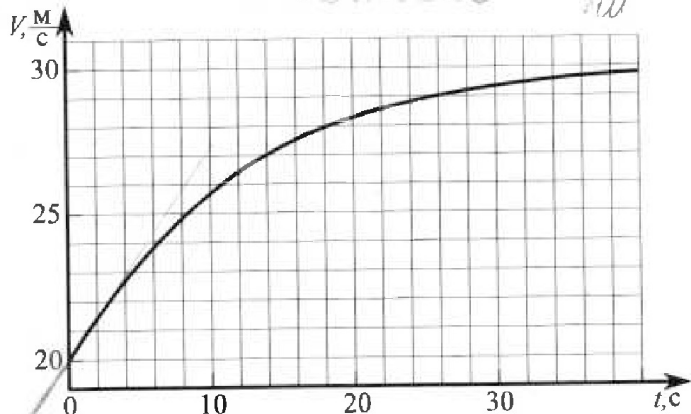


Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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. $5 \frac{m}{s^2}$

2) Найти силу сопротивления движению F_0 в начале разгона. $F_0 = 100$ Н

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 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 объем $3V/8$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 4T_0/3 = 373$ К. Установившийся объем его верхней части стал равен $V/8$.

По закону Генри, при заданной температуре количество Δn растворённого газа в объеме жидкости $\propto$ пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta n = kpV$. Объем 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 объема жидкости в процессе нагревания пренебречь. Все газы считать идеальными.

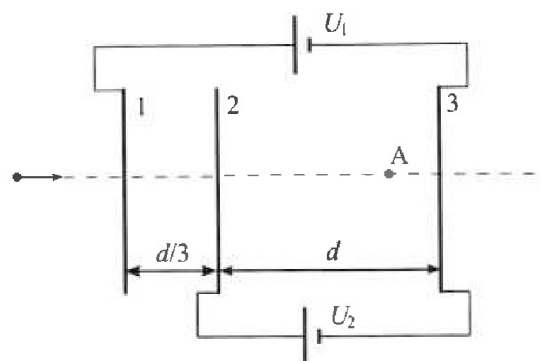
1) Найти отношение количеств вещества в газообразном состоянии в верхней и нижней частях до нагревания.
2) О предлите начальное давление в сосуде P_0 . Ответ выразить через $P_{\text{атм}}$ (нормальное атмосферное давление) с числовым коэффициентом в виде обыкновенной дроби.

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.





Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 11-04

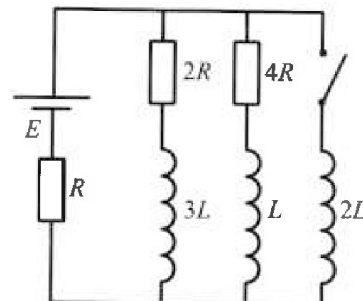
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



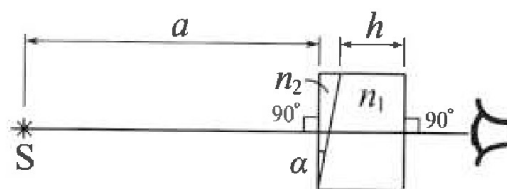
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 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) К 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 $n_v = 1,0$. 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 $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,7$, 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.



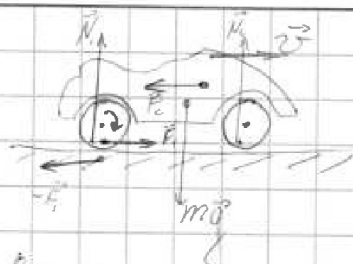
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



Задача 1

Пас-ая к графику $v(t)$ - $v = a \cdot t$ -
- ускорение в дан. момент t

$$\Rightarrow \text{в начале разгона } a_0 = \frac{dv}{dt} = \frac{20}{2} = 10 \text{ м/с}^2$$

Ответ: $a_0 \approx \frac{3}{4} \text{ м/с}^2 \approx 0,75 \text{ м/с}^2$ $v_0 \approx 20 \text{ м/с}$ - нач. скорость

В конце F_0 вырывается из-за v и константы - N (мощность двигателя)

$$\Rightarrow v_{\text{кон}} = \text{const} \Rightarrow \vec{a} = 0$$

$$\Rightarrow A_{\text{век}} - A_{\text{потери}} = 0 : dt \quad A_{\text{век}} = N \frac{dt}{dx} \quad A_{\text{потери}} = F_k \frac{dx}{dt}$$

$$\Rightarrow N - F_k \frac{dx}{dt} = 0 \quad N = F_k v_k \quad v_k - \text{конечная} \approx 30 \text{ м/с}$$

$$\Rightarrow N \approx 6000 \text{ Вт}$$

Рассм. измен. dt от начала и конца: $W_0 = m \frac{v_0^2}{2}$ $W_1 = m \frac{v_1^2}{2}$

$$A = N dt - F_0 dx \quad W_1 - W_0 = A \Rightarrow \frac{m}{2} (v_1^2 - v_0^2) = N dt - F_0 dx : dt$$

$$dt \rightarrow 0 \Rightarrow v_1 - v_0 = \frac{dv}{dt} = a_0; \quad v_1 \approx v_0, \quad \frac{dx}{dt} \approx v_0$$

$$\Rightarrow N - F_0 = m a_0 \quad F_0 = \frac{N}{v_0} - m a_0 \approx 120 \text{ Н}$$

Ответ:

$F_0 v_0$ - мощность потерь в начале

Ответ: $\frac{F_0 v_0}{N} = \frac{120 \cdot 20}{6000} = \frac{2}{5} \approx 40\%$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

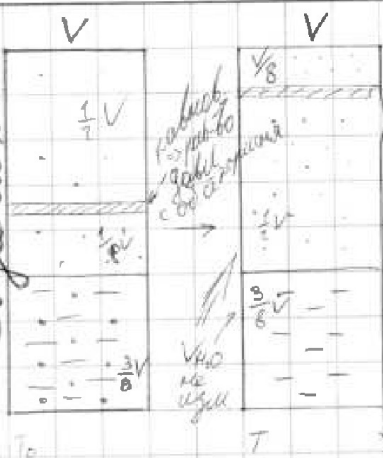
1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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



Задача 2



V_1 - кол-во CO_2 в верхн. ч.; V_1 - в 10 объемах
 V_2 - кол-во CO_2 в нижн. ч.; V_2 - в 10 объемах
 H_2O

$$T_0, \text{ верхн. ч.}: \frac{P_0 V_1}{T_0 R} = \nu_1$$

$$T_0, \text{ нижн. ч.}: \frac{P_0 V_2}{T_0 R} + k P_0 \frac{3}{8} V = \nu_2$$

$$\frac{\nu_2}{\nu_1} = \frac{P_0 V_2 + k P_0 \frac{3}{8} V T_0 R}{P_0 V_1} \quad V_1 + V_2 + \frac{3}{8} V = V$$

P_1 - газ. да в верхн. ч. (T)
 ν_B - кол-во исп-ся H_2O

$$T, \text{ верхн. ч.}: P_1 = \frac{\nu_1 R T}{V_1}$$

$$T, \text{ нижн. ч.}: P_1 = \frac{\nu_2 R T}{V_2} + \frac{\nu_B R T}{\frac{3}{8} V} \Rightarrow 4 \nu_1 = \nu_2 + \nu_B$$

Т.к. $T \approx T_{\text{нас. H}_2\text{O}}$, т.е. $P_{\text{до}}$ - парциальное $\approx P_{\text{нат}} \approx 100 \text{ нПа} = P_{\text{нас. H}_2\text{O}} = P_A$

$$\Rightarrow \frac{P_{\text{до}} V_1}{T} = \nu_B R \quad \nu_B = \frac{P_A V}{2 T_0 R} = \frac{\nu_B R T}{\frac{3}{8} V} = \frac{P_A}{2}$$

$$\nu_2 = \frac{1}{8} V \quad \nu_1 = \frac{1}{2} V \Rightarrow \frac{\nu_2}{\nu_1} = \frac{\frac{1}{8} V + k \frac{3}{8} V R \frac{3}{8} T}{\frac{1}{2} V} = \frac{1}{4} + \frac{9}{16} k R T =$$

$$\frac{\nu_2}{\nu_1} = \frac{1}{4} + \frac{9}{16} \cdot 0.063 = \frac{1}{4} + \frac{2481}{8 \cdot 10} \approx 2 \approx \frac{5}{4} \quad \nu_2 = 2 \nu_1 \quad \nu_1 = \frac{\nu_B}{4-2}$$

$$\Rightarrow P_0 = \frac{\nu_B}{4-2} \frac{T_0 R}{\frac{1}{2} V} = \frac{\nu_B R}{4-2} \cdot \frac{3}{\frac{1}{2} V} = \frac{3}{4-2} \cdot \frac{P_A}{2 \cdot \frac{1}{8}}$$

$$P_0 = \frac{3}{16-42} P_A \approx \frac{3}{11} P_A$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

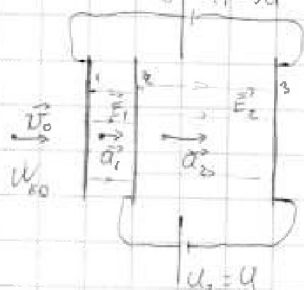
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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



Задача 3



$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ - потенциалы пластин 1, 2, 3

* Возьмем φ_2 за 0 $\varphi_3 = 0 \Rightarrow \varphi_2 = U, \varphi_1 = 5U$

$$E_{смешанная} = \frac{q_1}{2\epsilon_0} + \frac{q_2}{2\epsilon_0} + \frac{q_3}{2\epsilon_0} = 0, \text{ т.к. } q_1 + q_2 + q_3 = 0,$$

т.к. измач-но система не имеет заряда

$\Rightarrow$ смещать q будет без $\vec{a}$

$$W_{ko} = m \frac{v_0^2}{2}$$

т.к. 8 разов пластин. $\Rightarrow d$, то поле внутри м. считать однород.

$$\Rightarrow E_1 \cdot d = \varphi_1 - \varphi_2 = 4U \Rightarrow E_1 = \frac{4U}{d} \quad E_2 d = \varphi_2 - \varphi_3 = U \quad E_2 = \frac{U}{d}$$

$$\Rightarrow m \vec{a}_1 = q \vec{E}_1 \quad a_1 = \frac{q}{m} \frac{4U}{d} \quad m \vec{a}_2 = \frac{q}{m} \vec{E}_2 \quad \text{Ответ: } a_2 = \frac{qU}{md}$$

$A_{12} = \frac{1}{2} 4Uq$ - работа сист. по перемещению заряда от 1 к 2

$A_{23} = Uq$ - от 2 к 3

$$W_1 = W_{ko}$$

$$W_2 = W_{ko} + A_{12}$$

$$W_3 = W_{ko} + A_{12} + A_{23}$$

- значит не нужно прироста скорости

$$\Rightarrow W_3 - W_2 = A_{23} = Uq \quad \text{Ответ}$$

$$W_A = m \frac{v_A^2}{2} = W_{ko} + A_{12} + A_{23}$$

$$A_{12} = q E_1 \frac{3}{4} d = \frac{3}{4} 4Uq$$

$$\Rightarrow m \frac{v_A^2}{2} = m \frac{v_0^2}{2} + 9 \frac{3}{4} Uq \Rightarrow v_A = \sqrt{v_0^2 + \frac{19}{2} \frac{Uq}{m}} \quad \text{Ответ}$$

* Сетки можно считать как бес-ые зур-ые пластины,

т.к. $S \gg d$. заряд равномерно распределен по S

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

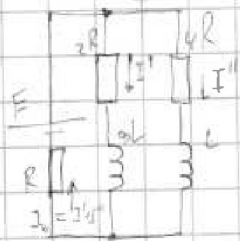
МФТИ

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



Задача 4

1) цепи установившиеся $\Rightarrow$ ток - const



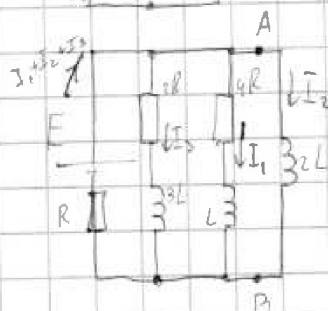
$$\Rightarrow U_{3L} = 0; U_L = 0$$

по 3-ему закону Кирхгофа: $2RI' = 4RI'' \quad I' = 2I''$

$$E = 4RI'' + R(I' + I'') = 7RI'' \Rightarrow$$

$$I_0 = \frac{2}{7} \frac{E}{R}$$

$$\text{ответ: } I_0 = I'' = \frac{E}{7R}$$



три подключенных катушки $2L$ (начало
мг. тем падает $U_{AB} = E - I \cdot R = \frac{4}{7} E$
ток не успев измениться

$$U_{AB} = 2LI_2$$

$$\text{2) ответ: } I_2 = \frac{2}{7} \frac{E}{L}$$

$$U_{AB} = 4RI_1 + LI_1 = 2LI_2 \quad \text{или } I = \frac{dI_2}{dt}$$

$$\Rightarrow 4R \frac{dI_1}{dt} + L \frac{dI_1}{dt} = 2L \frac{dI_2}{dt} \quad \text{или} \quad 4R \Delta I_1 + L \Delta I_1 = 2L \Delta I_2$$

$$\Delta I_2 = I_{\text{уст.}} - I_{\text{нач}} = \frac{E}{R} - 0$$

$$\Delta I_1 = 0 - I'' = -\frac{1}{7} \frac{E}{R}$$

$$\Rightarrow \Delta I_1 = \frac{L}{4R} \left(2 \frac{E}{R} + \frac{1}{7} \frac{E}{R} \right) = \frac{15}{28} \frac{EL}{R^2} \quad \text{— ответ 3)}$$

т.к. когда режим установ.
 $U_L = 0 \quad U_{AB} = 0 \Rightarrow$ ток через $2R$
не пойдет $\Rightarrow I_{\text{уст.}} = \frac{E}{R}$

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!



Задача 5



* 1) Луч падает на границу раздела сред под углом α к нормали. На расстоянии z от границы падает под углом β .

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} \quad \alpha - \text{мал} \Rightarrow \sin \alpha \approx \alpha$$

$$\Rightarrow \sin \beta \approx \frac{n_1}{n_2} \alpha \approx 0.17 - \text{мал} \Rightarrow \beta \approx \sin \beta$$

$$\Rightarrow \beta \approx 0.17 \text{ рад}$$

$$\Rightarrow \theta = \beta - \alpha \approx (\text{углы откл-я}) \approx 0.07 \text{ рад} - \text{ответ}$$

Если луч падает на пов-ть 2 под пр. углом, то он откл-ся на $\alpha \Rightarrow \frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \Rightarrow \theta = \beta = 0.17 \text{ рад}$

$$\alpha - \text{мал} \Rightarrow \sin \alpha \approx \alpha \Rightarrow \frac{d}{a} \approx \alpha \quad d \approx 7 \text{ см}$$

Найдём на каком расстоянии от А такой луч падает на пов-ть 2. Координаты (x, y) - координаты S' - изобр.



расстояние

$$x \tan \theta + x \tan \alpha = d \quad \tan \theta \approx \theta$$

$$\Rightarrow d = x(\beta - \alpha + \alpha) \quad x = \frac{d}{\beta} = 100 \text{ см}$$

$$\Rightarrow y = x \tan \theta \approx 7 \text{ см} \Rightarrow \text{расст по } x = 0 \text{ по } y = 7 \text{ см}$$

$$\Rightarrow \text{ответ} 7 \text{ см}$$

* $n_1 = n_2^{-1} \rightarrow$ не вл-т на ход луча



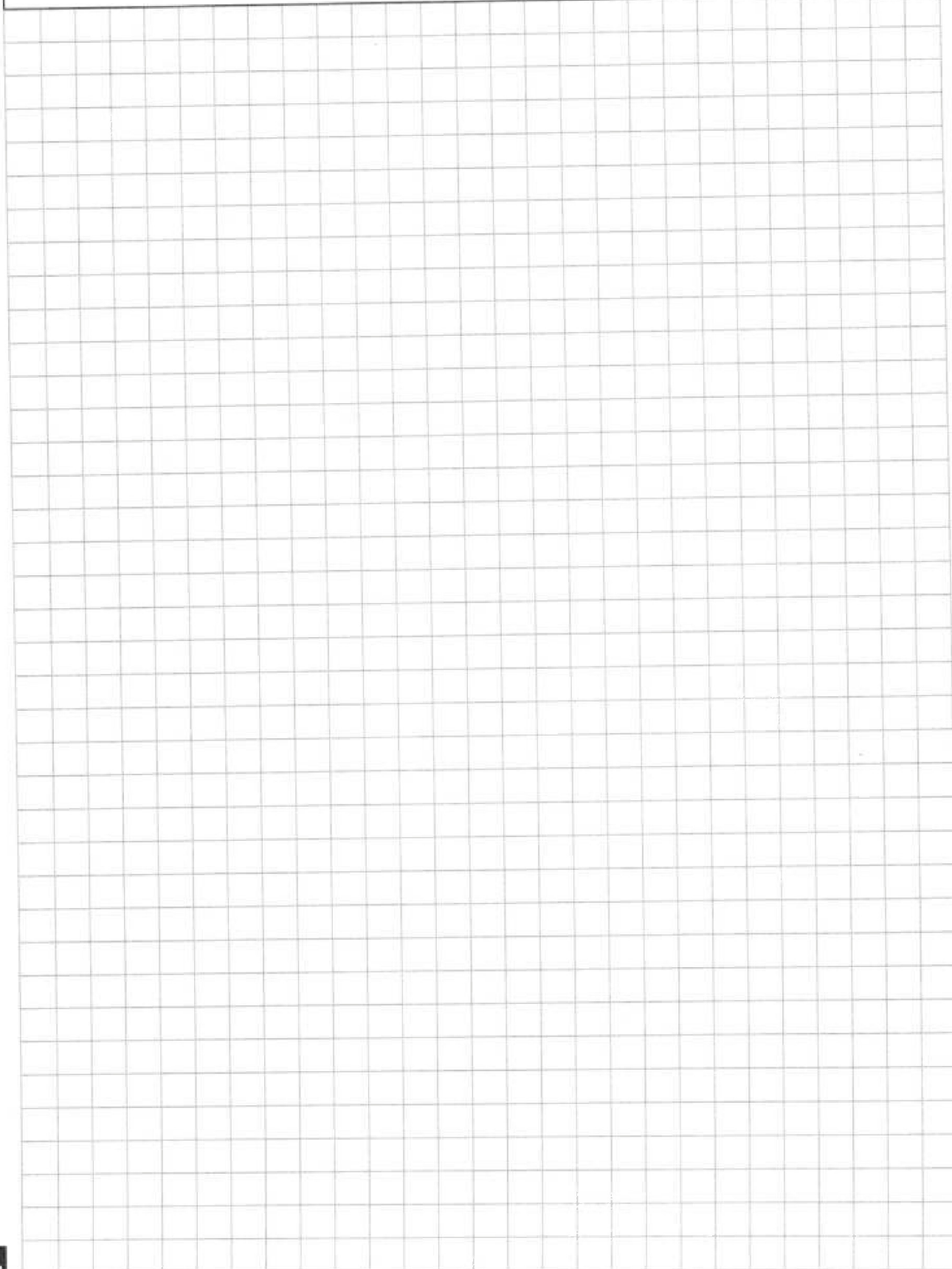
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!





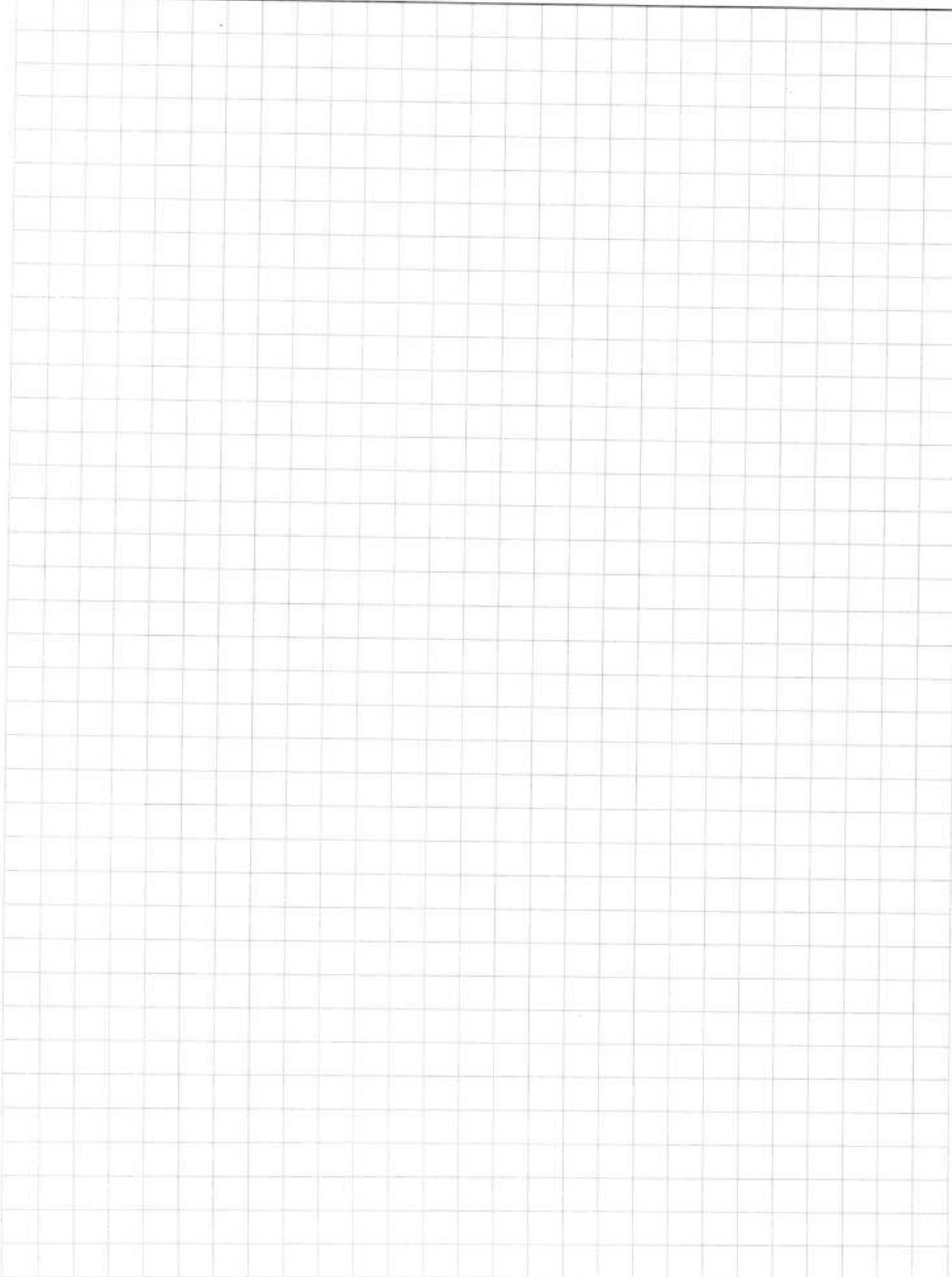
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$\frac{V_2 + V_0}{4} = \frac{P_0 V_1}{T_0 R}$$

$$P_0 R V_1 = \frac{V_1 T_0 R}{P_0} \quad V_2 = \left(V_1 - K P_0 \frac{3}{8} V \right) \frac{R T_0}{P_0}$$

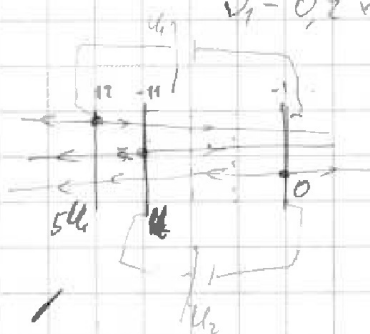
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{V_1}{V_2} \cdot \frac{P_0}{P_0} = \frac{V_2}{V_1}$$

$$V_1 + V_2 = \frac{R T_0}{P_0} \left(V_1 + V_2 - K P_0 \frac{3}{8} V \right) = \frac{5}{8} V$$

$$R T_0 (V_1 + V_2) = \frac{P_0 V}{8} (5 + 3K)$$

$$V_1 + V_2 = \frac{P_0 V}{8 R T_0} (5 + 3K) = 5 V_1 - V_3$$

$$V_1 = 0,2 V_3 + \frac{P_0 V}{8 R T_0} (1 + 0,6K) = \frac{P_0 V_1}{T_0 R} \quad V_1 = \frac{0,2 V_3 T_0 R}{P_0} + \frac{V (1 + 0,6K)}{8}$$



$$\frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} \cdot \frac{4}{3} d + \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0} \cdot \frac{2}{3} d - \frac{\sigma_3}{2\epsilon_0} \cdot \frac{4}{3} d = 11$$

$$2\sigma_1 + \sigma_2 - 2\sigma_3 = 15 \frac{\epsilon_0}{d}$$

$$\frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} \cdot d + \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0} d - \frac{\sigma_3}{2\epsilon_0} d = 11$$

$$\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 0$$

$$\sigma_1 + \sigma_2 - \sigma_3 = 22 \frac{\epsilon_0}{d}$$

$$\sigma_1 + \sigma_2 = 11 \frac{\epsilon_0}{d}$$

$$\sigma_2 = 11 \frac{\epsilon_0}{d} - \sigma_1$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = 13 \frac{\epsilon_0}{d}$$

$$\sigma_3 = \sigma_1 - 13 \frac{\epsilon_0}{d}$$

$$E = \frac{44,3}{d} - \sigma_1 + 11 \frac{\epsilon_0}{d} + 26 \frac{\epsilon_0}{d} = 15 \frac{\epsilon_0}{d}$$

$$\sigma_1 = 12 \frac{\epsilon_0}{d}$$

$$\sigma_2 = -11 \frac{\epsilon_0}{d}$$

$$\sigma_3 = -11 \frac{\epsilon_0}{d}$$

$$a = \frac{Eq}{m}$$

$$a_1 = \frac{12 \frac{\epsilon_0 q}{d}}{m}$$

$$a_2 = \frac{11 \frac{\epsilon_0 q}{d}}{m}$$

$$W_{k_2} =$$

$$\begin{array}{r} 50 \overline{) 46} \\ 46 \quad \overline{) 0,833} \\ 20 \\ 18 \\ 20 \end{array}$$

6 мект.

$$\frac{3}{4}$$

$$\frac{5}{6}$$

$$\frac{9}{12}$$

$$\frac{10}{24}$$

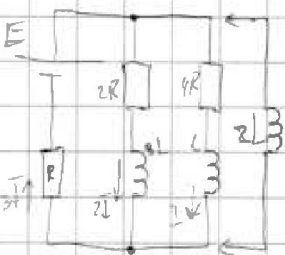
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



$$IR = E \quad I = \frac{E}{IR} \quad U_0 = E - \frac{3}{4} \frac{E}{R} R = \frac{1}{4} E$$

$$2L \dot{I}_2 = \frac{1}{4} E \quad \dot{I}_2 = \frac{1}{8} \frac{E}{L}$$

$$4RI_1 = 4L \dot{I}_1$$

I_k

$$E - I_0 R = 2R I_1 + 3L \dot{I}_1 = 4R I_1 + L \dot{I}_1 = 2L \dot{I}_2$$

$$I_0 = I_1 + I_2 + I_3$$

$$4R dq_1 + L dI_1 = 2L dI_2$$

$$4R dq_1 + L(0 - I) = 2L(I_k - 0)$$

$$dq_1 = L \frac{2I_k + I}{4R}$$



$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha}$$

$$0.17 = 0.17 = \sin \beta$$

$$\beta \approx 0.17 \text{ рад}$$

$$\beta - \alpha \approx 0.17 \text{ рад}$$

$$\frac{d}{a} = \beta \quad d = 100\beta = 17 \text{ см}$$

$$d = x \tan \beta + x \tan (\beta - \alpha) = x(2\beta - \alpha) = 0.24x$$

$$x = \frac{1700}{24} \approx 68 \text{ см} \quad y = x \tan (\beta - \alpha) \approx 40 \text{ см}$$

$$1.35$$

$$1.65$$

$$0.675$$

$$0.825$$

$$100 \frac{17 + 0.17}{17}$$

$$0.6 \cdot 3$$