

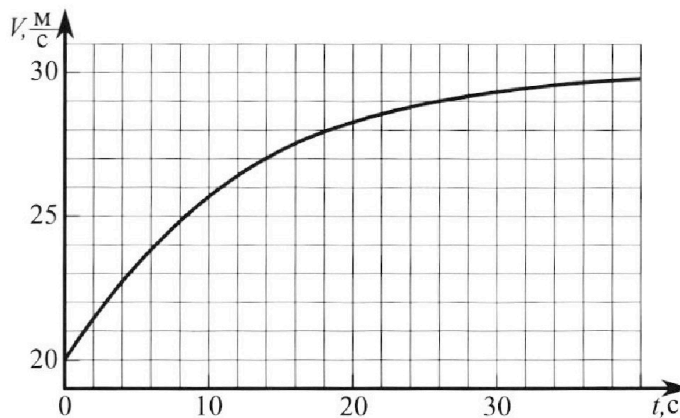
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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.



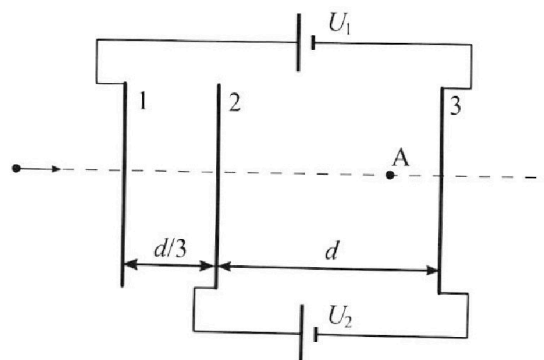
- Используя график, найти ускорение мотоцикла в начале разгона.
- Найти силу сопротивления движению F_0 в начале разгона.
- Какая часть мощности, передаваемой на ведущее колесо, идет на преодоление силы сопротивления движению в начале разгона? Требуемая точно сть численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объемом V разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится 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 $T = 4T_0/3 = 373$ К. Установившийся объём его верхней части стал равен $V/8$.

По закону Генри, при заданной температуре количество $\Delta\nu$ растворённого газа в объёме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta\nu = kpw$. Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры $k \approx 0,6 \cdot 10^{-3}$ 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.

- Найти отношение количеств вещества в газообразном состоянии в верхней и нижней частях до нагревания.
- 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.



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

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 11-04

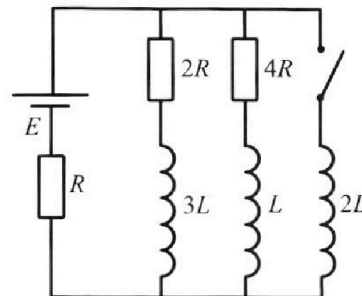
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



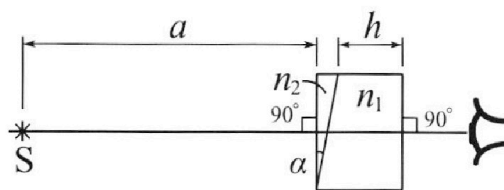
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 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 $n_{\text{в}} = 1,0$. 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.



(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 $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$, $n_2 = 1,7$, найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$, $n_2 = 1,7$, найдите расстояние между источником и его изображением, которое будет видеть наблюдатель.
- 3) Считая $n_1 = 1,4$, $n_2 = 1,7$, найдите на каком расстоянии от источника будет его изображение, которое увидит наблюдатель.

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

1) За первые $\frac{1}{4}$ секунды мотоциклист разгонится от 20 м/с до примерно 23 м/с. Значит, ускорение в начале, равное a_0 , равно: $a_0 \approx \frac{3}{4} \text{ (м/с}^2\text{)}$.

2) Рассмотрим конец разгона, когда скорости мотоциклиста равна 30 м/с и практически неизменна. Поскольку ускорение мотоцикла равно 0, то сумма работ, совершаемых каждой силой, равна 0, т.е. $F_k \Delta S = N \Delta t$, $F_k v = N$, где $v = 30 \text{ м/с}$, N — мощность двигателя.

Теперь рассмотрим начало разгона. Если $v_0 = 20 \text{ м/с}$, то:

$$m a_0 = \left(\frac{N \Delta t}{\Delta S} - F_0 \right) \text{ (по II закону Ньютона). Значит,}$$

$$m a_0 = \frac{N}{v_0} - F_0 = F_k \frac{v}{v_0} - F_0, F_0 = F_k \frac{v}{v_0} - m a_0, F_0 \approx 28 \text{ (Н)}.$$

3) В начале разгона мощность сил сопротивления равна:

$$N_0 = F_0 \cdot \frac{\Delta S}{\Delta t} = F_0 v_0. \text{ Если } \alpha \text{ — искомая часть мощности, то:}$$

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

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

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!



N 2

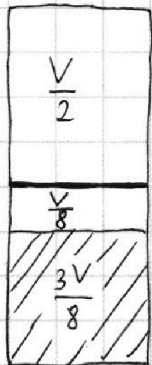


рис. 1

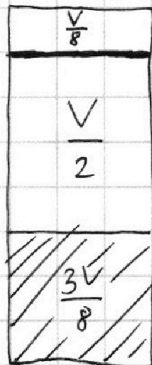


рис. 2

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-Клапейрона:

$$P_0 \cdot \frac{V}{8} = \nu_{1H} R \cdot \frac{3}{4} T \quad (0)$$

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

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

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

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

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

Для газа в верхней части сосуда:

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

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

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

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"/> | <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!



№ 2 (продолжение)

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

Подставляя ~~в~~ J_{2H} и J_{1H} в (1), получаем:

~~$$\frac{8}{3} \cdot \frac{P_0 V}{RT} - P_{\text{ATM}} V \cdot (2RT) = k \cdot P_0 \cdot \frac{V}{8}$$~~

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

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

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

Ответ: 4, $\frac{20}{73} P_{\text{ATM}}$.

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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

№ 3

1) Поскольку разность потенциалов между пластинами 2 и 3 равна ~~разности потенциалов между пластинами 1 и 2~~ U , то напряжённость поля между ними равна: $E_{23} = \frac{U}{d}$. Тогда сила, действующая на частицу 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 пролёте 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!



№ 4

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

Тогда общее сопротивление равно: $R_0 = R + \frac{4R \cdot 2R}{4R + 2R} = R + \frac{4}{3}R = \frac{7}{3}R$.

Ток, протекающий через ~~катушку~~ батарейку, равен: $I_0 = \frac{E}{R_0} = \frac{3 \cdot E}{7R}$.

Чтобы напряжения на $4R$ и $2R$ было одинаковым (т.к. они соединены параллельно), по $4R$ должен течь ток, вдвое меньший, чем через $2R$, т.е. равный $\frac{1}{3}I_0$.

Значит, $I_{20} = \frac{1}{7} \cdot \frac{E}{R}$.

- 2) Сразу после замыкания ключа, I_0 останется равным $\frac{3}{7} \cdot \frac{E}{R}$. Тогда, по закону Ома для контура $E - 2L - R$:

$$E - 2L \cdot I'_{2L} = I_0 R$$

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

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

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

По закону сохранения энергии:

$$\frac{3L \cdot \left(\frac{2}{7}I_0\right)^2}{2} + \frac{L \cdot \left(\frac{1}{3}I_0\right)^2}{2} + A_E = \frac{L \cdot I_1^2}{2}, \text{ где } A_E - \text{ работа батарейки.}$$

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!

№ 5

- 1) Если $n_1 = 0$, то вся наша система состоит из призм с $n_2 = 1,7$ и углом α . ~~каждый~~ По известной формуле, угол δ , на который отклоняется луч, равен: $\delta = \alpha(n_2 - 1) = 0,7\alpha$.

2)

Ответ: $0,7 \text{ рад.}$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

- 1 2 3 4 5 6 7

 МФТИ

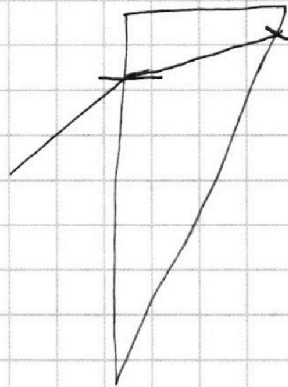
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$$P_0 \frac{V}{2} = \nu R \cdot \frac{3}{4} T$$

$$P_1 \frac{V}{8} = \nu R \cdot T$$

$$\frac{P_1}{P_0} \cdot \frac{1/2}{1/2} = \frac{4}{3}$$

$$\frac{P_1}{P_0} = \frac{16}{3}$$



$$(P_1 + P_{\text{атм}}) \cdot \frac{V}{8} = \nu_{24} R T$$

$$\left(\frac{16}{3} P_0 + P_{\text{атм}}\right) \cdot \frac{V}{8} = \nu_{24} R T$$



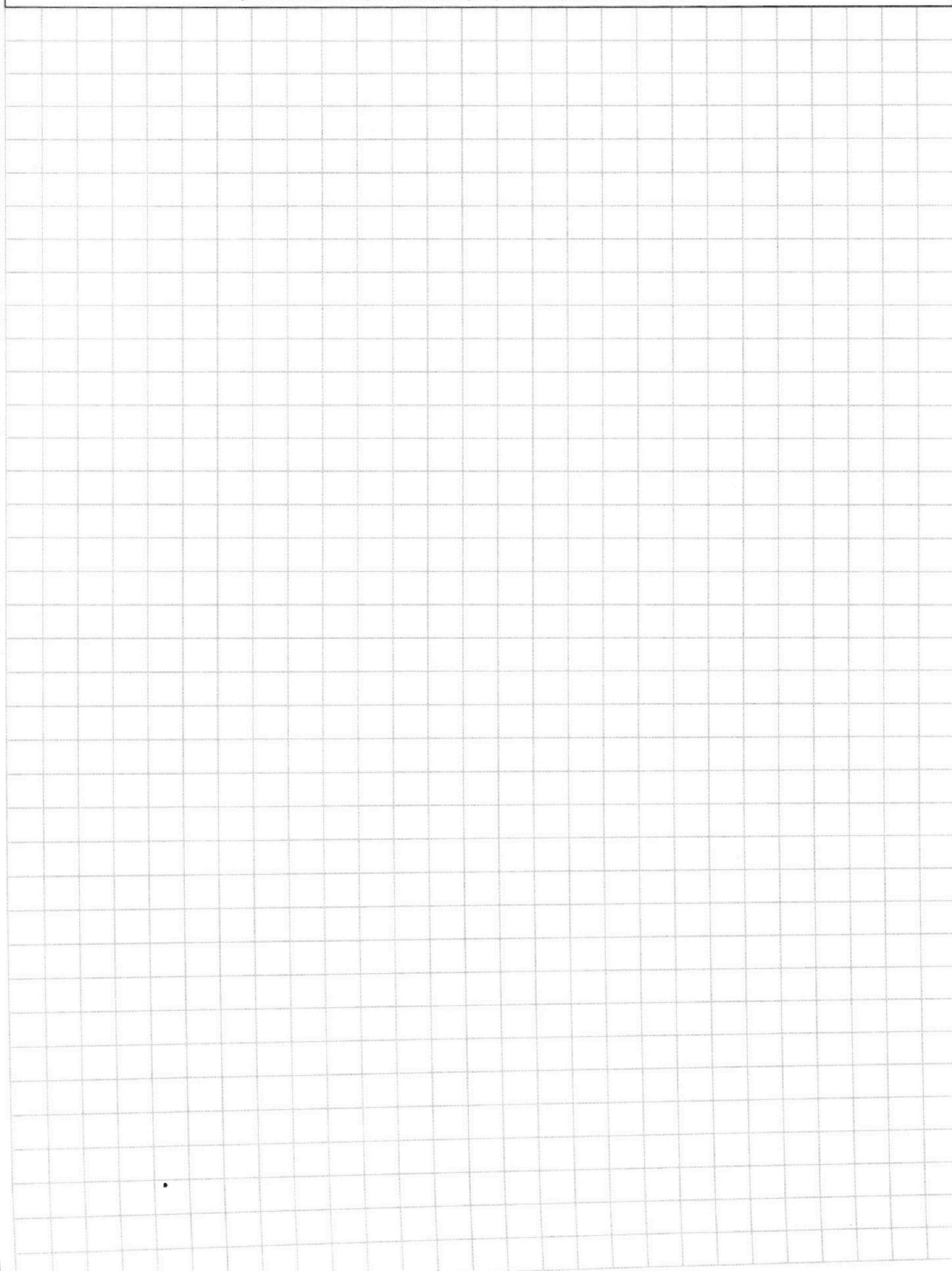
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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



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!



$$N_1$$

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

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

$$\alpha_0 \approx \frac{3}{4} \mu\text{C}^2 = 0,75 \mu\text{C}^2$$

$$m \alpha_0 = \left(\frac{N}{r_0} - F_0 \right)$$

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

$$18 = (300 - F_0)$$

$$F_0 = 282 \text{ (Н)}$$

$$\frac{N}{r_0} = \frac{6000}{20} = 300$$

$$\frac{282}{300} \approx 0,95$$

$$\begin{array}{r} 240 \\ \times 75 \\ \hline 120 \\ + 180 \\ \hline 1800 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 284 \overline{) 3} \\ \underline{27} \quad 94 \\ \underline{14} \\ \underline{12} \\ \hline 2 \end{array}$$

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

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

~~$$a_{23} = \frac{F_{23}}{m} = (E_2 + E_3) \cdot \frac{q}{m} =$$~~

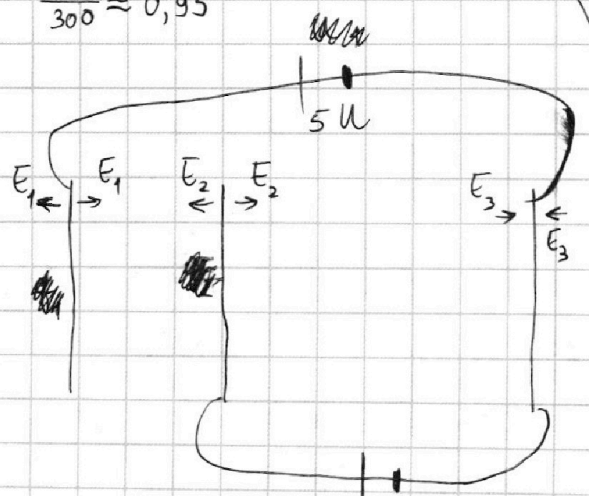
~~$$= \frac{u}{d} \cdot \frac{q}{m}$$~~

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

~~$$K_3 - K_2 = A_{23} = F_{23} d = \frac{u q}{d}$$~~

~~$$E_1 + E_2 - E_3 = E_1 + E_1 + \frac{12u}{d} + E_1 + \frac{13u}{d} =$$~~

~~$$= 3E_1 + \frac{25u}{d}$$~~



$$\frac{3L \cdot \left(\frac{2}{7} \frac{E}{R}\right)^2}{2} + \frac{L \cdot \left(\frac{1}{7} \frac{E}{R}\right)^2}{2} + A_E =$$

$$= \frac{2L \cdot \left(\frac{E}{R}\right)^2}{2}$$

$$A_E = q E = (q_{2R} + q_{4R} + q_{2L}) E$$

$$(E \cdot d) \cdot q$$

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

$$u = -(E_2 + E_3)d$$

$$\begin{cases} 5 \frac{u}{d} = -\frac{2}{3} E_2 - E_3 - \frac{1}{3} E_1 \\ \frac{u}{d} = -E_2 - E_3 \end{cases}$$

$$\frac{u}{d} = -E_2 - E_3 \Rightarrow E_2 = -E_3 - \frac{u}{d}$$

$$E_2 = E_1 + \frac{12u}{d}$$

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

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

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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

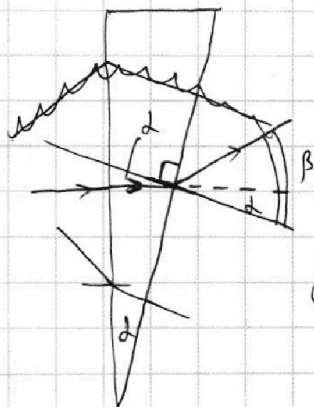
$$I = \frac{E}{R + \frac{4R \cdot 2R}{4R + 2R}} = \frac{E}{R + \frac{4}{3}R} = \frac{E}{R} \cdot \frac{3}{7}$$

$$I_{20} = \frac{1}{3} I = \frac{E}{R} \cdot \frac{1}{7}$$

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

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

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

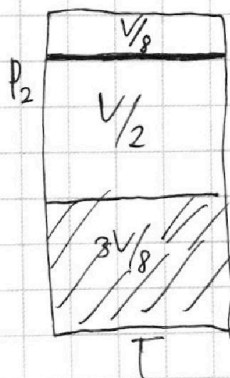
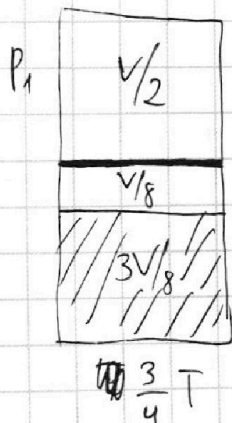


$$n_2 \sin \alpha = \sin \beta$$

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

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

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



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

$$P_2 \frac{V}{8} = J_{1H} R \left(\frac{3}{4} T \right)$$

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

~~$J_{2H} - J_{1H} = k P_1 \left(\frac{3V}{8} \right)$~~

~~$J_{2H} - J_{1H} = \frac{1}{16} - \frac{1}{4} = -\frac{3}{16}$~~

~~$\frac{15}{4} \cdot \frac{P_1 V}{2} = k P_1 \left(\frac{3V}{8} \right)$~~

$$\frac{4}{20 - 3 \cdot 0,6 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^3} = \frac{4}{20 - 9 \cdot 0,6} = \frac{40}{200 - 54} = \frac{40}{146} = \frac{20}{73}$$

$$\frac{P_1}{P_2} \cdot \frac{1/2}{1/8} = \frac{3}{4} \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{3}{16}$$

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

$$P_2 \frac{V}{8} = J_{1B} R T \Rightarrow \frac{P_1 V}{2} = \frac{1}{4} P_2 R T$$

$$P_2 \frac{V}{2} = J_{2H} R T$$

$$J_{2H} - J_{1H} = k P_1 \left(\frac{3V}{8} \right)$$

$$\frac{P_2 V/2}{RT} - \frac{P_1 V/8}{R \cdot T} = k P_1 \left(\frac{3V}{8} \right)$$

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

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