

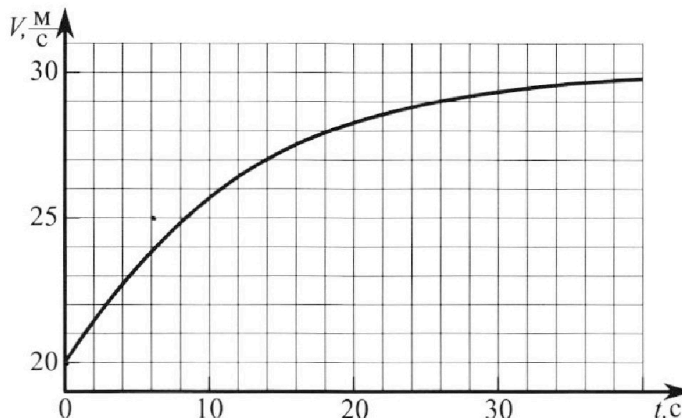
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## 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.

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 точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

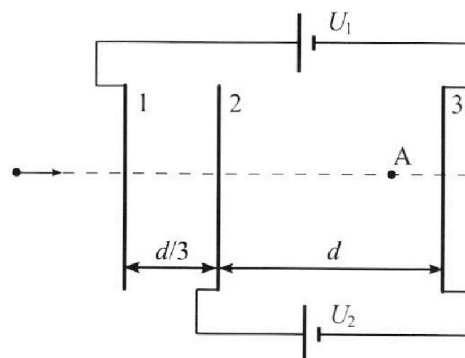
2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объемом  $V$  разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится углекислый газ, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный 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  $\Delta v$  растворённого газа в объёме жидкости  $v$  пропорционально парциальному давлению  $p$  газа:  $\Delta v = kp v$ . Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры  $k \approx 0,6 \cdot 10^{-3}$  моль/(м<sup>3</sup>·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

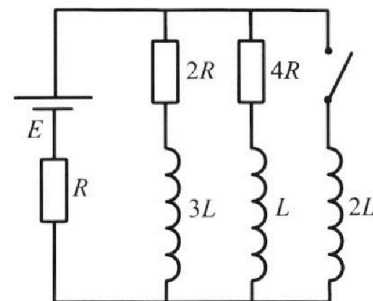
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.



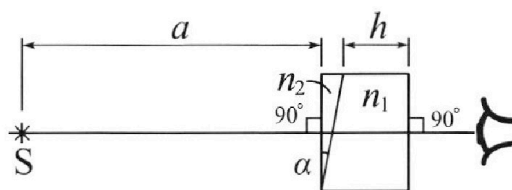
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 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) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением  $4R$  при замкнутом ключе?

Ответы давать с ч ислowymi 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.



- 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!

N1

1) Ускорение мотоцикла есть производная его скорости, и в начале разгона она примерно равна  $\frac{5}{6}$  (м/с<sup>2</sup>)

Ответ:  $\frac{5}{6}$  м/с<sup>2</sup> =  $a_0$

2) Сила, движущая мотоцикл, в каждый малый промежуток времени  $\Delta t$  равна  $F_{\text{дв}} = \frac{P \Delta t}{\Delta s} = \frac{P}{v}$ .  
В конце разгона ускорение мотоцикла равно нулю,  $v_k = 30$  м/с.  
 $F_{\text{дв}}$  - движущая сила в конце

$$\begin{cases} F_k - F_{\text{дв}k} = 0 \\ F_{\text{дв}0} - F_0 = m a_0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} F_k = \frac{P}{v_k} \\ F_0 = \frac{P}{v_0} - m a_0 \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow F_0 = F_k \cdot \frac{v_k}{v_0} - m a_0 = 200 \text{ Н} \cdot \frac{30 \text{ м/с}}{20 \text{ м/с}} - 240 \text{ кг} \cdot \frac{5}{6} \text{ м/с}^2 = 100 \text{ Н}$$

Ответ: 100 Н

3)  $P$  - вся мощность двигателя  
 $P_c$  - на преодоление силы сопротивления ( $F_0$ )

$$P = F_k \cdot v_k$$

$$P_c = F_0 \cdot v_0$$

$$\frac{P_c}{P} = \frac{F_0 \cdot v_0}{F_k \cdot v_k} = \frac{100 \text{ Н} \cdot 20 \text{ м/с}}{200 \text{ Н} \cdot 30 \text{ м/с}} = \frac{1}{3}$$

Ответ:  $P_c = \frac{1}{3} P$

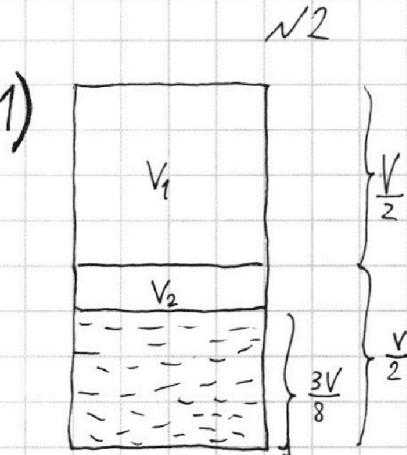
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$V_1 = \frac{1}{2} V$$

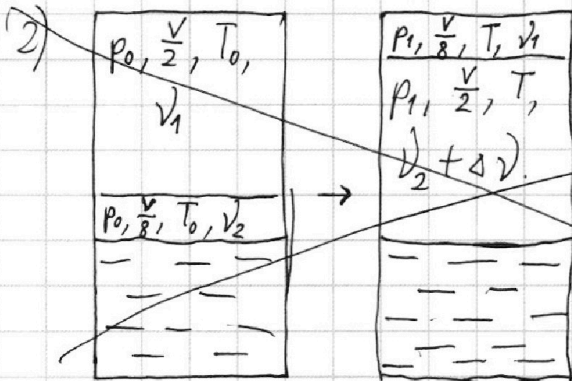
$$V_2 = \frac{1}{2} V - \frac{3}{8} V = \frac{1}{8} V$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{2} V : \frac{1}{8} V = 4$$

~~Решение~~

$$p = \text{const}, \quad T_0 = \text{const} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_1}{V_2} = 4$$

Ответ:  $\frac{V_1}{V_2} = 4$



$$p_0 \cdot \frac{V}{2} = \nu_1 R T_0$$

$$p_1 \cdot \frac{V}{8} = \nu_1 \cdot R T$$

$$p_0 \cdot \frac{V}{8} = \nu_2 R T_0$$

$$p_1 \cdot \frac{V}{2} = (\nu_2 + \Delta \nu) R T$$

$$T = \frac{4}{3} T_0$$

$$\nu_1 = 4 \nu_2$$

$$\Delta \nu = k \cdot p_0 \cdot \frac{3V}{8}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} p_1 \cdot \frac{V}{8} = \nu_1 R \cdot \frac{4}{3} T_0 = \frac{4}{3} p_0 \cdot \frac{V}{2} \\ p_1 \cdot \frac{V}{2} = \left( \nu_2 + \frac{3V p_0 k}{8} \right) \cdot R \cdot \frac{4}{3} T_0 \end{cases}$$

$$p_1 = 8 \cdot \frac{4}{3} \cdot p_0 \cdot \frac{1}{2} = \frac{16}{3} p_0$$

$$\nu_1 = \frac{16}{3} p_0 \cdot \frac{V}{8} \cdot \frac{3}{4 T_0 R} = \frac{p_0 V}{2 T_0 R}$$

$$\frac{16}{3} p_0 \cdot \frac{V}{2} = \left( \frac{p_0 V}{8 T_0 R} + \frac{3 p_0 V k}{8} \right) \cdot R \cdot \frac{4}{3} T_0 \Leftrightarrow 8 p_0 = \frac{p_0}{8} \cdot R \cdot 4 T_0 \cdot \left( \frac{1}{T_0 R} + \frac{3k}{8} \right)$$

~~ма~~

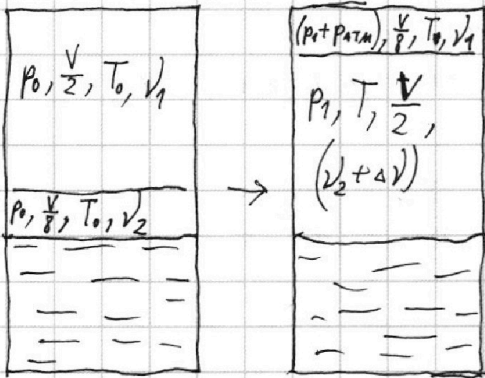


1  2  3  4  5  6  7

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



2) <sup>№2</sup>



Заметим, что давление  
водяного пара при  $T$  равно  
атмосферному давлению.  
Поэтому давление углекислого  
газа после нагревания ниже  
нормы будет на  $p_{\text{атм}}$  меньше, чем  
выше нормы

$$\begin{cases} p_0 \cdot \frac{V}{2} = \frac{1}{2} p_0 V_0 = \frac{1}{2} R T_0 \\ p_0 \cdot \frac{V}{8} = \frac{1}{8} p_0 V_0 = \frac{1}{8} R T_0 \\ (p_1 + p_{\text{атм}}) \cdot \frac{V}{8} = \frac{1}{8} R T \\ p_1 \cdot \frac{V}{2} = \frac{1}{2} (V_2 + \Delta V) R T \\ \Delta V = \frac{3k p_0 V}{8} \\ \frac{1}{2} = 4 \cdot \frac{1}{8} \\ T = \frac{4}{3} T_0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} p_0 V = 8 \cdot \frac{1}{2} R T_0 \\ p_1 V = 2(V_2 + \Delta V) \cdot \frac{4}{3} T_0 \\ p_1 V + p_{\text{атм}} V = 32 \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{2} R T_0 \\ \Delta V = p_0 V \cdot \frac{3k}{8} \end{cases}$$

$$\begin{cases} p_1 + p_{\text{атм}} = \frac{16}{3} p_0 \\ p_1 V = \frac{p_0}{3} \cdot (V_2 + \Delta V) \Leftrightarrow \\ \Delta V = p_0 V \cdot \frac{3k}{8} \end{cases}$$

$$R T_0 = \frac{3}{4} R T = \frac{9}{4} \left( \frac{\text{дж}}{\text{моль}} \right)$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} p_1 V = \frac{p_0 V}{3} + p_0 V \cdot \frac{3k R T_0 \cdot 8}{8} \\ p_1 = \frac{16}{3} p_0 - p_{\text{атм}} \end{cases} \Leftrightarrow \frac{16}{3} p_0 - p_{\text{атм}} = \frac{p_0}{3} + p_0 \cdot k R T_0$$

$$p_{\text{атм}} = 5 p_0 - p_0 \cdot k R T_0 = p_0 \cdot (5 - k R T_0)$$

$$p_0 = \frac{p_{\text{атм}}}{5 - k R T_0}$$

$$p_0 = \frac{1}{5 - k R T_0} \cdot p_{\text{атм}} = \frac{20}{73} p_{\text{атм}}$$

Ответ:  $p_0 = \frac{20}{73} p_{\text{атм}}$

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!

№3

- 1)  $A_{23}$  - работа при пролете между 2 и 3  
 $F_{23}$  - сила, действ. на частицу в это время

$$\begin{cases} A_{23} = U_2 \cdot q \\ A_{23} = F_{23} \cdot d \\ F_{23} = m a_{23} \end{cases} \quad a_{23} = \frac{F_{23}}{m} = \frac{1}{m} \cdot \frac{A_{23}}{d} = \frac{U_2 q}{m d} = \frac{U q}{m d}$$

2)  $K_3 - K_2 = A_{23} = U_2 q = U q$

- 3)  $A_{13}$  - работа при пролете от 1 до 3

$$K_3 - K_1 = A_{13}$$

$$A_{13} = U_1 q$$

$v_1 \approx v_0$   
малым  
рефлекс  
клетки

$$\frac{m}{2} \cdot (v_3^2 - v_1^2) = U_2 q$$

$$v_3^2 = v_0^2 + \frac{2U_2 q}{m}$$

$$v_3 = \sqrt{v_0^2 + \frac{2U_2 q}{m}}$$

$$s_{A3} = \frac{d}{4}$$

$$v_3 - v_A = a_{23} \cdot t$$

$$\frac{d}{4} = \frac{a_{23} \cdot t^2}{2}$$

$$\Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{2} = \frac{(v_3 - v_A)^2}{a_{23}} \\ \Leftrightarrow v_A = v_3 - \sqrt{\frac{a_{23} d}{2}} = v_3 - \sqrt{\frac{U q}{2m}} = \end{array} \right.$$

$$= \sqrt{v_0^2 + \frac{2U_2 q}{m}} - \sqrt{\frac{U q}{2m}} = \sqrt{v_0^2 + \frac{10U q}{m}} - \sqrt{\frac{U q}{2m}}$$

Ответ:  $v_A = \sqrt{v_0^2 + \frac{10U q}{m}} - \sqrt{\frac{U q}{2m}}$



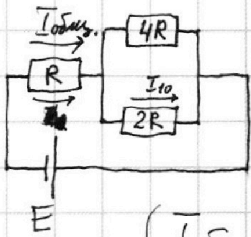
1  2  3  4  5  6  7

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



№4

1) При установившемся режиме катушки не влияют на токи,  
и схему можно представить так:



$$R_{\text{общ.}} = R + \frac{4R \cdot 2R}{2R + 4R} = \frac{7}{3}R$$

$$I_{\text{общ.}} = \frac{E}{R_{\text{общ.}}} = \frac{3}{7} \cdot \frac{E}{R}$$

$$\begin{cases} I_{\text{общ.}} = I_{20} + I_{10} \\ I_{10} \cdot 2R = I_{20} \cdot 4R \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} I_{20} = \frac{1}{2} I_{10} \\ I_{\text{общ.}} = 3I_{20} \end{cases}$$

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

Ответ:  $I_{20} = \frac{E}{7R}$

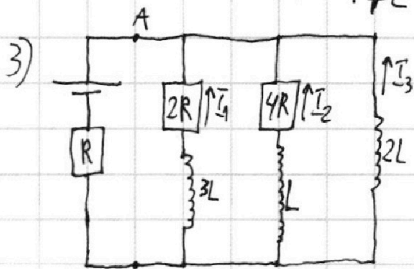
2)  $U_L = 2L I'_{2L}$

$U_L$  — напряжение на катушке

$$I_{\text{общ.}} = \frac{U_L}{R} = \frac{3E}{7R} \Rightarrow U_L = \frac{43}{7}E$$

$$I'_{2L} = \frac{U_L}{2L} = \frac{3E}{7} \cdot \frac{1}{2L} = \frac{3E}{14L}$$

Ответ:  $I'_{2L} = \frac{3E}{14L}$



Пусть напряжение между А и В равно  $U(t)$ .

$$I'_1(t) = \frac{u(t)}{3L}$$

$$I'_2(t) = \frac{u(t)}{L}$$

$$I_1(t) = \int_{\frac{4}{7}E}^0 \frac{u(t)dt}{3L} = \frac{1}{3L} \int_{\frac{4}{7}E}^0 u(t) dt$$

$$I_2(t) = \int_{\frac{4}{7}E}^0 \frac{u(t)dt}{L} = 3 I_1(t) dt$$

$$U(0) = \frac{4}{7}E$$

$$U(\infty) = 0$$

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!



№5

1)

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{10}{17}$$

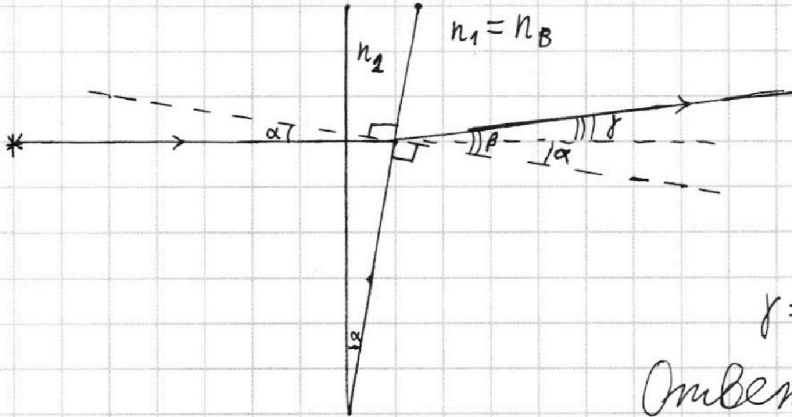
$\alpha$  и  $\beta$  - малые, значит

$$\frac{\alpha}{\beta} \approx \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{10}{17} \Rightarrow$$

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

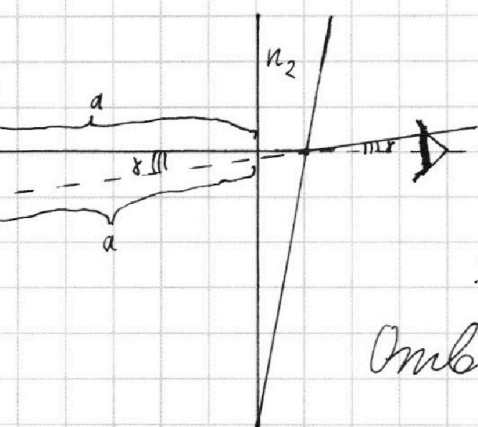
$$\gamma = \beta - \alpha = 0,7\alpha = 0,07 \text{ рад}$$

Ответ: ~~0,07 рад~~ 0,07 рад.



2)

источник  
S\*  
S\*  
S\*  
S\*



Угол  $\gamma$  малый, поэтому смещением точки входа луча в глаз можно пренебречь.

$$SS' \approx a \cdot 2 \sin \frac{\gamma}{2} = a \gamma = 0,07a \text{ (см.п.1)}$$

Ответ: 0,07a



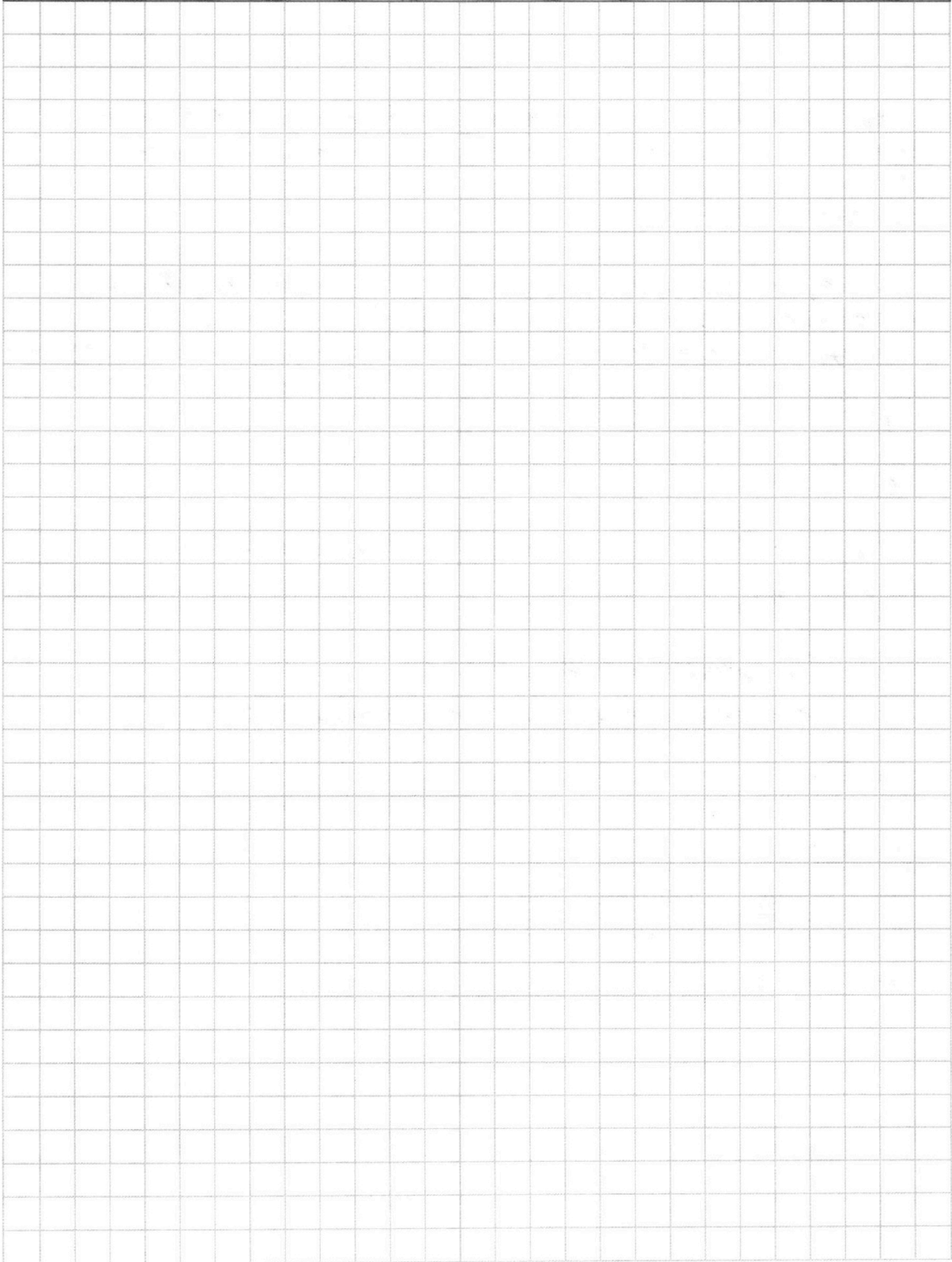
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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

**МФТИ**

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

$$p_0 V = 2 \nu_1 R T_0$$

$$p_1 V = 8 \cdot \frac{4}{3} \cdot \nu_1 R T_0$$

$$\Leftrightarrow p_0 V = 8 \nu_2 R T_0$$

$$p_1 V = 2(\nu_2 + \Delta \nu) R \cdot \frac{4}{3} T_0$$

$$\Delta \nu = k p_0 \cdot \frac{3}{8} V$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} 2 \nu_1 R T_0 = 8 \nu_2 R T_0 \\ \frac{32}{3} \nu_1 R T_0 = \frac{8}{3} \cdot (\nu_2 + \Delta \nu) R T_0 \\ \Delta \nu = k p_0 V \cdot \frac{3}{8} \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \nu_1 = 4 \nu_2 \\ 4 \cdot 4 \nu_2 R T_0 = \nu_2 R T_0 + \Delta \nu R T_0 \\ \Delta \nu = k p_0 V \cdot \frac{3}{8} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \Delta \nu = 15 \nu_2 \\ \Delta \nu = \frac{3}{8} \cdot k \cdot p_0 V \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow p_0 = \frac{15 \nu_2}{\frac{3}{8} k V} = \frac{5 \nu_2}{8 k V}$$

$$k R T_0 = 0,6 \cdot \frac{g}{4} = \frac{5,4}{4} = \frac{54}{40} = \frac{27}{20}$$

$$5 - \frac{27}{20} = \frac{100 - 27}{20} = \frac{73}{20}$$

$$p = F \nu = F \cdot \frac{45}{45}$$

$$F = \frac{p \sigma t}{45}$$

$$E: R_{\text{общ.}} = U(0): (R_{\text{общ.}} - R)$$

~~$$\frac{4}{3} E R = \frac{4}{3} U R \quad U = \frac{4}{3} E$$~~

$$\frac{3E}{7R} = \frac{3U}{4R} \quad U = \frac{4}{7} E$$





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!

