



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-03

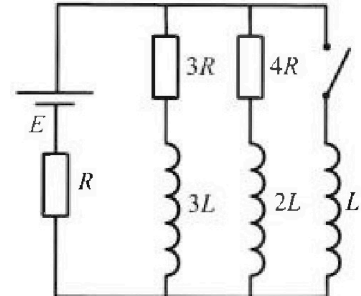
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



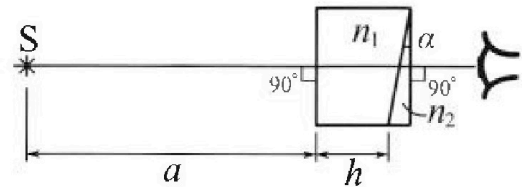
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток I_{10} 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?

Отв ты 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.



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.



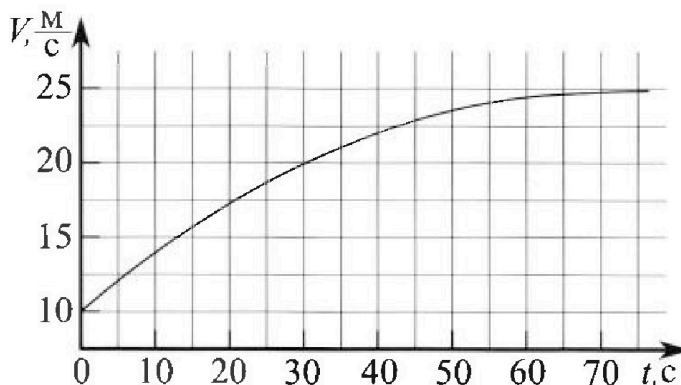
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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?

Треб умая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

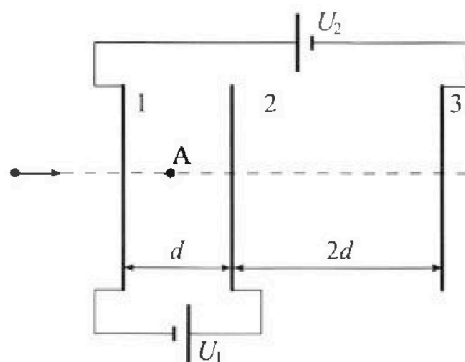
2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объёмом V разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится гелий, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент 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 сго верхней части стал равен $V/5$.

По закону Генри, при заданной температуре количество Δn растворённого газа в объёме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta n = kpw$. Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры $k \approx 0,5 \cdot 10^{-3}$ моль/(м³·Па). При конечной температуре T углекислый газ в воде практически не растворяется. Можно принять, что $RT \approx 3 \cdot 10^3$ Дж/моль, где R - универсальная газовая постоянная. Давлением водяных паров при комнатной температуре и изменением объёма жидкости в процессе нагревания пренебречь. Все газы считать идеальными.

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 A на расстоянии $d/4$ от сетки 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!

Дано

$$M = 1600 \text{ кг}$$

$$F_k = 600 \text{ Н}$$

$$F_{тр} = 2 \text{ В}$$

$$a_0 = ?$$

$$F_0 = ?$$

$$P_0 = ?$$

Решение

1. Пусть вначале $a = \text{const}$

$$V(t) = V_0 + a_0 t$$

$$a_0 = \frac{17 - 10}{20} = 0,4 \text{ м/с}^2$$

2. В конце разгона $a = 0$

$$ma = F_k - \lambda V_k = 0$$

$$\lambda = \frac{F_k}{V_k} = \frac{600 \text{ Н}}{2,5} = 24 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$$

Вначале:

$$ma_0 = F_0 - \lambda V_0$$

$$F_0 = ma_0 + \lambda V_0 = 840 \text{ Н}$$

$$P_0 = F_0 V_0 = 840 \cdot 10 = 8,4 \text{ кВт}$$

Реш: 1. $a_0 = 0,4 \text{ м/с}^2$

2. $F_0 = 840 \text{ Н}$

3. $P_0 = 8,4 \text{ кВт}$

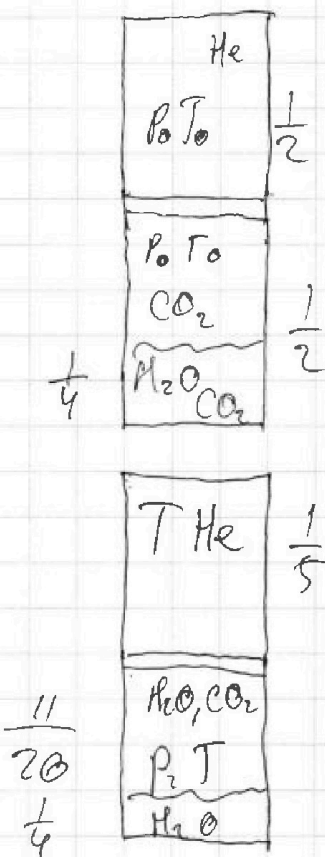
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



$$P_0 = \frac{P_{\text{ATM}}}{2}$$

$$\Delta V = \kappa p w$$

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

$$\kappa \approx 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ моль/(м}^3 \cdot \text{Па)}$$

$$T = 373 \text{ К} \approx 100^\circ \text{C}$$

$$2. (P_{\text{ATM}} + P_{\text{CO}_2}) \frac{1}{5} V = \bar{V}_{\text{He}} RT$$

$$(P_{\text{ATM}} + P_{\text{CO}_2} + \Delta P_{\text{CO}_2}) RT \frac{1}{5} V = \bar{V}_{\text{He}} RT$$

$$(P_{\text{ATM}} + P_{\text{CO}_2} RT \frac{20}{11} \frac{1}{V} + \kappa P_{\text{ATM}} \frac{1}{8} \frac{20}{11} RT) \frac{1}{5} V = \bar{V}_{\text{He}} RT$$

$$\frac{1}{5} P_{\text{ATM}} + \frac{4}{11} \bar{V}_{\text{CO}_2} RT + \kappa P_{\text{ATM}} RT V - \bar{V}_{\text{He}} RT = 0$$

$$\frac{1}{5} P_{\text{ATM}} V + \frac{4}{11} \frac{P_{\text{ATM}} V}{8 T_0} T + \frac{\kappa}{22} P_{\text{ATM}} V RT - \frac{1}{4} \frac{P_{\text{ATM}} V T}{T_0} = 0$$

$$\Rightarrow \left(\frac{1}{5} + \frac{\kappa}{22} RT \right) = \left(\frac{1}{4} - \frac{4}{11 \cdot 8} \right) \frac{T}{T_0}$$

$$\frac{T}{T_0} \approx 1,31$$



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!

$$1.1) P_0 \frac{1}{2} V = \gamma_{He} RT_0 = \frac{P_{ATM}}{4} V$$

$$P_0 \frac{1}{4} V = \gamma_{CO_2} RT_0 = \frac{P_{ATM}}{8} V$$

$$\frac{\gamma_{He}}{\gamma_{CO_2}} = \underline{\underline{2}}$$

$$2) \begin{cases} P = P_{ATM} + P_{CO_2} \\ \Delta \gamma_{CO_2} = K \frac{P_{ATM}}{2} \frac{1}{4} V \\ P_{CO_2} \frac{11}{20} V = (\gamma_{CO_2} + \Delta \gamma_{CO_2}) RT \\ P \frac{1}{5} V = \gamma_{He} RT \end{cases}$$

$$\text{Ответ: } 1) \frac{\gamma_{He}}{\gamma_{CO_2}} = 2 \quad ; 2) \frac{T}{T_0} \approx 1,31$$

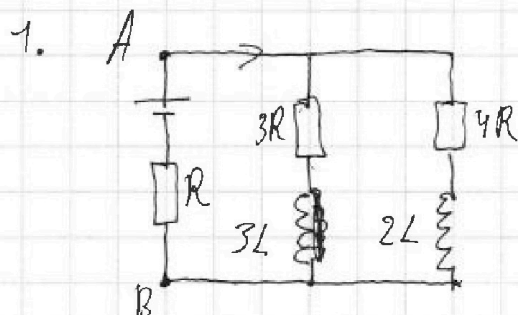
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!

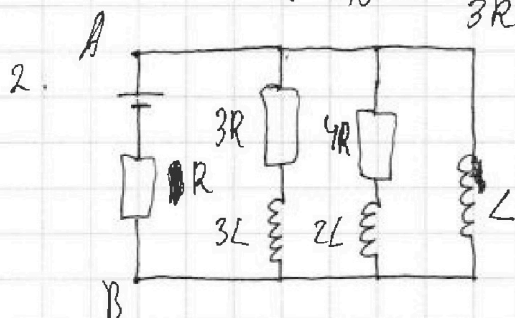


$$R_{\text{общ}} = \frac{3R \cdot 4R}{3R + 4R} + R = \frac{12}{7} R + R = \frac{19}{7} R$$

$$I_{\text{общ}} = \frac{E}{R_{\text{общ}}} = \frac{7}{9} \frac{E}{R}$$

$$U_{AB} = E - R I_{\text{общ}} = \frac{12}{19} E$$

$$I_0 = \frac{U_{AB}}{3R} = \frac{4}{19} \frac{E}{R}$$



$$E_L = -L \frac{dI_L}{dt} = \frac{U_{AB}}{L} = \frac{12}{19} \frac{E}{L}$$

3.

$$E_{3L} = -3L \frac{dI_1}{dt} \quad I_1 \searrow$$

$$E_{2L} = -2L \frac{dI_2}{dt} \quad I_2 \searrow$$

$$E_L = -L \frac{dI_3}{dt} \quad I_3 \uparrow$$

$$\begin{cases} IR - E = I_1 3R + 3L \frac{dI_1}{dt} \\ IR - E = I_2 4R + 2L \frac{dI_2}{dt} \\ IR - E = L \frac{dI_3}{dt} \end{cases}$$

$$(I_1 + I_2 + I_3)R - E = I_1 3R - E_{3L} = I_2 4R - E_{2L} = -E_L$$

$$\text{Пример } I_1(t) = I_{10} e^{-\kappa_1 t}$$

$$I_2(t) = I_{10} e^{-\kappa_2 t}$$

$$I_3(t) = I_3 (1 - e)^{-\kappa_3 t}$$



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!

$$\Rightarrow \textcircled{4} \rightarrow R \left(-2I_{10} e^{-K_1 t} + I_{10} e^{-K_2 t} + I_{30} (t e^{-K_2 t}) \right) - \mathcal{E} = -3K_1 I_{10} e^{-K_1 t}$$

$$t=0 \Rightarrow -2I_{10} + I_{20} - I_{30} = -3K_1 I_{10} \frac{L}{R} =$$

$$K_1 = \frac{2I_{10} - I_{20} + I_{30}}{3I_{10} \frac{L}{R}} = 2 \frac{R}{L}$$

$$\begin{aligned} \bar{I}_1 &= \int_0^{+\infty} I_1(t) dt = \int_0^{+\infty} I_{10} e^{-K_1 t} dt = \\ &= -\frac{1}{K_1} \int_0^{+\infty} I_{10} e^{-K_1 t} d(-K_1 t) = -\frac{I_{10}}{K_1} e^{-K_1 t} \Big|_0^{+\infty} = \end{aligned}$$

$$= \frac{I_{10}}{K_1} = \frac{4}{19} \frac{\mathcal{E}}{R} \cdot \frac{L}{2R} = \frac{2\mathcal{E}L}{19R^2}$$

Ответ: 1. $\frac{4}{19} \frac{\mathcal{E}}{R}$

2. $\frac{12}{19} \frac{\mathcal{E}}{L}$

3. ~~12~~ $\frac{2\mathcal{E}L}{19R^2}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

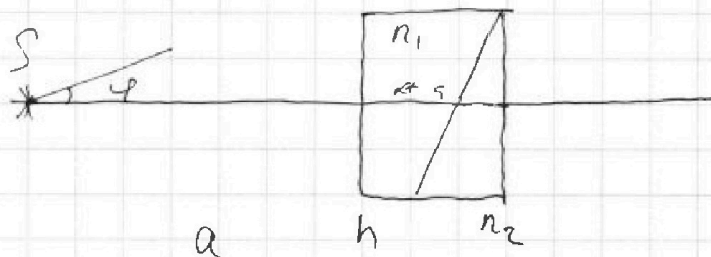
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

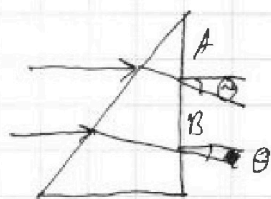
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$n_1, h = 14 \text{ см}, \alpha = 90 \text{ см}$$



1. $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$
 α, β - малые $\Rightarrow \beta = \frac{\alpha}{n_2}$



$$\gamma = \alpha - \beta = \alpha \frac{n_2 - 1}{n_1}$$

$$n_2 \gamma = n_1 \theta \Rightarrow \theta = n_2 \gamma = \alpha (n_2 - 1) = 0,1 (1,7 - 1) = 0,07 \text{ рад}$$

2. Пусть еще один луч под углом φ (малый)

тогда $\beta' = \frac{\alpha + \varphi}{n_2}$

$$AB = (a + h) \varphi$$

$$(h + a') \theta = AB + (h + a') \frac{AB}{\beta - \beta'} = \frac{(a + h) \varphi}{\alpha (n_2 - 1) - \alpha (n_2 - 1) + \varphi}$$

$$= a + h \quad a = a'$$

$$H = (a' + h) \cdot \theta = (a + h) \alpha (n_2 - 1) = 7,28 \text{ см}$$

Ответ: 1. 0,07 рад ; 2. H = 7,28 см



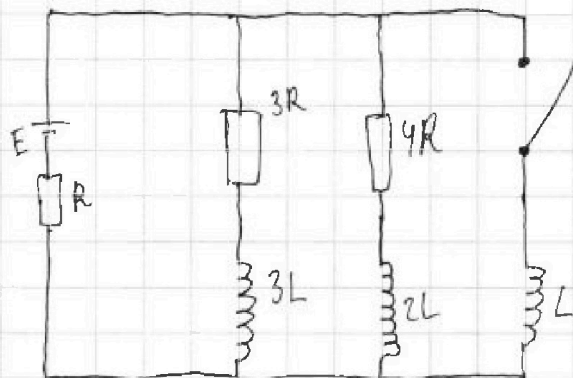
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!





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!



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!



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!