



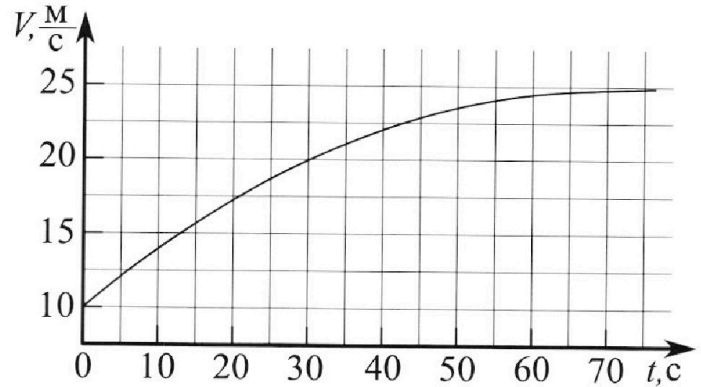
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-01

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



1. Автомобиль массой $m = 1800$ кг движется с постоянной скоростью и затем разгоняется на прямолинейном горизонтальном участке дороги. График зависимости скорости от времени при разгоне показан на рисунке. В конце разгона сила тяги двигателя равна $F_k = 500$ Н. Считать, что при разгоне сила сопротивления движению пропорциональна скорости.



- Используя график, найти ускорение автомобиля при скорости $v_1 = 20$ м/с.
- Найти силу тяги F_1 при скорости v_1 .
- Какая мощность P_1 передается от двигателя на ведущие колеса при скорости v_1 ?

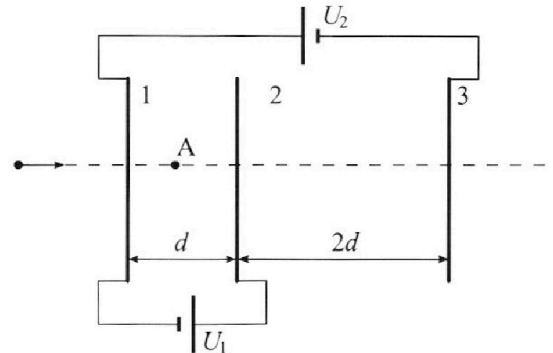
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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 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 $V/4$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 5T_0/4 = 373$ К. Установившийся объём его верхней части стал равен $V/5$.

По закону Генри, при заданной температуре количество Δn растворённого газа в объёме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta n = kpw$. Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры $k \approx (1/3) \cdot 10^{-3}$ 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.

- Найти отношения количества вещества в газообразном состоянии в верхней и нижней частях до нагревания.
- 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 $2d$ (см. рис.). Размеры сеток значительно больше d . Изначально сетки не заряжены. К сеткам подсоединили источники с напряжением $U_1 = U$ и $U_2 = 4U$. 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.



- Найти модуль ускорения частицы в области между сетками 1 и 2.
- Найти разность $K_1 - K_2$, где K_1 и K_2 — кинетические энергии частицы при пролете сеток 1 и 2.
- Найти скорость частицы в точке А на расстоянии $d/3$ от сетки 1.

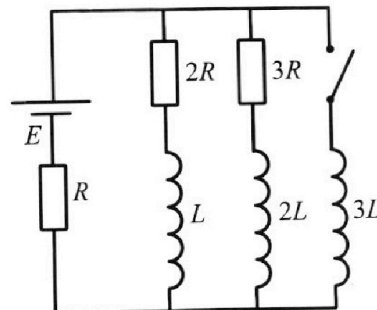
Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 11-01

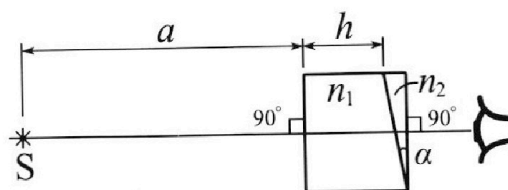
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

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

- 1) Найти ток I_0 через резистор с сопротивлением $2R$ при разомкнутом ключе.
 - 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью $3L$ 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 $n_{\text{в}} = 1,0$. Точечный источник света S расположен на расстоянии $a = 194$ 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 $h = 9$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.



- 1) Считая $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$, $n_2 = 1,7$, 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 $n_1 = 1,5$, $n_2 = 1,7$, найдите на каком расстоянии от источника будет его изображение, которое увидит наблюдатель.

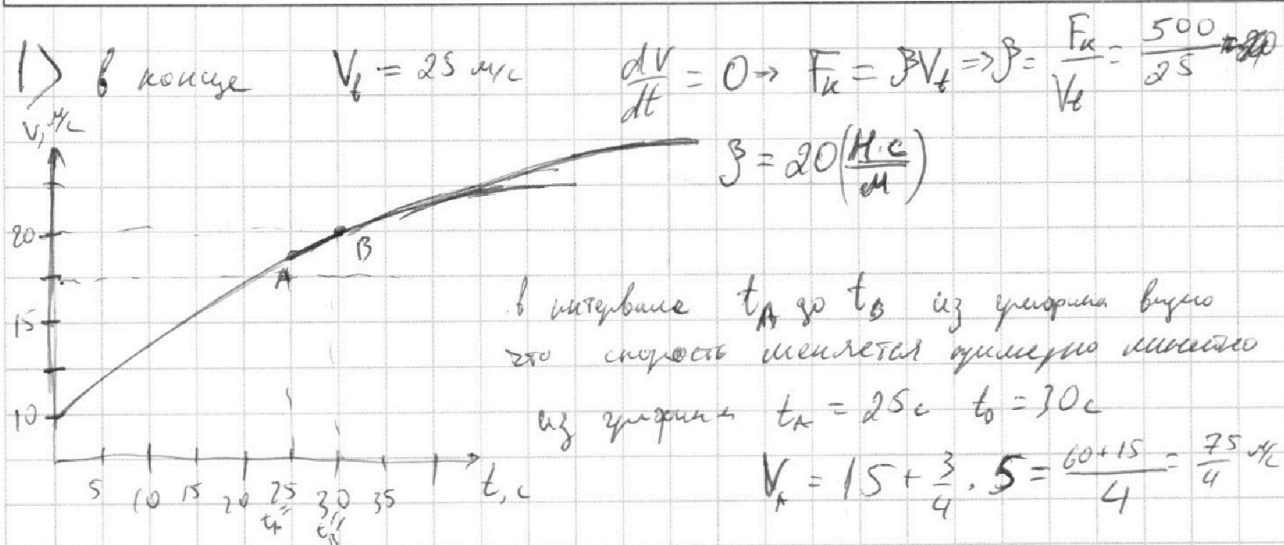
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



$$1) a \approx \frac{V_B - V_A}{t_B - t_A} = \frac{\frac{80}{4} - \frac{75}{4}}{5} = \frac{5}{4} \cdot \frac{1}{5} = 0,25 \text{ м/с}^2$$

Ответ: $a = 0,25 \text{ м/с}^2$

2) F_i сила тяги при скорости $V_1 = 20 \text{ м/с}$

F_{ci} сила сопротивления при скорости $V_1 = 20 \text{ м/с}$

$$F_{ci} = \beta V_1 = 20 \cdot 20 = 400 \text{ (Н)}$$

$$F_i - F_{ci} = ma \Rightarrow F_i = ma + F_{ci} = 1800 \cdot \frac{1}{4} + 400 = 450 + 400 = 850 \text{ (Н)}$$

$$F_i = 400 + \frac{1600}{4} + \frac{200}{4} = 400 + 400 + 50 = 850 \text{ (Н)}$$

Ответ: $F_i = 850 \text{ (Н)}$

$$3) P_i = F_i V_1 = 850 \cdot 20 = 17000 \text{ (Вт)}$$

Ответ: $P_i = 17000 \text{ (Вт)}$

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

$\rho_1, P_0, V/2, T_0$
(1)
$\rho_2, P_0, V/4, T_0$
(2)
$V/4$

$$(1) P_0 \frac{V}{2} = \rho_1 R T_0$$

$$(2) P_0 \frac{V}{4} = \rho_2 R T_0$$

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{P_0 V}{2} \cdot \frac{4}{P_0 V} = 2$$

$\rho_2 = 0,5 \rho_1$

$$T = \frac{5}{21} T_0 = 373(K)$$

$$\Delta \rho = k \rho W$$

$$k \approx \frac{1}{3} \cdot 10^{-3} \frac{\text{мол}}{\text{м}^3 \text{Па}}$$

Ответ: $\frac{\rho_1}{\rho_2} = 2$

$$RT \approx 3 \cdot 10^3 \frac{\text{Джо}}{\text{моль}}$$



$\rho_1, P, V/5, T = \frac{5}{4} T_0$
(1)
$\rho_2', P, 0,55V, T$
(2)
$V/4$

$$P \cdot \frac{V}{5} = \rho_1 R T$$

$$P_0 \frac{V}{2} = \rho_1 R T_0$$

$$\frac{P}{P_0} = \frac{\rho_1 R T \cdot \frac{5}{V}}{\rho_1 R T_0 \cdot \frac{2}{V}} = \frac{5 \cdot 5}{2 \cdot 4} = \frac{25}{8}$$

$$P = P_0 \cdot \frac{25}{8}$$

~~$$P \cdot 0,55V = \rho_2' R T$$~~

~~$$\frac{\rho_2'}{\rho_1} = \frac{0,55}{\frac{1}{5}} = 2,75 = 5 \cdot \frac{5,5}{20} = \frac{11}{4}$$~~

$$\rho_2' = \rho_2 + \Delta \rho_2$$

$$\Delta \rho_2 = k P_0 \frac{V}{4}$$

~~$$(1) \frac{PV}{5} = \rho_1 R T$$~~

~~$$(2) P V \cdot 0,55 = \rho_2' R T$$~~

~~$$\rho_2' = \rho_1 \cdot 5 \cdot 0,55 = \rho_1 \cdot 5 \cdot \frac{11}{20} = \rho_1 \cdot \frac{11}{4}$$~~

~~$$\Delta \rho_2 = \rho_2' - \rho_2 = \rho_1 \left(\frac{11}{4} - \frac{1}{2} \right) = \rho_1 \frac{11-2}{4} = \rho_1 \cdot \frac{9}{4} = k P_0 \frac{V}{4}$$~~

~~$$P_0 = \frac{9 \rho_1}{4kV}$$~~

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

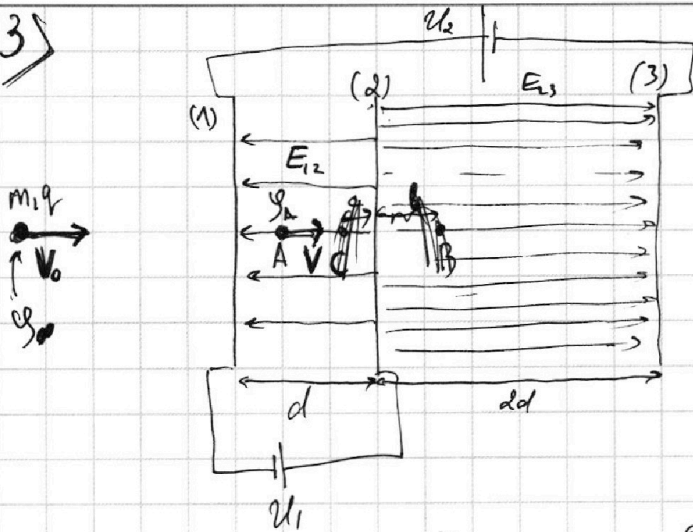
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

3)



$$U_1 = U$$

$$U_2 = 4U$$

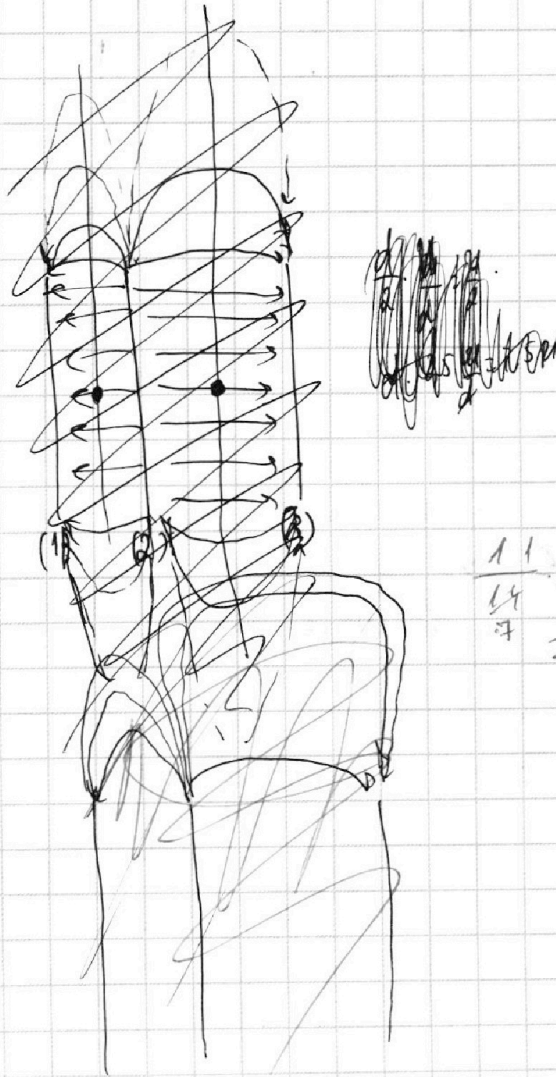
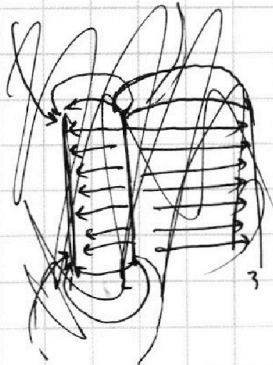
$$1) E_{12} \cdot d = U_1 = U \quad E_{12} = \frac{U}{d} \quad F = qE = \frac{qU}{d} = ma \quad a = \frac{qU}{md}$$

Ответ: $a = \frac{qU}{md}$

$$2) K_1 - K_2 = Fd = qU$$

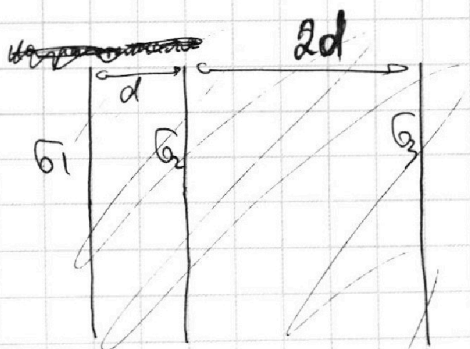
Ответ: $K_1 - K_2 = qU$

3)



$$E_{23} = \frac{U_2 + U_1}{2d} = \frac{5U}{2d} = 2,5 \frac{U}{d}$$

$$\frac{11}{14} \cdot 25 \approx 11,35 = 3,5 + 3,5 = 7,0$$



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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

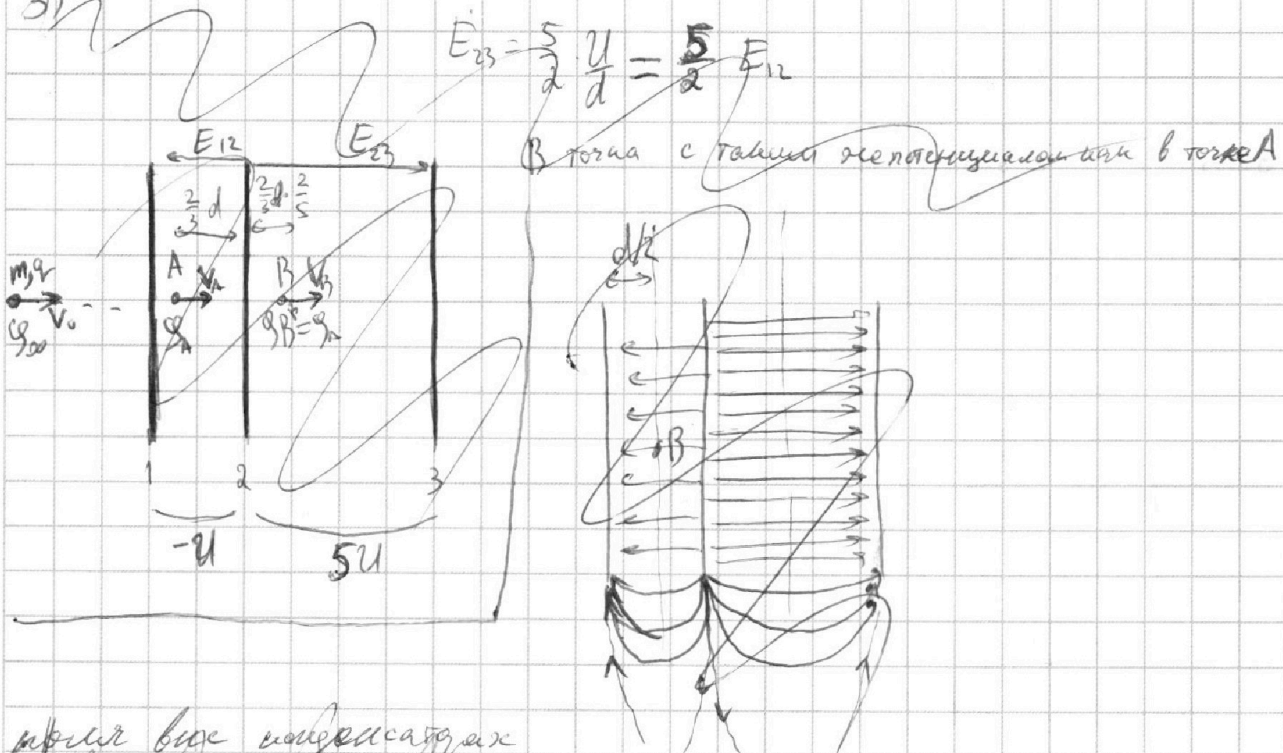
1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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



3) m, q



$$E_{23} = \frac{5}{2} \frac{U}{d} = \frac{5}{2} E_{12}$$

В точке с таковой же потенциалом как в точке А

Если в обе конденсаторах
одно слабое, то сила, с которой,
каждый из точек симметричен относительно средней плоскости
между конденсаторами соответствующего поля \Rightarrow если мысленно
количество зарядов в точке B на $d/2$ от поверхности обкладки и меренно
удалим ее на бесконечность можем считать $A_{поле} = q(\varphi_B - \varphi_{\infty}) = qU$

$$\Rightarrow \varphi_B = \varphi_{\infty} = 0 \Rightarrow \frac{mV_A^2}{2} - qE_{12} \left(\frac{d}{2} - \frac{d}{3} \right) = \frac{mV_0^2}{2}$$

$$V_A^2 = V_0^2 + \frac{2qE_{12}}{m} \frac{d}{6}$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

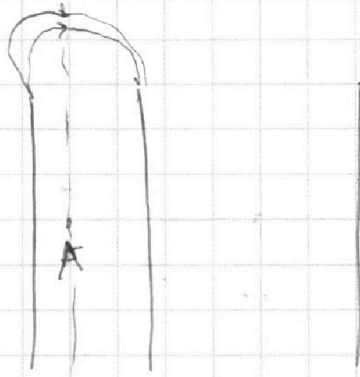


1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

МФТИ

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

3) 3)



поле все облада перпендикулярно плоскости проходящей
через А и перпендикулярно облада \Rightarrow работа поля при перемещении
заряда по этой плоскости $= 0 \Rightarrow \varphi_A = \varphi_\infty = 0 \Rightarrow$

\Rightarrow скорость в точке А будет равна скорости в бесконечности

$$V_A = V_0$$

Ответ: $V_A = V_0$

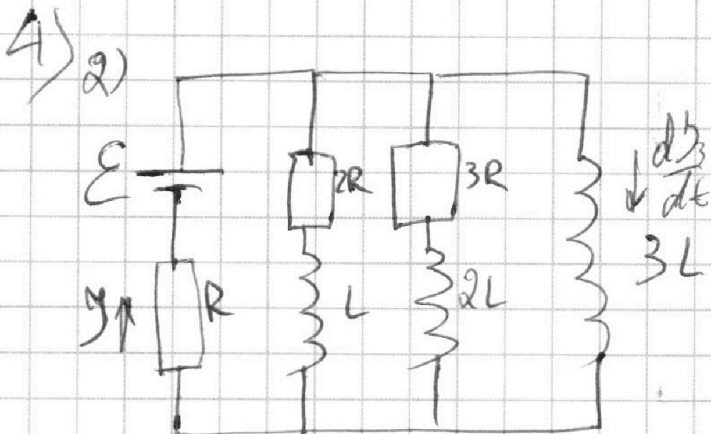
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



из уравнения Кирхгофа: $\mathcal{E} - 3L \frac{dy_3}{dt} = yR$

$y = \mathcal{I}$, сразу после замыкания ключа $\rightarrow y = \frac{5}{11} \cdot \frac{\mathcal{E}}{R}$

$$\frac{dy_3}{dt} = \frac{1}{3L} (\mathcal{E} - yR) = \frac{1}{3L} \cdot \mathcal{E} \left(1 - \frac{5}{11}\right) = \frac{2}{11} \cdot \frac{\mathcal{E}}{L}$$

Ответ: $\frac{dy_3}{dt} = \frac{2}{11} \cdot \frac{\mathcal{E}}{L} = \frac{2\mathcal{E}}{11L}$

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

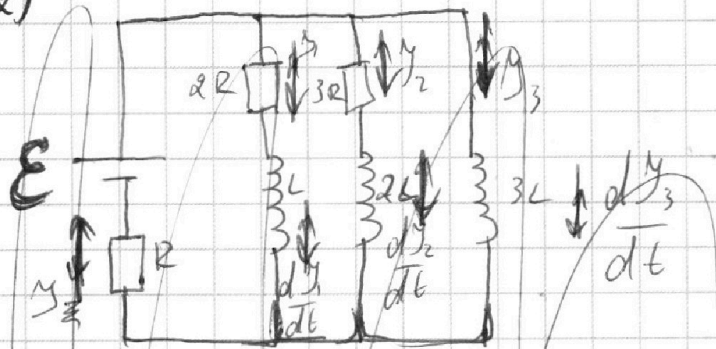
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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) 2)



$$\frac{d\Phi_1}{dt} + \frac{d\Phi_2}{dt} = \frac{d\Phi_3}{dt} = \frac{d\Phi}{dt}$$

$$I = I_1 + I_2 = I_3$$

~~$$\varepsilon - I R - 3L \frac{dI_3}{dt} = I R + I_1 2R - L \frac{dI}{dt} = 3R + I_2 3R - 2L \frac{dI}{dt}$$~~

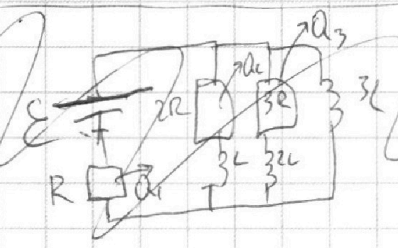
сразу после замыкания ключа: $I = I_1 = \frac{5}{11} \frac{\varepsilon}{R}$

~~$$\varepsilon = \frac{5}{11} \frac{\varepsilon}{R} R - 3L \frac{dI_3}{dt}$$~~

~~$$3L \frac{dI_3}{dt} = \frac{5}{11} \varepsilon - \varepsilon = -\frac{6}{11} \varepsilon$$~~

~~$$\frac{dI_3}{dt} = -\frac{2}{11} \frac{\varepsilon}{L} \quad \text{Ответ: } \frac{dI_3}{dt} = -\frac{2}{11} \frac{\varepsilon}{L}$$~~

3)



~~$$\varepsilon \Delta q = q_1 + q_2 + q_3$$~~

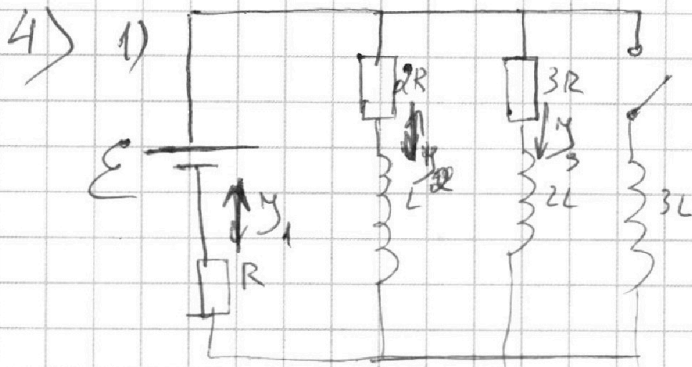
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

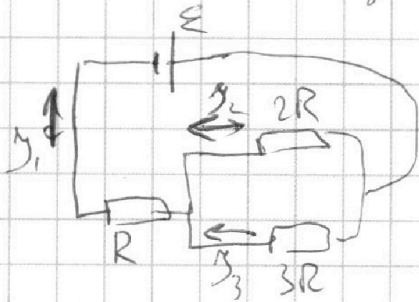
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$I_1 = I_2 + I_3$$

режим установившейся $\Rightarrow \frac{dI}{dt} = 0$ для всех ветвей

эквивалентная схема установившегося режима



$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{R + \frac{2R \cdot 3R}{5R}} = \frac{\varepsilon}{\frac{5R+6R}{5}} = \frac{5}{11} \cdot \frac{\varepsilon}{R}$$

$$U_2 = \varepsilon - I_1 R = \varepsilon - \frac{5}{11} \cdot \frac{\varepsilon}{R} \cdot R = \frac{6}{11} \varepsilon$$

$$I_2 = \frac{U_2}{2R} = \frac{1}{2R} \cdot \frac{6}{11} \varepsilon = \frac{3}{11} \cdot \frac{\varepsilon}{R} = I_{10} \quad \text{Ответ: } I_{10} = \frac{3}{11} \cdot \frac{\varepsilon}{R}$$

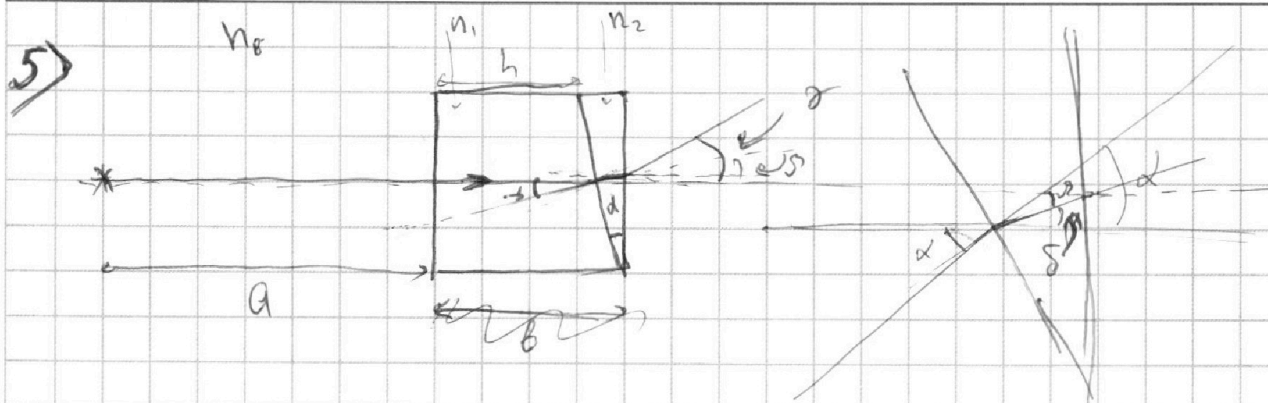
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



Решение

1) $n_1 = n_0 = 1$

$n_2 = 1,7$

$\alpha = 0,1 \text{ рад.}$

$d \ll 1 \Rightarrow \sin \alpha \approx \alpha \approx \beta$

$\sin \beta = \sin \alpha \cdot \frac{n_1}{n_2} \approx \alpha \cdot \frac{n_1}{n_2} = 0,1 \cdot \frac{1}{1,7} \approx \beta$

$\delta = \alpha - \beta \approx \alpha \sin \delta$

$\frac{\sin \delta}{\sin \beta} = \frac{n_0}{n_2}$

$\delta \approx \sin \delta = \sin \beta \cdot \frac{n_2}{n_0} \approx \beta \cdot \frac{n_2}{n_0} = (\alpha - \beta) \frac{n_2}{n_0} = \left(\alpha - \alpha \cdot \frac{n_1}{n_2} \right) \frac{n_2}{n_0} =$

$= \alpha \left(\frac{n_2}{n_0} - 1 \right) = 0,1 (1,7 - 1) = 0,1 \cdot 0,7 = 0,07 \text{ рад.}$

Ответ: луч смещается на $\delta = 0,07 \text{ рад.}$

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

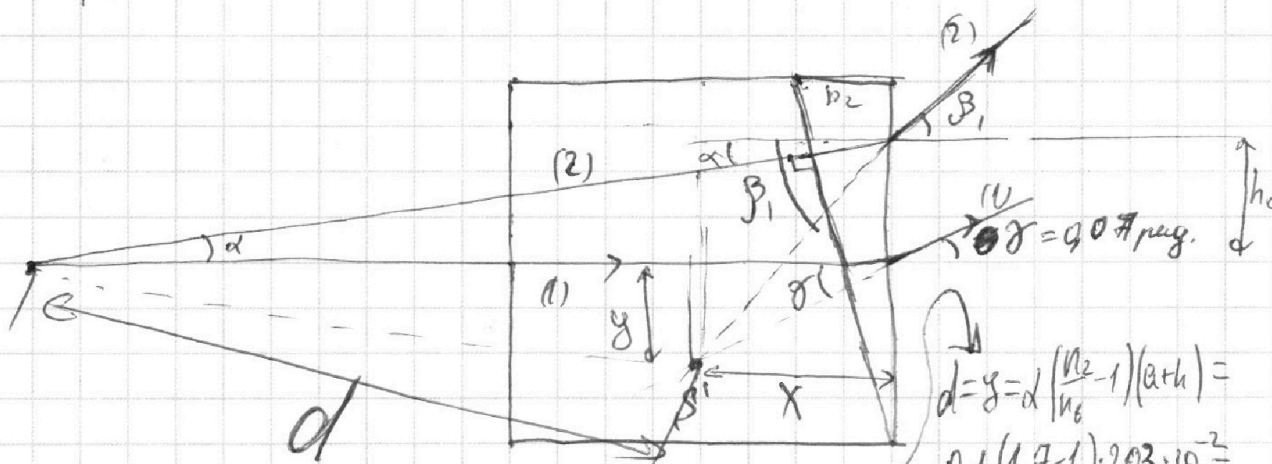
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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!

5) ~~2022~~
1400 + 21 = 1421



$$n_2 \frac{\beta_1}{\alpha} = \frac{n_2}{n_1} \quad \beta_1 = \alpha \frac{n_2}{n_1}$$

$$d = y = \alpha \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) (a+h) =$$

$$= 0,1 (1,7 - 1) \cdot 203 \cdot 10^{-2} =$$

$$= \frac{7 \cdot 203}{10000} = \frac{1421}{10000} \text{ м}$$

Ответ: $d = 0,1421 \text{ (м)}$

Наблюдатель видит следующее изображение источника

$$h_0 \approx \alpha (a+h)$$

$$y \approx \gamma x$$

$$h_0 + y \approx \beta_1 x$$

$$\beta_1 - \gamma = \alpha \frac{n_2}{n_1} - \alpha \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) = \alpha$$

$$y = \beta_1 x - h_0 = \beta_1 x - \alpha (a+h) = \gamma x$$

$$(\beta_1 - \gamma) x = \alpha (a+h)$$

$$x = \frac{\alpha (a+h)}{\beta_1 - \gamma} \Rightarrow y = \frac{\gamma \alpha (a+h)}{\beta_1 - \gamma} = \frac{\gamma \alpha (a+h)}{\alpha} =$$

$$= \gamma (a+h) = \alpha \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) (a+h)$$

$x = a+h \Rightarrow$ изображение находится вертикально под источником $\Rightarrow d = y \Rightarrow$

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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

МФТИ



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

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

5) 2) $n_2 = n_1 = 1$ $n_1 = n_0 = 1$ $n_2 = 1.7$

$\delta = 0,07 \text{ mm}$

$\beta_1 \neq \alpha$ $\frac{\alpha}{\beta_1} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \beta_1 = \alpha \cdot \frac{n_2}{n_1} \text{ mm}$

$1 - 0,2 = 0,8$
 $1 - 0,45 = 0,55$

5) 1)

$\beta_1 \neq \frac{n_2}{n_1}$ $\beta_1 = \alpha \cdot \frac{n_2}{n_1}$

$\gamma_1 = \beta_1 + \frac{\delta \alpha}{2} - \alpha = \frac{\alpha}{2} + \alpha \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right)$

$y \cdot \tan \gamma_1 = y \cdot \left(\frac{\alpha}{2} + \alpha \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \right) = a + h = \gamma x \left(\frac{\alpha}{2} + \alpha \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \right) = a + h$

$X = \frac{a + h}{\gamma \left(\frac{\alpha}{2} + \alpha \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \right)}$

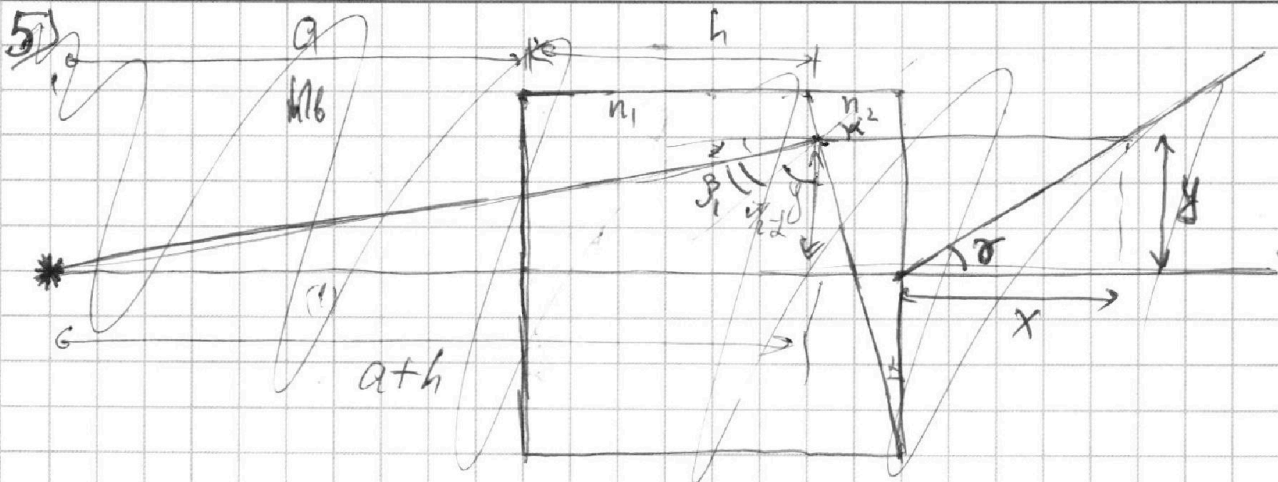
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



Такая конфигурация призмы с ~~каким~~ ~~показ~~ ~~прелом.~~ $n_2 < n_1 \Rightarrow$ ~~угол~~ ~~высходит~~
~~луча~~ \Rightarrow угол β_1 ~~высходит~~ ~~луча~~ ~~на~~ ~~той~~ ~~же~~ ~~высоте~~
 на которой ~~высходит~~ в первую призму, и ~~высходит~~ ~~под~~ ~~углом~~ $\delta < 0, \delta < \beta_2$

$$y = \beta x \quad \text{tg} \left(\frac{\alpha}{2} - \alpha + \beta_1 \right) = \frac{a+h}{y}$$

$$\frac{\beta_1}{\alpha} = \frac{n_2}{n_1} \quad \beta_1 = \frac{n_2}{n_1} \alpha$$

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

