



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-01

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



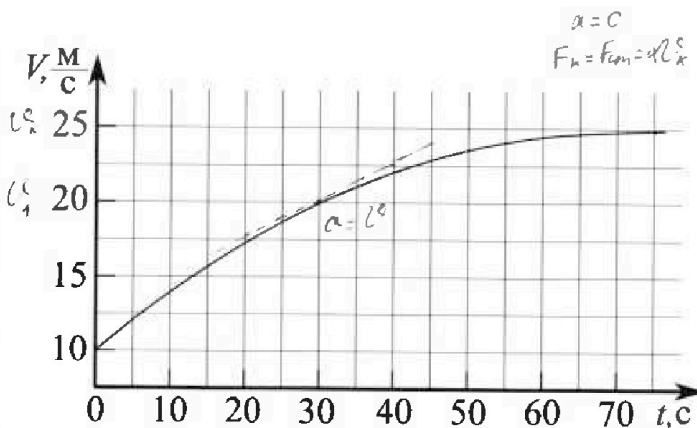
1. Автомобиль массой $m = 1800$ кг движется с постоянной скоростью и затем разгоняется на прямолинейном горизонтальном участке дороги. График зависимости скорости от времени при разгоне показан на рисунке. В конце разгона сила тяги двигателя равна $F_k = 500$ Н. Считать, что при разгоне сила сопротивления движению пропорциональна скорости.

1) Используя график, найти ускорение автомобиля при скорости $V_1 = 20$ м/с.

2) Найти силу тяги F_1 при скорости V_1 .

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

Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.



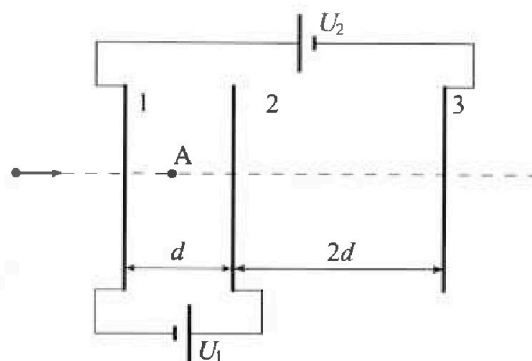
2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объемом V разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится углекислый газ, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при комнатной температуре T_0 . При этом жидкость занимала объём $V/4$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 5T_0/4 = 373$ К. Установившийся объём его верхней части стал равен $V/5$.

По закону Генри, при заданной температуре количество 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.



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-01

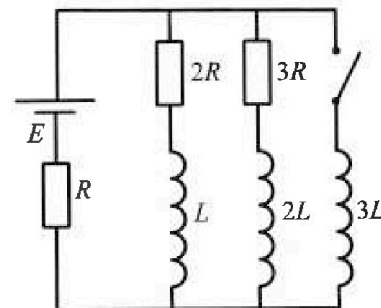
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



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 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 $a = 194$ 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.

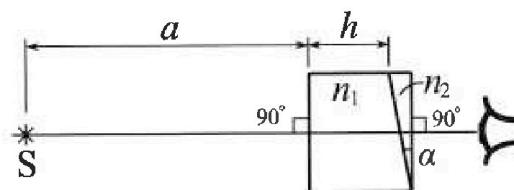


рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 9$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

- 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.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



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



N 1

1) $a = v'(t) = \lg \alpha$, где α - угол между кас. к ур. и Ох.

В м. $t = 30 \text{ c}$ $v = v_1$

$$a = \frac{v(40 \text{ c}) - v(30 \text{ c})}{40 \text{ c} - 30 \text{ c}} = \frac{22,5 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{10 \text{ c}} = 0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

2) В конце ускор. $a = 0 \Rightarrow$ по 23И $F_k = F_{\text{com}}$

$$F_k = k v_k \quad v_k = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$k = \frac{F_k}{v_k} = \frac{500 \text{ Н}}{20 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 20 \frac{\text{Н}}{\text{с}}$$

Пуск $v = v_1$:



23И:

$$F_k - F_{\text{com}} = m a_1$$

$$F_1 = m a_1 + k v_1 = 1800 \text{ кг} \cdot 0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} + 20 \frac{\text{Н}}{\text{с}} \cdot 20 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 450 \text{ Н} + 400 \text{ Н} = 850 \text{ Н}$$

3) $P = F \cdot v$

$$P_1 = F_1 \cdot v_1 = 850 \text{ Н} \cdot 20 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 17000 \text{ Вт} = 17 \text{ кВт}$$

Ответ: 1) $a_1 = 0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

2) $F_1 = 850 \text{ Н}$

3) $P_1 = 17 \text{ кВт}$

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!



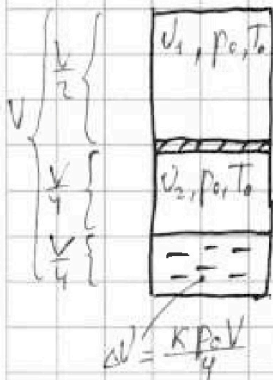
N2

Поршень невесомый, поэтому $p_{\text{атм}}/p_{\text{атм}} = p_{\text{пары}}$

$$pV = \nu RT \Rightarrow p = \frac{\nu RT}{V}$$

$$T = \frac{5}{4} T_0 \Rightarrow T_0 = \frac{4}{5} T$$

1) Денатурация:

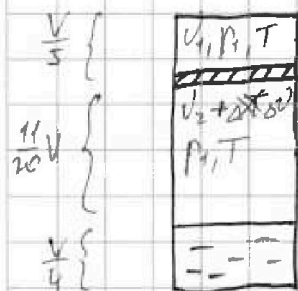


$$\begin{cases} p_0 \frac{V}{2} = \nu_1 RT_0, & \nu_1 = \frac{p_0 V}{2 RT_0} \\ p_0 \frac{V}{4} = \nu_2 RT_0, & \nu_2 = \frac{p_0 V}{4 RT_0} \end{cases}$$

$$\nu_2 = \frac{1}{2} \nu_1$$

$$\Delta V = \frac{K p_0 V}{4}$$

2) После нагревания:



$$p_1 \frac{V}{5} = \nu_1 RT$$

$$p_1 = \frac{5 \nu_1 RT}{V} = \frac{5 RT}{V} \cdot \frac{p_0 V}{2 RT_0} = \frac{5}{2} \frac{T}{T_0} p_0 = \frac{25}{8} p_0, \quad \frac{\nu_1 RT}{V} = \frac{5}{8} p_0$$

Давление в жидкой части равно сумме
парциальной упр. газа и нас. водяного пара.

$$p_{\text{жл}}(T) = p_{\text{атм}}$$

$$p_1 = p_{\text{атм}} + \frac{(\nu_2 + \Delta \nu) RT}{\frac{11}{20} V}$$

$$\frac{25}{8} p_0 = p_{\text{атм}} + \frac{10}{11} \frac{\nu_1 RT}{V} + \frac{10}{11} \frac{RT}{V} \cdot \frac{K p_0 V}{4}$$

$$\frac{25}{8} p_0 = p_{\text{атм}} + \frac{50}{88} p_0 + \frac{5}{11} RT K p_0$$

$$p_0 \left(\frac{25}{8} - \frac{50}{88} - \frac{5 RT K}{11} \right) = p_{\text{атм}}$$

$$p_0 = p_{\text{атм}} \cdot \frac{88}{245 - 50 - 40 RT K} = \frac{88}{145} p_{\text{атм}}$$

Ответы: 1) $\nu_2 = \frac{1}{2} \nu_1$

2) $p_0 = \frac{88}{145} p_{\text{атм}}$

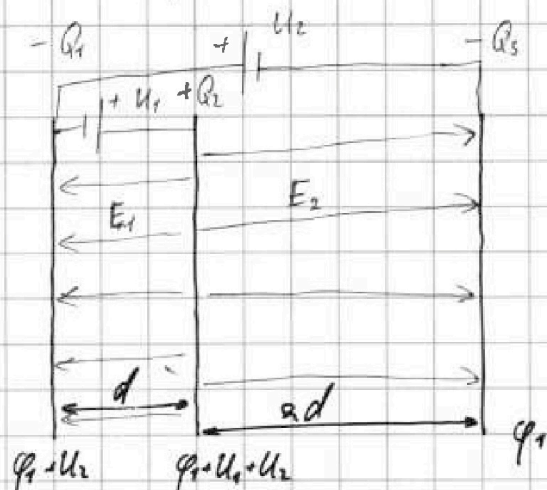
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

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



N3

Размеры сеток $d \gg d$, поэтому поле между сетками можно считать однородным.



$$|E_1| = \frac{U_1}{d} = \frac{U}{d}$$

$$|E_2| = \frac{U_1 + U_2}{2d} = \frac{5U}{2d}$$

Ответ: 1) $a_1 = \frac{qU}{md}$
2) $K_2 - K_1 = qU$

$$1) q|E_1| = m|a_1|$$

$$a_1 = \frac{qE_1}{m} = \frac{qU}{md}$$

$$2) 3CЭ:$$

$$K_1 = K_2 + qU$$

$$K_2 - K_1 = qU$$

$$3) \text{Каждый относительно заряда сеток}$$

$$Q_2 = Q_1 + Q_3 \text{ т.к. изначально сетки не заряжены}$$

$$|E_1| = \frac{Q_2}{2\epsilon_0} + \frac{Q_1}{2\epsilon_0} - \frac{Q_3}{2\epsilon_0} = \frac{U}{d}$$

$$\frac{Q_2}{\epsilon_0} = \frac{5}{2} \frac{Q_1}{\epsilon_0}$$

$$|E_2| = \frac{Q_3}{2\epsilon_0} + \frac{Q_2}{2\epsilon_0} - \frac{Q_1}{2\epsilon_0} = \frac{5U}{2d}$$

$$Q_2 = 2,5 Q_1$$

$$Q_2 = 3,5 Q_1$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

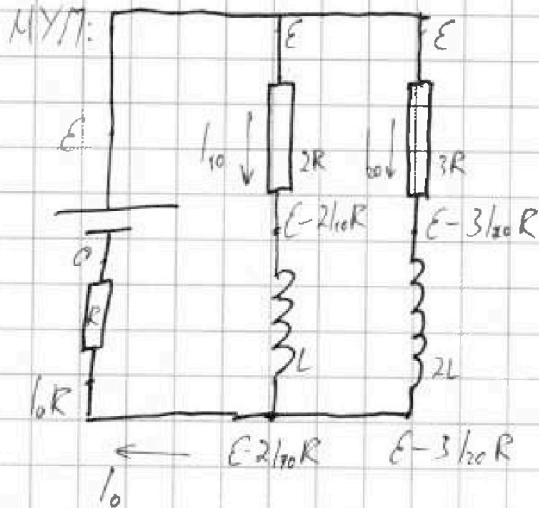
МФТИ

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



№4

1) В установившемся режиме напряжение на индуктивности равно нулю



$$\begin{cases} I_{10}R = E - 2I_{10}R \\ I_{20}R = E - 3I_{20}R \\ I_0 = I_{10} + I_{20} \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_{10}R = E - 3I_{20}R \\ I_0 = I_{10} + I_{20} \end{cases}$$

$$I_0 = I_{10} + I_{20}$$

$$\begin{cases} I_{10} + I_{20} = \frac{E}{R} - 2I_{10}R \\ I_{10} + I_{20} = \frac{E}{R} - 3I_{20} \end{cases}, I_{20} = \frac{E}{R} - 3I_{10}$$

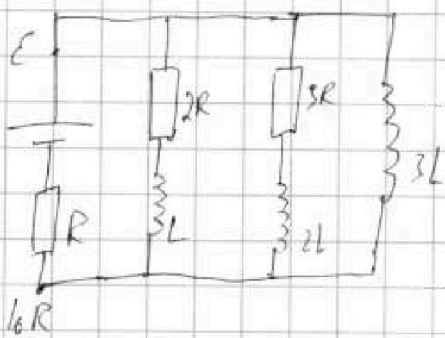
$$I_{10} + I_{20} = \frac{E}{R} - 3I_{20}$$

$$I_{20} = \frac{E}{R} - 4I_{10} = \frac{E}{R} - \frac{4E}{R} + 12I_{10}$$

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

$$I_{10} = \frac{3E}{11R}, I_{20} = \frac{2E}{11R}, I_0 = \frac{5E}{11R}$$

2) так как катушка скачком не перемещается $\Rightarrow$ после замыкания ключа ток остается тем же.

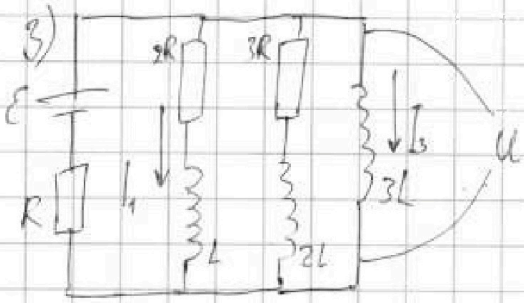


$$U_{2L} = 3L \cdot I_1'$$

$$I_1' = \frac{U_{2L}}{3L} = \frac{E - I_0R}{3L} = \frac{E - \frac{5}{11}E}{3L} = \frac{2E}{11L}$$

После замыкания ключа ток остается тем же.

$$U_1 = U_{2L} = U_{3L} = 0 \Rightarrow I_1 = 0, I_3 = \frac{E}{R}$$



$$\begin{cases} U = 3L \cdot \frac{dI_3}{dt} \\ U = 2I_1R + L \frac{dI_1}{dt} \end{cases}$$

$$U = 2I_1R + L \frac{dI_1}{dt}$$

$$3L \frac{dI_3}{dt} = 2I_1R + L \frac{dI_1}{dt} \cdot dt$$

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

$$dq_1 = \frac{L}{2R} (3dI_3 - dI_1)$$

$$q_1 = \frac{L}{2R} \left(3 \left(\frac{E}{R} - 0 \right) - (0 - I_{10}) \right) = \frac{L}{2R} \left(\frac{3E}{R} + \frac{3E}{11R} \right) = \frac{36EL}{22R^2} = \frac{18EL}{11R^2}$$



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!

Ответы:

$$1) I_0 = \frac{3E}{11R}$$
$$2) I'_0 = \frac{2E}{11L}$$
$$3) q_1 = \frac{10EL}{11R^2}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

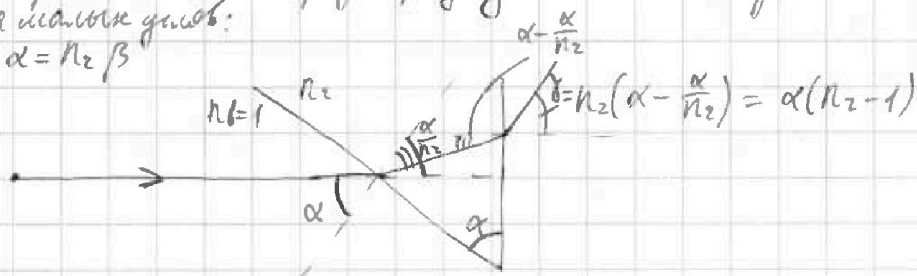
МФТИ

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



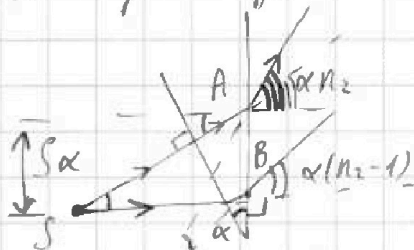
NS

1) При $n_1 = n_2$ первую призму можно не учитывать
Для малых углов:
 $n_1 \alpha = n_2 \beta$



$$r = \alpha(n_2 - 1) = 0.1 \text{ рад} \cdot 0.7 = \underline{0.07 \text{ рад}}$$

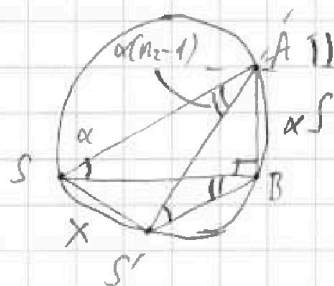
2) Найдём угол отклонения с помощью двух лучей



Угол между лучами $S'A$ и $S'B$:

$$\alpha n_2 - \alpha(n_2 - 1) = \alpha \Rightarrow \angle ASB \text{ и } \angle AS'B$$

лежат на одной дуге окружности



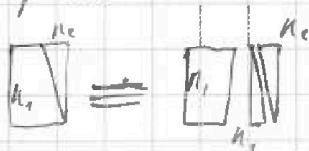
м. смещен:

$$\frac{x}{d(n_2 - 1)} = \frac{\alpha S}{\alpha}$$

$$x = S\alpha(n_2 - 1) = (0.1 + 0.07) \alpha(n_2 - 1) =$$

$$= 203 \text{ см} \cdot 0.07 \approx \underline{14 \text{ см}}$$

3) Систему можно разбить на П.П.П. и две призмодинаковой формы



П.П.П. сдвинет изображение источника на $h \frac{(n_2 - 1)}{n_1}$

поскольку угол α мал, можно считать, что $SS' \parallel AB$, тогда

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!



смещение изображения призмами будет складываться

$$S \leftarrow \text{смещение П.П.П.} = h \frac{n_2 - 1}{n_1}$$

$$S' \leftarrow \text{смещение призмы} = (a + h - h \frac{n_2 - 1}{n_1}) \alpha (n_2 - n_1) =$$

$$= (a + \frac{h}{n_1}) \alpha (n_2 - n_1)$$

По т. Пифагора $SS' = \sqrt{(h \frac{n_2 - 1}{n_1})^2 + ((a + \frac{h}{n_1}) \alpha (n_2 - n_1))^2} =$

$$= \sqrt{(9 \text{ см} \cdot \frac{1}{3})^2 + ((800 \text{ см}) \cdot 0,1 \cdot 0,2)^2} = \sqrt{9 \text{ см}^2 + 4 \text{ см}^2} = \sqrt{13} \text{ см}$$

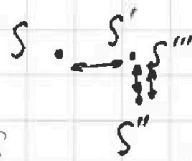
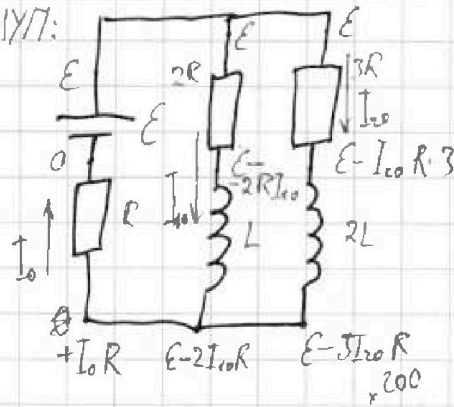
Ответ: 1) $\gamma = 0,07 \text{ рад}$
2) $X = 14 \text{ см}$
3) $SS' = \sqrt{13} \text{ см}$

1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☒

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

1) В установившемся режиме напряжение на индуктивности равно нулю.

МНТ:



$$\begin{cases} +I_0 R = E - 2I_{10} R \\ +I_0 R = E - 3I_{20} R \\ I_0 = I_{10} + I_{20} \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_{10} R + I_{20} R = 2I_{10} R - E \\ I_{10} R + I_{20} R = 3I_{20} R - E \end{cases}$$

$$I_{10} R = 2I_{20} R - 2E - E$$

$$3E = I_{10} R \frac{x}{\alpha(n_2 - 1)} = S$$

$$I_{10} = \frac{3E}{R} \quad x = S \alpha (n_2 - 1)$$

$$I_{20} R = E - 3I_{10} R \quad I_{20} R = E - \frac{9}{11} E = \frac{2}{11} E$$

$$I_{10} R = E - 4I_{20} R = E - 4E + 12I_{10} R$$

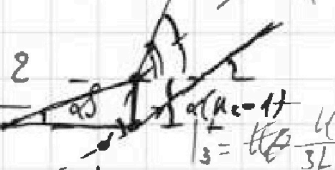
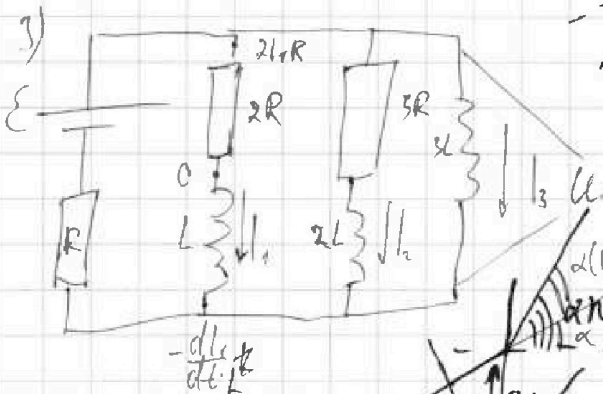
$$3E = 11I_{10} R$$

1)

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

2) $I_3' = \frac{E - I_0 R}{3L} = \frac{6}{11} \frac{E}{3L} = \frac{2}{11} \frac{E}{L}$

3)



$$I_3 = \frac{2I_1 R}{3L} + \frac{I_2}{3} \frac{dL}{dt}$$

$$I_3' = \frac{2I_1 R}{3L} + \frac{I_2}{3} \frac{dL}{dt}$$

$$\Delta I_3 = \frac{2R}{3L} \Delta q_1 + \frac{1}{3} \Delta I_1$$

$$\Delta I_3 = \frac{E}{R}$$

$$\Delta q_1 = q_1$$

$$\Delta I_1 = -I_{10}$$

$$\frac{2R}{3L} q_1 = \frac{E}{R} + \frac{1}{11} \frac{E R}{R^2}$$

$$q_1 = \frac{18}{11} \frac{E L}{R^2} \quad (3)$$

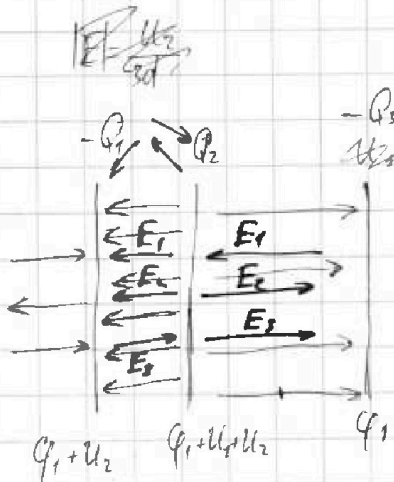
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒

МФТИ

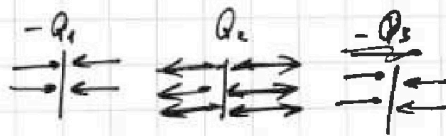
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Поря QR-кода недопустима!



$$|E| = \frac{|(q_1 + U_1 + U_2) - (q_2 + U_2)|}{d} = \frac{U_1}{d}$$

$$\alpha = \frac{qE}{m}$$

$$K_2 = K_1 = q \cdot U_1$$



ЗСЗ:

$$Q_2 - Q_1 + Q_3 = 0 \quad Q_2 = Q_1 + Q_3$$

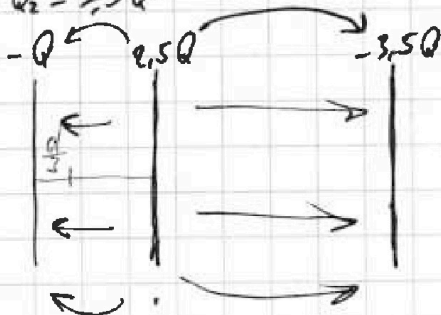
$$|E_1| = \frac{Q_1}{2\epsilon_0} + \frac{Q_2}{2\epsilon_0} - \frac{Q_3}{2\epsilon_0} = \frac{U_1}{d} = \frac{Q}{\epsilon_0 d}$$

$$|E_2| = \frac{Q_2}{2\epsilon_0} + \frac{Q_3}{2\epsilon_0} - \frac{Q_1}{2\epsilon_0} = 1.5 \frac{U_1}{d}$$

$$\frac{2.5Q_1}{\epsilon_0 d} + \frac{2.5Q_2 + Q_3}{\epsilon_0 d} - \frac{2.5Q_3}{\epsilon_0 d} = \frac{Q_1 + Q_3}{\epsilon_0 d} + \frac{Q_3}{\epsilon_0 d} - \frac{Q_1}{\epsilon_0 d}$$

$$5Q_1 = 2Q_3 = 5Q$$

$$\begin{cases} Q_1 = 2Q \\ Q_3 = 2.5Q \\ Q_2 = 3.5Q \end{cases}$$



$$E = \frac{KQ}{R^2}$$

$$\varphi = \frac{KQ}{R}$$

$$Q_1 = 2Q, Q_2 = 3.5Q, Q_3 = 2.5Q$$

