



Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 11-01

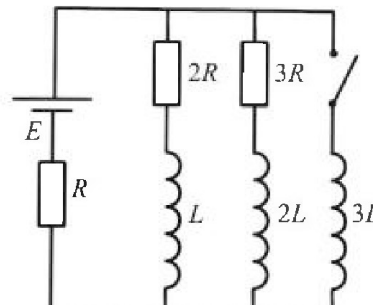
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



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

- 1) Найти ток I_0 через резистор с сопротивлением $2R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью $3L$ сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд про течет 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 $a = 194$ 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.

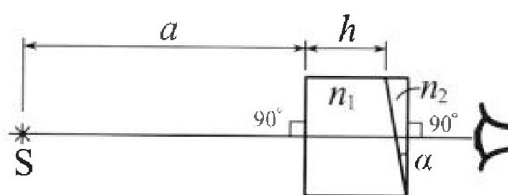


рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 9$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

- 1) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,7$, 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 $n_1 = 1,5$, $n_2 = 1,7$, найдите на каком расстоянии от источника будет его изображение, которое увидит наблюдатель.



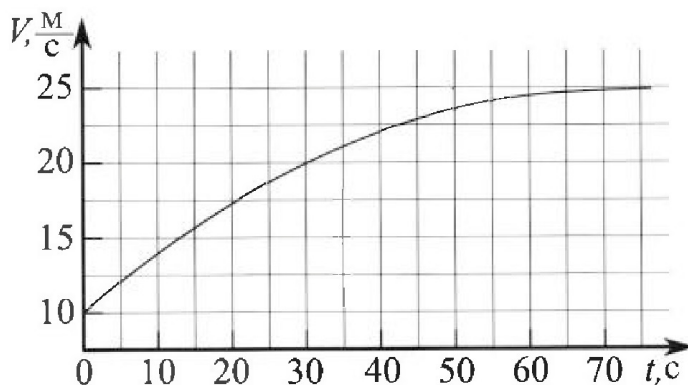
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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_k при скорости V_1 .
- 3) Какая мощность P_1 передается от двигателя на ведущие колеса при скорости V_1 ?

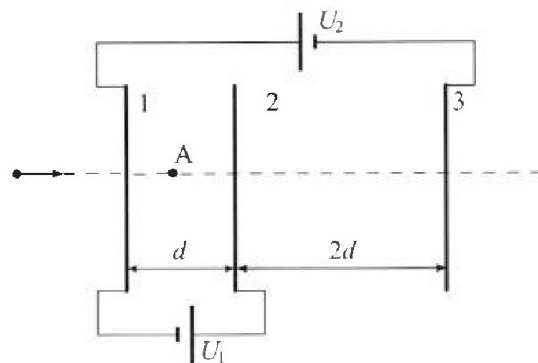
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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 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 $k \approx (1/3) \cdot 10^{-3}$ 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 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.

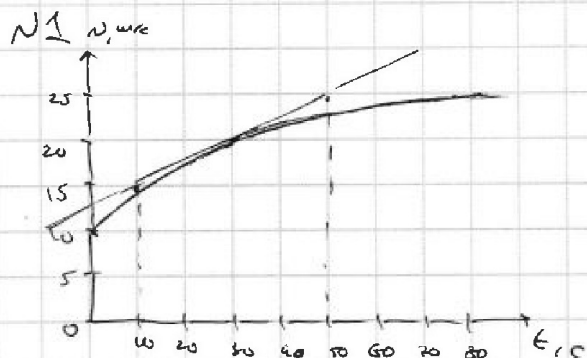
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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



1) $a = \frac{dv}{dt}$, тогда
проведем касательную
к кривой $v(t)$ в момент $t = 50$ с.
Угол наклона равен:
 $k = \frac{25-10}{50-0} = \frac{1}{2} \text{ м/с}^2$
 $\Rightarrow a_1 = \frac{1}{2} \text{ м/с}^2$

2) В конце F_k сила трения равна $F_k = 500 \text{ Н}$, так же
в конце скорость не меняется, а значит
сила трения равна силе сопротивления $F_{сх} = kV_k$,
где k - коэффициент пропорциональности
 V_k - конечная скорость, $V_k = 25 \text{ м/с}$

$\Rightarrow F_k = F_{сх} \Rightarrow F_k = kV_k \Rightarrow k = \frac{F_k}{V_k} = \frac{500 \text{ Н}}{25 \text{ м/с}} = 20 \frac{\text{Н}}{\text{м/с}}$

2 закон Ньютона для автомобиля в конце скорости
равна $V_1 = 20 \text{ м/с}$:

$ma_1 = F_1 - F_{с1}$, где F_1 - сила трения в этот момент
 $F_{с1}$ - сила сопротивления в этот момент

$\Rightarrow m a_1 = F_1 - kV_1 \Rightarrow F_1 = m a_1 + kV_1 \Rightarrow F_1 = 950 \text{ Н}$

3) $P_1 = F_1 \cdot V_1 \Rightarrow P_1 = 950 \text{ Н} \cdot 20 \frac{\text{м}}{\text{с}} \Rightarrow P_1 = 19000 \text{ Вт}$

Ответ: 1) $a_1 = 0,25 \text{ м/с}^2$
2) $F_1 = 950 \text{ Н}$
3) $P_1 = 19000 \text{ Вт}$

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

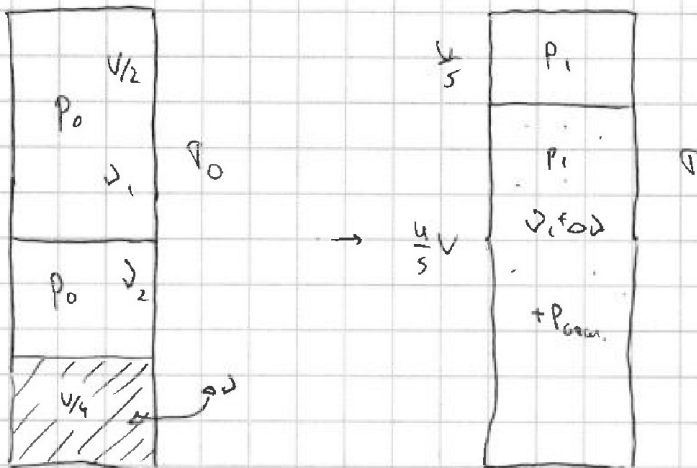
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

№2



$$1) \begin{cases} P_0 \cdot \frac{V}{2} = \nu_1 R T_0 \\ P_0 \cdot \frac{V}{4} = \nu_2 R T_0 \\ \nu_1 = 1 - \nu_2 = P_0 \cdot \frac{V}{4} = k \nu_2 R T_0 \end{cases} \Rightarrow \frac{\nu_1}{\nu_2} = 2, \quad \begin{matrix} \nu_1 - \text{кол-во вещества} \\ \text{сверху} \\ \nu_2 - \text{кол-во вещества} \\ \text{снизу,} \\ \text{не растворенное} \\ \text{в воде.} \end{matrix}$$

2) После извлечения до 373 К вода в сосуда испарится и останется исп. пар с давлением P_{atm} .

$$\begin{aligned} P_1 \cdot \frac{V}{5} &= \nu_1 R T \\ P_1 \cdot \frac{V}{5} &= (\nu_2 + \nu_1) R T \Rightarrow \frac{5 \nu_1 R T}{V} = P_{atm} + \frac{5(\nu_2 + \nu_1) R T}{4 V} \end{aligned}$$

$$\nu_1 = 2 \nu_2 \Rightarrow \frac{\nu_2 R T}{V} \left(10 - \frac{5}{4} (1 + k R T_0) \right) = P_{atm} \Rightarrow \frac{\nu_2 R T}{V} \left(10 - \frac{5}{4} + 1 \right) = P_{atm}$$

$$\Rightarrow \frac{\nu_2 R T}{V} = \frac{4}{31} P_{atm} \Rightarrow P_0 = 4 \cdot \frac{\nu_2 R T_0}{V} = 4 \cdot \frac{4}{31} P_{atm} \frac{T_0}{T} \Rightarrow \frac{16}{31.5} P_{atm}$$

$$\Rightarrow P_0 = \frac{64}{135} P_{atm}$$

$$\boxed{\text{Ответ: } 1) \frac{\nu_1}{\nu_2} = 2, \quad 2) P_0 = \frac{64}{135} P_{atm}}$$

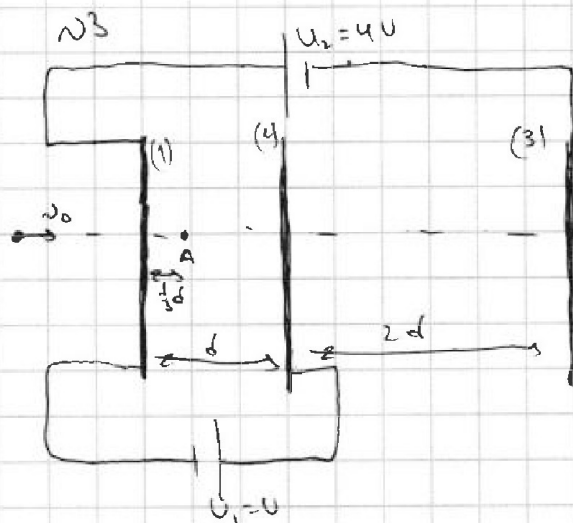
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

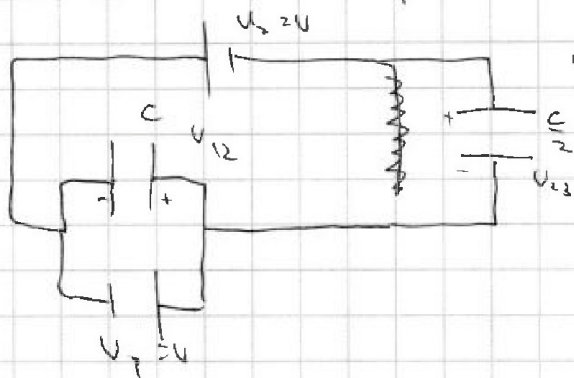
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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



Данную схему с секциями можно представить
в упрощенном виде, используя что размеры секции
много больше расстояния между ними:



или ~~плоскости (1) и (2)~~ и ~~плоскости (2) и (3)~~

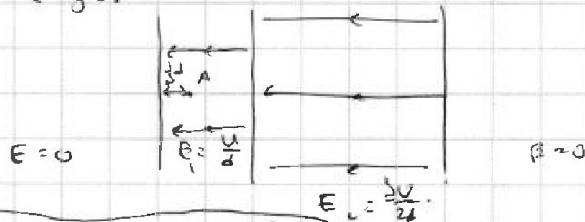
Представим плоскости (1) и (2)
в виде конденсатора
емкостью C , тогда
конденсатор образованный
(2) и (3) имеет
емкость $\frac{C}{2}$ т.к. расстояние

U_{12} — напряжение на конденсаторе (1) и (2).
 $U_{12} = U$

U_{23} — напряжение на конденсаторе (2) и (3).

$$U_{23} = \frac{U}{3}$$

тогда (1) (2) (3)



1) ускорение

В области (1) и (2):

$$a = \frac{qE_1}{m} = \frac{qU}{md}$$

$$2) k_1 - k_2 = W_n \Rightarrow$$

$$k_1 - k_2 = Uq$$

$$3) k_3 - k_1 = W_n \Rightarrow k_3 = k_1 - \frac{Uq}{3}$$

$$\Rightarrow \frac{mv_a^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2} + \frac{Uq}{3}$$

$$\Rightarrow v_a = \sqrt{v_0^2 + \frac{2Uq}{3m}}$$

Ответ:

- $a = \frac{qU}{md}$
- $k_1 - k_2 = Uq$
- $v_a = \sqrt{v_0^2 + \frac{2Uq}{3m}}$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

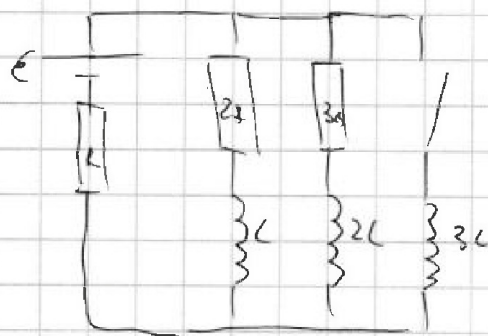
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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!

24



1) Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Схему можно представить след. образом:



$$3L \cdot \gamma_{20} = 2R \gamma_{10} \quad \gamma_{20} = \frac{2}{3} \gamma_{10}$$

$$\gamma_{20} + \gamma_{10} = \gamma_0$$

$$E = \gamma_0 (R + R), \quad R = \frac{3 \cdot 2 + 2}{3 + 2} = \frac{6}{5} R_1$$

2) Ключ замыкает

$$E = \gamma_0 R + \frac{d\gamma}{dt} \cdot 3L$$

$$\frac{d\gamma}{dt} \cdot 3L = E - \gamma_0 R = E - \frac{6}{5} E \gamma$$

$$\frac{d\gamma}{dt} \cdot 3L = \frac{6}{5} E \gamma \quad \frac{d\gamma}{dt} = \frac{2}{11} \frac{E}{L} \gamma$$

$$E = \frac{11}{5} R \gamma_0 \quad \gamma_0 = \frac{5}{11} \frac{E}{R}$$

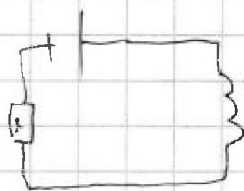
$$\frac{2}{3} \gamma_{10} + \gamma_{10} = \frac{5}{11} \frac{E}{R}$$

$$\gamma_{10} \cdot \frac{5}{3} = \frac{5}{11} \frac{E}{R} \quad \gamma_{10} = \frac{3}{11} \frac{E}{R}$$

3) ~~Ключ замыкает~~

$$\frac{d\gamma}{dt} = \frac{2}{11} \frac{E}{L} \gamma \quad \gamma = \frac{21}{11} \frac{E}{L} t$$

Режим установился:



$$\gamma_0 = \frac{E}{R}$$

$$\gamma(t) = \frac{21}{11} \frac{E}{L} t$$

Ответ: 1) $\frac{3}{11} \frac{E}{R}$

2) $\frac{2}{11} \frac{E}{L}$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1
☐

2
☐

3
☐

4
☐

5
☒

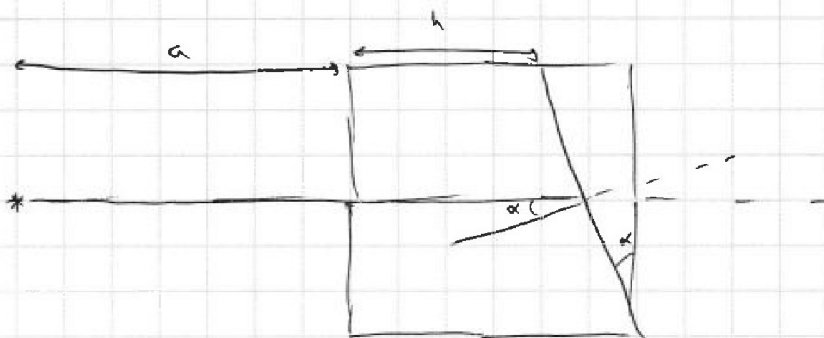
6
☐

7
☐

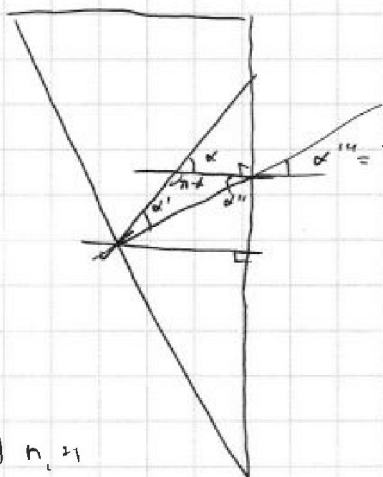
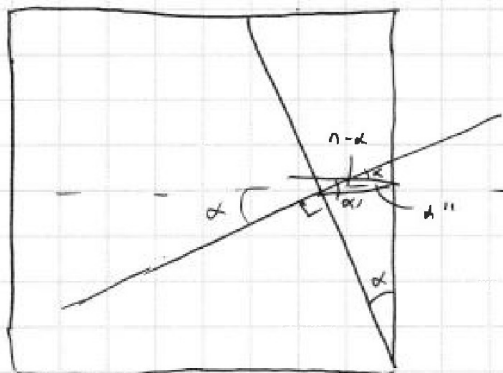
МФТИ

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

N5



1)



$$\alpha = h_2 \cdot \alpha'$$

$$\alpha'' = \pi - (\pi - \alpha) - \alpha' = \alpha - \alpha' \quad \rightarrow \quad \alpha''' = \alpha - \alpha' \cdot n_1 \cdot n_2$$

$$\alpha''' = \alpha'' \cdot n_2$$

$$\rightarrow \alpha''' = \left(\alpha - \frac{\alpha}{n_2} \right) n_2 \quad \text{и} \quad \alpha''' = \alpha (n_2 - 1) = 0,02 \text{ рад.}$$



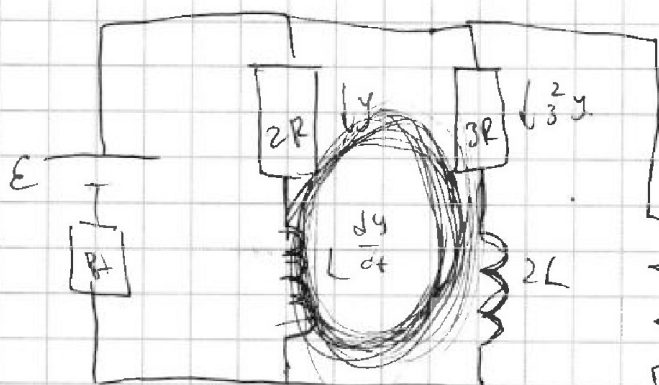
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$\frac{1}{R}$

$$\frac{9}{121} \cdot \frac{1}{2}$$

$$\frac{4,5}{121}$$

$$\frac{9}{121} \cdot \frac{1}{2}$$

$$\frac{4,5}{121}$$

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{2R}{L} \cdot \frac{E}{L}$$

$$I = \frac{2}{11} \cdot \frac{E}{L} \cdot \frac{1}{R} = \frac{E}{R}$$

$$I = \frac{11}{2} \cdot \frac{L}{R}$$

$$\frac{9,3}{121}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

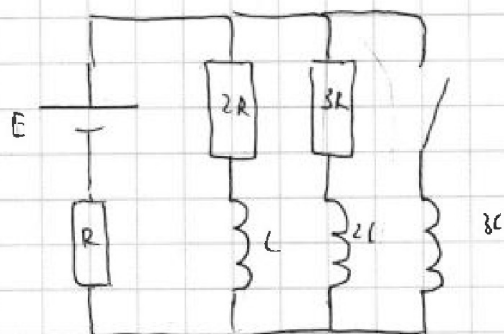
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

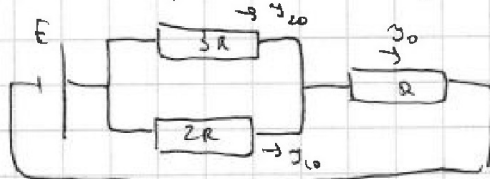
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



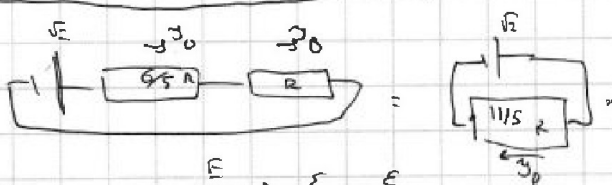
24



1) ключ разомкнут, режим установившегося. Значит схема принимает след. вид:



$$\frac{1}{R} = \frac{1}{3R} + \frac{1}{2R} \Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{3R + 2R}{6R^2} \Rightarrow R = \frac{6R}{5}$$



$$E = I_0 R + \frac{d\Phi}{dt} \cdot 3L$$

$$\Rightarrow E = \frac{5}{11} E + \frac{d\Phi}{dt} \cdot 3L$$

$$\Rightarrow \frac{6}{11} E = \frac{d\Phi}{dt} \cdot 3L \Rightarrow \frac{d\Phi}{dt} = \frac{2}{11} \cdot \frac{E}{L}$$

$$I_0 = \frac{E}{\frac{6}{5} R} = \frac{5}{11} \cdot \frac{E}{R}$$

$$I_{20} + I_{10} = \frac{5}{11} \frac{E}{R}$$

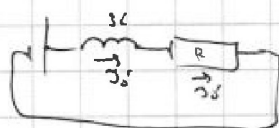
$$3R \cdot I_{20} = 2R \cdot I_{10} \Rightarrow$$

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

$$\Rightarrow \frac{2}{3} I_{10} + I_{10} = \frac{5}{11} \frac{E}{R} \Rightarrow \frac{5}{3} I_{10} = \frac{5}{11} \frac{E}{R} \Rightarrow$$

$$I_{10} = \frac{3}{11} \frac{E}{R} \Rightarrow I_{20}$$

2) Элементы: Схема после замыкания ключа и установившегося режима.



$$I_0' = \frac{E}{R} \text{ Элементы: } W_0' = \frac{L I_0'^2}{2} = \frac{L E^2}{2 R^2}$$

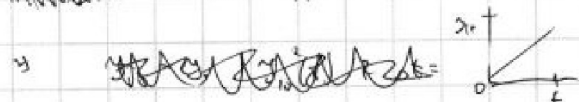
$$I_{10} \cdot 2R + U_L = \frac{2}{11} \frac{E}{R} \Rightarrow \frac{6}{11} \frac{E}{R} = U_L \Rightarrow U_L = \frac{4}{11} E$$

$$\Rightarrow \frac{dI_{10}}{dt} = \frac{4}{11} \frac{E}{L} \Rightarrow I_{10} = \frac{4}{11} \frac{E}{L} \cdot t \Rightarrow \frac{dI_{20}}{dt} = \frac{4}{11} \frac{E}{L} \Rightarrow I_{20} = \frac{4}{11} \frac{E}{L} \cdot t$$

$$\Rightarrow \frac{dI_{20}}{dt} = \frac{4}{11} \frac{E}{L}$$

$$I_{20} \cdot 3R - U_L = \frac{2}{11} \frac{E}{R} \Rightarrow U_{2L} = \left(\frac{6}{11} - \frac{2}{11} \right) E \Rightarrow U_{2L} = \frac{4}{11} E$$

$$\frac{dI_{20}}{dt} = \frac{4}{11} \frac{E}{L} \Rightarrow \frac{3}{11} \frac{E}{R} = \frac{4}{11} \frac{E}{L} \Rightarrow \frac{3}{4} = \frac{R}{L} \Rightarrow$$



$$I_{10} = \frac{4}{11} \frac{E}{L} \cdot t \Rightarrow q = \frac{4}{11} \frac{E}{L} \cdot \frac{L^2}{2} = \frac{2}{11} \frac{E}{L} \cdot L^2$$

$$\Rightarrow q = \frac{2}{11} \frac{E}{L} \cdot L^2 \Rightarrow q = \frac{2}{11} \frac{E}{L} \cdot L^2$$

$$\Rightarrow q = \left(\frac{2}{11} - \frac{9}{16} \right) \cdot \frac{E}{L} \cdot \frac{L^2}{2} = \frac{9}{88} \frac{E L}{R^2}$$

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

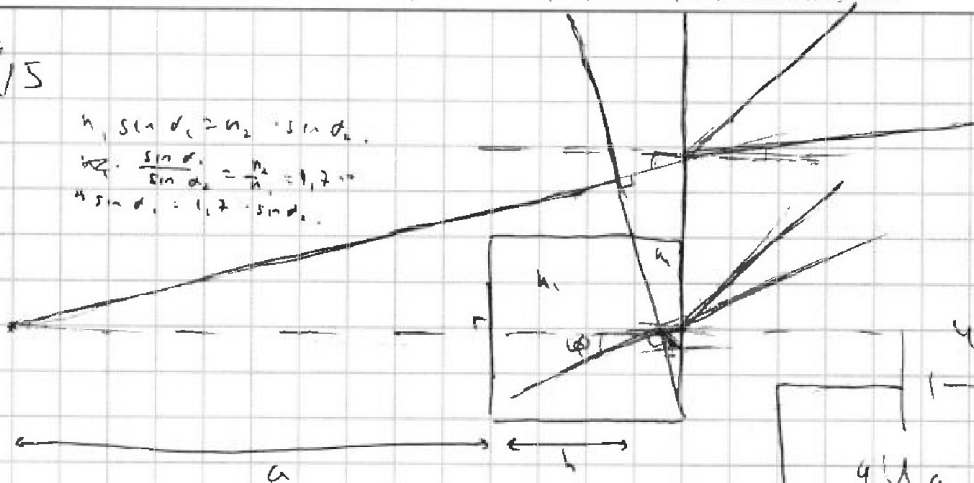
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

N5

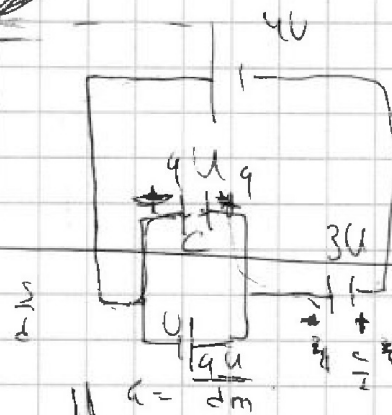
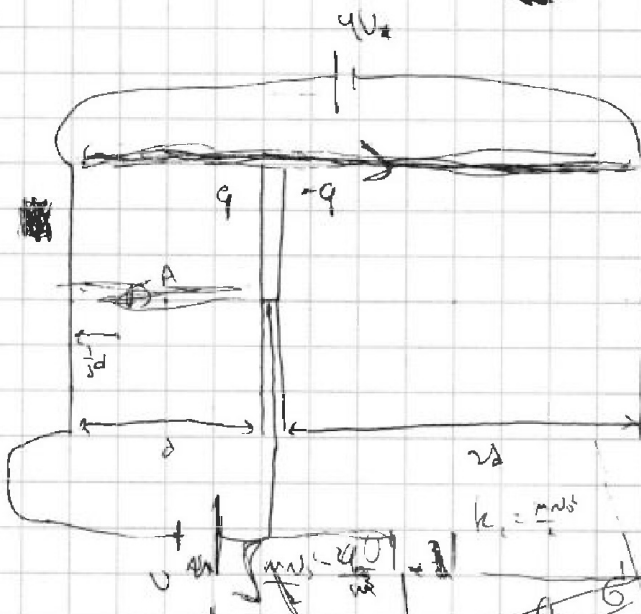
$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$$

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} = 1,2$$

$$4 \sin \alpha_1 = 1,2 \sin \alpha_2$$



N3



$$1) C = \frac{qU}{d\epsilon}$$

$$2) qU = qV \quad CU = qU$$

$$3) \quad \approx \frac{3}{2} CU = \frac{3}{2} q$$

$$\epsilon d \leq U$$

$$q = CU$$

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$$

$$\epsilon = \frac{1}{5} \epsilon_0$$

$$\epsilon d = \frac{qd}{5\epsilon_0} = \frac{1}{5} U$$

$$n = \pi - (n - \alpha) - \alpha$$

$$60^\circ \alpha = 21^\circ$$

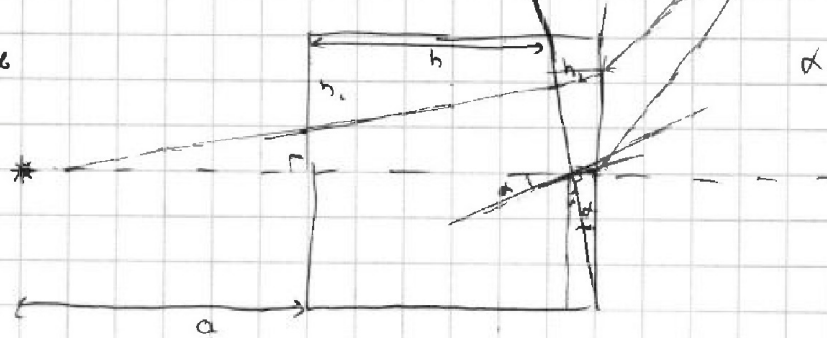
$$\alpha' = \alpha \cdot n$$

$$\alpha' = (n - 1) \alpha$$

$$\alpha = n_2 \cdot \alpha'$$

$$\alpha = \frac{n - 1}{n} \alpha$$

N6





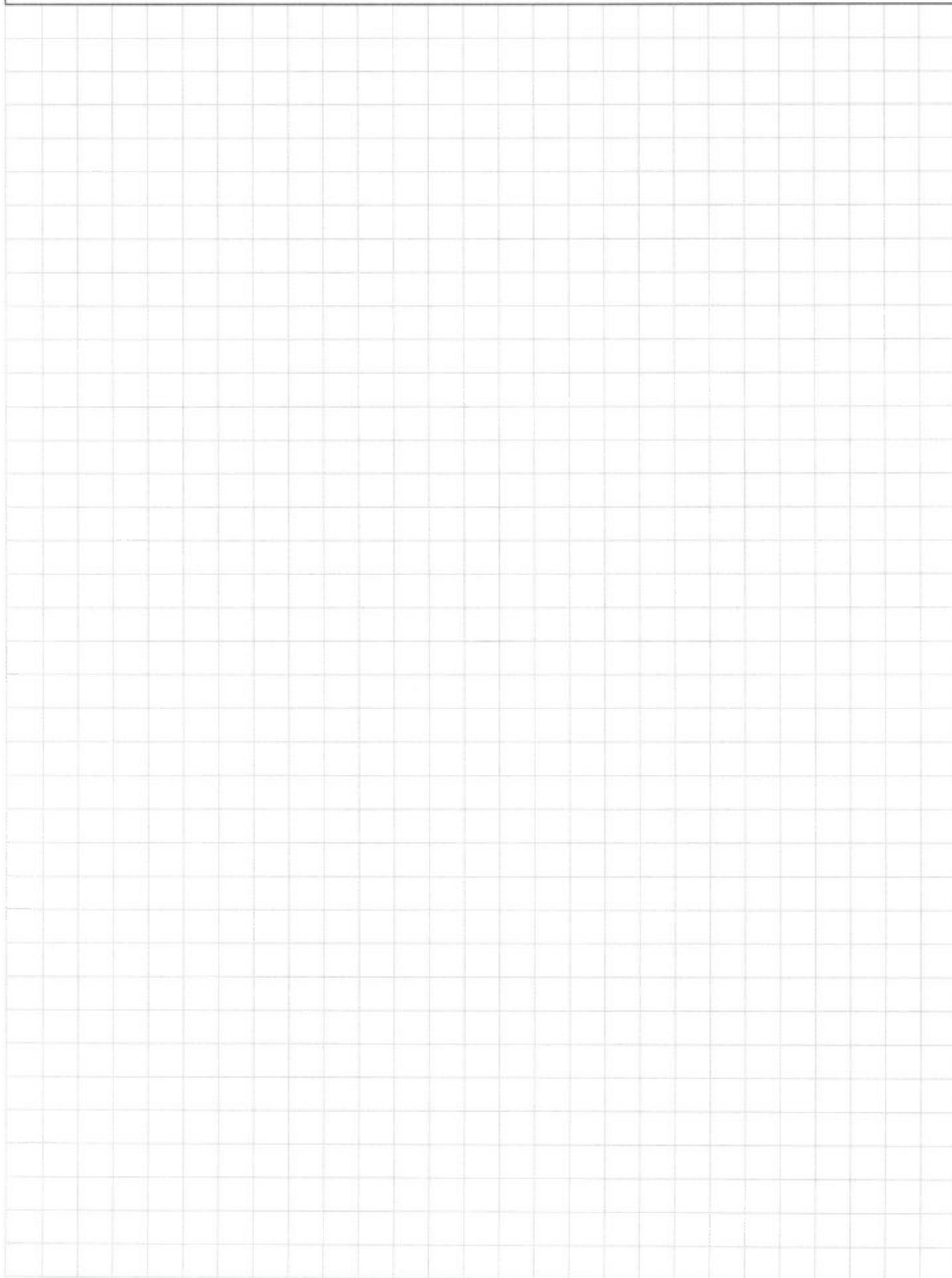
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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.

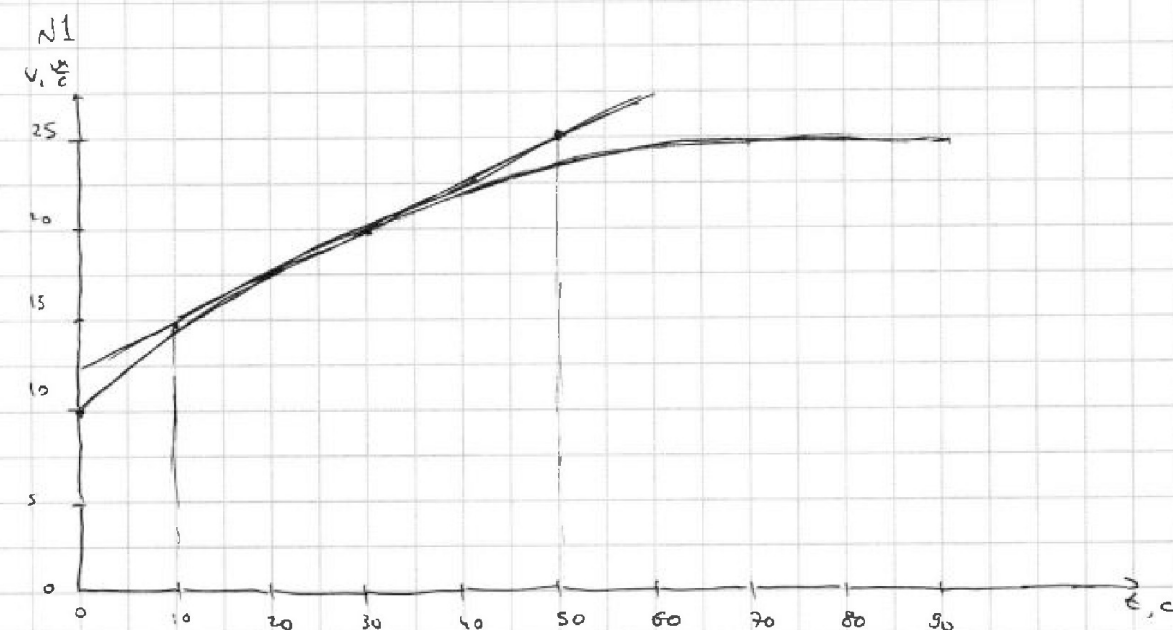
Отметьте крестиком номер задачи,

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!



1) $a_1 = ?$
 $V_1 = 20 \text{ м/с.}$

угол наклона касательной ко точке V_1 :
 $tg = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} = \frac{25 - 15}{50 - 10} = \frac{10}{40} = \frac{1}{4} = 0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

$\rightarrow a_1 = 0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

2) в конце F_k сила трения равна 500 Н ($F_k = 500 \text{ Н}$).
 так же в конце скорость практически не
 меняется остается равной $V_k = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

$\rightarrow$ ускорение автомобиля равно нулю и
 сила сопротивления ($F_c = kV$, k - коэфф.

интенсивности) равна F_k и
 $k \cdot V_k = F_k$ и $k = \frac{F_k}{V_k}$ и $k = \frac{500}{25} = 20 \frac{\text{Н}}{\text{м/с}}$

и в 3. Н в момент когда скорость равна $V_1 = 20 \text{ м/с}$:
 $m a_1 = F_1 - F_{c1} \Rightarrow m a_1 = F_1 - k V_1$ и $F_1 = m a_1 + k V_1$
 $= (1800 \cdot \frac{1}{4} + 20 \cdot 20) \text{ Н} = (450 + 400) \text{ Н} = 850 \text{ Н}$

3) $P = \frac{dA}{dt} = \frac{F \cdot de}{dt} = F \cdot V \Rightarrow P_1 = F_1 \cdot V_1 = 850 \cdot 20 = 17000 \text{ Вт} = 19 \text{ кВт}$

