

# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

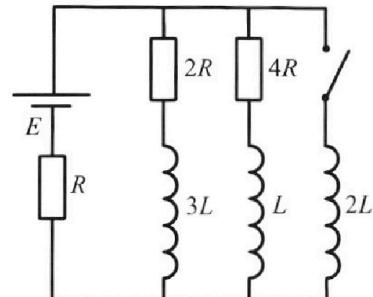
## Вариант 11-04

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

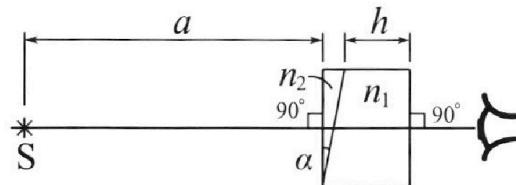
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установленся. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток  $I_{20}$  через резистор с сопротивлением  $4R$  при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью  $2L$  сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением  $4R$  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  $n_b = 1,0$ . Точечный источник света  $S$  расположен на расстоянии  $a = 100$  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.



- 1) Считая  $n_1 = n_b = 1,0$ ,  $n_2 = 1,7$ , найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая  $n_1 = n_b = 1,0$ ,  $n_2 = 1,7$ , 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.

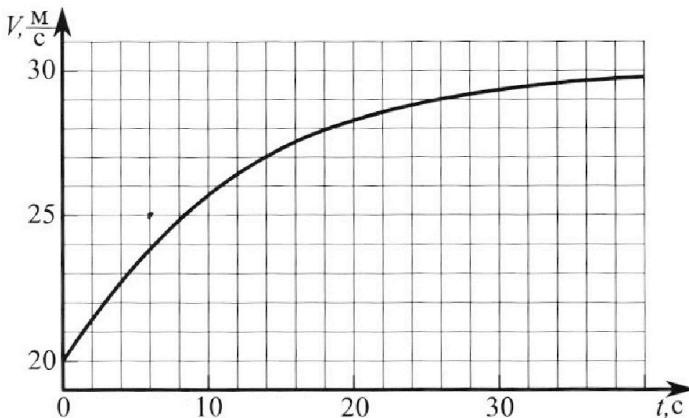
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 11-04



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

1. Мотоциклист массой (вместе с мотоциклом)  $m = 240$  кг движется с постоянной скоростью и затем разгоняется на прямолинейном горизонтальном участке дороги так, что мощность, передаваемая от двигателя на ведущее колесо, остается постоянной. График зависимости скорости от времени при разгоне показан на рисунке. В конце разгона сила сопротивления движению равна  $F_k = 200$  Н.



- 1) Используя график, найти ускорение мотоцикла в начале разгона.
- 2) Найти силу сопротивления движению  $F_0$  в начале разгона.
- 3) Какая часть мощности, передаваемой на ведущее колесо, идет на преодоление силы сопротивления движению в начале разгона?

Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

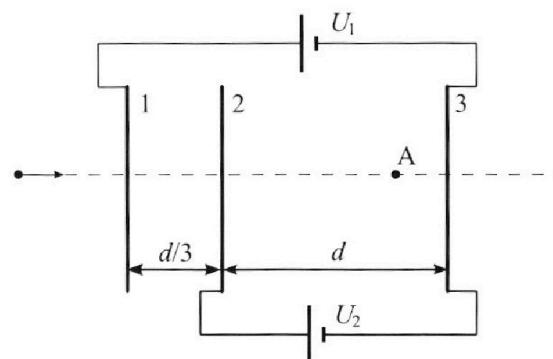
2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объёмом  $V$  разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится углекислый газ, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при комнатной температуре  $T_0$ . При этом жидкость занимала объём  $3V/8$ . Затем цилиндр медленно нагревали до  $T = 4T_0/3 = 373$  К. Установившийся объём его верхней части стал равен  $V/8$ .

По закону Генри, при заданной температуре количество  $\Delta v$  растворённого газа в объёме жидкости  $w$  пропорционально парциальному давлению  $p$  газа:  $\Delta v = kp w$ . Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры  $k \approx 0,6 \cdot 10^{-3}$  моль/(м<sup>3</sup>·Па). При конечной температуре  $T$  углекислый газ в воде практически не растворяется. Можно принять, что  $RT \approx 3 \cdot 10^3$  Дж/моль, где  $R$  - универсальная газовая постоянная. Давлением водяных паров при комнатной температуре и изменением объёма жидкости в процессе нагревания пренебречь. Все газы считать идеальными.

- 1) Найти отношение количеств вещества в газообразном состоянии в верхней и нижней частях до нагревания.
- 2) Определите 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  $d/3$  (см. рис.). Размеры сеток значительно больше  $d$ . Изначально сетки не заряжены. К сеткам подсоединили источники с напряжением  $U_1 = 5U$  и  $U_2 = U$ . Частица массой  $m$  и зарядом  $q > 0$  движется по направлению к сеткам и перпендикулярно сеткам, имея скорость  $V_0$  на расстоянии от сеток, намного большем их размеров. Частица пролетает через сетки, не отклоняясь от прямолинейной траектории. Заряд  $q$  намного меньше модуля зарядов сеток.

- 1) Найти модуль ускорения частицы в области между сетками 2 и 3.
- 2) Найти разность  $K_3 - K_2$ , где  $K_2$  и  $K_3$  — кинетические энергии частицы при пролете сеток 2 и 3.
- 3) Найти скорость частицы в точке А на расстоянии  $3d/4$  от сетки 2.





- |                                     |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1                                   | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | 6                        | 7                        |
| <input checked="" 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 графика:

$$\text{ускорение } a = V'$$

$\Rightarrow$  на графике  $a = \text{tgc} \alpha \cdot \text{v}_0 \cdot t$  - угол наклона  
касательной к кривой скорости вида времени.

$$\Rightarrow a_{\parallel} \approx \frac{25 - 20}{\frac{3}{5} \cdot 10} = \frac{5}{6} \text{ м/с}$$

1) Ответ:  $\frac{5}{6} \text{ м/с}$

T\_k. ~~если~~ ускорение в конце разгона  $\approx 0 \Rightarrow F_k = F_{\text{внешнее}} =$

$$= 200 \text{ Н}$$

$$P_{\text{внешне}} = F_{\text{внешне}} \cdot v$$

II Закон Ньютона:

$$\sum F = m \cdot a = (F_{\text{внешне}} - F_{\text{сопр}}) = \frac{P}{V} - F_{\text{сопр}}$$

$$\Rightarrow T_k. a = 0 \Rightarrow \frac{P}{V} - F_{\text{сопр}} = 0$$

$$\Rightarrow P_{\text{мотора}} = F_k \cdot V_k = 200 \cdot 30 = 6000 \text{ Вт}$$

$v_k$  - скорость в конце разгона  $\approx 30 \text{ м/с}$

В начале разгона

$$m \cdot a_0 = \frac{P}{V_0} - F_{\text{сопр}}$$

$\approx 20 \text{ м/с}$

$m \cdot a_0 = \frac{P}{V_0} - F_{\text{сопр}} - r \cdot g \cdot V_0 \cdot \frac{\parallel}{\parallel} \text{ - сопротивление в нач. разгона}$

$$\frac{P}{V_0} - m \cdot a_0 = F_{\text{сопр}} \Rightarrow F_{\text{сопр}} = \frac{F_k \cdot V_k}{V_0} - m \cdot a_0 = 100 \text{ Н}$$

2) Ответ: 100 Н

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"/> |

МФТИ

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

$$P_{\text{суп}} = F_{\text{суп}} \cdot V \rightarrow \text{и.к. если } \cancel{\text{двигатель}} \text{ движется} \\ \text{с со скоростью } V, \text{ то} \\ P_{\text{мотор}} = F_{\text{двиг}} \cdot V \quad \text{в сис. отсчета машины} \\ \Rightarrow P_{\text{маш}} - P_{\text{суп}} = \frac{(-F_{\text{суп}} + F_{\text{двиг}}) \cdot V}{P_{\text{двиг}}} \text{ со скоростью } V.$$

$$= \frac{m_{\text{ин}}}{F_{\text{двиг}}} = \frac{m_{\text{ин}}}{P_{\text{двиг}}} = \frac{m_{\text{ак}} V_{\text{н}}}{P_{\text{двиг}}} = \frac{20 \cdot 240 \cdot \frac{5}{6} \text{ кН}}{6000 \text{ кВт}} =$$

$$= \frac{200 \cdot 20}{6000} = \cancel{\frac{2}{3}} - \text{нет на разгон}$$

$\Rightarrow$  на ~~на~~ приложение силы сопротивления  $\frac{1}{3}$

3) Ответ:  $\frac{1}{3}$ .



На одной странице можно оформлять **ТОЛЬКО ОДИНУ** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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

МФТИ

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

1) До кипения:

$$\text{J}_{\text{верх}} = \frac{\text{Praya} \cdot \frac{V}{2}}{RT_0} = \frac{\text{Praya} \cdot \frac{V}{2}}{RT \cdot \frac{3}{4}} \quad \text{т.е. } \text{Praya} = P_0$$

$$\text{J}_{\text{кип}} = \frac{\text{Praya} \cdot \frac{V}{8}}{RT_0} + \text{J}_{\text{расщепл.}} = \frac{\text{Praya} \cdot \frac{V}{8}}{RT \cdot \frac{3}{4}} + k \cdot \text{Praya} \cdot \frac{3}{8} V$$

$$\Rightarrow \frac{\text{J}_{\text{верх}}}{\text{J}_{\text{кип}}} = \frac{\text{Praya} V}{RT} \cdot \left( \frac{\frac{1}{2}}{\frac{3}{4}} \right) = \frac{\frac{2}{3RT}}{\left( \frac{1}{6RT} + \frac{3k}{8} \right)} = \frac{\frac{2}{3RT}}{\frac{4+9kRT}{24RT}} =$$

$$= \frac{2 \cdot 24RT}{3RT \cdot (4+9kRT)} = \frac{16}{4+9kRT} = \frac{16}{4+9 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3} = \\ = \frac{16}{4+16,2} = \frac{160}{40+162} = \frac{160}{202} = \frac{80}{101} \quad \text{Ответ: } \frac{80}{101}$$

2) После кипения. (рн.н где ведут при  $T = 373K = P_{\text{атм}}$ )

Равенство давлений:  $P_{\text{нр.н}} + P_{\text{CO}_2} = P_{\text{вн}}$

т.е.  $P_{\text{нр.н}} - \text{давление CO}_2 \text{ внутри} ; P_{\text{вн}} - \text{внешн}$

$$P_{\text{атм}} + \frac{\text{J}_{\text{кип}} RT}{\left( \frac{7V}{8} - \frac{3V}{8} \right)} = \frac{\text{J}_{\text{верх}} \cdot RT}{\frac{1}{8} V}$$

$$P_{\text{атм}} + \frac{\text{J}_{\text{кип}} RT \cdot 2}{V} = \frac{\text{J}_{\text{верх}} RT \cdot 8}{V}$$

$$P_{\text{атм}} + \left( \frac{P_0 \cdot \frac{X}{8}}{RT_0} + \frac{RK P_0 \cdot \frac{3}{8} X}{R} \right) \cdot \frac{RT \cdot 2}{V} = \left( \frac{P_0 \cdot \frac{X}{2} \cdot \frac{2}{4}}{RT \cdot 3} \right) \frac{RT \cdot 8}{X}$$

$$P_{\text{атм}} + P_0 \cdot \left( \frac{\frac{2T}{8T_0}}{8T_0} + \frac{RK \cdot 3 \cdot T \cdot 2}{8} \right) = P_0 \cdot \frac{16}{3}$$

$$P_{\text{атм}} = P_0 \left( \frac{16}{3} - \frac{1}{4} \cdot \frac{T}{T_0} - K \cdot RT \cdot \frac{3}{4} \right)$$

На одной странице можно оформлять **ТОЛЬКО ОДНУ** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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

$$P_0 = \frac{P_{\text{ATM}}}{\left(\frac{16}{3} - \frac{T}{T_0} \cdot \frac{1}{4} - KRT \cdot \frac{3}{4}\right)} = \frac{P_{\text{ATM}}}{\frac{16}{3} - \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{4} - 0,6 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot \frac{3}{4}} =$$

$$= \frac{P_{\text{ATM}}}{\frac{16}{3} - \frac{1}{3} - 1,8 \cdot \frac{3}{4}} = \frac{P_{\text{ATM}}}{5 - \frac{18 \cdot 3}{40}} = \frac{P_{\text{ATM}}}{\frac{73}{20}}$$
$$= \frac{20}{73} P_{\text{ATM}}$$

2) Ответ:  $\frac{20}{73} P_{\text{ATM}}$ .



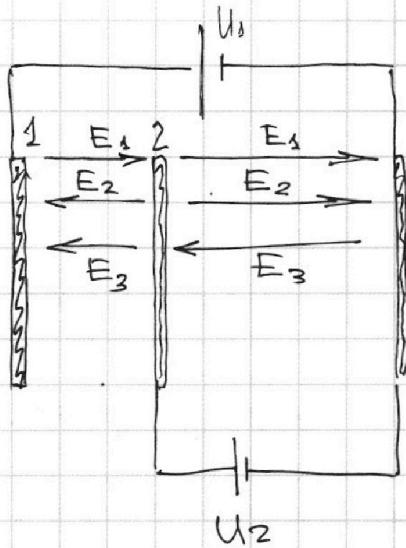
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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

**МФТИ.**

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



Пусть  $E_1$ - колеи первой  
частицы,  $E_2$ -второй  
частицы.  $E_3$ -третьей.  
т.к.  $S_{\text{секции}} \gg d$ , то

$$E = \frac{U}{d} \quad \text{где } q - \text{заряд} \text{ частицы.}$$

$$E_1 + E_2 - E_3 = \frac{U_2}{d} = \frac{U}{d}$$

тогда:

$$\text{II Закон Ньютона: } ma_r = (E_1 + E_2 - E_3) \cdot q \\ \text{для частицы:}$$

$$\Rightarrow a_r = \frac{U}{d} \cdot \frac{q}{m}$$

$$3) \text{ Сивен: } I a_r = \frac{U q}{dm}$$

Между ~~1 и 2~~ сечениями 1 и 2  $U_{12}$

Между 2 и 3:  $U_{23} = U_2 = U$

$\Rightarrow$

$$U_2 = U_{12} + U_{23} = U_{12} + U = 5U \\ \Rightarrow U_{12} = 4U$$

тогда заменим закон изменения энергии для частицы  
( $U = \frac{mv^2}{2} = k_2$ )

$$\left( -\frac{mv_0^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} \right) = U_{12} \cdot q = 4Uq$$

$$k_2 = 4Uq + \frac{mv_0^2}{2}$$



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 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!

Аналогично запишем для  $k_3$ :

$$k_3 - \frac{mV_0^2}{2} = q \cdot U_1 = q \cdot 5U$$

$$\Rightarrow k_3 = 5Uq + \frac{mV_0^2}{2} \Rightarrow k_3 - k_2 = Uq$$

2) Ответ:  $Uq = k_3 - k_2$

Запишем закон суммы энергии для частицы  $g_0 = A$ .

$$\frac{mV_A^2}{2} - \frac{mV_0^2}{2} = U_{12} \cdot q + (E_1 + E_2 - E_3) \cdot q \cdot \frac{3d}{4} = \\ = 4Uq + \frac{U}{d} \cdot q \cdot \frac{3d}{4} = 4Uq + \frac{3}{4}Uq = \frac{19}{4}Uq$$

$$\frac{mV_A^2}{2} = \frac{mV_0^2}{2} + \frac{19}{4}Uq$$

$$V_A^2 = V_0^2 + \frac{19}{2m}Uq$$

$$V_A = \sqrt{V_0^2 + 9,5 \frac{Uq}{m}}$$

3) Ответ:  $\sqrt{V_0^2 + 9,5 \frac{Uq}{m}} = V_A$

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

Отметьте крестиком номер задачи,

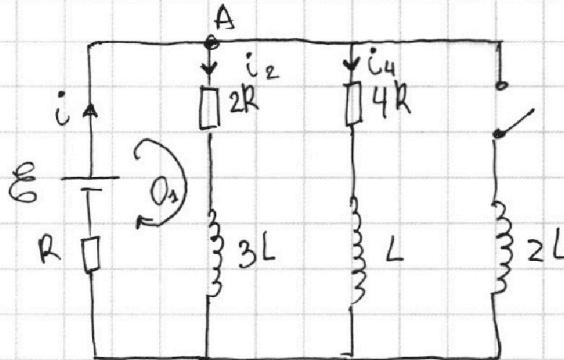
решение которой представлено на странице:

- |                          |                          |                          |                                     |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <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!



До замыкания ключа:

1. II правило Кирхгофа  
(обход O<sub>1</sub>):

$$E = iR + 2Ri_2 + U_L$$

и к.р. неизм.  $\rightarrow 0$   
установлено

2. ик напряжения  
на 2R и 4R равны, то:

$$2Ri_2 = 4Ri_4$$

$$\Rightarrow i_4 = \frac{i_2}{2}$$

$$\Rightarrow E = R(2i_2 + i_4) + 2R \cdot 2i_4$$

$$E = R \cdot 4i_4$$

$$i_4 = \frac{1}{7} \frac{E}{R}$$

3) Опред.:  $i_4 = \frac{1}{7} \frac{E}{R}$

Сразу после замыкания ключа:

~~i<sub>2L</sub>~~ = 0 - т.к. ток в катушке не меняется сразу  
~~i<sub>4L</sub>~~ = ~~i<sub>4L</sub>~~  $\left\{ \begin{array}{l} \text{токи не остаются как} \\ \text{до замыкания} \end{array} \right.$

$\Rightarrow$  токи в цепи не изменились и останутся  
на регуляторах  $\Rightarrow$  катушка не токи.

$$\Rightarrow U_{2L} = E - iR = E - \frac{3}{7} \frac{E}{R} \cdot R = \frac{4}{7} E$$

2) Опред.:  ~~$\frac{4}{7} E$~~

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

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:



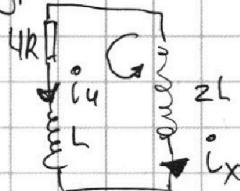
- |                          |                          |                          |                                     |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <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!

Задание II Правило Кирхгофа для контура  $2L \cup L$

$$4Ri_4 + L \frac{di_4}{dt} - 2L \frac{di_x}{dt} = 0$$

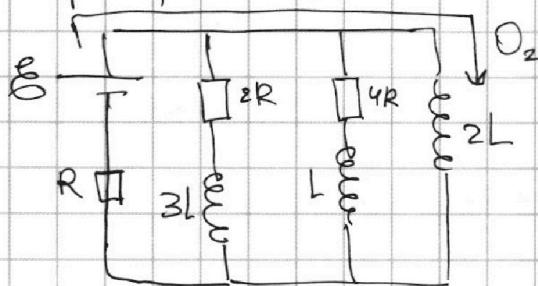


$$4Ri_4 + L \frac{di_4}{dt} = 2L \frac{di_x}{dt} \quad \checkmark \cdot dt$$

$$\underbrace{4Ri_4 dt}_{\text{dq}} + L di_4 = 2L \frac{di_x}{dt} \quad \checkmark \sum$$

$$\textcircled{*} \quad 4RQ_{\text{жонк}} + L \left( \frac{i_4^{\text{конк.}}}{R} - \frac{i_4^{\text{нек}}}{4R} \right) = 2L \left( i_x^{\text{конк.}} - i_x^{\text{нек}} \right)$$

Теперь рассмотрим токи в системе, когда установившись.



II Прав. Кирхгоф (II):

$$E = iR + 0$$

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

$$\Rightarrow i_{2R} \cdot 2R + 0 = i_{4R} \cdot 4R + 0 = 0$$

$\Rightarrow$  токи через резисторы

$$3L \cup L ; \quad 2R \text{ и } 4R = 0, \text{ а}$$

ток через катушку  $2L = i = \frac{E}{R}$

$$\Rightarrow \text{подставим в уравн.} \textcircled{*}: 4RQ_{\text{жонк}} = L \left( 2 \cdot \frac{E}{R} - 0 \right) - \left( 0 - \frac{1}{7} \frac{E}{R} \right)$$

$$4RQ_{\text{жонк}} = L \left( 2 \frac{E}{R} + \frac{1}{7} \frac{E}{R} \right) = L \cdot \frac{15}{7} \frac{E}{R}$$

$$Q_{\text{жонк}} = L \cdot \frac{15}{7} \frac{E}{R} \cdot \frac{1}{4R} = \frac{15}{28} \cdot \frac{LE}{R^2}$$

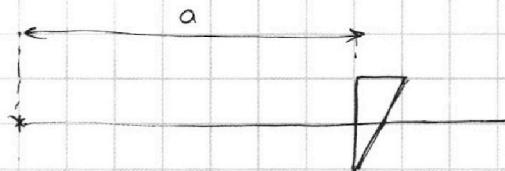
$$3) \text{ Ответ: } \frac{15}{28} \cdot \frac{LE}{R^2}$$



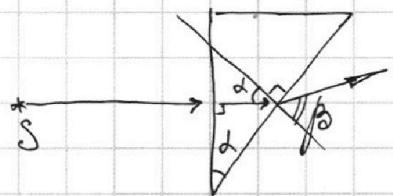
- |                          |                          |                          |                          |                                     |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|

Л МФТИ

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



3)  $n_1 = n_B \Rightarrow$  при построении хода лучей учитывается только  
призма с  $n_2$ .



Закон Снеллиуса:

$$\sin \alpha \cdot n_2 = \sin \beta \cdot n_B$$

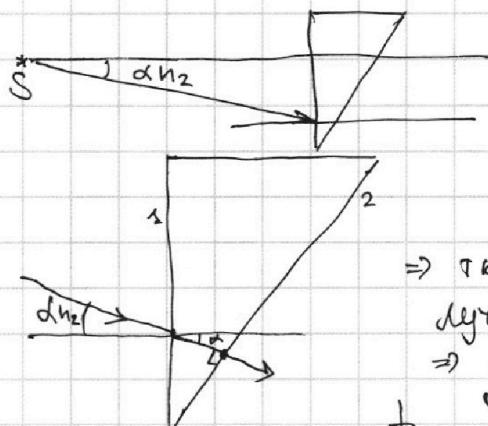
$$\tan \alpha \cdot n_2 = \tan \beta \cdot n_B$$

$$\Rightarrow \beta = \frac{\sin n_2}{n_B} = \frac{d \cdot 1.7}{d} = 1.7d = 0.17 \text{ радиан}$$

$$\Rightarrow \text{отклонение от начальной траектории луча} \\ f = \beta - d = \cancel{\frac{1.7}{d}} \left( \frac{n_2 - n_B}{n_B} \right) \cdot d = 0.7d = 0.07 \text{ радиан}$$

1) Ответ: 0,07 радиан.

2) Построим ход луча, который идет под углом  $d \cdot n_2$   
от оси (принадлежит изображению — S)



⇒ Закон Снеллиуса:

$$\sin(d n_2) \cdot n_B = n_2 \cdot \sin \delta$$

угол

$$\delta \cdot n_2 = d n_2 \cdot n_B$$

$$\delta = d$$

$$\Rightarrow \tan \delta = d$$

луч  $\perp$  второй грани приходит

⇒ не преломляется ⇒ отклон. луча  
от оси к левой поверхности =  $\delta$ .

При этом рассмотрим двух луча (затон и  
из n2)

x — рассеянные  
от призмы  
лучи горизонтали

⇒ на их пересечении изображение источника

$\Rightarrow \tan x + \tan x = d n_2$  ← расстояние между лучами когда

они выходят из грани 2 (правой). Расстоянием по горизонтали можно пренебречь.



- |                          |                          |                          |                          |                                     |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <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!

$$\Rightarrow x = \frac{adn_2}{d+f} = \frac{adn_2}{d+0,7d} = \frac{an_2}{1,7} = a \Rightarrow \text{расст. по горизонт.} = 0$$

$\hookrightarrow d+f$  - малое  $\Rightarrow \frac{f}{d} \ll 1$

$\Rightarrow f = l$  - расстояние от изобр. до источника по вертикаль.

$$a \cdot 0,7d = l \cdot 0,07l \approx 4 \text{ см}$$

$\Rightarrow$  расстояние между источником и изобр. по горизонт. = 0

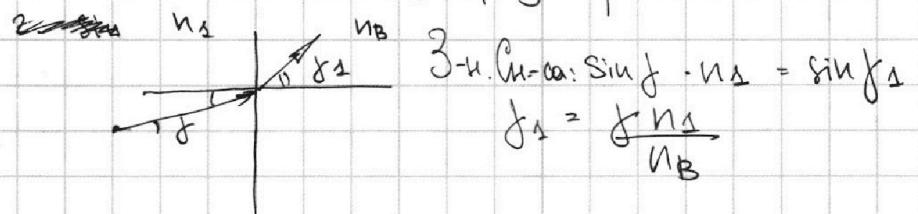
2) Ответ: 7 см.

3) Рассмотрим еще две путь, что в н. 1 и н. 2.

нр. 1.  $\sin \delta \cdot n_2 = \sin \beta \cdot n_1$  - норм же Закон Сн. как в нр.

$$\Rightarrow \beta = \frac{dn_2}{n_1} \Rightarrow \delta = \frac{d(n_2 - n_1)}{n_1}$$

$\Rightarrow$  Далее он еще раз преобразится ~~еще~~ между  $n_1$  и  $n_B$ .



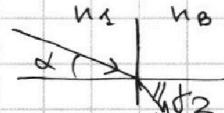
3-й Чен-са:  $\sin \delta \cdot n_2 = \sin \beta \cdot n_B$

$$\beta = \frac{\delta n_1}{n_B}$$

нр. 2.

$$\sin(\delta n_2) \cdot n_B = n_2 \sin \delta$$

$\delta = d \Rightarrow$  не преобразится



3-й Чен-са:  $\sin \beta \cdot n_B = \sin \delta \cdot n_1 \Rightarrow \delta = \frac{n_1 d}{n_B}$

Аналогично:  $x$  - расстояние до изобр. от правой грани  $a \cdot \frac{tg(\delta n_2)}{n_B} + \frac{d}{n_B} \cdot h + \frac{tg \delta \cdot h}{n_1} = \frac{tg \delta_1 \cdot x}{n_1} + \frac{tg \delta_2 \cdot x}{n_B}$  приведено:

$$\Rightarrow adn_2 + dh + fh = \delta_1 x + \delta_2 x$$

$$x = \frac{adn_2 + dh + fh}{\delta_1 + \delta_2} = \frac{adn_2 + dh + \frac{d(n_2 - n_1)}{n_1} h}{\frac{n_1 d}{n_B} + \frac{h \delta}{n_B}} =$$

$$= \frac{d \left( an_2 + h + h \cdot \frac{n_2 - n_1}{n_1} \right)}{\frac{n_1}{n_B} + \frac{h \delta}{n_B}} = \frac{an_2 + h + h \cdot \frac{n_2 - n_1}{n_1}}{\frac{n_2}{n_B}} = \frac{(an_2 + h + h(n_2 - n_1)) \cdot n_B}{n_2 \cdot n_1}$$

$$= \frac{941}{119} \text{ см} \approx 8 \text{ см} \Rightarrow \text{но верн. } dh = fh - \delta_1 x = \delta_1 \left( h - \frac{n_1}{n_B} \cdot x \right) = \frac{d(n_2 - n_1)}{n_1} \cdot \left( h - \frac{n_1}{n_B} \cdot x \right)$$

$$= 0,6 \text{ см} = 0,06 \text{ см} \Rightarrow \delta_1 = \sqrt{d^2 + x^2} \approx 8 \text{ см}$$

3) Ответ: 8 см

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

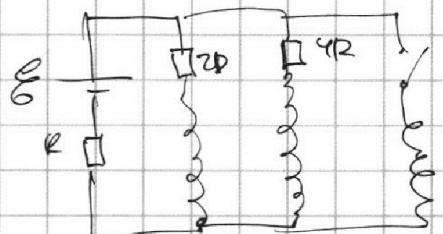
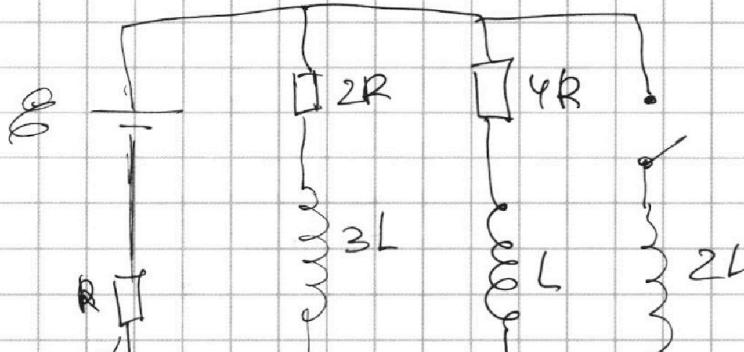
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:



- |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <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!



$$E = 4Ri_4 + \frac{L di_4}{dt} + iR$$

$$E = iR + 2L \frac{di}{dt}$$

3) I<sub>20</sub> при разомкнутом ключе решим

$$\frac{10}{6} \text{ установившись} \Rightarrow U_L = 0 \quad 2L \frac{di}{dt}$$

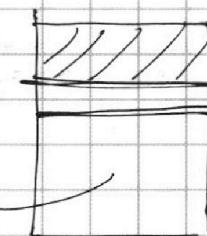
$$\Rightarrow E = iR + \frac{1}{2}i \cdot 4R = 2Ri_2 \quad 4Ri_4 = 2Ri_2$$

$$\frac{10}{6} + \frac{10}{6} = \frac{10}{3} \quad i_4 = \frac{i_2}{2}$$

$$E = iR + \frac{1}{3}i \cdot 4R = \frac{1}{3}i \cdot 12R = 4Ri_2 \quad i_4 + i_2 = i$$

$$E = \left( \frac{4}{3} + 1 \right) iR \quad \frac{3}{2}i_2 = i \quad \frac{2}{3}i = \frac{1}{2}i_2 \quad i_4 = \frac{1}{3}i$$

$$i = \frac{3}{7} \frac{E}{R} = \frac{i_4 \cdot 3}{7} \quad \frac{P_{\text{акт}}}{P_{\text{акт}}} = \frac{R_{\text{акт}}}{R_{\text{акт}}} = \frac{R_{\text{акт}}}{R_{\text{акт}}} = \frac{R_{\text{акт}}}{R_{\text{акт}}}$$



$$4Ri_4 + L \frac{di_4}{dt} = 2L \frac{di_2}{dt} \quad E = iR + L \frac{di}{dt} \quad Li = \frac{E}{i} = qU$$

$$2Ri_2 + L \frac{di_2}{dt} = \frac{P_{\text{акт}}}{R} = \frac{P_{\text{акт}}}{R} - \frac{E}{R} = \frac{P_{\text{акт}} - E}{R} \quad Li \cdot \frac{1}{R} - \frac{E}{R} = qU$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

- |                          |                          |                                     |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <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!

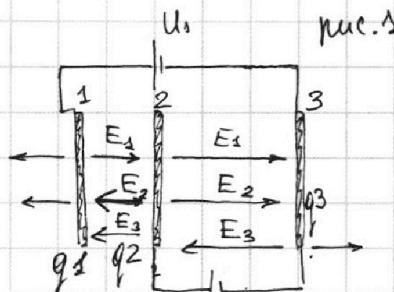


рис. 3

$\Rightarrow$  Закон сохранения заряда

$$q_1 + q_2 + q_3 = 0 \quad (1)$$

1 2 3 4 5

заряды симметричны  
сумма всех напряжений после подключения источников равна нулю.

$E_1; E_2; E_3$  - поле средн.-меж. симметрии

from

т.к. размеры симметрических областей  $d$ , то

$E_1; E_2; E_3$  - "одинаковы"  $= \frac{q}{2\epsilon_0 S}$  где  $q$ -заряд  
симметрической области,  $S$ -площадь.

$\Rightarrow$  между 1 и 2 симметрии:  $\frac{q}{2\epsilon_0 S} - \frac{q}{2\epsilon_0 S} = 300 - 300 = 0$

$(E_1 - E_2 - E_3) \cdot \frac{d}{3} = U_{12}$  - напряжение между 1 и 2 симметрии

$$\frac{q_1 - q_2 - q_3}{2\epsilon_0 S} \cdot \frac{d}{3}$$

$$F = P \cdot F_{\text{норм}}$$

$$F = \text{const}$$

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

между 2 и 3 симметрии:

$$(E_1 + E_2 - E_3) \cdot d = U_{23} = U_2 = \frac{q_1 + q_2 - q_3}{2\epsilon_0 S} \cdot d = U$$

$$U_{12} + U_{23} = U_1 = U_{12} + U_2$$

$$\Rightarrow U_{12} = U_1 - U_2 = 85U - U = 4U$$

$$\frac{q_1 - q_2 - q_3}{2\epsilon_0 S} \cdot \frac{d}{3} = 4U$$

$$\Rightarrow q_1 - q_2 - q_3 = 12U \cdot \frac{2\epsilon_0 S}{d} \quad (1)$$

$$\frac{q_1 - q_2 - q_3}{2\epsilon_0 S} \cdot \frac{d}{3} = 12U \cdot \frac{2\epsilon_0 S}{d}$$



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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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

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

~~2~~ ~~3~~ Вычтем из (2) уравнение (1):

$$2q_2 = -4U \cdot \frac{2\epsilon_0 S}{d}$$

$$q_2 = -5,5 U \cdot \frac{2\epsilon_0 S}{d}$$

Сложим (1) + (2):

$$2q_1 = 12U \cdot \frac{2\epsilon_0 S}{d}$$

$$q_1 = 6U \cdot \frac{2\epsilon_0 S}{d}$$

$$(1) - (2) \Rightarrow 2q_3 = -U \cdot \frac{2\epsilon_0 S}{d}$$

$$q_3 = -0,5U \cdot \frac{2\epsilon_0 S}{d}$$

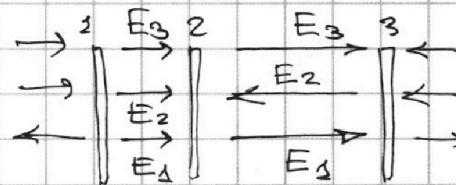
$m_{\text{расм}} = \sum F$  — II Закон Ньютона

$$m_{\text{расм}} = q_r \cdot (\underbrace{E_1 + E_2 - E_3}_{\text{из первого рисунка}})$$

$$m_{\text{расм}} = q_r \cdot \frac{U}{d}$$

$$A_{\text{расм}} = \frac{q_r U}{dm}$$

3) Ответ:  $\frac{q_r U}{dm} = A_{\text{расм}}$



если учтём вспомогательные заряды (знаки)  
 $q_1, q_2, q_3$



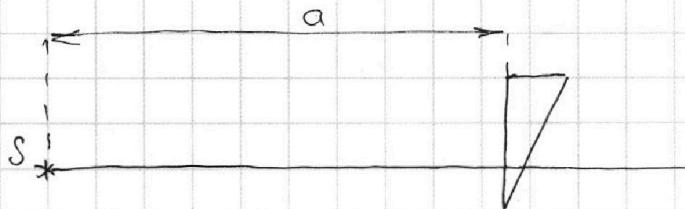
На одной странице можно оформлять **только** одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

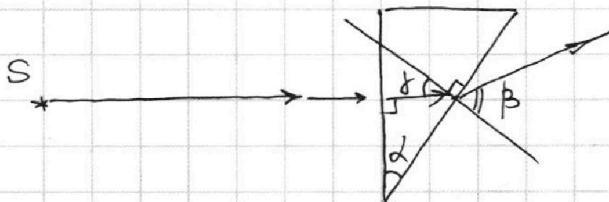
- |                            |                            |                            |                            |                                       |                                       |                            |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------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

МФТИ.

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



1)  $n_2 = n_{10} = 1 \Rightarrow$  разность преломления равна нулю, то значит  
участок между  
на большей  
лучи не  
пересек.  
небольшую  
призму



из геометрии движение луча:  $f = d$   
где  $f$  - ~~угол~~ угол между лучом и прямой  
к прозрачной призме.

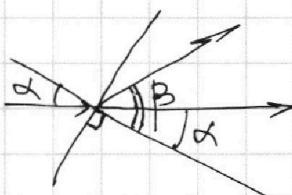
$\Rightarrow$  Закон Синусов:

$$\sin \alpha \cdot n_2 = \sin \beta \cdot n_B = \sin d \cdot n_2$$

тк  $d$  - малый  $\Rightarrow \beta$ -малое  $\Rightarrow \sin d \approx \tan d \approx d$

$$\beta \cdot n_B = d \cdot n_2$$

$$\beta = \frac{d \cdot n_2}{n_B} = 1,7d = 0,17 \text{ рад}$$



$\Rightarrow$  угол отклонения от начальной  
прямой  
на угол  $\beta - d = 1,7d - d = 0,7d =$   
 $= 0,07 \text{ рад}$

1) Ответ: 0,07 рад.