



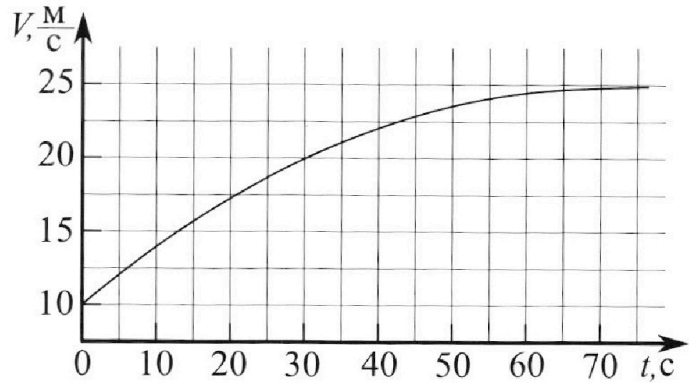
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 11-03



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

1. Автомобиль массой  $m = 1500$  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  $F_k = 600$  Н. Считать, что при разгоне сила сопротивления движению пропорциональна скорости.



- 1) Используя график, найти ускорение автомобиля в начале разгона.
- 2) Найти силу тяги  $F_0$  в начале разгона.
- 3) Какая мощность  $P_0$  передается от двигателя на ведущие колеса в начале разгона?

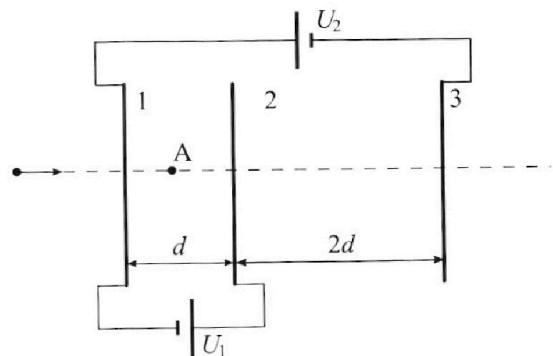
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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 гелий, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при давлении  $P_0 = P_{\text{АТМ}}/2$  ( $P_{\text{АТМ}}$  - нормальное атмосферное давление) и при комнатной температуре  $T_0$ . При этом жидкость занимала объём  $V/4$ . Затем цилиндр медленно нагрели до  $T = 373$  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  $k \approx 0,5 \cdot 10^{-3}$  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 отношение конечной и начальной температур в сосуде  $T/T_0$ .

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  $U_2 = 3U$ . 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 1 и 2.
- 2) Найти разность  $K_1 - K_2$ , где  $K_1$  и  $K_2$  — кинетические энергии частицы при пролете сеток 1 и 2.
- 3) Найти скорость частицы в точке А на расстоянии  $d/4$  от сетки 1.

Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

Вариант 11-03

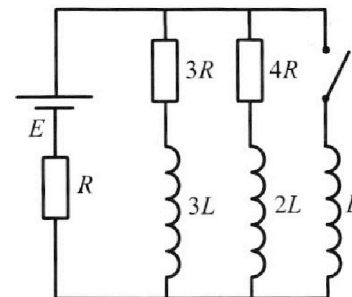
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.



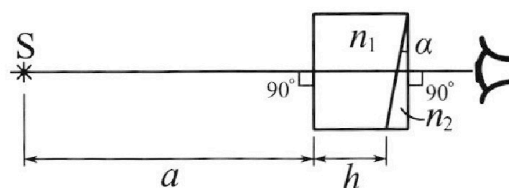
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток  $I_0$  через резистор с сопротивлением  $3R$  при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью  $L$  сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением  $3R$  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  $a = 90$  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.



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  $n_1 = n_v = 1,0$ ,  $n_2 = 1,7$ , найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая  $n_1 = n_v = 1,0$ ,  $n_2 = 1,7$ , 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
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input 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!

$$m = 1500 \text{ кг}$$

$$F_k = 600 \text{ Н}$$

$$F_{\text{сопр}} = \alpha v,$$

$$\text{где } \alpha - \text{коэф.}$$

$$1) a_0 = ?$$

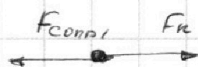
$$2) F_0 = ?$$

$$3) P_0 = ?$$

1) мгновенное ускорение  $a = \frac{dv}{dt}$  - численно равно тангенсу угла наклона графика скорости в обеих  $v$  и  $t$ .

$$a_0 = \frac{22,5 \text{ м/с}}{30 \text{ с}} = 0,75 \text{ м/с}^2$$

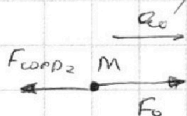
2) Рассмотрим автомобиль в конце разгона:  $a_k = 0 \Rightarrow P_0 \geq 3 \text{ ч.}$



$$F_{\text{сопр}1} = F_k$$

$$\alpha v = F_k \Rightarrow \alpha = \frac{F_k}{v} = \frac{600 \text{ Н}}{25 \text{ м/с}} = 24 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$$

3) Рассмотрим автомобиль в начале разгона:



$$m a_0 = F_0 - \alpha v_0 \quad v_0 = 10 \text{ м/с}$$

$$F_0 = m a_0 + \alpha v_0 = 1500 \cdot \frac{3}{4} + 24 \cdot 10 = 1365 \text{ Н}$$

Ответ: ~~1)  $a_0 = 0,75 \text{ м/с}^2$~~

3) Рассмотрим маленький <sup>прошмудок</sup> ~~массив~~ <sup>время</sup> ~~время~~  $\frac{\Delta t}{\Delta t}$  в начале разгона:

$$P_0 = \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{F_0 \Delta S}{\Delta t} = F_0 v_0 = 1365 \text{ Н} \cdot 10 \text{ м/с} = 13650 \text{ Вт}$$

Ответ: 1)  $0,75 \text{ м/с}^2$  2)  $1365 \text{ Н}$  3)  $13650 \text{ Вт}$

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!

V

$$p_0 = p_{014} / 2$$

$T_0$

$$T = 373 \text{ K}$$

$$\Delta V = k p V$$

$$1) \frac{V_{\text{He}}}{V_{\text{CO}_2}}$$

$$2) \frac{T}{T_0} = ?$$

He	$V/2$
CO <sub>2</sub>	$V/4$
вода	$V/4$

1) По 3-му Менделеева - Крау-  
нберга для ~~жидк~~ смеси и  
углекислого газа.

$$p_0 \frac{V}{2} = V_{\text{He}} R T_0; V_{\text{He}} = \frac{p_0 V}{2 R T}$$

$$p_0 \frac{V}{4} = V_{\text{CO}_2} R T_0; V_{\text{CO}_2} = \frac{p_0 V}{4 R T}$$

$$\frac{V_{\text{He}}}{V_{\text{CO}_2}} = \frac{p_0 V}{2 R T_0} \cdot \frac{4 R T_0}{p_0 V} = 2$$

2)

He	$V/5$
CO <sub>2</sub>	
вода	$V/4$

По 3-му Менделеева - Крау-  
нберга

$$\frac{p V}{5} = V_{\text{He}} R T; \frac{p V}{5} = 2 V_{\text{CO}_2} R T$$

$$\frac{11 p V}{20} = (V_{\text{CO}_2} + \Delta V) R T \quad p = \frac{10 V_{\text{CO}_2} R T}{V}$$

$$\Delta V = \frac{k p_0 V}{5}$$

$$\frac{11 V}{20} \cdot \frac{10 V_{\text{CO}_2} R T}{V} = V_{\text{CO}_2} R T + \frac{k p_0 V}{5} R T$$

$$\frac{11}{2} V_{\text{CO}_2} = V_{\text{CO}_2} + \frac{k p_0 V}{5}$$

$$V = \frac{11 V_{\text{CO}_2} R T_0}{p_0}; \quad \frac{11}{2} V_{\text{CO}_2} = V_{\text{CO}_2} + \frac{k \cdot 4 V_{\text{CO}_2} R T_0}{5}$$

$$\frac{11}{2} = 1 + \frac{4 k R T_0}{5}; \quad \frac{11}{2} = \frac{9}{5} \frac{R T_0}{R}$$

$$T_0 = \frac{11 \cdot 5}{2 \cdot 9} R$$

$$\frac{T}{T_0} = \frac{T}{T}$$

$$\frac{11}{2} - 1 = \frac{4}{5} k R T_0$$

$$\frac{9}{2} = \frac{4}{5} k R T_0 = 5 T_0 = \frac{9 \cdot 5}{4 \cdot 2} k R$$

$$\frac{T}{T_0} = \frac{7 \cdot 8 k R}{45} = \frac{8}{45} k R T = \frac{8}{45} \cdot 0,5 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^3 = \frac{8}{45} \cdot 1,5 = \frac{8 \cdot 0,1}{3} = \frac{0,8}{3} = \frac{8}{30} = \frac{4}{15}$$

Ответ: 1)  $\frac{V_{\text{He}}}{V_{\text{CO}_2}} = 2$  2)  $\frac{T}{T_0} = \frac{4}{15}$   $\frac{T}{T_0} = \frac{15}{4}$

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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

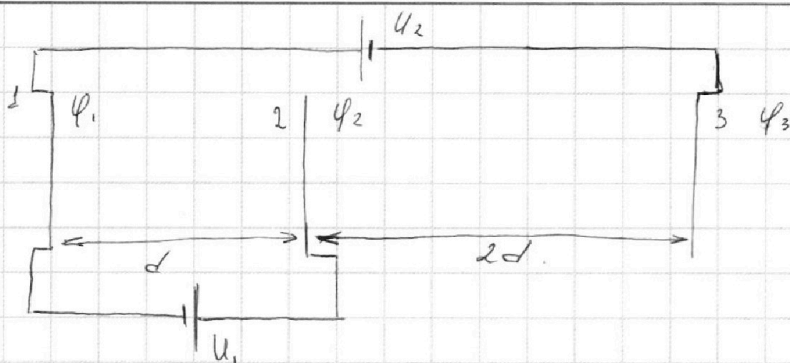
1  2  3  4  5  6  7



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



- $U_1 = U$   
 $U_2 = 3U$   
 $m, d, q, \epsilon_0$   
 1)  $|a|$ ?  
 2)  $K_1 - K_2$ ?  
 3)  $\varphi_4$ ?

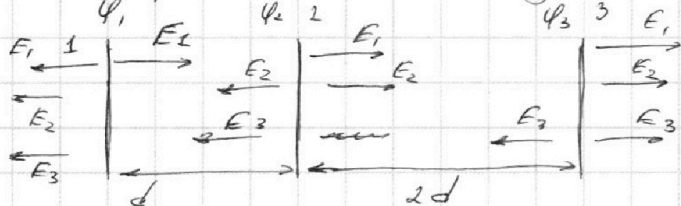


Примем потенциал пластинки 3 за нулевой:

$$\varphi_3 = 0, \text{ тогда } \varphi_1 = U_2 = U, \varphi_2 = U_2 + U_1 = 3U + U = 4U$$

Допустим, заряды на пластинках положительные

$$q_1 > 0; q_2 > 0; q_3 > 0. \text{ Тогда:}$$



где  $E_1, E_2, E_3$  — направления полей соответствующих пластинок. сеток

$$\text{Тогда: } \varphi_1 - \varphi_2 = (E_1 - E_2 - E_3)d, \quad \varphi_2 - \varphi_3 = (E_1 + E_2 - E_3)2d$$

$$3U - 4U = (E_1 - E_2 - E_3)d, \quad 4U - 0 = (E_1 + E_2 - E_3)2d$$

$$U = (E_3 + E_2 - E_1)d, \quad 4U = (E_1 + E_2 - E_3)2d$$

$$U_3 \quad \text{ЗСЗ: } q_1 + q_2 + q_3 = 0 \quad \left| \cdot \frac{1}{2\epsilon_0 S} \right.$$

$$E_1 + E_2 + E_3 = 0.$$

Решая систему, найдем  $E_1, E_2, E_3$ :

$$\begin{cases} 4U = (E_1 + E_2 - E_3) \cdot 2d & ; \quad \frac{U}{d} = E_1 + E_2 - E_3; & \frac{3U}{d} = -E_2 - E_3 + E_2 - E_3 \\ U = (E_3 + E_2 - E_1) \cdot d & & \frac{2U}{d} = -2E_3 \\ E_1 + E_2 + E_3 = 0; E_1 = -(E_2 + E_3); & & 4U = -E_2 - E_3 + E_2 - E_3 \\ & & 4U = -2E_3 \rightarrow E_3 = -\frac{2U}{d} \end{cases}$$

$$\frac{U}{d} = E_3 + E_2 - E_1; \quad \frac{U}{d} = -\frac{2U}{d} \quad E_3 + E_2 + E_2 + E_3$$

$$\frac{U}{d} = 2(E_2 + E_3); \quad \frac{U}{2d} = E_2 + E_3; \quad E_2 = \frac{U}{2d} - E_3 = \frac{U}{2d} + \frac{U}{d} = \frac{3U}{2d}$$

$$E_1 = -\left(\frac{3U}{2d} + \left(-\frac{U}{d}\right)\right) = \frac{U}{d} - \frac{3U}{2d} = \frac{2U - 3U}{2d} = -\frac{U}{2d}$$

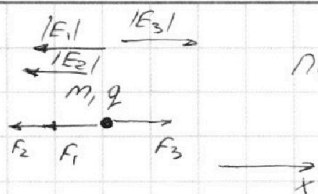
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



По з.и.н.:  $\max = F_3 - F_2 - F_1$

$$\begin{aligned} \max &= |E_3|q - |E_2|q - |E_1|q = \\ &= \frac{Uq}{d} - \frac{3Uq}{2d} - \frac{Uq}{2d} = \\ &= \frac{Uq}{d} \left(1 - \frac{3}{2} - \frac{1}{2}\right) = \frac{Uq}{d} (1 - 2) = -\frac{Uq}{d} \Rightarrow \\ &\Rightarrow |a| = \frac{Uq}{md} \end{aligned}$$

2) По теореме о кинетической энергии:

$$K_2 - K_1 = A; \quad A = -d \cdot \frac{Uq}{d} \cdot F, \quad \text{где } F = \frac{Uq}{d} \left( \begin{array}{l} \text{результату} \\ \text{действия} \\ \text{всех сил,} \\ \text{действ. на} \\ \text{частицу} \end{array} \right)$$

$$K_2 - K_1 = -d \cdot \frac{Uq}{d}; \quad K_1 - K_2 = Uq$$

3) Найдем скорость <sup>частицы</sup> точки при прохождении <sup>частицы</sup> через сетку 1:

По з. о кинетической энергии:  $\frac{m v_0^2}{2} - \frac{m v_1^2}{2} = A_1$

$A_1$  - Работа за слева от сетки 1 нет,  $\Rightarrow$  когда частица пролетает через сетку 1 ее скорость -  $v_0$ .

По теореме о кинетической энергии:

$$\frac{m v_A^2}{2} - \frac{m v_0^2}{2} = A_1, \quad A_1 = -\frac{d}{4} F q = -\frac{d}{4} \cdot \frac{Uq}{d} = -\frac{1}{4} Uq$$

$$\frac{m v_A^2}{2} - \frac{m v_0^2}{2} = -\frac{Uq}{4}; \quad \frac{m v_A^2}{2} = \frac{m v_0^2}{2} - \frac{Uq}{4}$$

$$v_A^2 = v_0^2 - \frac{Uq}{2m} \Rightarrow v_A = \sqrt{v_0^2 - \frac{Uq}{2m}}$$

Ответ: 1)  $|a| = \frac{Uq}{md}$  2)  $K_1 - K_2 = Uq$  3)  $v_A = \sqrt{v_0^2 - \frac{Uq}{2m}}$

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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

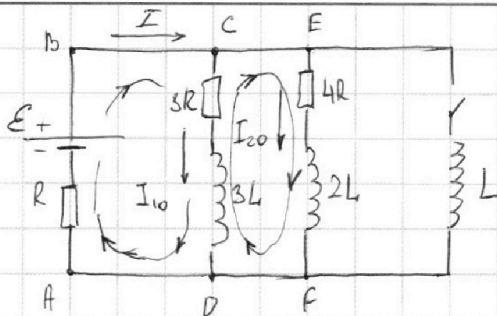
1  2  3  4  5  6  7



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



- 1)  $I_{10}$  - ?
- 2)  $\frac{dI_L}{dt}$  - ?
- 3)  $q$  - ?



Решение:

1) В установившемся стационарном режиме напряжение на катушках равно нулю.

1-е правило Кирхгофа для узла C:  $I = I_{10} + I_{20}$  (1)

2-е правило Кирхгофа для контуров ABCDA и ~~AEFE~~ <sup>CEFDCE</sup>

ABCDA:  $\varepsilon = 3RI_{10} + RI$  (2)

CEFDCE:  $0 = -3RI_{10} + 4I_{20}R$ ;  $3RI_{10} = 4I_{20}R$ ;

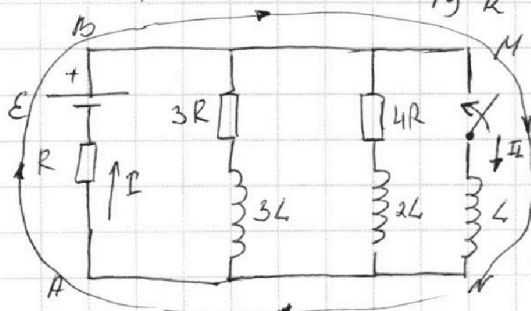
$I_{20} = \frac{3}{4}I_{10}$  (3)

Учитывая (1), (2) и (3):

$\varepsilon = 3RI_{10} + R\left(I_{10} + \frac{3}{4}I_{10}\right)$ ;  $\varepsilon = 3RI_{10} + \frac{7}{4}RI_{10}$

$\varepsilon = \frac{19}{4}I_{10}R \Rightarrow I_{10} = \frac{4}{19} \frac{\varepsilon}{R}$

2)



Сразу после замыкания ключа ток в цепи останется таким же, как и непосредственно перед замыканием из-за катушек индуктивности в цепи.

2-е правило Кирхгофа для контура ABMNA:

ABMNA:  $\varepsilon - L \frac{dI_L}{dt} = IR$ ;  $I = I_{10} + I_{20} = I_{10} + \frac{3}{4}I_{10} = \frac{7}{4}I_{10} = \frac{7}{4} \cdot \frac{4}{19} \frac{\varepsilon}{R} = \frac{7\varepsilon}{19R}$

$\varepsilon - L \frac{dI_L}{dt} = \frac{7\varepsilon}{19R} \cdot R$ ;  $L \frac{dI_L}{dt} = \varepsilon - \frac{7\varepsilon}{19}$ ;  $L \frac{dI_L}{dt} = \frac{12\varepsilon}{19}$ ;  $\frac{dI_L}{dt} = \frac{12\varepsilon}{19L}$

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

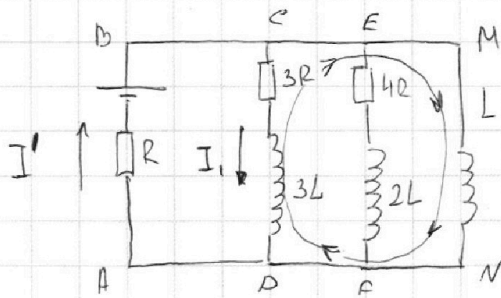
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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)



Рассмотрим цепь в произвольный момент времени  $t$  после замыкания ключа.

2-е правило Кирхгофа для контура:  $-L \frac{dI_3}{dt} + 3L \frac{dI_1}{dt} = -3RI_1$

$$-L dI_3 + 3L dI_1 = -3R dq$$

$$-L dI_3 + 3L dI_1 = -3R I_1 dt$$

$$I_1 dt = dq$$

$L dI_3 - 3L dI_1 = 3R dq$ . - Проинтегрируем от момента замыкания ключа до момента, когда ток через  $3R$  прекратится течь

$$L(I_3' - 0) - 3L(0 - I_{10}) = 3Rq$$

2-й закон Кирхгофа для контура  $A B M N A$  когда  $\tau$  цепи достигнет установившегося режима в цепи:

$$\mathcal{E} = I_3' R \Rightarrow I_3' = \frac{\mathcal{E}}{R} \text{ . Тогда:}$$

$$L \cdot \frac{\mathcal{E}}{R} + 3L \cdot \frac{4}{19} \frac{\mathcal{E}}{R} = 3Rq ; \frac{L\mathcal{E}}{R} \left(1 + \frac{12}{19}\right) = 3Rq ; \frac{L\mathcal{E}}{R} \frac{31}{19 \cdot 3R} = q$$

$$q = \frac{31}{57} \frac{L\mathcal{E}}{R^2}$$

Ответ: 1)  $I_{10} = \frac{4}{19} \frac{\mathcal{E}}{R}$  2)  $\frac{dI_1}{dt} = \frac{12}{19} \frac{\mathcal{E}}{L}$  3)  $q = \frac{31}{57} \frac{L\mathcal{E}}{R^2}$



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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

**МФТИ**

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

$n_1, n_2, n_3 = 1$

$\alpha = 90^\circ$  см

$d = 0,1$  рад

$h = 14$  см

1)  $n_1 = n_3 = n_2$

$\delta = ?$

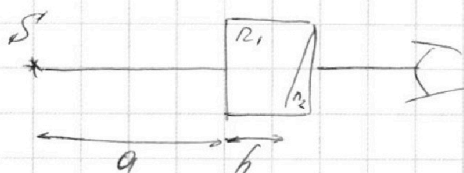
2)  $n_1 = n_3 = 1,0$

$n_2 = 1,7$ ;  $l = ?$

3)  $n_1 = 1,4$

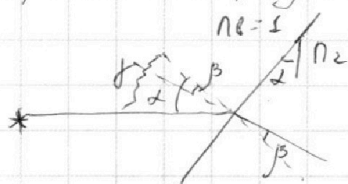
$n_2 = 1,7$

$l = ?$



1) Лучи не будут преломляться проходя через левую призму, т.к.  $n_3 = n_1$ .

Рассмотрим падение луча на левую поверхность треугольной призмы:



Из рисунка видно, что  $\delta = \alpha - \beta$ .

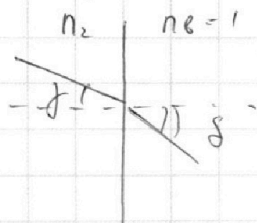
По 3-му закону Снеллиуса

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta \quad \sin \alpha \approx \alpha \quad \sin \beta \approx \beta$$

$$d = \beta n_2 \Rightarrow \beta = \frac{d}{n_2}$$

$$\delta = \alpha - \frac{d}{n_2} = d \left( 1 - \frac{1}{n_2} \right) \quad (\text{т.к. углы } \alpha \text{ и } \beta \text{ малые})$$

Теперь рассмотрим падение луча на правую поверхность призмы:



$$n_2 \sin \delta = n_3 \sin \gamma \quad \delta \approx \sin \delta \quad \gamma = \sin \gamma$$

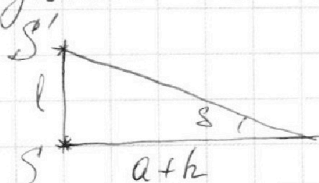
(т.к.  $\delta$  и  $\gamma$  - малые)

$$\sin \delta = n_3 \sin \gamma \quad \delta = n_3 \gamma$$

$$\delta = n_3 \cdot d \left( 1 - \frac{1}{n_2} \right) = d (n_3 - 1) =$$

$$= d (1,7 - 1) = 0,1 \cdot 0,7 = 0,07 \text{ рад}$$

2) Т.к. угол  $\delta$  мал, можно считать что изображение поднялось на высоту  $l$  над источником:



$$\tan \delta = \frac{l}{a+h} \quad \tan \delta \approx \delta \quad (\delta \text{ мал})$$

$$l = \delta (a+h) = 0,07 (90 + 14) = 7,28 \text{ см}$$

3) Оптическую систему можно представить как расположенные рядом плоскопараллельную пластину и две трех. призмы

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

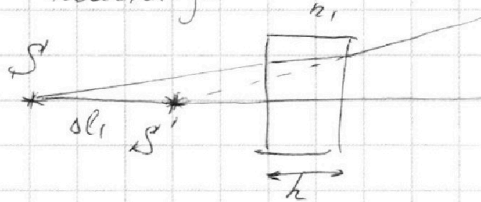
1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

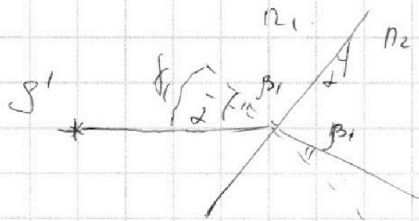


Рассмотрим падение лучей на плоскопараллельную пластину:



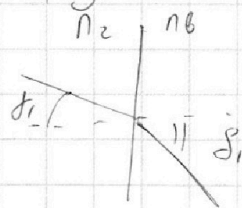
Изображение приблизится к ней на расстоянии  $\Delta l_1 = h(1 - \frac{1}{n_1})$

Затем лучи от мнимого источника  $S'$  начнут преломляться в треугольной призме с показателем  $n_2$ . Рассмотрим преломление от левой пов-ти:



$$f_1 = d / (1 - \frac{n_1}{n_2})$$

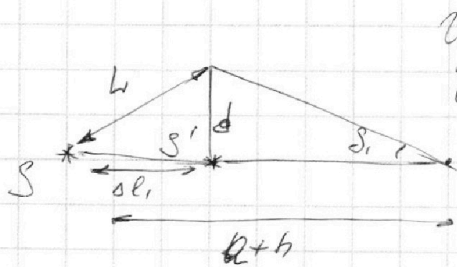
После этого луч преломится на левой правой пов-ти призмы:



$$n_2 f_1 = n b f_1$$

$$n_2 f_1 = S_1 \quad S_1 = n_2 d / (1 - \frac{n_1}{n_2})$$

$$S_1 = d (n_2 - n_1)$$



Изображение сдвинется вправо и поднимается вверх.

$$L = \sqrt{\Delta l_1^2 + d^2}$$

$$d = (n_2 - n_1) S_1; \Delta l_1 = h(1 - \frac{1}{n_1})$$

$$\Delta l_1 = 4 \text{ см}$$

$$d = 3,12 \text{ см}$$

$$L = \sqrt{4^2 + 3,12^2} \approx \sqrt{4^2 + 3^2} = \sqrt{25} = 5 \text{ см}$$

Ответ: 1) 0,07 рад 2) 7,28 см 3) 5 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

**МФТИ**

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



$n_1, n_2, n_6 = 1,0$

$a = 90 \text{ см}$

$d = 0,1 \text{ рад}$

$h = 14 \text{ см}$

1)  $n_1 = n_6 = n_2 = 1,7$

$\beta = ?$

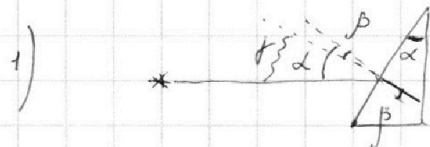
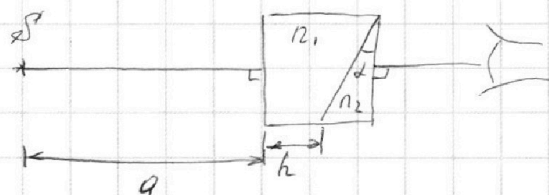
2)  $n_1 = n_6 = 1,0$

$n_2 = 1,7$

3)  $n_1 = 1,4$

$n_2 = 1,7$

$L = ?$



Лучи не будут преломляться, проходя через 1-ю призму, т.к.  $n_1 = n_6$ .

Из рисунка видно, что  $f = d - \beta$ .

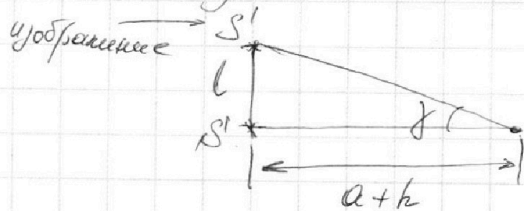
По 3-му Снеллиуса:  $n_6 \sin d = n_2 \sin \beta$

т.к. углы  $d$  и  $\beta$  - малые:  $\sin d \approx d$ ;  $\sin \beta \approx \beta$

$$n_6 \cdot d = n_2 \cdot \beta ; \beta = \frac{n_6 d}{n_2}$$

$$f = d - \beta = d - d \frac{n_6}{n_2} = d \left(1 - \frac{n_6}{n_2}\right) = 0,1 \left(1 - \frac{1}{1,7}\right) = 0,1 \left(\frac{1,7-1}{1,7}\right) = 0,1 \left(\frac{0,7}{1,7}\right) = 0,1 \cdot \frac{7}{170} = \frac{7}{170} \approx 0,04 \text{ рад}$$

2) Так как угол  $f$  - малый, можно считать что ~~угол~~ ~~изображение~~ изображение под углом  $f$  над высотой  $l$  над источником:



$$\beta = \tan f = \frac{l}{a+h}$$

$$l = \tan f (a+h) \quad \tan f \approx f \quad (f \text{ - малый угол})$$

$$l = f (a+h) = 0,04 (90 + 14) = 4,46 \text{ см}$$

3) Оптическую систему можно представить как плоскопараллельную пластину с показателем преломления  $n_1$  и шириной  $h$  и две тонкие треугольные призмы с показателями преломления  $n_2$  и  $n_3$ .



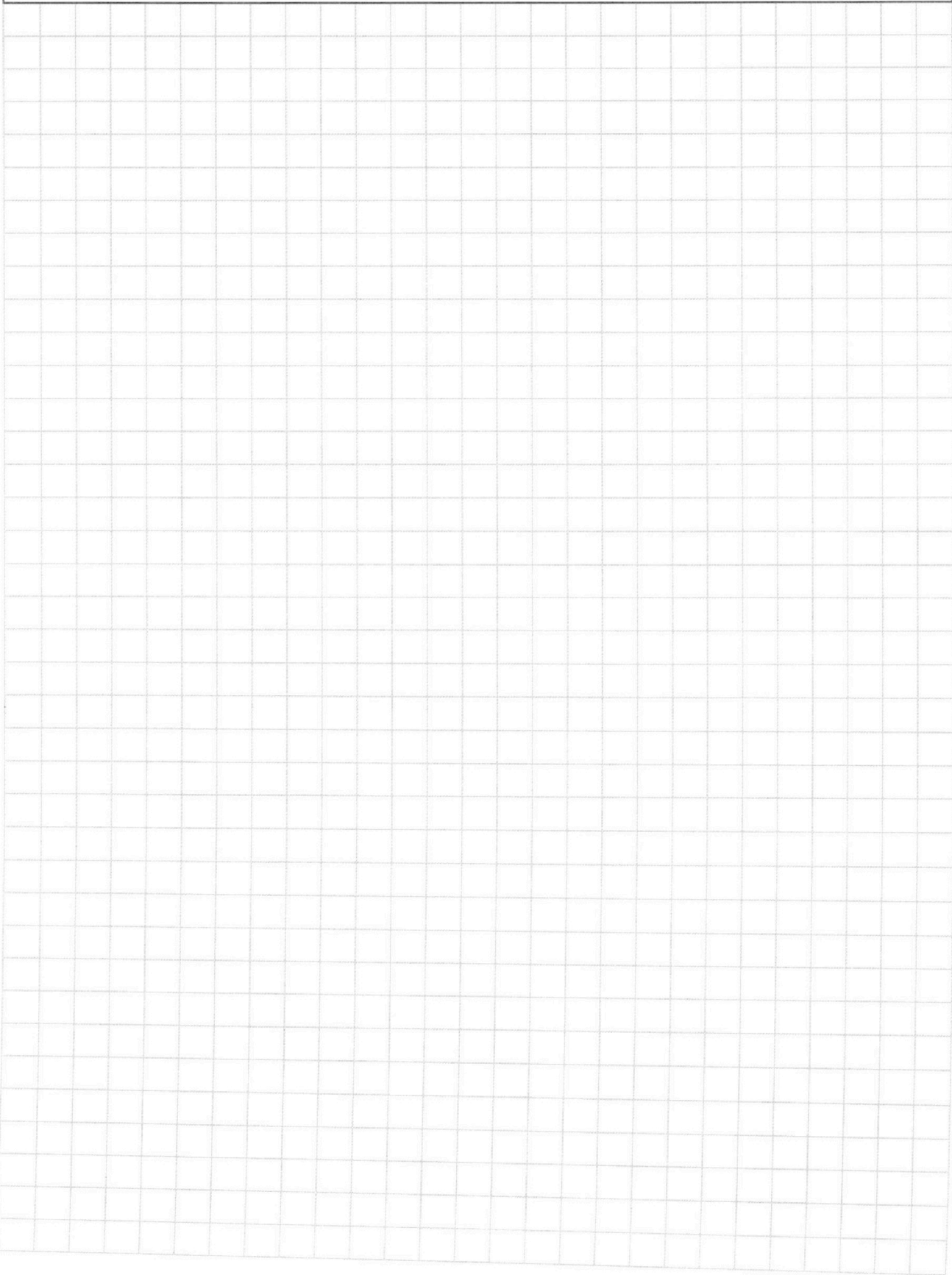
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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



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

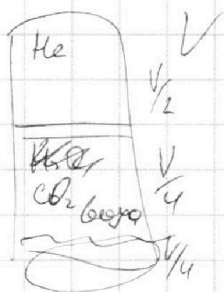
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 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



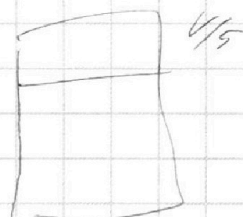
$$p_0 = \frac{p_{\text{атм}}}{2} \quad T_0$$

$$V_0 = \frac{V}{4}$$

$$T = 373 \text{ K}$$

$$\Delta U = k W p$$

$$k = 95 \cdot 10^{-3} \frac{\text{моль}}{\text{м}^3 \cdot \text{кг}}$$



при T моль He p-ат

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

$$p_0 \frac{V}{2} = \nu_{\text{He}} RT$$

$$p_0 \frac{V}{4} = \nu_{\text{CO}_2} RT$$

$$\nu_{\text{He}} = \frac{p_0 V}{2 RT}$$

$$\nu_{\text{CO}_2} = \frac{p_0 V}{4 RT}$$

$$\frac{4}{19} =$$

$$V - \frac{V}{9} - \frac{V}{4} = \frac{20V - 4V - 5V}{20} = \frac{11}{20} V$$

$$\frac{40}{30} \left| \frac{15}{926} \right|$$

$$\nu_{\text{He}} = 2 \nu_{\text{CO}_2}$$

$$\frac{pV}{9} = 2 \nu_{\text{CO}_2} RT$$

$$\frac{11 pV}{20} = \left( \nu_{\text{CO}_2} + \frac{k p_0 V}{9} \right) RT$$

$$p = \frac{20 \nu_{\text{CO}_2} RT}{V}$$

$$\frac{10 \nu_{\text{CO}_2} RT}{20} \frac{11}{20} = \nu_{\text{CO}_2} + \frac{k p_0 V}{9} RT$$

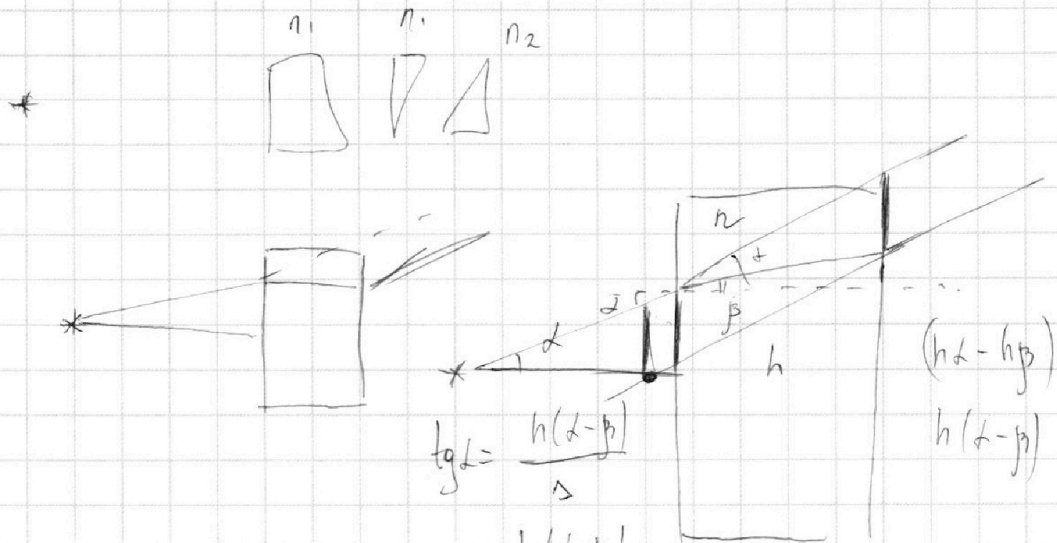
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



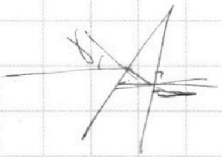
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h(x - h\beta)}{\Delta}$$

$$\Delta = \frac{h(x - h\beta)}{2}$$

$$n \alpha = n \beta$$

$$\beta = \frac{\alpha}{n}$$

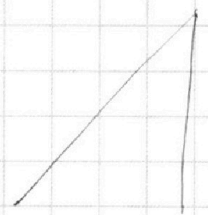
$$\frac{h \left( x - \frac{h}{n} \right)}{2} = h \left( 1 - \frac{1}{n} \right)$$



907. (104)

$$\frac{100}{7} = 14 \frac{2}{7}$$

$$\Delta l_1 = 14 \left( 1 - \frac{1}{1,4} \right) = 14 \left( \frac{0,4}{1,4} \right) = 14 \frac{4}{14} = 4 \text{ см}$$



$$\Delta l_2 = 0,1 (1,7 - 1,4) = 0,1 \cdot 0,3 = 0,03$$

$$d = (90 + 10) \cdot 0,03 = \frac{104 \cdot 3}{100} = \frac{312}{100} = 3,12$$



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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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

$$1500 \cdot \frac{3}{4} + 24 \cdot 10 = 375 \cdot 3 + 240 =$$

$$= 1125 + 240 = 1365 \text{ и}$$

$$\begin{array}{r} 2 \ 1 \\ \times 375 \\ \quad 3 \\ \hline 1125 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 7500 \ / \ 4 \\ -12 \\ \hline 30 \\ -28 \\ \hline 20 \\ -20 \\ \hline 0 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3 \ 2 \\ \times 375 \\ \quad 4 \\ \hline 1500 \end{array}$$

$$\frac{225}{300} = \frac{9}{12} = \frac{3}{4} = 0,75$$

$$1500 \cdot \frac{3}{4} + 240$$

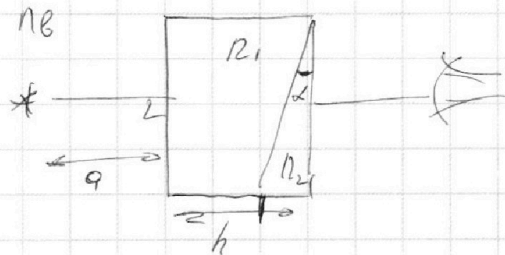
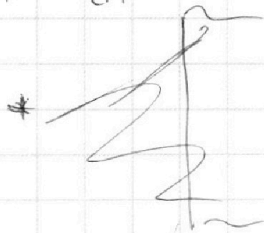
$$\begin{array}{r} 2 \ 1 \\ \times 375 \\ \quad 3 \\ \hline 1125 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1125 \\ + 240 \\ \hline 1365 \end{array}$$

$$P = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot S}{t} = F \cdot v$$

$$P = \frac{A}{dt} = \frac{F_0 \cdot d \cdot \delta}{dt} = F_0 \cdot \delta \cdot \frac{d}{dt}$$

4)

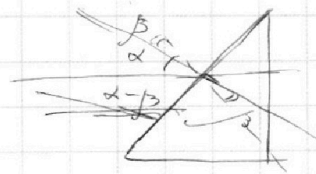
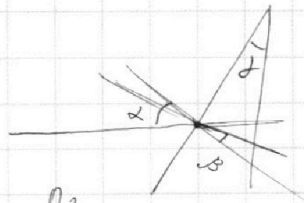
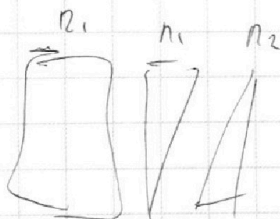


1)

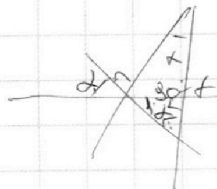
$$n_1 = n_6$$

$$n_2 = 1,7$$

$$\gamma = ?$$



$$2n_6 = \beta$$



$$\begin{array}{r} 200 \ / \ 170 \\ -680 \\ \hline 904,01 \\ \quad 200 \end{array}$$

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!

$$\max = \frac{(u_2 + u_1)q}{4d} - \frac{q(u_2 + 3u_1)}{4d} = \frac{u_1 q}{2d} \quad \begin{matrix} u_2 = 3u_1 \\ u_1 = u \end{matrix}$$

$$\max = \frac{-4uq}{4d} - \frac{q(6u)}{4d} - \frac{uq}{2d} = \frac{uq}{d} - \frac{3qu}{2d} - \frac{uq}{2d} =$$

$$= \frac{uq}{d} - \frac{4qu}{2d} = \frac{uq}{d} - 2\frac{qu}{d} = -\frac{qu}{d}$$

$$|q| = \frac{qu}{d}$$

~~k<sub>1</sub>~~      k<sub>1</sub> - k<sub>2</sub>

3С3:       $\frac{m u_0^2}{2} = k_1 + \psi_{10} q$

$$\frac{m u_0^2}{2} = k_2 + \psi_{20} q$$

$$F_3 = \frac{qu}{d}$$

m = 1500 кг

g = const

F<sub>k</sub> = 600 Н

F<sub>сomp</sub> ~ v

$$\frac{225}{300} = \frac{u}{60} = \frac{9}{12} = \frac{3}{4} \quad \frac{225/5}{25/45}$$

$$\begin{array}{r} 30 \overline{) 4} \\ -28 \\ \hline 20 \end{array} \quad \begin{array}{r} 9 \overline{) 11} \\ -9 \\ \hline 2 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3,0 \overline{) 4} \\ -28 \\ \hline 20 \end{array} \quad \begin{array}{r} 23 \cdot 9 \\ \hline 29 \cdot 12 \end{array}$$

24 · 25 =

$$\begin{array}{r} 600 \\ -50 \\ \hline 100 \\ -1000 \end{array} \quad \begin{array}{r} 25 \\ \hline 24 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 12 = \\ 29 \\ \times 24 \\ \hline 100 \\ +50 \\ \hline 600 \end{array}$$



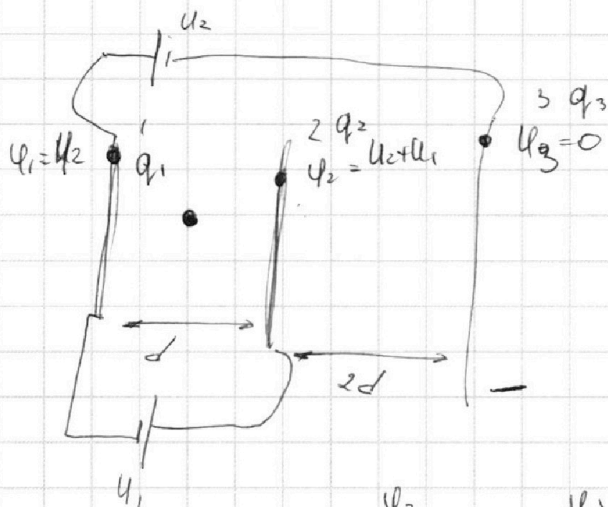
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7



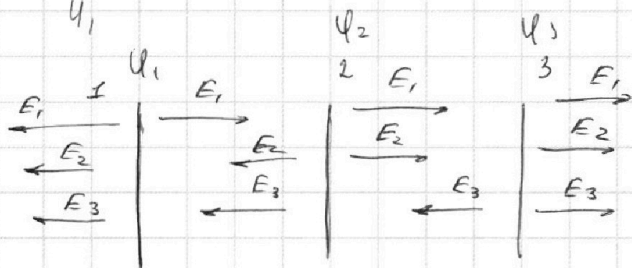
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$q_1 + q_2 + q_3 = 0$$

Допустим

$$q_1 > 0 \quad q_2 > 0 \quad q_3 > 0!$$



$$E_1 = \frac{q_1}{2\epsilon_0 S}$$

$$E_2 = \frac{q_2}{2\epsilon_0 S}$$

$$E_3 = \frac{q_3}{2\epsilon_0 S}$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = d (E_1 - E_2 - E_3)$$

$$\varphi_2 - \varphi_3 = 2d (E_1 + E_2 - E_3)$$

$$U_2 - (U_2 + U_1) = d \left( \frac{q_1}{2\epsilon_0 S} - \frac{q_2}{2\epsilon_0 S} - \frac{q_3}{2\epsilon_0 S} \right)$$

$$-2\epsilon_0 S U_1 = d (q_1 - q_2 - q_3) \quad -\frac{2\epsilon_0 S}{d} U_1 = q_1 - q_2 - q_3$$

$$q_3 + q_2 - q_1 = \frac{2\epsilon_0 S}{d} U_1$$

$$U_2 + U_1 - 0 = 2d \left( \frac{q_1}{2\epsilon_0 S} + \frac{q_2}{2\epsilon_0 S} - \frac{q_3}{2\epsilon_0 S} \right)$$

$$\frac{(U_2 + U_1) \cdot \epsilon_0 S}{d} = q_1 + q_2 - q_3$$

$$\epsilon_0 S \frac{(U_2 + U_1)}{d} = q_1 + q_2 - q_3$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

1     2     3     4     5     6     7



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



$$q_1 + q_2 + q_3 = 0; \quad q_1 = -q_2 - q_3 = -(q_2 + q_3)$$

$$q_3 + q_2 - q_1 = \frac{2\epsilon_0 S}{d} U_1$$

$$q_3 + q_2 + q_2 + q_3 = \frac{2\epsilon_0 S U_1}{d}$$

$$q_1 + q_2 - q_3 = \epsilon_0 S \frac{(U_2 + U_1)}{d}$$

$$2(q_3 + q_2) = \frac{2\epsilon_0 S U_1}{d}$$

$$q_3 + q_2 = \frac{\epsilon_0 S U_1}{d}$$

$$-q_2 - q_3 + q_2 - q_3 = \epsilon_0 S \frac{(U_2 + U_1)}{d}$$

$$-2q_3 = \frac{\epsilon_0 S (U_2 + U_1)}{d}$$

$$q_3 = -\frac{\epsilon_0 S (U_2 + U_1)}{2d}$$

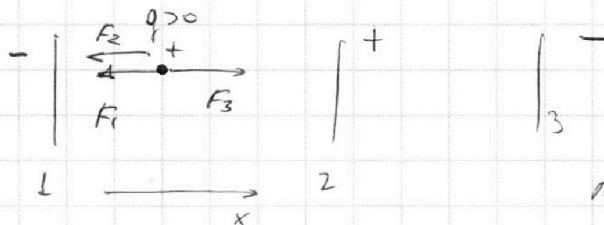
$$q_2 - \frac{\epsilon_0 S (U_2 + U_1)}{2d} = \frac{\epsilon_0 S U_1}{d}$$

$$q_2 = \frac{\epsilon_0 S (U_2 + U_1)}{2d} + \frac{2\epsilon_0 S U_1}{2d} = \frac{\epsilon_0 S U_2 + \epsilon_0 S U_1 + 2\epsilon_0 S U_1}{2d} =$$

$$= \frac{\epsilon_0 S U_2 + 3\epsilon_0 S U_1}{2d} = \frac{\epsilon_0 S (U_2 + 3U_1)}{2d}$$

$$q_1 = -\frac{\epsilon_0 S (U_2 + 3U_1)}{2d} + \frac{\epsilon_0 S (U_2 + U_1)}{2d} = \frac{\epsilon_0 S}{2d} (-U_2 - 3U_1 + U_2 + U_1)$$

$$q_1 = \frac{\epsilon_0 S}{2d} (-2U_1) = -\frac{\epsilon_0 S U_1}{d}$$



$$\max = F_3 - F_2 - F_1$$

$$\max = E_3 q - E_2 q - E_1 q$$

$$\max = \frac{q_3}{2\epsilon_0 S} q - \frac{q_2}{2\epsilon_0 S} q - \frac{q_1}{2\epsilon_0 S} q$$

$$\max = \frac{\epsilon_0 S (U_2 + 3U_1)}{2d} \cdot \frac{q}{2\epsilon_0 S} - \frac{\epsilon_0 S (U_2 + U_1)}{2d} \cdot \frac{q}{2\epsilon_0 S} - \frac{\epsilon_0 S U_1}{d} \cdot \frac{q}{2\epsilon_0 S}$$

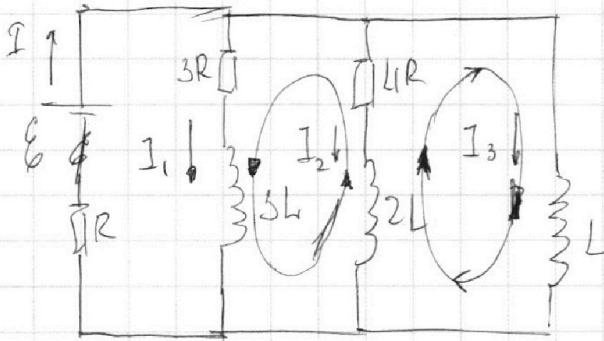
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$-3L \frac{dI_1}{dt} + 2L \frac{dI_2}{dt} = 3I_1 R - 4I_2 R$$

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

$$-3L \frac{dI_1}{dt} + L \frac{dI_3}{dt} = 3I_1 R \quad | \cdot dt$$

$$-3L dI_1 + L dI_3 = 3I_1 R dt$$

$$-3L \Delta I_1 + L \Delta I_3 = 3 \Delta q_1 R$$

$$L(I_3' - 0) - 3L(0 - I_1) = 3q_1 R$$

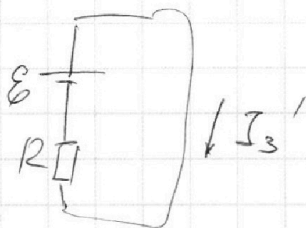
$$L \frac{q}{R} + 3L \frac{4q}{19R} = 3q_1 R$$

$$\frac{Lq}{R} \left( 1 + \frac{12}{19} \right) = 3q_1 R$$

$$\frac{Lq}{5R^2} \left( \frac{19+12}{19} \right) = q_1$$

$$\frac{Lq}{5R^2} \frac{31}{19} = q_1 \quad | \frac{31}{57} \frac{Lq}{R^2} = q_1$$

$$0,04 \cdot 104 = \frac{4104}{100} = \frac{416}{25} = 16,64$$



$$\varepsilon = I_3' R$$

$$I_3' = \frac{\varepsilon}{R}$$

$$\frac{7 \cdot 103}{170}$$

$$\frac{7}{170} =$$

$$\frac{700}{680} \Big/ \frac{170}{200} = 0,0416$$

$$0,04 \cdot 104$$

$$\begin{array}{r} \times 100 \\ 4 \\ \hline 0,416 \end{array}$$

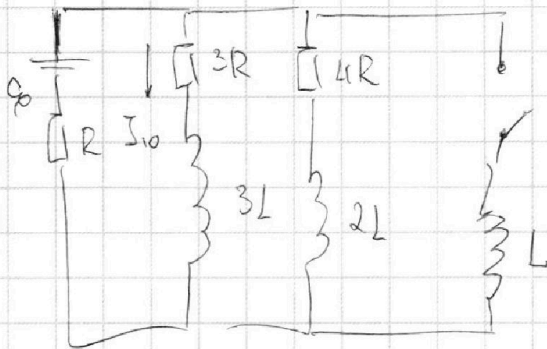
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$0 = I_{10}$$

$$\mathcal{E} = I_{10} \cdot 3R + (I_{10} + I_{20}) R$$

$$\mathcal{E} = 3I_{10} R + I_{10} R + I_{20} R$$

$$\mathcal{E} = 4I_{10} R + I_{20} R$$

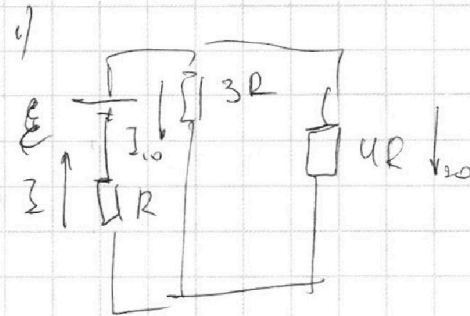
$$\mathcal{E} = 4I_{10} R + \frac{\mathcal{E}}{5} - \frac{I_{10} R}{5}$$

$$\mathcal{E} - \frac{\mathcal{E}}{5} = 4I_{10} R - \frac{I_{10} R}{5}$$

$$\frac{4}{5} \mathcal{E} = \frac{10I_{10} R - I_{10} R}{5} =$$

$$\frac{4}{5} \mathcal{E} = \frac{9I_{10} R}{5}$$

$$\frac{4 \mathcal{E}}{19R} = I_{10} \quad 2)$$



$$I = I_{10} + I_{20}, \quad \mathcal{E} =$$

$$\mathcal{E} = I_{10} 3R + IR$$

$$\mathcal{E} = IR + I_{20} \cdot 4R$$

$$\mathcal{E} = (I_{10} + I_{20}) R + I_{20} \cdot 4R$$

$$\mathcal{E} = I_{10} R + I_{20} R + I_{20} \cdot 4R$$

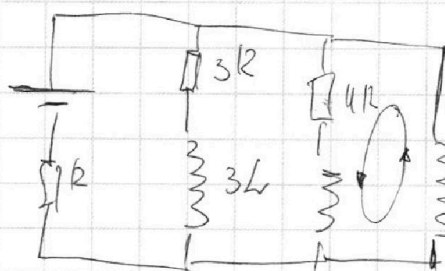
$$\mathcal{E} = I_{10} R + 5I_{20} R$$

~~$$\mathcal{E} = 5I_{20} R = I_{10} R$$~~

~~$$\mathcal{E} - I_{10} R = 5I_{20} R$$~~

~~$$\frac{\mathcal{E}}{R} - I_{10} = 5I_{20}$$~~

~~$$\frac{\mathcal{E}}{5R} - \frac{I_{10}}{5} = I_{20}$$~~



$$L \frac{dI}{dt} = 4R \cdot I_{20}$$

~~$$\mathcal{E} = I_{10} R + 5I_{20} R$$~~

~~$$\frac{\mathcal{E}}{5R} - \frac{I_{10}}{5} = I_{20}$$~~