



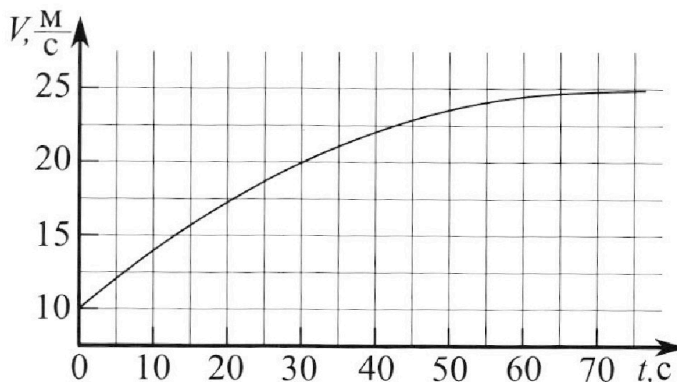
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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?

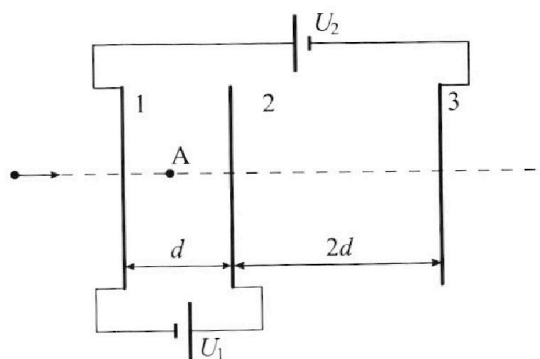
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд 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 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 Δv 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/(м³·Па). При конечной температуре T углекислый газ в воде практически не растворяется. Можно принять, что $RT \approx 3 \cdot 10^3$ Дж/моль, где R - универсальная газовая постоянная. Давлением водяных паров при комнатной температуре и изменением объёма жидкости в процессе нагревания пренебречь. Все газы считать идеальными.

- 1) Найти отношение количеств вещества в газообразном состоянии в верхней и нижней частях до нагревания.
- 2) Определите отношение конечной и начальной температур в сосуде T/T_0 .

3. Три проводящие плоские мелкие сетки находятся друг напротив друга на расстояниях d и $2d$ (см. рис.). Размеры сеток значительно больше d . Изначально сетки не заряжены. К сеткам подсоединили источники с напряжением $U_1 = U$ и $U_2 = 3U$. Частица массой m и зарядом $q > 0$ движется по направлению к сеткам и перпендикулярно сеткам, имея скорость V_0 на расстоянии от сеток, намного большем их размеров. Частица пролетает через сетки, не отклоняясь от прямолинейной траектории. Заряд q намного меньше модуля зарядов сеток.



- 1) Найти модуль ускорения частицы в области между сетками 1 и 2.
- 2) Найти разность $K_1 - K_2$, где K_1 и K_2 — кинетические энергии частицы при пролете сеток 1 и 2.
- 3) Найти скорость частицы в точке A на расстоянии $d/4$ от сетки 1.

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

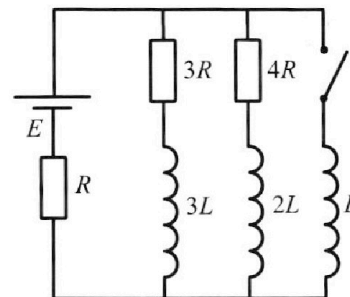
Вариант 11-03

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 $n_v = 1,0$. Точечный источник света S расположен на расстоянии $a = 90$ см от системы и рассматривается наблюдателем так, что источник и глаз наблюдателя находятся на прямой, перпендикулярной наружным поверхностям призм (см. рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 14$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

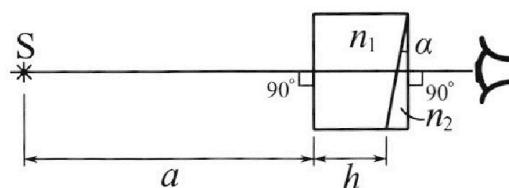


рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 14$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

- 1) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,7$, найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,7$, 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!

$$m = 1500 \text{ кг}$$

$$F_k = 600 \text{ Н}$$

$$F_{\text{сопр}} = \alpha v,$$

$$\text{где } \alpha - \text{коэф.}$$

$$1) a_0 = ?$$

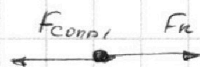
$$2) F_0 = ?$$

$$3) P_0 = ?$$

1) мгновенное ускорение $a = \frac{dv}{dt}$ - численно равно тангенсу угла наклона графика скорости в точке t и t .

$$a_0 = \frac{22,5 \text{ м/с}}{30 \text{ с}} = 0,75 \text{ м/с}^2$$

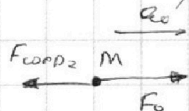
2) Рассмотрим автомобиль в конце разгона: $a_k = 0 \Rightarrow P_0 \geq 3,4$.



$$F_{\text{сопр}1} = F_k$$

$$\alpha v = F_k \Rightarrow \alpha = \frac{F_k}{v} = \frac{600 \text{ Н}}{25 \text{ м/с}} = 24 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$$

3) Рассмотрим автомобиль в начале разгона:



$$ma_0 = F_0 - \alpha v_0 \quad v_0 = 10 \text{ м/с}$$

$$F_0 = ma_0 + \alpha v_0 = 1500 \cdot \frac{3}{4} + 24 \cdot 10 = 1365 \text{ Н}$$

Ответ: ~~1) 0,75 м/с²~~

3) Рассмотрим ^{произведение} ~~массу~~ ^{время} ~~массы~~ ^{времени} $\frac{\Delta A}{\Delta t}$ в начале разгона:

$$P_0 = \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{F_0 \Delta S}{\Delta t} = F_0 v_0 = 1365 \text{ Н} \cdot 10 \text{ м/с} = 13650 \text{ Вт}$$

Ответ: 1) 0,75 м/с² 2) 1365 Н 3) 13650 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!

V

$$p_0 = p_{01}/2$$

T_0

$$T = 373 \text{ K}$$

$$\Delta V = k p V$$

$$1) \frac{V_{\text{He}}}{V_{\text{CO}_2}}$$

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

He	$V/2$
CO ₂	$V/4$
вода	$V/4$

1) По 3-му Менделеева - Клапейрона для смеси с углекислого газа.

$$p_0 \frac{V}{2} = V_{\text{He}} R T_0; V_{\text{He}} = \frac{p_0 V}{2 R T_0}$$

$$p_0 \frac{V}{4} = V_{\text{CO}_2} R T_0; V_{\text{CO}_2} = \frac{p_0 V}{4 R T_0}$$

$$\frac{V_{\text{He}}}{V_{\text{CO}_2}} = \frac{p_0 V}{2 R T_0} \cdot \frac{4 R T_0}{p_0 V} = 2$$

2)

He	$V/5$
CO ₂	
вода	$V/4$

По 3-му Менделеева - Клапейрона

$$\frac{p V}{5} = V_{\text{He}} R T; \frac{p V}{5} = 2 V_{\text{CO}_2} R T$$

$$\frac{11 p V}{80} = (V_{\text{CO}_2} + \Delta V) R T \quad p = \frac{10 V_{\text{CO}_2} R T}{V}$$

$$\Delta V = \frac{k p_0 V}{5}$$

$$\frac{11 V}{80} \cdot \frac{10 V_{\text{CO}_2} R T}{V} = V_{\text{CO}_2} R T + \frac{k p_0 V}{5} R T$$

$$\frac{11}{2} V_{\text{CO}_2} = V_{\text{CO}_2} + \frac{k p_0 V}{5}$$

$$V = \frac{11 V_{\text{CO}_2} R T_0}{p_0}; \quad \frac{11}{2} V_{\text{CO}_2} = V_{\text{CO}_2} + \frac{k \cdot 4 V_{\text{CO}_2} R T_0}{5}$$

$$\frac{11}{2} = 1 + \frac{4 k R T_0}{5}; \quad \frac{11}{2} = \frac{9}{5} R T_0$$

$$T_0 = \frac{11 \cdot 5}{2 \cdot 9 R}$$

$$\frac{T}{T_0} = \frac{T}{T_0}$$

$$\frac{11}{2} - 1 = \frac{4}{5} k R T_0$$

$$\frac{9}{2} = \frac{4}{5} k R T_0 = 3 T_0 = \frac{9 \cdot 5}{4 \cdot 2 k R}$$

$$\frac{T}{T_0} = \frac{7.8 k R}{4.5} = \frac{8}{4.5} k R T = \frac{8}{4.5} \cdot 0.5 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3 = \frac{8}{4.5} \cdot 1.5 = \frac{8 \cdot 0.1}{3} = \frac{0.8}{3} = \frac{8}{30} = \frac{4}{15}$$

Ответ: 1) $\frac{V_{\text{He}}}{V_{\text{CO}_2}} = 2$

2) $\frac{T}{T_0} = \frac{4}{15}$

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!



$$U_1 = U$$

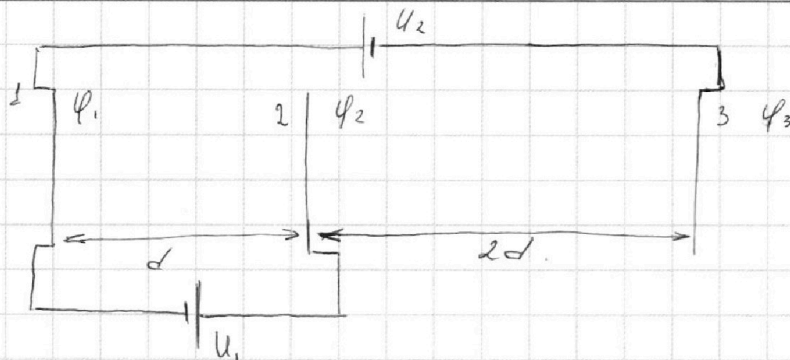
$$U_2 = 3U$$

$$m, d, q, v_0$$

$$1) |a| - ?$$

$$2) K_1 - K_2 - ?$$

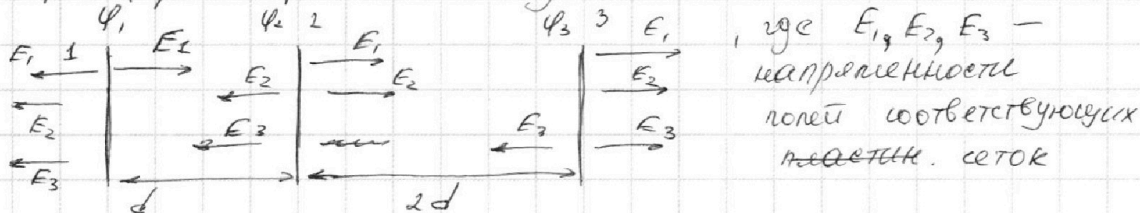
$$3) v_a - ?$$



Примем потенциал пластинки 3 за нулевой:

$$\phi_3 = 0, \text{ тогда } \phi_1 = U_2 = U, \phi_2 = U_2 + U_1 = 3U + U = 4U$$

Допустим, заряды на пластинках положительные
 $q_1 > 0; q_2 > 0; q_3 > 0$. Тогда:



$$\text{Тогда: } \phi_1 - \phi_2 = (E_1 - E_2) \cdot d; \phi_2 - \phi_3 = (E_2 + E_3) \cdot 2d$$

$$3U - 4U = (E_1 - E_2) \cdot d; 4U - 0 = (E_2 + E_3) \cdot 2d$$

$$U = (E_2 - E_1) \cdot d; 4U = (E_2 + E_3) \cdot 2d$$

$$U_3 \quad 3СЗ: q_1 + q_2 + q_3 = 0 \quad \cdot \frac{1}{2\epsilon_0 S}$$

$$E_1 + E_2 + E_3 = 0$$

Решая систему, найдем E_1, E_2, E_3 :

$$\begin{cases} 4U = (E_1 + E_2 - E_3) \cdot 2d \\ U = (E_3 + E_2 - E_1) \cdot d \\ E_1 + E_2 + E_3 = 0; E_1 = -(E_2 + E_3) \end{cases}$$

$$\frac{4U}{2d} = E_1 + E_2 - E_3; \frac{U}{d} = E_3 + E_2 - E_1$$

$$4U = -E_2 - E_3 + E_2 - E_3 \Rightarrow E_3 = -\frac{U}{d}$$

$$\frac{U}{d} = E_3 + E_2 - E_1; \frac{U}{d} = -E_3 + E_2 + E_1 + E_2 + E_3$$

$$\frac{U}{d} = 2(E_2 + E_3); \frac{U}{2d} = E_2 + E_3; E_2 = \frac{U}{2d} - E_3 = \frac{U}{2d} + \frac{U}{d} = \frac{3U}{2d}$$

$$E_1 = -\left(\frac{3U}{2d} + \left(-\frac{U}{d}\right)\right) = \frac{U}{d} - \frac{3U}{2d} = \frac{2U - 3U}{2d} = -\frac{U}{2d}$$

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

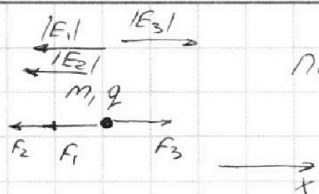
Отметьте крестиком номер задачи,

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 3.н.: $\max = F_3 - F_2 - F_1$

$$\begin{aligned} \max &= |E_3|q - |E_2|q - |E_1|q = \\ &= \frac{Uq}{d} - \frac{3Uq}{2d} - \frac{Uq}{2d} = \\ &= \frac{Uq}{d} \left(1 - \frac{3}{2} - \frac{1}{2} \right) = \frac{Uq}{d} (1 - 2) = -\frac{Uq}{d} \Rightarrow \\ &\Rightarrow |a| = \frac{Uq}{md} \end{aligned}$$

2) По теореме о кинетической энергии:

$$K_2 - K_1 = A; \quad A = -d \cdot E_{\text{рез}} \cdot F, \quad \text{где } F = \frac{Uq}{d} \left(\begin{array}{l} \text{результат} \\ \text{всех сил,} \\ \text{действ. на} \\ \text{частицу} \end{array} \right)$$

$$K_2 - K_1 = -d \cdot \frac{Uq}{d}; \quad K_1 - K_2 = Uq$$

3) Разделим найдем скорость ^{частицы} точки при прохождении через сетку 1:

По т. о кинетической энергии: $\frac{mv_0^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = A_1$

Ат. Поля за слева от сетки 1 нет, $\Rightarrow$ когда частица пролетает через сетку 1 её скорость - v_0 .

По теореме о кинетической энергии:

$$\frac{mv_A^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = A_1, \quad A_1 = -\frac{d}{4} F_{\text{э}} = -\frac{d}{4} \cdot \frac{Uq}{d} = -\frac{1}{4} Uq$$

$$\frac{mv_A^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = -\frac{Uq}{4}; \quad \frac{mv_A^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2} - \frac{Uq}{4}$$

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

Ответ: 1) $|a| = \frac{Uq}{md}$ 2) $K_1 - K_2 = Uq$ 3) $v_A = \sqrt{v_0^2 - \frac{Ud}{2m}}$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

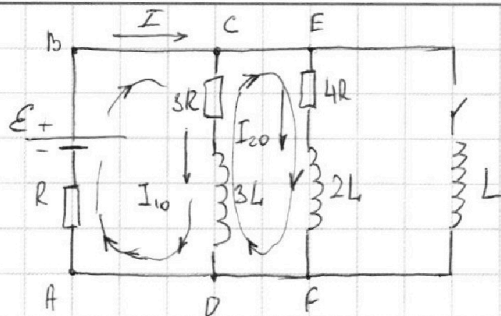
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

МФТИ

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



- 1) $I_{10} - ?$
- 2) $\frac{dI_L}{dt} - ?$
- 3) $q - ?$



Решение:

1) В установившемся стационарном режиме напряжение на катушках равно нулю.

1-е правило Кирхгофа для узла C: $I = I_{10} + I_{20}$ (1)

2-е правило Кирхгофа для контуров ABCDA и ~~CEFD~~ ^{CEFD}CEFC

ABCD: $\mathcal{E} = 3RI_{10} + RI$ (2)

CEFD: $0 = -3RI_{10} + 4I_{20}R$; $3RI_{10} = 4I_{20}R$;

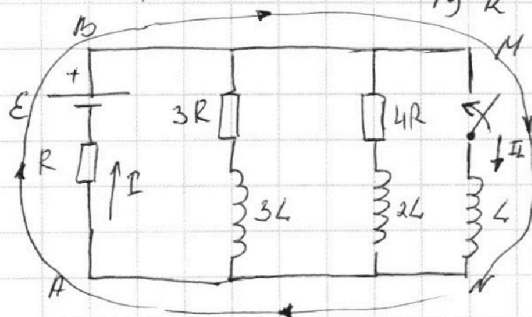
$I_{20} = \frac{3}{4}I_{10}$ (3)

Используем (1), (2) и (3):

$\mathcal{E} = 3RI_{10} + R(I_{10} + \frac{3}{4}I_{10})$; $\mathcal{E} = 3RI_{10} + \frac{7}{4}RI_{10}$

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

2)



Сразу после замыкания ключа ток в цепи останется таким же, как и непосредственно перед замыканием из-за катушек индуктивности в цепи.

2-е правило Кирхгофа для контура ABMNA:

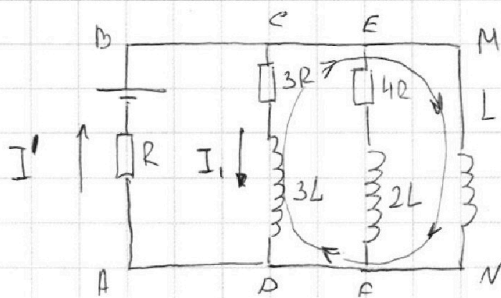
ABMNA: $\mathcal{E} - L \frac{dI_L}{dt} = IR$; $I = I_{10} + I_{20} = I_{10} + \frac{3}{4}I_{10} = \frac{7}{4}I_{10} = \frac{7}{4} \cdot \frac{4}{19} \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{7}{19} \frac{\mathcal{E}}{R}$

$\mathcal{E} - L \frac{dI_L}{dt} = \frac{7}{19} \frac{\mathcal{E}}{R} \cdot R$; $L \frac{dI_L}{dt} = \mathcal{E} - \frac{7}{19} \mathcal{E}$; $L \frac{dI_L}{dt} = \frac{12}{19} \mathcal{E}$; $\frac{dI_L}{dt} = \frac{12}{19} \frac{\mathcal{E}}{L}$

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!

3)



Рассмотрим цепь в произвольный момент времени после замыкания ключа.

2-е правило Кирхгофа для контура: $-L \frac{dI_3}{dt} + 3L \frac{dI_1}{dt} = -3RI_1 \cdot dt$

$$-L dI_3 + 3L dI_1 = -3R dq$$

$$-L dI_3 + 3L dI_1 = -3R I_1 dt$$

$$I_1 dt = dq$$

$L dI_3 - 3L dI_1 = 3R dq$. - Проинтегрируем от момента замыкания ключа до момента, когда ток через $3R$ перестанет течь

$$L(I_3' - 0) - 3L(0 - I_{10}) = 3Rq$$

2-й закон Кирхгофа для контура A B M N A когда цепи достигнет режима в установившемся:

$$\mathcal{E} = I_3' R \Rightarrow I_3' = \frac{\mathcal{E}}{R} \text{ . Тогда:}$$

$$L \cdot \frac{\mathcal{E}}{R} + 3L \cdot \frac{4}{19} \frac{\mathcal{E}}{R} = 3Rq ; \frac{L\mathcal{E}}{R} \left(1 + \frac{12}{19} \right) = 3Rq ; \frac{L\mathcal{E}}{R} \frac{31}{19 \cdot 3R} = q$$

$$q = \frac{31}{57} \frac{L\mathcal{E}}{R^2}$$

Ответ: 1) $I_{10} = \frac{4}{19} \frac{\mathcal{E}}{R}$ 2) $\frac{dI_1}{dt} = \frac{12}{19} \frac{\mathcal{E}}{L}$ 3) $q = \frac{31}{57} \frac{L\mathcal{E}}{R^2}$

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!

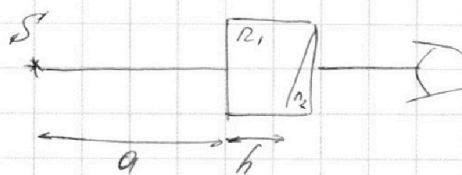


$n_1, n_2, n_6 = 1$
 $a = 90 \text{ см}$
 $d = 0,1 \text{ рад}$
 $h = 14 \text{ см}$

1) $n_1 = n_6 = n_2$
 $f = ?$

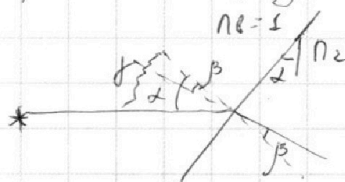
2) $n_1 = n_6 = 1,0$
 $n_2 = 1,7$, $l = ?$

3) $n_1 = 1,4$
 $n_2 = 1,7$
 $L = ?$



1) Лучи не будут преломляться проходя через левую призму, т.к. $n_6 = n_1$.

Рассмотрим падение луча на левую поверхность треугольной призмы:



Из рисунка видно, что $f = \alpha - \beta$.

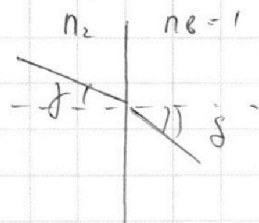
По 3-му закону Снеллиуса

$$n_6 \sin \alpha = n_2 \sin \beta \quad \sin \alpha \approx \alpha \quad \sin \beta \approx \beta$$

$$\alpha = \beta n_2 \Rightarrow \beta = \frac{\alpha}{n_2}$$

$$f = \alpha - \frac{\alpha}{n_2} = \alpha \left(1 - \frac{1}{n_2}\right) \quad (\text{т.к. углы } \alpha \text{ и } \beta - \text{ малы})$$

Теперь рассмотрим падение луча на правую поверхность призмы:



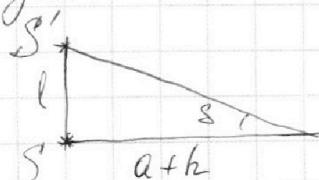
$$n_6 \sin \gamma = n_2 \sin \delta \quad \gamma \approx \sin \gamma \quad f = \sin \gamma$$

(т.к. γ и f - малы)

$$\sin \delta = n_2 \sin \gamma \quad \delta = n_2 f$$

$$\delta = n_2 \cdot \alpha \left(1 - \frac{1}{n_2}\right) = \alpha (n_2 - 1) = \alpha (1,7 - 1) = 0,1 \cdot 0,7 = 0,07 \text{ рад}$$

2) Т.к. угол δ мал, можно считать что изображение поднялось на высоту l над источником:



$$\tan \delta = \frac{l}{a+h} \quad \tan \delta \approx \delta \quad (\delta \text{ мал})$$

$$l = \delta (a+h) = 0,07 (90 + 14) = 7,28 \text{ см}$$

3) Оптическую систему можно представить как расположение рядом плоскопараллельную пластину и две трех. призмы



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

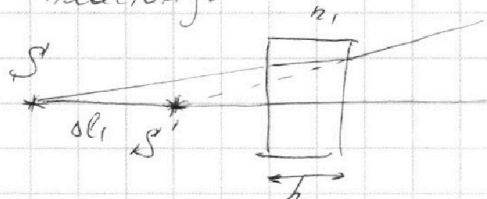
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

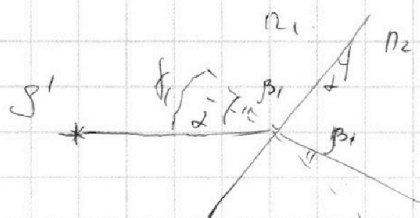
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Рассмотрим падение лучей на плоскопараллельную пластину:



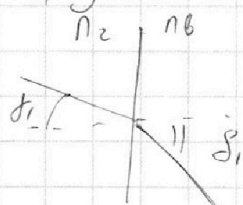
Изображение приблизится к ней на расстояние $\Delta l_1 = h(1 - \frac{1}{n_1})$

Затем лучи от мнимого источника S' начнут преломляться в треугольной призме с показателем n_2 . Рассмотрим преломление от левой пов-ти:



$$f_1 = \frac{2}{1 - \frac{n_1}{n_2}}$$

После этого луч преломится на ~~левой~~ правой пов-ти призмы:

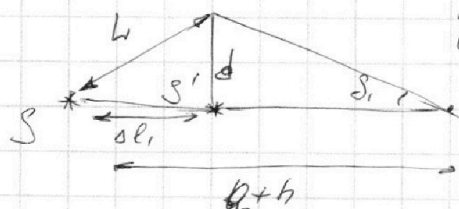


$$n_2 f_1 = n_2 S_1$$

$$n_2 f_1 = S_1, \quad S_1 = n_2 \frac{2}{1 - \frac{n_1}{n_2}}$$

$$S_1 = \frac{2}{n_2 - n_1}$$

Изображение сдвинется вправо и поднимается вверх.



$$L = \sqrt{\Delta l_1^2 + d^2}$$

$$d = (a+h) S_1, \quad \Delta l_1 = h(1 - \frac{1}{n_1})$$

$$\Delta l_1 = 4 \text{ см}$$

$$d = 3,12 \text{ см}$$

$$L = \sqrt{4^2 + 3,12^2} \approx \sqrt{4^2 + 3^2} = \sqrt{25} = 5 \text{ см}$$

Ответ: 1) 0,07 рад 2) 7,28 см 3) 5 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!



$$n_1, n_2, n_3 = 1,0$$

$$a = 90 \text{ см}$$

$$d = 0,1 \text{ рад}$$

$$h = 14 \text{ см}$$

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

$$f = ?$$

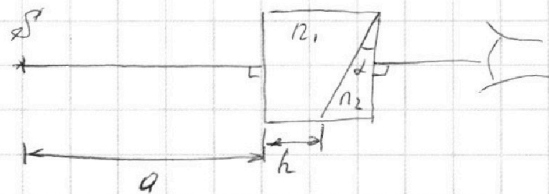
$$2) n_1 = n_3 = 1,0$$

$$n_2 = 1,7 \quad l = ?$$

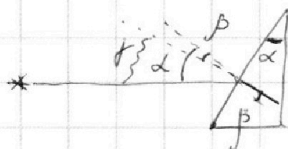
$$3) n_1 = 1,4$$

$$n_2 = 1,7$$

$$l = ?$$



1)



Лучи не будут преломляться, проходя через 1-ю призму, т.к. $n_1 = n_3$.

Из рисунка видно, что $f = d - \beta$.

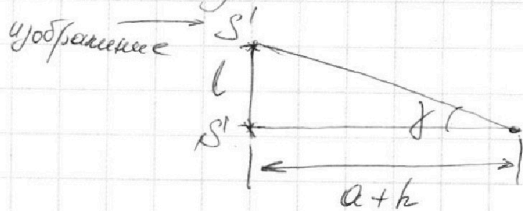
По 3-му Снеллиуса: $n_3 \sin d = n_2 \sin \beta$

т.к. углы d и β - малые: $\sin d \approx d$; $\sin \beta \approx \beta$

$$n_3 \cdot d = n_2 \cdot \beta; \quad \beta = \frac{n_3 d}{n_2}$$

$$f = d - \beta = d - d \frac{n_3}{n_2} = d \left(1 - \frac{n_3}{n_2} \right) = 0,1 \left(1 - \frac{1}{1,7} \right) = 0,1 \left(\frac{1,7-1}{1,7} \right) = 0,1 \left(\frac{0,7}{1,7} \right) = 0,1 \cdot \frac{7}{170} = \frac{7}{170} \approx 0,04 \text{ рад}$$

2) Так как угол f - малый, можно считать что источник изображен под углом к высоте l над источником:



$$\tan f = \frac{l}{a+h}$$

$$l = \tan f (a+h) \quad \tan f \approx f \quad (f - \text{малый угол})$$

$$l = f (a+h) = 0,04 (90 + 14) = 4,16 \text{ см}$$

3) Оптическую систему можно представить как плоскопараллельную пластину с показателем преломления n_1 и шириной h и две тонкие треугольные призмы с показателем преломления n_2 и n_3 .



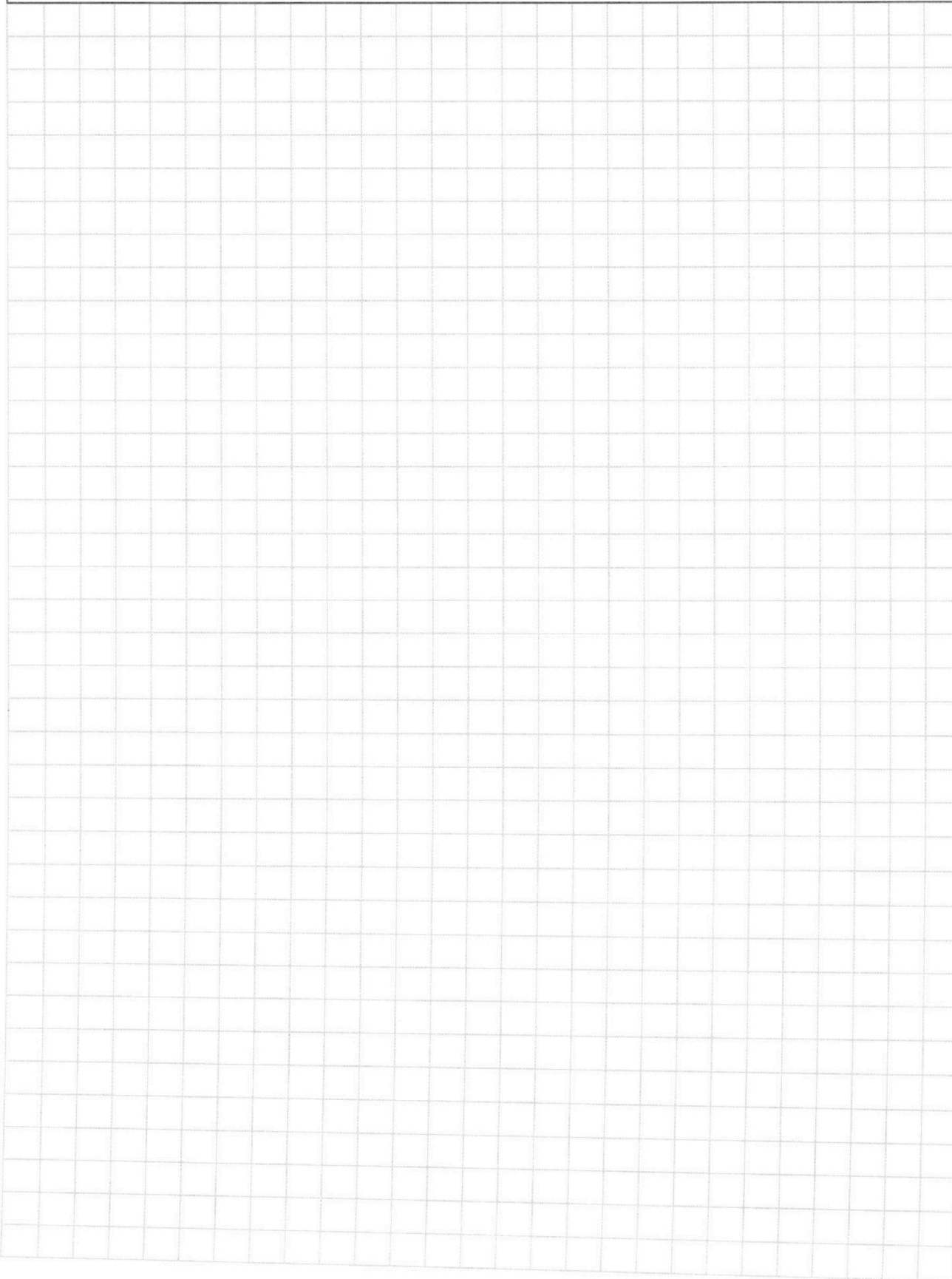
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐



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.

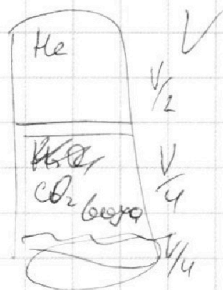
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

N 2



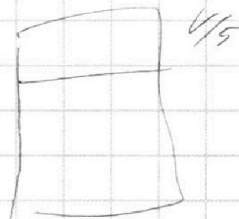
$$p_0 = \frac{p_{\text{атм}}}{2} \quad T_0$$

$$V_0 = \frac{V}{4}$$

$$T = 373 \text{ K}$$

$$\Delta U = k W p$$

$$k = 95 \cdot 10^{-3} \text{ моль} / \text{м}^3 \text{ К}$$



при T моль He p-ат

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

$$p_0 \frac{V}{2} = \nu_{\text{He}} RT$$

$$p_0 \frac{V}{4} = \nu_{\text{CO}_2} RT$$

$$\nu_{\text{He}} = \frac{p_0 V}{2 RT}$$

$$\nu_{\text{CO}_2} = \frac{p_0 V}{4 RT}$$

$$\frac{4}{15} =$$

$$V - \frac{V}{5} - \frac{V}{4} = \frac{20V - 4V - 5V}{20} = \frac{11}{20} V$$

$$\frac{40}{30} \left| \frac{15}{926} \right|$$

$$\nu_{\text{He}} = 2 \nu_{\text{CO}_2}$$

$$\frac{pV}{5} = 2 \nu_{\text{CO}_2} RT$$

$$\frac{11 pV}{20} = \left(\nu_{\text{CO}_2} + \frac{k p_0 V}{5} \right) RT$$

$$p = \frac{20 \nu_{\text{CO}_2} RT}{V}$$

$$\frac{10 \nu_{\text{CO}_2} RT}{20} = \nu_{\text{CO}_2} + \frac{k p_0 V}{5} RT$$

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!



Handwritten solution on grid paper:

Diagrams showing a rectangular object and its reflection in a horizontal surface, with angles α and β and distances h , d , p , q labeled.

Formulas:

$$\tan \alpha = \frac{h(d-p)}{\Delta}$$

$$\Delta = \frac{h(d-p)}{2}$$

$$n \alpha = n \beta$$

$$\beta = \frac{\alpha}{n}$$

$$\frac{h(d - \frac{d}{n})}{2} = h(1 - \frac{1}{n})$$

Calculation:

$$907.104)$$

$$\begin{array}{r} 100 \\ \times 7 \\ \hline 728 \end{array}$$

$$\Delta l_1 = 14 \left(1 - \frac{1}{1.4} \right) = 14 \left(\frac{0.4}{1.4} \right) = 14 \cdot \frac{4}{14} = 4 \text{ см}$$

$$S_1 = 0.1 (1.7 - 1.4) = 0.1 \cdot 0.3 = 0.03$$

$$d = (90 + 10) \cdot 0.03 = \frac{104 \cdot 3}{100} = \frac{312}{100} = 3.12$$



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!

$$1500 \cdot \frac{3}{4} + 24 \cdot 10 = 375 \cdot 3 + 240 =$$
$$\begin{array}{r} 21 \\ \times 375 \\ \hline 1125 \end{array}$$

$$= 1125 + 240 =$$
$$= 1365 \text{ H}$$

$$\begin{array}{r} 1500 / 4 \\ - 12 \\ \hline 30 \\ - 28 \\ \hline 20 \\ - 20 \\ \hline 0 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 32 \\ \times 375 \\ \hline 1560 \end{array}$$

$$\frac{225}{300} = \frac{9}{12} = \frac{3}{4} = 0,75$$

$$1500 \cdot \frac{3}{4} + 240$$

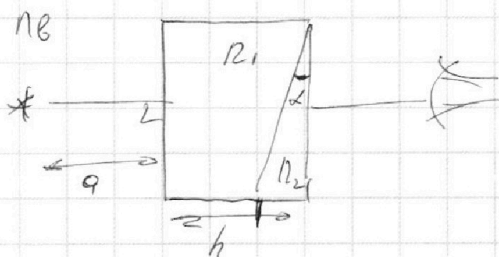
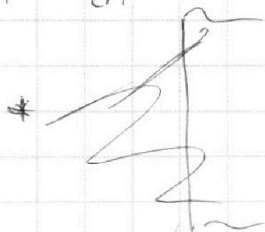
$$\begin{array}{r} 21 \\ \times 375 \\ \hline 1125 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1125 \\ + 240 \\ \hline 1365 \end{array}$$

$$P = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot S}{t} = F \cdot v$$

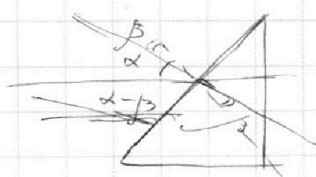
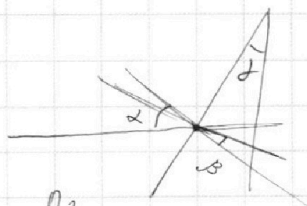
$$P = \frac{A}{t} = \frac{F_0 \cdot d}{dt} = F_0 \cdot v$$

4)

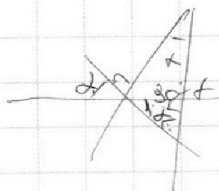
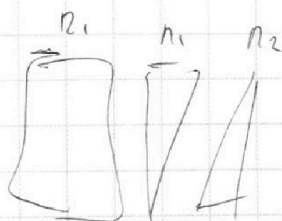


1/

$$n_1 = n_2$$
$$n_2 = 1,7$$
$$x = ?$$



$$\angle n_6 = \beta$$



$$\begin{array}{r} 260 / 170 \\ - 680 \\ \hline 200 \end{array}$$

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!

$$m_{ax} = \frac{(u_2 + u_1)q}{4d} - \frac{q(u_2 + 3u_1)}{4d} = \frac{u_1 q}{2d} \quad u_2 = 3u_1$$

$$m_{ax} = \frac{4u_1 q}{4d} - \frac{q(6u_1)}{4d} - \frac{u_1 q}{2d} = \frac{4q}{d} - \frac{3q}{2} - \frac{u_1 q}{2d}$$

$$= \frac{4q}{d} - \frac{4q}{2d} = \frac{4q}{d} - 2\frac{q}{d} = -\frac{q}{d}$$

$$|q| = \frac{q}{d}$$

$$K_1 - K_2$$

$$BCI: \quad \frac{m u_0^2}{2} = K_1 + u_{10} q$$

$$\frac{m u_0^2}{2} = K_2 + u_{20} q$$

$$F_3 = \frac{4q}{d}$$

$$m = 1500 \text{ кг}$$

$$g = \text{const}$$

$$F_k = 600 \text{ Н}$$

$$F_{\text{comp}} \sim v$$

$$\frac{225}{300} = \frac{1}{60} = \frac{9}{12} = \frac{3}{4} \cdot \frac{225/5}{10/25} = \frac{3}{4} \cdot \frac{45}{5} = \frac{3}{4} \cdot 9 = \frac{27}{4}$$

$$\begin{array}{r} 30 \overline{) 4} \\ -28 \\ \hline 20 \end{array} \quad \begin{array}{r} 30 \overline{) 4} \\ -28 \\ \hline 20 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3,0 \overline{) 4} \\ -28 \\ \hline 20 \end{array}$$

$$\frac{23 \cdot 9}{29 \cdot 12}$$

$$24 \cdot 25 =$$

$$\begin{array}{r} 600 \overline{) 25} \\ -50 \\ \hline 100 \overline{) 24} \\ -100 \\ \hline 1000 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1,2 = \\ 29 \\ \times 24 \\ \hline 108 \\ +50 \\ \hline 680 \end{array}$$

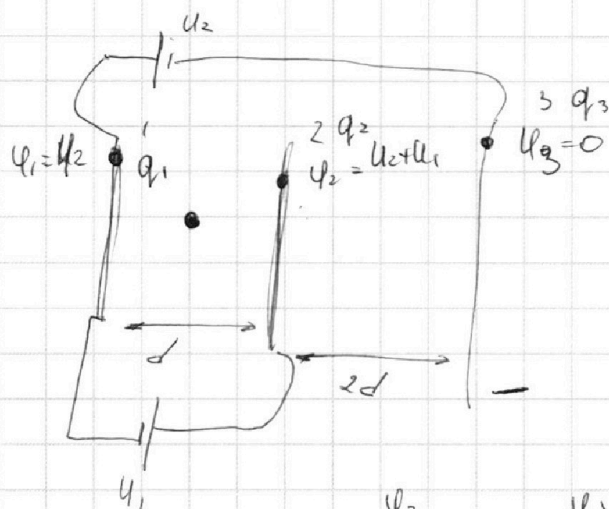
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

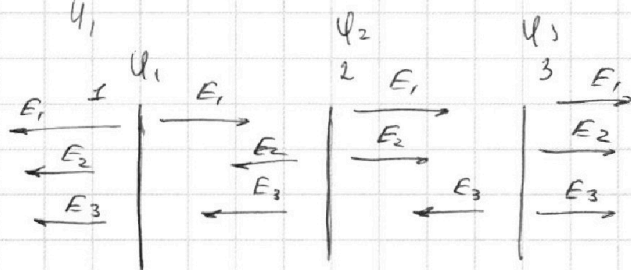
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$q_1 + q_2 + q_3 = 0$$

Допустим

$$q_1 > 0 \quad q_2 > 0 \quad q_3 > 0!$$



$$E_1 = \frac{q_1}{2\epsilon_0 S}$$

$$E_2 = \frac{q_2}{2\epsilon_0 S}$$

$$E_3 = \frac{q_3}{2\epsilon_0 S}$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = d (E_1 - E_2 - E_3)$$

$$\varphi_2 - \varphi_3 = 2d (E_1 + E_2 - E_3)$$

$$U_2 - (U_2 + U_1) = d \left(\frac{q_1}{2\epsilon_0 S} - \frac{q_2}{2\epsilon_0 S} - \frac{q_3}{2\epsilon_0 S} \right)$$

$$-2\epsilon_0 S U_1 = d (q_1 - q_2 - q_3) \quad -\frac{2\epsilon_0 S}{d} U_1 = q_1 - q_2 - q_3$$

$$q_3 + q_2 - q_1 = \frac{2\epsilon_0 S}{d} U_1$$

$$U_2 + U_1 - 0 = d \left(\frac{q_1}{2\epsilon_0 S} + \frac{q_2}{2\epsilon_0 S} - \frac{q_3}{2\epsilon_0 S} \right)$$

$$\frac{(U_2 + U_1) \cdot 2\epsilon_0 S}{d} = q_1 + q_2 - q_3$$

$$\epsilon_0 S \frac{(U_2 + U_1)}{d} = q_1 + q_2 - q_3$$

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!



$$q_1 + q_2 + q_3 = 0; \quad q_1 = -q_2 - q_3 = -(q_2 + q_3)$$

$$q_3 + q_2 - q_1 = \frac{2\epsilon_0 S}{d} U_1$$

$$q_1 + q_2 - q_3 = \epsilon_0 S \frac{(U_2 + U_1)}{d}$$

$$q_3 + q_2 + q_2 + q_3 = \frac{2\epsilon_0 S U_1}{d}$$

$$2(q_3 + q_2) = \frac{2\epsilon_0 S U_1}{d}$$

$$q_3 + q_2 = \frac{\epsilon_0 S U_1}{d}$$

$$-q_2 - q_3 + q_2 - q_3 = \epsilon_0 S \frac{(U_2 + U_1)}{d}$$

$$-2q_3 = \frac{\epsilon_0 S (U_2 + U_1)}{d}$$

$$q_3 = -\frac{\epsilon_0 S (U_2 + U_1)}{2d}$$

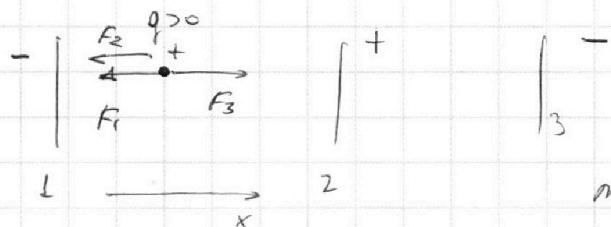
$$q_2 - \frac{\epsilon_0 S (U_2 + U_1)}{2d} = \frac{\epsilon_0 S U_1}{d}$$

$$q_2 = \frac{\epsilon_0 S (U_2 + U_1)}{2d} + \frac{2\epsilon_0 S U_1}{2d} = \frac{\epsilon_0 S U_2 + \epsilon_0 S U_1 + 2\epsilon_0 S U_1}{2d} =$$

$$= \frac{\epsilon_0 S U_2 + 3\epsilon_0 S U_1}{2d} = \frac{\epsilon_0 S (U_2 + 3U_1)}{2d}$$

$$q_1 = -\frac{\epsilon_0 S (U_2 + 3U_1)}{2d} + \frac{\epsilon_0 S (U_2 + U_1)}{2d} = \frac{\epsilon_0 S}{2d} (-U_2 - 3U_1 + U_2 + U_1)$$

$$q_1 = \frac{\epsilon_0 S}{2d} (-2U_1) = -\frac{\epsilon_0 S U_1}{d}$$



$$m a_x = F_3 - F_2 - F_1$$

$$m a_x = E_3 q - E_2 q - E_1 q$$

$$m a_x = \frac{q_3}{2\epsilon_0 S} q - \frac{q_2}{2\epsilon_0 S} q - \frac{q_1}{2\epsilon_0 S} q$$

$$m a_x = \frac{\epsilon_0 S (U_2 + 3U_1)}{2d} \cdot \frac{q}{2\epsilon_0 S} - \frac{\epsilon_0 S (U_2 + U_1)}{2d} \cdot \frac{q}{2\epsilon_0 S} - \frac{\epsilon_0 S U_1}{d} \cdot \frac{q}{2\epsilon_0 S}$$

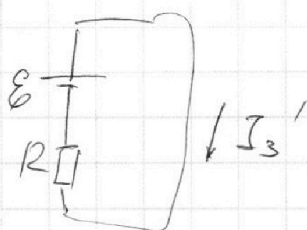
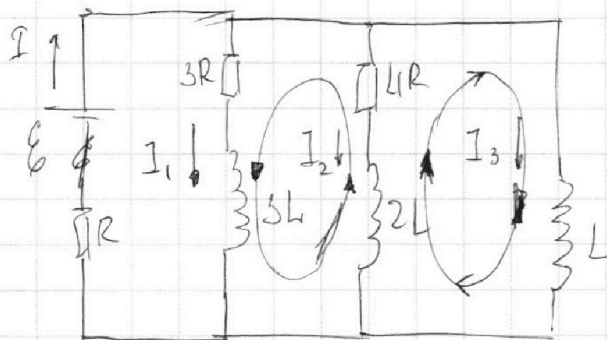
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$\varepsilon = I_3' R$$

$$I_3' = \frac{\varepsilon}{R}$$

$$\frac{4 \cdot 103}{170}$$

$$\frac{7}{170} =$$

$$\frac{700}{680} \bigg/ \frac{170}{200} = 0,049$$

$$0,04 \cdot 104$$

$$\begin{array}{r} \times 100 \\ 4 \\ \hline 0,416 \end{array}$$

$$0,04 \cdot 104 = \frac{4104}{100} = \frac{416}{100} = 4,16$$

$$-3L \frac{dI_1}{dt} + 2L \frac{dI_2}{dt} = 3I_1 R - 4I_2 R$$

$$-L \frac{dI_3}{dt} + 2L \frac{dI_2}{dt} = 4I_2 R$$

$$-3L \frac{dI_1}{dt} + L \frac{dI_3}{dt} = 3I_1 R \quad | \cdot dt$$

$$-3L dI_1 + L dI_3 = 3I_1 R dt$$

$$-3L \Delta I_1 + L \Delta I_3 = 3I_1 R$$

$$L(I_3' - 0) - 3L(0 - I_1) = 3I_1 R$$

$$L \frac{\varepsilon}{R} + 3L \frac{4\varepsilon}{19R} = 3I_1 R$$

$$\frac{L\varepsilon}{R} \left(1 + \frac{12}{19} \right) = 3I_1 R$$

$$\frac{L\varepsilon}{5R^2} \left(\frac{19+12}{19} \right) = I_1$$

$$\frac{L\varepsilon}{5R^2} \frac{31}{19} = I_1 \quad \bigg| \frac{31}{57} \quad \frac{L\varepsilon}{R^2} = I_1$$

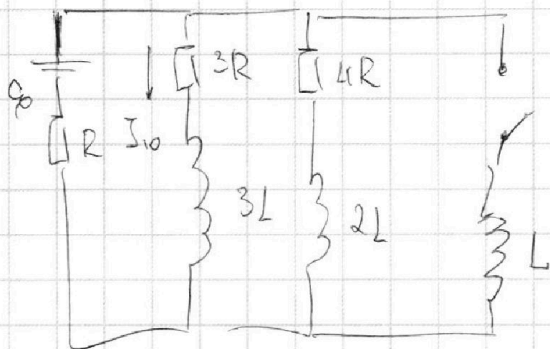
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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



$$0 = I_0$$

$$\mathcal{E} = I_0 \cdot 3R + (I_0 + I_{20}) R$$

$$\mathcal{E} = 3I_0 R + I_0 R + I_{20} R$$

$$\mathcal{E} = 4I_0 R + I_{20} R$$

$$\mathcal{E} = 4I_0 R + \frac{\mathcal{E}}{5} - \frac{I_0 R}{5}$$

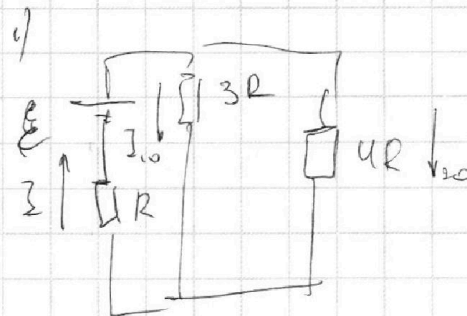
$$\mathcal{E} - \frac{\mathcal{E}}{5} = 4I_0 R - \frac{I_0 R}{5}$$

$$\frac{4}{5} \mathcal{E} = \frac{10I_0 R - I_0 R}{5} =$$

$$\frac{4}{5} \mathcal{E} = \frac{19I_0 R}{5}$$

$$\frac{4\mathcal{E}}{19R} = I_0$$

2)



$$I = I_{10} + I_{20}, \quad \mathcal{E} =$$

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

$$\mathcal{E} = I R + I_{20} \cdot 4R$$

$$\mathcal{E} = (I_{10} + I_{20}) R + I_{20} \cdot 4R$$

$$\mathcal{E} = I_{10} R + I_{20} R + I_{20} \cdot 4R$$

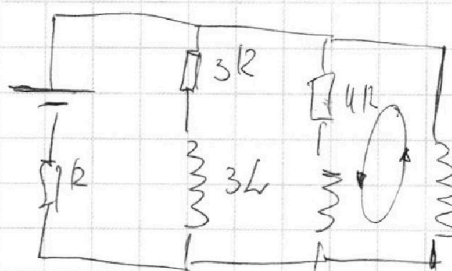
$$\mathcal{E} = I_{10} R + 5I_{20} R$$

$$\mathcal{E} - 5I_{20} R = I_{10} R$$

$$\mathcal{E} - I_{10} R = 5I_{20} R$$

$$\frac{\mathcal{E}}{R} - I_{10} = 5I_{20}$$

$$\frac{\mathcal{E}}{5R} - \frac{I_{10}}{5} = I_{20}$$



$$L \frac{dI}{dt} = 4R \cdot I_{20}$$

$$\frac{4R}{5} I_{20} = \frac{\mathcal{E}}{5R}$$

$$\frac{4R}{5} I_{20} = \frac{\mathcal{E}}{5R}$$