



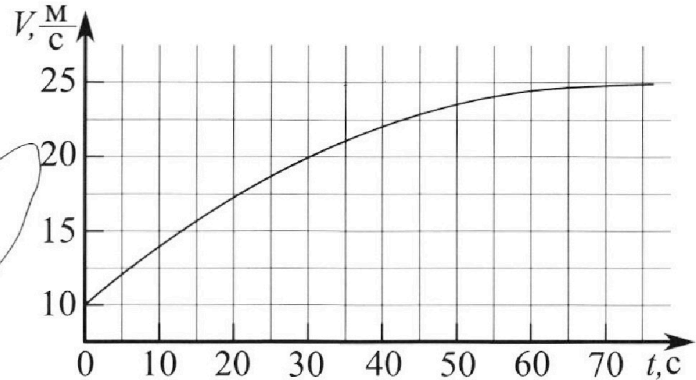
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## 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?

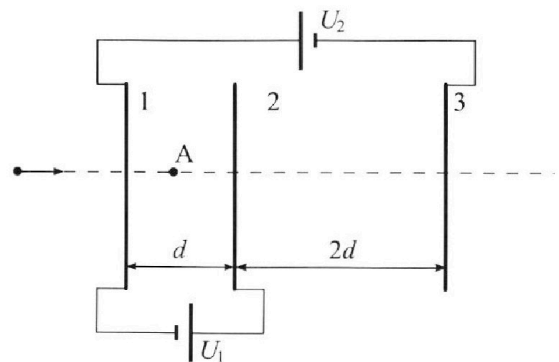
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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

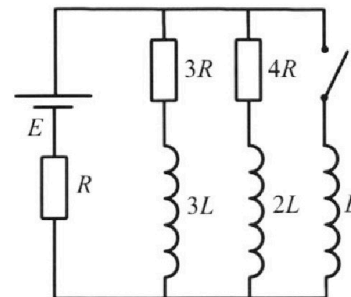
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.



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 4 ислowymi 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  $a = 90$  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.

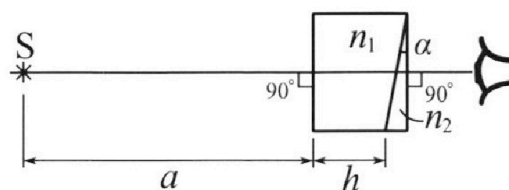


рис.). Угол  $\alpha = 0,1$  рад можно считать малым, толщина  $h = 14$  см. Толщина призмы с показателем преломления  $n_2$  на прямой «источник – глаз» намного меньше  $h$ . Отражения в системе не учитывать.

- 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  $n_1 = 1,4$ ,  $n_2 = 1,7$ , 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!

Задача №1)

Дано:

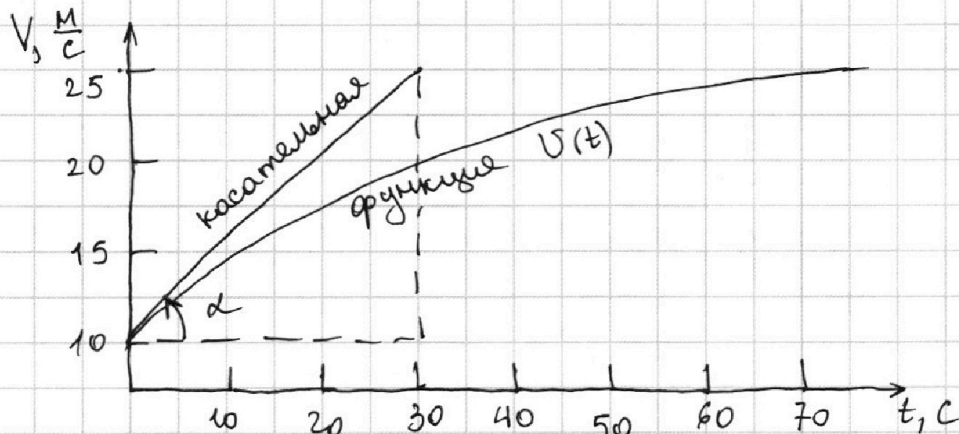
$$F_k = 600 \text{ Н}$$

$$m = 1500 \text{ кг}$$

$$F_{\text{сопр}} \sim V$$

$$F_{\text{сопр}} = kV$$

$$\vec{F}_{\text{сопр}} = -k \vec{V}$$



1) Заметим, что в конце разгона функция  $V(t)$  принимает максимум (точка экстремума)  $\Rightarrow$  раз движение вдоль одной прямой, то  $a = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \dot{V}$  - модуль ускорения есть производная по времени модуль скорости.  $\Rightarrow$  в конце разгона  $\dot{V} = 0$ , а значит  $a = 0$ . (точка экстремума)

По II закону Ньютона для тела массой  $m$  в этот момент:

$$\sum_i \vec{F}_i = m\vec{a} \rightarrow \text{если } a = 0 \text{ в конце разгона,}$$

то  $\sum_i \vec{F}_i = \vec{0} \Rightarrow$  если действуют только сила сопротивления  $\vec{F}_{\text{сопр}}$  и сила тяги  $\vec{F}_{\text{тяги}}$  и они  $\vec{F}_{\text{сопр}} \updownarrow \vec{F}_{\text{тяги}}$

$\Rightarrow F_{\text{тяги}} - F_{\text{сопр}} = 0 \Rightarrow F_{\text{тяги}} = F_{\text{сопр}}$ . т.к.  $F_{\text{сопр}} \sim V$ , то введём коэффициент пропорциональности  $k$ .

$\Rightarrow F_{\text{тяги}} = k \cdot V$ , т.к. в конце разгона  $V = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ,

а  $F_{\text{тяги}} = F_k = 600 \text{ Н}$ , то  $\boxed{k = \frac{F_k}{V} = \frac{600 \text{ Н}}{25 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 24 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}}$

2) Ускорение в начале есть касательная к графику функции  $V(t)$  в точке, где  $V = V_0 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  и  $t = 0 \text{ с}$ , а ускорение есть  $\tan \alpha$ , где  $\alpha$  - угол наклона касательной к оси  $Ot$ .



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

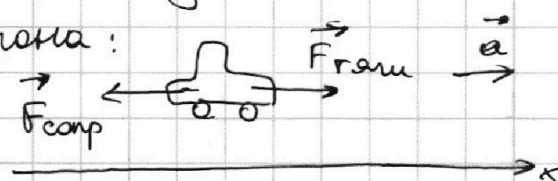
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Из графика:  $\tan \alpha = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{25-10}{30} = \frac{15}{30} = \frac{1}{2} = 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$   
↑  
наклоно

$\Rightarrow a_0 = 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$  - ускорение в начале разгона

По II 3-му Ньютона для тела массой  $m$  в начале

разгона:


$$\vec{F}_{\text{тяги}} + \vec{F}_{\text{сопр}} = m\vec{a}$$
$$F_{\text{тяги}} - F_{\text{сопр}} = ma$$
$$F_{\text{тяги}} - k \cdot v = ma$$

В начале разгона:

$ma = a_0 = 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ ;  $v = v_0 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  и  $F_{\text{тяги}} = F_0$

$\Rightarrow F_0 - k v_0 = m a_0 \Rightarrow F_0 = k v_0 + m a_0 \Rightarrow$

$\Rightarrow F_0 = 24 \cdot 10 + 1500 \cdot 0,5 = 240 + 750 = 990 \text{ Н}$

$P_0 = F_0 \cdot v_0 = 990 \cdot 10 = 9900 \text{ Вт}$   $\cos(\vec{F}_{\text{тяги}}; \vec{v}) = 1$

Ответ: 1)  $a_0 = 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ ; 2)  $F_0 = 990 \text{ Н}$ ; 3)  $P_0 = 9900 \text{ Вт}$



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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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



Задача №2)

$(V, T_0)$

$$P_{\text{атм}} = 10^5 \text{ Па}$$

$$T = 373 \text{ К}$$

$$V_{\text{жид}} = \frac{V}{4}$$

$$\Delta V = k p W$$

Заметим, что в начале  $\frac{V}{2} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}}$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{V}{4} \Rightarrow V_{\text{CO}_2} = \frac{V}{2} - \frac{V}{4} = \frac{V}{4} \quad (V_{\text{He}} = \frac{V}{2})$$

Ур-е сост. идеальной газа в начале:

$$(1) p_{\text{CO}_2} \cdot V_{\text{CO}_2} = \nu_{\text{CO}_2} \cdot R \cdot T_0 \Rightarrow p_{\text{CO}_2} V_{\text{CO}_2}$$

$$(2) p_{\text{He}} \cdot V_{\text{He}} = \nu_{\text{He}} \cdot R \cdot T_0$$

$$\Rightarrow \frac{p_{\text{He}} V_{\text{He}}}{p_{\text{CO}_2} V_{\text{CO}_2}} = \frac{\nu_{\text{He}} R T_0}{\nu_{\text{CO}_2} R T_0} \Rightarrow \frac{\frac{V}{2}}{\frac{V}{4}} = \frac{\nu_{\text{He}}}{\nu_{\text{CO}_2}} \Rightarrow$$

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

Ур-е сост. идеальной газа в конце:

$$\text{Для He: } p_{\text{He}}^* V_{\text{He}}^* = \nu_{\text{He}} \cdot R \cdot T = \frac{P_{\text{атм}}}{2} \cdot \frac{V}{2}$$

из ур-я (1)

$$\text{Для CO}_2: p_{\text{CO}_2}^* V_{\text{CO}_2}^* = (\nu_{\text{CO}_2} - \Delta \nu) R T = \frac{P_{\text{атм}}}{2} \cdot \frac{V}{4} - \Delta \nu R T$$

из ур-я (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!

Поскольку система теплоизолирована:

$$\Delta U_{He} = -\Delta U_{CO_2}$$

↑ изменение внутренней энергии гелия
↑ изменение внутренней энергии диоксида углерода

$$\frac{3}{2} \nu_{He} R (T - T_0) = -\frac{5}{2} \Delta \nu (T) \cdot R = -3R (\nu_{CO_2} + \Delta \nu) \cdot T - \nu_{CO_2} T_0$$

$$\Rightarrow \frac{3}{2} \nu_{He} R (T - T_0) = -3R (\nu_{CO_2} (T - T_0) + \Delta \nu T)$$

$$\nu_{He}^* = \frac{V}{5} \Rightarrow \nu_{He}^* + \nu_{H_2O} + \nu_{CO_2}^* = V \Rightarrow (\nu_{H_2O} = \frac{V}{4})$$

$$\Rightarrow \boxed{\nu_{CO_2}^* = V - \frac{V}{4} - \frac{V}{5} = \frac{3V}{4} - \frac{V}{5} = \frac{15V - 4V}{20} = \frac{11V}{20}}$$

$p_{CO_2}^* = p_{He}^*$  - усл. равновесие поршня.

$$\Rightarrow \frac{p_{He}^* \nu_{He}^*}{p_{CO_2}^* \nu_{CO_2}^*} = \frac{\frac{p_{atm}}{2} \cdot \frac{V}{2}}{\frac{p_{atm}}{2} \cdot \frac{V}{4} - \Delta \nu R T}$$

$$\frac{\frac{V}{5}}{\frac{11V}{20}} = \frac{\frac{p_{atm} \cdot V}{4}}{\frac{p_{atm} \cdot V}{8} - \Delta \nu R T}$$

$$\frac{4}{11} \left( \frac{p_{atm} \cdot V}{8} - \Delta \nu R T \right) = \frac{p_{atm} \cdot V}{4}$$

$$\Delta \nu R T = \left( \frac{11 p_{atm} V}{16} - \frac{p_{atm} \cdot V}{8} \right) = -\frac{9 p_{atm}}{16} V$$

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!

$$\Rightarrow U_2 = \frac{q_1 + q_2}{\epsilon_0 S} \cdot 2d - U_1 = \frac{q_1 + q_2}{\epsilon_0 S} \cdot 2d + \frac{q_1}{\epsilon_0 S} \cdot d$$

$$\Rightarrow U_2 = \frac{2q_1 + 2q_2 + q_1}{\epsilon_0 S} \cdot d \Rightarrow U_2 \cdot \frac{\epsilon_0 S}{d} = 3q_1 + 2q_2$$

$$U_2 \cdot \frac{\epsilon_0 S}{d} - 3 \cdot \left(-\frac{\epsilon_0 S}{d}\right) \cdot U_1 = 2q_2 \Rightarrow q_2 = \frac{\epsilon_0 S}{2d} (U_2 + 3U_1) > 0$$

наше предположение оказалось верным.

$$q_3 = -(q_1 + q_2) = -\left(-\frac{\epsilon_0 S}{d} U_1 + \frac{\epsilon_0 S}{2d} \cdot 3U_1 + \frac{\epsilon_0 S}{2d} U_2\right) =$$

$$= -\frac{\epsilon_0 S}{2d} (U_1 + U_2) < 0 \text{ наше предположение оказалось}$$

верным.

$$\Rightarrow E_{\Sigma 1-2} = -\frac{q_1}{\epsilon_0 S} = +\frac{\epsilon_0 S}{d \cdot \epsilon_0 S} \cdot U_1 = +\frac{U_1}{d} = \frac{U_1}{d} > 0$$

$$E_{\Sigma 2-3} = \frac{q_1 + q_2}{\epsilon_0 S} = \frac{-q_3}{\epsilon_0 S} = \frac{\epsilon_0 S (U_1 + U_2)}{2d \epsilon_0 S} = \frac{U_1 + U_2}{2d} > 0$$

направленности результирующего поля мы назвали  
верно.

$\Rightarrow$  1) ускорение в области 1-2:  $F_{\Sigma n 1-2} = ma$  - по

$$\text{II 3-му Ньютону} \Rightarrow E_{\Sigma 1-2} \cdot q = ma \Rightarrow a = \frac{E_{\Sigma 1-2} \cdot q}{m}$$

$$\Rightarrow \left( a = \frac{U_1 \cdot q}{d \cdot m} = \frac{Uq}{md} \right)$$

2) закон сохранения мех. эн-ии:  $A_{F_{\Sigma n}} = k_2 - k_1$   
для участка 1-2

$$\text{Г.к. } F_{\Sigma n 1-2} = \text{const} \text{ и } \vec{F}_{\Sigma n} \uparrow \downarrow \vec{v}, \text{ то } \underbrace{-E_{\Sigma 1-2} \cdot q \cdot d}_{F_{\Sigma n 1-2}} = k_2 - k_1$$



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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:



1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

$$-\frac{U_1}{d} \cdot q \cdot d = k_2 - k_1 \Rightarrow \boxed{k_1 - k_2 = \frac{U_1 q \cdot d}{d} = U_1 q}$$

3) закон изменения мех. эн-ии:  $A_{F_{\text{эл}}} = k_{\text{кон}} - k_{\text{нач}}$   
для участка 1-А

т.к.  $F_{\text{эл}} = \text{const}$  и  $\vec{F}_{\text{эл}} \uparrow \downarrow \vec{v}$ , то  $-F_{\text{эл}} \cdot \frac{d}{4} = k_{\text{кон}} - k_{\text{нач}}$

(работу  $F_{\text{эл}}$  сила от сетки 1 не совершает,  
т.к. там нет поля)  $\Rightarrow k_{\text{нач}} = \frac{mU_0^2}{2}$

$$\Rightarrow -E_{\Sigma 1-2} \cdot \frac{d \cdot q}{4} = \frac{mU_0^2}{2} - k_{\text{кон}} \Rightarrow k_{\text{кон}} = \frac{mU_0^2}{2} + \frac{U_1}{d} \cdot \frac{d \cdot q}{4}$$

$$\frac{mU^2}{2} = \frac{mU_0^2}{2} + \frac{U_1 q}{4} \Rightarrow U^2 = U_0^2 + \frac{2U_1 q}{4m} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow U_k^2 = U_0^2 + \frac{U_1 q}{2m} = U_0^2 + \frac{U_1 q}{2m}$$

$$\Rightarrow \boxed{U = \sqrt{U_0^2 + \frac{U_1 q}{2m}}}$$

Ответ: 1)  $a = \frac{U_1 q}{md}$ ; 2)  $k_1 - k_2 = U_1 q$ ; 3)

$$3) U = \sqrt{U_0^2 + \frac{U_1 q}{2m}}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

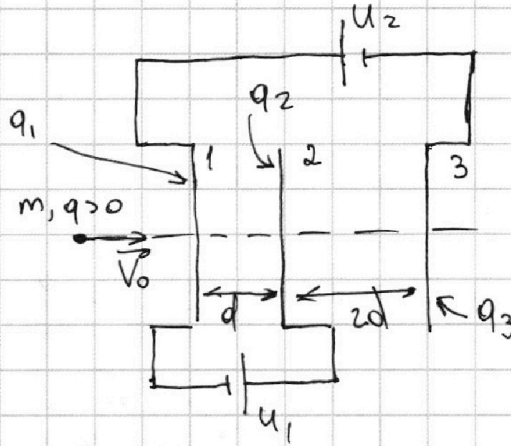
Задача №3) Рассмотрим установ. режим:

$U_1 = U$

$U_2 = 3U$

(d) (q) (m)

(V<sub>0</sub>)



Пусть  $q_1$  - заряд на первой сетке,  
 $q_2$  - заряд на 2,  
 $q_3$  - заряд на 3

Пусть  $S$  -  
- площадь пластины

Предположим, что  $q_1 > 0, q_2 > 0, q_3 < 0$ :

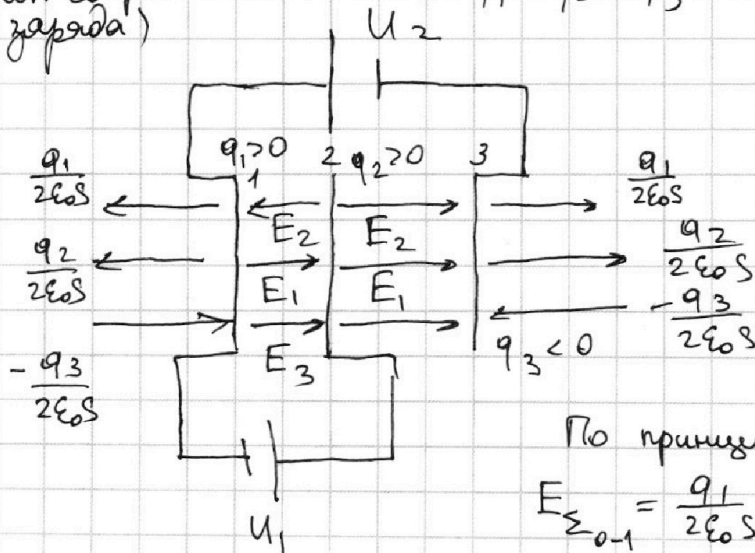
$$E_1 = \frac{|q_1|}{2\epsilon_0 S} = \frac{q_1}{2\epsilon_0 S}; \quad E_2 = \frac{|q_2|}{2\epsilon_0 S} = \frac{q_2}{2\epsilon_0 S}; \quad E_3 = \frac{|q_3|}{2\epsilon_0 S} = \frac{-q_3}{2\epsilon_0 S}$$

ЗСЗ:

(закон сохранения заряда)

$$0 = q_1 + q_2 + q_3 \rightarrow$$

$$q_1 + q_2 = -q_3$$



По принципу суперпозиции:

$$E_{\Sigma_{0-1}} = \frac{q_1}{2\epsilon_0 S} + \frac{q_2}{2\epsilon_0 S} - \frac{(-q_3)}{2\epsilon_0 S} = \frac{(q_1 + q_2) + q_3}{2\epsilon_0 S} = 0 - \text{поле слева от сетки 1}$$

слева от сетки 1.

$$E_{\Sigma_{1-2}} = E_2 - (E_1 + E_3) = \frac{q_2}{2\epsilon_0 S} - \frac{q_1}{2\epsilon_0 S} - \frac{(-q_3)}{2\epsilon_0 S} = \frac{q_2 - q_1 + q_3}{2\epsilon_0 S}$$

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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7



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



$$E_{\Sigma_{1-2}} = \frac{q_2 - q_1 - q_1 - q_2}{2\epsilon_0 S} = -\frac{q_1}{\epsilon_0 S} \quad \text{поле в области 1-2}$$

$$E_{\Sigma_{2-3}} = E_1 + E_2 + E_3 = \frac{q_1}{2\epsilon_0 S} + \frac{q_2}{2\epsilon_0 S} - \frac{q_3}{2\epsilon_0 S} = \frac{q_1 + q_2 - q_3}{2\epsilon_0 S}$$

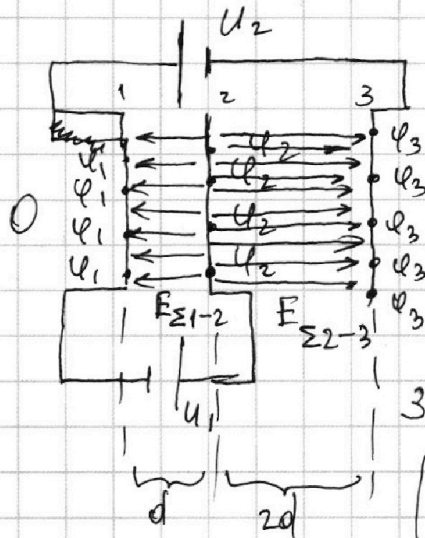
$$E_{\Sigma_{2-3}} = \frac{q_1 + q_2}{\epsilon_0 S} \quad \text{поле в области 2-3.}$$

$$E_{\Sigma_{3-}} = E_1 + E_2 - E_3 = \frac{q_1}{2\epsilon_0 S} + \frac{q_2}{2\epsilon_0 S} - \frac{(-q_3)}{2\epsilon_0 S} = \frac{q_1 + q_2 + q_3}{2\epsilon_0 S} = 0$$

- поле в области за 3-ей сеткой равно 0

Расставим потенциалы и результирующее поле.

исходя из нашего предположения



Пусть потенциал результирующего поля на пластине 3:  $\varphi_3$   
на сетке 2:  $\varphi_2$   
на сетке 1:  $\varphi_1$

Заметим, что  $\varphi_2 = U_1 + \varphi_1$

$$\varphi_1 = U_2 + \varphi_3 \Rightarrow \varphi_2 = U_1 + U_2 + \varphi_3$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \varphi_2 - \varphi_1 = E_{\Sigma_{1-2}} \cdot d \rightarrow U_1 + U_2 + \varphi_3 - U_2 - \varphi_3 = E_{\Sigma_{1-2}} \cdot d \\ \varphi_2 - \varphi_3 = E_{\Sigma_{2-3}} \cdot 2d \rightarrow U_1 + U_2 + \varphi_3 - \varphi_3 = E_{\Sigma_{2-3}} \cdot 2d \end{cases}$$

$$\begin{cases} U_1 = E_{\Sigma_{1-2}} \cdot d \\ U_1 + U_2 = E_{\Sigma_{2-3}} \cdot 2d \end{cases} \rightarrow \begin{cases} U_1 = -\frac{q_1}{\epsilon_0 S} \cdot d \\ U_1 + U_2 = \frac{q_1 + q_2}{\epsilon_0 S} \cdot 2d \end{cases}$$

$\Rightarrow q_1 = -\frac{\epsilon_0 S}{d} \cdot U_1 < 0 \Rightarrow$  наше предположение неверно, истинный заряд  $q_1 < 0$



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!

Заметим, что когда процесс установится, то катушка  $L$  станет проводом  $\Rightarrow I_L = 0$ , т.к. напряжения обнулятся на ветке с  $3R$  ( $U_L = 0$ ), весь ток пойдет только через катушку  $L$  и по 3-му Ома:

$$I_{\text{уст}} = \frac{E}{R}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{Продифференцируем (4)}: q_1 \cdot 3R + 3L(0 - I_{01}) &= \\ = L \cdot (I_{\text{уст}} - 0) &\Rightarrow q_1 \cdot 3R + 3L \cdot 0 - 3L \cdot \frac{4}{19} \frac{E}{R} = \\ = L \cdot \frac{E}{R} &\Rightarrow \boxed{q_1 = L \cdot \frac{4}{19} \frac{E}{R^2} + L \cdot \frac{E}{3R^2} = \frac{31LE}{57R^2}} \end{aligned}$$

Ответ: 1)  $I_{01} = \frac{4}{19} \frac{E}{R}$ ; 2)  $\frac{dI}{dt} = \frac{12E}{19L}$

3)  $q_1 = \frac{31LE}{57R^2}$



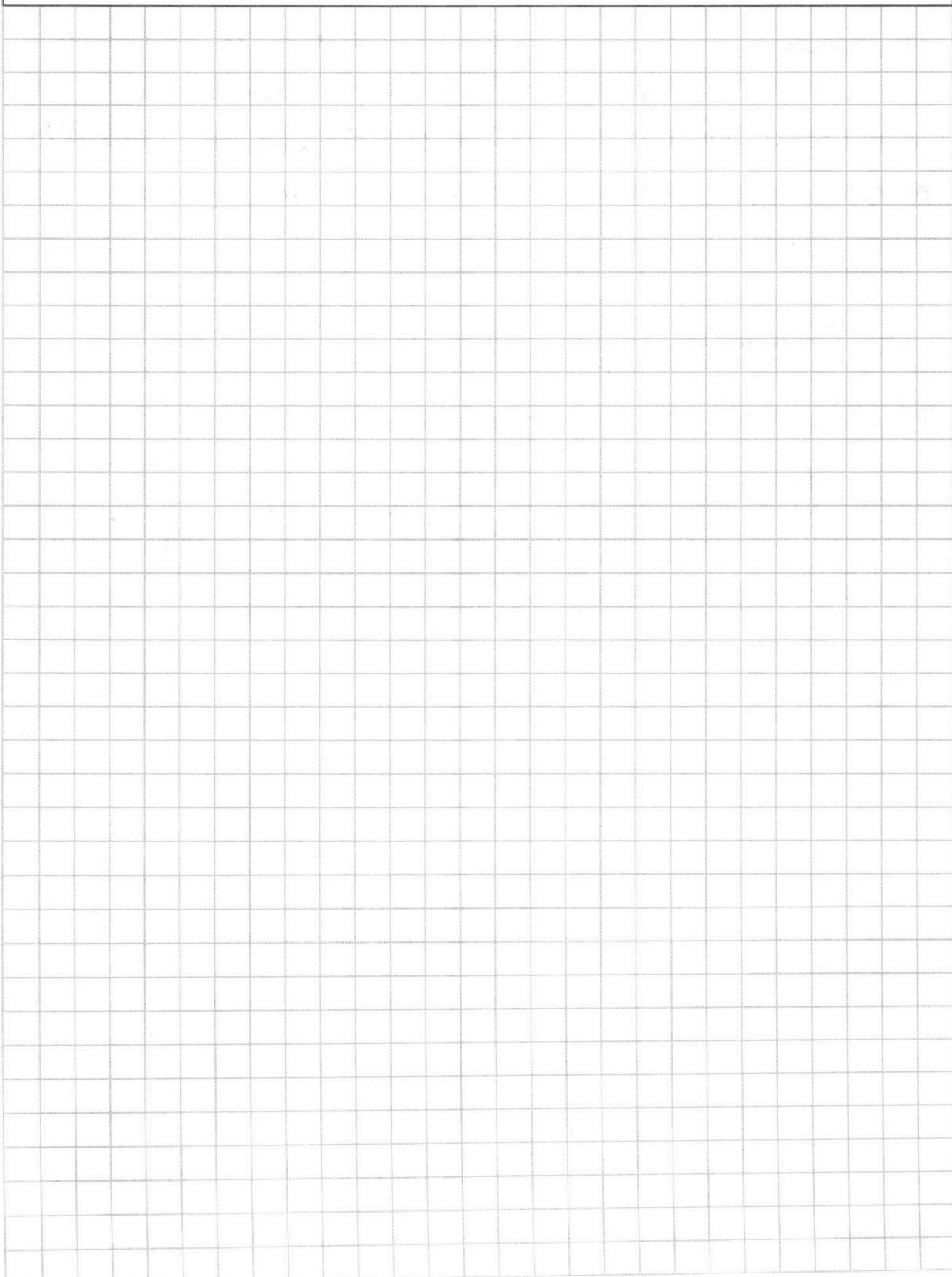
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

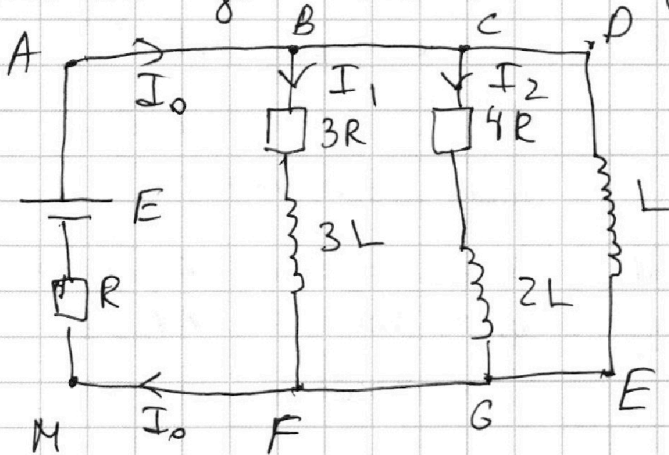
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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!

Сразу после замыкания ключа ток в ветвях не поменяется, т.к. на катушках резко ом не может измениться (ток через ветку DE равен 0)



Второе правило Кирхгофа для контура ADEM по часовой обход:

$$E = I_0 \cdot R + U_L$$

$$U_L = E - I_0 \cdot R = E - \frac{7ER}{19R}$$

$$= \frac{12}{19} E \Rightarrow L \cdot \frac{dI}{dt} = \frac{12}{19} E \Rightarrow \boxed{\frac{dI}{dt} = \frac{12E}{19L}}$$

Рассмотрим контур ABFM и ADEM  
Эле произвольная момента:

II правило Кирхгофа обход по часовой:

$$I_1 \cdot 3R + 3L \cdot \frac{dI_1}{dt} + I_0 \cdot R = E \quad (ABFM)$$

$$I_0 \cdot R + L \cdot \frac{dI}{dt} = E \quad (ADEM)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} dq_1 \cdot 3R + 3L \cdot dI_1 + dq_0 \cdot R = E \cdot dt \\ dq_0 \cdot R + L dI = E dt \end{cases}$$

$$\Rightarrow dq_1 \cdot 3R + 3L dI_1 - L dI = 0$$

$$\Rightarrow dq_1 \cdot 3R + 3L \cdot dI_1 = L dI \quad (4) \quad dI - \text{изменение тока на катушке } L$$

$dq_1$  - прошедший заряд через резистор  $3R$

$dI_1$  - изменение тока через резистор  $3R$



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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

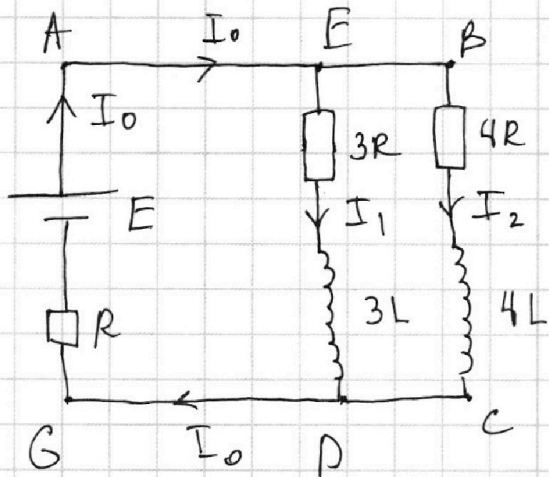
МФТИ

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



Задача №4) Рассмотрим уст. режим до замыкания ключа.

Пусть ток через источник и резистор  $R$   $I_0$ , ток через резистор  $3R$   $I_1$ , ток через  $4R$   $I_2$ .



Режим установившийся,  
токи постоянные.

Второе правило Кирхгофа  
для контура ABCG  
по часовой стрелке:

$$E = I_0 R + I_2 \cdot 4R$$

для контура AEDG  
по часовой стрелке:

$$E = I_1 \cdot 3R + I_0 R$$

Первое правило Кирхгофа

для узла E:

$$I_0 = I_1 + I_2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} E = I_0 R + I_2 \cdot 4R & (1) \\ E = I_1 \cdot 3R + I_0 R & (2) \\ I_0 = I_1 + I_2 & (3) \end{cases} \Rightarrow$$

вычитаем (3) (2) - (1):

$$3I_1 - 4I_2 = 0$$

$$I_2 = \frac{3}{4} I_1$$

$$\Rightarrow I_0 = I_1 + I_2 = \frac{7}{4} I_1$$

$$\Rightarrow \frac{E}{R} = I_0 + 3I_1 = \frac{7}{4} I_1 + 3I_1 = \frac{19}{4} I_1 \rightarrow I_1 = \frac{4}{19} \frac{E}{R}$$

$$I_2 = \frac{3}{19} \frac{E}{R}; I_0 = \frac{7}{4} \cdot \frac{4}{19} \frac{E}{R} = \frac{7}{19} \frac{E}{R}$$

$$I_1 = I_{10} = \frac{4}{19} \frac{E}{R}$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

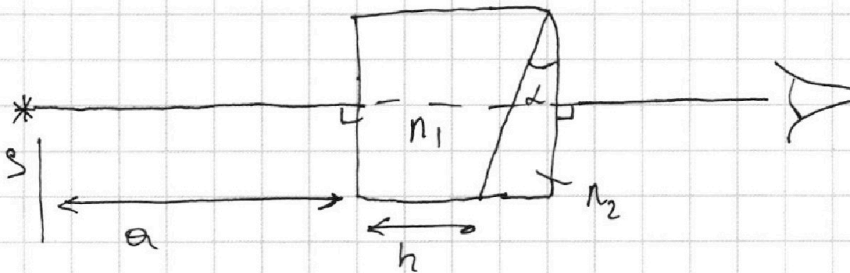
1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

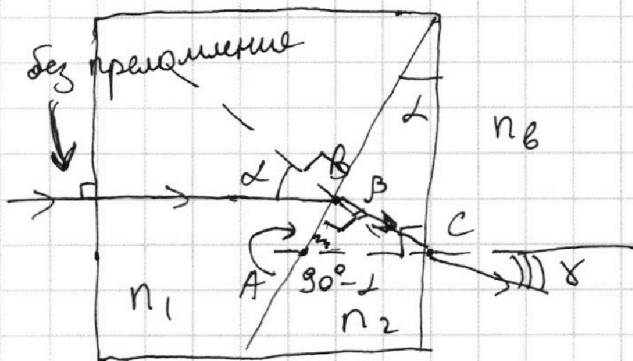
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



Задача №5)



Рассмотрим ход луча идущий перпендикулярно  
левой грани системы:



Рассмотрим  $\triangle ABC$ :

сумма углов  $= 180^\circ$

$\beta$  - угол преломления  
на границе  $n_1 - n_2$

$\gamma$  - угол преломления  
на границе  $n_2 - n_{\text{возд}}$ .

$\theta$  - угол падения на  
границе  $n_2 - n_{\text{возд}}$

$$(\beta + 90^\circ) + (90^\circ - \alpha) + \theta = 180^\circ$$

$$\boxed{\theta = \alpha - \beta}$$

Закон преломления на границе  $n_1 - n_2$  и

$$n_2 - n_{\text{возд}}: n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta$$

$$n_2 \sin \theta = n_{\text{в}} \cdot \sin \gamma.$$

П.к. углы малые, то  $\sin x \approx x$ :  $n_1 \cdot \alpha = n_2 \cdot \beta$

$$n_2 \cdot \theta = n_{\text{в}} \cdot \gamma$$

$$n_2 (\alpha - \beta) = n_{\text{в}} \gamma \Rightarrow n_2 \cdot \alpha - n_2 \beta = n_{\text{в}} \cdot \gamma$$

$$n_2 \alpha - n_1 \alpha = n_{\text{в}} \cdot \gamma$$

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!

$$\gamma = \frac{(n_2 - n_1) \cdot \alpha}{n_0} = \frac{0,7 \cdot 0,1}{1} = 0,07 \text{ рад.}$$



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

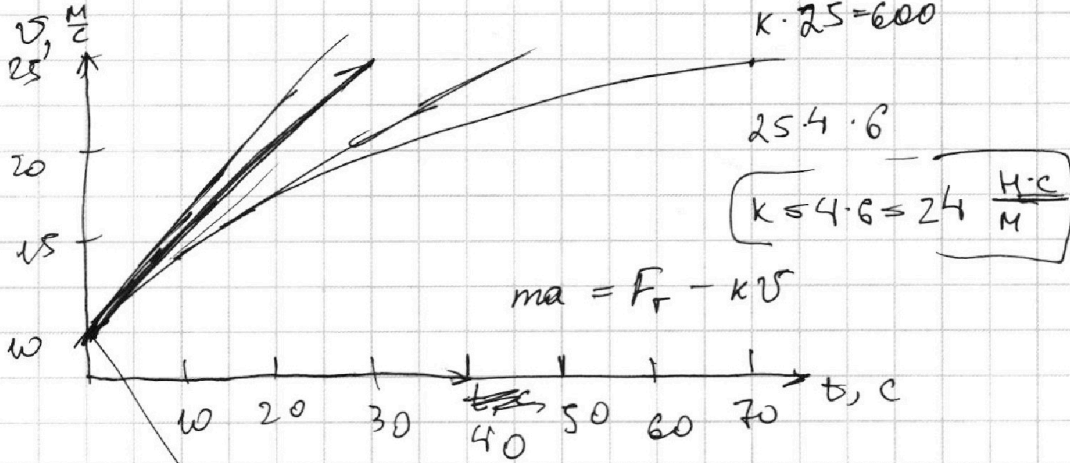
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

**МФТИ**

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

1) в конце пути  $\frac{\Delta v}{\Delta t} = 0 \Rightarrow a = 0 \Rightarrow k v = 600$



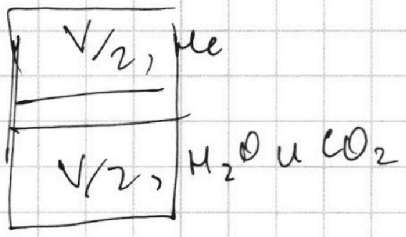
$ma = F_r - kv$

$P_0 = F_0 \cdot v$

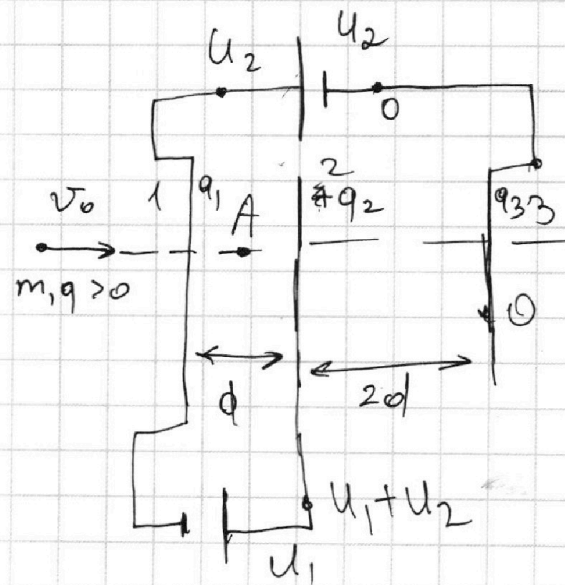
$q_0 = \frac{25 - 15}{30} = \frac{10}{30} = \frac{1}{3} \frac{M}{c^2}$

$F_0 = ma_0 + kv_0 = 1500 \cdot \frac{1}{2} + 24 \cdot 10 = 750 + 240 = 990 \text{ N}$

2)



$3) P_0 = 990 \cdot 10 = 9900 \text{ Вт}$



Предположим, что  $q_1 > 0$ ,  $q_2 > 0$ ,  $q_3 < 0$   
 $3C3 = q_1 + q_2 + q_3 = 0$

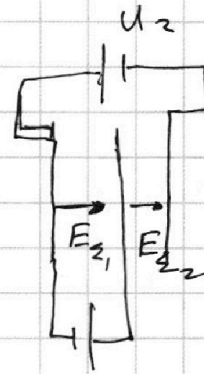
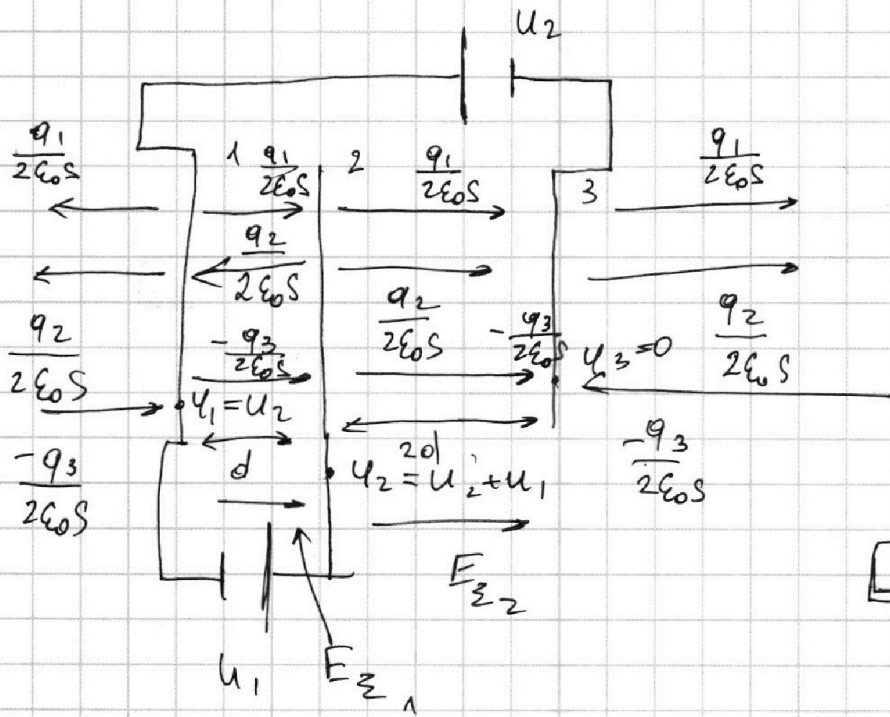
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



$$\frac{q_1}{2\epsilon_0 S} + \frac{(-q_3)}{2\epsilon_0 S} - \frac{q_2}{2\epsilon_0 S} = E_{z1}$$

$$\frac{q_1 + q_1 + q_2 - q_2}{2\epsilon_0 S} = \frac{q_1}{\epsilon_0 S} > 0 \quad \text{в сторону } \frac{q_1}{2\epsilon_0 S}$$

$$E_{z2} = \frac{q_1}{2\epsilon_0 S} + \frac{q_2}{2\epsilon_0 S} - \frac{q_3}{2\epsilon_0 S} = \frac{2(q_1 + q_2)}{2\epsilon_0 S} = \frac{q_1 + q_2}{\epsilon_0 S} > 0$$

$$q_1 = \frac{\epsilon_0 S}{d} \cdot (-U_1) < 0$$

$$U_1 - U_2 = E_{z1} \cdot d$$

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

$$U_2 - U_3 = E_{z2} \cdot d \cdot 2 \Rightarrow U_2 + U_1 = \frac{q_1 + q_2}{\epsilon_0 S} \cdot 2d$$

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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7



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



$$U_2 + U_1 = \frac{q_1 + q_2}{\epsilon_0 S} \cdot 2d$$

$$-U_1 = -\frac{q_1}{\epsilon_0 S} \cdot d$$

$$U_2 = \frac{q_1 + q_2}{\epsilon_0 S} \cdot 2d + \frac{q_1}{\epsilon_0 S} \cdot d$$

$$\frac{2q_1 + 2q_2 + q_1}{\epsilon_0 S} \cdot d = U_2$$

$$3q_1 + 2q_2 = \frac{U_2 \cdot \epsilon_0 S}{d}$$

$$3 \cdot \frac{\epsilon_0 S}{d} (-U_1) + 2q_2 = \frac{U_2 \cdot \epsilon_0 S}{d}$$

$$2q_2 = \frac{\epsilon_0 S}{d} (U_2 + 3U_1)$$

$$q_2 = \frac{\epsilon_0 S}{2d} (U_2 + 3U_1) > 0$$

$$U_1 - U_3 = E_{z1} d + E_{z2} d \cdot 2$$

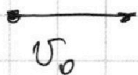
$$U_2 = \frac{q_1}{\epsilon_0 S} \cdot d + \frac{2(q_1 + q_2)}{\epsilon_0 S} \cdot d =$$

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

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

$\Delta V = k \rho_{\text{газа}}$

$$\left. \begin{aligned} q_3 &= -(q_1 + q_2) = \\ &= - \left( -U_1 \cdot \frac{\epsilon_0 S}{d} + \frac{\epsilon_0 S}{2d} \cdot (U_2 + 3U_1) \right) \end{aligned} \right\}$$



$$q_1 + q_2 \rightarrow -\frac{q_1 \epsilon_0 S}{d} + \frac{\epsilon_0 S}{2d} (U_2 + 3U_1)$$



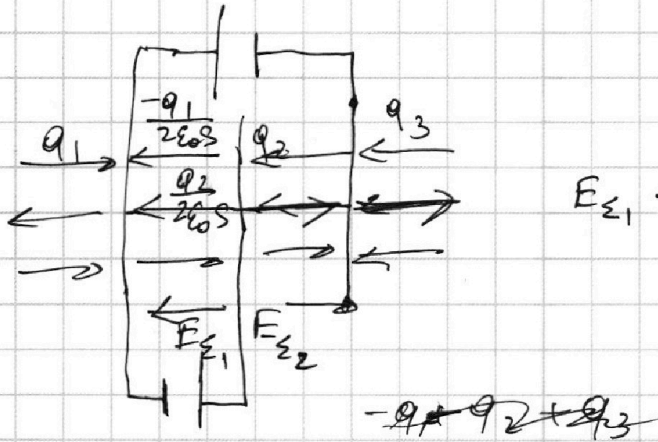
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 1  2  3  4  5  6  7

**МФТИ**

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



$$\frac{-q_1 + q_2 + q_3}{2\epsilon_0 S} = \frac{-q_1 + q_2 + q_1 - q_2}{2\epsilon_0 S} = \frac{-q_1 + q_1}{2\epsilon_0 S} = 0$$

$$\frac{q_1}{2\epsilon_0 S} + \frac{q_2}{2\epsilon_0 S} = \frac{(-q_3)}{2\epsilon_0 S} = \frac{+q_1 + q_2 + q_3}{2\epsilon_0 S}$$

$$\frac{-q_1 - q_2 + q_1 - q_2}{2\epsilon_0 S} = 0$$

$$F_{z1} \cdot q = ma \rightarrow a = \frac{q}{m} \cdot E_{z1}$$

$$-F_{\text{ан}} \cdot d = F_{k2} - k_1$$

$$F_{\text{ан}} \cdot d = k_1 - k_2 \Rightarrow E_{z1} \cdot q \cdot d =$$

$$u_1 \cdot q = k_1 - k_2$$

$$v = \sqrt{v_0^2 - \frac{u_1 \cdot q}{2m}}$$

$$v^2 = v_0^2 - \frac{u_1 \cdot q}{2m}$$

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2} - \frac{u_1 \cdot q}{2}$$

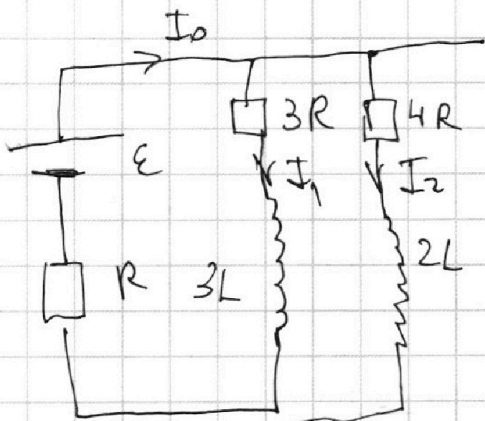
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$\begin{cases} E = I_1 \cdot 3R + I_0 \cdot R \\ E = I_2 \cdot 4R + I_0 \cdot R \\ I_2 + I_1 = I_0 \end{cases}$$

$$\frac{E}{R} = I_1 \cdot 3 + I_0 \quad \begin{matrix} 2 \\ 18 \\ 3 \\ \hline 57 \end{matrix}$$

$$U_L = E - I_0 R =$$

$$= E - \frac{7}{18} \cdot \frac{E}{R} R =$$

$$= \frac{12}{18} E = L \cdot \dot{I} \Rightarrow \left( \frac{12}{18} \frac{E}{L} \leq \dot{I} \right) \quad \begin{matrix} 3I_1 - 4I_2 = 0 \Rightarrow 3I_2 = 4I_1 \\ I_0 = \frac{3}{4} I_1 + I_1 = \frac{7}{4} I_1 \end{matrix}$$

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

$$\Rightarrow \frac{E}{R} = 3I_1 + \frac{7}{4} I_1 = \frac{19}{4} I_1$$

$$I_1 = \frac{4}{19} \cdot \frac{E}{R}$$

$$I_2 = \frac{3}{19} \cdot \frac{E}{R}$$

$$I_0 = \frac{7}{19} \cdot \frac{E}{R}$$

$$3L \cdot \dot{I}_1 + I_1 \cdot 3R + I_0 \cdot R = E$$

$$E = I_0 \cdot R + L \cdot \dot{I}$$

$$E \cdot dt = dq_0 R + L dI$$

$$E dt = 3L dI_1 + dq_1 3R + dq_0 R =$$

$$dq_1 \cdot 3R = 3L I_1 + L \cdot \frac{E}{R}$$

$$dq_1 = \frac{L}{R} I_1 + L \cdot \frac{E}{3R^2}$$

$$3L dI_1 + dq_1 3R = L dI$$

$$3L(0 - I_1) + dq_1 \cdot 3R = L \left( \frac{E}{R} \right)$$



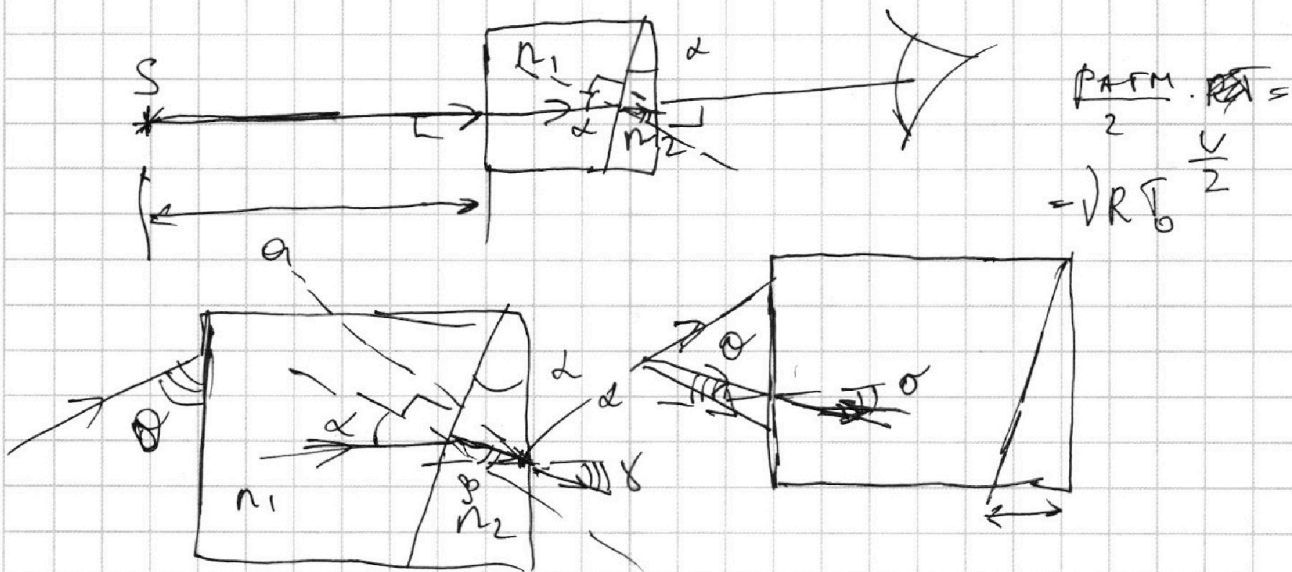
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

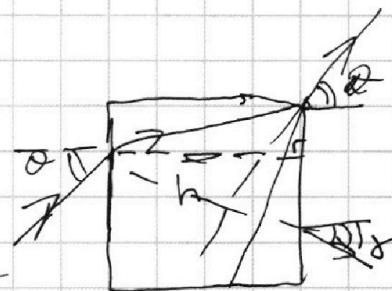


$$\frac{R_{\text{отн}}}{2} \cdot \frac{R_{\text{отн}}}{2} = \sqrt{R_{\text{отн}}^2} \cdot \frac{1}{2}$$

$$n_2 \cdot \sin \alpha \quad n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta \rightarrow \beta \cdot n_2 = \alpha \cdot n_1$$

$$n_2 \sin \alpha = 1 \cdot \sin \gamma$$

$$180^\circ - (\beta + 90^\circ + 90^\circ - \alpha) = \alpha - \beta$$



$$\frac{3V}{4} \frac{R_{\text{отн}}}{2} = \sqrt{R_{\text{отн}}^2} \cdot n_2 \sin(\alpha - \beta) = 1 \cdot \sin \gamma$$

$$V \cdot \frac{R_{\text{отн}}}{2} = \sqrt{R_{\text{отн}}^2} \quad n_2 (\alpha - \beta) = \sin \gamma = \gamma$$

$$n_2 \alpha - n_2 \beta = \gamma$$

$$n_2 \alpha - n_1 \alpha = \gamma$$

$$\gamma = (n_2 - n_1) \cdot \alpha \quad \text{— ответ на первую}$$