



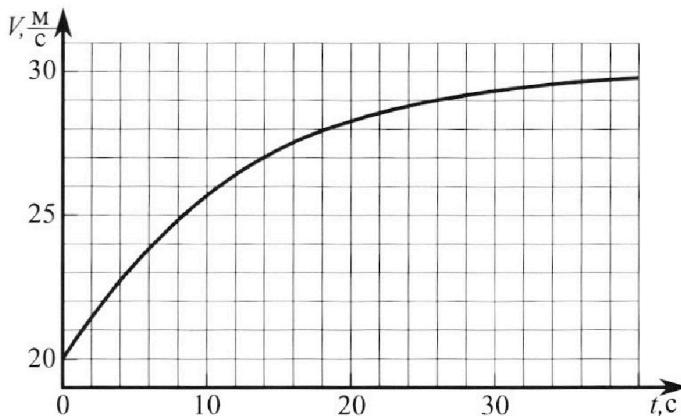
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-04



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

- 1.** Мотоциклист массой (вместе с мотоциклом) $m = 240 \text{ кг}$ 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 $F_k = 200 \text{ Н}$.



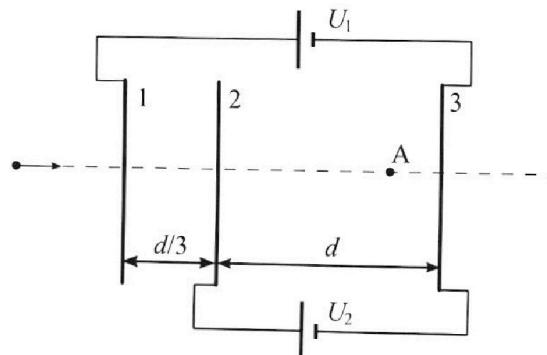
- 1) Используя график, найти ускорение мотоцикла в начале разгона.
 - 2) Найти силу сопротивления движению F_0 в начале разгона.
 - 3) Какая часть мощности, передаваемой на ведущее колесо, идет на преодоление силы сопротивления движению в начале разгона?
- Требуемая точно сть численного ответа на первый 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 нагрели до $T = 4T_0/3 = 373 \text{ К}$. Установившийся объём его верхней части стал равен $V/8$.

По закону Генри, при заданной температуре количество Δv 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 $k \approx 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ моль}/(\text{м}^3 \cdot \text{Па})$. При конечной температуре T углекислый газ в воде практически не растворяется. Можно принять, что $RT \approx 3 \cdot 10^3 \text{ Дж/моль}$, 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_{ATM} (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.

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



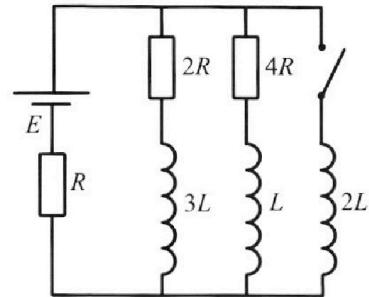
Вариант 11-04

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

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

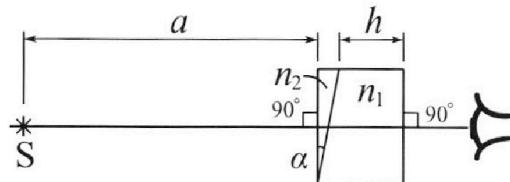
- 1) Найти ток I_{20} через резистор с сопротивлением $4R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью $2L$ сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением $4R$ при замкнутом ключе?

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.



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!

N 1

1) За первые Δt секунды мотоциклиста разгонялся
от $v_0 = 20 \text{ м/c}$ до примерно 23 м/c . Значит, ускорение в
начале, равное a_0 , равно: $a_0 = \frac{3}{4} (\text{м/c}^2)$.

2) Дассмотрим конец разгона, когда скорость мотоциклиста
равна 30 м/c и практически неизменна. Поскольку
ускорение мотоцикла равно 0, то сумма работ, соверша-
емых каждой силой, равна 0, т.е. $F_k \Delta S = N \Delta t$, $F_k v = N$, где
 $v = 30 \text{ м/c}$, N – мощность двигателя.

Теперь рассмотрим начало разгона. Если $v_0 = 20 \text{ м/c}$, то:
 $ma_0 = \left(\frac{N \Delta t}{\Delta S} - F_0 \right)$ (по II закону Ньютона). Значит,

$$ma_0 = \frac{N}{v_0} - F_0 = F_k \frac{v}{v_0} - F_0, F_0 = F_k \frac{v}{v_0} - ma_0, [F_0 \approx 28 \text{ Н}].$$

3) В начале разгона мощность силы сопротивления равна:
 $N_0 = F_0 \cdot \frac{\Delta S}{\Delta t} = F_0 v_0$. Если d – некоторое частное мощности, то:

$$d = \frac{N_0}{N} = \frac{F_0 v_0}{F_k v}, [d \approx \frac{141}{150}].$$

Ответы: $\frac{3}{4} \text{ м/c}^2$, 28 Н , $\frac{141}{150}$.

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!

N 2

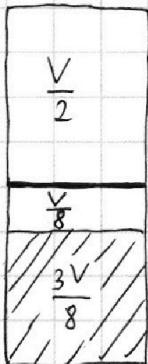


рис. 1

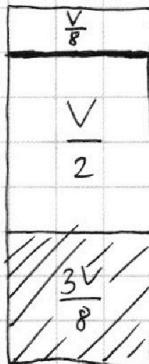


рис. 2

1)

Содержимое цилиндра до нагревания показано на рис. 1, после — на рис. 2.

Если начальное давление в сосуде равно P_0 , то по уравнению Менделеева - Капеллона:

$$\begin{cases} P_0 \cdot \frac{V}{8} = J_{1H} R \cdot \frac{3}{4} T & (1) \\ P_0 \cdot \frac{V}{2} = J_{1B} R \cdot \frac{3}{4} T & \end{cases}$$

Отсюда $\frac{J_{1B}}{J_{1H}} = \frac{\frac{V}{2}}{\frac{V}{8}} = 4$.

(уничтожено)

2) Заметим, что количество газа в верхней части сосуда не изменилось. А в нижней части после нагревания оно стало равно J_{2H} . Поскольку после нагревания в воде не осталось уничтоженного газа, можно заключить, что $J_{2H} - J_{1H} = k P_0 \cdot \frac{3}{8} V$ (1)

Давление водяных паров после нагревания равно P_{ATM} . Тогда, если давление уничтоженного газа в верхней части равно P_1 , то в нижней части оно равно $P_1 - P_{ATM}$. По уравнению Менделеева - Капеллона:

$$(P_1 - P_{ATM}) \cdot \frac{V}{2} = J_{2H} R T \quad (2)$$

Две газа в верхней части сосуда:

$$P_0 \cdot \frac{V}{2} = J_{1B} R \cdot \frac{3}{4} T$$

$P_1 \cdot \frac{V}{8} = J_{1B} R \cdot T$, откуда $P_1 = \frac{16}{3} P_0$. Подставив в (2),

получим: $\left(\frac{16}{3} P_0 - P_{ATM}\right) \cdot \frac{V}{2} = J_{2H} R T$.

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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

N 2 (продолжение)

Итак, $\mathcal{J}_{2H} = \frac{\left(\frac{16}{3}P_0 - P_{ATM}\right) \cdot \frac{V}{2}}{RT}$, а из (0): $\mathcal{J}_{1H} = \frac{P_0 \cdot \frac{V}{8}}{R \cdot \frac{3}{4}T} = \frac{1}{6} \cdot \frac{P_0 V}{RT}$.

Подставив \mathcal{J}_{2H} и \mathcal{J}_{1H} в (1), получаем:

$$\frac{8}{3} \cdot \frac{P_0 V}{RT} - P_{ATM} V = \frac{1}{2} k \cdot \frac{P_0 V}{RT}$$

$$\frac{8}{3} \cdot \frac{P_0 V}{RT} - \frac{1}{2} \cdot \frac{P_{ATM} V}{RT} - \frac{1}{6} \cdot \frac{P_0 V}{RT} = \frac{3}{8} k \cdot P_0 V$$

$$\frac{P_{ATM} V}{RT} \cdot \frac{1}{2} = P_0 V \cdot \left(\frac{5}{2} \cdot \frac{1}{RT} - \frac{3}{8} k \right)$$

$$P_0 = P_{ATM} \cdot \frac{\frac{1}{2 RT}}{\frac{5}{2} \cdot \frac{1}{RT} - \frac{3}{8} k} = \frac{4}{20 - 3k RT} P_{ATM}, \quad \boxed{P_0 \approx \frac{20}{73} P_{ATM}}$$

Ответ: 4, $\frac{20}{73} P_{ATM}$.



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!

N 3

- 1) Поскольку разность потенциалов между пластинами 2 и 3 равна ~~разности потенциалов~~, то напряжённость поля между ними равна: $E_{23} = \frac{U}{d}$. Тогда сила, действующая на единицу в области между пластинами 2 и 3, равна: $F_{23} = qE_{23} = \frac{qU}{d}$. Значит, искомое ускорение равно: $a_{23} = \frac{F_{23}}{m} = \frac{qU}{dm}$.
- 2) Искомая разность равна работе сил поля, совершённой над частицей при прохождении между пластинами 2 и 3. Эта работа равна: $A_{23} = F_{23} \cdot d = qU$. Итак, $K_3 - K_2 = qU$.
- 3)

Ответ: $\frac{qU}{dm}$, qU .

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!

N 4

- 1) Если режим установился, то во всей цепи течёт минимальный ток. Значит, ЭДС индукции каждой катушки равно 0, а их можно представить в виде соединительных проводов.

$$\text{Тогда общее сопротивление равно: } R_o = R + \frac{4R \cdot 2R}{4R + 2R} = R + \frac{4}{3}R = \frac{7}{3}R.$$

$$\text{Ток, проекающий через } \boxed{\text{Батарейку}}, \text{ равен: } I_o = \frac{E}{R_o} = \frac{3}{7} \cdot \frac{E}{R}.$$

Чтобы напряжение на $4R$ и $2R$ было одинаковым (т.к. они соединены параллельно), то $4R$ должен течь ток, вдвое меньший, чем через $2R$, т.е. равный $\frac{1}{3}I_o$.

$$\text{Значит, } \boxed{I_{2L} = \frac{1}{7} \cdot \frac{E}{R}}.$$

- 2) Сразу после замыкания ключа, I_o останется равным

$$\frac{3}{7} \cdot \frac{E}{R}. \text{ Тогда, по закону Ома для контура } E - 2L - R:$$

$$E - 2L \cdot I'_{2L} = I_o R$$

$$2L \cdot I'_{2L} = \frac{4}{7}E$$

$$\boxed{I'_{2L} = \frac{2}{7} \cdot \frac{E}{L}}$$

- 3) Когда при замкнутом ключе режим установится, ток будет течь только по ветке с катушкой $2L$, т.к. сопротивление этой ветви будет нулевым. Тогда ток будет равен: $I_1 = \frac{E}{R}$.
По закону сохранения энергии:

$$\frac{3L \cdot (\frac{2}{3}I_o)^2}{2} + \frac{L \cdot (\frac{1}{3}I_o^2)}{2} + A_E = \frac{L \cdot I_1^2}{2}, \text{ где } A_E - \text{работка батарейки.}$$

Ответ: $\frac{1}{7} \cdot \frac{E}{R}$, $\frac{2}{7} \cdot \frac{E}{L}$.



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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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

- 1) Если $n_1=0$, то вся наша система состоит из призмы с $n_2=1,7$ и углом $\angle \alpha$. ~~известной~~ Это известной формуле, угол δ , на которой опирается луч, равен: $\delta = \angle(n_2 - 1) = 0,72$.

(каждый)

2)

Ответ: 0,7 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 |
| <input type="checkbox"/> |

МФТИ

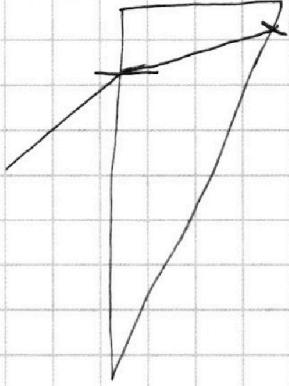
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$$\begin{aligned} P_0 \cancel{\frac{V}{2}} &= J R \cdot \frac{3}{4} T \\ P_1 \cancel{\frac{V}{8}} &= J R \cdot T \\ \cancel{P_1} \cdot \frac{1/8}{1/2} &= \cancel{\frac{4}{3}} \\ \frac{P_1}{P_0} &= \frac{16}{3} \end{aligned}$$

~~При изобарическом сжатии~~

$$(P_1 + P_{\text{атм}}) \cdot \frac{V}{8} = J_{2H} RT$$

$$\left(\frac{16}{3}P_0 + P_{\text{атм}}\right) \cdot \frac{V}{8} = J_{2H} RT$$





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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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

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

МФТИ



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!

N1

$$F_K = N \Delta t / \Delta S = \frac{N}{v}$$

$$N = 200 \cdot 30 = 6000 \text{ (Вт)}$$

$$d_0 \approx \frac{3}{4} \mu/c^2 = 0,75 \mu/c^2$$

$$m a_0 = \left(\frac{N}{v_0} - F_0 \right)$$

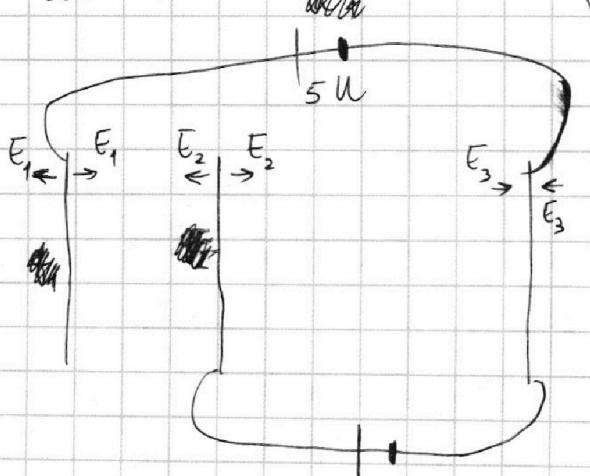
$$240 \cdot 0,75 = \left(\frac{6000}{20} - F_0 \right)$$

$$18 = (300 - F_0)$$

$$F_0 = 282 \text{ (Н)}$$

$$\frac{N}{v_0} = \frac{6000}{20} = 300$$

$$\frac{284}{300} \approx 0,95$$



$$\begin{cases} 5U = -(E_2 + E_3)d + (E_2 - E_1)\frac{U}{3} \\ U = -(E_2 + E_3)d \end{cases}$$

$$\begin{cases} 5\frac{U}{d} = -\frac{2}{3}E_2 - E_3 - \frac{1}{3}E_1 \\ \frac{U}{d} = -E_2 - E_3 \Rightarrow E_2 = -E_3 - \frac{U}{d} \\ E_2 = E_1 + \frac{12U}{d} \end{cases}$$

$$\begin{array}{r} \times 240 \\ 75 \\ \hline 180 \\ + 120 \\ \hline 188 \\ - 284 \\ \hline 194 \\ \hline \end{array}$$

11/12/13/14/15/16/17/18/19/20/21/22/23

$$F_{23} = (E_2 + E_3)q$$

$$\begin{aligned} a_{23} &= \frac{F_{23}}{m} = (E_2 + E_3) \cdot \frac{q}{m} = \\ &= \frac{U}{d} \cdot \frac{q}{m} \end{aligned}$$

$$K_2 + A_{23} = K_3$$

$$K_3 - K_2 = A_{23} = F_{23}d = \frac{Uq}{d}$$

$$E_1 + E_2 - E_3 = E_1 + E_1 + \frac{12U}{d} + E_1 + \frac{13U}{d} = \\ 3E_1 + \frac{25U}{d}$$

$$\begin{aligned} \frac{3L \cdot \left(\frac{2}{3} \frac{E}{R}\right)^2}{2} + \frac{L \cdot \left(\frac{1}{3} \frac{E}{R}\right)^2}{2} + A_E = \\ = \frac{2L \cdot \left(\frac{E}{R}\right)^2}{2} \end{aligned}$$

$$A_E = qE = (q_{2R} + q_{4R} + q_{2L})E \\ (E \cdot d) \cdot q$$

$$5\frac{U}{d} = \frac{2}{3}E_3 + \frac{2}{3}\frac{U}{d} - E_3 - \frac{1}{3}E_1$$

$$\frac{13}{3}\frac{U}{d} = -\frac{1}{3}E_3 - \frac{1}{3}E_1$$

$$\frac{13}{3}\frac{U}{d} = -E_3 - E_1 \Rightarrow E_3 = -E_1 - \frac{13}{3}\frac{U}{d}$$

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!

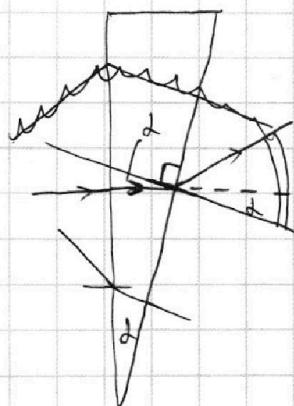
$$I = \frac{E}{R + \frac{4R \cdot 2R}{4R+2R}} = \frac{E}{R + \frac{4}{3}R} = \frac{E}{R} \cdot \frac{3}{7}$$

$$I_{2L} = \frac{1}{3} I = \frac{E}{R} \cdot \frac{1}{7}$$

$$E - 2L I_{2L}' = IR$$

~~$$2L I_{2L}' = E - IR = \frac{4}{7}E$$~~

$$I_{2L}' = \frac{2}{7} \cdot \frac{E}{L}$$

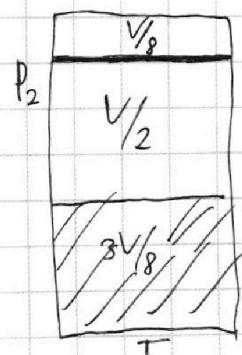
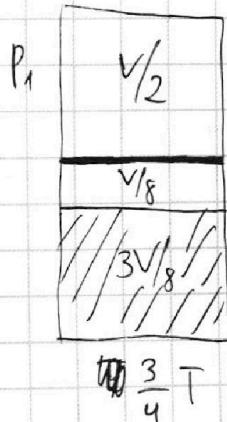


$$n_2 \sin \alpha = \sin \beta$$

$$1,7\alpha = \beta$$

$$\beta - \alpha = 0,7\alpha$$

$$\delta = (n_2 - 1)\alpha$$



~~$$P_1 \frac{V}{2} = J_{1B} R \left(\frac{3}{4} T \right)$$~~

~~$$P_1 \frac{V}{8} = J_{1H} R \left(\frac{3}{4} T \right)$$~~

$$\frac{J_{1B}}{J_{1H}} = \frac{1/2}{1/8} = 4$$

$$\frac{J_{1B}}{J_{2H}} = \frac{1/2}{1/8} = \frac{1}{4}$$

~~$$P_2 \frac{V}{8} = J_{1B} RT \Rightarrow P_2 \frac{V}{8} = J_{1B} \frac{1}{4} RT$$~~

~~$$P_2 \frac{V}{2} = J_{2H} RT$$~~

~~$$P_2 \frac{V}{2} = \frac{P_1 V/8}{4} = \frac{P_1}{4} \frac{V}{8} = k P_1 \frac{(3V)}{8}$$~~

~~$$\frac{3P_1}{16} \frac{V}{2} - \frac{P_1 \cdot V/8 \cdot 4}{R \cdot T} = k P_1 \frac{(3V)}{8}$$~~

~~$$\frac{1}{RT} \cdot \left(\frac{3}{32} - \frac{1}{6} \right) = k \cdot \frac{3}{8}$$~~