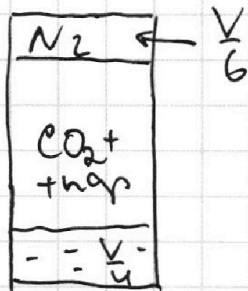


1) Ур-е сос. газа: где  $\rho_0$  — плотность и  $\gamma$  — угол. грав. равны, т.к. порчи невесомы

$$\begin{cases} \rho_0 R T_0 = \rho_0 \frac{V}{2} & (1) \\ \rho_{CO_2} R T_0 = \rho_0 \frac{V}{4} & (2) \end{cases}$$


ответ:  $\frac{\rho_{N_2}}{\rho_{CO_2}} = 2$

$\frac{V}{4}$  2)



При  $T = 373 \text{ K}$   $\rho_{\text{вогара}} = \rho_{\text{атм}}$   
 $V_{\text{нар}} = V - \frac{V}{4} - \frac{V}{6} = \frac{5}{6}V - \frac{V}{6} = \frac{4}{6}V = \frac{2}{3}V$   
 $P = \rho_{\text{атм}} + \rho_{CO_2}$   
 $\Delta \rho = k \rho_0 \frac{V}{4}$  — растворено  $CO_2$  в воде и нагаром

$\rho_{CO_2}^1 = \rho_{CO_2} + \Delta \rho$

Ур-е сос. при  $T$ :  $\begin{cases} \rho_{CO_2}^1 R T = \rho_{CO_2}^1 \frac{7}{12} V & (1) \\ \rho_{N_2} R T = \rho_{N_2} \frac{V}{6} & (3) \end{cases}$

~~(2):  $\rho_{CO_2} R T = \rho_{CO_2} \frac{V}{4}$~~   
 ~~$\frac{\rho_{CO_2}^1}{\rho_{CO_2}} = \frac{7}{3}$~~   
 ~~$\frac{\rho_{CO_2}^1}{\rho_{CO_2}} = \frac{P}{\rho_0}$~~   
 ~~$\frac{7}{3} = \frac{P}{\rho_0}$~~   
 ~~$P = \frac{7}{3} \rho_0$~~   
 ~~$\rho_{CO_2} = \frac{7}{3} \rho_0 - \rho_{\text{атм}}$~~   
 ~~$\rho_{CO_2} = \frac{7}{3} \rho_0 - \rho_0 = \frac{4}{3} \rho_0$~~   
 ~~$\rho_{CO_2}^1 = \frac{7}{3} \rho_0 + \frac{4}{3} \rho_0 = \frac{11}{3} \rho_0$~~   
 ~~$\frac{11}{3} \rho_0 R T = \frac{11}{3} \rho_0 \frac{7}{12} V$~~   
 ~~$\rho_{N_2} R T = \rho_{N_2} \frac{V}{6}$~~   
 ~~$\rho_{N_2} = \frac{1}{6} \rho_0$~~   
 ~~$\rho = \frac{11}{3} \rho_0 + \frac{1}{6} \rho_0 = \frac{23}{6} \rho_0$~~   
 ~~$\frac{23}{6} \rho_0 = \frac{7}{12} \rho_0 \frac{V}{V}$~~   
 ~~$\frac{23}{6} = \frac{7}{12}$~~

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!

~~$\nu_{CO_2} = 6$~~   
 ~~$\nu_{CO_2} = 4$~~   
 ~~$\nu_{CO_2} = 2$~~

~~(1) : (3)~~  
 ~~$\nu_{CO_2} = 7$~~   
 ~~$\nu_{H_2} = 2$~~

~~Дан газ. пара +  $CO_2$ :~~

~~$\nu_{пар} RT = p \frac{7}{12} V (5)$~~

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

~~(1) (2)  $\nu_{CO_2} RT = p_{CO_2} \frac{7}{12} V (1) \cdot 2$~~

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

~~$2 \Delta \nu_{CO_2} RT = (p_{CO_2} \frac{7}{6} - p_{CO_2} \frac{1}{6} - p_{пар} \frac{1}{6}) V$~~

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

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

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

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

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

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

~~$p = \frac{7 p_{пар}}{6 (1 - 2 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3)}$~~

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!



$$(*) \quad P - \text{расм} = \frac{P \text{ расм}}{6} + \frac{k P R T}{8}$$

$$P \left(1 - \frac{k R T}{8}\right) = \frac{7}{6} P \text{ расм}$$

$$P = \frac{7}{6 \left(1 - \frac{k R T}{8}\right)} P \text{ расм} = \frac{7}{6 \left(1 - \frac{0,6 \cdot 18 \cdot 3 \cdot 10^4}{8}\right)} P \text{ расм} =$$

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

$$= \frac{140}{93} P \text{ расм} \quad \text{Ответ}$$

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!



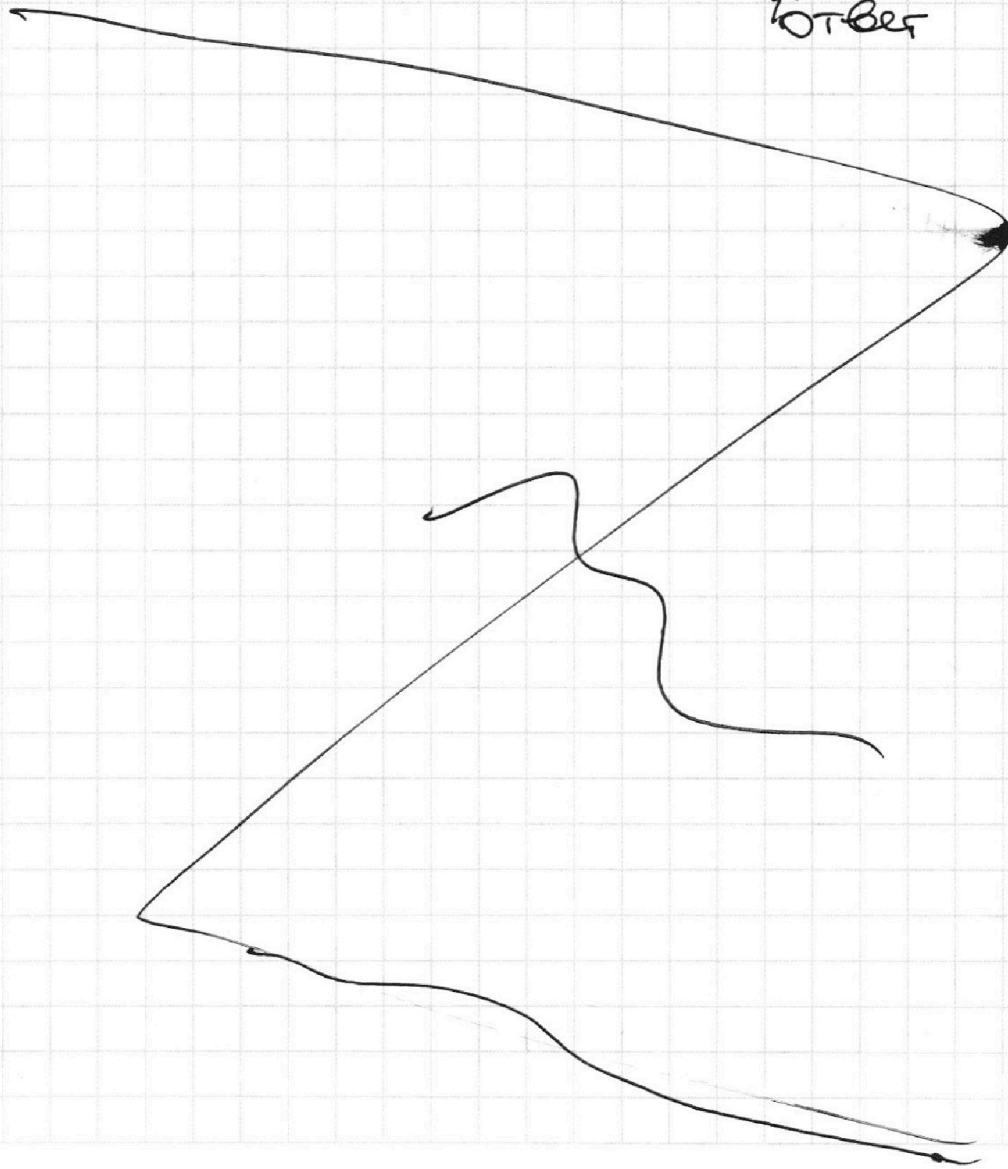
$$\frac{m v_0^2}{2} + \cancel{\frac{8}{3} U q} + q \cancel{\frac{5}{2} U} \cdot \cancel{\frac{2}{3}} = \frac{m v_A^2}{2}$$

$$\frac{m v_0^2}{2} + \frac{8}{3} U q = \frac{m v_A^2}{2}$$

~~$$v_A = \frac{2}{m} \left( \frac{m v_0^2}{2} + \frac{8}{3} U q \right)$$~~

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

↑ ответ



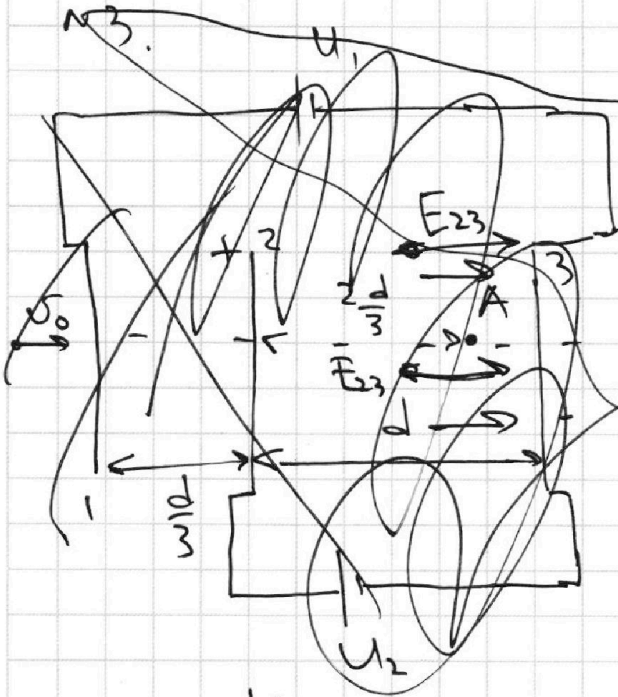
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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



1)  $E_{23} = \frac{U_2}{d}$

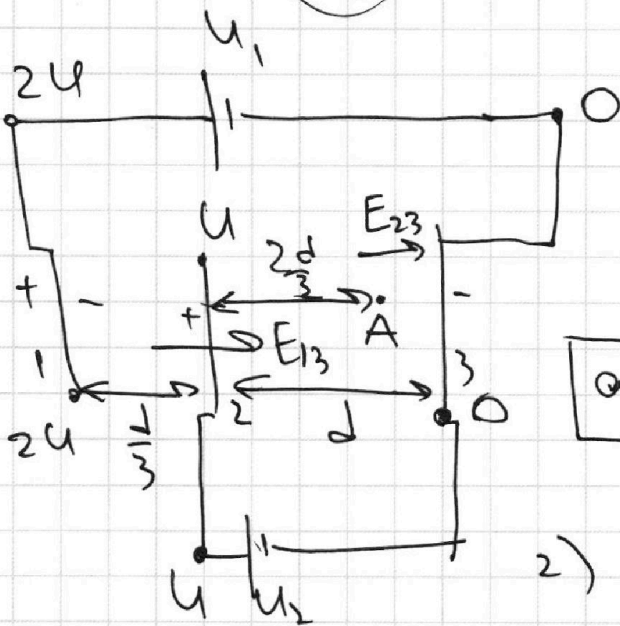
$$a = \frac{qE}{m} = \frac{qU}{md}$$

ответ

2) ЗСЭ:

$$k_3 - k_2 = qEd = qU$$

ответ



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

$$a = \frac{qE}{m} = \frac{3qU}{md}$$

ответ

2) ЗСЭ:

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

ответ

3) ЗСЭ:

$$\frac{mU_0^2}{2} + qE_{12} \frac{d}{3} + qE_{23} \frac{2d}{3} = \frac{mU_A^2}{2} \quad E_{12} = \frac{U_1 - U_2}{d}$$



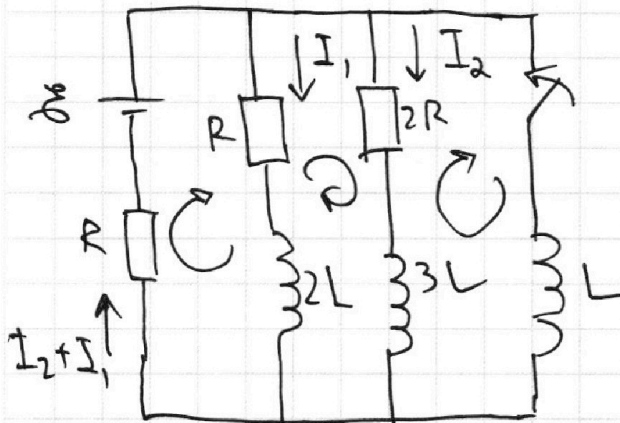
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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

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

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

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

~~2) Сразу после замыкания  $I_{L0} = 0$~~

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

~~$$\mathcal{E} - L \dot{I}_{L0} = (I_{20} + I_{10}) R$$~~
~~$$(*) \frac{2}{5} \mathcal{E} - I_{10} R = 0 \Rightarrow I_{10} = \frac{2}{5} \frac{\mathcal{E}}{R}$$~~

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

~~Ответ:~~

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

Кирхгофа для всех контуров:

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

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

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

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

II Кирх. для пр. конг.  $L(\dot{I}_L)_0 = 2I_{20}R$

$$\boxed{(\dot{I}_L)_0 = \frac{2}{5} \frac{\mathcal{E}}{L}} \leftarrow \text{ответ.}$$

3) ~~Макс. ток  $I_1 = 3I_2 = I$~~

$$\text{II Кирх} \begin{cases} LI_L = 2I_2R + 3L\dot{I}_2 & (1) \\ LI_L = I_1R + 2LI_1 \\ LI_L = \mathcal{E} - (I_1 + I_2)R \end{cases}$$

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

~~$$2I_2R + 3L\dot{I}_2 = I_1R + 2LI_1$$~~

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

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

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

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

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

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

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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

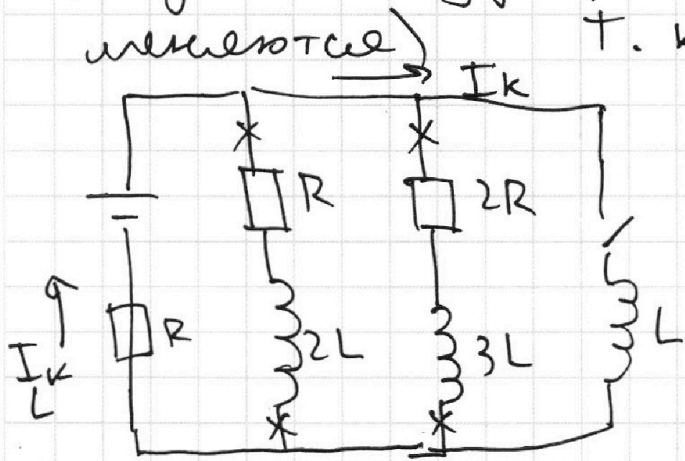
1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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



Когда режимы установятся, 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 ветв.

контур

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

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

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

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

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

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

$$\int_0^{\varepsilon/R} L dI_k = \int_0^{I_{20}} 2I_2 dt \cdot R + \int_0^{I_{20}} 3L dI_2$$

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

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

Ответ:  $q_2 = \frac{4\varepsilon L}{5R^2}$

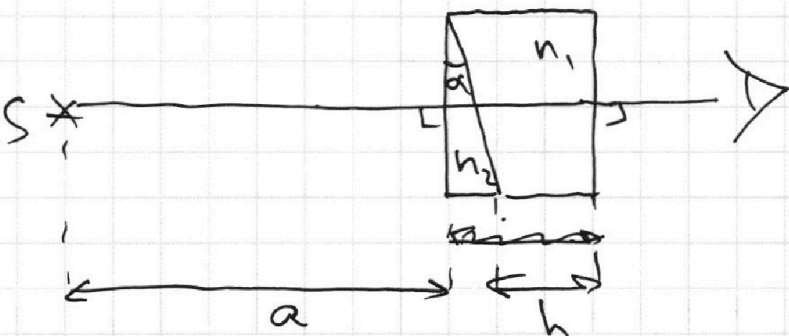
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7



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



1)  $\alpha \ll 1$   $\beta \ll 1$   $\perp$  луч входит без преломл.  
 3-я среда  $n_3 = n_2$  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  $\perp$  т.в.т.и  
 прищелк, 2 лучи  
 под углом  $\delta$  к  
 преломл. "ч.с.-2раг"  
 и для 2-го луча

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

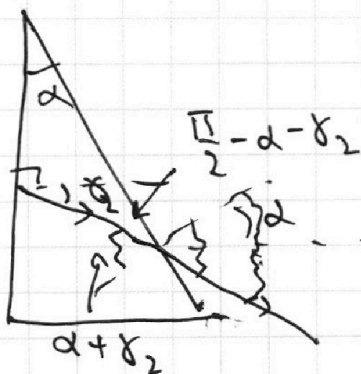
$n_1 \delta = n_2 \delta_2$

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

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

Угол откл.  $= \delta_3 - \alpha = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \alpha + \delta =$

$= 2 \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \alpha$



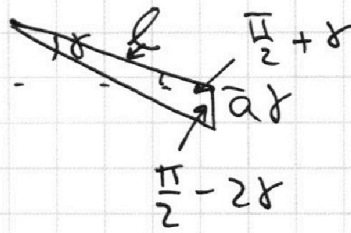
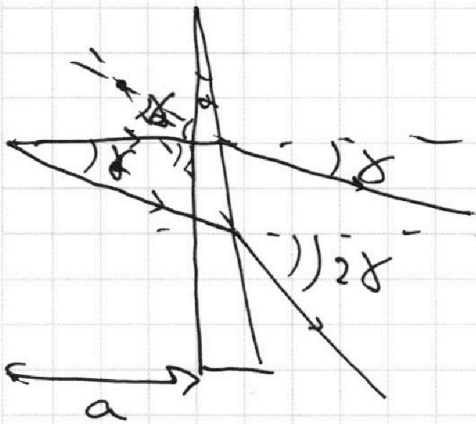
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1   
  2   
  3   
  4   
  5   
  6   
  7

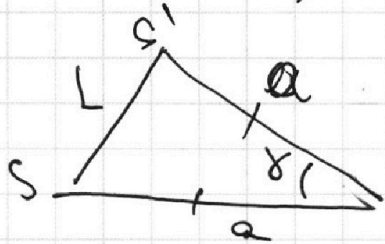


Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



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

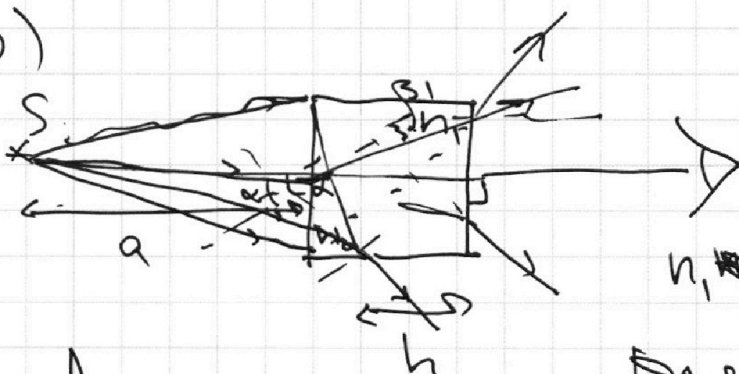
$$\frac{l}{\sin(\frac{\pi}{2} - 2\delta)} = a \Rightarrow l \approx a (\delta \ll 1)$$



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

$L$ -расст. между исл. и угол. (угобр. мин. мое), поэтому крив. его не увидит

3)



$$n_1 \beta_1 = n_2 \alpha$$

Для 2-го луча по уг.

уголом 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!

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