



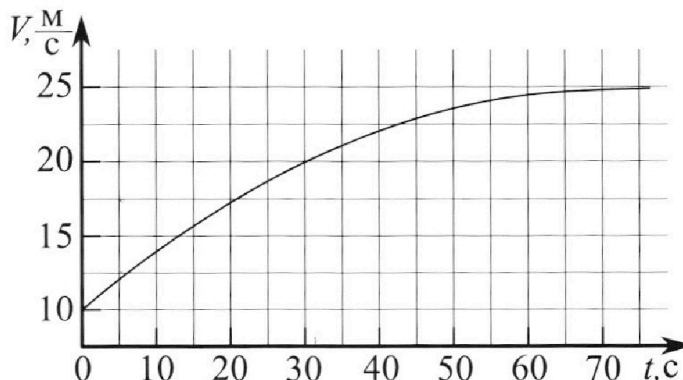
Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

Вариант 11-01

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



1. Автомобиль массой  $m = 1800$  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  $F_k = 500$  Н. Считать, что при разгоне сила сопротивления движению пропорциональна скорости.



- 1) Используя график, найти ускорение автомобиля при скорости  $v_1 = 20$  м/с.
- 2) Найти силу тяги  $F_1$  при скорости  $v_1$ .
- 3) Какая мощность  $P_1$  передается от двигателя на ведущие колеса при скорости  $v_1$ ?

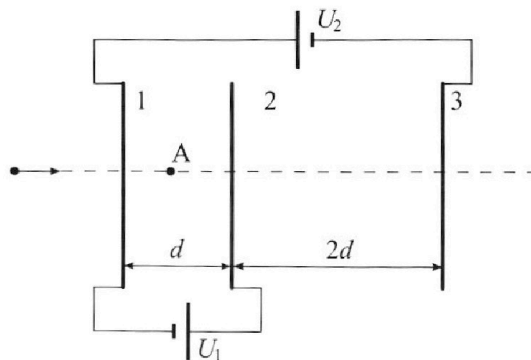
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объемом  $V$  разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится углекислый газ, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при комнатной температуре  $T_0$ . При этом жидкость занимала объём  $V/4$ . Затем цилиндр медленно нагрели до  $T = 5T_0/4 = 373$  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  $k \approx (1/3) \cdot 10^{-3}$  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 начальное давление в сосуде  $P_0$ . Ответ выразить через  $P_{\text{атм}}$  (нормальное атмосферное давление) с числовым коэффициентом в виде обыкновенной дроби.

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  $U_2 = 4U$ . Частица массой  $m$  и зарядом  $q > 0$  движется по направлению к сеткам и перпендикулярно сеткам, имея скорость  $V_0$  на расстоянии от сеток, намного большем их размеров. Частица пролетает через сетки, не отклоняясь от прямолинейной траектории. Заряд  $q$  намного меньше модуля зарядов сеток.



- 1) Найти модуль ускорения частицы в области между сетками 1 и 2.
- 2) Найти разность  $K_1 - K_2$ , где  $K_1$  и  $K_2$  — кинетические энергии частицы при пролете сеток 1 и 2.
- 3) Найти скорость частицы в точке A на расстоянии  $d/3$  от сетки 1.

# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 11-01

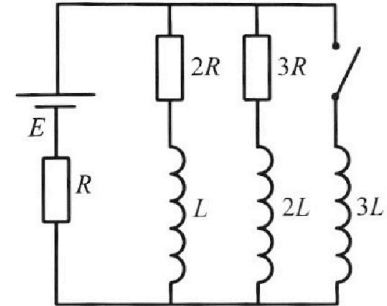
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.



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  $2R$  при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью  $3L$  сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением  $2R$  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  $a = 194$  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  $h = 9$  см. Толщина призмы с показателем преломления  $n_2$  на прямой «источник – глаз» намного меньше  $h$ . Отражения в системе не учитывать.

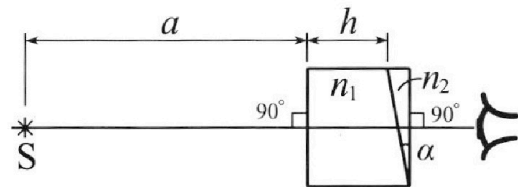


рис.). Угол  $\alpha = 0,1$  рад можно считать малым, толщина  $h = 9$  см. Толщина призмы с показателем преломления  $n_2$  на прямой «источник – глаз» намного меньше  $h$ . Отражения в системе не учитывать.

- 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  $n_1 = 1,5$ ,  $n_2 = 1,7$ , 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.

Дано:

$$m = 1800 \text{ кг}$$

$$F_k = 500 \text{ Н}$$

$$F_c \sim v, v_1 = 20 \text{ м/с}$$

1) ~~а~~ ускорение - ?

2)  $F_1$  - ?

3)  $p_1$  - ?

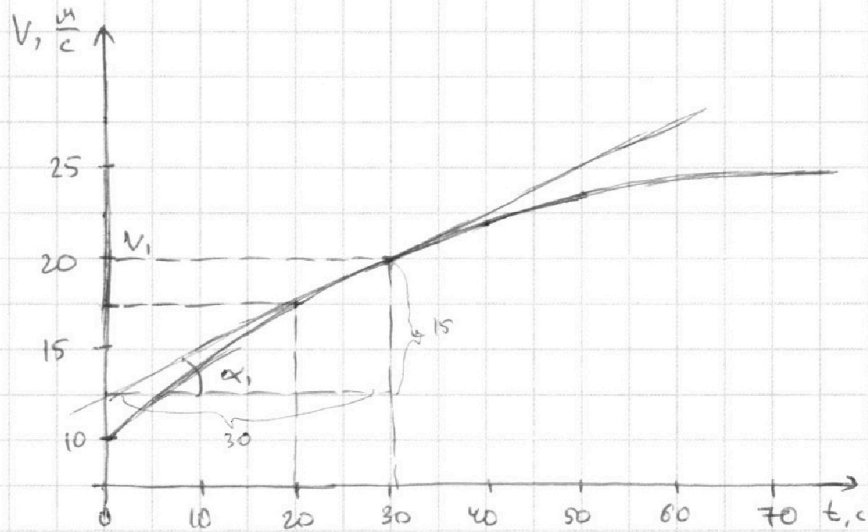
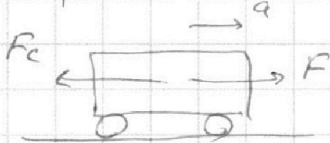


График из условий задачи

1) Обозначим ускорение автомобиля при скорости  $v_1$  -  $a_1$ ,

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (\text{ускорение}) \Rightarrow a = v'(t) \text{ т.е. ускорение - производная от графика скорости от времени или же тангенс угла наклона касательной}$$

Тогда ускорение  $a_1$  найдём графически, как  $\text{tg}(\alpha_1)$ , где  $\alpha_1$  - угол между касательной в точке  $v = v_1$  и осью абсцисс.

$$a_1 = \text{tg}(\alpha_1) \approx \frac{15}{30} = \frac{1}{2} \text{ м/с}^2$$

2) Пусть сила сопротивления зависит от скорости как  $F_c = \gamma \cdot v$ , где  $\gamma$  - коэф. пропорц.

График асимптотически стремится к значению  $v_k = 25 \text{ м/с}$ , значит автомобиль разогнается до конечной скорости  $v_k = 25 \text{ м/с}$

Если автомобиль перестаёт разгоняться  $\Rightarrow a = 0$  т.е.

$$\text{из 2.з. Ньютона } \sum F = 0 \Rightarrow \vec{F}_c + \vec{F}_k = 0$$

$$\text{Учитывая направление сил: } F_c = F_k \text{ т.е. } \gamma \cdot v_k = F_k$$

$$\text{Отсюда } \gamma = \frac{F_k}{v_k}$$

Тогда, запишем 2 з. Ньютона для момента времени,

$$\text{скорость в котором } v_1: F_1 - F_c = ma_1$$

$$F_1 - \gamma \cdot v_1 = ma_1$$

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 checked="" 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!

отсюда получим:  $F_1 = ma_1 + \delta V_1 = ma_1 + \frac{F_k}{V_k} \cdot V_1 =$   
 $= 1800 \cdot \frac{1}{2} + \frac{500}{25} \cdot 20 = 900 + 400 = 1300 \text{ Н}$

3) Определение мощности  $P = \frac{dA}{dt}$ ;  $dA = F \cdot ds$  ( $\vec{F} \uparrow \vec{ds}$ )  
 $P = F \cdot \frac{ds}{dt} = F \cdot v$

Применяя формулу для момента вращения, в котором  
скорость  $v_1$ :

$$P_1 = F_1 \cdot v_1 = 1300 \cdot 20 = 26000 = 26 \text{ кВт}$$

- Ответ:
- 1)  $0,5 \text{ м/с}^2$
  - 2)  $1300 \text{ Н}$
  - 3)  $26000 \text{ Вт}$

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!



Дано:

$V, T_0$

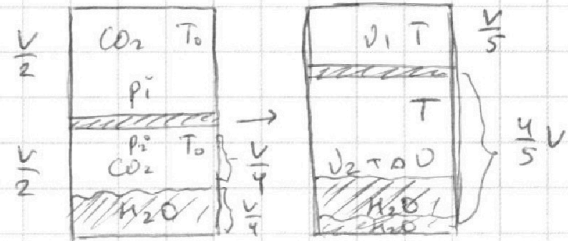
$T = \frac{5}{4} T_0 = 373 \text{ K}$

$\Delta V = k \cdot p \cdot \omega$

$k \approx \frac{1}{3} \cdot 10^{-3} \frac{\text{мм}^3}{\text{мм}^2 \cdot \text{Па}}$

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

Задача 2



1) Запишем условие ~~равновесия~~ **равновесия** **жидкостного парня**:

$p_0 = p_1^0 = p_2^0$ , где  $p_1^0$  и  $p_2^0$  -

$p_1^0$  - давление верхней части сосуда,  $p_2^0$  - давление нижней части сосуда.

Уравнения состояния газа:

Закон Гей-Люссака:

$p_1^0 \cdot \frac{V}{2} = \nu_1 \cdot R \cdot T_0$  (1)

$p_2^0 \cdot \frac{V}{4} = \nu_2 R T_0$  (2)

$\Delta V = k \cdot p \cdot \omega = k \cdot p_2^0 \cdot \frac{V}{4} = k \cdot p_0 \cdot \frac{V}{4}$  (6)

Пренебрегая изменением объема жидкости и растворением газа во второй сосудах запишем уравнения состояния газов после нагрева:

$p_1^1 \cdot \frac{V}{5} = \nu_1 R T$  (3)

где  $p_1^1$  - давление верхней части сосуда после нагревания,  $p_2^1$  - давление нижней части сосуда после нагревания

~~$p_2^1 \cdot \frac{4V}{5} = (\nu_2 + \nu_0) R T$~~   
 $p_2^1 \cdot \left(\frac{4V}{5} - \frac{V}{4}\right) = (\nu_2 + \nu_0) R T$  (4)

Давление  $p_2^1$  равно сумме парциальных давлений  $\text{CO}_2$  и воды после нагревания (з. Дальтона)

т.е.  $p_2^1 = p_{\text{H}_2\text{O}} + p_{\text{CO}_2}^1$  (5), где  $p_{\text{H}_2\text{O}}$  - давление насыщенного пара при  $T = 373 \text{ K}$

$p_{\text{CO}_2}^1$  - парциальное давление  $\text{CO}_2$  как известно  $p_{\text{H}_2\text{O}}$  при  $T = 373 \text{ K} = 100^\circ \text{C}$  равно нормальному атмосферному давлению т.е.  $\frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{атм}}} = 10^5 \text{ Па}$ ;

Из уравнений (1), (2) и (3) найдем объем на 1 вопрос задачи:

$$\begin{cases} p_1^0 = p_2^0 \\ p_1^0 \cdot \frac{V}{2} = \nu_1 R T_0 \\ p_2^0 \cdot \frac{V}{4} = \nu_2 R T_0 \end{cases} \Rightarrow \frac{2 \nu_1 R T_0}{V} = \frac{4 \nu_2 R T_0}{V} \Rightarrow \nu_1 = 2 \nu_2 \Rightarrow \frac{\nu_1}{\nu_2} = 2$$

Объем на 1 вопрос

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!

2) После каравана  $p_2' = p_1'$  (условие равновесия)   
 (решение)

Из уравне ур-ние (3), (4), (5), получим:

$$\begin{cases} p_1' \cdot \frac{V}{5} = 0, RT \\ p_2' \cdot \left(\frac{4}{5}V - \frac{V}{4}\right) = (v_2 + \Delta v) RT \Rightarrow p_{\text{атм}} \cdot \frac{v_2 + \Delta v}{\frac{11}{20} \cdot V} \cdot RT = \frac{5v_2 \cdot RT}{V} \\ p_2' = p_{\text{атм}} \\ p_2' = p_1' \end{cases}$$

Равенства  $\Delta v$  из ур-ние (6) имеем:

$$\begin{cases} p_{\text{атм}} \cdot \frac{v_2 + k \cdot p_0 \cdot \frac{V}{4}}{\frac{11}{20} V} \cdot RT = \frac{5v_2 \cdot RT}{V} \\ \text{ур-ние (1)}: p_0 \cdot \frac{V}{2} = v_1 \cdot RT_0 \\ \text{объем на 1 моль: } v_1 = 2v_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} p_{\text{атм}} \cdot V + \frac{20}{11} v_2 \cdot RT + \frac{20}{44} \cdot k \cdot p_0 \cdot V = 5v_2 \cdot RT \\ p_0 V = 2v_1 \cdot RT_0 \\ v_1 = 2v_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} p_{\text{атм}} \cdot \frac{2v_1 \cdot RT_0}{p_0} + \frac{20}{11} \cdot \frac{v_1}{RT} + \frac{20}{44} \cdot k \cdot p_0 \cdot \frac{2v_1 \cdot RT_0}{p_0} = 5v_1 \cdot RT \quad | : v_1 \\ v_1 = 2v_2 \end{cases}$$

$$p_{\text{атм}} \cdot \frac{2RT_0}{p_0} + \frac{20}{22} + \frac{20}{44} \cdot k \cdot R \cdot T_0 = 5RT \quad \cdot \frac{5}{4} T_0 \quad | \cdot 44$$

$$p_{\text{атм}} \cdot \frac{88RT_0}{p_0} + 40 + 40kRT_0 = 5 \cdot 55RT_0 \Rightarrow \frac{p_{\text{атм}} \cdot 88RT_0}{p_0} + 40kRT_0 = 555RT_0 - 40kRT_0$$

$$\frac{p_{\text{атм}}}{p_0} \cdot 88RT_0 = 555RT_0 - 40kRT_0 - 40kRT_0 \quad | : RT_0$$

$$\frac{88 p_{\text{атм}}}{p_0} = 555 - 50 - 40kRT = 505 - 40kRT = 275 - 50 - 40kRT = 225 - 40kRT$$

$$\text{Отсюда } p_0 = \frac{88}{225 - 40kRT} p_{\text{атм}} = \frac{88}{225 - 40 \cdot \frac{1}{3} \cdot 3 \cdot \frac{1}{5}} p_{\text{атм}} = \frac{88}{185} p_{\text{атм}} \quad \text{— Ответ на второй пункт.}$$

Ответ: 1) верх.: мм. = 2    2)  $p_0 = \frac{88}{185} p_{\text{атм}}$

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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

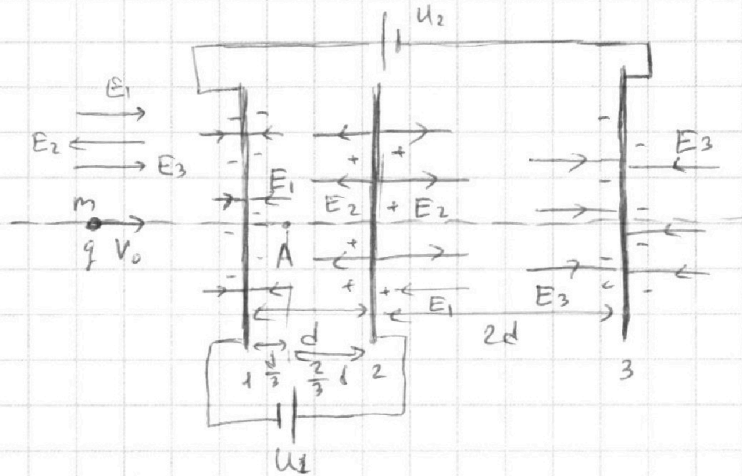
1  2  3  4  5  6  7



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



Дано:  
 $d, 2d,$   
 размеры сетки  $\gg d$   
 $U_1 = U, U_2 = 4U$   
 $m, q > 0, V_0$   
 $q \ll$  зарядов сетки



1) Пусть пластины заряжены как на рисунке.  
 Предположим,

Эл. поле между пластинами можно считать однородным т.к. размеры сетки  $\gg d$ .

Эффектами поляризации можно пренебречь т.к.  $q \ll$

Тогда, решим разность потенциалов между пластинами;

$E_1$  - поле, создаваемое 1 пластиной  
 $E_2$  - второй  
 $E_3$  - третьей

Тогда:  $\frac{U_1}{d} = E_2 + E_1 - E_3$

$$\frac{U_1}{d} = E_2 + E_1 - E_3 \quad (1)$$

$$\frac{U_2}{d} = 3E_3 + E_2 - 3E_1 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} U_2 &= (-E_1 - E_2 + E_3)d + \\ &+ (E_2 + E_3 - E_1)2d = \\ &= -E_1d - E_2d + E_3d + 2E_2d + 2E_3d - 2E_1d = \\ &= 3E_3d + E_2d - 3E_1d \end{aligned}$$

Перейдем к пункту (1) задачи:

Результативно поле между сетками 1 и 2:  $E_{12} = \frac{U_1}{d}$

Значит сила, действующая на заряд:  $F_3 = E_{12} \cdot q = \frac{U_1}{d} q$

Значит по 2.3. Ньютона:  $F_3 = ma_1$ , где  $a_1$  - искомое ускорение  
 $\frac{U_1 \cdot q}{d} = ma_1$

Отсюда:  $a_1 = \frac{U_1 q}{dm}$

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!

2) Разность кинетических энергий - работа, совершённая электрическим полем.

То  $W_2 - W_1 = A_{12}$  - работа поля при перелёте от 1 к 2 сетки

Возникает вопрос о первом отделе

Как известно  $A_{12} = q \cdot \Delta\varphi$ , где  $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$  - разность потенциалов между 1 и 2 сеткой.

Знак "-" стоит тк  $\varphi_2 > \varphi_1$

Значит по закону об изменении кин. энергии:

$$A_{12} = W_2 - W_1 = q \cdot (\varphi_2 - \varphi_1) = K_2 - K_1 \Rightarrow K_2 - K_1 = q \cdot U_1 = q \cdot U$$

3) Задача сводится к нахождению потенциала в

точке А. Запишем ЗСЗ для системы пластин:

$$q_1 + q_2 + q_3 = 0, \text{ где } q_1, q_2, q_3 - \text{заряды сеток}$$

В рамках нашей предположений  $q_1 < 0$

$$q_2 > 0$$

Значит связь между зарядов:  $q_3 < 0$

$-q_1 + q_2 - q_3 = 0$  (3) Напряжённость поля вблизи (длина пластин)

$$\text{пластины равна } E = \frac{q}{2\epsilon_0 d}$$

тк пластины пластины равны, то

поле будет однородно и для напряжённости: (модуль)

$$-E_1 + E_2 - E_3 = 0 \Rightarrow E_2 - E_1 - E_3 = 0 - \text{А это есть внешнее поле}$$

Значит в нашей приближении (длина пластин) поле

внешнее поле существует. Тогда потенциал в точке А:

$$\varphi_A = E_2 \cdot \frac{d}{3}$$

( $E \cdot d = \Delta\varphi$ ), а потенциал снаружи = 0, тк потенциал  $\infty = 0$ , а потенциал снаружи = 0 внешнее поле существует.

тк пластины поле внутри

Из закона сохранения энергии:

$$\text{Тогда } \varphi_A = E_2 \cdot \frac{d}{3} = \frac{U_1}{3} \Rightarrow \frac{mV_0^2}{2} = \frac{mVA^2}{2} + \frac{q \cdot U_1}{3}$$



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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!

Выражая  $V_A$  получаем:  $V_A^2 = V_0^2 - \frac{2}{3} \frac{qU}{m}$

значит  $V_A = \sqrt{V_0^2 - \frac{2}{3} \frac{qU}{m}}$

Ответ: 1)  $\frac{qU}{dm}$

2)  $q \cdot U$

3)  $\sqrt{V_0^2 - \frac{2}{3} \frac{qU}{m}}$

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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

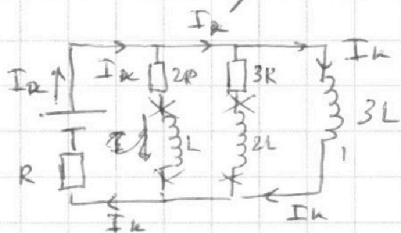
**МФТИ**

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



Отсюда скорость возрастания тока:  $\frac{dI_{3L}}{dt} = \frac{U_{3L}}{3L} = \frac{6 \cdot \epsilon}{11 \cdot 3 \cdot L} = \frac{2 \cdot \epsilon \epsilon_0}{11 \cdot L}$

3) Установившееся решение при замкнутом ключе:



Ток будет течь только через источник, резистор R и катушку 3L

Затемнем уравнение равновесия напряжений в ветках с 2R и 3R:

$$U_{2R} + U_L = U_{3R} + U_{2L} \Leftrightarrow I_1 \cdot 2R + L \cdot \frac{dI_1}{dt} = I_2 \cdot 3R + 2L \cdot \frac{dI_2}{dt},$$

где  $I_1$  - ток в ветке с 2R,  $I_2$  - ток в ветке с 3R

умножим обе части на dt:  $dq_1 \cdot 2R + L \cdot dI_1 = dq_2 \cdot 3R + 2L \cdot dI_2$

Интегрируем обе части:  $\int_0^{q_1} dq_1 \cdot 2R + L \cdot \int_{I_{10}}^0 dI_1 = \int_0^{q_2} dq_2 \cdot 3R + 2L \cdot \int_{I_{20}}^0 dI_2$

Пределы интегрирования токов - от  $I_{10}$  до 0 и от  $I_{20}$  до 0  
т.к. интегрируем от замыкания ключа и до установившегося

$$dq_1 \cdot 2R - L \cdot I_{10} = dq_2 - 2L \cdot I_{20} \quad (1)$$

Закон сохранения энергии:  $A_{ист} = \Delta W + Q$

$$\epsilon \cdot dq_{ист} = \Delta W + Q \quad (2)$$

Заряд, протекающий через источник - суммарный заряд, протекающий через 1, 2 и 3 ветви, значит:  $dq_{ист} = dq$

$$dq_{ист} = dq_1 + dq_2 + dq_3 \quad (3)$$

Найдём связь зарядов  $dq_1$  и  $dq_3$ :

Равенство напряжений в ветках 1 и 3:  $I_1 \cdot 2R + L \cdot \frac{dI_1}{dt} = 3L \cdot \frac{dI_3}{dt}$   
( $I_3$  - ток через 3 ветвь)

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!



Дано:  
 $E, R, L$

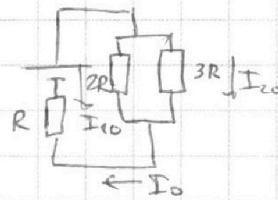
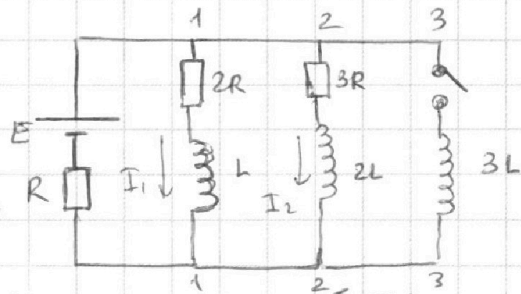
Обозначение  $E = \mathcal{E}$

1) В уст. режиме при разомкн. ключе на катушках отсутствует напряжение.

Значит схему можно эквивалентно переписать:

(т.к. катушка не отключается от провода в уст. режиме)

Найдём ток  $I_{10}$  через  $2R$ :



$$U_{2R} = I_{10} \cdot 2R - \text{напряжение на } 2R$$

$$U_{2R} = U_{3R} - \text{параллельн. соедин.}$$

$$U_{3R} = I_{20} \cdot 3R, \text{ где } I_{20} - \text{ток через резистор } 3R$$

$$\Downarrow$$

$$I_{10} \cdot 2R = I_{20} \cdot 3R \Rightarrow I_{20} = \frac{2}{3} I_{10}$$

Первое правило Кирхгофа:  $I_{10} + I_{20} = I_0$ , где  $I_0$  - ток через источник

Эквивалентное сопр. цепи:  $R_2 = R + \left(\frac{1}{2R} + \frac{1}{3R}\right)^{-1} = R + \left(\frac{5}{6R}\right)^{-1}$

Тогда ток через источник:  $I_0 = \frac{E}{\frac{11}{5}R} = R + \frac{6}{5}R = \frac{11}{5}R$

Значит  $\left\{ \begin{array}{l} I_{10} + I_{20} = \frac{5E}{11R} \\ I_{20} = \frac{2}{3} I_{10} \end{array} \right. \Rightarrow \frac{5}{3} I_{10} = \frac{5}{11} \cdot \frac{E}{R} \Rightarrow I_{10} = \frac{3}{11} \cdot \frac{E}{R}$

$$I_{20} = \frac{2}{11} \cdot \frac{E}{R}$$

2) Токи в катушках индуктивно взаимодействуют не могут  $\Rightarrow$  сразу после замыкания в катушках  $L$  и  $2L$  ток не изменится.

Значит напряжение на катушке  $3L$  сразу после замык. ключа:  $U_{3L} = I_{10} \cdot 2R = \frac{6}{11} E$

Напряжение на катушке:  $U_{3L} = 3L \cdot \frac{dI_{3L}}{dt}$   
скорость изменения тока

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!



умножая обе части на  $dt$  получим:

$$dq_1 \cdot 2R + L dI_1 = 3L \cdot dI_3$$

$$2R \cdot \int_0^{q_1} dq_1 + L \cdot \int_{I_0}^0 dI_1 = 3L \cdot \int_0^{I_k} dI_3 \quad \left( \begin{array}{l} \text{ток в катушке 3} \\ \text{увеличивается, пока} \\ \text{не достигнет } I_k = \frac{\mathcal{E}}{R} \end{array} \right)$$

$$2R \cdot q_1 - LI_0 = 3L \cdot I_k \quad | \Rightarrow$$

$$| \Rightarrow q_1 = \frac{3LI_k + LI_0}{2R} = \frac{3L \cdot \frac{\mathcal{E}}{R} + L \cdot \frac{3}{11} \cdot \frac{\mathcal{E}}{R}}{2R}$$

$$= \frac{\mathcal{E}}{LR} \cdot \frac{EL}{2R^2} \left( 3 + \frac{3}{11} \right) = \frac{1}{2} \cdot \frac{36}{11} \cdot \frac{EL}{R^2} = \frac{18}{11} \cdot \frac{EL}{R^2}$$

Ответ: 1)  $\frac{3}{11} \cdot \frac{\mathcal{E}}{R}$  3)  $\frac{18}{11} \cdot \frac{EL}{R^2}$   
2)  $\frac{2}{11} \cdot \frac{\mathcal{E}}{L}$

(в ответах  $\mathcal{E} \Leftrightarrow E$ )

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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 1  2  3  4  5  6  7

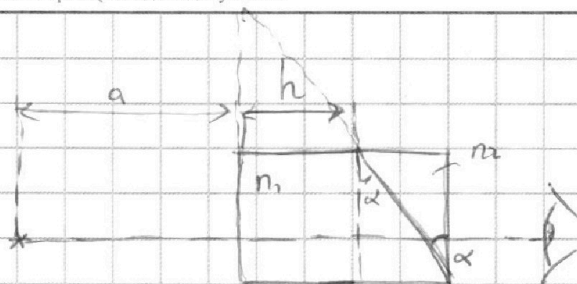
**МФТИ**

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



Задача 5

- Дано:  
 $n_D = 1,0$   
 $a = 194 \text{ см}$   
 $\alpha = 0,1 \text{ рад}$   
 $h = 9 \text{ см}$
- 1)  $n_1 = n_D = 1$   
 $\delta = ?$
  - 2)  $n_1 = n_D = 1$   
 $n_2 = 1,7$
  - 3)  $n_1 = 1,5$   
 $n_2 = 1,7$



1) Считается общеизвестным факт, что угол отклонения луча к нормали  $\delta$  показателю преломления  $n$  и малыши углами  $\alpha$  при вершине равен  $\delta = \alpha(n-1)$

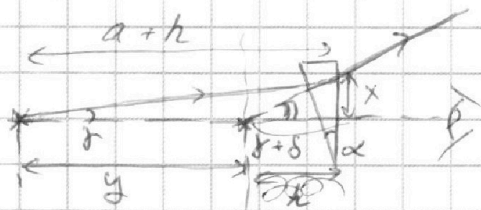
Тогда, считая  $n_2 = 1,7$ ,

$$\delta_1 = \alpha(n_2 - 1) = 0,7\alpha = 0,07 \text{ рад}$$

При этом, луч не отклонится при прохождении через вещество с показателем преломления  $n_1 = 1$  т.к.  $n_1 = n_D$  (условие  $n_D = 1$  можно воспринимать как то, что светлая находится в вакууме)

тогда  $\delta = \delta_1 = \alpha(n_2 - 1) = 0,07 \text{ рад}$

2) Нарисуем ход луча как в случае 1 (т.к.  $n_1 = 1$ )



Рассмотрим луч, исходящий от источника под углом  $\delta$  к оси. Тогда луч выйдет той же к кривой и выйдет под углом  $\delta + \delta$  к оси

Обозначим расстояние от оси до точки выхода луча за  $x$   
 $y$  - расстояние от источника до изображения

Тогда из ~~геометрии~~ геометрии:  $\tan \delta = \frac{x}{y+h}$   
 (тангенс угла преломления)

$$\tan(\delta + \delta) = \frac{x}{a+h-y}$$

Условие малости углов:  $\tan \delta \approx \delta$   
 $\tan(\delta + \delta) \approx \delta + \delta$

Тогда:  $\delta = \frac{x}{y+h}$   
 $\delta + \delta = \frac{x}{a+h-y} \quad \Rightarrow \quad \delta(y+h) = (\delta + \delta)(a+h-y)$



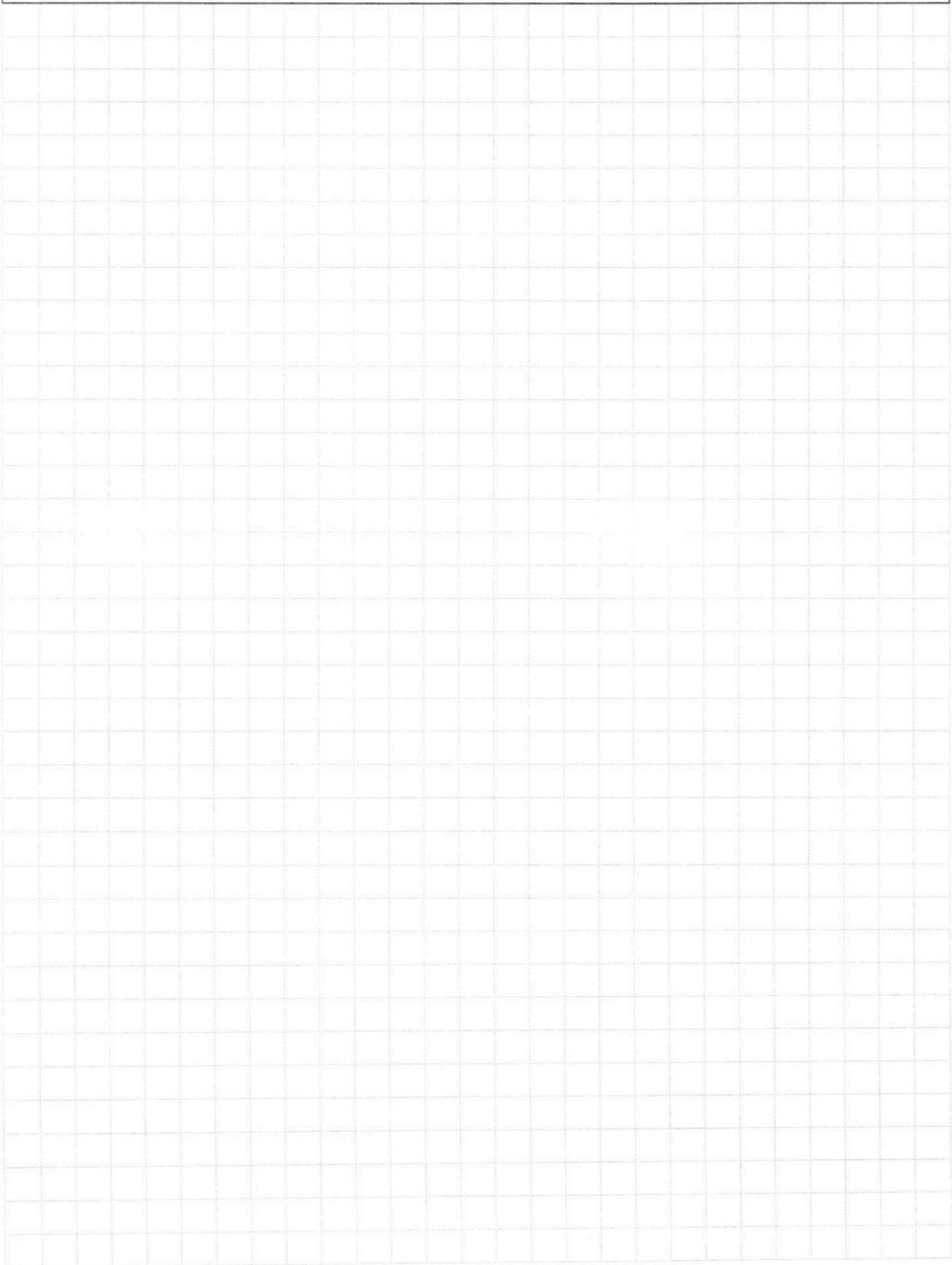
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



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

ЗСЗ:  $q_1 + q_2 + q_3 = 0$   $\int IR + \int \frac{dI}{dt} = 0$

$-E_1 + E_2 - E_3 = 0 \Rightarrow$  суммарно  $E = 0$

$I_1 \cdot 2R + L \frac{dI_1}{dt} = I_2 \cdot 3R + 2L \frac{dI_2}{dt}$

$dq_1 \cdot 2R + L dI_1 = dq_2 \cdot 3R + 2L \cdot dI_2$

$3L \cdot \frac{dI_3}{dt} = I_1 \cdot 2R +$

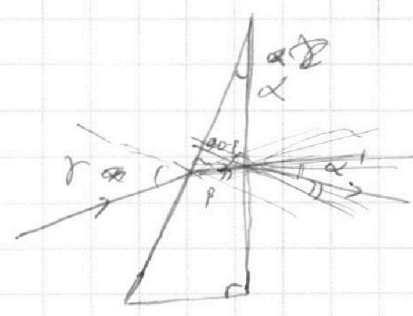
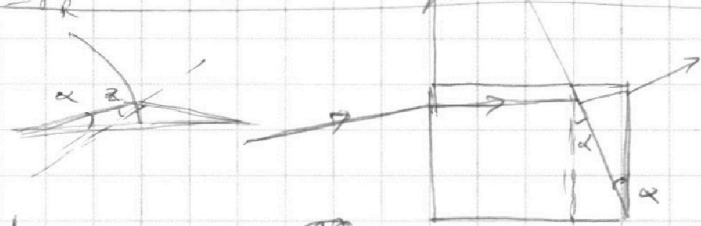
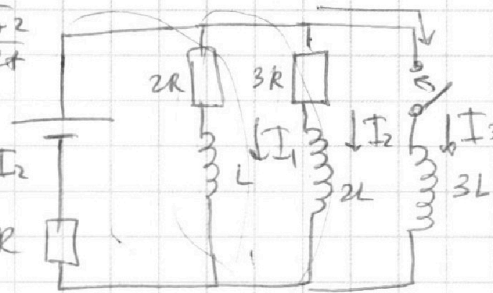
$+ L \frac{dI_1}{dt}$

$\delta y + \delta h = \delta a + \delta h - \delta y + \delta a + \delta h - \delta y$   
 $2\delta y = \delta a + \delta a + \delta h - \delta y$

$I_1 \cdot 2R + L \cdot \frac{dI_1}{dt} = 3L \frac{dI_3}{dt}$

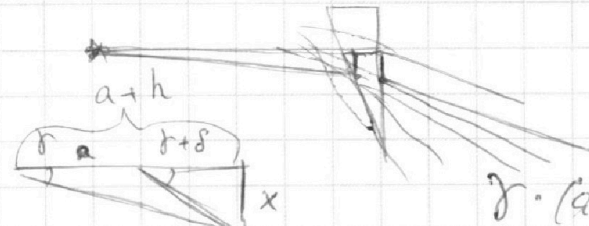
$dq_1 \cdot 2R + L \cdot dI_1 = 3L \cdot dI_3$

$dq_1 \cdot 2R + L(I_1 - I_0) = 3L \cdot I_3$



$y = \frac{\delta a + \delta a + \delta h}{2\delta + \delta}$   
 $160 - \alpha - 90 = \beta = (90 - \alpha + \beta) - 90$   
 $= \beta - \alpha - \text{угол}$

$(\beta - \alpha)n = \alpha'$   
 $\delta - \alpha' = n\beta - (\beta - \alpha) \cdot n =$   
 $= \alpha \cdot n$



$g + h = a + h - y$   
 $y = \frac{a}{2}$

$\delta \cdot (a + h) = (\delta + \delta)(a - y + h)$   
 $\delta a + \delta h = \delta a - \delta y + \delta h + \delta a - \delta y + \delta h$

194. 0,17 + 0,07 \* 2 = 0,41

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7



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

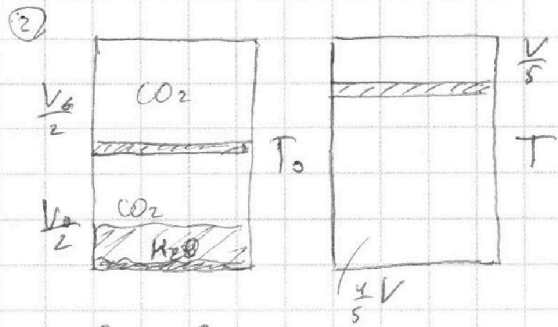


1)  $q_0$  Черновик

2)  $F_k = 0.001$

$F = k \cdot r \cdot v \rightarrow F_1$   $F_T |_{v_1} = m a_1 + F_1$   
 $F_k = \gamma \cdot v_k \rightarrow \gamma = \frac{F_k}{v_k}$

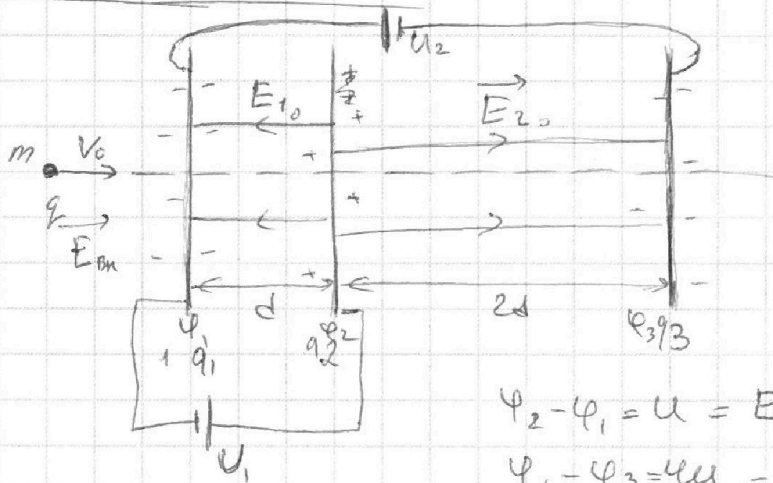
3)  $p \cdot \Delta x = F_T \cdot \Delta x$   
 $p = \frac{dA}{dt} = \frac{F_T \cdot dS}{dt} = F_T \cdot v$  или  
 $\frac{4}{5} - \frac{1}{5} = \frac{16-5}{20} = \frac{11}{20}$



$\Delta V$  расст.  
 $\rho \cdot V$  и  $\rho \cdot V$  жидкост.  
 $\rho$  - пар. гевт.  
 $k = \frac{1}{3} \cdot \rho \cdot V^{-3}$ , конст. на расст.  
 $RT \approx 3 \cdot \rho \cdot V^3$

$p_0 = \frac{88}{5 - \text{корр}} \cdot \rho_{\text{пар}} = \frac{88}{5 - 0.001 \cdot 10^3 \cdot 0.8 \cdot 10^3} \cdot \rho_{\text{пар}}$   
 $225 - \text{корр}$

3)



разности  $\gg d$   
 $U_1 = U$   
 $U_2 = 4U$   
 $q \ll Q_{\text{серок}}$

$E_{10} = E_1 + E_2 - E_3$

$E_{20} = -E_1 + E_2 + E_3$

$E_{\text{вн}} = E_1 - E_2 + E_3$   
 $E = \frac{5}{220} = \frac{q}{220\epsilon_0} = 8 \cdot q$

$\phi_2 - \phi_1 = U = E_1 \cdot d$

$\phi_1 - \phi_3 = 4U = -E_1 \cdot d + E_2 \cdot 2d$

$4E_1 \cdot d = -E_1 \cdot d + E_2 \cdot 2d$

$5E_1 = 2E_2 \Rightarrow E_2 = \frac{5}{2} E_1$

$= E_{20} = 2E_3$

$-E_1 + E_2 + E_3 = \frac{5}{2} E_1 + \frac{5}{2} E_2 - \frac{5}{2} E_3$

$E_{10} = E_1 + E_2 - E_1 - \frac{3}{2} E_2$

$-\frac{7}{2} E_1 - \frac{3}{2} E_2 + \frac{7}{2} E_3 = 0$

$E_{20} = -E_1 + E_2 + E_1 + \frac{3}{2} E_2$

$7E_3 = 7E_1 + 3E_2$