



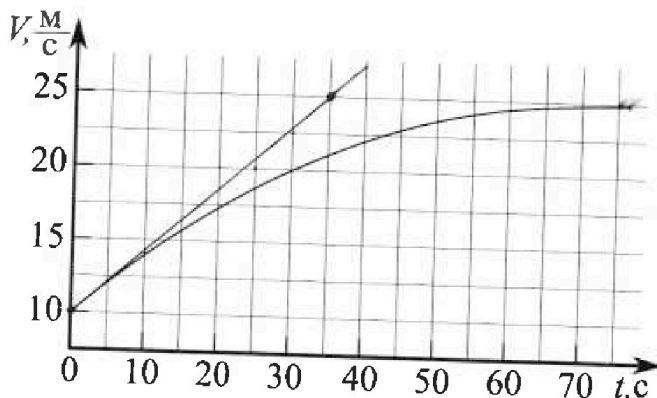
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-03

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



1. Автомобиль массой $m = 1500$ 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 $F_k = 600$ Н. Считать, что при разгоне сила сопротивления движению пропорциональна скорости.



- 1) Используя график, найти ускорение автомобиля в начале разгона.
- 2) Найти силу тяги F_0 в начале разгона.
- 3) Какая мощность P_0 передается от двигателя на ведущие колеса в начале разгона?

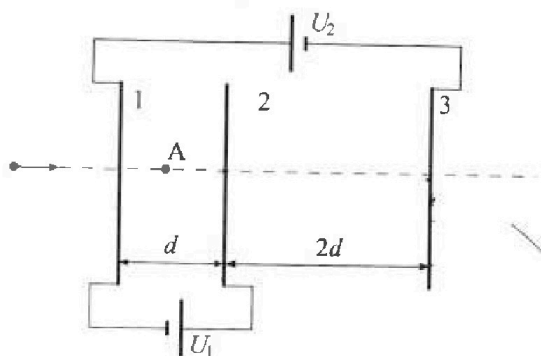
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объёмом 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 гелий, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при давлении $P_0 = P_{\text{атм}}/2$ ($P_{\text{атм}}$ - нормальное атмосферное давление) и при комнатной температуре T_0 . При этом жидкость занимала объём $V/4$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 373$ 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 $k \approx 0,5 \cdot 10^{-3}$ 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 отношение конечной и начальной температур в сосуде T/T_0 .

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 $U_2 = 3U$. 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 1 и 2.
- 2) Найти разность $K_1 - K_2$, где K_1 и K_2 — кинетические энергии частицы при пролете сеток 1 и 2.
- 3) Найти скорость частицы в точке A на расстоянии $d/4$ от сетки 1.

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

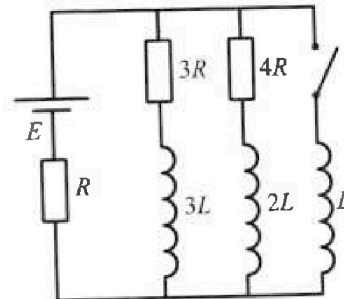
Вариант 11-03

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

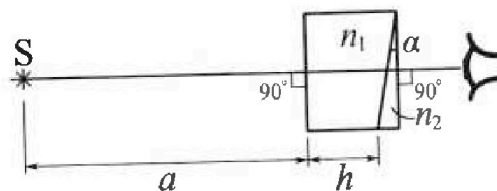
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток I_0 через резистор с сопротивлением $3R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью L сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением $3R$ 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 $a = 90$ 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:

МФТИ

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!

$$3) P_0 \Delta \tau = \int_{v_n}^{v_n + a_n \Delta \tau} k (v_n + a_n \tau)^2 \Delta \tau = \frac{m (v_n + a_n \Delta \tau)^3}{3} - \frac{m v_n^3}{3}$$

$$P_0 \Delta \tau = k \left[\frac{(v_n + a_n \Delta \tau)^3}{3} - \frac{v_n^3}{3} \right] = \frac{m (v_n + a_n \Delta \tau)^3}{3} - \frac{m v_n^3}{3}$$

$$P_0 \Delta \tau \approx \frac{2m v_n a_n \Delta \tau}{2} - \frac{v_n^2 a_n \Delta \tau k}{3} \quad | : \Delta \tau$$

$$P_0 \approx \frac{2m v_n a_n}{2} - \frac{v_n^2 a_n k}{3} = 2m v_n a_n \cdot 2.1500$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

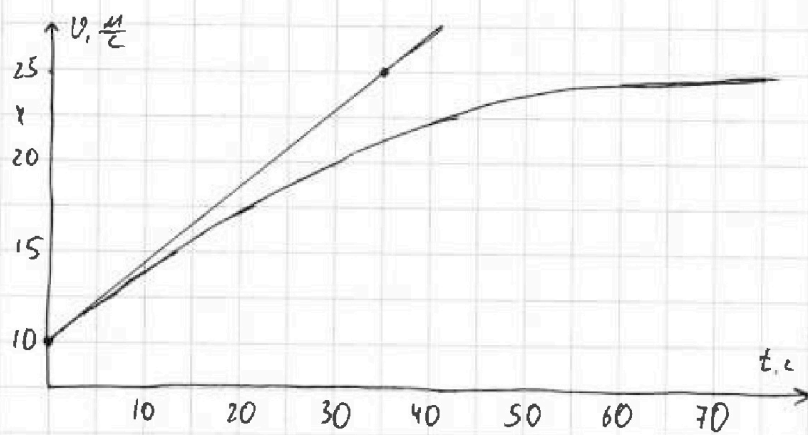
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

Лист 1.



1) $a(t) = v'(t) \Rightarrow a$ будет
равна угловому коэффициенту
графика для мо-
мента t . Проведем кас-
ательную для ~~точки~~ ~~моме~~

момента времени 0. Для надежности, касательная была проведена на
данном графике, здесь представлен ее пример. По умолчанию она
проходит через $(0; 10)$, но построение показывает, что она про-
ходит через $(35; 25)$.

$$a(0) = \frac{25-10}{35-0} = \frac{15}{35} \text{ м/с}^2$$

2) $F_c = k v$, где k - неизвестный нам коэффициент. Запишем вто-
рой закон Ньютона для начала и конца разгона.

$$F_0 - F_k v_n = m a_n$$

$$F_k - k v_k = m a_k$$

Заметим, что в конце разгона $a_k = 0$, а скорость $v_k = 25 \text{ м/с}$

$$F_k = k v_k$$

$$k = \frac{F_k}{v_k} = \frac{600}{25} = 24$$

$$F_0 = k v_n + m a_n = \frac{F_k}{v_k} v_n + m a_n = \frac{600}{25} \cdot 10 + 1500 \cdot \frac{15}{35} \approx 882,86 \text{ Н.}$$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

Лист 1.

He, T ₀
P ₀ , V ₀
CO ₂ , V ₀ , T ₀
P ₀ , V ₀

$P_0 \frac{V}{2} = \nu_{He} RT_0$ - уравнение Менделеева-Клапейрона для гелия.

$P_0 \frac{V}{4} = \nu_{CO_2} RT_0$ - уравнение Менделеева-Клапейрона для CO₂, ^{м.к.} ~~He~~

Вода не оказывает давления на поршень $\Rightarrow$ все давление P_0 на поршень снизу оказывает CO₂. Раз давление водяных паров пренебрежимо мало $\Rightarrow \nu_{H_2O}$ - количество вещества водяных паров пренебрежимо мало по сравнению с

$$k_1 = \frac{\nu_{H_2O}}{\nu_{CO_2}} = \frac{\nu_{He}}{\nu_{CO_2} + \nu_{H_2O}} = \frac{\nu_{He}}{\nu_{CO_2}} = 2 \quad - \text{из вышеписанных уравнений.}$$

He, V ₀ , T
CO ₂ , T
H ₂ O, P ₁
CO ₂ , P ₁
V ₀

Рассмотрим систему после нагревания. Система установилась, присутствует вода, $T = 373 \text{ K} \Rightarrow$ водяные пары насыщены и оказывают давление $P_0 = P_{\text{атм}}$ на поршень. Пусть теперь оказывает на поршень давление P_1 . Тогда водяные пары и CO₂ оказывают вместе то же давление P_1 .

$$P_1 = 2P_0 + P_2, \text{ где } P_2 - \text{новое давление CO}_2. \quad (1)$$

Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона для всех He, CO₂, H₂O.

$$P_1 \frac{V}{2} = \nu_{He} RT \Rightarrow P_1 = \frac{2\nu_{He} RT}{V}$$

$$P_2 \frac{11V}{20} = (\nu_{CO_2} + \Delta \nu_{CO_2}) RT \Rightarrow P_2 = \frac{20RT(\nu_{CO_2} + \Delta \nu_{CO_2})}{11V}, \text{ где } \Delta \nu_{CO_2} - \text{кол-во веществ}$$

ва CO₂, до того растворенного в воде, $\frac{11V}{20}$ - объем, оставшийся на газы снизу, т.к. вода и верхняя часть газа заняли $\frac{V}{4}$ и $\frac{V}{2}$ соответственно.

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!

Лист 2. Из условия $\Delta v_{02} = k p_0 \frac{V}{4}$

Подставим все в уравнение 1.

$$\frac{5 v_{He} R T}{V} = 2 p_0 + \frac{20 R T v_{02}}{11 V} + \frac{20 R T k p_0 \frac{V}{4}}{11 V}$$

Из написанного ранее $v_{He} = \frac{p_0 V}{2 R T_0}$ и $v_{02} = \frac{p_0 V}{4 R T_0}$, подставим это.

$$\frac{5 p_0 V R T}{2 R T_0 V} = 2 p_0 + \frac{20 R T p_0 V}{44 R T_0 V} + \frac{5 R T k p_0}{11}$$

$$\frac{5}{2} \frac{T}{T_0} = 2 + \frac{5}{11} \frac{T}{T_0} + \frac{5}{11} R T k$$

$$k_2 = \frac{T}{T_0} = \frac{2 + \frac{5}{11} R T k}{\frac{5}{2} - \frac{5}{11}} = \frac{2 + \frac{5}{11} \cdot 0.5 \cdot 10^{-8} \cdot 3 \cdot 10^8}{\frac{45}{22}} = \frac{59}{45}$$

Заметим, что тогда $T_0 = \frac{45}{59} T > 273 \Rightarrow$ не противоречит условию.

Ответ: 2 ; $\frac{59}{45}$.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

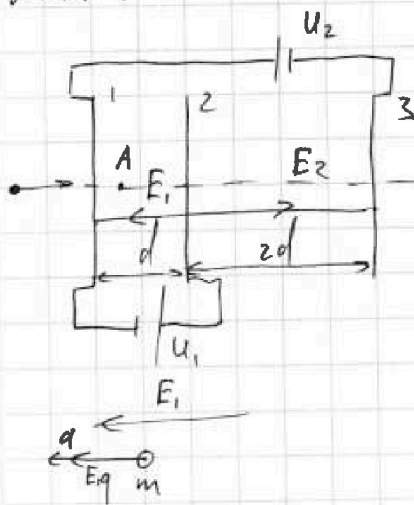
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

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

МФТИ



Задан 1.



$$1) E_1 = \frac{U_1}{d} = \frac{U}{d}$$

$$E_1 q = ma$$

$$a = \frac{E_1 q}{m} = \frac{Uq}{md}$$

2) Пусть потенциал сетки 1 - φ_1 , а сетки 2 - φ_2 . С другой стороны $\varphi_2 - \varphi_1 = U$.

$$K_1 + \varphi_1 q = K_2 + \varphi_2 q$$

$$K_1 - K_2 = (\varphi_2 - \varphi_1) q = Uq = Uq$$

3).

$$\text{Ответ: } \frac{Uq}{md}; Uq.$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

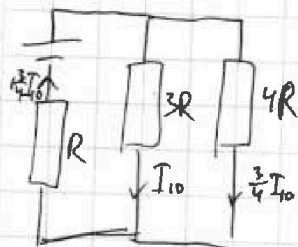
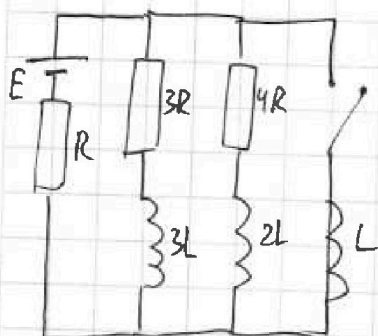
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

Лист 1.



1) В установленном режиме катушка является резистором. Рассмотрим эквивалентную схему, расставив токи и напишем уравнение для контура с $3R$ и E .

$$E = 3RI_0 + \frac{3}{4}RI_0$$

$$I_0 = \frac{E}{(3+1.75)R} = \frac{4E}{19R}$$

2) Рассмотрим контур с E и L .

$$E = E_{in} + R \cdot 1.75I_0$$

$$E_{in} = LI'$$

$$I' = \frac{E_{in}}{L} = \frac{E - R \cdot 1.75I_0}{L} = \frac{E - \frac{7}{19}E}{L} = \frac{12E}{19L}$$

3) Рассмотрим контур с $3R$ и L в начальный момент времени.

$$3RI_1 + 3LI' - LI' = 0$$

Продифференцируем все подобные дроби по времени.

$$3Rq - 3LI_0 - L \frac{E}{R} = 0, \text{ т.к. через } 3R \text{ пройдет } q, \text{ через } 3L \text{ увеличится}$$

от I_0 до 0 и ток через L увеличится от 0 до $\frac{E}{R}$.

$$q = L \frac{3I_0 + \frac{E}{R}}{3R} = L \frac{\frac{12E}{19R} + \frac{E}{R}}{3R} = \frac{31LE}{19R^2}$$

$$\text{Ответ: } \frac{4E}{19R}; \frac{12E}{19L}; \frac{31LE}{19R^2}.$$



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!

$$d = a - l = a - a \cos^2 \alpha = a \sin^2 \alpha = a \alpha^2 = 0.9 \cdot 0.1^2 = 0.009 \text{ м}$$

Ответ: 0,07 рад ; 0,009 м.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

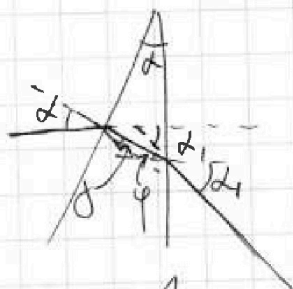
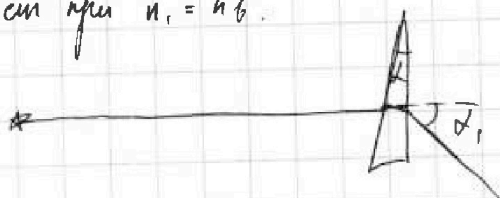
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

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

МФТИ

Лист 1.

1) Заметим, что мы можем считать, что левая призма отсутствует при $n_1 = n_2$.



$n_1 \delta_1 = n_2 \delta_2$, т.к. углы маленькие, они равны синусам.

$$n_2 \varphi = n_1 \delta_1$$

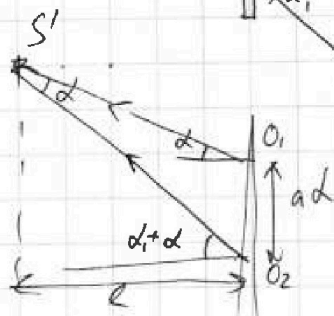
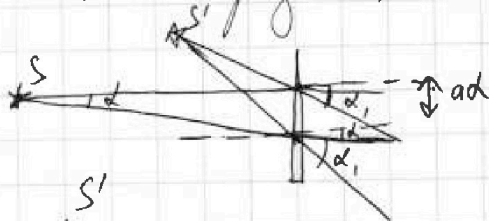
$$(\delta_1 + \delta_2) n_1 = n_2 (\varphi + \delta_2)$$

Можно заметить, что $\varphi + \delta_2 = \alpha$.

$$(\delta_1 + \delta_2) n_1 = n_2 \alpha$$

$$\delta_1 = \frac{(n_2 - n_1) \alpha}{n_1} = \frac{(1.7 - 1) 0.1}{1} = 0.07 \text{ рад.}$$

2) Пусть один луч как в п.1, а второй перпендикулярно грани, разделяющей n_1 и n_2 . Из симметрии относительно биссектрисы в основании призмы этот луч тоже отклонится на δ_1 .



$$\frac{a \delta}{n_1 \delta} = \frac{S'O_1}{\sin(90 + \delta)} \approx a$$

$$l = S'O_1 \cos \delta = a \sin(90 + \delta) \cos \delta = a \cos^2 \delta$$

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!

МФТИ

1.

$$\begin{aligned} 1. & \quad 25 \\ & \quad 22.5 - 35 \\ & \quad 10 - 0 \\ & \quad 12.815 - 35 \\ & \quad F_0 - k V_0 = m a \\ & \quad F_k - k V_k = 0 \end{aligned}$$

$$P_0 \Delta \tau = \frac{m V_0^2}{2} = P_0 \Delta \tau - k V_0 \cdot V_0 \Delta \tau = \frac{m V_0^2}{2} - \frac{m V_0^2}{2}$$

$$P_0 \Delta \tau - k A_c = \frac{m}{2} (a \Delta \tau (V_k + V_0))$$

He	P ₀
	T ₀
CO ₂	P ₀
H ₂ O	T ₀

$$\begin{aligned} P_0 \frac{V}{2} &= \nu_{He} R T_0 \\ P_1 \frac{V}{5} &= \nu_{He} R T \\ P_1 &= \frac{5}{2 T_0} P_0 > 2 P_{atm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta \nu_{CO_2} &= k \frac{V}{4} P_0 \\ P_0 \frac{V}{4} &= \nu_{CO_2} R T_0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta \nu_{CO_2} &= k \frac{V}{4} P_0 \\ \nu_{CO_2} &= P_0 \frac{V}{4} \frac{1}{R T_0} \end{aligned}$$

$$\frac{\Delta \nu_{CO_2}}{\nu_{CO_2}} = \frac{R T_0}{k} k \leq 1.5 \quad \nu \left(\frac{V}{5} + \frac{V}{4} \right) = \frac{11V}{20}$$

$$P_1 = p_b + p_{CO_2}$$

$$\frac{5 \nu_{He} R T}{V} = p_b + \frac{20 (\nu_{CO_2} + \Delta \nu_{CO_2}) R T}{11 V}$$

$$\frac{5 \nu_{He} R T}{V} = 2 p_0 + \frac{20 (\nu_{CO_2} + \Delta \nu_{CO_2}) R T}{11 V} \quad 1. V$$

$$5 R T \cdot \frac{P_0 V}{2 R T_0} = \nu_{He} p_0 + \frac{20}{11} R T \cdot \frac{P_0 V}{4 R T_0} + \frac{20 R T}{11} k \frac{V}{4} P_0$$

$$\frac{5}{2} \frac{T}{T_0} = 2 + \frac{20}{11} \frac{T}{T_0} + \frac{5}{44} \frac{R T k}{T_0}$$

$$\frac{T}{T_0} \left(\frac{5}{2} - \frac{20}{11} \right) = 2 + \frac{5}{11} \frac{R T k}{T_0}$$

$$\frac{T}{T_0} = \frac{22}{45} \left(2 + \frac{5}{11} \cdot 1.5 \right) = \frac{22}{45} \left(\frac{22 + 7.5}{11} \right) = \frac{59}{45} = 1 \frac{14}{45}$$

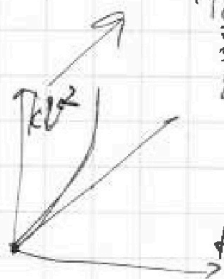
$$P_1 = \frac{5}{2} \cdot \frac{59}{45} P_0 = \frac{59}{18} P_0 = 3 \frac{5}{18} P_0$$

$$\frac{5 \nu_{He} R T}{V} =$$

$$(V_H + a_H \tau)^2 = k V(V)$$

$$P_0 \Delta \tau = V^2 + 2 V a_H \tau + a_H^2 \tau^2$$

$$V^2 = V^2 + 2 V a_H \tau + \frac{a_H^2 \tau^2}{3}$$



$$V_H^3 + V_H^2 a_H \tau$$

$$240 + 642.86 = 882.86$$

$$225.00 \quad 2180 \quad 1400 \quad 700 \quad 300 \quad 180 \quad 200 \quad 175 \quad 250 \quad 245 \quad 5$$

$$\begin{aligned} & 35 \\ & 642.86570 \\ & \frac{29.5}{11} = 2 \frac{59}{45} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 323.59 \\ & 359.6522 \\ & 130 \\ & 120 \\ & 120 \\ & 120 \\ & 120 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 373.45 \\ & 42 \\ & 1.865 \\ & 1492 \\ & 16725 \end{aligned}$$

$$T_0 = \frac{45}{59} T =$$

$$\begin{aligned} & 16785 \quad 59 \\ & 118 \quad 28 \\ & 498 \end{aligned}$$

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

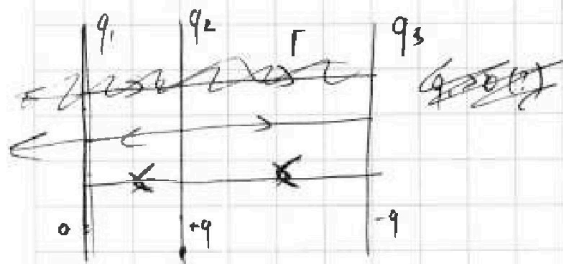
Отметьте крестиком номер задачи,

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!

МФТИ



$$q_2 < 0$$

$$q_2 > 0$$

$$E_0 = \frac{q}{\epsilon_0 S}$$

$$U = \frac{q d}{\epsilon_0 S}$$

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

$$E = \frac{q}{2\epsilon_0 S} \checkmark$$

$$U_1 = \varphi_2 - \varphi_1 = (E_2 + E_3 - E_1) d$$

$$\varphi_2 - \varphi_1 = U$$

$$\varphi_1 - \varphi_3 = 3U$$

$$\varphi_2 - \varphi_3 = 4U$$



$$U_2 = \varphi_2 - \varphi_3 = -U_1 + (E_1 + E_2 - E_3) 2d$$

$$E_1 = \frac{U_1}{d} = \frac{U}{d}$$

$$F = ma$$

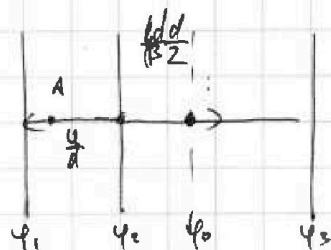
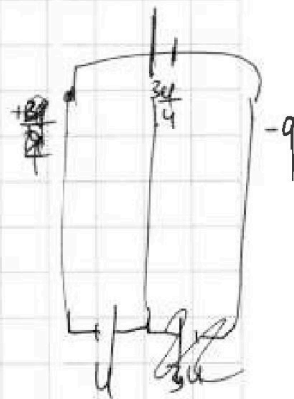
$$Eq = ma$$

$$a = \frac{Uq}{dm}$$

$$K_1 + \varphi_1 q = K_2 + \varphi_2 q$$

$$\varphi_2 - \varphi_1 = U, \checkmark$$

$$U_1 q = K_1 - K_2 \checkmark$$



$$U_2 = -U_1 + 2E_2 d$$

$$3U = 2E_2 d$$

$$E_2 = 1.5 \frac{U}{d}$$

$$\varphi_0 - \varphi_A = -E_2 \cdot \frac{2d}{3} + E_1 \cdot \frac{2d}{3} =$$

$$4.75 = 4 \frac{3}{4} = \frac{19}{4}$$

$$3U = (E_1 + E_2 - E_3) d$$

$$3RI_1 + 3LI_1' = LI_1'$$

$$\frac{19}{4} = 4$$

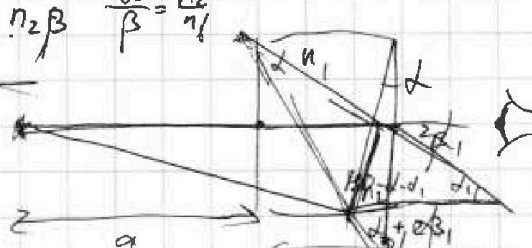
$$q_1 + q_2 + q_3 = 0$$

$$3Rq + 3LI_1' = LI_1'$$

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

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

$$\sin \alpha n_1 = \sin \beta n_2$$



$$\frac{a d}{\alpha} = \frac{l}{\sin(90 + \alpha)}$$

