



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-02

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



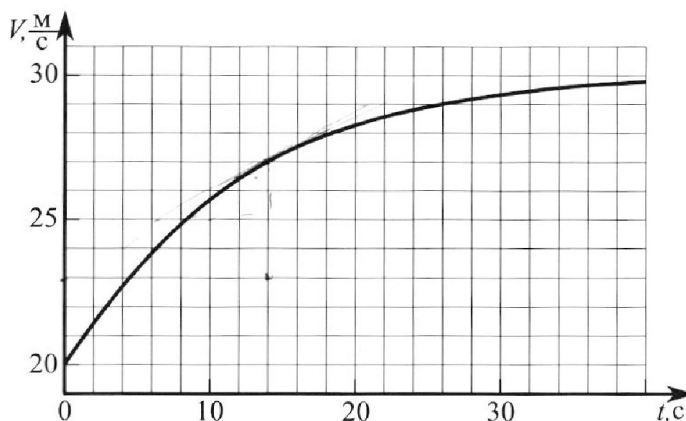
1. Мотоциклист массой (вместе с мотоциклом) $m = 300$ кг движется с постоянной скоростью и затем разгоняется на прямолинейном горизонтальном участке дороги так, что мощность, передаваемая от двигателя на ведущее колесо, остается постоянной. График зависимости скорости от времени при разгоне показан на 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%.



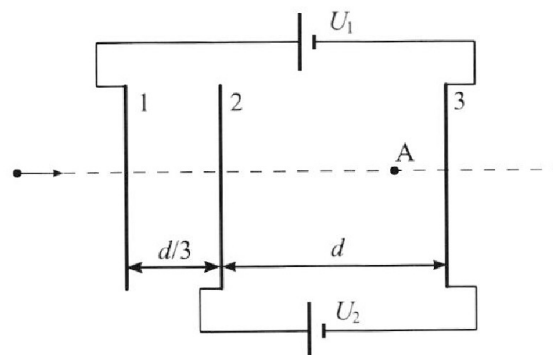
2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объемом V разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится азот, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент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

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 $k \approx 0,6 \cdot 10^{-3}$ 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 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 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.



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-02

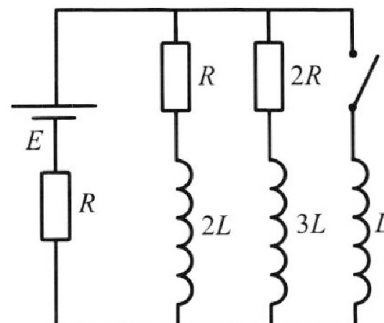


Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

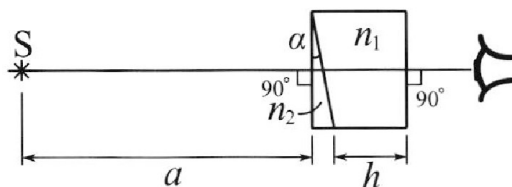
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 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 $n_{\text{в}} = 1,0$. 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.



- 1) Считая $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$, $n_2 = 1,6$, найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$, $n_2 = 1,6$, 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.



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

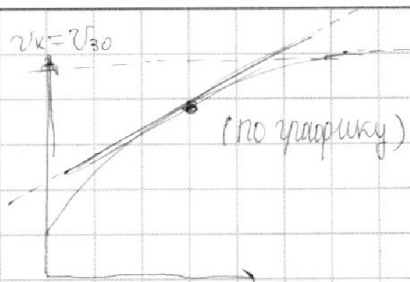
$$N = F \cdot v = \text{const}$$

1)

$$a_1 = \frac{dv_1}{dt} \Rightarrow$$

ответ:

$$\Rightarrow a_1 \approx 0.25 \text{ м/с}^2$$



($v_k = 30 \text{ м/с}$)

2)

$$N = F_k \cdot v_k = F \cdot v_1$$

$$\Rightarrow F = F_k \frac{v_k}{v_1} = 450 \text{ Н}$$

$$F - F_1 = m a_1$$

$$\Rightarrow F_1 = F - m a_1$$

ответ:

$$\Rightarrow F_1 = 375 \text{ Н}$$

3) (given)

$$\eta = \frac{F_1 v_1}{N(v_1)} = \frac{F_1 v_1}{F \cdot v_1} = \frac{F_1}{F} = \frac{5}{6}$$

ответ:

$$\eta = \frac{5}{6}$$

ответ: 1) $a = 0.25 \text{ м/с}^2$; 2) $F_1 = 375 \text{ Н}$; 3) $\eta = \frac{5}{6}$.

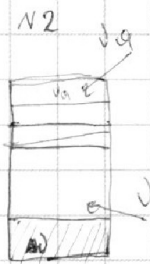
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$1) \quad \Delta p = k p_0 \frac{V}{4} \quad V_0 = \frac{V}{2}$$

$$p_0 V_0 = \nu R T_0$$

$$p_0 (V - V_0 - \frac{V}{4}) = \nu R T_0$$

$$p \frac{V}{6} = \nu R T$$

$$\frac{p_0}{p} \frac{V}{6} = \frac{V - \frac{V}{4} - \frac{V}{6}}{V} = \left(1 + k p_0 \frac{V}{4}\right) \frac{R T}{R T_0}$$

$$p_0 \frac{V}{2} = \nu R T_0$$

$$p_0 \frac{V}{4} = \nu R T_0$$

Ответ:

$$\frac{V_a}{V} = 2$$

$$2) \quad p \frac{V}{6} = \nu R T \Rightarrow p_0 = p \frac{T_0}{T} \cdot \frac{1}{3} = p \frac{1}{4}$$

$$(p - p_{\text{атм}}) \frac{V}{12} = \left(1 + k p_0 \frac{V}{4}\right) R T$$

$$(p - p_{\text{атм}}) \frac{V}{12} = \nu R T + k R T p_0 \frac{V}{4}$$

$$(p - p_{\text{атм}}) \frac{V}{12} = \left(p \frac{1}{4}\right) \frac{V}{4} \cdot \frac{V}{3} + (k R T) \cdot \left(p \frac{1}{4}\right) \frac{V}{4}$$

$$p \left(\frac{1}{12} - \frac{1}{12} - \frac{k R T}{16}\right) = \frac{1}{12} p_{\text{атм}}$$

$$p \left(0 - \frac{3}{4} k R T\right) = \frac{1}{12} p_{\text{атм}}$$

$$p = \frac{\frac{1}{12} p_{\text{атм}}}{-\frac{3}{4} k R T} = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{k R T} p_{\text{атм}}$$

$$p = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{k R T} p_{\text{атм}} = \frac{1}{18} p_{\text{атм}}$$

Ответ:

$$p = \frac{1}{18} p_{\text{атм}}$$

Ответ: 1) $\frac{V_a}{V} = 2$; 2) $p = \frac{1}{18} p_{\text{атм}}$.

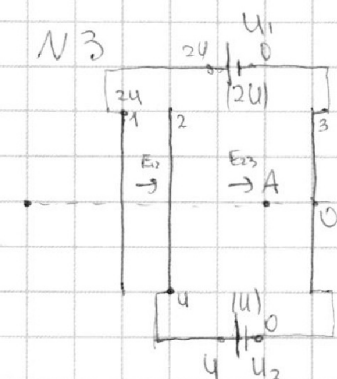
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$E = -\frac{\partial \varphi}{\partial x} \Rightarrow E_{23} = \frac{\varphi_2 - \varphi_3}{d} = \frac{U - 0}{d}$$

$$E_{23} = \frac{U}{d} \Rightarrow qE = ma$$

$$\text{Ответ: } \Rightarrow a = \frac{qU}{md}$$

$$2) \quad K_3 - K_2 = A = q \cdot (\varphi_2 - \varphi_3) = qU \Rightarrow \text{Ответ: } K_3 - K_2 = qU$$

$$3) \quad K_1 = K_0 = \frac{mv_0^2}{2} \quad (E_{\text{в}} = 0, \text{ за счет экранов})$$

$$K_2 - K_1 = q \cdot U$$

$$\Rightarrow K_A = K_1 + \frac{5}{3} qU$$

$$K_A - K_2 = qU \cdot \frac{2}{3}$$

$$\Rightarrow \frac{mv_A^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2} + \frac{5}{3} qU$$

$$\text{Ответ: } v_A = \sqrt{v_0^2 + \frac{10}{3} \frac{qU}{m}}$$

$$\text{Ответ: } 1) a = \frac{qU}{md}; 2) K_3 - K_2 = qU; 3) v_A = \sqrt{v_0^2 + \frac{10}{3} \frac{qU}{m}}.$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

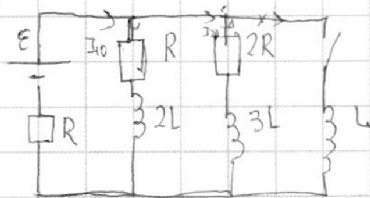
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

МФТИ

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



N4



$$1) \quad \varepsilon = I_{20} \cdot 2R + (I_{20} + I_{10})R$$

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

ответ:

$$\Rightarrow I_{20} = \frac{\varepsilon}{5R}$$

$$2) \quad \varepsilon - L \frac{dI}{dt} = (I_{10} + I_{20})R$$

ответ:

$$\Rightarrow \frac{dI}{dt} = \frac{2\varepsilon}{5L}$$

$$3) \quad -3L \frac{dI_2}{dt} + L \frac{dI}{dt} = I_{20} \cdot 2R$$

$$\varepsilon = I_{10} R$$

$$I_{10} = \frac{\varepsilon}{R}$$

$$-3L \int_0^{\frac{\varepsilon}{R}} dI_2 + L \int_0^{\frac{\varepsilon}{R}} dI = 2R \int_0^q (I_2 \cdot dt)$$

$$\frac{3\varepsilon L}{5R} + \frac{\varepsilon L}{R} = 2Rq$$

ответ:

$$\Rightarrow q = \frac{4LE}{5R^2}$$

ответ: 1) $I_{20} = \frac{\varepsilon}{5R}$; 2) $\frac{dI}{dt} = \frac{2\varepsilon}{5L}$; 3) $q = \frac{4LE}{5R^2}$.



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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

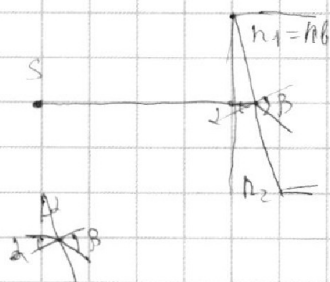
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

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

№5

1)



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

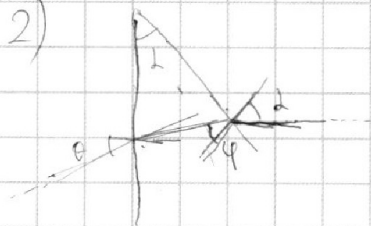
гра. смещения

$$\delta = \beta - \alpha = d \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right)$$

Ответ:

$$\delta = 0.03 \text{ рад}$$

2)



$$\theta n_1 = (d - \varphi) \cdot n_2$$

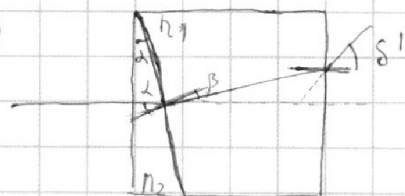
$$\varphi \cdot n_2 = d \cdot n_1$$

$$\Rightarrow \theta = d \frac{n_2 - n_1}{n_1} = \delta = 0.03 \text{ рад}$$

Ответ:

$$\Rightarrow X = a \cdot \delta = 6 \text{ см}$$

3)



$$d n_2 = \beta n_1$$

$$(d - \beta) n_1 = s' n_2 \Rightarrow$$

$$\delta' = d \frac{n_1 - n_2}{n_2} = 0.01 \text{ рад}$$

наименьший

$$\Rightarrow X^2 \approx (a \cdot \delta')^2 + \left(h \frac{n_1 - n_2}{n_1} \right)^2$$

$$X \approx \sqrt{(a \delta')^2 + \left(h \frac{n_1 - n_2}{n_1} \right)^2} \approx \sqrt{20} \approx 4.5 \text{ см}$$

Ответ:

$$X \approx 4.5 \text{ см}$$

Ответ: 1) $\delta = 0.03 \text{ рад}$; 2) $X = 6 \text{ см}$; 3) $X \approx 4.5 \text{ см}$.



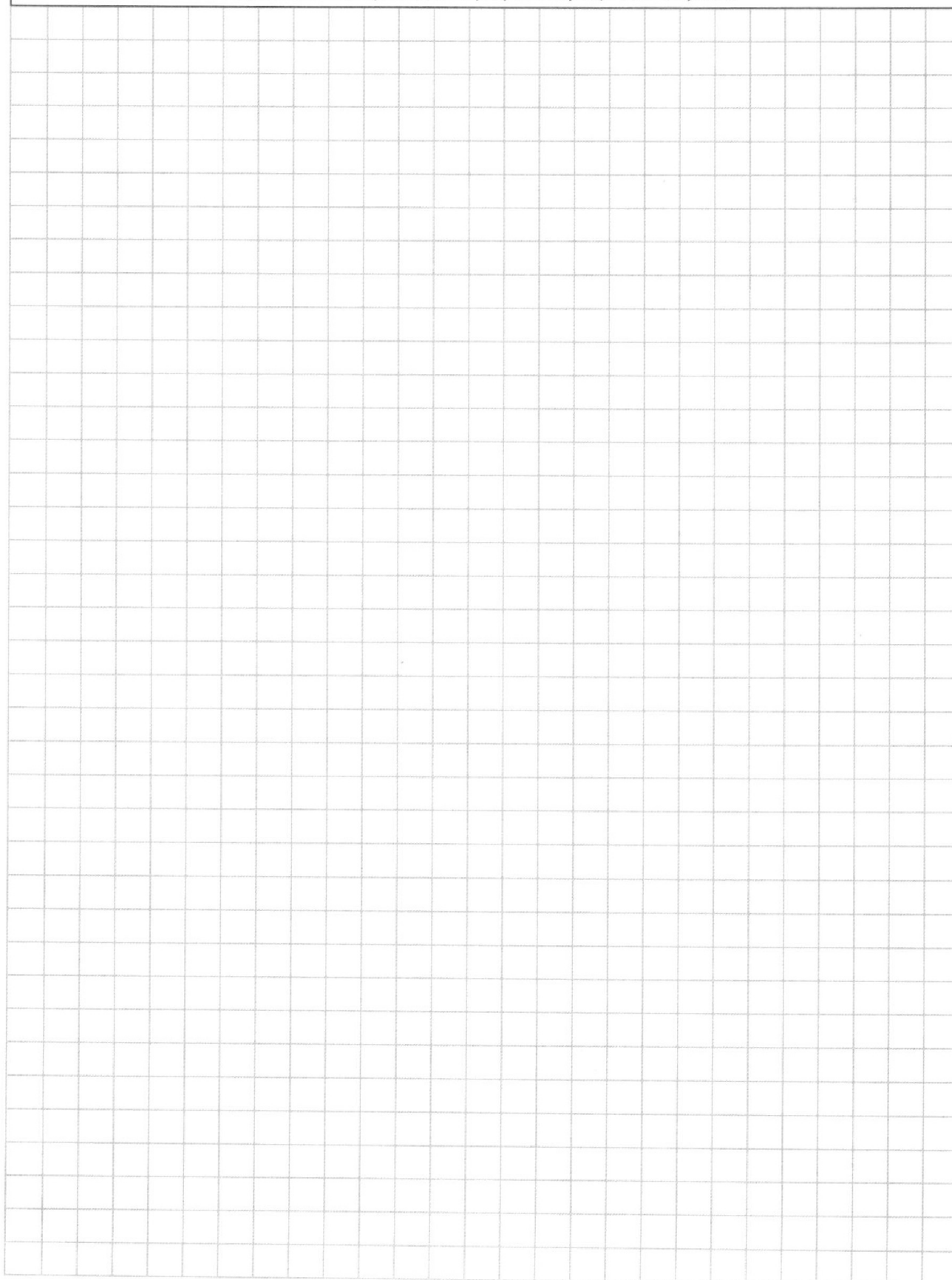
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐



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
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

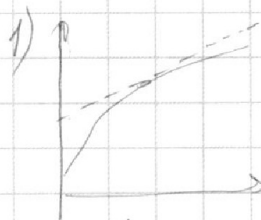
МФТИ

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



N1

$$N = F \cdot v = \text{const}$$



$$a_1 = \frac{dv}{dt} \approx \frac{4 \text{ мк}}{14} \approx \frac{2}{7} \text{ м/с}^2$$

$$\frac{2}{8} \approx \frac{1}{4} \text{ м/с}^2$$

2)

$$N = F_k v_k = F_1 v_1 \quad F = F_k \frac{v_k}{v_1} = 450 \text{ Н}$$

$$F - F_1 = m a_1$$

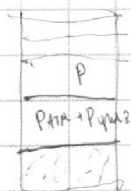
$$F_k \frac{v_k}{v_1} - F_1 = m a_1 \Rightarrow F_1 = F_k \frac{v_k}{v_1} - m a_1$$

$$F_1 = \frac{45 \cdot 30}{405 \cdot \frac{27}{4}} - 300 \cdot \frac{1}{4} = 375 \text{ Н}$$

3)

$$\eta = \frac{F_1 v_1}{N} = \frac{F_1 v_1}{F v_1} = \frac{F_1}{F} = \frac{375}{450} = \frac{5}{6} = \frac{5}{6}$$

N2



$$\frac{3 P_0 V_0}{4 T_0} = \frac{P V}{2 T_0 \frac{4}{8}}$$

$$P = P_0 \frac{8 V_0}{V}$$

$$P_0 = P \frac{V}{8 V_0}$$

$$P_0 (V - V_0 - \frac{V}{4}) = \nu_{\text{жид}} R T_0$$

$$P_0 V_0 = \nu_a R T_0$$

$$\frac{\frac{3}{4} V - V_0}{V_0} = \frac{\nu_{\text{жид}}}{\nu_a}$$

$$\frac{3}{4} \frac{V}{V_0} - 1 =$$

$$\frac{\nu_{\text{жид}}}{\nu_a} = \frac{\frac{3}{4} + \frac{K R T (1 - \frac{P_0}{P})}{4} - \frac{P_0 V_0}{P V}}{\frac{1}{6}} = \frac{3}{2} + \frac{3}{2} K R T (1 - \frac{P_0}{P})$$

$$\Delta \nu_{\text{жид}} = K \left(\frac{V}{4} \right) \cdot (P - P_0)$$

$$\left(\frac{P}{V - \frac{V}{4} - \frac{V}{8}} \right) = \left(\nu_{\text{жид}} - K \left(\frac{V}{4} \right) (P - P_0) \right) R T$$

$$P \frac{4}{12} V = P_0 \frac{8 V_0}{V}$$

$$P \frac{V}{6} = \nu_a R T$$

$$P \left(\frac{3}{12} V + K \frac{V}{4} (P - P_0) \right) R T = \nu_{\text{жид}} R T$$

$$\frac{3}{2} + \frac{3}{2} K R T (1 - \frac{V}{8 V_0}) = \frac{3}{4} \frac{V}{V_0} - 1$$

$$\frac{3}{2} + 18 + 3 K R T \cdot 18 + 6 K R T = \frac{V}{V_0} (3 + \frac{3 K R T}{4})$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{6 + 2 K R T}{1 + \frac{K R T}{4}} = \frac{2(3 + 1.8)}{1 + \frac{1.8}{4}}$$



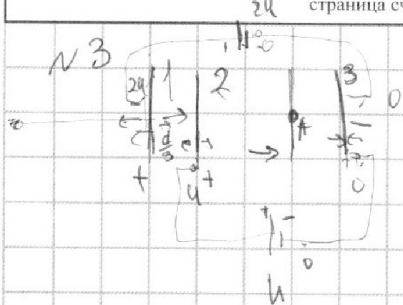
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$1) \quad E = \frac{U}{d} \quad a = \frac{eU}{md}$$

$$2) \quad K_3 - K_2 = eU$$

$$3) \quad \frac{mv_A^2}{2} = \left(\frac{mv_0^2}{2} \right) + eU + \frac{2}{3}eU$$

$$U = \left(\frac{q_1}{2\epsilon_0 S} - \frac{q_2}{2\epsilon_0 S} + \frac{q_3}{2\epsilon_0 S} \right) \cdot \frac{d}{3}$$

$$U = \left(\frac{q_2}{2\epsilon_0 S} + \frac{q_1}{2\epsilon_0 S} + \frac{q_3}{2\epsilon_0 S} \right) \cdot d$$

$$E_x = \frac{q_3 - q_2 - q_1}{2\epsilon_0 S} = 0$$

$$v_A = \sqrt{v_0^2 + \frac{10}{3} \frac{eU}{m}}$$

$$q_1 - q_2 + q_3 = 3(q_2 + q_1 + q_3)$$

$$q_1 + q_2 + q_3 = 0 \quad q_1 = q_3 - q_2$$

$$q_3 - q_2 - q_2 + q_3 = 3(q_2 + q_3 - q_2 + q_3)$$

$$2(q_3 - q_2) = 3 \cdot 2q_3$$

$$q_2 = -2q_3$$

$$q_1 = 3q_3$$

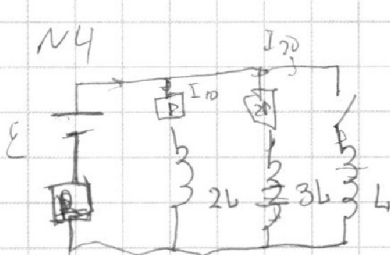
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



1)

$$\mathcal{E} = I_{20} \cdot 2R + (I_{20} + I_{10})R$$

$$I_{20} \cdot 2R = I_{10} \cdot R$$

$$I_{10} = 2 \cdot I_{20}$$

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

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

2)

$$L \frac{dI}{dt} = \mathcal{E} - 3I_{20}R = \frac{2}{5} \mathcal{E}$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{2\mathcal{E}}{5L}$$

3)

$$\mathcal{E} - I'R = L \frac{dI}{dt}$$

$$2R - 3L \frac{dI_2}{dt} + L \frac{dI}{dt} \equiv I_2 2R$$

$$3 \int_0^q L(dI_2) + L \int_0^{\frac{e}{5R}} dI = 2R \int_0^q (I_2 dt)$$

$$\frac{e}{5R} \quad L \frac{3e}{5R} + L \frac{e}{R} = 2Rq = \frac{8LE}{5R}$$

$$q = \frac{3Le}{5R^2}$$

$$q = \frac{4Le}{5R^2}$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

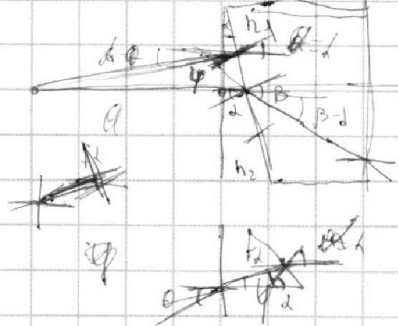
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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



NS



$$\Delta n_2 = \beta n_1 \quad \beta = \Delta \frac{n_2}{n_1}$$

$$s = \beta - \Delta = \Delta \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right)$$

$$h_1 = n_6$$

$$s = 0.05 \left(\frac{1.6}{1} - 1 \right) = 0.03 \text{ м}$$

$$\theta n_6 = \phi n (\Delta - \phi) \cdot n_2$$

$$\phi \cdot n_2 = \Delta \cdot h_1 \quad \phi = \Delta \frac{n_1}{n_2}$$

$$\theta \cdot n_6 = \Delta \left(1 - \frac{n_1}{n_2} \right) \cdot n_2 = \Delta (n_2 - n_1)$$

$$\theta = \frac{\Delta (n_2 - n_1)}{n_6}$$

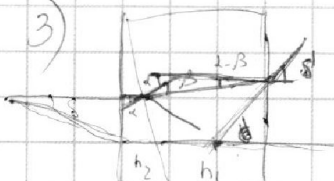
$$a \cdot \theta = x$$

$$a \cdot \theta = x = a \cdot s$$

$$(a - s) \cdot (\beta - \Delta) = x = a \cdot \theta$$

$$s = a \left(1 - \frac{\theta}{s} \right) = a \left(1 - \frac{(n_2 - n_1)}{n_6} \cdot \frac{h_1}{(n_2 - n_1)} \right) = 0$$

$$\Rightarrow x = a \cdot s = 0.03 \text{ м} = 3 \text{ мм}$$



$$\Delta \cdot n_2 = \beta \cdot n_1 \quad \beta = \Delta \frac{n_2}{n_1}$$

$$n_1 (\Delta - \beta) = s \cdot n_6 = \Delta (n_1 - n_2)$$

$$s = \Delta \frac{n_1 - n_2}{n_6} = 0.05 \cdot 0.2 = 0.01 \text{ м}$$

$$n_6 \theta = (\beta - \Delta) n_2 = \Delta (n_1 - n_2)$$

$$\beta n_1 = \Delta n_2 \quad \beta = \Delta \frac{n_2}{n_1}$$

$$\theta = \Delta \frac{(n_1 - n_2)}{n_6} = s$$

$$x = a \cdot s + h_2 (\Delta - \beta) = a \cdot s + h_2 \Delta \left(1 - \frac{n_2}{n_1} \right) = 2 \cdot 0.01 + 0.05 \cdot 0.05 = 0.0225 \text{ м}$$

$$s_{\text{общ}} = \sqrt{25 + 4} \approx 5.4$$