



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023



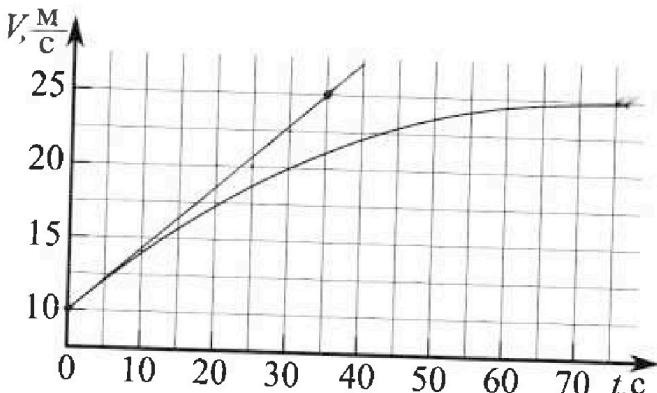
Вариант 11-03

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%.



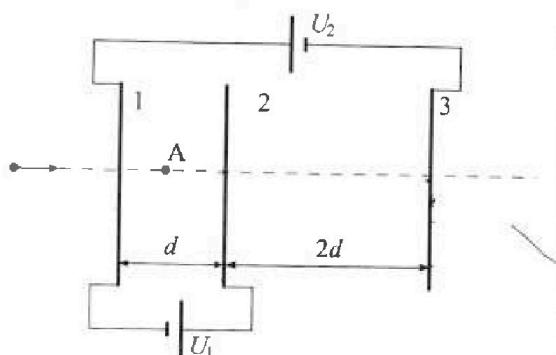
2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объёмом V разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится гелий, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент 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 v пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta v = k p v$. 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 $RT = 3 \cdot 10^3$ 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 оно же в конечной и начальной температуре 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 А на расстоянии $d/4$ от сетки 1.



**Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023**

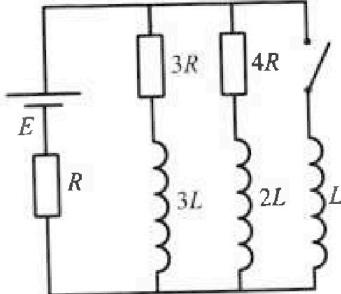
Вариант 11-03

*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.

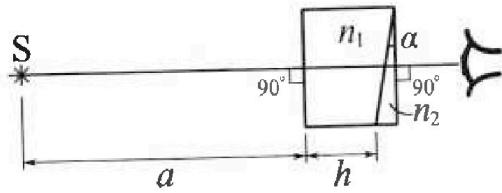
- 1) Найти ток I_{10} через резистор с сопротивлением $3R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью L сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд пр отечет через резистор с сопротивлением $3R$ при замкнутом ключе?

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 $n_b = 1,0$. 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 $n_1 = n_b = 1,0$, $n_2 = 1,7$, найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая $n_1 = n_b = 1,0$, $n_2 = 1,7$, 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!

$$3) P_{0\Delta T} - \int_{V_n}^{V_n + a_n \Delta T} k(V_n + a_n \Delta T)^2 dT = \frac{m(V_n + a_n \Delta T)^2}{2} - \frac{m V_n^2}{2}$$

$$P_{0\Delta T} - k \left[\frac{(V_n + a_n \Delta T)^3}{3} - \frac{V_n^3}{3} \right] = \frac{m(V_n + a_n \Delta T) a_n \Delta T}{2}$$

$$P_{0\Delta T} \approx \frac{2m V_n a_n \Delta T}{2} - \frac{V_n^2 a_n \Delta T k}{3} \quad | : \Delta T$$

$$P_0 \approx \frac{2m V_n a_n}{2} - \frac{V_n^2 a_n k}{3} = 2m V_n a_n \cdot 2 \cdot 1500 \cdot$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

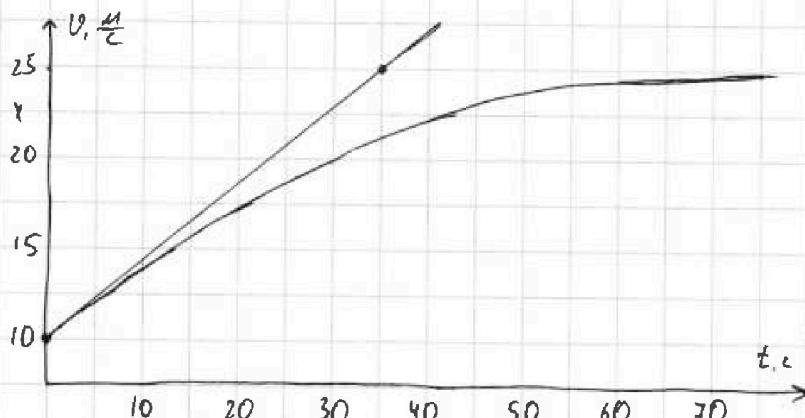
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

- | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| <input checked="" 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.



1) $a(t) = V'(t) \Rightarrow a$ будет
равна производной кото-
рому графика для мо-
ментов t . Проведем каса-
тельную для момента
времени 0. Для надежности, касательная была проведена на
данном графике, здесь представлен ее пример. По умолчанию она

прокладывает через $(0; 10)$. по 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 как коэффициент. Запишем вто-
рой закон Ньютона для начала и конца разгона.

$$F_0 - F_k V_n = m a_n$$

$$F_k - k V_k = m a_k$$

Запишем, 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

МФТИ

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

Задача 1.

He: $\frac{V_0}{2}$	T_0
P_0 :	$\frac{V_0}{2}$
$\frac{V_0}{2}$	
$\frac{P_0}{2}$	$\frac{V_0}{2} T_0$

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

$P_0 \frac{V}{4} = \sqrt{CO_2} RT_0$ - уравнение Менделесева-Клапейрона для CO_2 , ^{м.к}

Вода не оказывает давления на поршень \Rightarrow всп. давление P_0
на поршень между оказывает CO_2 . Т.к. давление водяных паров пре-
доставлено ими $\Rightarrow \sqrt{b_1}$ - количество вещества водяных паров преобразовано
ими по уравнению с

$$k_1 = \frac{\sqrt{b_2}}{\sqrt{b_1}} = \frac{\sqrt{He}}{\sqrt{CO_2} + \sqrt{b_1}} = \frac{\sqrt{He}}{\sqrt{CO_2}} = 2 \text{ - из вышеизложенных уравнений.}$$

He: $\frac{V_0}{2}$; T	
CO_2 : T	
H_2O :	
P_1 :	

Рассмотрим систему после нагревания. Система установив-
шаяся, присутствует вода, $T = 373K \Rightarrow$ водяные пары насе-
щены и оказывают давление $2P_0 = P_{ATM}$ на поршень. Пуск и-
ли теперь оказывает на поршень давление p_1 . Тогда общее давление
 CO_2 оказывает вдвое то же давление p_1 .

$$p_1 = 2P_0 + p_2, \text{ где } p_2 \text{ - новое давление } CO_2. \quad (1)$$

Запишем уравнение Менделесева-Клапейрона для всех He, CO_2, H_2O .

$$P_1 \frac{V}{5} = \sqrt{He} RT \Rightarrow P_1 = \frac{5\sqrt{He} RT}{V}$$

$P_2 \frac{11V}{20} = (\sqrt{CO_2} + \Delta \sqrt{CO_2}) RT \Rightarrow P_2 = \frac{20RT(\sqrt{CO_2} + \Delta \sqrt{CO_2})}{11V}$, где $\Delta \sqrt{CO_2}$ - кол-во вещества CO_2 , до этого растворенного в воде, $\frac{11V}{20}$ - объем, оставшийся на глу-
бине, м.к. вода и верхний газы имеют $\frac{V}{5}$ и $\frac{V}{4}$ соответственно.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1

2

3

4

5

МФТИ

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

дем 2. Из условия $\alpha V_{CO_2} = k p_0 \frac{V}{T}$

Подставим все в уравнение 1.

$$\frac{5V_{He}RT}{V} = 2p_0 + \frac{20RTV_{CO_2}}{11V} + \frac{20RTk p_0 \frac{V}{T}}{11V}$$

Из калькулятора ранее $V_{He} = \frac{P_0 V}{2RT_0}$ и $V_{CO_2} = \frac{P_0 V}{4RT_0}$, подставим это.

$$\frac{5P_0 \frac{V}{2RT_0} RT}{2} = 2p_0 + \frac{20RT \frac{P_0}{4RT_0} X}{11} + \frac{5RTk P_0}{11}$$

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

$$k_2 = \frac{T}{T_0} = \frac{2 + \frac{5}{11} RTk}{\frac{5}{2} - \frac{5}{11}} = \frac{2 + \frac{5}{11} \cdot 0,5 \cdot 10^8 \cdot 3 \cdot 10^3}{\frac{45}{22}} = \frac{59}{45}.$$

Значит, 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

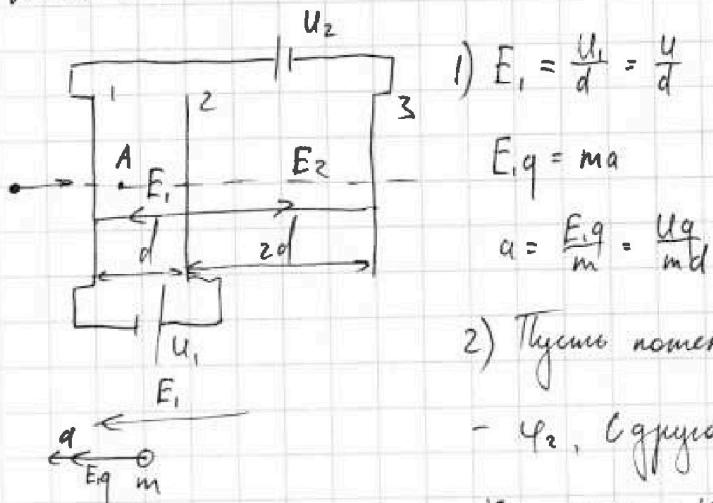
6

7

МФТИ

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

Лист 1.



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

3).

Ответ: $\frac{Uq}{md}$; Uq .



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

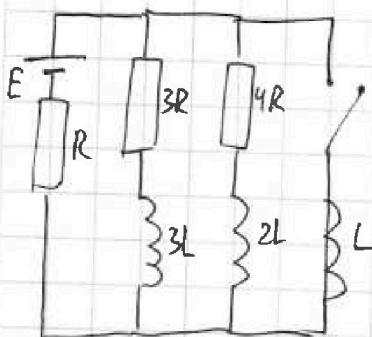
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

- | | | | | | | |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 3 | <input checked="" type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 6 | <input type="checkbox"/> 7 |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|

МФТИ

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

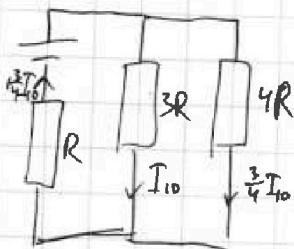
Лист 1.



1) В учитывавшемся решении катушка явно отсутствует
перемычками. Рассмотрим живую контурную
схему, рассставив знаки 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 предыдущей записи времена.

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

Подумаем, какие все подобные записи по времени.

$$3Rq - 3LI_{10} - L \frac{E}{R} = 0, \text{ т.к. через } 3R \text{ проходит } q, \text{ через } 3L \text{ изменяется}$$

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

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

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



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

- | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| <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!

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

Ответ: 0,009 м.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:



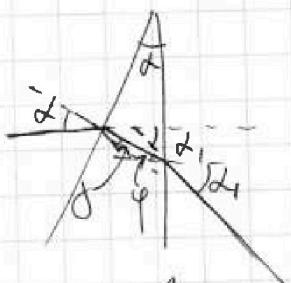
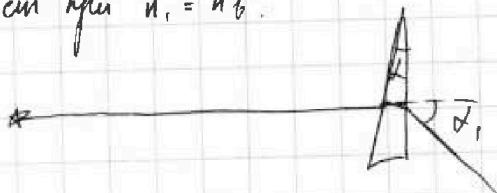
- | | | | | | | |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 4 | <input checked="" type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 6 | <input type="checkbox"/> 7 |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|

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

МФТИ

Чист 1.

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



$n_1 d = n_2 d$, т.к. углы маленькие, они равны аппрок.

$$n_2 \varphi = n_1 d_1$$

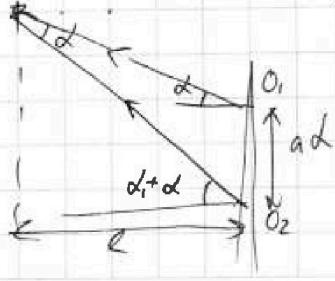
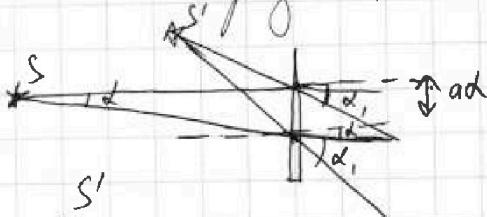
$$(d + d_1)n_1 = n_2(\varphi + \alpha)$$

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

$$(d + d_1)n_1 = n_2 d$$

$$d_1 = \frac{(n_2 - n_1)d}{n_1} = \frac{(1.3 - 1)0.1}{1} = 0.07 \text{ рад.}$$

2) Пусть один луч как в и.1., а второй перпендикулярен грани, разделенной n_1 и n_2 . Из симметрии относительно биссектрисы основания красный луч тоже отклоняется на d_1 .



$$\frac{ad}{\sin d} = \frac{S O_1}{\sin(90^\circ - d)} \approx 9$$

$$l = S' O_2 \cos d = a \sin(90^\circ - d) \cos d = a \cos^2 d$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

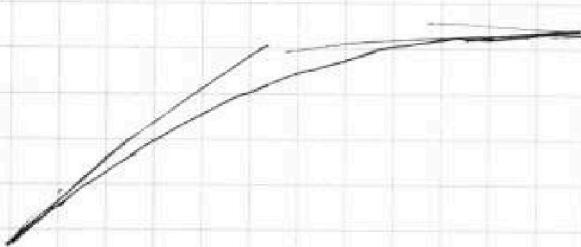


- | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <input checked="" 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.



$$1. \text{ } \frac{25}{\text{ }} \quad 22,5 - 30$$

$$10 - 0$$

$$12,8 \text{ } 15 - 35$$

$$F_0 - k V_0 = m a$$

$$F_k - k V_k = 0$$

$$P_{\text{atm}} + \frac{m V^2}{2} = P_0 \Delta z + k V \cdot V_{\Delta z} = \frac{m V_{\Delta z}^2}{2} - \frac{m V^2}{2}$$

$$P_0 \Delta z - k A_c = \frac{m}{2} (\Delta z (V_k + V_n))$$

H _c	P _c
T ₀	T ₀
CO ₂	P ₀
K ₂ O	T ₀

$$P_0 \frac{V}{T_0} = V_{H_c} R T_0$$

$$P_1 \frac{V}{T} = V_{H_c} R T$$

$$P_1 = \frac{5}{2} P_0 > \frac{5}{2} P_{\text{atm}}$$

$$P_1 = P_0 + P_{\text{CO}_2}$$

$$\frac{5 \sqrt{V_{H_c} R T}}{V} = P_0 + \frac{20 (\sqrt{V_{CO_2}} + \sqrt{V_{CO_2}}) R T}{11 V}$$

$$\frac{5 \sqrt{V_{H_c} R T}}{V} = 2 P_0 + \frac{20 (\sqrt{V_{CO_2}} + \sqrt{V_{CO_2}}) R T}{11 V} = 2 P_0 + \frac{20 R T}{11} k \frac{\sqrt{V}}{\sqrt{V}}$$

$$\frac{5}{2} \frac{T}{T_0} = 2 + \frac{40}{44} \frac{T}{T_0} + \frac{20}{44} \frac{R T K}{V}$$

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

$$\frac{T}{T_0} = \frac{22}{45} \left(2 + \frac{5}{11} \cdot 1,5 \right) = \frac{22}{45} \left(\frac{22+7,5}{11} \right) = \frac{59}{45} = 1 \frac{14}{45}$$

$$\Delta V_{CO_2} = k \frac{V}{T} P_0$$

$$P_{CO_2} = P_0 \frac{V}{T} \frac{1}{RT_0}$$

$$\frac{\Delta V_{CO_2}}{T_{CO_2}} = \frac{RT_0}{V} k < 1,5 \quad V \left(\frac{V}{S} + \frac{V}{V} \right) = \frac{11V}{20}$$

$$P_{CO_2} \frac{V}{20} = (\sqrt{V_{CO_2}} + \sqrt{V_{CO_2}}) R T$$

$$P_0 \frac{V}{20} = \sqrt{V} R T$$

$$P_0 = \frac{20}{11} R T$$

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

$$\frac{5 \sqrt{V_{H_c} R T}}{V} =$$

$$(V_n + a_n z)^{\frac{1}{2}} \cdot k V (V)$$

$$P_{\text{atm}} = V^2 + 2 a_n z + a_n^2 z^2$$

$$V_i^2 = \int a_n z^2 + \frac{a_n^2 z^3}{3}$$

$$240 + 642,86 = 882,86$$

$$= 882,86$$

$$215,00 | \overline{35}$$

$$180 | \overline{642,88570}$$

$$140 | \overline{48}$$

$$70 | \overline{29,5}$$

$$30 | \overline{2}$$

$$10 | \overline{5}$$

$$8 | \overline{2}$$

$$4 | \overline{0}$$

$$2 | \overline{0}$$

$$1 | \overline{0}$$

$$0 | \overline{0}$$

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

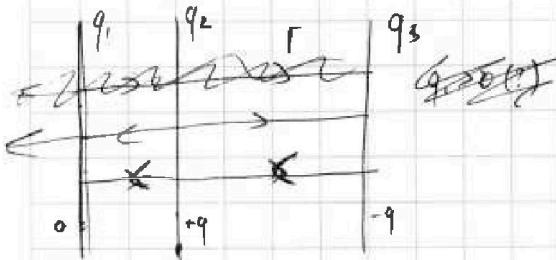
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

- | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|

МФТИ



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



$$q_3 < 0$$

$$q_2 > 0$$

$$E_k = \frac{q}{2\epsilon_0 S}$$

$$U = \frac{qd}{8\epsilon_0 S}$$

$$C = \frac{8\epsilon_0 S}{d}$$

$$F = \frac{q^2}{2\epsilon_0 S} V$$

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

$$\begin{aligned} \varphi_2 - \varphi_1 &= U \\ \varphi_1 - \varphi_3 &= 3U \\ \varphi_2 - \varphi_3 &= 4U \end{aligned}$$



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

* ~~E_k = q~~

$$F = ma$$

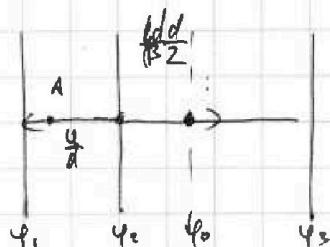
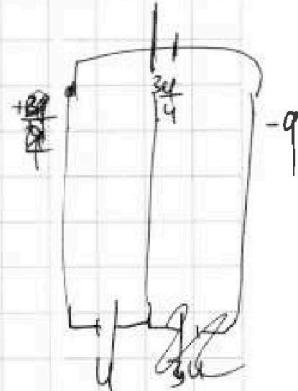
$$E_k q = ma$$

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

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

$$\varphi_2 - \varphi_1 = U_1 \Leftarrow$$

$$U_1 q = K_1 - K_2 \quad V$$



$$U_i = U_1 + 2E_2 d$$

$$3U = 2E_2 d$$

$$E_2 = 1,54 \frac{V}{d}$$

$$\varphi_0 - \varphi_1 = -E_2 \cdot \frac{2d}{3} + E_1 \cdot \frac{2d}{3} =$$

$$4,75 = 4 \frac{3}{4} = \frac{19}{4}$$

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

$$3RI_1 + 3LT'_1 = LI'$$

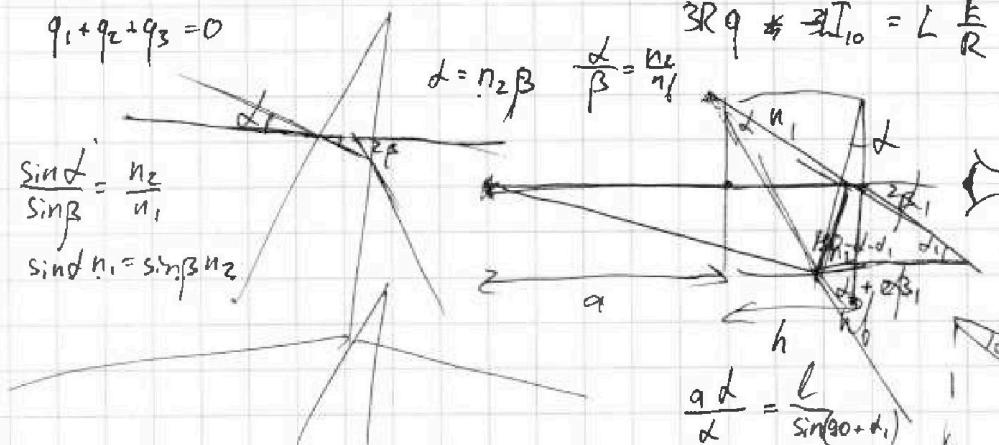
$$\frac{19}{4} = 4$$

$$q_1 + q_2 + q_3 = 0$$

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

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

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



$$\frac{q d}{\alpha} = \frac{l}{\sin(90^\circ + \alpha)}$$

