



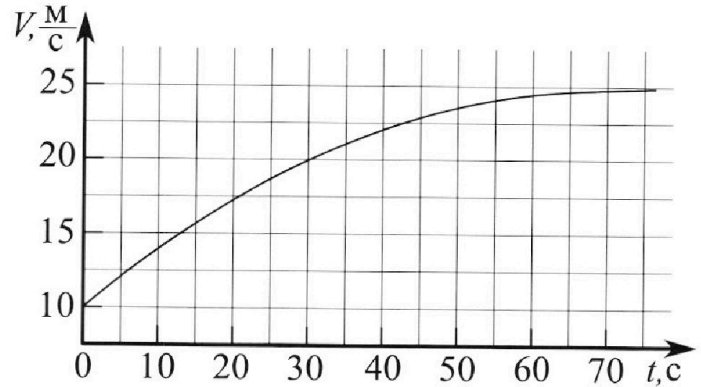
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## 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  $V_1$ ?

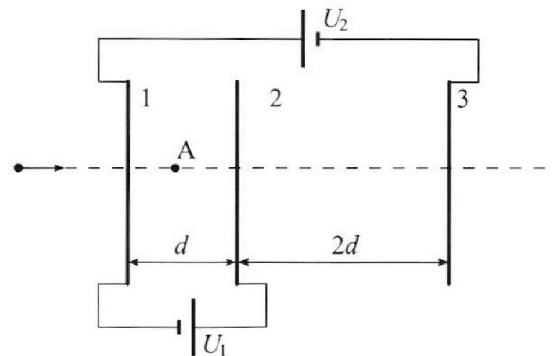
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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  $\Delta v$  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  $k \approx (1/3) \cdot 10^{-3}$  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.

- 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.

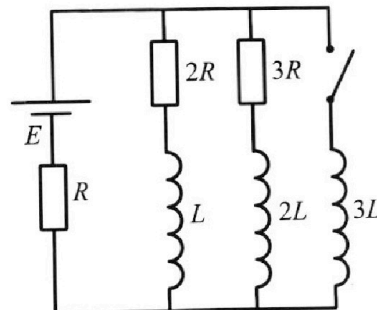
Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

Вариант 11-01

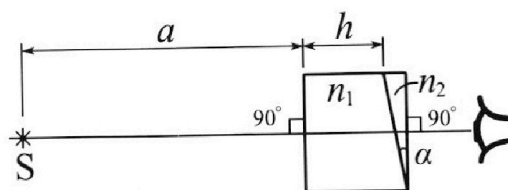
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.

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.

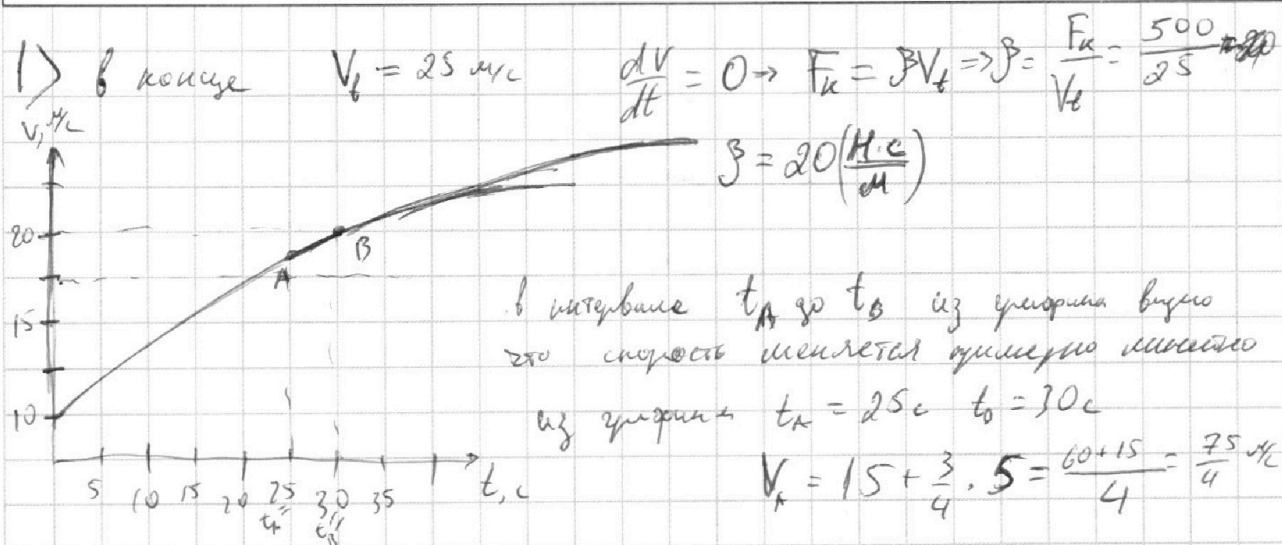
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

МФТИ



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

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)
$V/4$

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

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

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

$\rho_2 = 0,5 \rho_1$

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

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

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

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)
$V/4$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

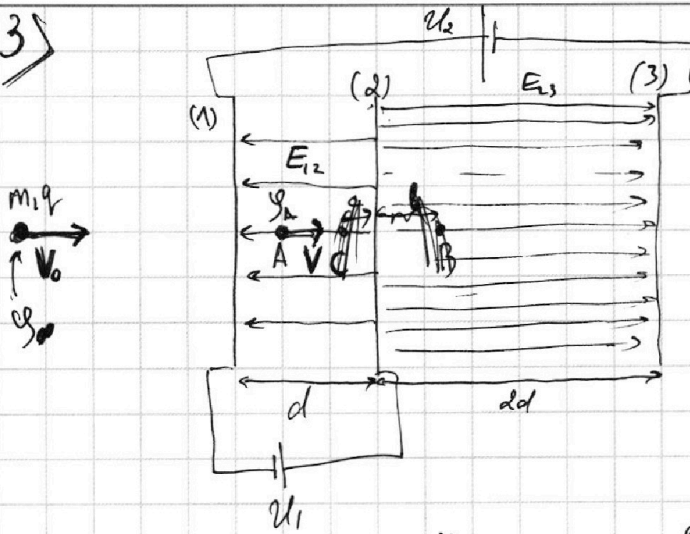
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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!

3)



$$U_1 = U$$

$$U_2 = 4U$$

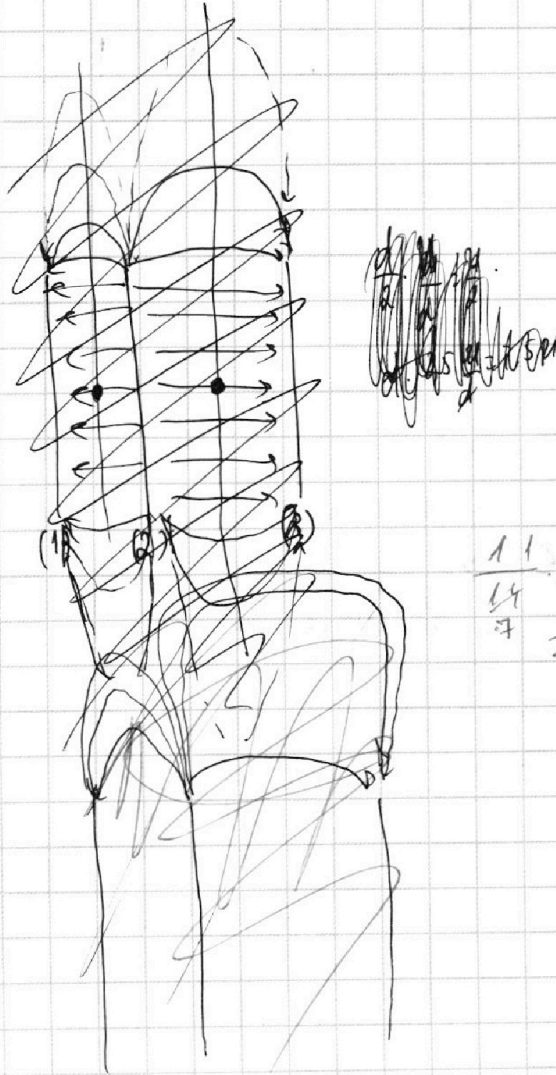
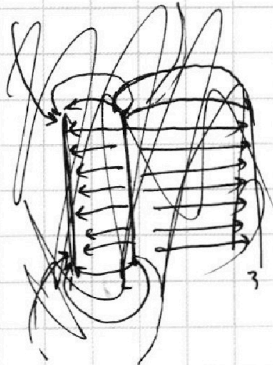
$$1) E_{12} \cdot d = U_1 = U \quad E_{12} = \frac{U}{d} \quad F = qE = \frac{qU}{d} = ma \quad a = \frac{qU}{md}$$

Ответ:  $a = \frac{qU}{md}$

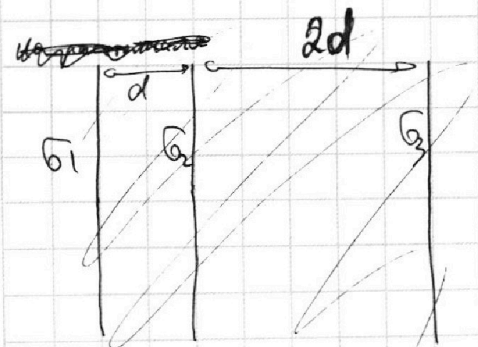
$$2) K_1 - K_2 = Fd = qU$$

Ответ:  $K_1 - K_2 = qU$

3)



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



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

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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

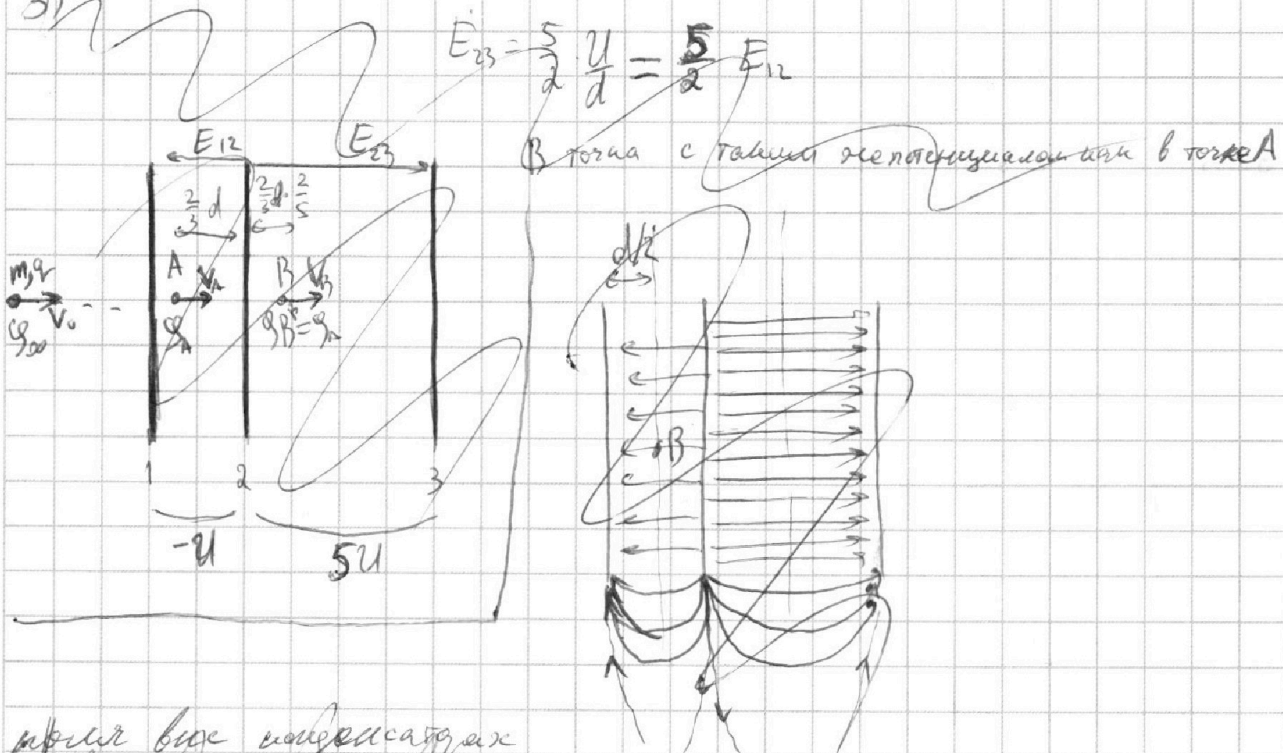
1  2  3  4  5  6  7

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 все конденсаторы  
еще слабые, то есть,  
каждый из них симметричен относительно средней плоскости  
между конденсаторами соответствующего поля  $\Rightarrow$  если мысленно  
копировать в точку B на  $d/3$  от средней плоскости и мысленно  
удалить ее на бесконечность можем записать  $A_{поле} = q(\varphi_B - \varphi_{\infty}) = 0$

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

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

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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

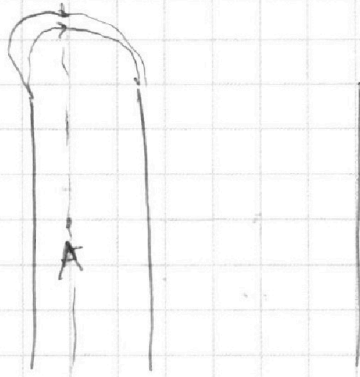


1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

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 продольной  
через А и цилиндрической 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:  $V_A = V_0$

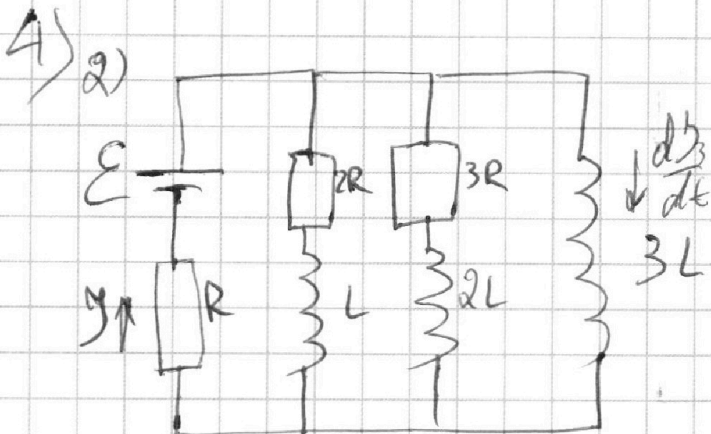
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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



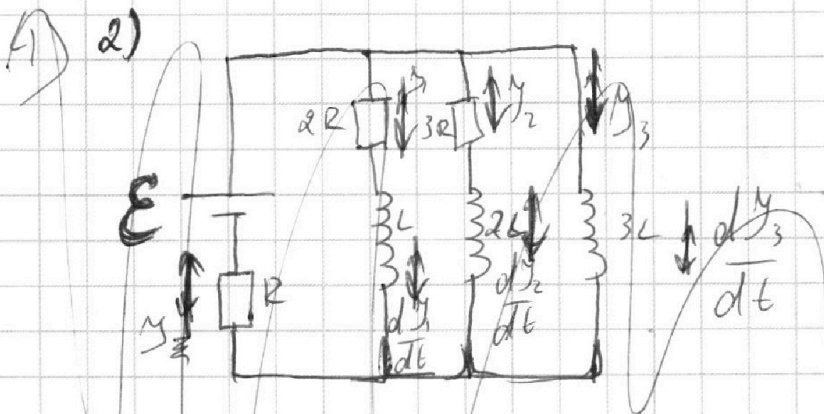
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!



$$\frac{d\psi_1}{dt} + \frac{d\psi_2}{dt} = \frac{d\psi_3}{dt} = \frac{d\psi}{dt}$$

$$\psi = \psi_1 + \psi_2 = \psi_3$$

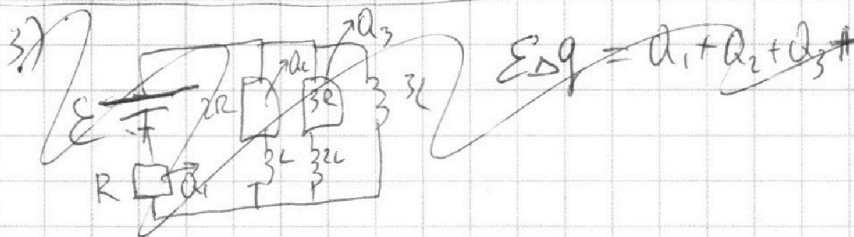
~~$$\varepsilon - I R - 3L \frac{dI_3}{dt} = I R + I_1 2R - \varphi \cdot \frac{d\psi}{dt} = I R + I_2 3R - 2L \frac{dI_2}{dt}$$~~

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

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

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

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



~~$$\varepsilon \Delta q = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$$~~

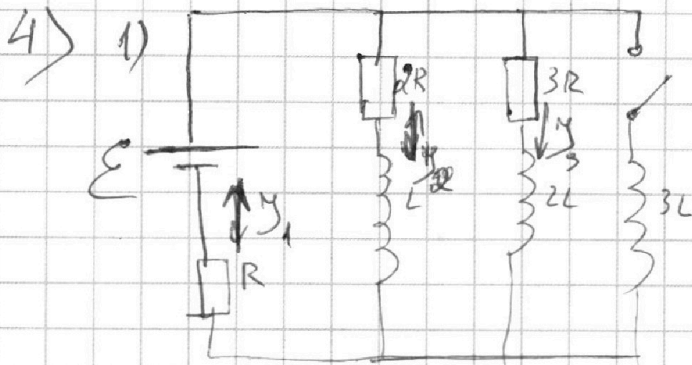
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

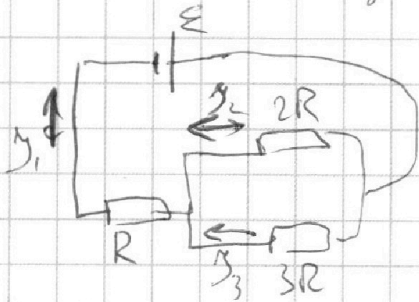
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$I_1 = I_2 + I_3$$

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

эквивалентная схема установившегося режима



$$I_1 = I_2 + I_3$$

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

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

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

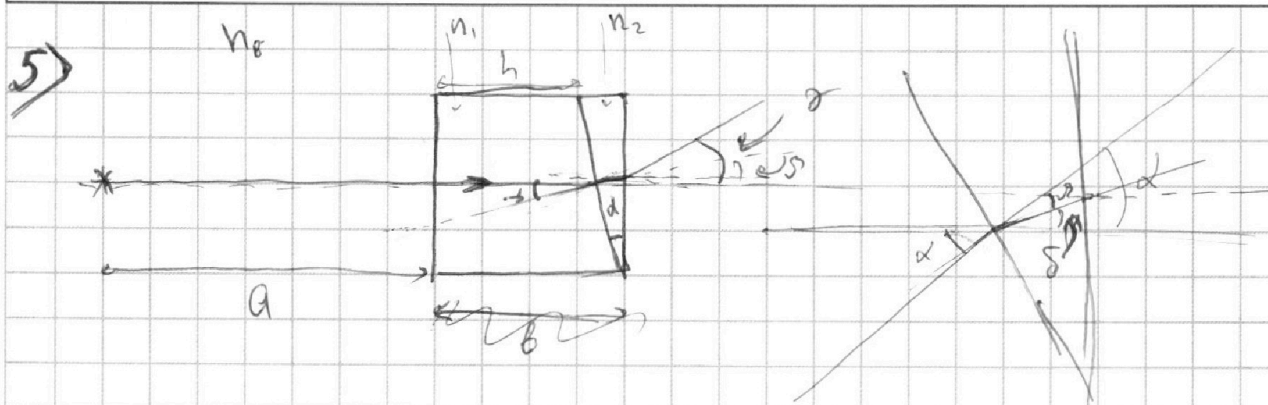
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



крат

1)  $n_1 = n_0 = 1$

$n_2 = 1,7$

$\alpha = 0,1 \text{ рад.}$

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

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

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

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

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

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

Ответ: дуга отклонения на  $\gamma = 0,07 \text{ рад.}$

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

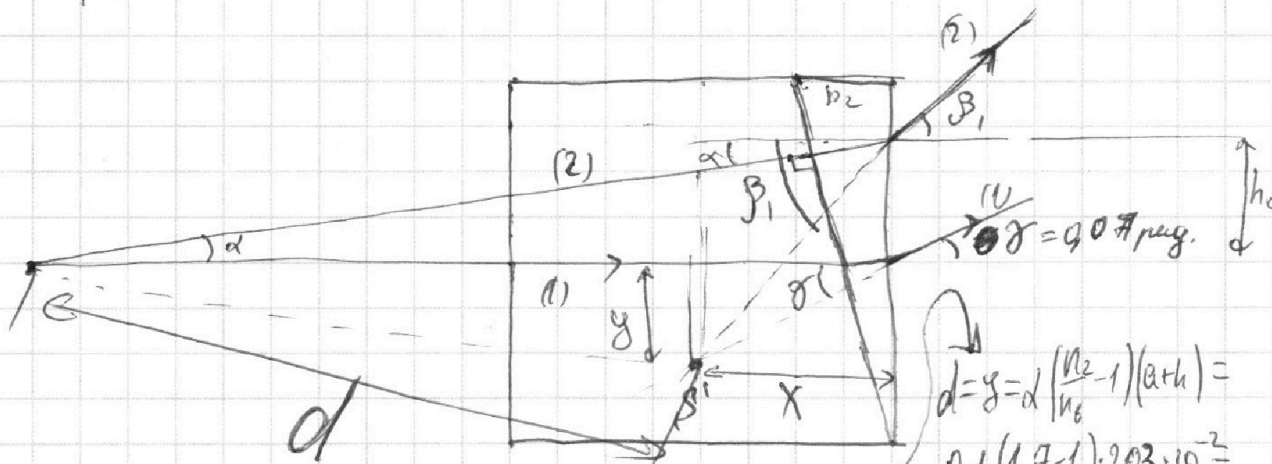
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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:

- |                          |                          |                          |                          |                                     |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 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"/> |

**МФТИ**

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



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

$\delta = 0,07 \text{ мм}$

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

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

5) 1)

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

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

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

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

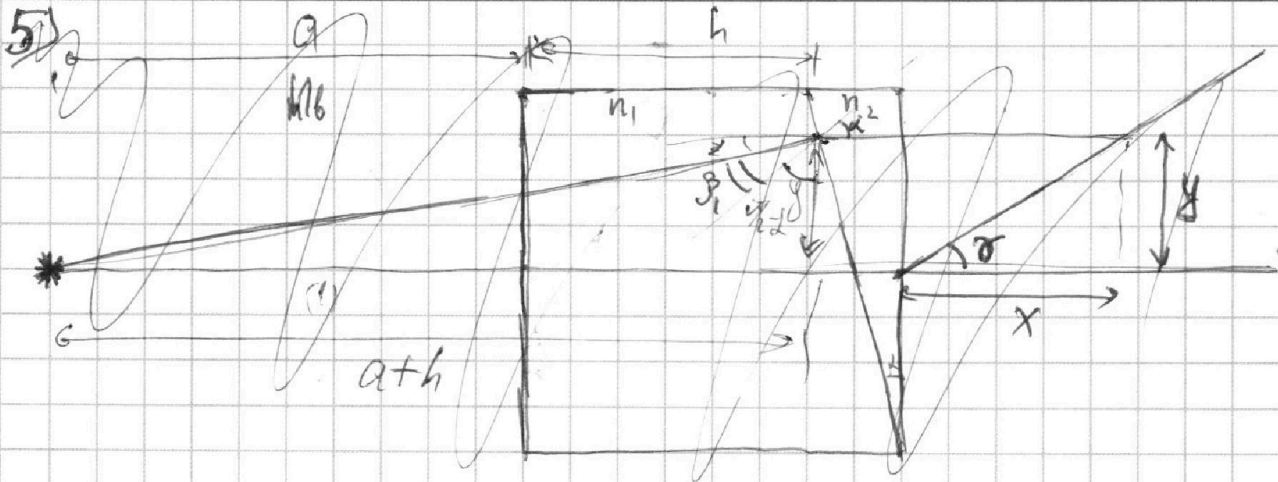
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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.~~  $n_2 < n_1 \Rightarrow$  ~~луч~~ ~~вылетит~~  
~~луч~~ ~~на~~ ~~той~~  $\Rightarrow$  ~~луч~~  $\beta_1$  ~~будет~~ ~~примерно~~ ~~на~~ ~~той~~ ~~же~~ ~~высоте~~  
 на которой ~~вышел~~ в первую призму, и ~~вылетит~~ под углом  $\delta < 90^\circ$  ~~луч~~

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

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

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

