



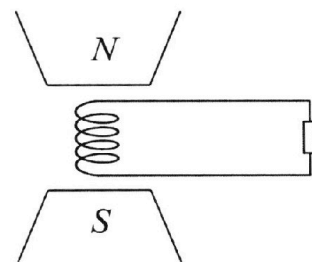
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-05

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



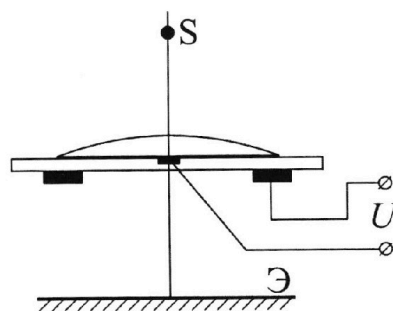
4. Катушка с числом витков n и площадью каждого витка S_1 находится во внешнем однородном магнитном поле с индукцией B_0 . Силовые линии поля направлены перпендикулярно плоскости каждого витка (см. рис.). Концы катушки замкнуты на резистор сопротивлением R . Внешнее поле выключают в течение времени τ . За время выключения ток в катушке возрастает линейно от нуля до I_1 .



- 1) Найти скорость возрастания тока через время $\tau/3$ от начала выключения.
- 2) Найти заряд q , протекший через резистор от момента начала выключения поля до момента, когда ток через резистор станет нулевым.
- 3) Найти индуктивность L катушки.

Сопротивлением катушки и соединительных проводов пренебречь.

5. Капля электропроводящей прозрачной жидкости с показателем преломления $n = 1,4$ покоится на тонкой смачиваемой прозрачной горизонтальной диэлектрической подложке (см. рис.). Капля используется в качестве тонкой плосковыпуклой линзы для получения изображения маленького светящегося шарика-светодиода S на экране $\mathcal{E}$. Источник S можно перемещать вдоль главной оптической оси линзы. Плоскость экрана перпендикулярна оси и находится на расстоянии $b = 6$ см от линзы. Расстояние от источника до линзы значительно больше диаметра пучка света, проходящего через линзу. Если под каплей соосно расположить два электрода, так что небольшой центральный электрод непосредственно контактирует с жидкостью, а периферийный (кольцо) изолирован от неё, то можно изменять радиус R кривизны верхней поверхности линзы по линейному закону в зависимости от напряжения U , прикладываемого к электродам. Если светодиод на высоте $a_1 = 12$ см над каплей, то изображение на экране при $U_1 = 1$ В. Если светодиод на высоте $a_2 = 18$ см, то изображение на экране при напряжении $U_2 = 2$ В.



- 1) Выведите формулу для фокусного расстояния F плосковыпуклой тонкой линзы в зависимости от радиуса кривизны R и показателя преломления n .
- 2) Определите радиус кривизны R_0 капли при нулевом напряжении.
- 3) Считая, что светодиод излучает одинаковую световую мощность по всем направлениям, определите отношение средних освещённостей E_1/E_2 первого и второго изображений. Поглощением света в подложке пренебречь. Освещённость — энергия света, падающего на единицу площади в единицу времени.



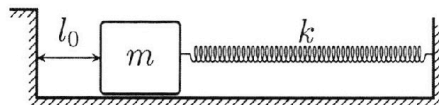
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-05

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



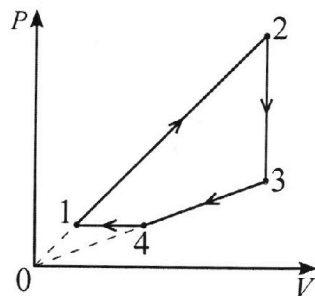
1. Покоящееся на гладкой горизонтальной поверхности тело массой m прикреплено к стене легкой достаточно длинной пружиной жесткостью k . На расстоянии l_0 от тела находится вертикальный уступ, как показано на рисунке. Сжимая пружину на $11l_0/4$, тело придвигают к стене и отпускают без начальной скорости. После первого удара тела о уступ максимальное сжатие пружины оказалось $5l_0/2$. Все удары о уступ считать частично упругими, при которых отношение кинетических энергий после удара и до удара можно считать постоянным. Каждая точка тела движется вдоль одной горизонтальной прямой.



- 1) Определите скорость тела при прохождении положения равновесия перед первым ударом.
- 2) Определите величину максимального сжатия пружины после второго удара.
- 3) Сколько времени прошло между моментом отпускания тела и моментом максимального сжатия пружины после первого удара?

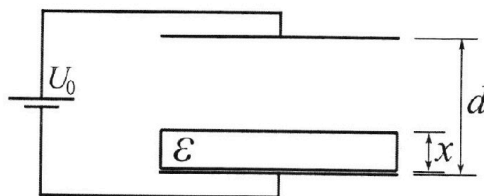
В ответе допустимы обратные тригонометрические функции.

2. Рабочим телом тепловой машины, работающей по циклу 1-2-3-4-1, является идеальный газ (см. рис.). Участки цикла 1-2 и 3-4 лежат на прямых, проходящих через начало координат, 2-3 – изохора, 4-1 – изобара. На каждом из участков 2-3 и 4-1 от газа было отведено количество теплоты Q ($Q > 0$). Молярная теплоёмкость газа в процессе 3-4 равна $C = 3R$, R – универсальная газовая постоянная. Отношение температур $T_4/T_1 = 5/2$.

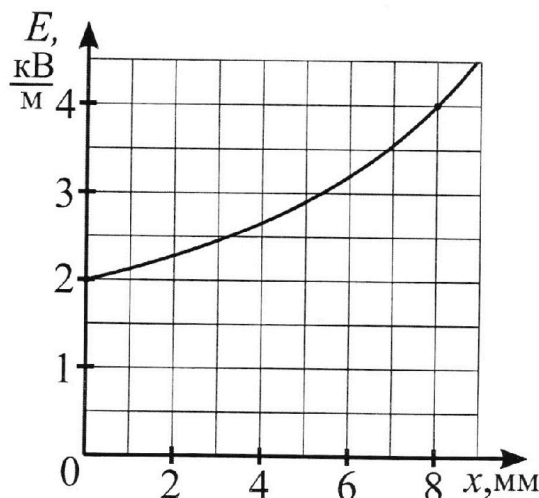


- 1) Найти молярную теплоёмкость газа в процессе 4-1.
- 2) Найти работу газа за цикл.
- 3) Найти КПД цикла.

3. Плоский конденсатор подсоединен к источнику постоянного напряжения. Расстояние между обкладками $d = 12$ мм (см. рис.). В конденсатор вставляется пластина из диэлектрика толщиной x (пластина занимает часть объема конденсатора, равную x/d). Известна часть графика зависимости напряженности электрического поля в воздушном зазоре от толщины пластины x (см. рис.). Диэлектрическую проницаемость воздуха принять равной единице.



- 1) Найти напряжение U_0 источника.
- 2) Найти диэлектрическую проницаемость ϵ диэлектрика.





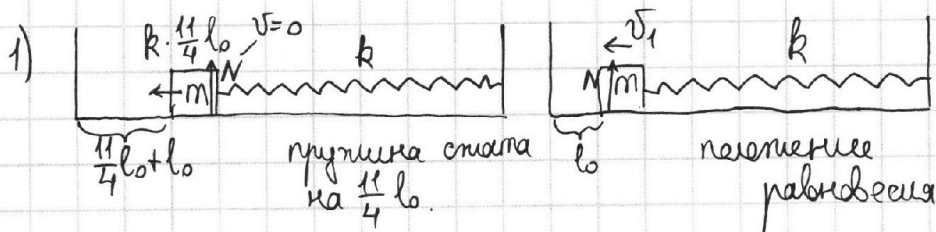
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении **каждой** задачи **отдельно**.

1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 из 4

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются **отдельно**. Порча QR-кода недопустима!

N/1



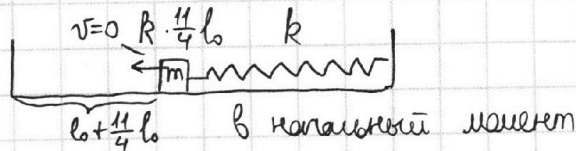
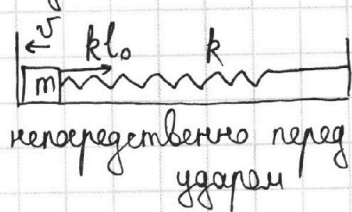
До удара тела о уступ ~~система~~ выполняется закон сохранения энергии для системы «тело + пружина», т.к. работа ~~внешних~~ от поверхности непотенциальных сил равна 0 (сила реакции опоры N на тело действует перпендикулярно $\downarrow$ скорости тела, а пружина не движется) $\Rightarrow$ ЗСЭ: $E_{\text{сист.нач}} = E_{\text{сист.кон}}$,

от положения при сжатии пружины $x_0 = \frac{11}{4} l_0$ до положения

равновесия: $0 + \frac{kx_0^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + 0 \Rightarrow mv_1^2 = k\left(\frac{11}{4} l_0\right)^2$

$\Rightarrow v_1^2 = \frac{121kl_0^2}{16m} \Rightarrow v_1 = \frac{11}{4} l_0 \sqrt{\frac{k}{m}}$

2) По условию удар о уступ является частично упругим и $\frac{E_{\text{кон.удар}}}{E_{\text{к.до}}} = \eta = \text{const}$. Рассмотрим систему до первого удара:



Запишем ЗСЭ: $0 + \frac{k\left(\frac{11}{4} l_0\right)^2}{2} = \frac{kl_0^2}{2} + E_{\text{к.до}} \Rightarrow E_{\text{к.до}} = \frac{kl_0^2}{2} \left(\frac{11^2}{4^2} - 1\right) = \frac{kl_0^2}{2} \left(\frac{121}{16} - 1\right) = \frac{105}{16} \cdot \frac{kl_0^2}{2}$

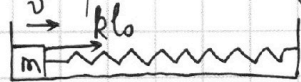


1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

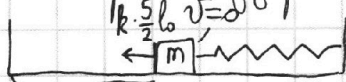
СТРАНИЦА
2 из 4

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

Рассмотрим систему после первого удара:



сразу после удара



$l_0 + \frac{5}{2} l_0$

в момент

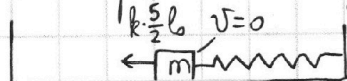
максимального сжатия пружины

Запишем ЗСЭ для этих двух моментов: $E_{k, \text{после}} + \frac{k l_0^2}{2} = 0 + \frac{k (\frac{5}{2} l_0)^2}{2}$

$$\Rightarrow E_{k, \text{после}} = \frac{k l_0^2}{2} \cdot \left(\frac{5}{2}\right)^2 - \frac{k l_0^2}{2} = \frac{k l_0^2}{2} \left(\frac{25}{4} - 1\right) = \frac{21 k l_0^2}{4}$$

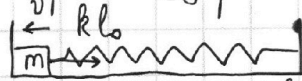
Значит, $\frac{E_{k, \text{после}}}{E_{k, \text{до}}} = n = \frac{E_{k, \text{после}}}{E_{k, \text{до}}} = \frac{\frac{21 k l_0^2}{4}}{\frac{105 k l_0^2}{16}} = \frac{21}{4} \cdot \frac{16}{105} = \frac{21 \cdot 4}{105} = \frac{4}{5}$

Рассмотрим систему перед вторым ударом:



$l_0 + \frac{5}{2} l_0$

в момент так сжатия пружины



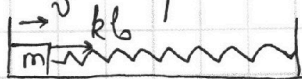
непосредственно перед ударом

Запишем ЗСЭ: $0 + \frac{k (\frac{5}{2} l_0)^2}{2} = E_{k2, \text{до}} + \frac{k l_0^2}{2} \Rightarrow E_{k2, \text{до}} = \frac{k l_0^2}{2} \left(\frac{25}{4} - 1\right) = \frac{21 k l_0^2}{4}$

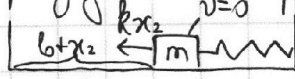
Значит, $E_{k2, \text{после}} = n \cdot E_{k2, \text{до}} = \frac{4}{5} \cdot E_{k2, \text{до}} = \frac{4}{5} \cdot \frac{21 k l_0^2}{4} = \frac{21 k l_0^2}{5}$

$= \frac{21}{5} \cdot \frac{k l_0^2}{2}$ - кинетическая энергия тела сразу после второго удара.

Рассмотрим систему сразу после второго удара:



сразу после удара



в момент максимального сжатия пружины

Запишем ЗСЭ: $E_{k2, \text{после}} + \frac{k l_0^2}{2} = 0 + \frac{k x_2^2}{2} \Rightarrow \frac{k x_2^2}{2} = \frac{k l_0^2}{2} + \frac{21 k l_0^2}{5}$

$$\Rightarrow x_2^2 = l_0^2 + \frac{21}{5} l_0^2 = \frac{26}{5} l_0^2 \Rightarrow x_2 = \sqrt{\frac{26}{5}} l_0 = \frac{\sqrt{130}}{5} l_0$$

максимальное сжатие пружины после второго удара.



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

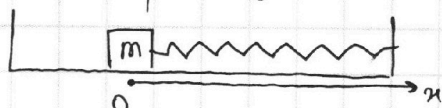
1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
3 из 4

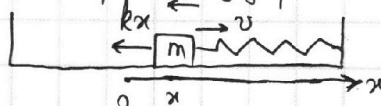
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

3) При движении тела до первого удара оно движется по закону $x(t) = x + A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t)$

Рассмотрим движение тела до первого удара:



положение равновесия



произвольный момент

Второй закон Ньютона на ось x : $m a_x = -kx \Rightarrow a_x + \frac{k}{m}x = 0$ -

дифф. ур-ние гармонических колебаний, $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$. Решением явл-ся:

$x(t) = A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t)$, так как: $x(0) = \frac{11}{4} l_0$, $v(0) = 0$

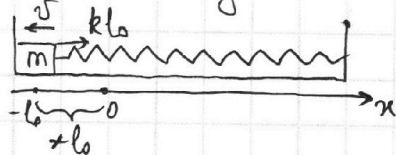
$$x(0) = A \cos(0) + B \sin(0) = A \Rightarrow A = \frac{11}{4} l_0$$

$$v(t) = x'(t) = -A\omega \sin(\omega t) + B\omega \cos(\omega t), \quad v=0 = v(0) = -A\omega \sin(0) +$$

$$+ B\omega \cos(0) = B\omega \Rightarrow B = 0 \quad \text{Значит, } x(t) = \frac{11}{4} l_0 \cos(\omega t).$$

Пусть момент времени непосредственно перед первым ударом

$t = \tau_1$. Тогда $x(\tau_1) = -l_0$:



$$\text{Значит, } \frac{11}{4} l_0 \cos(\omega \tau_1) = -l_0$$

$$\Rightarrow \cos(\omega \tau_1) = -\frac{4}{11} \Rightarrow \omega \tau_1 = \arccos\left(-\frac{4}{11}\right)$$

$$\tau_1 = \frac{1}{\omega} \arccos\left(-\frac{4}{11}\right) = \sqrt{\frac{m}{k}} \arccos\left(-\frac{4}{11}\right)$$

При движении тела сразу после первого удара его ур-ние будет вида $x(t) = A \cos(\omega t)$, но $A = \frac{5}{2} l_0$, так как максимальное статич. удлинение равно $\frac{5}{2} l_0$ при этом движении.



1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
4 из 4

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

$x(t) = \frac{5}{2} l_0 \cos(\omega t)$, при этом тело пройдет от упора до положения макс. растяжения пружины за то же время, что и от положения макс. растяжения пружины до упора.

Значит $x(\tau_2) = -l_0 \Rightarrow \frac{5}{2} l_0 \cos(\omega \tau_2) = -l_0$

$$\Rightarrow \cos(\omega \tau_2) = -\frac{2}{5} \Rightarrow \omega \tau_2 = \arccos\left(-\frac{2}{5}\right)$$

$$\Rightarrow \tau_2 = \sqrt{\frac{m}{k}} \arccos\left(-\frac{2}{5}\right) - \text{время от первого удара до макс.}$$

растяжения пружины.

Значит, всего от момента отпущения тела до момента максимального растяжения пружины после первого удара прошло

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = \sqrt{\frac{m}{k}} \left(\arccos\left(-\frac{4}{11}\right) + \arccos\left(-\frac{2}{5}\right) \right)$$

Ответ: 1) $v_1 = \frac{11}{4} l_0 \sqrt{\frac{k}{m}}$

2) $x_2 = \frac{\sqrt{130}}{5} l_0$

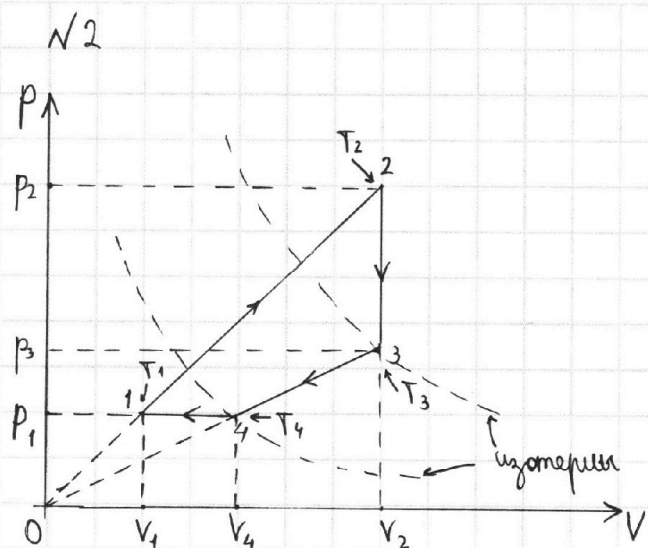
3) $\tau = \sqrt{\frac{m}{k}} \left(\arccos\left(-\frac{4}{11}\right) + \arccos\left(-\frac{2}{5}\right) \right)$



1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 из 3

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



1) Рассмотрим процесс 4-1:

по первому закону термодинамики

$$Q_{41} = \Delta Q_{41} + \Delta U_{41}$$

$$\Delta Q_{41} = p_1(V_1 - V_4) =$$

$$= p_1 V_1 - p_1 V_4 = \nu R T_1 - \nu R T_4 =$$

$$= \nu R (T_1 - T_4)$$

$$\Delta U_{41} = \frac{i}{2} \nu R (T_1 - T_4) \Rightarrow Q_{41} = \left(\frac{i}{2} + 1\right) \nu R (T_1 - T_4)$$

Рассмотрим процесс 3-4: $Q_{34} = \Delta Q_{34} + \Delta U_{34}$,

$$\Delta Q_{34} = \frac{1}{2} (p_1 + p_3) (V_4 - V_2) = \frac{1}{2} (p_1 V_4 - p_1 V_2 + p_3 V_4 - p_3 V_2)$$

т.к. график лежит на прямой, проходящей через начало координат,

$$\text{то } \frac{p_1}{V_4} = \frac{p_3}{V_2} \Rightarrow p_1 V_2 = p_3 V_4 \Rightarrow \Delta Q_{34} = \frac{1}{2} (p_1 V_4 - p_3 V_2) =$$

$$= \frac{1}{2} (\nu R T_4 - \nu R T_3) = \frac{1}{2} \nu R (T_4 - T_3)$$

$$\Delta U_{34} = \frac{i}{2} \nu R (T_4 - T_3) \Rightarrow Q_{34} = \nu R (T_4 - T_3) \left(\frac{1}{2} + \frac{i}{2}\right) = \frac{i+1}{2} \nu R (T_4 - T_3)$$

$$\text{Также } Q_{34} = C_{34} \cdot \nu \cdot (T_4 - T_3) = 3 \nu R (T_4 - T_3) \Rightarrow \frac{i+1}{2} \nu R (T_4 - T_3) =$$

$$= 3 \nu R (T_4 - T_3) \Rightarrow \frac{i+1}{2} = 3 \Rightarrow i+1=6 \Rightarrow i=5$$

$$\text{Тогда для процесса 4-1: } Q_{41} = \left(\frac{5}{2} + 1\right) \nu R (T_1 - T_4) = C_{41} \nu (T_1 - T_4)$$

$$\Rightarrow C_{41} = \left(\frac{5}{2} + 1\right) R = \frac{7}{2} R \text{ - молярная теплоемкость газа}$$

в процессе 4-1.



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.

1
☐2
☒3
☐4
☐5
☐6
☐7
☐СТРАНИЦА
2 из 3

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

2) Рассмотрим весь цикл: $\Delta_{12341} = \Delta_{\Sigma} = \Delta U_{12341} + Q_{12341} =$

$$= 0 + Q_{12341} = Q_{12} + Q_{23} + Q_{34} + Q_{41}$$

для процесса 4-1: $Q_{41} = \frac{7}{2} \mathcal{R}(T_1 - T_4)$, $Q_{41} = -Q$, $T_4 = \frac{5}{2} T_1$

$$\Rightarrow Q = \frac{7}{2} \mathcal{R} \left(\frac{5}{2} T_1 - T_1 \right) \Rightarrow Q = \frac{7}{2} \mathcal{R} \cdot \frac{3}{2} T_1 \Rightarrow \mathcal{R} T_1 = \frac{4}{21} Q$$

$$\Rightarrow p_1 V_1 = \frac{4}{21} Q, \text{ тогда } p_1 V_4 = \mathcal{R} T_4 = \frac{5}{2} \mathcal{R} T_1 = \frac{5}{2} \cdot \frac{4}{21} Q = \frac{10}{21} Q$$

рассмотрим процесс 1-2: $Q_{12} = \Delta_{12} + \Delta U_{12}$

$$\Delta_{12} = \frac{1}{2} (p_1 + p_2) (V_2 - V_1) = \frac{1}{2} (p_1 V_2 - p_1 V_1 + p_2 V_2 - p_2 V_1),$$

этот процесс 1-2 проходит через начало координат $\Rightarrow \frac{p_1}{V_1} = \frac{p_2}{V_2}$

$$\Rightarrow p_1 V_2 = p_2 V_1 \Rightarrow \Delta_{12} = \frac{1}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{1}{2} \mathcal{R} (T_2 - T_1)$$

$$\Delta U_{12} = \frac{5}{2} \mathcal{R} (T_2 - T_1) \Rightarrow Q_{12} = 3 \mathcal{R} (T_2 - T_1)$$

рассмотрим процесс 2-3: $Q_{23} = \Delta_{23} + \Delta U_{23} = 0 + \Delta U_{23} = \Delta U_{23}$

$$\Rightarrow -Q = \frac{5}{2} \mathcal{R} (T_3 - T_2) \Rightarrow Q = \frac{5}{2} \mathcal{R} (T_2 - T_3) \Rightarrow \mathcal{R} (T_2 - T_3) = \frac{2}{5} Q$$

для процесса 3-4: $Q_{34} = 3 \mathcal{R} (T_4 - T_3)$

Значит, $\Delta_{\Sigma} = Q_{12} + Q_{23} + Q_{34} + Q_{41} = 3 \mathcal{R} (T_2 - T_1) + (-Q) +$

$$+ 3 \mathcal{R} (T_4 - T_3) + (-Q) = 3 \mathcal{R} (T_2 - T_3) + 3 \mathcal{R} (T_4 - T_1) - 2Q =$$

$$= 3 \cdot \frac{2}{5} Q + 3 (\mathcal{R} T_4 - \mathcal{R} T_1) - 2Q = \frac{6}{5} Q + 3 \left(\frac{10}{21} Q - \frac{4}{21} Q \right) - 2Q =$$

$$= \frac{6}{5} Q + 3 \cdot \frac{2}{7} Q - 2Q = \frac{6}{5} Q + \frac{6}{7} Q - 2Q = \frac{2}{35} Q - \text{работа}$$

ваза за цикл.



1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
3 ИЗ 3

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

3) КПД цикла: $\eta = \frac{A_{\Sigma}}{Q_H}$

Известно, что тепло отводится в процессах 2-3 и 4-1.

Она также отводится в процессе 3-4, т.к. газ совершает отрицательную работу в нём, и температура уменьшается ($\Delta U_{34} < 0$) $\Rightarrow$ тепло ~~отводится~~ ^{отводится} ~~не к~~ газу только в процессе

1-2 $\Rightarrow Q_H = Q_{12}$

Уравнения Менделеева - Клапейрона для газа: $p_1 V_1 = \nu R T_1$, $p_2 V_2 = \nu R T_2$,
 $p_3 V_3 = \nu R T_3$
 $\downarrow$ $p_4 V_4 = \nu R T_4 \Rightarrow \frac{p_1 V_1}{p_4 V_4} = \frac{T_1}{T_4} \Rightarrow \frac{V_1}{V_4} = \frac{T_1}{T_4} = \frac{2}{5} \Rightarrow V_4 = \frac{5}{2} V_1$

для процесса 1-2: $\frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} = \frac{T_1}{T_2}$, $\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1} \Rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2$ (1)

для процесса 3-4: $\frac{p_3 V_3}{p_4 V_4} = \frac{T_3}{T_4} \Rightarrow \frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^2$ (2)

(1) · (2) $\Rightarrow \frac{T_1 \cdot T_3}{T_2 \cdot T_4} = \left(\frac{V_1 \cdot V_3}{V_2 \cdot V_4}\right)^2 \Rightarrow \frac{T_3}{T_2} \cdot \frac{2}{5} = \left(\frac{V_3}{V_2}\right)^2 \cdot \left(\frac{2}{5}\right)^2$
 $\Rightarrow \frac{T_3}{T_2} = \frac{2}{5} \cdot \left(\frac{V_3}{V_2}\right)^2$, $V_3 = V_2 \Rightarrow \frac{T_3}{T_2} = \frac{2}{5} \Rightarrow T_3 = \frac{2}{5} T_2$

Для процесса 2-3: $-Q = \nu R (T_2 - T_3) = \frac{2}{5} Q \Rightarrow \nu R (T_2 - \frac{2}{5} T_2) = \frac{2}{5} Q$

$\Rightarrow \nu R \cdot \frac{3}{5} T_2 = \frac{2}{5} Q \Rightarrow \nu R T_2 = \frac{2}{3} Q$

Тогда $Q_{12} = 3 \nu R (T_2 - T_1) = 3 \nu R T_2 - 3 \nu R T_1 = 3 \cdot \frac{2}{3} Q - 3 \cdot \frac{4}{21} Q = \frac{10}{7} Q$

$\Rightarrow \eta = \frac{A_{\Sigma}}{Q_H} = \frac{\frac{2}{35} Q}{\frac{10}{7} Q} = \frac{2}{35} \cdot \frac{7}{10} = \frac{1}{5 \cdot 5} = \frac{1}{25} = \frac{1}{25} \cdot 100\% = 4\%$

Ответ: 1) $C_{41} = \frac{7}{2} R$

2) $A_{\Sigma} = \frac{2}{35} Q$

3) $\eta = 4\%$.



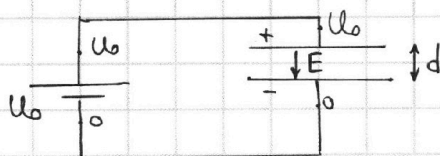
1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 из 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

№3

- 1) Из графика при $x=0$ $E_0 = 2 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ - пластины из диэлектрика в конденсаторе нет.



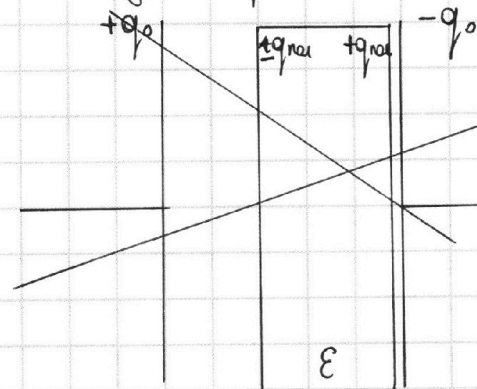
Напряжение на конденсаторе равно U_0 , $E_0 = \frac{U_0}{d}$

$$\Rightarrow U_0 = E_0 \cdot d = 2 \frac{\text{кВ}}{\text{м}} \cdot 12 \text{ мм} = 2 \cdot 10^3 \frac{\text{В}}{\text{м}} \cdot 12 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 24 \text{ В}$$

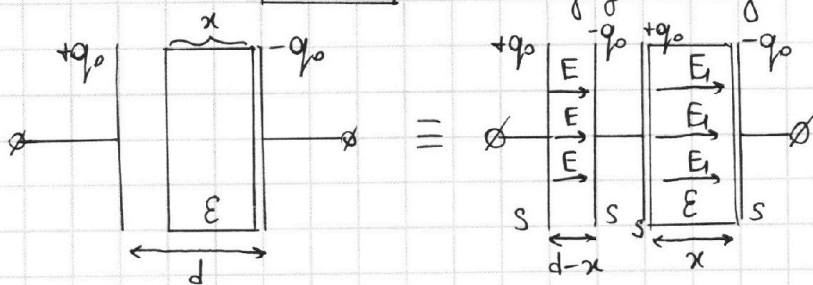
- 2) Рассмотрим конденсатор при толщине пластины $x = 8 \text{ мм}$.

Из графика $E = 4 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ в воздушном зазоре. Напряжение на конденсаторе U_0 . В электрическом поле на краях диэлектрика

возникают поляризационные заряды $+q_{\text{пл}}$ и $-q_{\text{пл}}$.



Плоский конденсатор эквивалентен двум последовательно соединенным конденсаторам.



Пусть заряд на обкладках изначального конденсатора равен $+q_0$ и $-q_0$.

Тогда напряженность $\downarrow$ в ~~правой~~ ^{левой} конденсаторе равна $E = 4 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$.

$$E = \frac{q_0}{\epsilon_0 S}, \text{ где } S - \text{площадь обкладок} \quad (E = \frac{U}{d-x} = \frac{q_0}{C \cdot (d-x)} = \frac{q_0}{\epsilon_0 S \cdot (d-x)} = \frac{q_0}{\epsilon_0 S})$$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
2 из 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

В правом конденсаторе напряженность равна $E_1 = \frac{q_0}{\epsilon \cdot \epsilon_0 S} = \frac{E}{\epsilon}$.
($E_1 = \frac{U_2}{x} = \frac{q_0}{C \cdot x} = \frac{q_0}{\epsilon \epsilon_0 S \cdot x} = \frac{q_0}{\epsilon \epsilon_0 S}$)
Напряжения на левой и правой конденсаторах равны

$$U_1 = E \cdot (d-x) \text{ и } U_2 = E_1 \cdot x, \quad U_1 + U_2 = U_0$$

$$\Rightarrow E \cdot (d-x) + E_1 \cdot x = U_0 \Rightarrow E(d-x) + \frac{E}{\epsilon} \cdot x = U_0$$

$$\Rightarrow \frac{E}{\epsilon} x = U_0 - E(d-x) \Rightarrow \epsilon = \frac{E \cdot x}{U_0 - E(d-x)}$$

$$\Rightarrow \epsilon = \frac{4 \cdot 10^3 \frac{\text{В}}{\text{м}} \cdot 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}}{24 \text{ В} - 4 \cdot 10^3 \frac{\text{В}}{\text{м}} (12-8) \cdot 10^{-3} \text{ м}} = \frac{32}{24-44} = \frac{32}{24-16} = \frac{32}{8} = 4$$

Ответ: 1) $U_0 = 24 \text{ В}$

2) $\epsilon = 4$.



1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 из 3

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

№4

- 1) ~~Магнитный поток через катушку при индукции B равен $\Phi = B \cdot S_1 \cdot n \cos 0^\circ = n B S_1$, при выключении поля на катушке появляется $\mathcal{E}_i$ (ЭДС индукции), равное $\mathcal{E}_i = -\Phi'(t)$
 $\mathcal{E}_i = -n S_1 B'(t)$.~~

Сила тока возрастает линейно: $I = k \cdot t$, $k = \text{const}$.

Значит, $I_1 = k \cdot \tau \Rightarrow k = \frac{I_1}{\tau}$. Поскольку ток в катушке возрастает линейно, то скорость возрастания тока в ней постоянна во время выключения поля и равна $I'(t) = (kt)' = \frac{I_1}{\tau}$
 $\Rightarrow I'(\tau/3) = \frac{I_1}{\tau}$

- 2) Магнитный поток через катушку равен $\Phi = B(t) \cdot S_1 \cdot n$, во время выключения магнитного поля в катушке возникает ЭДС индукции, равная $\mathcal{E}_i = -\Phi'(t)$. Значит, на резисторе возникает напряжение $\mathcal{E}_i = IR$, где I — сила тока через катушку и резистор, $I = \frac{\Delta q_1}{\Delta t}$, где Δq_1 — заряд, протекший через резистор. $\Rightarrow \frac{\Delta q_1}{\Delta t} R = -n S_1 \frac{\Delta B}{\Delta t} \Rightarrow \Delta q_1 R = -n S_1 \Delta B$ — проинтегрируем это соотношение от момента времени $t=0$ до момента выключения ^{магнитного} поля $t=\tau$: $R(q_1 - 0) = -n S_1 (0 - B_0)$
 $\Rightarrow R q_1 = n S_1 B_0 \Rightarrow q_1 = \frac{n S_1 B_0}{R}$ — заряд, протекший через



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

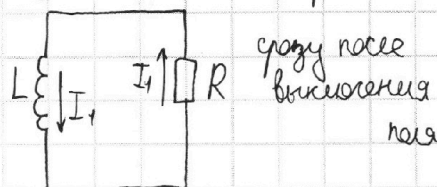
СТРАНИЦА
2 из 3

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

резистор во время выключения поля.

Рассмотрим цепь, состоящую из катушки с резистором, после выключения магнитного поля.

Сразу после выключения поля ток через катушку скачком не меняется и остается равным I_1 .



Связь напряжений на катушке и резисторе: $LI' = -IR$

$$L \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{\Delta q_2}{\Delta t} R \Rightarrow L \Delta I = \Delta q_2 R - \text{проинтегрируем от момента } t=0,$$

когда ток в цепи I_1 , до момента $t=t_{\text{зам}}$, когда ток в цепи 0:

$$L(0 - I_1) = -R(q_2 - 0) \Rightarrow LI_1 = Rq_2 \Rightarrow q_2 = L \frac{I_1}{R} - \text{заряд,}$$

протекший через резистор, после выключения магнитного поля.

$$\Rightarrow \text{всего через резистор протек заряд } q = q_1 + q_2 = \frac{nS_1 B_0}{R} + \frac{LI_1}{R}$$

~~Ответ: 1) $\frac{I_1}{t}$ за всё время, что выключали магнитное поле:
2) нет.~~

Во время выключения магнитного поля: $\mathcal{E}_i = -nS_1 \frac{\Delta B}{\Delta t}$,

$$\mathcal{E}_i = L \frac{\Delta I}{\Delta t} \Rightarrow L \frac{\Delta I}{\Delta t} = -nS_1 \frac{\Delta B}{\Delta t} \Rightarrow L \Delta I = -nS_1 \Delta B - \text{проинтегрируем}$$

это соотношение за всё время τ выключения магнитного

$$\text{поля: } L(I_1 - 0) = -nS_1(0 - B_0) \Rightarrow LI_1 = nS_1 B_0$$

$$\text{Значит, через резистор протек заряд } q = \frac{nS_1 B_0}{R} + \frac{nS_1 B_0}{R} = \frac{2nS_1 B_0}{R}$$

от момента начала выключения поля до момента, когда ток через резистор станет нулевым.



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.

1
☐

2
☐

3
☐

4
☒

5
☐

6
☐

7
☐

СТРАНИЦА
3 из 3

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

3) $LI_1 = n\beta_0 S_1 \Rightarrow L = \frac{n\beta_0 S_1}{I_1}$ - индуктивность катушки.

Ответ: 1) $I' \left(\frac{T}{3} \right) = \frac{I_1}{T}$

2) $q = \frac{2n\beta_0 S_1}{R}$

3) $L = \frac{n\beta_0 S_1}{I_1}$



СТРАНИЦА
1 из 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

№5

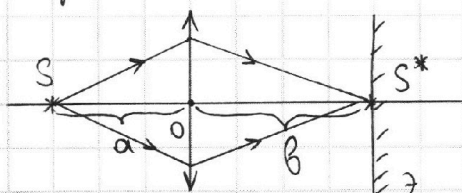
- 1) Оптическая сила тонкой линзы $\mathcal{D}$ вычисляется по формуле:

$\mathcal{D} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \left(\pm \frac{1}{R_1} \pm \frac{1}{R_2}\right)$, где n_2 - показатель преломления среды линзы, n_1 - показатель преломления среды вокруг линзы. $n_1 = 1$, т.к. вокруг воздуха, $n_2 = n$, $R_1 = R$ - радиус кривизны плосковыпуклой тонкой линзы, $R_2 \rightarrow \infty$ (т.к. с другой стороны плоская)

$$\Rightarrow \mathcal{D} = (n-1) \cdot \frac{1}{R}, \quad \mathcal{D} = \frac{1}{F}, \quad \text{где } F - \text{фокусное расстояние}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{F} = \frac{n-1}{R} \Rightarrow F = \frac{R}{n-1}$$

- 2) Рассмотрим каплю как тонкую плосковыпуклую линзу: линза собирающая.



По формуле тонкой линзы

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \Rightarrow \frac{1}{F} = \frac{a+b}{ab}$$

$$\Rightarrow F = \frac{ab}{a+b}$$

Известно, что при $a_1 = 12 \text{ см} \Rightarrow F_1 = \frac{12 \text{ см} \cdot 6 \text{ см}}{12 \text{ см} + 6 \text{ см}} = \frac{12 \cdot 6}{18} \text{ см} = 4 \text{ см},$

$u_1 = 1 \text{ В}, \text{ при } a_2 = 18 \text{ см} \Rightarrow F_2 = \frac{18 \text{ см} \cdot 6 \text{ см}}{18 \text{ см} + 6 \text{ см}} = \frac{18 \cdot 6}{24} \text{ см} = 4,5 \text{ см},$

$u_2 = 2 \text{ В}.$

$$R = F(n-1) \Rightarrow R_1 = F_1(n-1) = 4 \text{ см} \cdot 0,4 = 1,6 \text{ см},$$

$$R_2 = F_2(n-1) = 4,5 \text{ см} \cdot 0,4 = 1,8 \text{ см}. \quad - \text{ радиусы кривизны капли.}$$

Радиус кривизны капли меняется по линейному закону

$$\Rightarrow R = k \cdot u + b, \quad \text{где } k = \text{const и } b = \text{const} - \text{коэффициенты}$$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи** отдельно.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☒ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА

2 из 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

Решим систему:

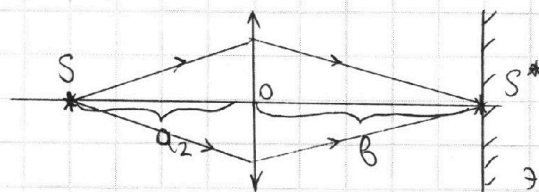
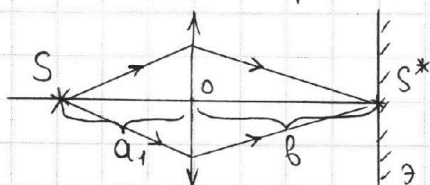
$$\begin{cases} R_1 = k U_1 + b \\ R_2 = k U_2 + b \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 1,6 \text{ см} = k \cdot 1 \text{ В} + b & (1) \\ 1,8 \text{ см} = k \cdot 2 \text{ В} + b & (2) \end{cases} \xrightarrow{\text{вычитаем (2)-(1)}} \begin{cases} 0,2 \text{ см} = k \cdot 1 \text{ В} \\ \Rightarrow k = 0,2 \frac{\text{см}}{\text{В}} \end{cases}$$

$$\Rightarrow b = 1,6 \text{ см} - 1 \text{ В} \cdot 0,2 \frac{\text{см}}{\text{В}} = 1,6 - 0,2 = 1,4 \text{ см}$$

$$\Rightarrow \text{закон } R = 0,2 \frac{\text{см}}{\text{В}} \cdot U + 1,4 \text{ см}$$

Тогда при $U=0$ $R_0 = 1,4 \text{ см}$.

3) Рассмотрим первое и второе изображения:



В первом случае увеличение изображения равно $\Gamma_1 = \frac{b}{a_1} = \frac{6 \text{ см}}{12 \text{ см}} = \frac{1}{2}$.

Во втором случае $\Gamma_2 = \frac{b}{a_2} = \frac{6 \text{ см}}{18 \text{ см}} = \frac{1}{3}$

Значит, в первом случае радиус изображения относится к радиусу светодиска как $\frac{r_1}{r_0} = \frac{1}{2}$, во втором - $\frac{r_2}{r_0} = \frac{1}{3}$ (т.к. светодиск - это шарик - светодиск).

$\Rightarrow \frac{r_1}{r_2} = \frac{3}{2}$. Тогда площади из-лучения относятся как $\frac{S_1}{S_2} = \frac{\pi r_1^2}{\pi r_2^2} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 = \frac{9}{4}$. Тогда освещенности относятся как $\frac{E_1}{E_2} = \frac{S_1}{S_2} = \frac{9}{4}$

Ответ: 1) $F = \frac{R}{n-1}$; 2) $R_0 = 1,4 \text{ см}$

$$3) \frac{E_1}{E_2} = \frac{9}{4}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 2 3 4 5 6 7

СТРАНИЦА
__ ИЗ __

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



черновик

$$\frac{E_{\text{нале}}}{E_{\text{сго}}} = n = \text{const}$$

$$E_{\text{сго}} + \frac{k l_0^2}{2} = 0 + \frac{k \left(\frac{11}{4} l_0\right)^2}{2} \Rightarrow E_{\text{сго}} = \frac{k l_0^2}{2} \cdot \left(\frac{11}{4}\right)^2 - \frac{k l_0^2}{2} = \frac{k l_0^2}{2} \left(\frac{121}{16} - 1\right)$$

$$\frac{121}{16} - \frac{16}{16} = \frac{105}{16}$$

$$\frac{105}{121}$$

$$\frac{7 \cdot 4}{35} = \frac{4}{5}$$

$$\frac{20}{130}$$

$$\frac{105}{16} \cdot \frac{3}{105} = \frac{3}{16}$$

$$130 = 5 \cdot 26 = 5 \cdot 2 \cdot 13$$

$$Q_{41} = C_{41} \cdot dT$$

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{5}{2} \Rightarrow T_4 = \frac{5}{2} T_1$$

$$Q_{41} = C_{41} \cdot d(T_1 - T_4) = C_{41} \cdot d\left(T_1 - \frac{5}{2} T_1\right) = -C_{41} \cdot d \cdot \frac{3}{2} T_1$$

$$\text{процесс 2-3: } Q_{23} = \Delta U_{23} \Rightarrow \frac{1}{2} dR(T_3 - T_2) = -Q$$

$$\text{процесс 3-4: } Q_{34} = C_{34} \cdot d(T_4 - T_3) = 3 dR(T_4 - T_3)$$

$$Q_{34} = \Delta U_{34} + \Delta U_{34}, \quad \frac{6}{2} = \frac{2}{7}, \quad \frac{p_3 V_2}{p_4 V_4} = \frac{T_3}{T_4}$$

$$42 + 30 = 72, \quad \frac{42 + 30}{35} = \frac{72}{35}, \quad Q - 2Q = \frac{72 - 70}{35} = \frac{2}{35} Q, \quad E_1 = \frac{q_0}{\epsilon_0 S} = \frac{E}{\epsilon}$$

$$\frac{72 - 20}{35}$$

$$Q_{12} = 3 dR(T_2 - T_1)$$

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{V_2}{V_4}\right)^2$$

$$\frac{p_1}{V_1} = \frac{p_2}{V_2} \Rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$2Q - \frac{4}{7}Q = \frac{14 - 4}{7}Q = \frac{10}{7}Q$$

$$Q_{34} = 3 dR(T_4 - T_3)$$

$$dR(T_2 - T_3) = \frac{2}{5}Q$$

$$dRT_2 = \frac{2}{5}Q + dRT_3$$

$$dR(T_4 - T_1)$$

$$\frac{q_0}{S} = E \cdot \epsilon, \quad C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$$

$$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3}$$

$$\frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} = \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2$$

$$\frac{U}{d} = \frac{q}{\epsilon d} =$$

$$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3} \Rightarrow \frac{p_2^2}{p_3^2} = \frac{T_2}{T_3}$$

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^2$$

$$= \frac{q}{\epsilon \epsilon_0 S}$$

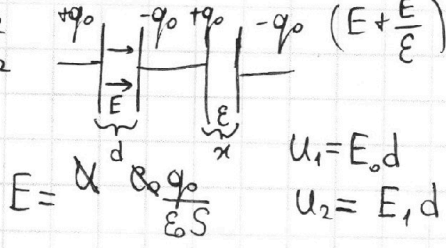
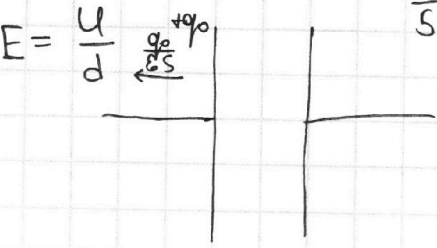
$$Q_{12} + Q_{34} = \frac{2}{35}Q + 2Q = \frac{72}{35}Q$$

$$\frac{T_1 \cdot T_3}{T_2 \cdot T_4} = \left(\frac{V_1 \cdot V_3}{V_2 \cdot V_4}\right)^2$$

$$E_{0d} + E_{1d} = U_0$$

$$\frac{2}{5} \cdot \frac{T_3}{T_2} = \left(\frac{2}{5}\right)^2 \cdot \frac{V_3}{V_2}$$

$$(E + \frac{E}{\epsilon})d = U_0$$



$$U_1 = E_0 d, \quad U_2 = E_1 d$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

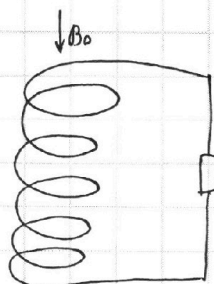
СТРАНИЦА

из

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

сервис

$$I = k \cdot t$$



$$B_0, \Phi = B_0 S_1 \cos 0^\circ = B_0 S_1$$

$$\mathcal{E}_{i1} = -\Phi_1' = -\frac{\Delta B_0}{\Delta t} \cdot S_1$$

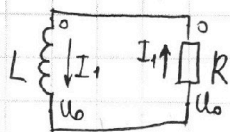
$$\Rightarrow \mathcal{E}_i = n S_1 \left(-\frac{\Delta B_0}{\Delta t} \right)$$

$$\mathcal{E}_i \neq 0 \text{ on } 0 \text{ to } \frac{n S_1 B_0}{T}$$

$$I = \frac{\mathcal{E}_i}{R} = \frac{1}{R} \mathcal{E}_i' \quad \Phi = n B_0 S_1$$

$$\mathcal{E}_i = \frac{n B_0 S_1 - 0}{T} = \frac{n B_0 S_1}{T}, \quad I = \frac{\mathcal{E}_i'}{R} = \frac{1}{R} n B_0 S_1 \left(\frac{T^{-1}}{3} \right)' = \frac{n B_0 S_1}{3R} (-1 T^{-2}) = -\frac{n B_0 S_1}{3R T^2}$$

$$\Delta q R = n \cdot S_1 \Delta B_0 \Rightarrow \Delta q_1 = \frac{n S_1 B_0}{R}$$



$$L I_1' = I_1 R$$

$$L \frac{\Delta I_1}{\Delta t} = -\frac{\Delta q}{\Delta t} R \Rightarrow L \Delta I_1 = -\Delta q R \Rightarrow L I_1 = -q_2 R \Rightarrow q_2 = -\frac{L I_1}{R}$$

$$\frac{3.6}{4} = \frac{3.3}{2}$$

$$\frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \sin \alpha_0}{r^2}$$

$$\frac{I}{n}$$

$$\frac{18.6}{24} = \frac{18}{4} = \frac{9}{2}$$

$$\frac{4.5}{0.4} = \frac{130}{130}$$

$$R = ka + b$$

$$\frac{V}{A} = \left(\frac{n_{\text{ср}}}{n_{\text{пер}}} - 1 \right) \left(\pm \frac{1}{R_1} \pm \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\frac{1}{R} (n-1) \Rightarrow F = \frac{R}{n-1}$$

$$\frac{1.6}{0.4} = \frac{16}{4} = 4$$

$$\frac{1.6}{0.4} = \frac{16}{4} = \frac{8}{2} = 4.5$$

