

**Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023**

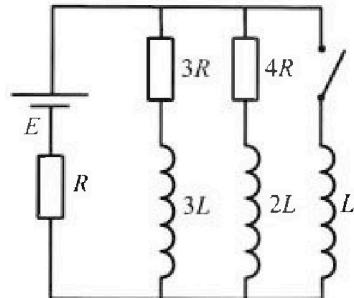
Вариант 11-03

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

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

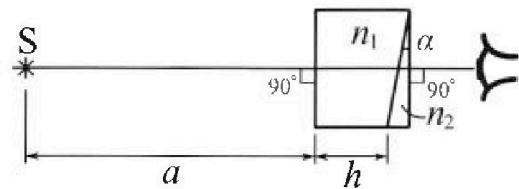
- 1) Найти ток I_{10} через резистор с сопротивлением $3R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью L сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением $3R$ при замкнутом ключе?

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 $a = 90$ 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.

- 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 11-03

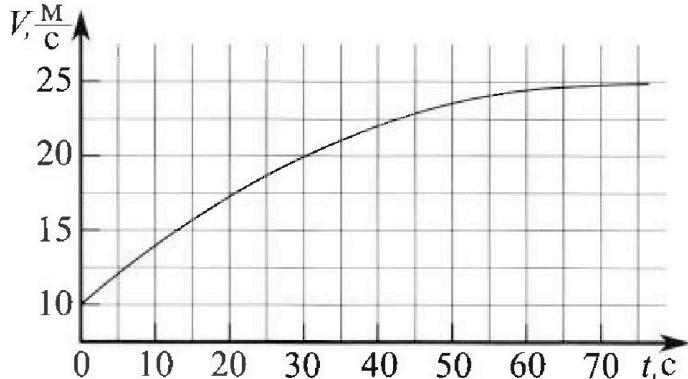


Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

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%.



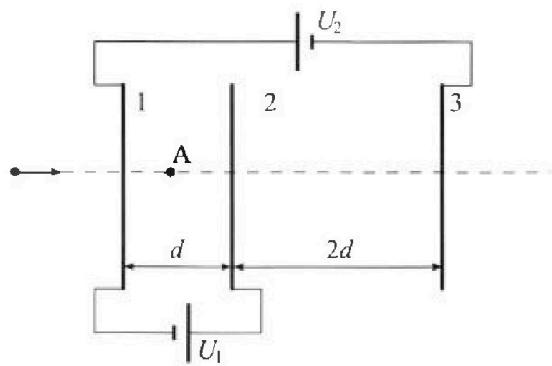
2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объёмом V разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится гелий, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент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

По закону Генри, при заданной температуре количество Δv растворённого газа в объёме жидкости и пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta v = k p$. 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 $R T \approx 3 \cdot 10^3$ 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.





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!

Дано

$$M = 1500 \text{ кг}$$

$$F_K = 600 \text{ Н}$$

$$F_{\tau_p} = 2V$$

a_0 - ?

F_0 - ?

P_0 - ?

Решение

1. Пусть начальное $a = \text{const}$

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

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

2. В конце разгона $a = 0$

$$ma = F_K - \alpha V_K = 0$$

$$\alpha = \frac{F_K}{V_K} = \frac{600 \text{ Н}}{2 \cdot 5} = 24 \text{ Н·с}$$

В начале:

$$ma_0 = F_0 - \alpha V_0$$

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

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

Отв: 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.

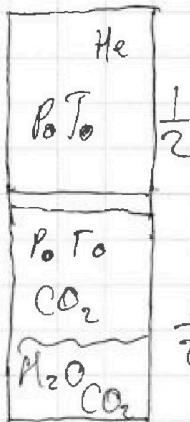
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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

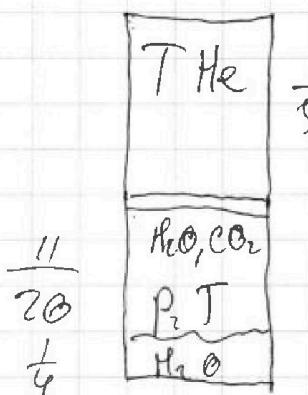
МФТИ



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



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



$$\Delta V = k p w$$

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

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

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

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

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

$$(P_{\text{ATM}} + \gamma_{\text{CO}_2} RT \frac{10}{11} \frac{1}{V} + K P_{\text{ATM}} \frac{1}{8} \frac{10}{11} RT) \frac{1}{5} V = \gamma_{\text{He}} RT$$

~~$$\frac{1}{5} P_{\text{ATM}} + \frac{4}{11} \gamma_{\text{CO}_2} RT + K P_{\text{ATM}} RT V - \gamma_{\text{He}} RT = 0$$~~

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

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

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



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

- | | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| <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!

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

$$P_0 \frac{1}{4} V = \gamma_{\text{CO}_2} RT_0 = \frac{P_{\text{ATH}}}{8} V$$

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

$$2) P = P_{\text{ATH}} + P_{\text{CO}_2}$$

$$\Delta \gamma_{\text{CO}_2} = K \frac{P_{\text{ATH}}}{2} \frac{1}{4} V$$

$$P_{\text{CO}_2} \frac{11}{20} V = (\gamma_{\text{CO}_2} + \Delta \gamma_{\text{CO}_2}) RT$$

$$P \frac{1}{5} V = \gamma_{\text{He}} RT$$

$$\text{Ortsf. i)} \frac{\gamma_{\text{He}}}{\gamma_{\text{CO}_2}} = 2 \quad ; ii) \frac{T}{T_0} \approx 1,31$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

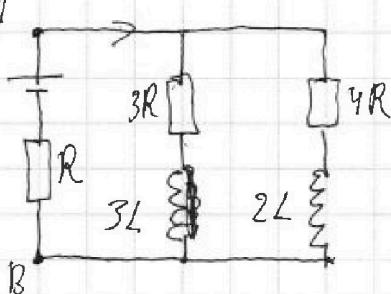


- | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>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

1.



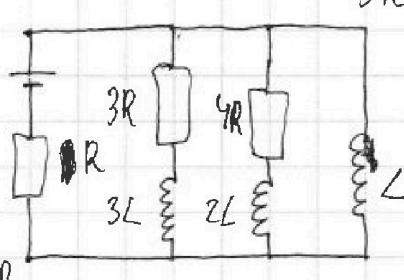
$$R_{\text{общ}} = \frac{3R \cdot 4R}{3R + 4R} + R = \frac{12}{7}R + R = \frac{19}{7}R$$

$$I_{\text{общ}} = \frac{E}{R_{\text{общ}}} = \frac{7}{19} \frac{E}{R}$$

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

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

2.



$$\mathcal{E}_L = -L \frac{dI}{dt} = \frac{U_{AB}}{L} =$$

$$= \frac{12}{19} \frac{E}{L}$$

3.

$$\mathcal{E}_{3L} = -3L \frac{dI_1}{dt} \quad I_1 \downarrow$$

$$IR - E = I_1 3R + 3L \frac{dI_1}{dt}$$

$$\mathcal{E}_{2L} = -2L \frac{dI_2}{dt} \quad I_2 \downarrow$$

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

$$\mathcal{E}_L = -L \frac{dI_3}{dt} \quad I_3 \uparrow$$

$$IR - E = L \frac{dI_3}{dt}$$

$$(I_1 + I_2 + I_3)R - E = I_1 3R - \mathcal{E}_{3L} = I_2 4R - 3L = -E$$

$$\text{Примем } I_1(+) = I_{10} e^{-K_1 t}$$

$$I_2(+) = I_{10} C^{-K_2 t}$$

$$I_3(+) = I_3 (-e^{-K_3 t})$$

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!

$$\Rightarrow \textcircled{1} \rightarrow R (-2\bar{I}_{10} e^{-k_1 t} + \bar{I}_{10} e^{-k_2 t} + \bar{I}_{30} (t e^{-k_2 t})) - \mathcal{E} = -3K_1 \bar{I}_{10} e^{-k_1 t}$$

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

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

$$\begin{aligned} \bar{I}_1 &= \int_0^{+\infty} I_1(t) dt = \int_0^{+\infty} \bar{I}_{10} e^{-k_1 t} dt = \\ &= -\frac{1}{K_1} \left[\bar{I}_{10} e^{-k_1 t} \right]_0^{+\infty} = -\frac{\bar{I}_{10}}{K_1} e^{-k_1 t} \Big|_0^{+\infty} = \end{aligned}$$

$$-\frac{\bar{I}_{10}}{K_1} = \frac{4}{19} \frac{\mathcal{E}}{R} \cdot \frac{L}{2R} = \frac{2\mathcal{E}L}{19R^2}$$

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

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

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

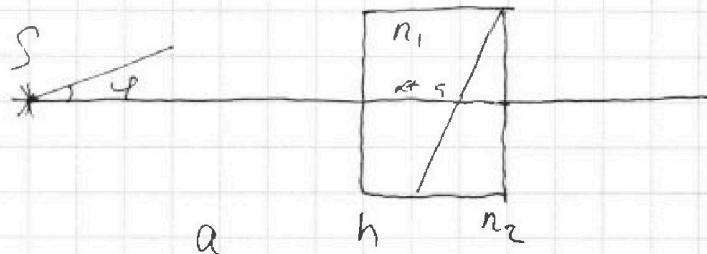
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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

$$n_6, h = 14 \text{ см}, d = 90 \text{ см}$$



1. $n_6 \sin \alpha_5 = n_2 \sin \beta \Rightarrow \beta = \frac{\alpha_5}{n_2}$
 $\alpha_5, \beta - \text{заштрихованы}$

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

$$n_2 \gamma = n_6 \theta \Rightarrow \theta = n_2 \gamma =$$

$$= \alpha (n_2 - 1) = 0,1 (17 - 1) = 0,07 \text{ rad}$$

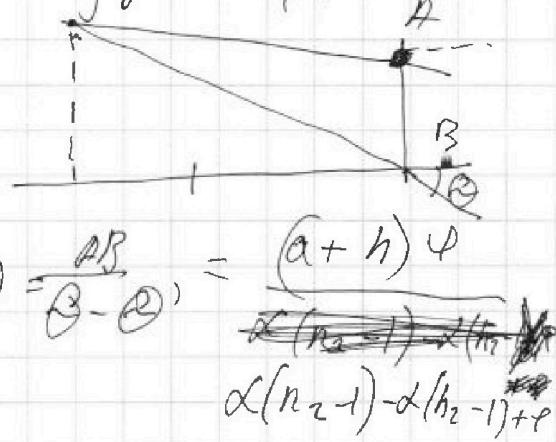
2. Рассмотрим еще один луч под углом phi (заштрихованный)

$$\text{тогда } \beta' = \frac{\alpha + \phi}{n_2};$$

$$AB = (a + \alpha) \cdot \phi$$

$$(h + a') \cdot \theta = AB + (h + a') = \frac{AB}{\beta' - \theta} = \frac{(a + h) \cdot \phi}{\cancel{\alpha(n_2 - 1)} \cdot \cancel{\alpha(h_2 - 1)}} =$$

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



$$H = (a' + h') \cdot \theta = (a + h) \cdot \alpha (n_2 - 1) = \cancel{0,07} 7,28 \text{ см}$$

Ответ: 1. 0,07 rad; 2. H = 7,28 см

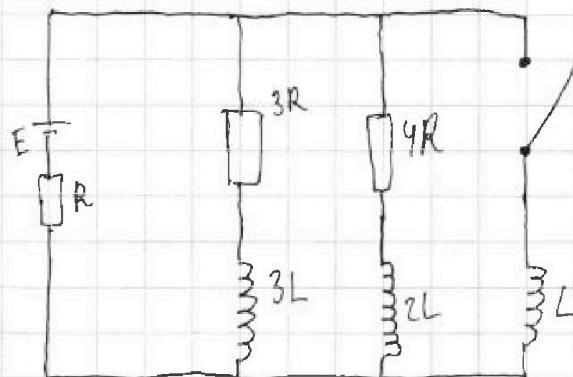
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

- | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| <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!



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

МФТИ

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