

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

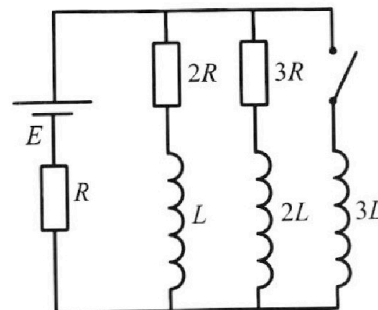
Вариант 11-01

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

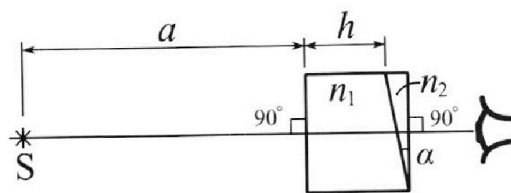
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток I_{10} 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 $n_{\text{в}} = 1,0$. 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 $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$, $n_2 = 1,7$, 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 $n_1 = 1,5$, $n_2 = 1,7$, найдите на каком расстоянии от источника будет его изображение, которое увидит наблюдатель.



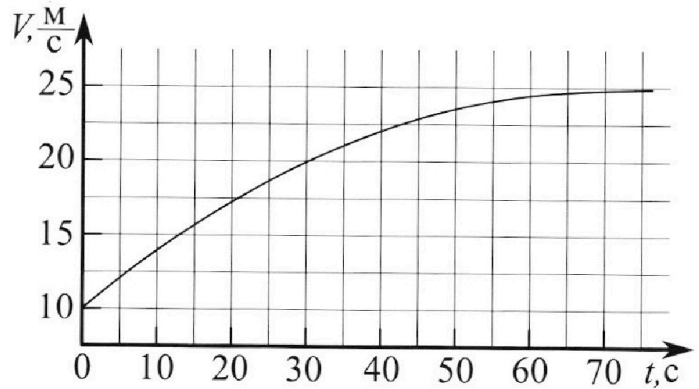
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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 ?

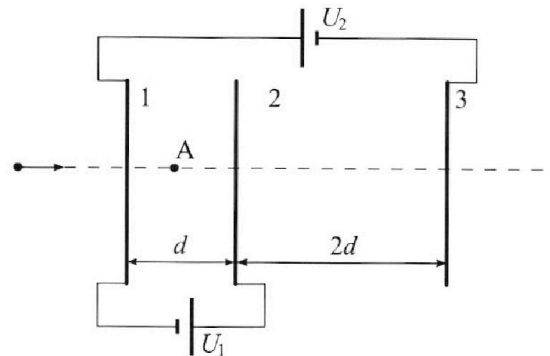
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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 Δv растворённого газа в объёме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta v = kpw$. Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры $k \approx (1/3) \cdot 10^{-3}$ 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 электрона $t_1 = 25 \text{ c}$; $t_2 = 35 \text{ c}$
разность скоростей $\Delta v = v(t_2) - v(t_1) = 27,25 - 18,75 = 2,5 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{2,5}{10} = 0,25 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right) \quad \text{Ответ: } 0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

ИЗН.
2) рассмотрим движение при установившейся скорости:

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

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

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

$$ma = F_1 - \beta v_1; F_1 = ma + F_k \frac{v_1}{v_2} = 1800 \cdot 0,25 + 500 \cdot \frac{20}{25} = 450 + 400 = 850 \text{ Н}$$

Ответ: ~~1075 Н~~ 850 Н

$$3) P_1 = F_1 v_1 = 850 \cdot 20 = 17000 \text{ Вт} = 17 \cdot 10^3 \text{ Вт}$$

Ответ: 17 кВт

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

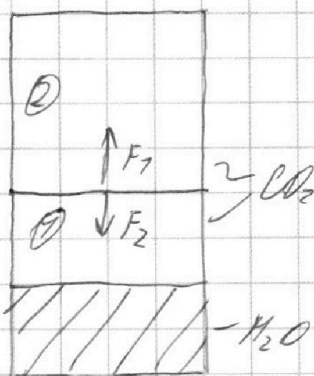
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!

1)



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

$$PV = \nu RT$$

$$\frac{\nu_1 R T_0}{V_1} = \frac{\nu_2 R T_0}{V_2}; \text{ давлению газа можно приравнять}$$

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

ответ: количество газодиффузного 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 приравнять дав-
ления газа. $P_{\text{ниж}} = P_{\text{верх}}$

Так же в нижней части цилиндра дополнительно выделяется

$\Delta \nu = \kappa P_0 \frac{V}{2}$ моль 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!

$$\frac{P_2' V_2'}{T_2'} = \frac{P_0 V_2}{T_2}; P_2' = P_0 \frac{V_2}{V_2'} \cdot \frac{T_2'}{T_2} = P_0 \cdot \frac{\frac{V}{5}}{\frac{V}{4}} \cdot \frac{5}{4} = P_0 \cdot \frac{25}{8}; \text{ где } V_2' = \frac{V}{5}$$

$$P_1' = P_{\text{атм}} + P_{\text{газа}} + P_{\text{гап}}$$

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

~~$P_{\text{гап}}$~~

~~Аналогично P_2' : $P_{\text{газа}} = P_0 \cdot \frac{V_1}{V_1'} \cdot \frac{T_1'}{T_1} = P_0 \cdot \frac{\frac{7}{4}V}{(\frac{4}{5}-\frac{3}{4})V} \cdot \frac{5}{4} = P_0 \cdot \frac{5 \cdot 7}{4 \cdot 4} = \frac{35 P_0}{16}$~~

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

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

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

$$P_{\text{гап}} = \frac{0.7RT}{V_1'} = \frac{k P_0 \cdot RT}{\frac{11}{20}} = P_0 \cdot \frac{70}{11} kRT - \text{гравитационное воздействие газа}$$

$$P_1' = P_2'; \frac{25}{8} P_0 = P_{\text{атм}} + \frac{25}{44} P_0 + \frac{70}{11} kRT P_0$$

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

$$P_0 \left(\frac{25}{8} - \frac{25}{44} - \frac{70}{11} \right) = P_{\text{атм}}; P_0 = \frac{88}{145} P_{\text{атм}}$$

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
<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!

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

$$F = qE$$

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

$$\text{Ответ: } \frac{qU}{md}$$

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

т.к. $q > 0$ и частица движется от $-k$ к $(U$ — работа против поля —
положительная), то она потеряет энергию $W =$

$$= Uq; K_2 = \frac{mV_0^2}{2} - Uq$$

$$K_1 - K_2 = Uq$$

$$\text{Ответ: } Uq$$

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

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

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

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

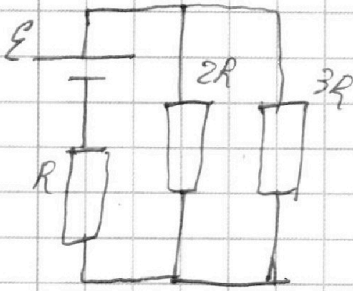
1 2 3 4 5 6 7



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



1) Кривая имеет при установившемся движении ступенчатый вид; $\frac{dI}{dt} = 0$, поэтому цепь можно представить без катушки



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

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

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

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

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

Ответ: $\frac{3}{11} \frac{E}{R}$

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

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

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

3) Записываем уравнения:

$$\begin{cases} E = I_0 R + 3L \frac{dI_3}{dt} \\ E = I_0 R + L \frac{dI_1}{dt} + 2R I_1 \end{cases}$$

$$0 = 3L \frac{dI_3}{dt} - 2R I_1 - L \frac{dI_1}{dt} \quad | \cdot dt; \quad 3L dI_3 - 2R I_1 dt - L dI_1 = 0$$

$$\int 3L dI_3 - 2R I_1 dt - \int L dI_1 = 0$$

$$3L I_{30} - 2R q_1 + L I_{10} = 0; \quad q_1 = \frac{3L I_{30} + L I_{10}}{2R}$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!

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

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

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



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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!

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

Ответ: 4,7 см

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

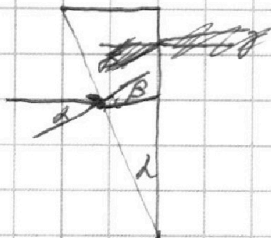
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!

1) т.к. $n_2 = 1$, то можно систему представить, можно с
серией "кишочек"



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

$$\gamma = d - \beta$$

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

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

Ответ: 0,07 рад

2) Для наблюдаемой лучи отклонился на $\varphi = 0,07$ рад

при $d \ll r$ можно считать, что отклонение равно
(дуга окружности = хорда)

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

Ответ: 14 см

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

$$d n_1 = n_2 \beta$$

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

При малых углах дуга \approx хорда:

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

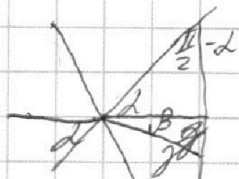
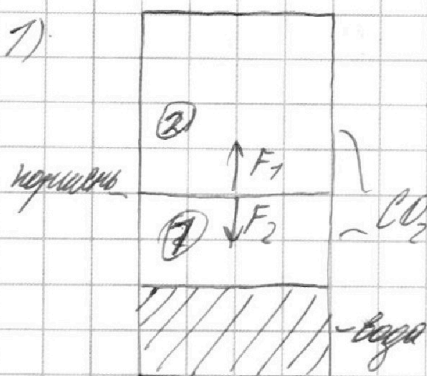
- 1
 2
 3
 4
 5
 6
 7

МФТИ

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



1)



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

$$= \frac{\pi}{2} - \beta$$

$$\gamma = \beta$$

$$\gamma = \pi - \alpha; \alpha^2 = \beta^2$$

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 измерить давление пара

$$\frac{\nu_1 RT_0}{V_1} = \frac{\nu_2 RT_0}{V_2}; \frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{V_1}{V_2}; V_1 = \frac{V}{2}; V_2 = \frac{V}{2} - \frac{V}{4} = \frac{V}{4}$$

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

~~2~~

$$\frac{6}{3} R$$

$$\frac{12}{3} R = 4R$$

$$\frac{203}{4}$$

$$\frac{1421}{4}$$

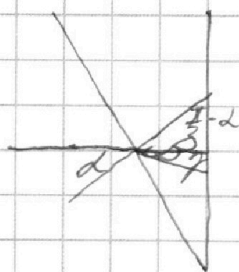
$$\frac{5}{3} \frac{6}{3} = \frac{10}{3}$$

$$I = \frac{6R}{2R} = \frac{3R}{R}$$

Давлн: ν количество вещества в газобразном состоянии

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

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = 2$$



$$\frac{25}{4} \left(\frac{44.8}{44.8} \right) = 25 \frac{36}{44.8} =$$

$$\frac{25}{9}$$

$$= \frac{25 \cdot 9}{88} - \frac{80}{88} = \frac{45}{88}$$

$$224$$

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

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!

$$\begin{array}{r} 1200 \quad | \quad 4 \\ 76 \quad | \quad 450 \\ \hline 20 \\ 20 \end{array}$$

$$250 \quad 125 \cdot 5 = 625$$

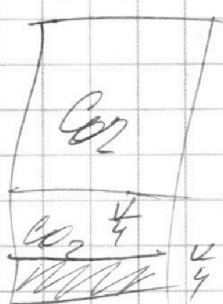
$$\frac{25}{8} - \frac{25}{44} - \frac{10}{11} = \frac{275 - 50 - 80}{88} = \frac{145}{88} = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 71$$

$$145 : 71 = 7 \times$$

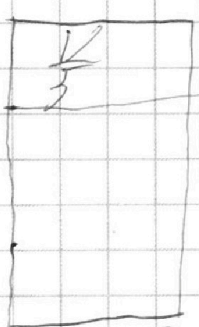
$$\frac{11}{2} - 2 + \beta + \frac{11}{2} + 18 = 72$$

$$21500$$

$$\beta = \beta - 2$$



$$343 \text{ K} = 700 \text{ } ^\circ\text{C}$$



$$\Delta V = k p V V$$

$$\frac{225}{80} = \frac{745}{80}$$

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

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

$$P_1 = \frac{2}{3} P_0 \cdot \frac{5}{4} = \frac{25}{8} P_0$$

$$P_2 = P_0 \cdot \frac{2}{4} \cdot \frac{5}{4} = \frac{5}{8} P_0$$

$$\Delta V = k P_0 \frac{V}{2}$$

$$P = \frac{\Delta V R T}{20 V} = P_0 \cdot \frac{7}{8} \cdot \frac{20}{11} = \frac{70}{11} P_0$$

$$P = P_0 \cdot \frac{7}{22} \cdot \frac{5}{9} = \frac{25}{44} P_0$$

$$0,7 \cdot 0,02 = 0,02 \text{ рад}$$

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

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

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