

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

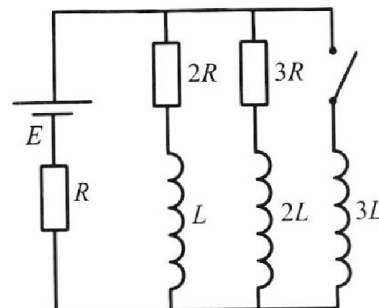
Вариант 11-01

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

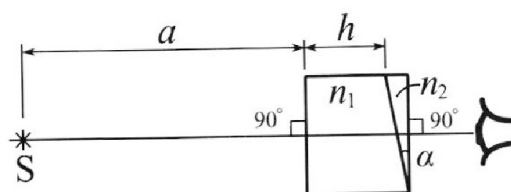
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток I_0 через резистор с сопротивлением $2R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью $3L$ сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением $2R$ 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 $a = 194$ 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 $h = 9$ 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 $n_1 = 1,5$, $n_2 = 1,7$, найдите на каком расстоянии от источника будет его изображение, которое увидит наблюдатель.



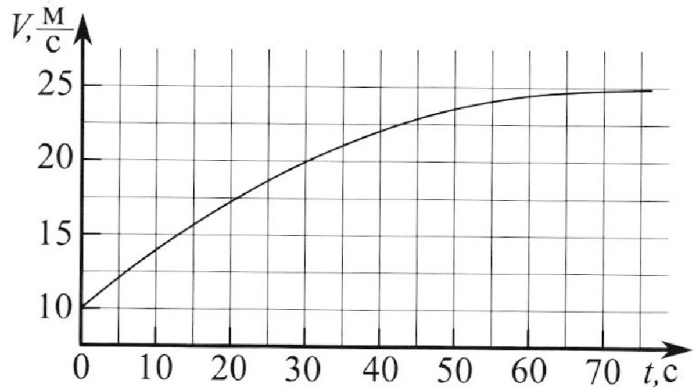
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-01

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



1. Автомобиль массой $m = 1800$ кг движется с постоянной скоростью и затем разгоняется на прямолинейном горизонтальном участке дороги. График зависимости скорости от времени при разгоне показан на рисунке. В конце разгона сила тяги двигателя равна $F_k = 500$ Н. Считать, что при разгоне сила сопротивления движению пропорциональна скорости.



- Используя график, найти ускорение автомобиля при скорости $V_1 = 20$ м/с.
- Найти силу тяги F_1 при скорости V_1 .
- Какая мощность P_1 передается от двигателя на ведущие колеса при скорости V_1 ?

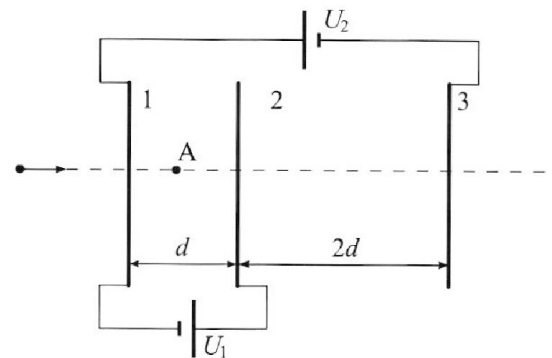
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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 $V/4$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 5T_0/4 = 373$ К. Установившийся объём его верхней части стал равен $V/5$.

По закону Генри, при заданной температуре количество Δn растворённого газа в объёме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta n = kpw$. Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры $k \approx (1/3) \cdot 10^{-3}$ 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 $2d$ (см. рис.). Размеры сеток значительно больше d . Изначально сетки не заряжены. К сеткам подсоединили источники с напряжением $U_1 = U$ и $U_2 = 4U$. 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 1 и 2.
- Найти разность $K_1 - K_2$, где K_1 и K_2 — кинетические энергии частицы при пролете сеток 1 и 2.
- Найти скорость частицы в точке A на расстоянии $d/3$ от сетки 1.

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!

1) Найти ускорение a и разность скоростей Δv при $t_1 = 25 \text{ c}$; $t_2 = 35 \text{ c}$
разность скоростей $\Delta v = v(t_2) - v(t_1) = 27,25 - 18,75 = 8,5 \text{ (м/с)}$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{8,5}{35 - 25} = 0,85 \text{ (м/с}^2\text{)} \quad \text{Ответ: } 0,85 \text{ м/с}^2$$

2) рассмотрим движение при установившейся скорости:

$$ma = F_k - \beta v_2, \text{ где } a=0; \beta - \text{коэффициент сопротивления среды; } v_2 = 25 \text{ м/с}$$

$$F_k - \beta v_2 = 0; \beta v_2 = F_k; \beta = \frac{F_k}{v_2}$$

ИЗН для мощности $v(t) = 20 \text{ м/с}$:

$$ma = F_1 - \beta v_1; F_1 = ma + F_k \frac{v_1}{v_2} = 1800 \cdot 0,85 + 500 \cdot \frac{20}{25} = 1530 + 400 = 1930 \text{ (Н)}$$

Ответ: ~~1075 Н~~ 1930 Н

$$3) P_1 = F_1 v_1 = 1930 \cdot 20 = 38600 \text{ (Вт)} = 38,6 \text{ кВт}$$

Ответ: 38,6 кВт 38,6 кВт

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

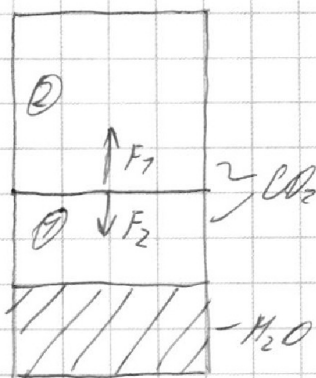
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

1)



т.к. поршень в равновесии,
то F_1 (сила давления газа
сверху) равна F_2 (сила давл.
ниже газа сверху)

$$F_1 = F_2; P_1 S = P_2 S; P_1 = P_2$$

S - площадь цилиндра; P_1, P_2 - дав-
ления газов

$$PV = \nu RT$$

$$\frac{\nu_1 R T_0}{V_1} = \frac{\nu_2 R T_0}{V_2}; \text{давление пара можно пренебречь}$$

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{V_1}{V_2}; V_1 = \frac{V}{2} - \frac{V}{4} = \frac{V}{4}; V_2 = \frac{V}{2}; \frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{\frac{V}{4}}{\frac{V}{2}} = \frac{1}{2}; \nu_1 - \text{количество газа под поршнем; } \nu_2 - \text{над поршнем}$$

ответ: количество газобразного вещества над поршнем

в 2 раза больше, чем под ним $\frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{1}{2}$

2) При достижении $T = \frac{5}{4} T_0 = 373 \text{ K}$ можно пренебречь дав-
лением пара. $P_{\text{пар}} = P_{\text{атм}}$

Также в нижней части цилиндра дополнительно выделяется

$$\Delta \nu = \kappa P_0 \frac{V}{2} \text{ молей углекислого газа.}$$

т.к. поршень в равновесии, то $F_1' = F_2'$ ($P_1' = P_2'$ - давление
сверху равно давлению снизу)

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!

$$\frac{P'_2 V'_2}{T'_2} = \frac{P_0 V_2}{T_2}; P'_2 = P_0 \frac{V_2}{V'_2} \cdot \frac{T'_2}{T_2} = P_0 \cdot \frac{\frac{V}{5}}{\frac{V}{5}} \cdot \frac{5}{4} = P_0 \cdot \frac{25}{8}; \text{ где } V'_2 = \frac{V}{5}$$

$$P'_1 = P_{\text{атм}} + P_{\text{газ}} + P_{\text{газ}}$$

$$\frac{T'_2}{T_2} = \frac{T}{T_0} = \frac{5}{4}$$

~~Решение~~

~~$$\text{Аналогично } P'_2: P_{\text{газ}} = P_0 \cdot \frac{V_1}{V'_1} \cdot \frac{T'_1}{T_1} = P_0 \cdot \frac{\frac{7}{4}V}{(\frac{7}{5}-\frac{1}{4})V} \cdot \frac{5}{4} = P_0 \cdot \frac{5 \cdot 7}{4 \cdot 4} = \frac{35}{16} P_0$$~~

$$= P_0 \cdot \frac{100}{44} = P_0 \cdot \frac{25}{11}$$

$$V_1 = \frac{7}{4} V; V'_1 = \frac{4}{5} V - \frac{1}{4} V = \frac{11}{20} V$$

$$P_{\text{газ}} = P_0 \frac{V_1}{V'_1} \cdot \frac{T'_1}{T_1} = P_0 \cdot \frac{\frac{7}{4}}{\frac{11}{20}} \cdot \frac{5}{4} = \frac{25}{44} P_0, \text{ где } \frac{T'_1}{T_1} = \frac{T}{T_0} = \frac{5}{4}$$

$$P_{\text{газ}} = \frac{0.7RT}{V'_1} = \frac{\frac{7}{4} P_0 \cdot RT}{\frac{11}{20}} = P_0 \cdot \frac{35}{11} \text{ — давление газа}$$

$$P'_1 = P'_2; \frac{25}{8} P_0 = P_{\text{атм}} + \frac{25}{44} P_0 + \frac{35}{11} P_0$$

$$\frac{25}{8} P_0 = P_{\text{атм}} + \frac{25}{44} P_0 + \frac{35}{11} P_0$$

$$P_0 \left(\frac{25}{8} - \frac{25}{44} - \frac{35}{11} \right) = P_{\text{атм}}; P_0 = \frac{88}{145} P_{\text{атм}}$$

$$\text{Ответ: } P_0 = \frac{88}{145} P_{\text{атм}}$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1
☐

2
☐

3
☒

4
☐

5
☐

6
☐

7
☐

 МФТИ

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

$$1) E = \frac{-U}{d} = -\frac{U}{d}$$

$$F = qE$$

$$ma = F; a = \frac{qE}{m} = \frac{qU}{md}$$

$$\text{Ответ: } \frac{qU}{md}$$

$$2) K_1 = \frac{mV_0^2}{2}$$

т.к. $q > 0$ и частица движется от $-$ к $+$ (против направления электрического поля), то она потеряет энергию $\Delta W =$
 $= Uq; K_2 = \frac{mV_0^2}{2} - Uq$

$$K_1 - K_2 = Uq$$

$$\text{Ответ: } Uq$$

$$3) \text{ работа против поля: } A = Uq \cdot \frac{d/3}{d} = \frac{Uq}{3}$$

$$K_A = K_1 - \frac{Uq}{3} = \frac{mV_0^2}{2} - \frac{Uq}{3}$$

$$\frac{mV_A^2}{2} = \frac{mV_0^2}{2} - \frac{Uq}{3}; V_A = \sqrt{V_0^2 - \frac{2Uq}{3m}}$$

$$\text{Ответ: } V_A = \sqrt{V_0^2 - \frac{2Uq}{3m}}$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

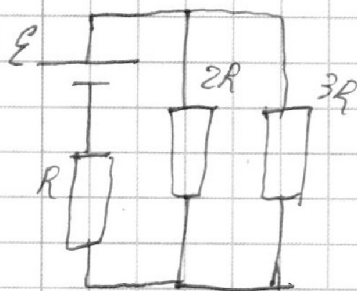
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

МФТИ

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



1) Круговые токи при установившемся режиме отсутствуют; $\frac{dI}{dt} = 0$,
поэтому схему можно представить без катушек



$$R_{23} = \frac{2R \cdot 3R}{5R} = \frac{6}{5}R$$

$$R_0 = \frac{6}{5}R + R = \frac{11}{5}R$$

$$I_0 = \frac{E}{R_0} = \frac{E}{R} \cdot \frac{5}{11}$$

$$U_{23} = E - I_0 R = E - \frac{5}{11}E = \frac{6}{11}E$$

$$I_{10} = \frac{U_{23}}{2R} = \frac{3}{11} \frac{E}{R}$$

$$\text{ответ: } \frac{3}{11} \frac{E}{R}$$

2) В начальный момент на катушку падает $U_{23} = \frac{6}{11}E$

$$3L \frac{dI_3}{dt} = U_{23}; \frac{dI}{dt} = \frac{6E}{11 \cdot 3L} = \frac{2E}{11L}$$

$$\text{ответ: } \frac{dI}{dt} = \frac{2E}{11L}$$

3) Запишем уравнения:

$$E = I_0 R + 3L \frac{dI_3}{dt}$$

$$E = I_0 R + L \frac{dI_1}{dt} + 2RI_1$$

$$\begin{aligned} 0 &= 3L \frac{dI_3}{dt} - 2RI_1 - L \frac{dI_1}{dt} \quad | \cdot dt; \quad 3L dI_3 - 2RI_1 dt - L dI_1 = 0 \\ \int_{I_{10}}^{I_{1m}} 3L dI_3 - \int_0^{q_1} 2R dq_1 - \int_{I_0}^{I_1} L dI_1 &= 0 \end{aligned}$$

$$3LI_{1m} - 2Rq_1 + LI_0 = 0; \quad q_1 = \frac{3LI_{1m} + LI_0}{2R}$$

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!



$$I_{\text{sum}} = \frac{\mathcal{E}}{R} - \text{max утомановицца, } \frac{dI}{dt} = 0;$$

$$I_1 = \frac{3L \cdot \frac{\mathcal{E}}{R} + L \cdot \frac{3}{\pi} \frac{\mathcal{E}}{R}}{2R} = \frac{L\mathcal{E}}{R^2} \left(3 + \frac{3}{\pi} \right) = \frac{18}{11} \frac{L\mathcal{E}}{R^2}$$

$$\text{Ombem: } \frac{18}{11} \frac{L\mathcal{E}}{R^2}$$



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!

$$\Delta x_2 = \#p(a+b) = 2(n_2 - n_1)(a+b) = 0,7 \cdot 0,2 \cdot 203 \approx 4,7 \text{ см}$$

Ответ: 4,7 см

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!

1) т.к. $n_2 = 1$, то можно систему представить, подобно с
сферой "кишкой"



$$\alpha = n_2 \beta; \beta = \frac{\alpha}{n_2}; \text{ угол падения луча на правую грань: } \gamma$$

$$\gamma = \alpha - \beta$$

$$\gamma n_2 = \varphi - \text{ угол преломления через правую грань}$$

$$\varphi = n_2 \alpha - n_2 \beta = n_2 \alpha - \alpha = \alpha (n_2 - 1) = 0,7 \cdot 0,1 = 0,07 \text{ (рад)}$$

$$\text{ответ: } 0,07 \text{ рад}$$

2) Для наблюдаемого луча отклонился на $\varphi = 0,07 \text{ рад}$

при $\alpha \ll 1$ можно считать, что отклонение равно
(угол отклонения = φ)

$$\Delta L_1 = \alpha (a+b) = 0,07 \cdot 203 \approx 14 \text{ (см)}$$

$$\text{ответ: } 14 \text{ см}$$

3) для n_3 рассуждения как для n_1 , только $\alpha \neq n_2 \beta$, а

$$\alpha n_1 = n_2 \beta$$

$$\varphi = (\alpha - \beta) n_2 = (\alpha - \alpha \frac{n_1}{n_2}) n_2 = \alpha (n_2 - n_1)$$

При малых углах дуга $\approx$ прямая:

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

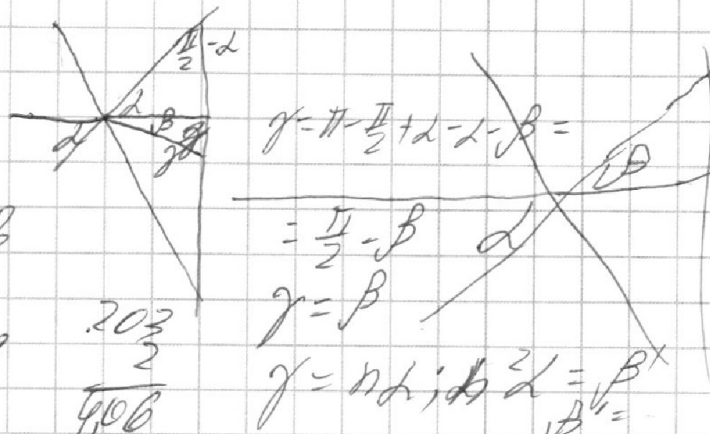
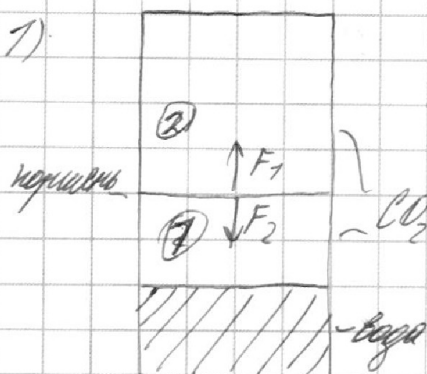
1 ☒ 2 ☒ 3 ☒ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☒ 7 ☒

МФТИ

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



1)



т.к. поршень в равновесии, то F_1 (сила давления газа снизу) равна F_2 (сила давления газа сверху)

$F_1 = F_2 \Rightarrow P_1 S = P_2 S \Rightarrow P_1 = P_2$; где P_1, P_2 - давление газа внутри

$PV = \nu RT$ - при T_0 можно пренебречь давлением пара

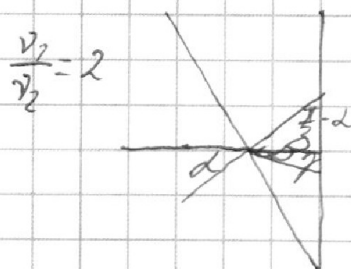
$$\frac{\nu_1 R T_0}{V_1} = \frac{\nu_2 R T_0}{V_2}; \quad \frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{V_1}{V_2}; \quad V_1 = \frac{V}{2}; \quad V_2 = \frac{V}{2} - \frac{V}{4} = \frac{V}{4}$$

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{\frac{2}{3}}{\frac{1}{4}} = 2$$

$$\frac{5}{3} R; \quad \frac{5}{3} R; \quad I = \frac{5}{3} R; \quad I = \frac{5}{3} R; \quad I = \frac{5}{3} R; \quad I = \frac{5}{3} R$$

Далее: ν количество вещества в газоподобном состоянии в

верхней части цилиндра больше в 2 раза, чем в нижней;



$$\frac{25}{4} \left(\frac{44.8}{44.8} \right) = 25 \cdot \frac{36}{44.8} = \frac{25 \cdot 9}{88} = \frac{80}{88} = \frac{45}{88}$$

$$\gamma = \pi - \frac{\pi}{2} + \alpha - \beta = \frac{\pi}{2} + \alpha - \beta; \quad \beta - \alpha$$

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!

$$\begin{array}{r} 1200 \\ 76 \\ \hline 20 \\ 20 \\ \hline 0 \end{array} \begin{array}{l} 4 \\ 450 \end{array}$$

$$\frac{\pi}{2} - 2 + \beta + \frac{\pi}{2} + 18 = 72$$

$$215.00$$

$$z = \beta - 2$$

$$\begin{array}{r} C_{01} \\ \hline C_{02} \cdot \frac{1}{4} \\ \hline 1111 \cdot \frac{1}{4} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \frac{1}{2} \\ \hline \end{array}$$

$$3432 \text{ K} = 700 \text{ } ^\circ \text{C}$$

$$AV = kPVV$$

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

$$7 - \frac{2}{5} - \frac{2}{4} = \frac{20-9}{20} = \frac{11}{20}$$

$$P' = \frac{2}{3} P_0 \cdot \frac{5}{4} = \frac{25}{8} P_0$$

$$AV = kP_0 \frac{1}{2}$$

$$P' = P_0 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{5}{4} = \frac{25}{8} P_0$$

$$P_0 = \frac{AVRT}{20V} = P_0 \cdot \frac{7}{2} \cdot \frac{20}{11} = \frac{70}{11} P_0$$

$$P = P_0 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{5}{4} = \frac{25}{44} P_0$$

$$0,7 \cdot 0,02 = 0,02 \text{ мбар}$$

$$\frac{70}{11} P_0 + P_{\text{атм}} + \frac{25}{44} P_0 = \frac{25}{8} P_0$$

$$\frac{70}{11} P_0 + P_{\text{атм}} = P_0 \cdot \frac{25 \cdot \frac{36}{44} - 1}{8} = P_0 \cdot \frac{25 \cdot 9}{88}$$

$$P_{\text{атм}} = P_0 = \frac{225 - 80}{88} \cdot \frac{145}{88}$$