



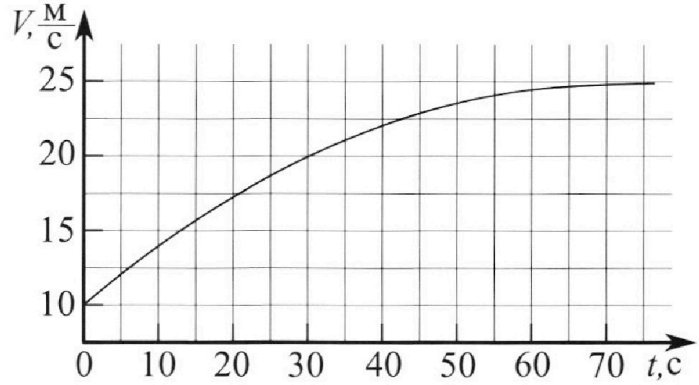
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## 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?

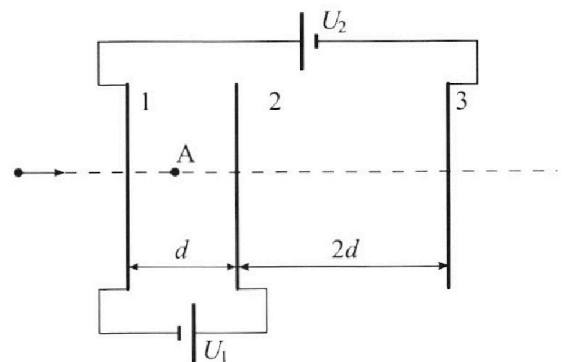
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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 А на расстоянии  $d/4$  от сетки 1.

Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

Вариант 11-03

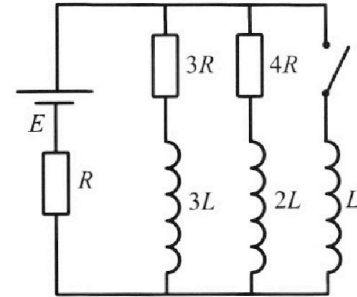
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.



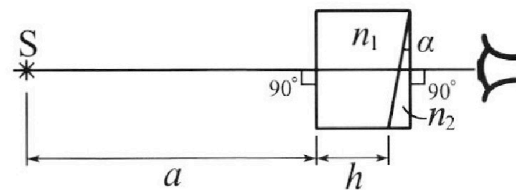
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток  $I_0$  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  $n_b = 1,0$ . 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!

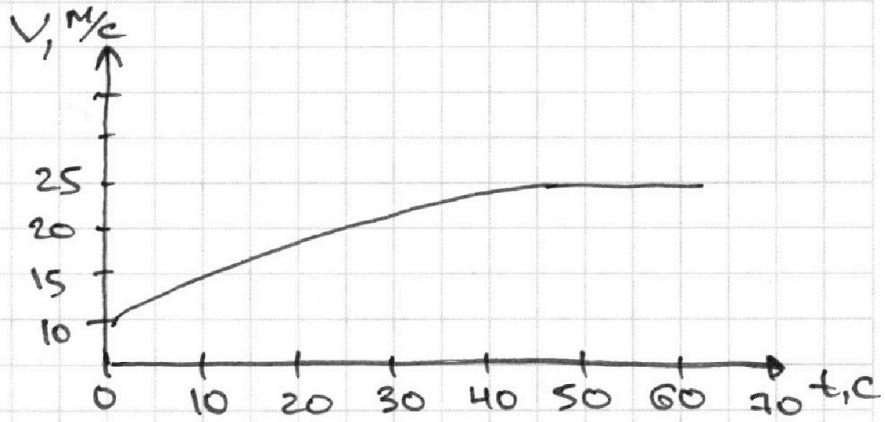


Задача 1

$$m = 1500 \text{ кг}$$

$$F_k = 600 \text{ Н}$$

$$F_c = 2 \cdot v^2$$



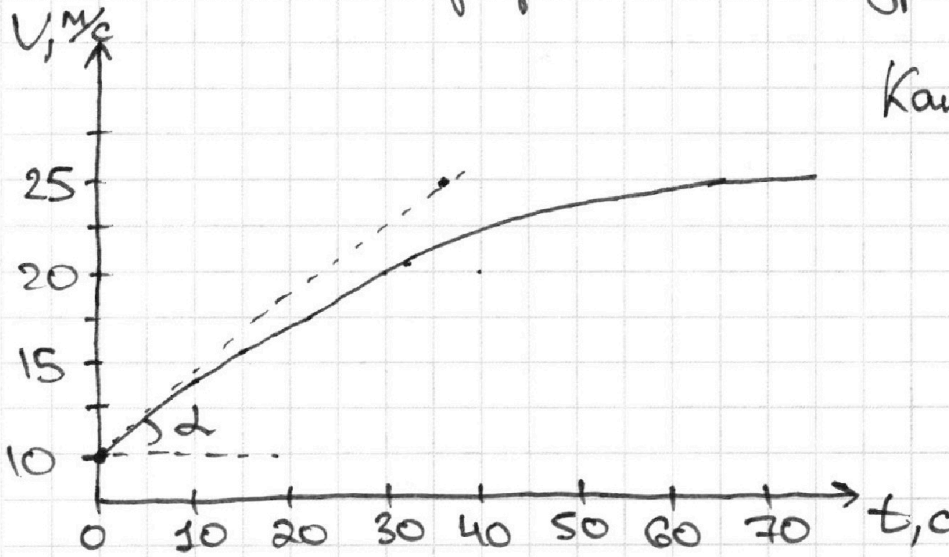
примерный график: ↗

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

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  
моего  
примерного  
графика  
касательная  
пересекает  
 $v = 25 \text{ м/с}$   
примерно в  
 $t = 35 \text{ с}$

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

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

1  2  3  4  5  6  7

## Задача 1 (продолжение)

Для произвольного момента времени  
2 з.ч. 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:

$$m a_0 = F_0 - \alpha v_0$$

$$v_0 = 10 \text{ м/с}$$

$$a_0 = 0,43 \text{ м/с}^2$$

$$\rightarrow F_0 = m a_0 + \alpha v_0$$

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

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

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

$$P_0 = \left( \frac{dA}{dt} \right)_0 \quad \frac{dA}{dt} = F \cdot \frac{dx}{dt}$$

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

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

Ответ: 1)  $a_0 = 0,43 \text{ м/с}^2$

2)  $F_0 = 885 \text{ Н}$

3)  $P_0 = 8850 \text{ Вт}$

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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

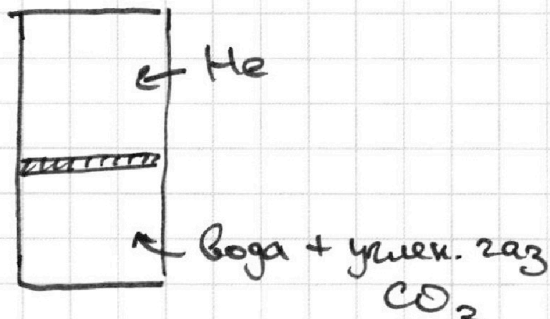


1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

## Задача 2



Закон Генри:

$$\Delta V = k p w$$

$w$  - объём 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~~ <sup>колич-ва веш. в составе</sup> ~~газа~~ <sup>газа</sup> ~~внутри~~ <sup>до</sup> ~~до~~ <sup>паре</sup> ~~ва~~

т.е.

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

$$\frac{D_r}{D_y} = ?$$

где  $D_r$  - кол-во газа в верх. части

$D_y$  - кол-во углекислого газа в газ. сост (т.е. в внешнем сосуде)

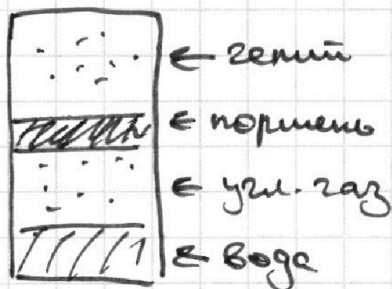
2)  $\frac{T}{T_0} = ?$

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

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

находится ушкиской газ

таи же часть ушк. газа раствор. в воде

Уравнение Клапейрона - Менделеева для земли:

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

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

Уравнение Клапейрона - Менделеева для ушк. газа:

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

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

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

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

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

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!



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

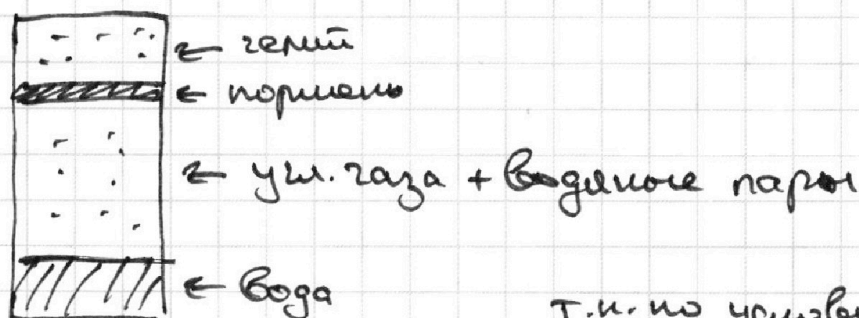
$$D_2 = k \cdot p_0 \cdot \frac{V}{4} = k \cdot \frac{p_{\text{атм}} \cdot V}{8}$$

Значит количество уменьшено газа в нижней  
части сосуда  $\frac{1}{2}$ :

$$D = D_1 + D_2 = \frac{p_{\text{атм}} \cdot V}{8RT_0} + \frac{p_{\text{атм}} \cdot V \cdot k}{8} =$$
$$= \frac{p_{\text{атм}} \cdot V}{8} \cdot \left( \frac{1}{RT_0} + k \right)$$

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

2) Рассмотрим ситуацию после нагрева



т.к. по условию  $T = 373\text{K}$

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

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



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input 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!



## Задача 2 (продолжение)

Давление со стороны земли и со стороны угл. газа + вод. паров уравновесили поршень (Давление  $P_2$ )

Тогда уравнение Клапейрона - Менделеева для земли:

$$P_2 \cdot \frac{V}{5} = \rho_r \cdot RT = \frac{\rho_{\text{атм}} \cdot V}{4RT_0} \cdot RT$$

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

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

Уравнение Клапейрона - Менделеева для угл. газа:

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

↑ давление угл. газа

↖ объем угл. газа

(полный объем за вычетом воды и земли)

$$P_2' \cdot \left( \frac{20V}{20} - \frac{4V}{20} - \frac{5V}{20} \right) = \frac{\rho_{\text{атм}} \cdot V}{8} \cdot \left( \frac{T}{RT_0} + k \right) \cdot RT$$

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

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

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

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 уш. 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

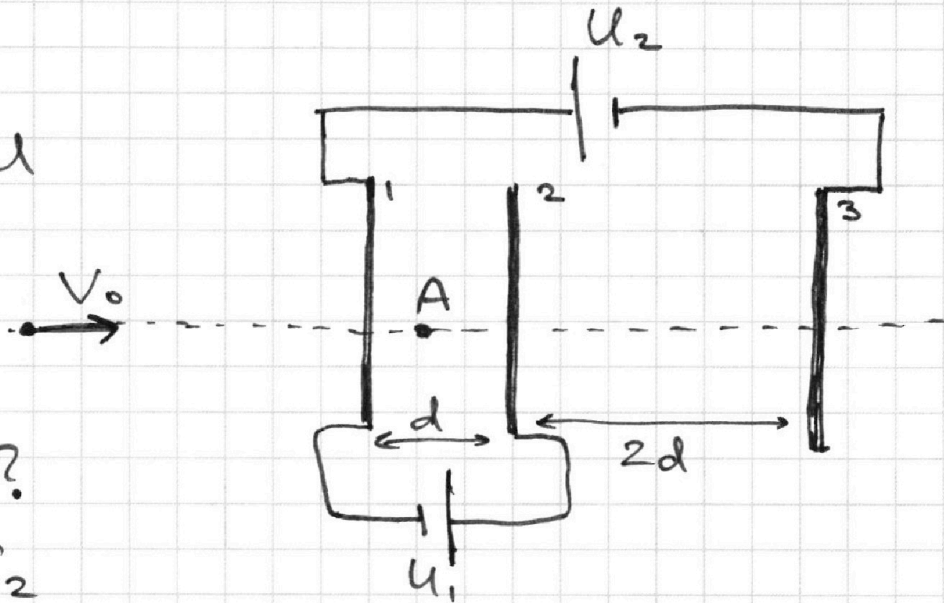
$$U_1 = U$$

$$U_2 = 3U$$

$$m$$

$$q > 0$$

$$v_0$$



1)  $a_{12} - ?$

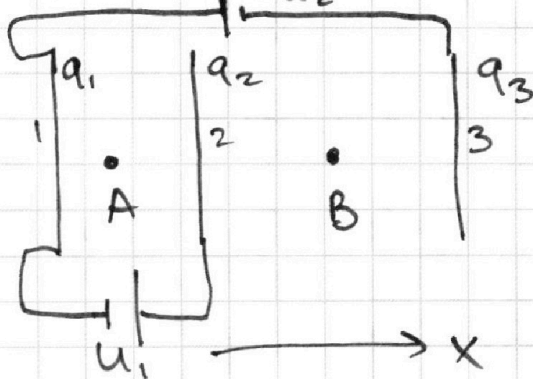
2)  $K_1 - K_2$

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

3)  $\varphi_A = \frac{d}{4} \in$  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 пластин

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!

Будем считать заряды положительными  
(в конце знаки уступят)

тогда  $E_A$ :

на ось  $x$

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

поле от равношерн.  
заряженной пластины.

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:

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

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

- $\varphi_1 - \varphi_3 = U_2$

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

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

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

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 3 (продолжение)

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

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

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

$$IQ = \frac{US\epsilon_0}{d}$$

тогда:

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

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

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

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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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

МФТИ

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

Задача 3 (продолжение)

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

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

$$q_3 = -2Q$$

тогда  $q_2 = Q - q_3 = 3Q$

Итого:  $q_1 = -Q$

$$q_2 = 3Q \quad ; \quad Q = \frac{U \epsilon_0}{d}$$

$$q_3 = -2Q$$

Знают поле в точке А:

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

В точке Б:

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

Итак, можно переписать начальную  
картинку

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

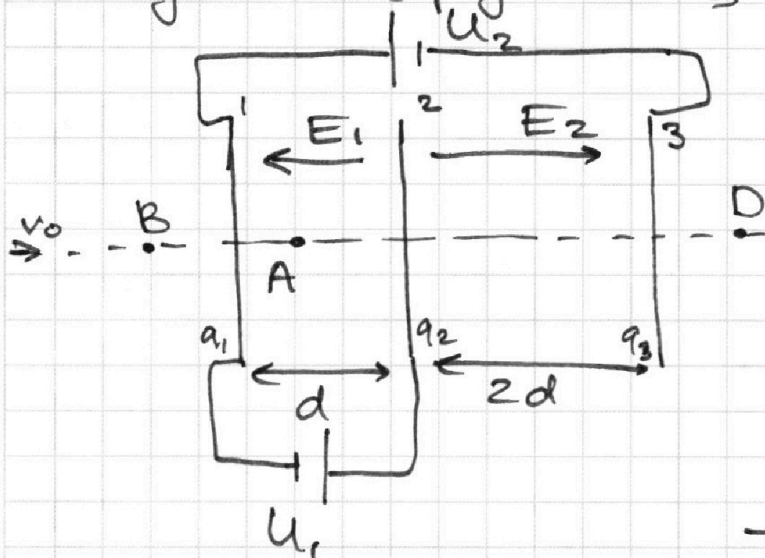
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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

МФТИ

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

### 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  $\rightarrow$  энергия <sup>полная</sup> сохраняется

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

при пролёте  
] ~~второй~~ потенциал  $\varphi_1$

$$\text{тогда } W_{n1} = \varphi_1 q$$

$$\text{тогда } \varphi_2 - \varphi_1 = E_1 \cdot d = U \rightarrow \varphi_2 = \varphi_1 + U$$

$$W_{n2} = \varphi_2 q$$

$\uparrow$  потенциал при пролёте 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

МФТИ

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

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

$$K_1 - K_2 = (\varphi_2 - \varphi_1) q = 4q$$

ответ на второй вопрос  $K_1 - K_2 = 4q$

Для ответа на вопрос 3, найдем  $\varphi_A$

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

ЗСЭ:

$$\frac{m v_0^2}{2} + W_{\text{по}} = \frac{m v_A^2}{2} + W_{\text{на}}$$

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

$$\frac{m v_0^2}{2} + W_{\text{по}} = \frac{m v_A^2}{2} + q \cdot \left(\frac{4}{4} + \varphi_1\right)$$

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

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

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

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

Т.е. необходимо найти связь  $\varphi_0$  и  $\varphi_1$



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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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

МФТИ

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

Задача 3 (продолжение)

Найдем поле в точке B

$$E_{Bx} = \frac{Q}{2S\epsilon_0} - \frac{3Q}{2S\epsilon_0} + \frac{2Q}{2S\epsilon_0} =$$
$$= \frac{3Q - 3Q}{2S\epsilon_0} = 0$$

В точке D:

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

т.е. вне пластин поле нулевое, т.е.

потенциал при удалении на беск. такой же  
как у двух пластин, 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:

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

$$2) K_1 - K_2 = Uq$$

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

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

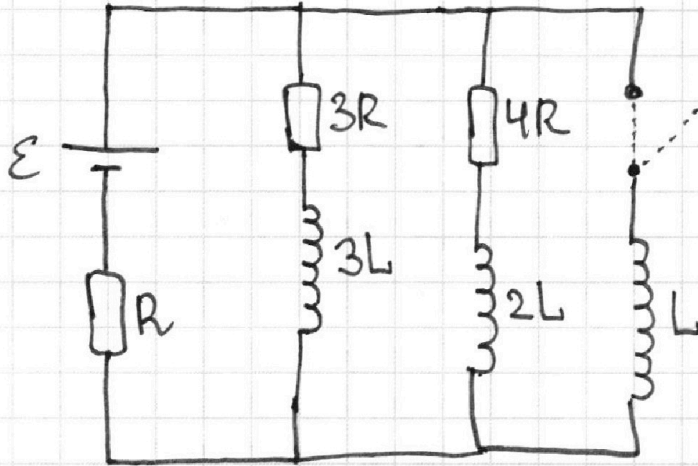
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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

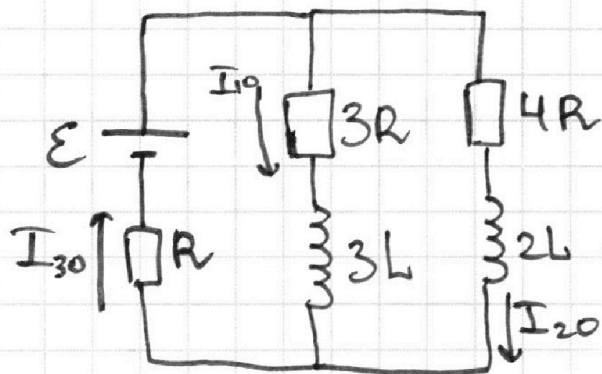


1)  $I_{10}$   
кнопка разомкнута

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 не  
поет 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 (ошд.):  $\mathcal{E} = 4R \cdot I_{20} + R I_{30}$

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

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

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

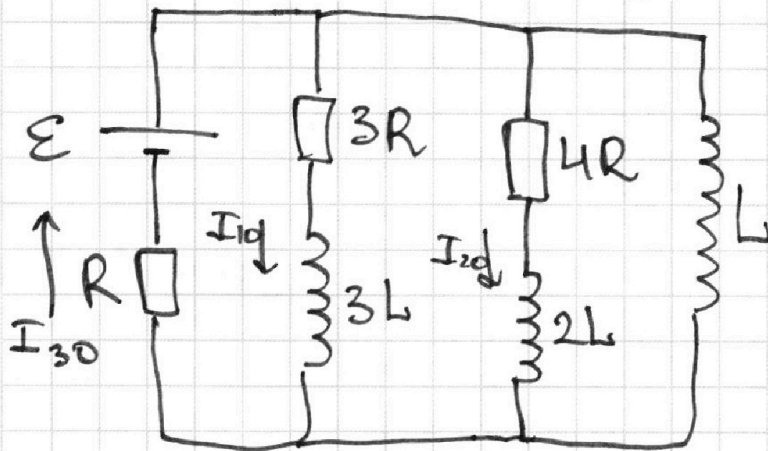
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Задача 4 (продолжение)

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

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

2) теперь ситуация сразу после замыкания



т.к. известно ток  
через катушки не  
меняется, то на  
них тот же ток,  
это 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  $L$   
осталось прежним

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

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

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

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

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

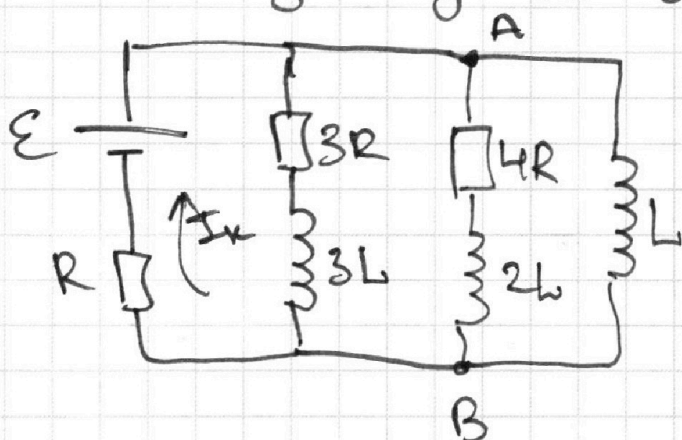
1  2  3  4  5  6  7



### Задача 4 (продолжение)

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

- Рассмотрим конечную ситуацию, когда ток в цепи установившийся

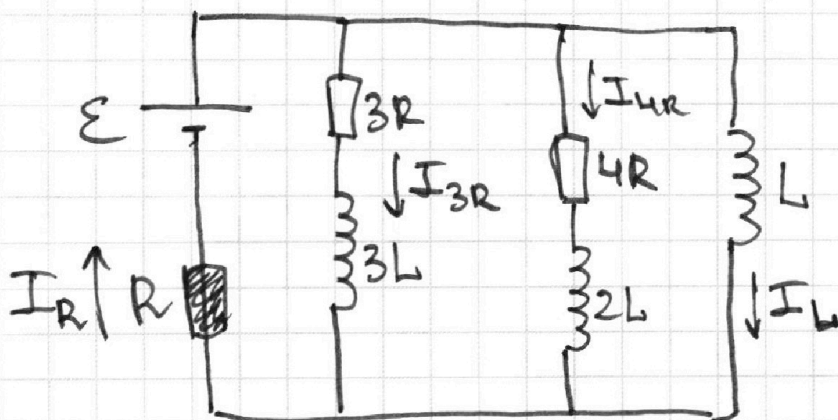


тогда  $\varphi_A - \varphi_B = 0$   
когда ток через  $3R$  и  $4R$  равен 0

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

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!

Теперь запишем все уравнения Кирхгофа:

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

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

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

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

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

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

Заметим более удобно:

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

По сути то же самое, но расм.

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

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

1  2  3  4  5  6  7



### Задача 4 (продолжение)

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

$$dq_{3R}$$

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

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

$$\rightarrow q_{3R} = \int_0^T dq_{3R} = \frac{L}{3R} \cdot \int_0^T d(I_L - 3I_{3R}) =$$

$$= \frac{L}{3R} \cdot (I_L - 3I_{3R})_T - \frac{L}{3R} \cdot (I_L - 3I_{3R})_0$$

$(I_L - 3I_{3R})_T$  — ток, когда решим установився  
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:

$$q_{3R} = \frac{L}{3R} \cdot \left( \frac{\varepsilon}{R} - \left( -\frac{12}{19} \frac{\varepsilon}{R} \right) \right) =$$

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

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

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

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

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

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

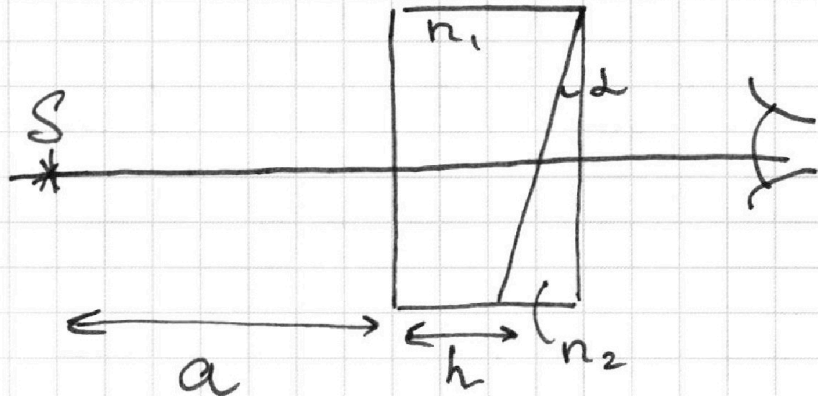
$$n_1; n_2$$

$$n_B = 1$$

$$a = 90 \text{ см}$$

$$d = 0,1 \text{ рад}$$

$$h = 14 \text{ см}$$



1)  $n_1 = n_B = 1$

$$n_2 = 1,7$$

$\beta$  - ?  $\leftarrow$  угол отклонения

луч перпенд. левой грани системы

2)  $n_1 = n_B = 1$

$$n_2 = 1,7$$

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

3)  $n_1 = 1,4$

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



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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

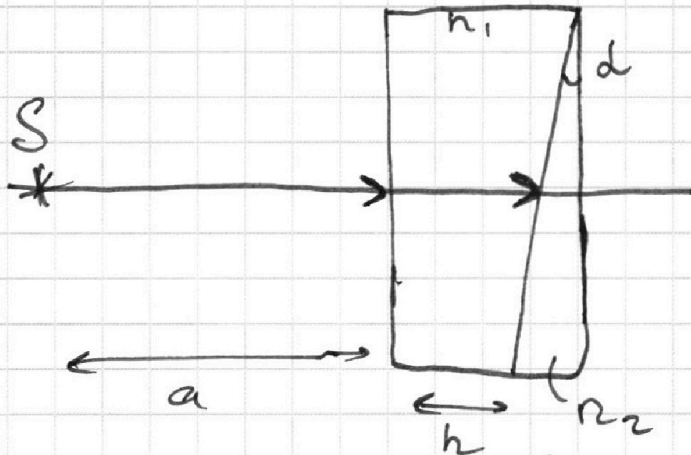
МФТИ

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



## Задача 5 (продолжение)

1) Рассмотрим первый случай



$$n_1 = n_2 = 1$$

$$n_2 = 1,7$$

Рассм. муз,  
перпенд.  
кнут. поверх.

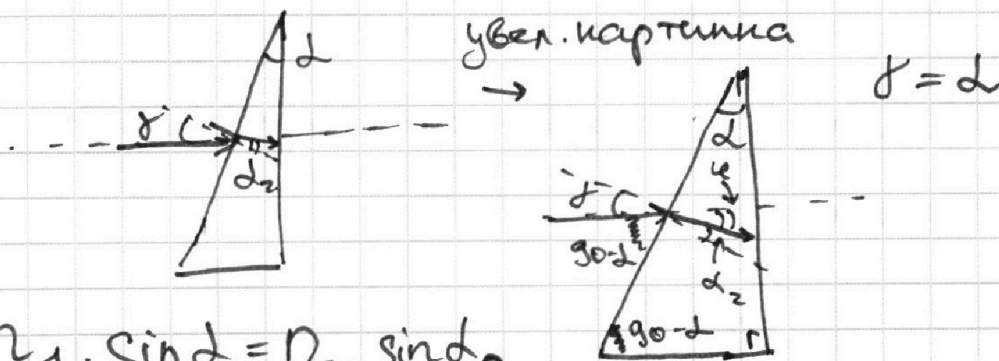
После прохождения левой поверх. линзы ( $L_1$ )

муз не преломляется

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

В данном случае  $\theta_1 = 0$ , поэтому и далее  $d = 0$

т.е. муз падает на кам. призму:



$$n_1 \cdot \sin \theta = n_2 \sin \theta_2$$

т.к.  $d$  — мал. по условию из параллелограмм.  
прибавление

$$\sin \theta \approx d; \sin \theta_2 \approx d_2$$

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

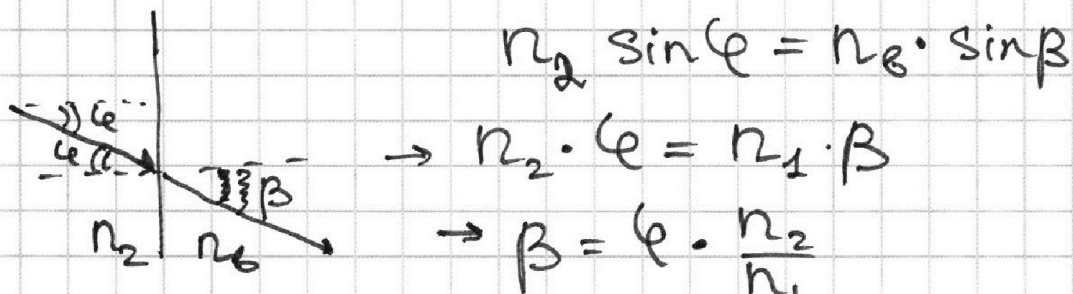
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Задача 5 (продолжение)

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

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

Рассмотрим преломление на правой стороне  
кризиса



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

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

↑ угол на который отклонился луч

2) Необходимо в такой же системе найти  
изображение

$$n_1 = n_2 = 1 \quad ; \quad n_2 = 1,7$$

Решение Рассмотрим луч, идущий от  
источника под некоторым малым углом  
 $\varphi$

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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

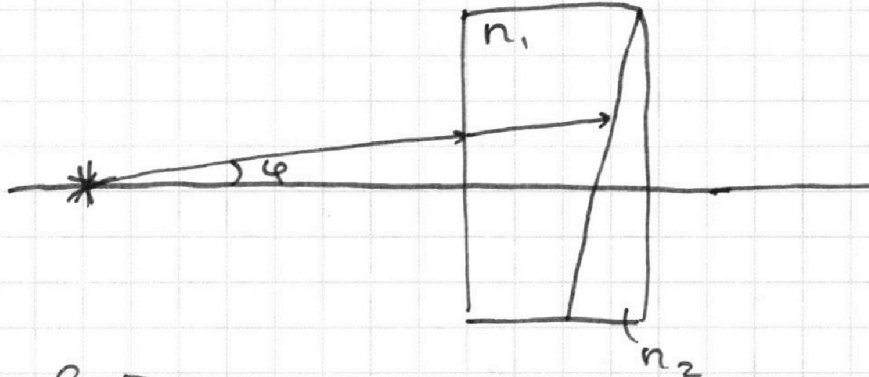
1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

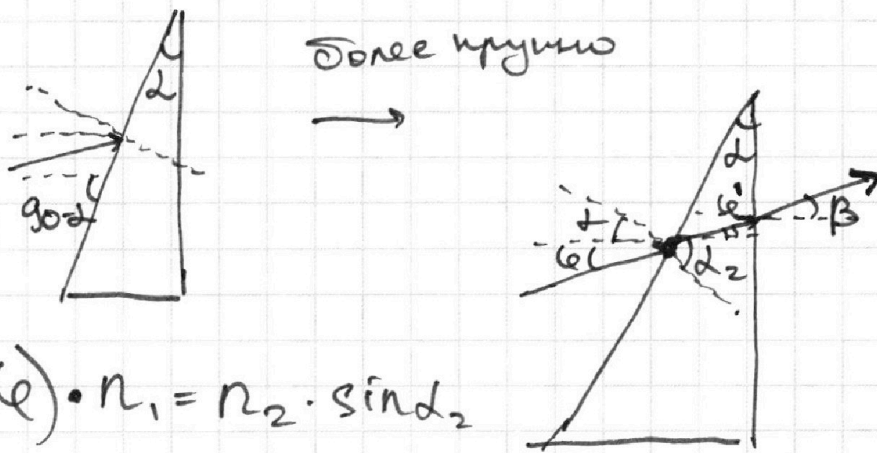


## Задача 5 (продолжение)



В первой призме луч не преломится и пойдёт под тем же углом  $\varphi$

Рассмотрим преломление во второй призме



$$(\alpha + \varphi) \cdot n_1 = n_2 \cdot \sin \alpha$$

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

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

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

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!

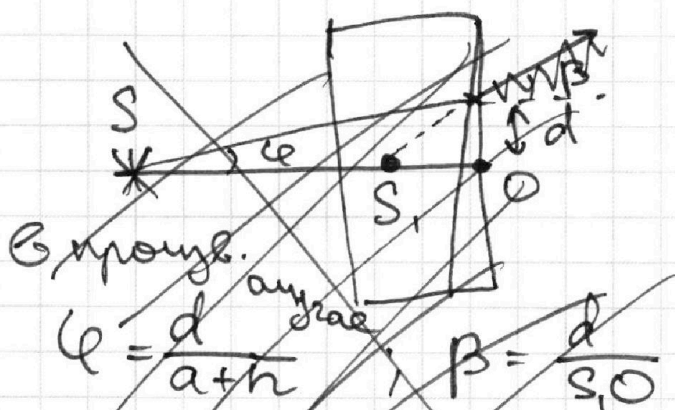


$$\beta = \frac{n_2}{n_1} \cdot \left( \frac{n_1 - n_2}{n_2} d + \frac{n_1}{n_2} \ell \right) =$$

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

Т.к. толщина призмы очень мала

это отклонение можно представить так:



$S_1$  - изображение

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

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

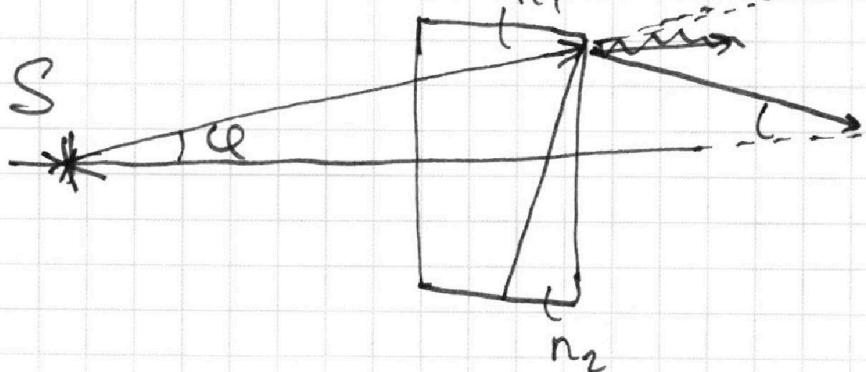
В призме.

$$\ell = \frac{d}{a + h}, \quad \beta = \frac{d}{S_1 O}$$

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

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

Угол  $\ell$  будет уменьшаться на  $\Delta \ell$





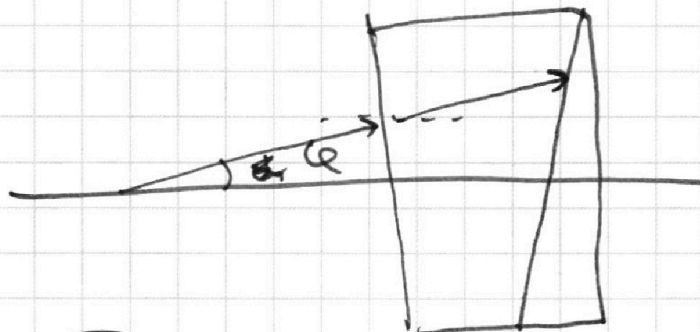
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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
<input type="checkbox"/>	<input 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!



Черновик

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

$$0,45 \cdot 7$$
$$\begin{array}{r} 3 \\ \times 45 \\ \hline 315 \end{array}$$

$$0,43$$
$$\begin{array}{r} 2 \\ \times 43 \\ \hline 301 \end{array}$$

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

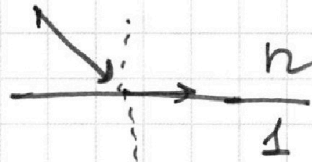
$$\begin{array}{r} 1 \\ \times 43 \\ \hline 215 \\ 43 \\ \hline 645 \end{array}$$

$$\times 831$$

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

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

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



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

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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:



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



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

Задача 5 (продолжение)

Зерновик

Зерновик



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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



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

