



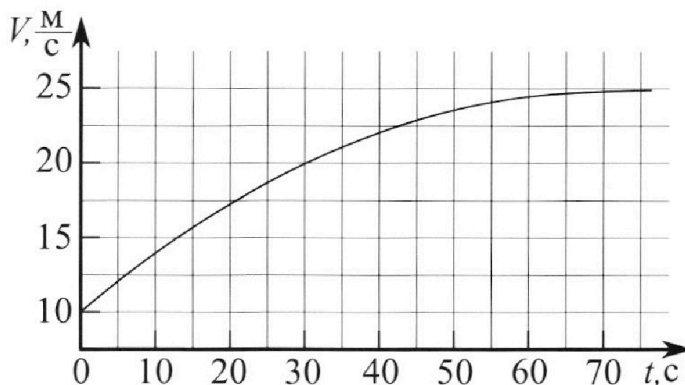
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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?

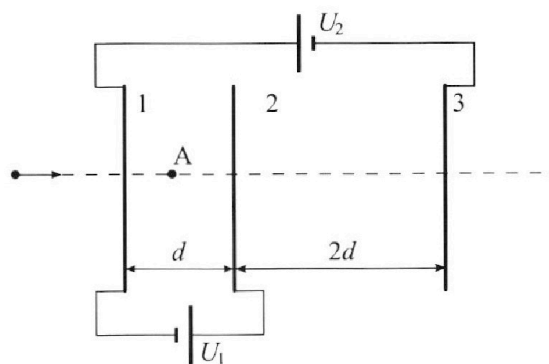
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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 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 $k \approx 0,5 \cdot 10^{-3}$ 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 А на расстоянии $d/4$ от сетки 1.

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

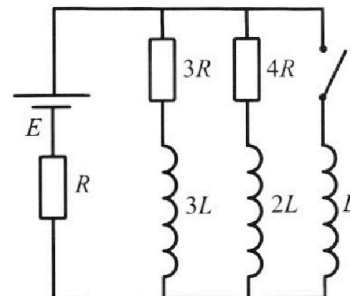
Вариант 11-03

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 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 $n_{\text{в}} = 1,0$. 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.

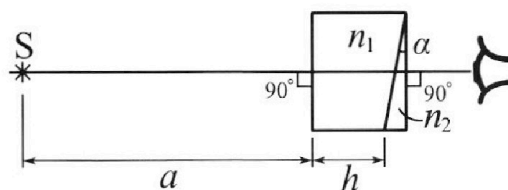


рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 14$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

- 1) Считая $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$, $n_2 = 1,7$, 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 $n_1 = 1,4$, $n_2 = 1,7$, найдите на каком расстоянии от источника будет его изображение, которое увидит наблюдатель.

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!

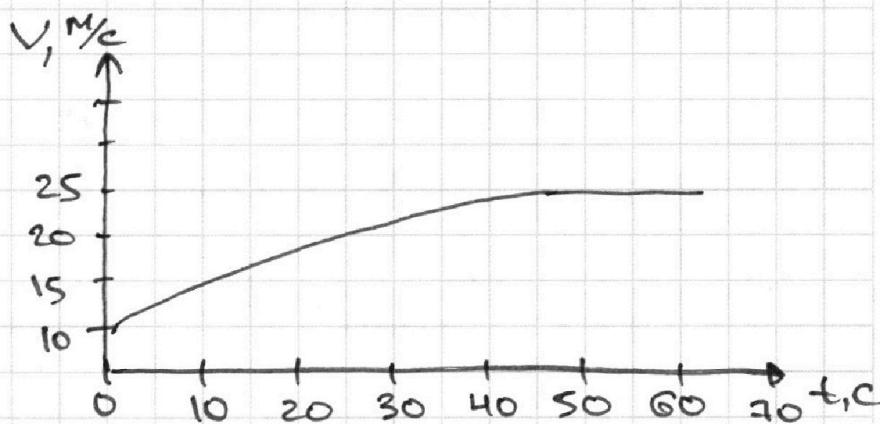


Задача 1

$$m = 1500 \text{ кг}$$

$$F_k = 600 \text{ Н}$$

$$F_c = 2 \cdot v$$



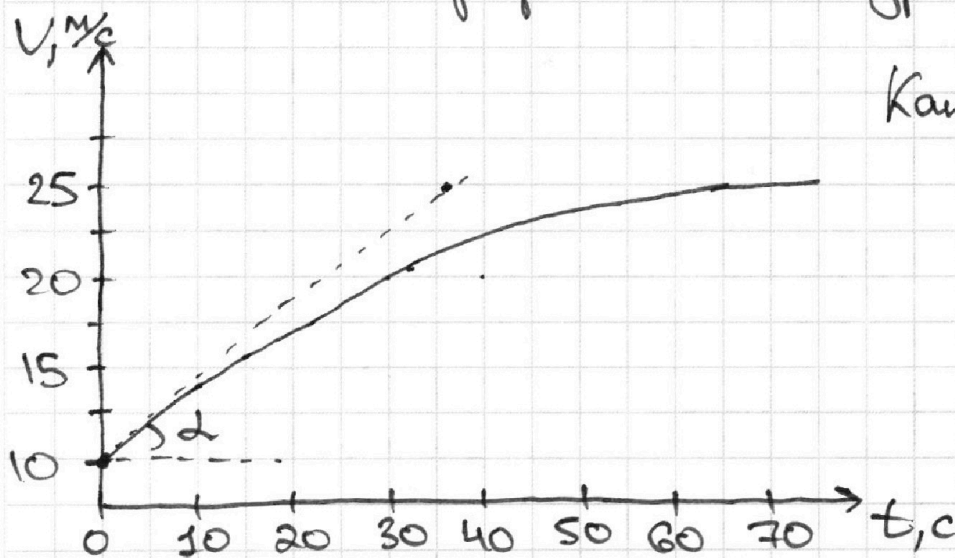
примерный график: ↗

$$a = \frac{dv}{dt}$$

Чтобы найти ускорение из (1) пункта,
необходимо построить

касательную к графику в (:) $t=0$

Для этого график более аккуратно: $v = 10 \text{ м/с}$



Как видно из
графика в
условии и
много
примерного
графика
касательная
пересекает
 $v = 25 \text{ м/с}$
примерно в
 $t = 35 \text{ с}$

тогда: $\tan \alpha = \frac{15}{35} = \frac{3}{7}$

$$\rightarrow \left(\frac{dv}{dt} \right)_{t=0} = \frac{3}{7} \text{ м/с}^2 \approx 0,43 \text{ м/с}^2; a_0 = 0,43 \text{ м/с}^2$$

1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

Задача 1 (продолжение)

Для произвольного момента времени
2 з.н. для автомобиля

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = F_{\text{тяги}} - F_c = F_{\text{тяги}} - \alpha v$$

Рассмотрим два момента времени,

- в конце нам известна $F_k = 600 \text{ Н}$

при этом как видно из графика скорость
в конце устанавливается, т.е. $\frac{dv}{dt} = 0$

$$\text{и } v_k = 25 \text{ м/с}$$

тогда:

$$0 = F_k - \alpha v_k \rightarrow \alpha = \frac{F_k}{v_k} = \frac{600}{25} \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$$

$$\alpha = \frac{120}{5} = 24 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$$

- тогда нетрудно найти силу тяги F_0 в
начале разгона:

$$ma_0 = F_0 - \alpha v_0$$

$$v_0 = 10 \text{ м/с}$$

$$a_0 = 0,43 \text{ м/с}^2$$

$$\rightarrow F_0 = ma_0 + \alpha v_0$$

$$F_0 = 1500 \cdot 0,43 + 24 \cdot 10 =$$

$$= 15 \cdot 43 + 240 = 645 + 240 = 885 \text{ Н}$$

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 (продолжение)

Необх. найти мощность P_0 от двигателя на
ведущие колеса в начале разгона

$$P_0 = \left(\frac{dA}{dt} \right)_0$$

$$\frac{dA}{dt} = F \cdot \frac{dx}{dt}$$

$$\rightarrow P_0 = F_0 \cdot \left(\frac{dx}{dt} \right)_0 = F_0 \cdot v_0$$

$$P_0 = 885 \cdot 10 = 8850 \text{ Вт}$$

Ответ: 1) $a_0 = 0,43 \text{ м/с}^2$

2) $F_0 = 885 \text{ Н}$

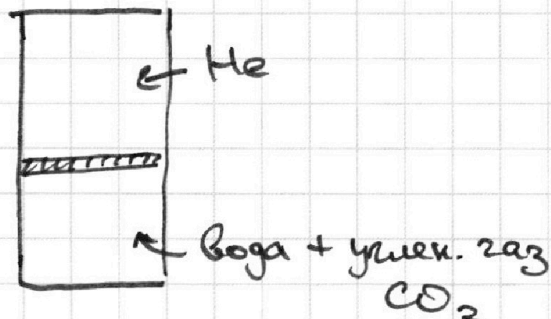
3) $P_0 = 8850 \text{ Вт}$

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!



Задача 2



Закон Генри:

$$\Delta V = k p w$$

w - объем жидкости

$$k = 0,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{моль}}{\text{м}^3 \cdot \text{Па}} \quad \leftarrow \text{при } T_0$$

$k' \approx 0 \quad \leftarrow \text{при } T$ (газ практически не растворяется)

$$RT \approx 3 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

Давлением водяных паров при комнатной температуре пренебрегаем
Необходимо найти:

1) Отношение ~~количеств~~ ^{кол-ва веш. в составе} ~~газа~~ ^{газа} ~~до нагрева~~

т.е.

$$\frac{V_{\text{He}}}{V_{\text{угл}}} = \frac{V_{\text{г}}}{V_{\text{г}}}$$

$$\frac{\partial r}{\partial y} = ?$$

где ∂_r - кол-во газа в верх. части

∂_y - кол-во углекислого газа в газ. сост (т.е. в внешнем сосуде)

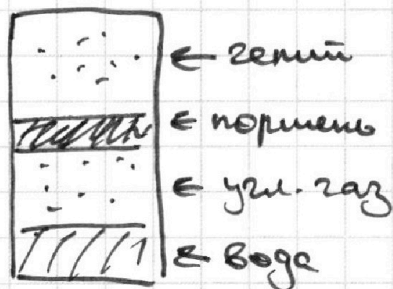
$$2) \frac{T}{T_0} = ?$$

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!

Задача 2 (продолжение)

1) Рассмотрим ситуацию до нагрева



над водой, обозначим

$$\omega = V_g = \frac{V}{4}$$

находится ушкиской газ

так же часть ушк. газа раствор. в воде

Уравнение Клапейрона - Менделеева для земли:

$$p_0 \cdot \frac{V}{2} = \mathcal{D}_r RT_0 \rightarrow \mathcal{D}_r = \frac{p_0 V}{2 RT_0}$$

$$\mathcal{D}_r = \frac{p_{\text{атм}} V}{4 RT_0}$$

Уравнение Клапейрона - Менделеева для ушк. газа:

$$p_0 \cdot \left(\frac{V}{2} - V_g \right) = \mathcal{D}_1 RT_0$$

$\mathcal{D}_1$ - кол-во ушкиского газа в газодер. сост.

$$\frac{p_{\text{атм}}}{2} \cdot \frac{V}{4} = \mathcal{D}_1 RT_0 \rightarrow \mathcal{D}_1 = \frac{p_{\text{атм}} \cdot V}{8 RT_0}$$

$\mathcal{D}_1 = \mathcal{D}_y$ (как и обозначим в вопросе)

$$\rightarrow \frac{\mathcal{D}_r}{\mathcal{D}_y} = \frac{p_{\text{атм}} \cdot V \cdot 8 RT_0}{4 RT_0 \cdot p_{\text{атм}} \cdot V} = \frac{8}{4} = 2$$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐



по закону Генри, кол-во ушенистого газа,
растворенного в воде

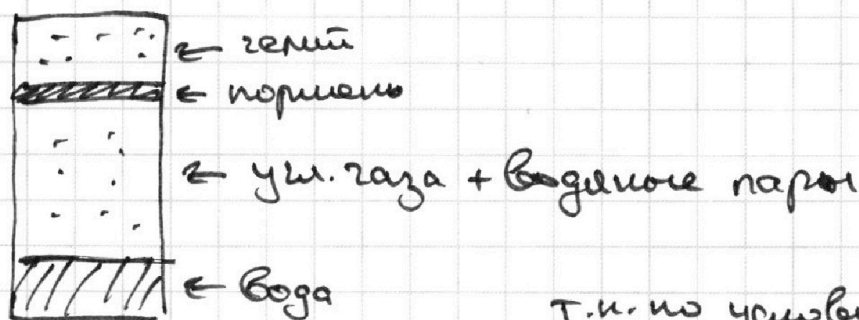
$$\mathcal{D}_2 = K \cdot p_0 \cdot \frac{V}{4} = K \cdot \frac{p_{\text{атм}} \cdot V}{8}$$

Значит этого ушенистого газа в нижней
части сосуда $\frac{1}{2}$:

$$\begin{aligned} \mathcal{D} &= \mathcal{D}_1 + \mathcal{D}_2 = \frac{p_{\text{атм}} \cdot V}{8RT_0} + \frac{p_{\text{атм}} \cdot V \cdot K}{8} = \\ &= \frac{p_{\text{атм}} \cdot V}{8} \cdot \left(\frac{1}{RT_0} + K \right) \end{aligned}$$

В нижней части по условию давл. вод. паров
пренебр. мало $\rightarrow$ и кол-во вод. паров пренебр.
мало

2) Рассмотрим ситуацию после нагрева



т.к. по условию $T = 373\text{ K}$

т.е. $T = 373\text{ K} - 273 = 100^\circ\text{C}$

то как известно давление вод. паров будет
равно $p_{\text{атм}}$

1
☐

2
☒

3
☐

4
☐

5
☐

6
☐

7
☐



Задача 2 (продолжение)

Давление со стороны земли и со стороны угл. газ + вод. пар уравниваются поршня (давление P_2)

Тогда уравнение Клапейрона - Менделеева для земли:

$$P_2 \cdot \frac{V}{5} = \nu_r \cdot RT = \frac{P_{\text{атм}} \cdot V}{4RT_0} \cdot RT$$

$$\rightarrow P_2 = \frac{5}{V} \cdot \frac{P_{\text{атм}} \cdot V}{4} \cdot \frac{T}{T_0}$$

$$P_2 = \frac{5}{4} P_{\text{атм}} \cdot \frac{T}{T_0}$$

Уравнение Клапейрона - Менделеева для угл. газа:

$$P_2' \cdot \left(V - \frac{V}{5} - \frac{V}{4} \right) = \nu RT$$

↑ давление угл. газа

← объем угл. газа

(полный объем за вычетом воды и земли)

$$P_2' \cdot \left(\frac{20V}{20} - \frac{4V}{20} - \frac{5V}{20} \right) = \frac{P_{\text{атм}} \cdot V}{8} \cdot \left(\frac{1}{RT_0} + k \right) \cdot RT$$

$$P_2' \cdot \frac{11V}{20} = \frac{P_{\text{атм}} \cdot V}{8} \cdot \left(\frac{T}{T_0} + KRT \right) \cdot RT$$

$$\rightarrow P_2' = \frac{20}{11 \cdot 8} P_{\text{атм}} \cdot \left(\frac{T}{T_0} + KRT \right)$$

$$P_2' = \frac{5}{22} P_{\text{атм}} \cdot \left(\frac{T}{T_0} + KRT \right)$$

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!

Давление со стороны упр. газа и вод. паров :

$$p_2 = p_2' + p_{\text{атм}}$$

тогда :

$$\frac{5}{4} p_{\text{атм}} \cdot \frac{T}{T_0} = \frac{5}{22} p_{\text{атм}} \cdot \left(\frac{T}{T_0} + KRT \right) + p_{\text{атм}}$$

$$\rightarrow \frac{5}{4} \cdot \frac{T}{T_0} = \frac{5}{22} \frac{T}{T_0} + \frac{5}{22} KRT + 1$$

$$\rightarrow \left(\frac{5}{4} - \frac{5}{22} \right) \cdot \frac{T}{T_0} = \frac{5}{22} KRT + 1$$

$$\frac{T}{T_0} \cdot \left(\frac{5 \cdot 11 - 5 \cdot 2}{44} \right) = \frac{5}{22} KRT + 1$$

$$\frac{T}{T_0} \cdot \frac{55 - 10}{44} = \frac{5}{22} KRT + 1$$

$$\frac{T}{T_0} = \frac{44}{45} \cdot \frac{5}{22} KRT + \frac{44}{45}$$

$$\frac{T}{T_0} = \frac{2}{9} KRT + \frac{44}{45} ; \text{ подставим числ. значение:}$$

$$\frac{T}{T_0} = \frac{2}{9} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3 + \frac{44}{45} = \frac{2}{9} \cdot \frac{1}{2} \cdot 3 + \frac{44}{45}$$

$$\frac{T}{T_0} = \frac{3}{9} + \frac{44}{45} = \frac{1}{3} + \frac{44}{45} = \frac{15 + 44}{45} = \frac{59}{45}$$

Ответ: 1) $\frac{\partial r}{\partial y} = 2$; 2) $\frac{T}{T_0} = \frac{59}{45}$

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!



Задача 3

$$U_1 = U$$

$$U_2 = 3U$$

$$m$$

$$q > 0$$

$$v_0$$

$$1) d_{12} - ?$$

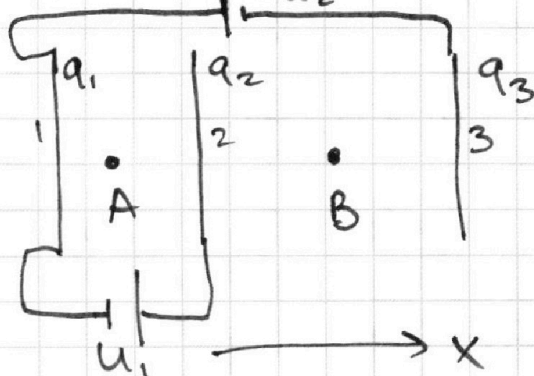
$$2) K_1 - K_2$$

K_1 и K_2 - кинет. энергии при пролете сеток 1 и 2

$$3) \cancel{L_A} L_A = \frac{d}{4} \in \text{раст от сетки 1 до (.)A}$$

$$\varphi_A - ?$$

Сначала найдём, как перераспределяются заряды по сеткам, их можно считать равномерно заряженными плоскостями. На первой q_1 ; на второй q_2 ; на третьей - q_3



т.к. изначально не заряжены:

$$q_1 + q_2 + q_3 = 0$$

Найдём поле в каждой из частей

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

Будем считать заряды положительными
(в конце знаки уступят)

тогда E_A :

на ось x

$$E_{Ax} = \frac{q_1}{2\epsilon_0} - \frac{q_2}{2\epsilon_0} - \frac{q_3}{2\epsilon_0}$$

поле от равношерн.
заряженной пластины:

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

в точке B :

$$E_{Bx} = \frac{q_1}{2\epsilon_0} + \frac{q_2}{2\epsilon_0} - \frac{q_3}{2\epsilon_0}$$

Теперь запишем разности потенциалов:

- $\varphi_2 - \varphi_1 = U_1$

т.к. поле между 1 и 2 однородное:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = d E_{Ax} = \frac{d}{2\epsilon_0} \cdot (q_1 - q_2 - q_3)$$

$$\rightarrow U_1 = \frac{d}{2\epsilon_0} \cdot (q_2 + q_3 - q_1)$$

- $\varphi_1 - \varphi_3 = U_2$

$$\varphi_2 - \varphi_3 = 2d E_{Bx} = 2d \cdot \frac{1}{2\epsilon_0} \cdot (q_1 + q_2 - q_3)$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{d}{2\epsilon_0} \cdot (q_1 - q_2 - q_3)$$

$$\begin{aligned} \varphi_1 - \varphi_3 &= \varphi_1 - \varphi_2 + \varphi_2 - \varphi_3 = \frac{d}{2\epsilon_0} \cdot (q_1 - q_2 - q_3) + \\ &+ \frac{d}{2\epsilon_0} \cdot (2q_1 + 2q_2 - 2q_3) \end{aligned}$$

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!



Задача 3 (продолжение)

$$\begin{aligned} \varphi_1 - \varphi_3 &= \frac{d}{2\epsilon_0} \cdot (q_1 - q_2 - q_3 + 2q_1 + 2q_2 - 2q_3) \\ &= \frac{d}{2\epsilon_0} \cdot (3q_1 + q_2 - 3q_3) \end{aligned}$$

$$\begin{cases} U_2 = \frac{d}{2\epsilon_0} \cdot (3q_1 + q_2 - 3q_3) = 3U \\ U_1 = \frac{d}{2\epsilon_0} \cdot (q_2 + q_3 - q_1) = U \\ q_1 + q_2 + q_3 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 3q_1 + q_2 - 3q_3 = \frac{6U\epsilon_0}{d} \\ q_2 + q_3 - q_1 = \frac{2U\epsilon_0}{d} \\ q_1 + q_2 + q_3 = 0 \end{cases}$$

$$3Q = \frac{U\epsilon_0}{d}$$

тогда:

$$\begin{cases} 3q_1 + q_2 - 3q_3 = 6Q \\ q_2 + q_3 - q_1 = 2Q \\ q_1 + q_2 + q_3 = 0 \rightarrow q_2 + q_3 = -q_1 \end{cases}$$

$$\rightarrow -2q_1 = 2Q \rightarrow q_1 = -Q$$

$$\begin{cases} q_2 - 3q_3 = 6Q + 3Q = 9Q \\ q_2 + q_3 = Q \rightarrow q_2 = Q - q_3 \end{cases}$$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐



Задача 3 (продолжение)

$$Q - q_3 - 3q_3 = 9Q$$

$$Q - 9Q = 4q_3 = -8Q$$

$$q_3 = -2Q$$

тогда $q_2 = Q - q_3 = 3Q$

Уточно:

$$q_1 = -Q$$

$$q_2 = 3Q$$

$$q_3 = -2Q$$

$$; Q = \frac{U \epsilon_0}{d}$$

Знают поле в точке A:

$$\begin{aligned} E_{Ax} &= \frac{1}{2S\epsilon_0} \cdot (q_1 - q_2 - q_3) = \frac{1}{2S\epsilon_0} \cdot (-Q - 3Q + \\ &= \frac{1}{2S\epsilon_0} \cdot (-2Q) = -\frac{Q}{S\epsilon_0} = -\frac{U\epsilon_0}{2S\epsilon_0} = -\frac{U}{d} \end{aligned}$$

В точке B:

$$\begin{aligned} E_{Bx} &= \frac{1}{2S\epsilon_0} \cdot (q_1 + q_2 - q_3) = \frac{1}{2S\epsilon_0} \cdot (2Q + 2Q) = \\ &= \frac{4Q}{2S\epsilon_0} = \frac{2Q}{S\epsilon_0} = \frac{2U\epsilon_0}{2S\epsilon_0} = 2\frac{U}{d} \end{aligned}$$

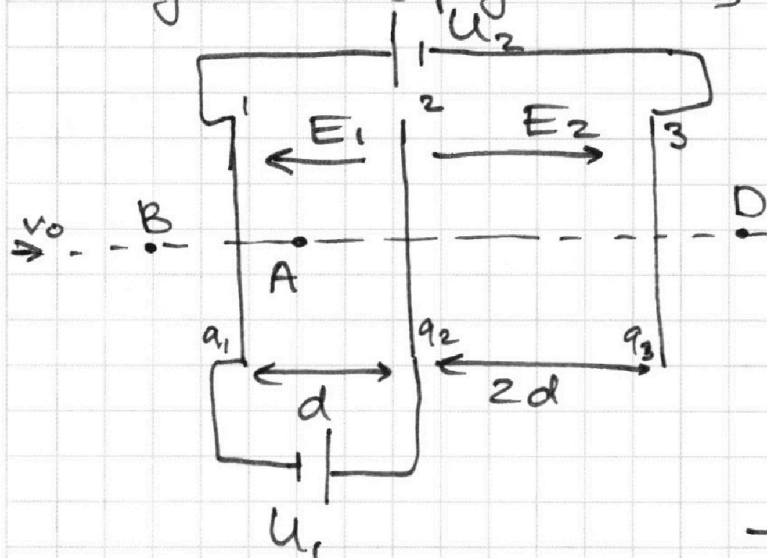
Итак, можно переписать начальную
картинку

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!



Задача 3 (продолжение)



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

$$E_2 = \frac{2U}{d}$$

Тогда в области 12 на заряд будет действовать

$$\text{сила } F_{12} = q E_1 = q \cdot \frac{U}{d}$$

$$m a_{12} = F_{12} \quad (-23.4.)$$

$$\text{тогда } a_{12} = \frac{qU}{md}$$

Ответим на второй вопрос $K_1 - K_2$

На пластину действуют только консервативные $\Rightarrow$ п.

силы $\rightarrow$ полная энергия сохраняется

$$\text{т.е. } W_{n1} + K_1 = W_{n2} + K_2$$

при пролёте
Второй потенциал ϕ_1

$$\text{тогда } W_{n1} = \phi_1 q$$

$$\text{тогда } \phi_2 - \phi_1 = E_1 \cdot d = U \rightarrow \phi_2 = \phi_1 + U$$

$$W_{n2} = \phi_2 q$$

$\uparrow$ потенциал при пролёте 2.

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!

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

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

ответ на второй вопрос $K_1 - K_2 = U q$

Для ответа на вопрос 3, найдем φ_A

$$\varphi_A - \varphi_1 = \varphi_A \cdot E_1 = \frac{d}{4} \cdot \frac{U}{d} = \frac{U}{4}$$

ЗСЭ:

$$\frac{m v_0^2}{2} + W_{no} = \frac{m v_A^2}{2} + W_{nA}$$

$$W_{nA} = \varphi_A q = \left(\frac{U}{4} + \varphi_1 \right) q$$

$$\frac{m v_0^2}{2} + W_{no} = \frac{m v_A^2}{2} + q \cdot \left(\frac{U}{4} + \varphi_1 \right)$$

$q \varphi_0 \leftarrow$ потенциал на бесконечности
удал. влево (т.е. справа)

$$\frac{m v_A^2}{2} = \frac{m v_0^2}{2} + q \varphi_0 - \frac{U q}{4} - q \varphi_1$$

$$v_A^2 = v_0^2 - \frac{2}{m} \cdot \frac{U q}{4} + \frac{2}{m} q \cdot (\varphi_0 - \varphi_1)$$

$$v_A^2 = v_0^2 - \frac{U q}{2m} + \frac{2q}{m} \cdot (\varphi_0 - \varphi_1)$$

Т.е. необходимо найти связь φ_0 и φ_1

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!



Задача 3 (продолжение)

Найдем поле в точке B

$$E_{Bx} = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0} - \frac{3Q}{2\pi\epsilon_0} + \frac{2Q}{2\pi\epsilon_0} =$$

$$= \frac{3Q - 3Q}{2\pi\epsilon_0} = 0$$

В точке D:

$$E_{Dx} = -\frac{Q}{2\pi\epsilon_0} + \frac{3Q}{2\pi\epsilon_0} - \frac{2Q}{2\pi\epsilon_0} = 0$$

т.е. вне пластин поле нулевое, т.е.

потенциал при удалении на беск. такой же
как у бипл. пластины, тогда

$$\varphi_0 = \varphi_1$$

$$\text{т.е. } v_A^2 = v_0^2 - \frac{Uq}{2m}$$

$$\rightarrow v_A = \sqrt{v_0^2 - \frac{Uq}{2m}}$$

Ответ:

$$1) a_{12} = \frac{qU}{md}$$

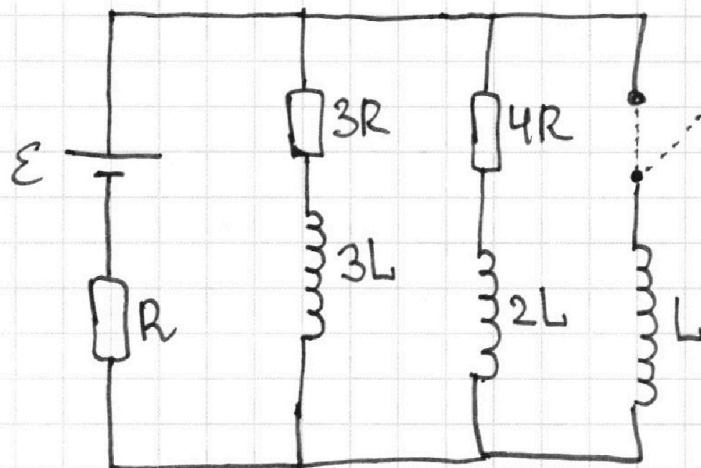
$$2) K_1 - K_2 = Uq$$

$$3) v_A = \sqrt{v_0^2 - \frac{Uq}{2m}}$$

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!

Задача 4

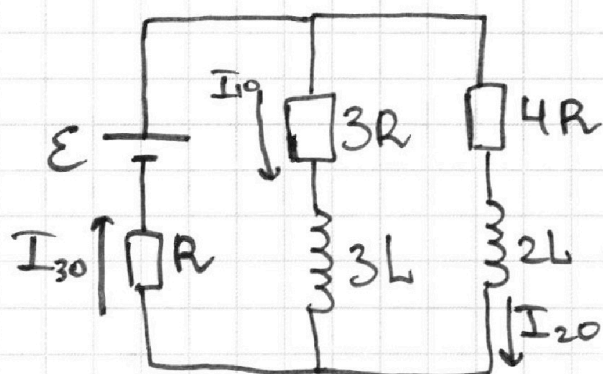


1) I_{10} ;
кнопка разомкнута

2) $\frac{dI_L}{dt} - ?$
сразу после замыкания

3) $q_{3R} - ?$

1) кнопка разомкнута; решим в цепи установившаяся
Тогда схема следующая:



из-за установившейся
токи в цепи постоянные
→ напряжение на катушках
ноль, т.е. через них пост.
ток

Тогда расставим токи
 I_{10} - ток через $3R$
 I_{20} - ток через $4R$
 I_{30} - ток через R

из 1 з. Кирхгофа:

$$I_{30} = I_{10} + I_{20}$$

2 з. Кирхгофа для левого контура:

$$\mathcal{E} = 3R \cdot I_{10} + R \cdot I_{30}$$

для правого (омд.): $\mathcal{E} = 4R \cdot I_{20} + R I_{30}$

$$\rightarrow 3R I_{10} = 4R I_{20} \rightarrow I_{20} = \frac{3}{4} I_{10}$$

$$\text{тогда } I_{30} = I_{10} + \frac{3}{4} I_{10} = \frac{7}{4} I_{10}$$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

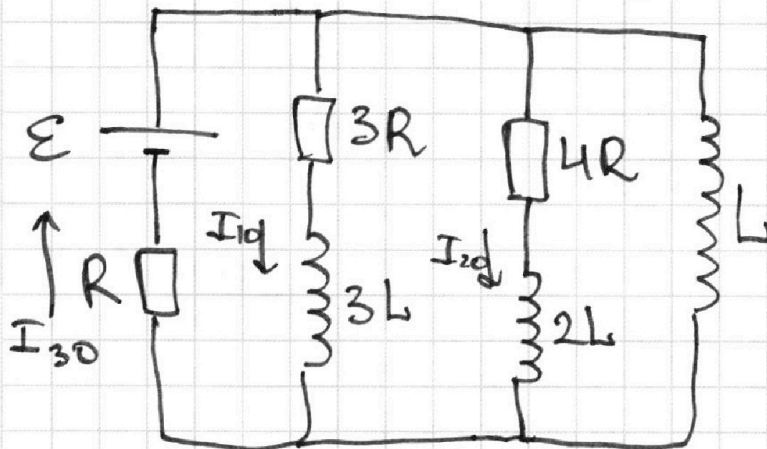
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Задача 4 (продолжение)

$$\mathcal{E} = 3R \cdot I_{10} + R \cdot \frac{7}{4} I_{10} = I_{10} \cdot R \cdot \left(3 + \frac{7}{4}\right)$$

$$\mathcal{E} = I_{10} \cdot R \cdot \frac{19}{4} \rightarrow I_{10} = \frac{4}{19} \frac{\mathcal{E}}{R}$$

2) Теперь ситуация сразу после замыкания



т.к. мгновенно ток
через катушки не
меняется, то на
них тот же ток,
что до замыкания

$$\text{т.е. } I_L = 0$$

$$I_{2L} = I_{20}$$

$$I_{3L} = I_{10}$$

Тогда ток I_{30} через резистор R тоже не изменился
то есть напряжение на всех элементах кроме L
остановилось прежним

тогда можно записать $3R \cdot I_{10} = U_L$

$$U_L = 3R \cdot \frac{4}{19} \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{12}{19} \mathcal{E}$$

при этом $U_L = |\mathcal{E}_{iL}| = L \cdot \frac{dI_L}{dt}$

$$\text{т.е. } \frac{dI_L}{dt} = \frac{U_L}{L} = \frac{12 \mathcal{E}}{19L}$$

в этом пункте ответ: $\frac{dI_L}{dt} = \frac{12 \mathcal{E}}{19L}$

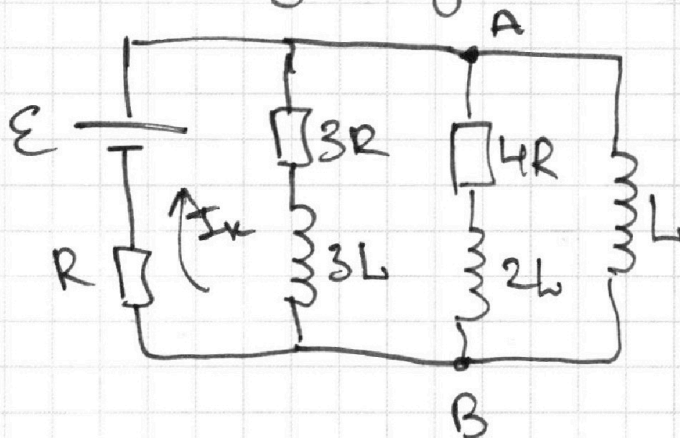
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐



Задача 4 (продолжение)

3) Необходимо найти заряд, протекающий через резистор $3R$ при замкнутом ключе

- Рассмотрим конечную ситуацию, когда ток в цепи установившийся

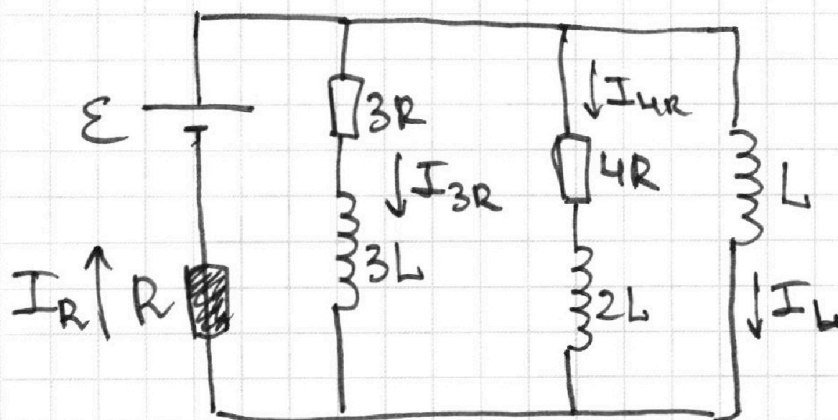


тогда $\mathcal{E}_A - \mathcal{E}_B = 0$
погда ток через $3R$ и $4R$ равен 0

и ток течет только
через катушку L и
резистор R

$$I_K = \frac{\varepsilon}{R}$$

- Теперь рассмотрим нашу схему в произвольный момент времени



Значит как раст.
на рисунке

Заряд через $3R$:

$$q_{3R} = \int_0^T I_{3R} dt$$

0 - момент
замыкания

T - время через
которое сит.
установилась

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐



Теперь запишем все уравнения Кирхгофа:

$$I_R = I_{3R} + I_{4R} + I_L$$

$$\mathcal{E} = 3R \cdot I_{3R} + 3L \cdot \frac{dI_{3R}}{dt} + I_R \cdot R$$

$$\mathcal{E} = 4R \cdot I_{4R} + 2L \cdot \frac{dI_{4R}}{dt} + I_R \cdot R$$

$$\left\{ \begin{aligned} \mathcal{E} &= L \cdot \frac{dI_L}{dt} + I_R \cdot R \\ I_L &= I_R - I_{3R} - I_{4R} \end{aligned} \right.$$

$$I_L = I_R - I_{3R} - I_{4R}$$

$$\mathcal{E} = L \cdot \frac{dI_R}{dt} - L \cdot \frac{dI_{3R}}{dt} - L \cdot \frac{dI_{4R}}{dt} + I_R \cdot R$$

$$L \cdot \frac{dI_R}{dt} - L \cdot \frac{dI_{3R}}{dt} - L \cdot \frac{dI_{4R}}{dt} = 3R \cdot I_{3R} + 3L \cdot \frac{dI_{3R}}{dt}$$

Заметим более удобно:

$$\left\{ \begin{aligned} \mathcal{E} - I_R \cdot R &= 3R \cdot I_{3R} + 3L \cdot \frac{dI_{3R}}{dt} \\ \mathcal{E} - I_R \cdot R &= L \cdot \frac{dI_L}{dt} \end{aligned} \right.$$

По сути то же самое, но расм. контур $3R, 3L, L$

$$\rightarrow 3R \cdot I_{3R} + 3L \cdot \frac{dI_{3R}}{dt} = L \cdot \frac{dI_L}{dt}$$

$$\rightarrow 3R \cdot I_{3R} = L \cdot \left(\frac{dI_L}{dt} - 3 \cdot \frac{dI_{3R}}{dt} \right)$$

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!

Задача 4 (продолжение)

$$\underbrace{I_{3R} dt}_{dq_{3R}} \cdot \frac{3R}{L} = dI_L - d(3I_{3R})$$

$$dq_{3R} \cdot \frac{3R}{L} = d(I_L - 3I_{3R})$$

$$\rightarrow dq_{3R} = \frac{L}{3R} d(I_L - 3I_{3R})$$

$$\begin{aligned} \rightarrow q_{3R} &= \int_0^T dq_{3R} = \frac{L}{3R} \cdot \int_0^T d(I_L - 3I_{3R}) = \\ &= \frac{L}{3R} \cdot (I_L - 3I_{3R})_T - \frac{L}{3R} \cdot (I_L - 3I_{3R})_0 \end{aligned}$$

$(I_L - 3I_{3R})_T$ — ток, когда режим установился
Как было найдено ранее

$$(I_L)_T = \frac{\mathcal{E}}{R}; \quad (I_{3R})_T = 0$$

$$\rightarrow (I_L - 3I_{3R})_T = \frac{\mathcal{E}}{R}$$

$(I_L - 3I_{3R})_0$ — ток в начале

$$(I_L)_0 = 0; \quad (I_{3R})_0 = I_{10} = \frac{4}{19} \frac{\mathcal{E}}{R}$$

$$\rightarrow (I_L - 3I_{3R})_0 = 0 - \frac{12}{19} \frac{\mathcal{E}}{R} = -\frac{12}{19} \frac{\mathcal{E}}{R}$$

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 4 (продолжение)

Подставим все это в итоговую формулу:

$$q_{3R} = \frac{L}{3R} \cdot \left(\frac{\mathcal{E}}{R} - \left(-\frac{12}{19} \frac{\mathcal{E}}{R} \right) \right) =$$
$$= \frac{L}{3R} \cdot \left(\frac{\mathcal{E}}{R} \cdot \left(1 + \frac{12}{19} \right) \right) = \frac{L\mathcal{E}}{3R^2} \cdot \frac{19+12}{19}$$

$$q_{3R} = \frac{\mathcal{E}L}{R^2} \cdot \frac{31}{57}$$

Ответ: 1) $I_{10} = \frac{4}{19} \frac{\mathcal{E}}{R}$

2) $\frac{dI_L}{dt} = \frac{12\mathcal{E}}{19L}$

3) $q_{3R} = \frac{\mathcal{E}L}{R^2} \cdot \frac{31}{57}$

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 5

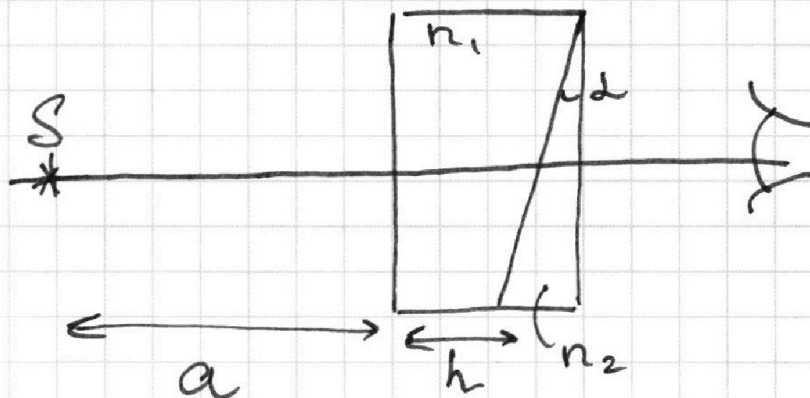
$n_1; n_2$

$n_0 = 1$

$a = 90 \text{ см}$

$d = 0,1 \text{ рад}$

$h = 14 \text{ см}$



1) $n_1 = n_0 = 1$

$n_2 = 1,7$

$\beta - ? \leftarrow$ угол отклонения

луча перпенд. левой грани системы

2) $n_1 = n_0 = 1$

$n_2 = 1,7$

$l_1 - ? \leftarrow$ расстояние между источником и
изображением

3) $n_1 = 1,4$

$n_2 = 1,7 \leftarrow$ расстояние между источником
 $l_2 - ? \leftarrow$ и изображением

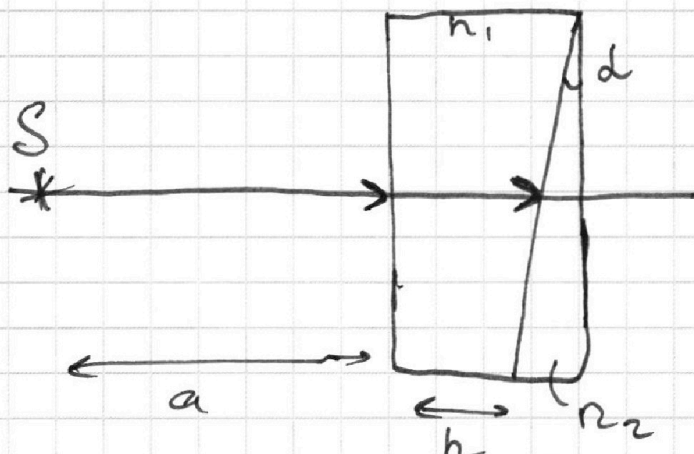
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

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



Задача 5 (продолжение)

1) Рассмотрим первый случай



$$n_1 = n_2 = 1$$

$$n_2 = 1,7$$

Рассм. луч,
перпенд.
кнут. поверх.

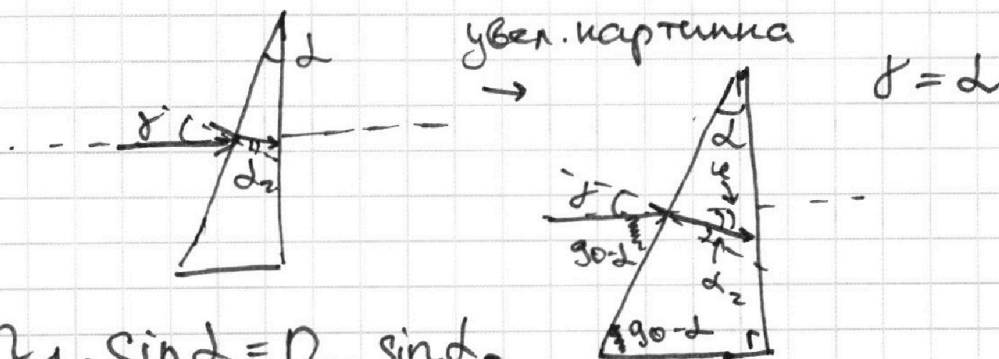
После прохождения левой поверх. линзы (1)

луч не преломляется

$n \sin \theta = \text{const}$ — закон Снеллиуса

в данном случае $\theta_2 = 0$, поэтому и далее $d = 0$

т.е. луч падает на кат. призму:



$$n_1 \cdot \sin d = n_2 \sin d_2$$

т.к. d — мал. по условию из параллел.
прибавление

$$\sin d \approx d; \sin d_2 \approx d_2$$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

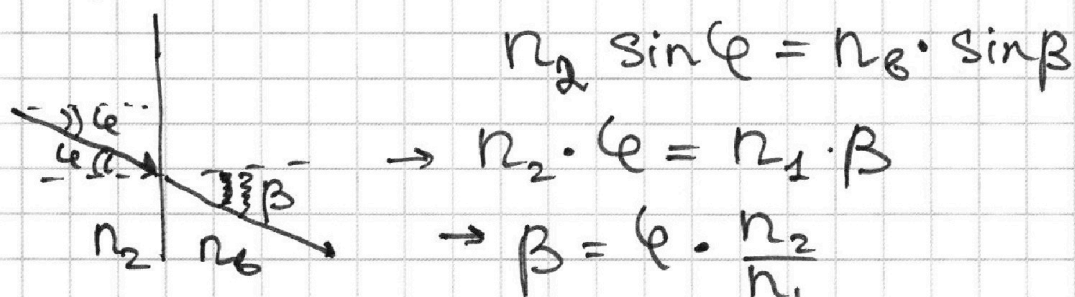
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Задача 5 (продолжение)

$$n_1 d = n_2 d_2 \rightarrow d_2 = \frac{n_1}{n_2} d$$

$$\ell = d - d_2 = d \cdot \left(1 - \frac{n_1}{n_2}\right) = d \cdot \frac{n_2 - n_1}{n_2}$$

Рассмотрим преломление на правой стороне
призмы



$$\beta = d \cdot \frac{n_2 - n_1}{n_2} \cdot \frac{n_2}{n_1} = d \cdot \frac{n_2 - n_1}{n_1}$$

$$\beta = 0,1 \cdot \frac{1,7 - 1}{1} = 0,1 \cdot 0,7 = 0,07 \text{ рад}$$

↑ угол на который отклонился луч

2) Необходимо в такой же системе найти
изображение

$$n_1 = n_3 = 1 ; n_2 = 1,7$$

Решение Рассмотрим луч, идущий от
источника под некоторым малым углом
 ℓ

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

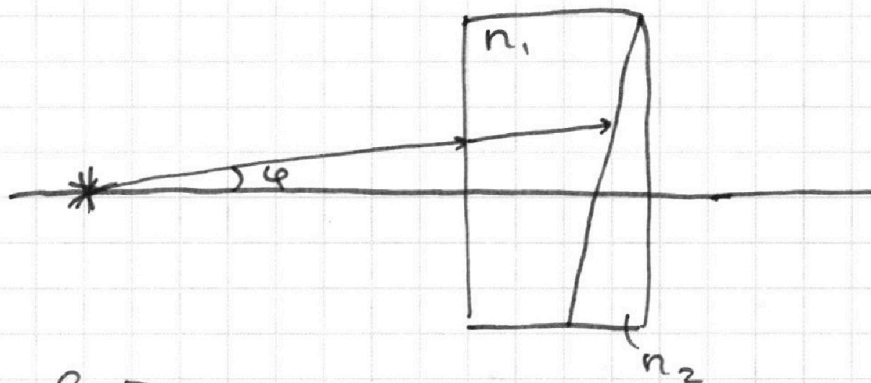
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

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



Задача 5 (продолжение)

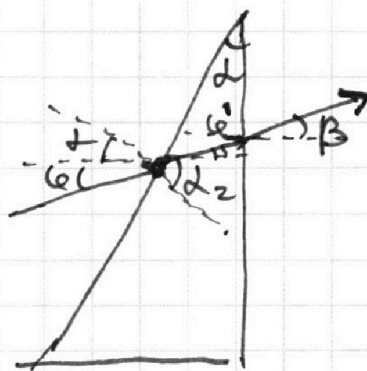


В первой призме луч не преломится и
пойдет под тем же углом α

Рассмотрим преломление во второй призме



более подробно



$$(\alpha + \epsilon) \cdot n_1 = n_2 \cdot \sin \alpha'$$

$$\rightarrow \alpha' n_2 = n_1 \cdot (\alpha + \epsilon) \rightarrow \alpha' = \frac{n_1}{n_2} \cdot (\alpha + \epsilon)$$

$$\begin{aligned} \epsilon' &= \alpha' - \alpha = \frac{n_1}{n_2} \alpha + \frac{n_1}{n_2} \epsilon - \alpha = \\ &= \frac{n_1 - n_2}{n_2} \alpha + \frac{n_1}{n_2} \epsilon \end{aligned}$$

$$n_1 \cdot \beta = n_2 \epsilon' \rightarrow \beta = \frac{n_2}{n_1} \epsilon'$$

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!

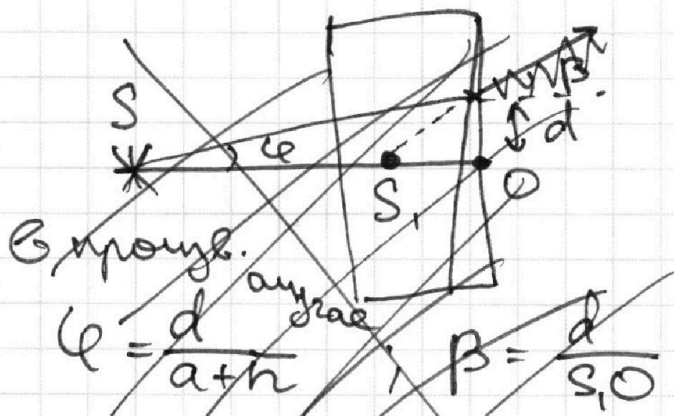
МФТИ

$$\beta = \frac{n_2}{n_1} \cdot \left(\frac{n_1 - n_2}{n_2} d + \frac{n_1}{n_2} \ell \right) =$$

$$= \ell + \frac{n_1 - n_2}{n_1} d$$

Т.к. толщина призмы очень мала

это отклонение можно представить так:



S_1 - изображение

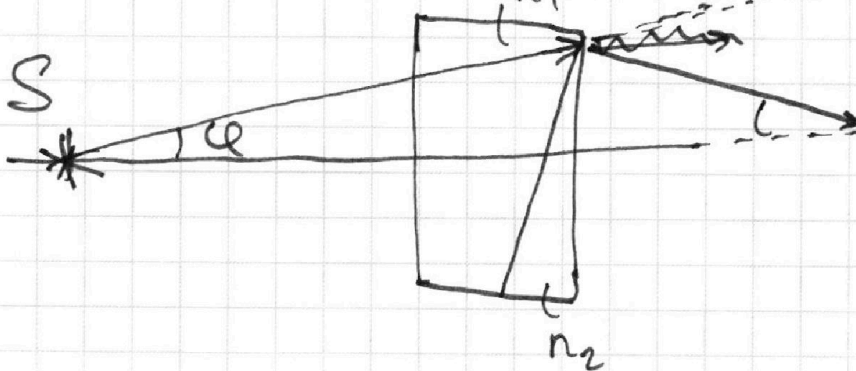
Как видно эта
система из
призм будет
сдвигать
каждый луч
на угол

$$\Delta \ell = \left| \frac{n_1 - n_2}{n_1} d \right|$$

$$\rightarrow \frac{d}{S_1 O} = \frac{d}{a+h} + \frac{n_1 - n_2}{n_1} d$$

$$\rightarrow \frac{1}{S_1 O} = \frac{1}{a+h} + \frac{(n_1 - n_2)d}{n_1 d}$$

Угол ℓ будет уменьшаться на $\Delta \ell$





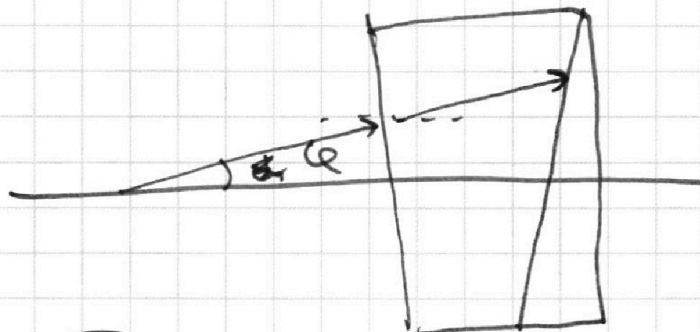
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



Черновик



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!

Черновик

$$\frac{3}{7}$$

$$0,45 \cdot 7$$

$$\begin{array}{r} 3 \\ \times 45 \\ \hline 7 \\ \hline 315 \end{array}$$

$$0,43$$

$$\begin{array}{r} 2 \\ \times 43 \\ \hline 7 \\ \hline 301 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 24 \\ \times 25 \\ \hline 120 \\ 48 \\ \hline 600 \end{array}$$

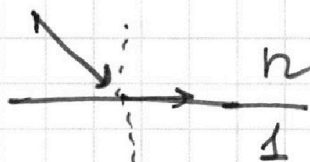
$$\begin{array}{r} 1 \\ \times 43 \\ \hline 15 \\ \hline 215 \\ 43 \\ \hline 645 \end{array}$$

$$\times 831$$

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

$$n \cdot \sin \alpha = \text{const}$$

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



$$1 = n \cdot \sin \alpha_{\text{кр}} \rightarrow \sin \alpha_{\text{кр}} = \frac{1}{n}$$



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 5 (продолжение)

Черновики

Черновики



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!

