



Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 11-02

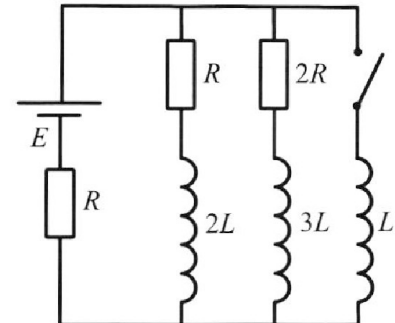
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



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

- 1) Найти ток I_{20} через резистор с сопротивлением $2R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью L 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 $n_v = 1,0$. Точечный источник света S расположен на расстоянии $a = 200$ см от системы и рассматривается наблюдателем так, что источник и глаз наблюдателя находятся на прямой, перпендикулярной наружным поверхностям призм (см. рис.). Угол $\alpha = 0,05$ 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.

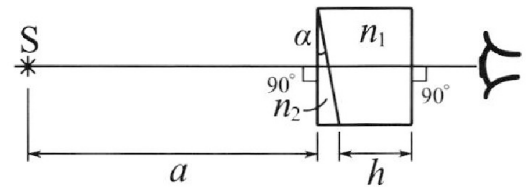


рис.). Угол $\alpha = 0,05$ рад можно считать малым, толщина $h = 9$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

- 1) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,6$, найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,6$, найдите расстояние между источником и его изображением, которое будет видеть наблюдатель.
- 3) Считая $n_1 = 1,8$, $n_2 = 1,6$, найдите на каком расстоянии от источника будет его изображение, которое увидит наблюдатель.



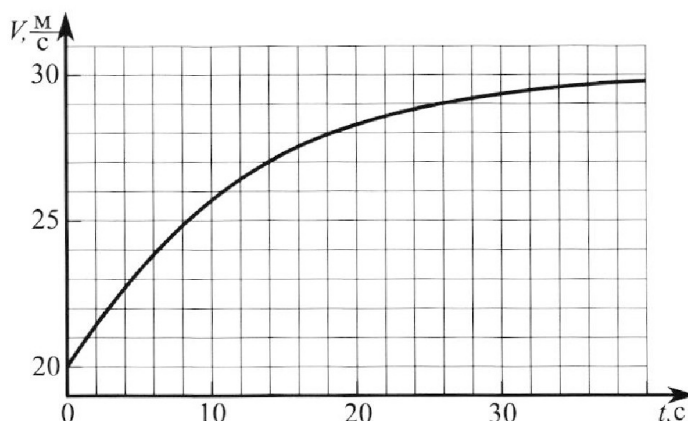
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-02

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



1. Мотоциклист массой (вместе с мотоциклом) $m = 300$ кг движется с постоянной скоростью и затем разгоняется на прямолинейном горизонтальном участке дороги так, что мощность, передаваемая от двигателя на ведущее колесо, остается постоянной. График зависимости скорости от времени при разгоне показан на рисунке. В конце разгона сила сопротивления движению равна $F_k = 405$ Н.



1) Используя график, найти ускорение мотоцикла при скорости $V_1 = 27$ м/с.

2) Найти силу сопротивления движению F_1 при скорости V_1 .

3) Какая часть мощности, передаваемой на ведущее колесо, идет на преодоление силы сопротивления движению при скорости V_1 ?

Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

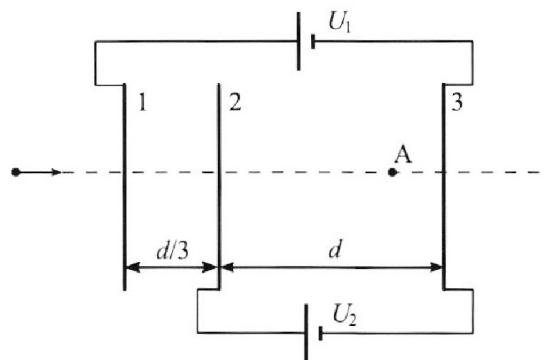
2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объемом V разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится азот, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при комнатной температуре T_0 . При этом жидкость занимала объем $V/4$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 4T_0/3 = 373$ К. Установившийся объем его верхней части стал равен $V/6$.

По закону Генри, при заданной температуре количество Δv растворённого газа в объеме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta v = kpw$. Объем жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры $k \approx 0,6 \cdot 10^{-3}$ 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 объема 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 конечное давление в сосуде P . 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 $d/3$ (см. рис.). Размеры сеток значительно больше d . Изначально сетки не заряжены. К сеткам подсоединили источники с напряжением $U_1 = 2U$ и $U_2 = U$. 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 2 и 3.

2) Найти разность $K_3 - K_2$, где K_2 и K_3 — кинетические энергии частицы при пролете сеток 2 и 3.

3) Найти скорость частицы в точке A на расстоянии $2d/3$ от сетки 2.

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



МФТИ

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



✓ 1.

1) Проведу масштабную и ее коэф. наклона = α .

$$\alpha \approx \frac{30-26}{24-10} = \frac{2}{7} \approx \underline{\underline{0,3 \text{ м/с}}} = \frac{3}{10} \text{ м/с}$$

2) $E_k = \frac{mv^2}{2}$

$$dE_k = mv dv$$

$$P dt - F_c v dt = mv dv$$

$$P = ma v + F_c v = \text{const}$$

Тогда в конце разгона $\left. \begin{array}{l} v_k = 30 \text{ м/с} \\ F_c = 405 \text{ Н} \\ a = 0 \end{array} \right\} P = (405 \cdot 30) \text{ Вт} = 12150 \text{ Вт}$

3) $P_m = ma_1 v_1 + F_{c1} v_1$

$$F_{c1} = \frac{P - ma_1 v_1}{v_1} = \frac{12150 - 300 \cdot 0,3 \cdot 27}{27} \text{ Н} = \frac{12150 - 2430}{27} \text{ Н} = \underline{\underline{360 \text{ Н}}}$$

4) $\alpha = \frac{F_{c1} v}{P} = \frac{360 \text{ Н} \cdot 27 \text{ м/с}}{12150} = \frac{360}{450} = \frac{36}{45} = \frac{4}{5} = \underline{\underline{0,8}} = \frac{4}{5}$

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!

№2.

1)

N_2	T_0, p
	V_1
CO_2	T_0, p
	V_2
$V/4$	

$$N_2: p = \frac{V_1 RT_0}{V_1}$$

$$CO_2: p = \frac{V_2 RT_0}{V_2} \quad \left\{ \text{т.к. давление паров} = 0 \right\}$$

$$V_1 + V_2 + \frac{V}{4} = V \Rightarrow V_1 + V_2 = \frac{3V}{4}$$

$$V_2 + \frac{V}{4} = V_1 = \frac{V}{2} \quad \left\{ \text{разделим по 2 равные части} \right\}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{V_1}{V_2}, 1$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\frac{V}{2}}{\frac{V}{4}} = 2 \Rightarrow V_1 = 2V_2$$

2) Т.к. при T с CO_2 смесью взаимодействуем, то $V_2' = V_2 + \Delta V$

$$\Delta V = k p \frac{V}{4} = k \cdot \frac{V_2 RT_0}{V/4} \cdot \frac{V}{4} = k V_2 RT_0$$

$$V_2' = V_2 (k RT_0 + 1)$$

3) при $T = 373K$ парциальное давление вод. паров = $1 \text{ атм} = p_{\text{атм}}$.

$V/6$
$\frac{7V}{12}$
$V/4$

$$p_{N_2} = p \quad 1) \frac{V}{6} \cdot p_{N_2} = V_1 RT$$

$$p_{CO_2} + p_{\text{атм}} = p \quad 2) p_{CO_2} \cdot \frac{7V}{12} = V_2' RT$$

$$3) p = p_{N_2} = p_{CO_2} + p_{\text{атм}} \Rightarrow 1 = \frac{p_{CO_2}}{p_{N_2}} + \frac{p_{\text{атм}}}{p}$$

$$\frac{p_{N_2}}{p_{CO_2}} \cdot \frac{\frac{1}{6}}{\frac{7}{12}} = \frac{V_1}{V_2'} \Rightarrow \frac{p_{N_2}}{p_{CO_2}} = \frac{7V_1}{2V_2'} = \frac{7V_1}{2V_2(k RT_0 + 1)} = \frac{7 \cdot 2}{2(k RT_0 + 1)} \quad \text{---}$$

$$\text{---} \Rightarrow \frac{7}{(k RT_0 + 1)} \Rightarrow \frac{p_{CO_2}}{p_{N_2}} = \frac{k RT_0 + 1}{7}$$

$$\frac{p}{p_{\text{атм}}} = \frac{1}{1 - \frac{k RT_0 + 1}{7}} = \frac{7}{6 - k RT_0} = \frac{7}{6 - k RT \cdot \frac{3}{4}} = \begin{cases} k RT = \\ = 96 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{3}{4} = \\ = \frac{27}{20} \approx 1.35 \end{cases}$$

$$p = \frac{140}{93} p_{\text{атм}}$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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



№3.

1) Так как $U_{23} = U_2$, а поле однородно, то

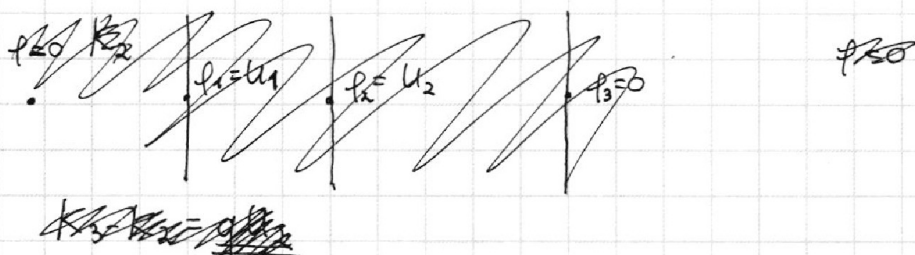
$$Ed = U_2$$

$$E = \frac{U_2}{d} = \frac{U}{d}$$

$$qE = ma \Rightarrow a = \frac{q \frac{U}{d}}{m} = \frac{qU}{md}$$

2) Т.к. $\sum q_i = 0$, то поле за границами 1 и 3 равно 0 из Т. Гаусса.

И так как частица далеко от сеток, то правее эквипотенциалы уравниваем. Тогда считаем, что потенциал за 1 и 3 $= 0 = \text{const.}$



3)

$$p_1 = 0 \quad p_2 = U_2 - U_1 \quad p_3 = -U_1$$

$$K_3 + (-U_1)q = K_2 + (U_2 - U_1)q$$

$$K_3 - K_2 = qU_2 = \underline{qU}$$

4) Т.к. поле $E_{23} = \frac{U}{d}$, то $K_A - K_2 = \frac{qU}{d} \cdot \frac{2d}{3} = \frac{2}{3}Uq$

$$K_2 - K_1 = 0 - q(U_2 - U_1) = q(U_1 - U_2) = qU$$

Тогда $K_A - K_1 = \frac{2}{3}Uq + qU = \frac{5}{3}qU$

$$\left\{ \begin{array}{l} K_A = \frac{mv_A^2}{2} \\ K_1 = \frac{mv_0^2}{2} \end{array} \right\} \quad \frac{mv_A^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2} + \frac{5}{3}qU \Rightarrow \underline{v_A = \sqrt{v_0^2 + \frac{10qU}{3m}}}$$

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐



1)

А в уст. режиме $U_{2L} = U_{3L} = 0$

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

$I_{20} + I_{10} = 3I_{20}$

Тогда $E = 3I_{20} \cdot R + 2R \cdot I_{20} = 5I_{20} R$

$I_{20} = \frac{E}{5R}$

2) ~~Т.к. ток через L_1, L_2 и L_3 не может измениться мгновенно, то ток через обмотку, после ~~остаток~~ ток $I_{20} = \frac{3E}{5R}$~~

~~Тогда $\mathcal{E}_L = - \frac{L dI}{dt} \Rightarrow \frac{dI}{dt} = - \frac{\mathcal{E}_L}{L}$ $\mathcal{E}_L = 2R \cdot I_{20}$ - маг. пд 2. акт.~~

~~$\left| \frac{dI}{dt} \right| = + \frac{2R \cdot \frac{E}{5R}}{L} = + \frac{2E}{5L}$~~

3) ~~Т.к. $U_{2L} = U_{3L} = 0$~~

2) Т.к. ток через L_2, L_3, L_1 не изменился, то через E не изменился, тогда $U_L = E - R \cdot \frac{3E}{5R} = \frac{2E}{5} = \left| \frac{dI}{dt} \right| L \Rightarrow \left| \frac{dI}{dt} \right| = \frac{2E}{5L}$

3) I. Найдем уст. пол. после зам. цепи:

$U_L = 0 \Rightarrow I_E = \frac{E}{R} = I_{LK}$

II. Запишем $U_{2R} + U_{3L} = U_L$:

$\frac{dq_2}{dt} \cdot 2R + \frac{3L dI_2}{dt} = + \frac{L dI_L}{dt}$

$2R \Delta q_2 + 3L \Delta I_2 = + L \Delta I_L$

$\Delta q_2 = \left| \frac{3EL}{5R} + L \frac{E}{R} \right| = + \frac{EL}{R^2} \cdot \frac{4}{5} = \frac{4EL}{5R^2}$

$\Delta I_2 = 0 - I_{20} = - \frac{E}{5R}$

$\Delta I_L = I_{LK} - 0 = \frac{E}{R}$

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

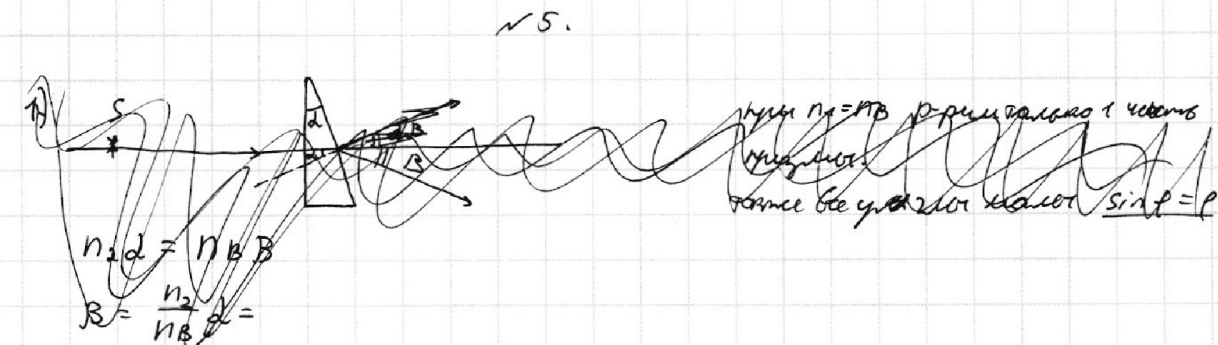
Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

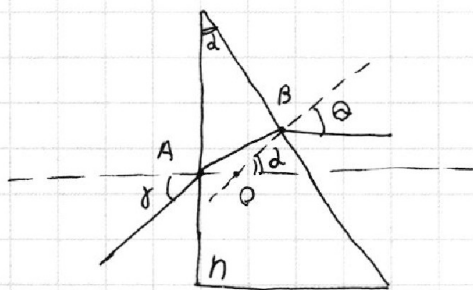
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

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



1) Так $n_1 = n_2$, то отсюда будет искомая пут.



$$n = n_{\text{отн}} = \frac{n_2}{n_1}$$

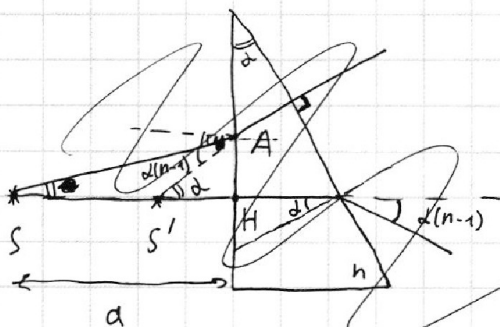
$$\left. \begin{aligned} 1) \angle BAO &= \frac{\gamma}{n} \\ 2) \angle BOA &= 180 - d \end{aligned} \right\} \angle ABO = d - \frac{\gamma}{n}$$

$$3) \theta = n \angle ABO = 2n - \gamma$$

$$4) \text{ угол отклонения } f = \gamma + 2n - \gamma - d = 2(n-1)$$

$$\text{тогда } f = 0,05(1,6-1) = 0,6 \cdot 0,05 = 0,03$$

2) р-реш 2 луча: один перпендикулярный и другой углов
второй после отклонения перпенд. пр. углов.



$$\theta = nd$$

$$2) \angle AS'H = nd + 2(n-1) = 2nd - d = d(2n-1)$$

$$3) \frac{AH}{a} = \tan \theta = \theta = nd$$

$$\frac{AH}{S'H} = \tan \angle AS'H \approx d(2n-1)$$

$$\frac{S'H}{a} = \frac{n}{2n-1} = *$$

$$SS' = a - S'H = \left(1 - \frac{n}{2n-1}\right)a = \frac{2n-1-n}{2n-1}a = \frac{n-1}{2n-1}$$

$$SS' = \frac{1,6-1}{3,2-1} \cdot 200 = \frac{0,6}{2,2} \cdot 200 = \frac{600}{11} \text{ см}$$



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

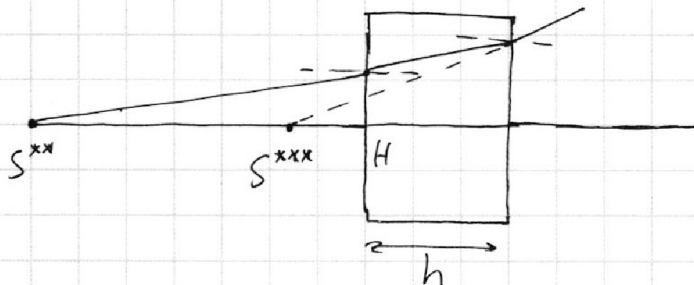
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

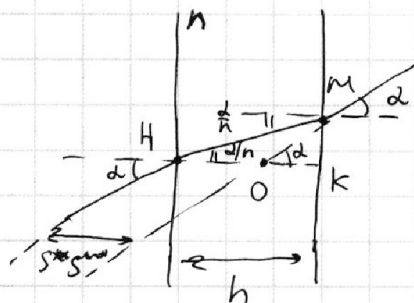
МФТИ

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

$\sqrt{S}$ (м/с).



Вм. пор. массе при не изм. угла, по безмасштаб.

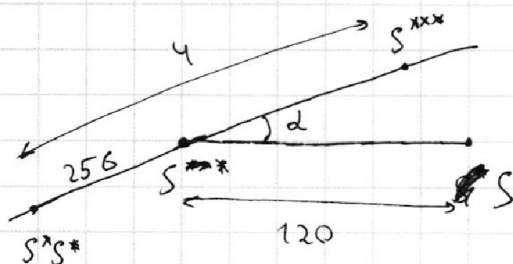


$$MK = h \cdot \frac{1}{h}$$

$$OK = MK \cdot \frac{1}{2} = \frac{h}{h}$$

$$S^{xx} S^{xxx} = HK - OK = h - \frac{h}{h} = h \left(1 - \frac{1}{h}\right) = 9 \left(1 - \frac{1}{1.8}\right) = 4$$

Тогда $S^{xx} S^{xxx} =$ исходные предположения:



$$d < 1; \text{Тогда } S S^{xxx} = 120 + 256 - 4 = \underline{\underline{372 \text{ см}}}$$

Ответ: 372 см

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒

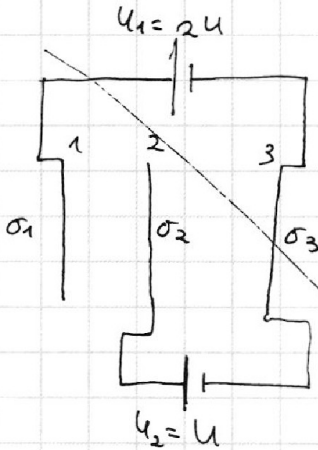
МФТИ

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



✓ 3.

Чертовик.



$$1) - U_1 = \frac{\sigma_3 - \sigma_2 - \sigma_1}{2\epsilon_0} d + \frac{\sigma_3 + \sigma_2 - \sigma_1}{2\epsilon_0} \cdot \frac{d}{3} =$$

$$= \frac{2\sigma_3 d}{3\epsilon_0} - \frac{\sigma_2 d}{3\epsilon_0} - \frac{2\sigma_1 d}{3\epsilon_0}$$

$$2) - U_2 = \frac{\sigma_3 - \sigma_2 - \sigma_1}{2\epsilon_0} d$$

$$3) \sum q = 0: \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 0$$

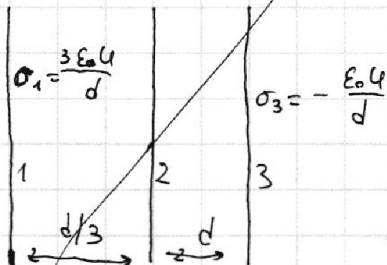
Решая систему:

$$\sigma_3 = -\frac{\epsilon_0 U_2}{d} = -\frac{\epsilon_0 U}{d}$$

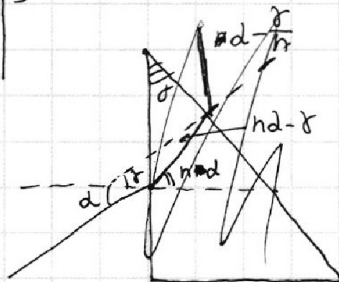
$$\sigma_1 = -\frac{3\epsilon_0}{d}(U_2 - U_1) = +\frac{3\epsilon_0 U}{d}$$

$$\sigma_2 = -\frac{\epsilon_0}{d}(3U_1 - U_2) = -\frac{2\epsilon_0 U}{d}$$

$$\sigma_2 = \frac{2\epsilon_0 U}{d}$$

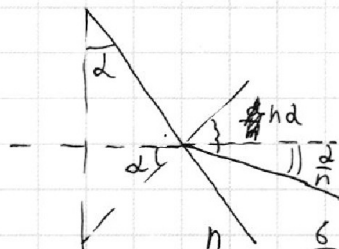


Т.к. расст. пластин $\gg$ разм. пластин, то можно пренебречь краевыми эффектами и считать, что E величина ≈ 0 .



$$180 - (90 - hd) - (90 + \gamma) =$$

$$= hd - \gamma$$



$$hd = r$$

$$\frac{6}{22} = \frac{3}{11}$$



$$d - \frac{r}{h} + \gamma + d = T$$

$$2d + \gamma \left(1 - \frac{1}{h}\right) = T$$

$$180 - (180 - d) - \frac{\gamma}{h} =$$

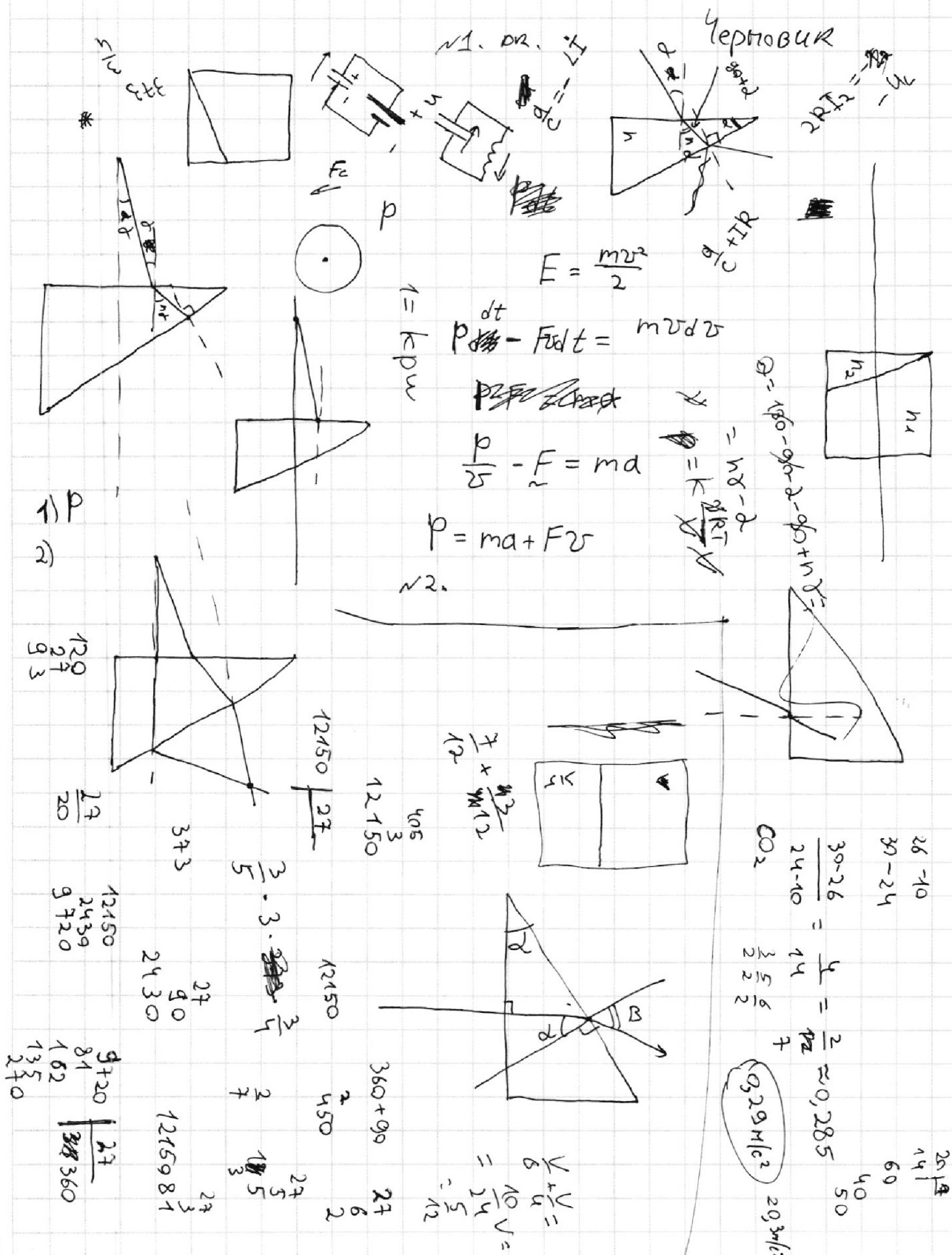
$$= d - \frac{\gamma}{h}$$

$$\frac{0.8}{2.2} \approx 0.36$$

$$\frac{0.9}{2.2} \approx 0.41$$

$$\frac{1.8}{3.2} \approx 0.56$$

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:



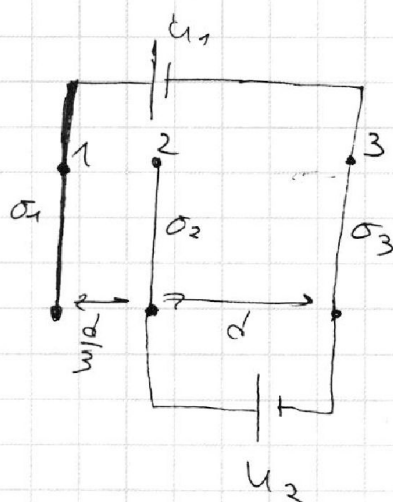
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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



~~3?~~

Черновик.

$\frac{q}{d}$

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

$$\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 0$$

$$\frac{2\epsilon_0 U_2}{d} = \sigma_3 - \sigma_2 - \sigma_1$$

$$\frac{3\epsilon_0 U_1}{d} = 2\sigma_3 - \sigma_2 - 2\sigma_1$$

$$3\sigma_3 - \sigma_1$$

$$\frac{d\phi}{dt} = -RI$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot 2\pi\epsilon_0 \cdot \sigma$$

$$\frac{1}{6} - \frac{3}{8} = -\frac{1}{3}$$

$$U_1 = \frac{\sigma_3 - \sigma_2 - \sigma_1}{2\epsilon_0} d + \frac{\sigma_3 + \sigma_2 - \sigma_1}{2\epsilon_0} \frac{d}{3} =$$

$$\frac{\epsilon_0 U_2}{d} + \frac{3\epsilon_0(U_2 - U_1)}{d} = \frac{3\sigma_3 d}{6\epsilon_0} + \frac{\sigma_3 d}{6\epsilon_0} - \frac{\sigma_2 d}{3\epsilon_0} - \frac{2\sigma_1 d}{3\epsilon_0}$$

$$\frac{\epsilon_0}{d} (4U_2 - 3U_1)$$

$$\frac{\epsilon_0}{d} (3U_1 - 4U_2)$$

$$U_2 = \frac{\sigma_3 - \sigma_2 - \sigma_1}{2\epsilon_0} d + \frac{3\epsilon_0(U_2 - U_1)}{d}$$

$$\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 0 \quad 6-4 \quad \sigma_2 = \frac{\epsilon_0 U_2}{d} = -\frac{\epsilon_0 U_1}{d}$$

$$\frac{2\epsilon_0 U_2}{d} = \sigma_3 - \sigma_2 - \sigma_1$$

$$\frac{3\epsilon_0 U_1}{d} = 2\sigma_3 - \sigma_2 - 2\sigma_1$$

$$\sigma_3 - \sigma_1 = \frac{\epsilon_0 U_1}{d} \Rightarrow \sigma_1 = \frac{\epsilon_0}{d} (U_2 - U_1) = -\frac{\epsilon_0 U_1}{d}$$

$$\sigma_2 = -\frac{\epsilon_0 U_2}{d} - \frac{\epsilon_0 U_2}{d} + \frac{\epsilon_0 U_1}{d} = \frac{\epsilon_0}{d} (U_1 - 2U_2) =$$

$$\frac{\sigma_3 - \sigma_2 - \sigma_1}{2\epsilon_0} = F$$

$$2U = U_1 = \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{2\epsilon_0} d + \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{2\epsilon_0} \cdot \frac{d}{3}$$



$$3 - 2 - 1 =$$

$$I_2 \cdot 2R + \mathcal{E}_{3L} = \mathcal{E}_L$$