



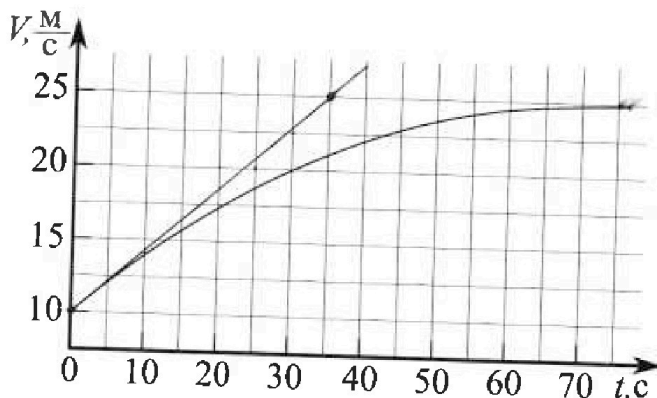
# Олимпиада «Физтех» по физике, Февраль 2023

## 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?

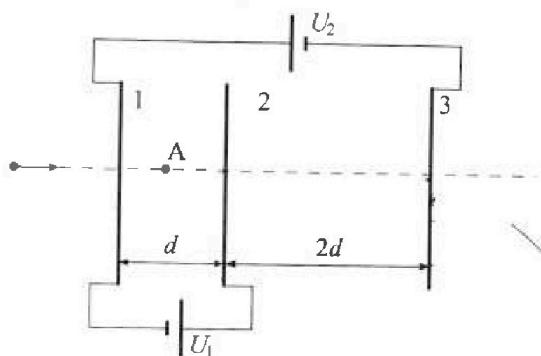
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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  $\Delta v$  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/(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 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

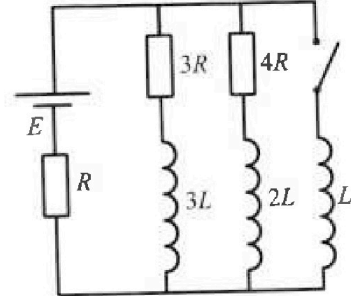
Вариант 11-03

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

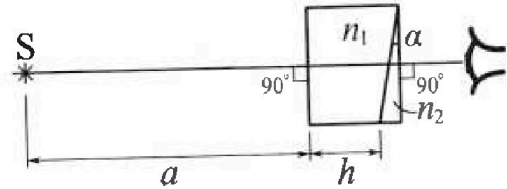


4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 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!

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

$$P_0 \Delta \tau = k \left[ \frac{(v_H + a_H \Delta \tau)^3}{3} - \frac{v_H^3}{3} \right] = \frac{m (v_H + a_H \Delta \tau) a_H \Delta \tau}{2}$$

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

$$P_0 \approx \frac{2m v_H a_H}{2} - \frac{v_H^2 a_H k}{3} = 2m v_H a_H - 2.1500$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

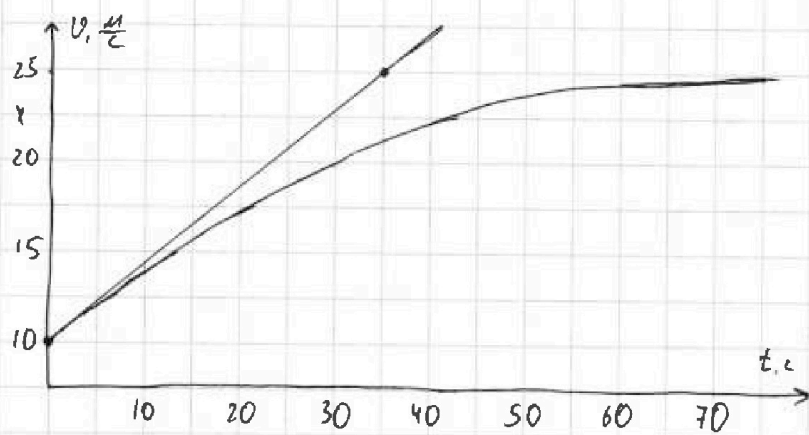
1  2  3  4  5  6  7

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  
касательной графика для мо-  
мента  $t$ . Проведем касат-  
ельную для точки максимума

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

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

2)  $F_c = kV$ , 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  $V_k = 25 \text{ м/с}$

$$F_k = k V_k$$

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

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

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!

Лист 1.

He: $T_0$
$P_0$ : $V$ : $\epsilon$
CO <sub>2</sub> : $V_1$ : $T_0$
$P_0$ : $V_1$ : $T_0$

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

$P_0 \frac{V}{\epsilon} = \nu_{CO_2} RT_0$  - уравнение Менделеева-Клапейрона для CO<sub>2</sub>, м.к.

Вода не оказывает давления на поршень  $\Rightarrow$  все давление  $P_0$

на поршень снизу оказывает CO<sub>2</sub>. Раз давление водяных паров пренебрежимо мало  $\Rightarrow \nu_{b1}$  - количество вещества водяных паров пренебрежимо

мало по сравнению с

$$k_1 = \frac{\nu_{b2}}{\nu_{n.2.}} = \frac{\nu_{He}}{\nu_{CO_2} + \nu_{b1}} = \frac{\nu_{He}}{\nu_{CO_2}} = 2 \text{ - из вышесказанных уравнений.}$$

He: $V$ : $T$
$P_1$ : $V$ : $T$
CO <sub>2</sub> : $T$
H <sub>2</sub> O: $P_1$ : $V$ : $T$
$\frac{11V}{20}$ : $\frac{11V}{20}$ : $T$

Рассмотрим систему после нагревания. Система установилась, присутствует вода,  $T = 373K \Rightarrow$  водяные пары насыщены и оказывают давление  $P_0 = P_{atm}$  на поршень. Пусть теперь

теперь оказывает на поршень давление  $P_1$ . Тогда водяные пары и CO<sub>2</sub> 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, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O.

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

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

ва CO<sub>2</sub>, до того растворенного в воде,  $\frac{11V}{20}$  - объем, оставшийся на газы снизу, т.к. вода и верхняя часть газа  $\frac{V}{\epsilon}$  и  $\frac{V}{\epsilon}$  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
<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!

Лист 2. Из условия  $\Delta v_{\text{Co}_2} = k p_0 \frac{V}{4}$

Подставим все в уравнение 1.

$$\frac{5 v_{\text{He}} RT}{V} = 2 p_0 + \frac{20 RT v_{\text{Co}_2}}{11 V} + \frac{20 RT k p_0 \frac{V}{4}}{11 V}$$

Из написанного ранее  $v_{\text{He}} = \frac{p_0 V}{2 RT_0}$  и  $v_{\text{Co}_2} = \frac{p_0 V}{4 RT_0}$ , подставим это.

$$\frac{5 p_0 V RT}{2 RT_0 V} = 2 p_0 + \frac{20 RT p_0 V}{44 RT_0 V} + \frac{5 RT k p_0}{11}$$

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

$$k_2 = \frac{T}{T_0} = \frac{2 + \frac{5}{11} RTk}{\frac{5}{2} - \frac{5}{11}} = \frac{2 + \frac{5}{11} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3}{\frac{45}{22}} = \frac{59}{45}$$

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:

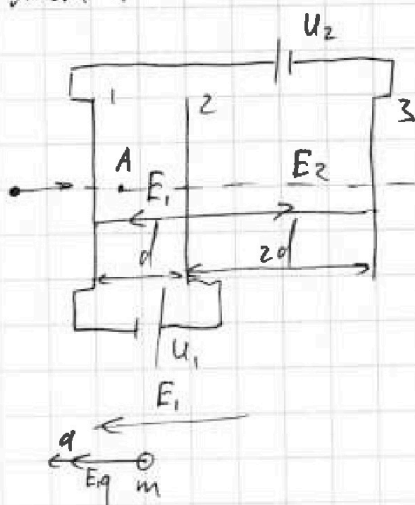
1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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



Задача 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 -  $\varphi_1$ , а сетки 2 -  
-  $\varphi_2$ , с другой стороны  $\varphi_2 - \varphi_1 = U_1$

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

$$K_1 - K_2 = (\varphi_2 - \varphi_1) q = U_1 q = Uq$$

3):

$$\text{Ответ: } \frac{Uq}{md}; Uq.$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

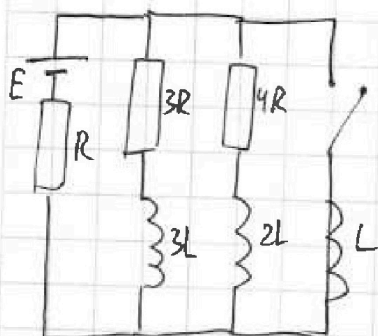
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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!

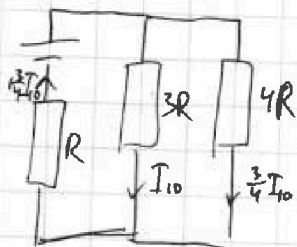
Лист 1.



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

$$E = 3RI_{10} + 1\frac{3}{4}RI_{10}$$

$$I_{10} = \frac{E}{(3+1.75)R} = \frac{4E}{19R}$$



2) Рассмотрим контур с  $E$  и  $L$ .

$$E = E_{in} + R \cdot 1.75I_{10}$$

$$E_{in} = LI'$$

$$I' = \frac{E_{in}}{L} = \frac{E - R \cdot 1.75I_{10}}{L} = \frac{E - \frac{7}{19}E}{L} = \frac{12E}{19L}$$

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

$$3RI_1 + 3LI'_1 - LI' = 0$$

Продифференцируем все по времени.

$$3Rq - 3LI_1 - L\frac{E}{R} = 0, \text{ т.к. через } 3R \text{ пройдет } q, \text{ через } 3L \text{ увеличится}$$

от  $I_{10}$  до 0 и макс через  $L$  увеличится от 0 до  $\frac{E}{R}$ .

$$q = L \frac{3I_{10} + \frac{E}{R}}{3R} = L \frac{\frac{12E}{19R} + \frac{E}{R}}{3R} = \frac{31LE}{19R^2}$$

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
<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!

$$d = a - l = a - a \cos^2 \alpha = a \sin^2 \alpha = a \alpha^2 = 0,9 \cdot 0,1^2 = 0,009 \text{ м}$$

Ответ:  $0,07 \text{ рад}$ ;  $0,009 \text{ м}$ .

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

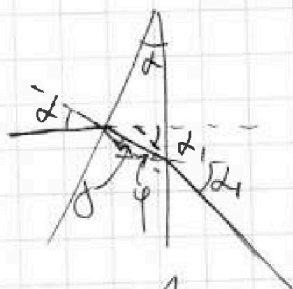
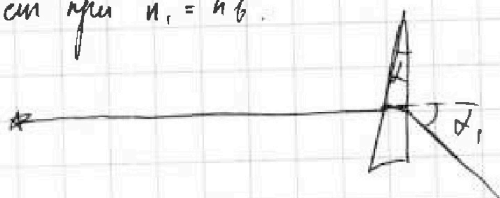
МФТИ



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

Лист 1.

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



$n_1 \alpha = n_2 \beta$ , т.к. углы маленькие, они равны синусам.

$$n_2 \varphi = n_1 \alpha_1$$

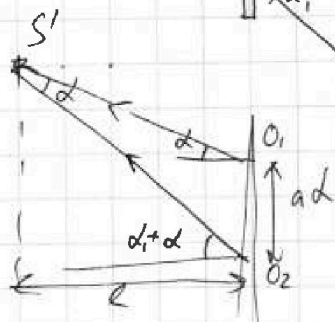
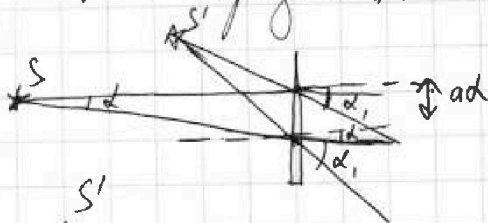
$$(\alpha + \alpha_1) n_1 = n_2 (\varphi + \beta)$$

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

$$(\alpha + \alpha_1) n_1 = n_2 \alpha$$

$$\alpha_1 = \frac{(n_2 - n_1) \alpha}{n_1} = \frac{(1,7 - 1) 0,1}{1} = 0,07 \text{ рад.}$$

2) Пусть один луч как в и.л., а второй перпендикулярно грани, разделяющей  $n_1$  и  $n_2$ . Из симметрии относительно биссектрисы в основании призмы этот луч тоже отклонится на  $\alpha_1$ .



$$\frac{a d}{\sin \alpha} = \frac{S O_1}{\sin(90 + \alpha)} \approx a$$

$$l = S O_2 \cos \alpha = a \sin(90 + \alpha) \cos \alpha = a \cos^2 \alpha$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

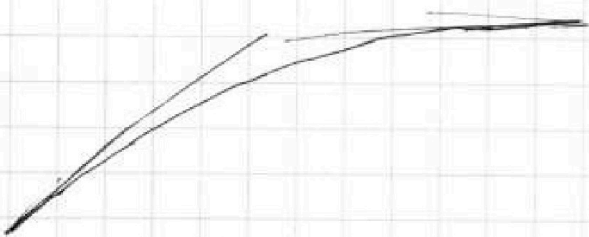
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 1   
  2   
  3   
  4   
  5   
  6   
  7



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

1.



$$\begin{aligned}
 & 25 \\
 & 1. \text{ } \cancel{22.5} - 35 \\
 & 10 - 0 \\
 & \cancel{12.8} 15 - 35 \\
 & F_0 - k V_0 = m a \\
 & F_k - k V_k = 0
 \end{aligned}$$

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

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

$H_2$	$P_1$
	$T_0$
$CO_2$ $H_2O$	$P_0$
	$T_0$

$$P_0 \frac{V}{2} = \nu_{H_2} R T_0 \quad \Delta \nu_{CO_2} = k \frac{V}{4} P_0 \quad \Delta \nu_{CO_2} = k \frac{V}{4} P_0$$

$$P_1 \frac{V}{5} = \nu_{H_2} R T \quad P_0 \frac{V}{4} = \nu_{CO_2} R T_0 \quad \nu_{CO_2} = P_0 \frac{V}{4} \frac{1}{R T_0}$$

$$P_1 = \frac{5 I}{2 T_0} P_0 > \frac{5 P_0}{4 T_0}$$

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

$$P_1 = p_6 + P_{CO_2}$$

$$\frac{5 \nu_{H_2} R T}{V} = p_6 + \frac{20 (\nu_{CO_2} + \Delta \nu_{CO_2}) R T}{11 V}$$

$$\frac{5 \nu_{H_2} R T}{V} = 2 p_0 + \frac{20 (\nu_{CO_2} + \Delta \nu_{CO_2}) R T}{11 V} = 2 p_0 + 1.5 p_0$$

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

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

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

$$p_6 \frac{11 V}{20} = \frac{V}{2} R T$$

$$p_6 = \frac{20}{11} R T$$

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

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

$$p_1 = \frac{5}{2} \cdot \frac{59}{45} P_0 = \frac{59}{18} P_0 = 3 \frac{5}{18} P_0$$

$240 + 642.86 = 882.86$   
 $225.00 \quad 35$   
 $882.86 \quad 642.86570$   
 $210$   
 $150$   
 $1400$   
 $70$   
 $300$   
 $180$   
 $200$   
 $175$   
 $250$   
 $245$   
 $5$

$\frac{29.5}{11} = 2 \frac{59}{22}$   
 $\frac{59}{45} = 1 \frac{14}{45}$

$$\frac{5 \nu_{H_2} R T}{V} =$$

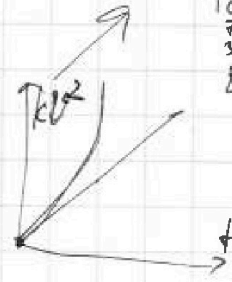
$$P_0 \Delta \tau =$$

$$\frac{V'}{V} =$$

$$(V_{H_2} + a_{H_2} \tau)^2 = k V (V)$$

$$= V^2 + 2 V a_{H_2} \tau + a_{H_2}^2 \tau^2$$

$$\int 2 V a_{H_2} \tau^2 + \frac{a_{H_2}^2 \tau^3}{3}$$



$$V_{H_2}^3 + V_{H_2}^2 a_{H_2} \tau$$

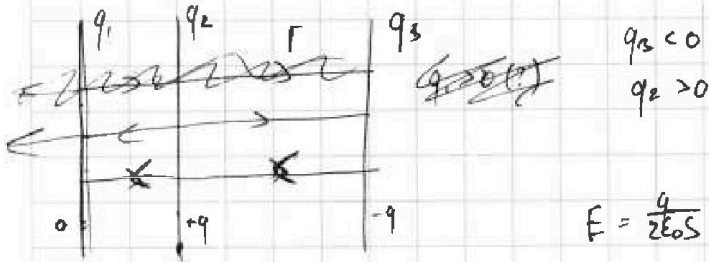
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$q_2 < 0$   
 $q_2 > 0$

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

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

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

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

$\varphi_2 - \varphi_1 = U$   
 $\varphi_1 - \varphi_3 = 3U$   
 $\varphi_2 - \varphi_3 = 4U$



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

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

$F = ma$

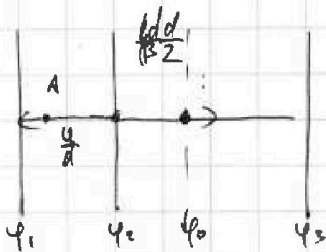
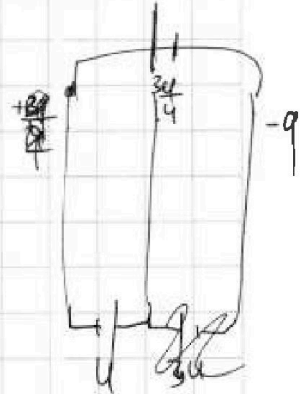
$E_1 q = ma$

$a = \frac{U q}{d m}$

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

$\varphi_2 - \varphi_1 = U_1 \checkmark$

$U_1 q = K_1 - K_2 \checkmark$



$U_2 = -U_1 + 2E_2 d$

$3U = 2E_2 d$

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

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

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

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

$3RI_1 + 3LI_1' = LI_1'$

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

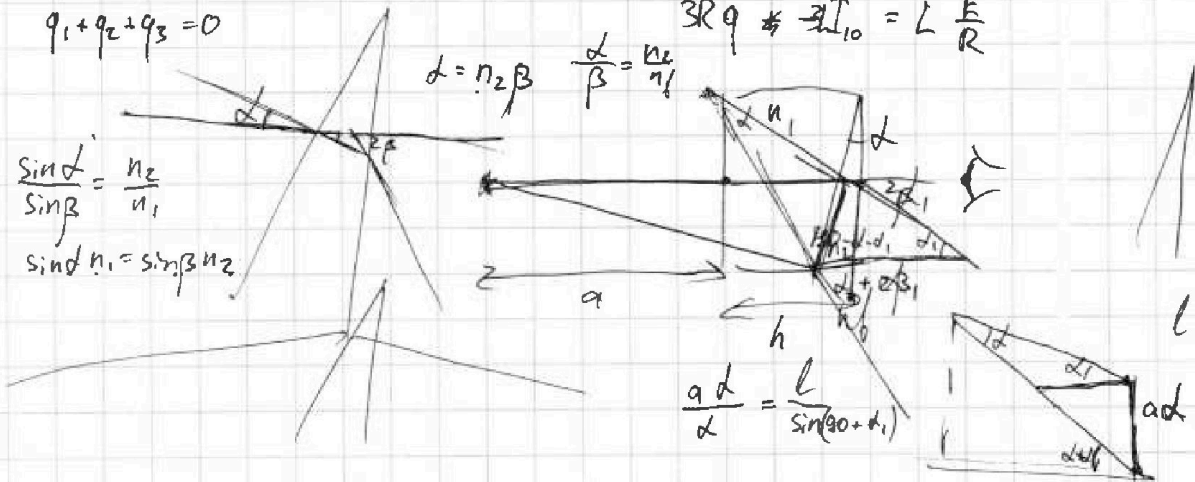
$q_1 + q_2 + q_3 = 0$

$3Rq \neq 3LI_1' = L \frac{E}{R}$

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

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

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



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