

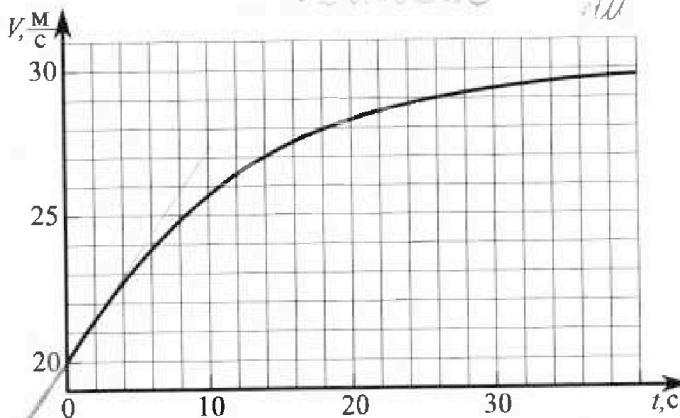
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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. $5/2 \text{ м/с}^2$

2) Найти силу сопротивления движению F_0 в начале разгона. $F_0 = \frac{P}{v} - ma = 100 \text{ Н}$

3) Какая часть мощности, передаваемой на ведущее колесо, идет на преодоление силы сопротивления движению в начале разгона?

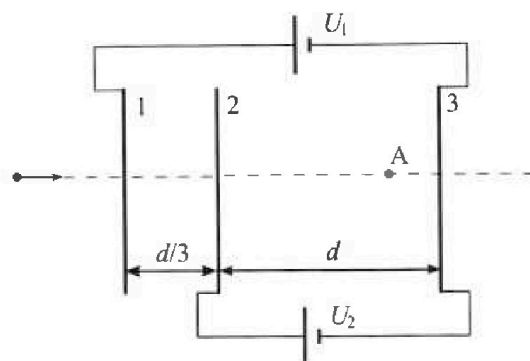
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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 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 Δv растворённого газа в объёме жидкости и пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta v = kpw$. 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.

- 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 $P_{\text{атм}}$ (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

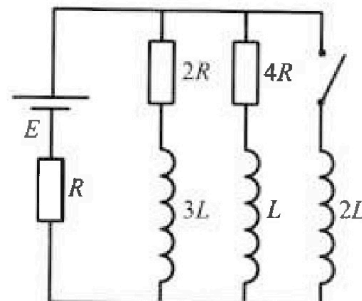
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



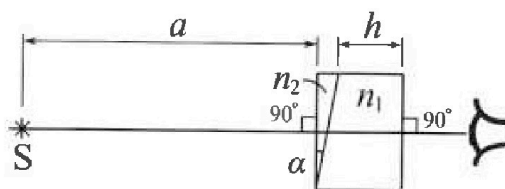
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 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.



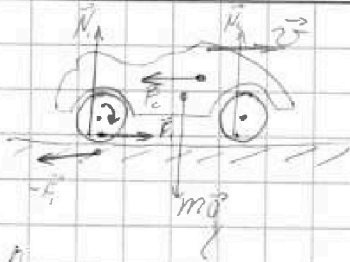
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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

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

\Rightarrow в начале разгона $a_0 = \frac{v_0}{\Delta t} = \frac{20}{25} = 0,8 \text{ м/с}^2$

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

В конце F_0 выростает из-за ↑ v и коллинеи-т N (использовать глобальную)

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

\Rightarrow Аэрум - Аэроупа = 0 : dt Аэрум = $N \frac{dt}{dx}$ Аэроупа = $F_0 \frac{dx}{dt}$

$\Rightarrow N - F_0 \frac{dx}{dt} = 0$ $N = F_0 v_{\text{конц}}$ $v_{\text{конц}} \approx 30 \text{ м/с}$

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

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

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

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

$\Rightarrow \frac{1}{2} m a_0 \cdot 2v_0 = N - F_0 v_0$

$\Rightarrow N = \frac{F_0 v_0}{a_0} + m a_0 = \frac{120 \cdot 20}{0,8} + 120 \cdot 0,8 \approx 3000 + 96 = 3096 \text{ Вт}$

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_2 - кол-во CO_2 в нижн. ч. V_2 - кол-во смеси из CO_2 и H_2O

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

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

$\frac{\nu_2}{\nu_1} = \frac{P_0 V_2 + k P_0 \frac{3}{8} V T_0 R}{P_0 V_1}$ $V_1 + V_2 + \frac{3}{8} V = V$
 $\nu_1 + \nu_2 = \frac{5}{8} V$

P_1 - газ. давл. во втором сост. (T)
 ν_B - кол-во исп-ся H_2O

T , верхн. ч. $P_1 = \frac{\nu_1 R T}{V}$
 T , нижн. ч.: $P_1 = \frac{2 \nu_2 R T}{V} + \frac{2 \nu_B R T}{V} \Rightarrow 4 \nu_1 = \nu_2 + \nu_B$

Т.к. $T \approx T_{\text{нас. H}_2\text{O}}$, то $P_{\text{H}_2\text{O}}$ - парциальное $\approx P_{\text{нат}} \approx 100 \text{ мм рт.ст.} = P_{\text{нас.}} = P_A$

$\Rightarrow \frac{P_{\text{H}_2\text{O}} \nu_B}{T} = \nu_B R$ $\nu_B = \frac{P_A V}{2 T_0 R} = \frac{\nu_B R T}{2 T_0 R} = \frac{P_A}{2}$

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

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

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

$P_0 = \frac{3}{16-4} P_A \approx \frac{3}{11} P_A$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

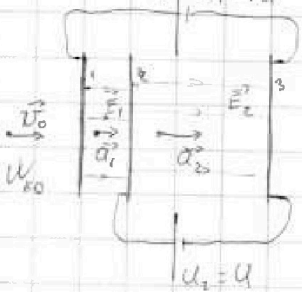
МФТИ

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 $\varphi_3 = 0 \Rightarrow \varphi_2 = U, \varphi_3 = 5U$

Есмауртти $= \frac{q_1}{25\epsilon_0} + \frac{q_2}{25\epsilon_0} + \frac{q_3}{25\epsilon_0} = 0$, т.к. $q_1 + q_2 + q_3 = 0$,

т.к. измач-но система не имеет заряда

\Rightarrow смауртти q летит без \vec{a}

$W_{k0} = m \frac{v_0^2}{2}$

т.к. δ раздм пластин $\Rightarrow d$, то поле внутри м. считать оуном.

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

$\Rightarrow m \vec{a}_1 = q \vec{E}_1, a_1 = \frac{q}{m} \frac{4}{d} U$; $m \vec{a}_2 = \frac{q}{m} \vec{E}_2$ Ответ: $a_2 = \frac{q \cdot U}{m d}$

$A_{11} = \frac{1}{2} 4Uq$ - работа сис. по цр. направлению, заряда от 1 к 2

$A_{22} = Uq$ - от 2 к 3 $W_1 = W_{k0}$ $W_2 = W_{k0} + A_{11}$ $W_3 = W_{k0} + A_{11} + A_{22}$

- какит-не змудим при прелмне селок

$\Rightarrow W_3 - W_2 = A_{22} = Uq$ - Ответ

$W_A = m \frac{v_A^2}{2} = W_{k0} + A_{11} + A_{22}$

$A_{22} = q E_2 \frac{3}{4} d = \frac{3}{4} Uq$

$\Rightarrow m \frac{v_A^2}{2} = m \frac{v_0^2}{2} + q \frac{3}{4} Uq \Rightarrow v_A = \sqrt{v_0^2 + \frac{12}{m} Uq}$ - Ответ

* Сетки можно считать как беск-ые зур-ые пластинки,

т.к. $\delta \gg d$, 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

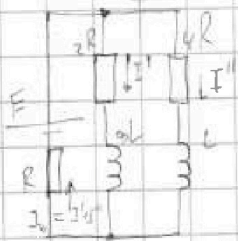
МФТИ

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



Задача 4

1) режим установившийся \Rightarrow ток - const



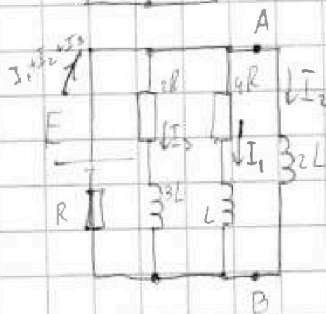
$$\Rightarrow U_{3L} = 0; U_L = 0$$

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

$$E = 4RI'' + R(I' + I'') = 7RI'' \Rightarrow \text{ответ: } I_0 = I' = \frac{E}{7R}$$

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

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



три подключенных катушки 2L в начале
мы имеем падает $U_{AB} = E - I \cdot R = \frac{4}{7} E$
ток не успевает измениться

$$U_{AB} = 2L I_2$$

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

$$U_{AB} = 4R I_1 + L I_1 = 2L I_2 \quad \text{или } I = \frac{dq}{dt}$$

$$\Rightarrow 4R \frac{dq_1}{dt} + L \frac{dI_1}{dt} = 2L \frac{dI_2}{dt} \quad \int \quad 4R q_1 + L \Delta I_1 = 2L \Delta I_2$$

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

- т.к. когда режим установился
 $U_L = 0 \quad U_{AB} = 0 \Rightarrow$ ток через 2R и 4R
не пойдет $\Rightarrow I_{\text{конеч}} = \frac{E}{4R}$

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

$$\Rightarrow \Delta q_1 = \frac{L}{4R} \left(2 \frac{E}{R} + \frac{1}{7} \frac{E}{R} \right) = \frac{15}{28} \frac{EL}{R^2} \quad \text{— ответ 3)$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

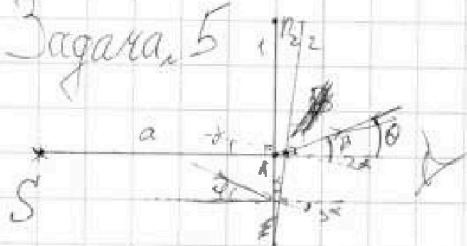
- 1 2 3 4 5 6 7

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) Лучи, падающие на пов-ть 1. На пов-ть 2 они падают под $\delta = 2$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} \quad 2 - \text{мал} \Rightarrow \sin \alpha \approx 2$$

$$\Rightarrow \sin \beta = \frac{n_2}{n_1} \cdot 2 \approx 0,17 - \text{мал} \Rightarrow \beta \approx \sin \beta$$

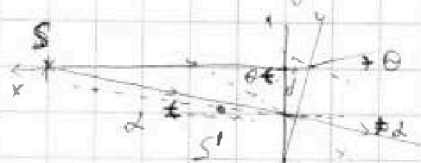
$$\Rightarrow \beta \approx 0,17 \text{ рад}$$

$$\Rightarrow \theta = \beta - 2 \text{ (углы откл-ия)} \approx 0,07 \text{ рад} - \text{ответ 1}$$

Если луч падает на пов-ть 2 под пр. углом, то $\theta = 0$

$$\text{он откл-ия на } d \Rightarrow \frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \Rightarrow \alpha = \beta = 0,17 \text{ рад} - \text{го}$$

Найдем на каком расстоянии от т.А такой луч попадет на пов-ть 2. $\alpha = \beta = 0,17 \text{ рад} \Rightarrow \frac{d}{a} \approx \alpha \Rightarrow d \approx 17 \text{ см}$



таблицы
границы

$$x \tan \theta + x \tan 2 = d \quad y \theta = 0$$

$$\Rightarrow d = x(\beta - 2 + 2) \quad x = \frac{d}{\beta} = 100 \text{ см}$$

$$\Rightarrow y = x \tan \theta \approx 7 \text{ см} \Rightarrow \text{расст по } x = 100 \text{ см}$$

$$\Rightarrow \text{расст по } y = 7 \text{ см}$$

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

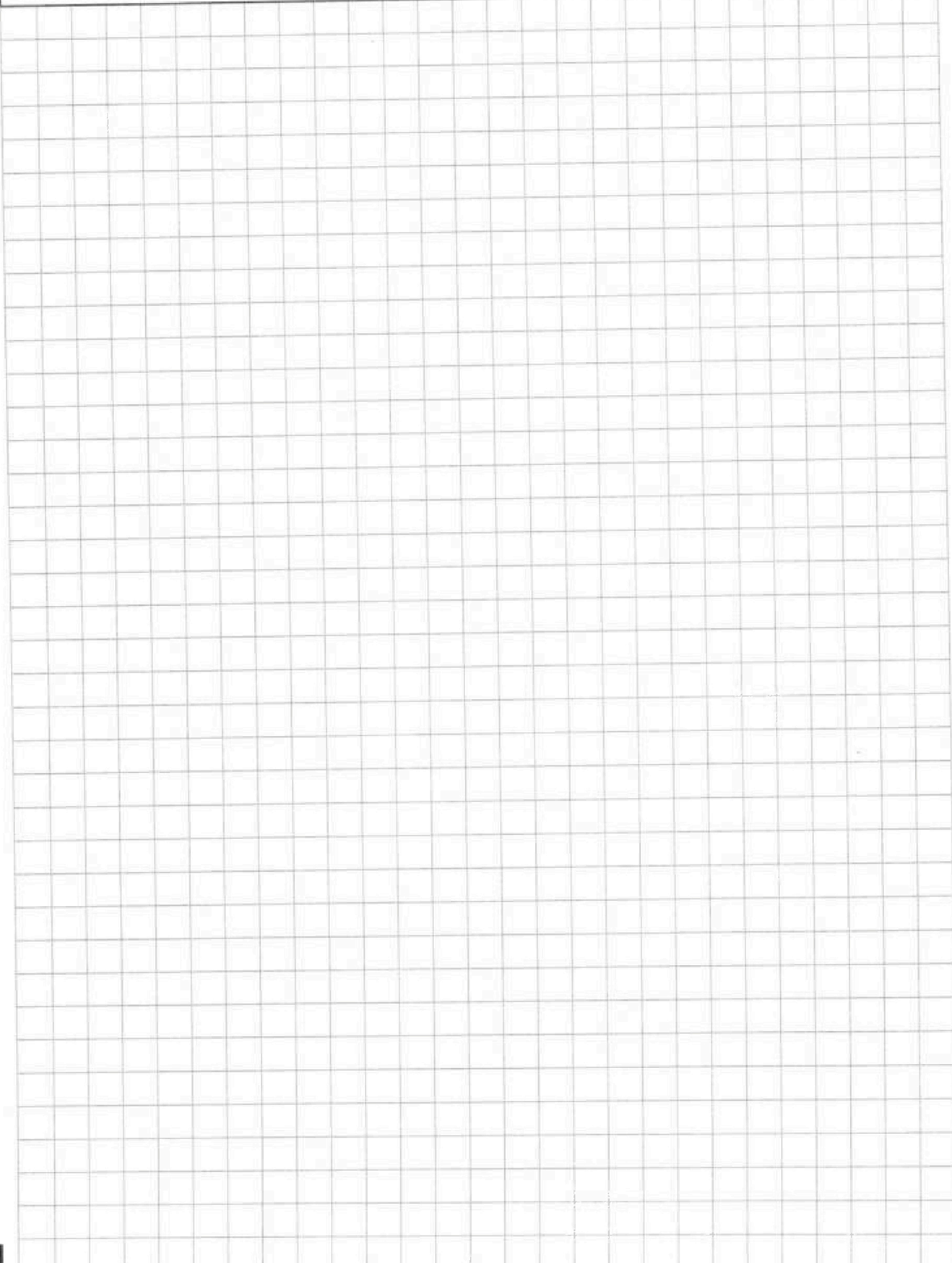


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



1	2	3	4	5	6	7
<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!





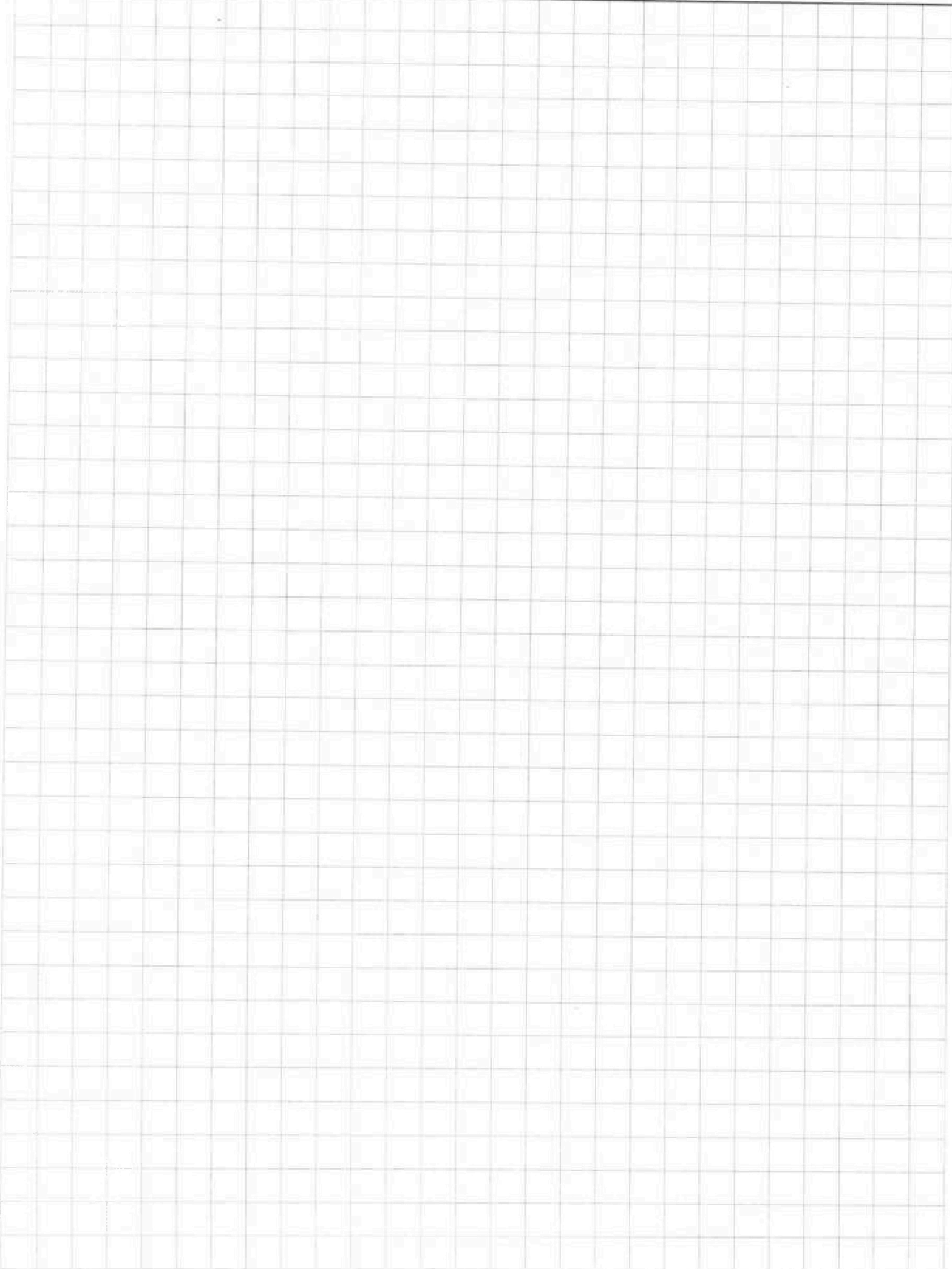
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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



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!



$$\frac{v_2 + v_0}{4} = \frac{P_0 V_1}{T_0 R}$$

$$P_{07} \quad v_1 = \frac{v_1 T_0 R}{P_0} \quad v_2 = \frac{(v_2 - k P_0 \frac{3}{8} V) R T_0}{P_0}$$

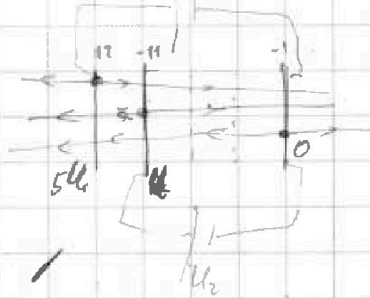
$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{v_1}{v_2} \cdot \frac{P_0}{P_0} = \frac{v_2}{v_1}$$

$$v_1 + v_2 = \frac{R T_0}{P_0} (v_1 + v_2 - k P_0 \frac{3}{8} V) = \frac{5}{8} V$$

$$R T_0 (v_1 + v_2) = \frac{P_0 V}{8} (5 + 3k)$$

$$v_1 + v_2 = \frac{P_0 V}{8 R T_0} (5 + 3k) = 5v_1 - v_3$$

$$v_1 = 0,2 v_3 + \frac{P_0 V}{8 R T_0} (1 + 0,6k) = \frac{P_0 V_1}{T_0 R} \quad v_1 = \frac{0,2 v_3 T_0 R}{P_0} + \frac{V}{8} (1 + 0,6k)$$



$$\frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} \cdot \frac{4}{3} d + \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0} \cdot \frac{2}{3} d - \frac{\sigma_3}{2\epsilon_0} \cdot \frac{4}{3} d = U_1$$

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

$$\frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} \cdot d + \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0} d - \frac{\sigma_3}{2\epsilon_0} d = U_2$$

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

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

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

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

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

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

$$E_1 = \frac{U_1}{d} = -\sigma_1 + U \frac{\epsilon_0}{d} + 20 U \frac{\epsilon_0}{d} = 15 U \frac{\epsilon_0}{d}$$

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

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

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

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

$$a_1 = \frac{12Uq}{md}$$

$$a_2 = \frac{11Uq}{md}$$

$$W_{k_2} =$$

$$\begin{array}{r} 50 \ 16 \\ 46 \ 0,833 \\ \hline 20 \\ 18 \\ \hline 20 \end{array}$$

6 ответ.

3	5	9	10	15
4	6	12		24

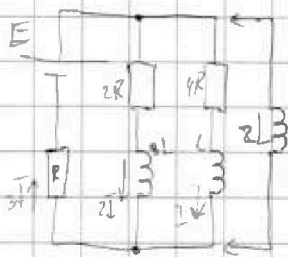
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



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

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

$$4R I_1 = 4L \dot{I}_1 \quad I_k$$

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

$$I_0 = I_1 + I_2 + I_3$$

$$4R dq_1 + L d\dot{I}_1 = 2L d\dot{I}_2$$

$$4R dq_1 + L(0 - \dot{I}_1) = 2L(\dot{I}_k - 0)$$

$$\Delta q_1 = L \frac{2I_k + \dot{I}_1}{4R}$$



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

$$0,17 = 0,17 = \sin \beta$$

$$\beta \approx 0,17 \text{ рад}$$

$$\beta - \alpha \approx 0,17 \text{ рад}$$

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

$$d = x \tan \beta + x \tan(\beta - \alpha) = x(2\beta - \alpha) = 0,24x$$

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

1,35

1,65

0,675

0,825

$$100 \frac{x + 0,1x}{x}$$

$$\frac{0,6 \cdot 3}{100}$$