



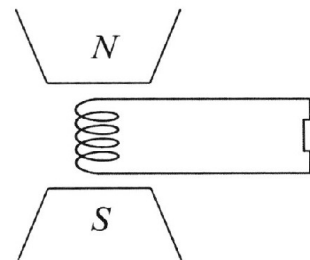
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-05

*В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.*



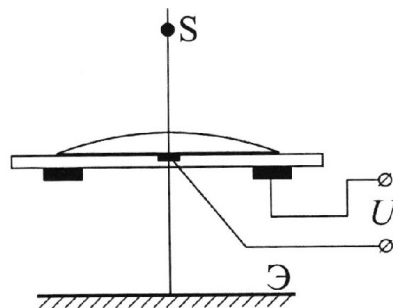
4. Катушка с числом витков n и площадью каждого витка S_1 находится во внешнем однородном магнитном поле с индукцией B_0 . Силовые линии поля направлены перпендикулярно плоскости каждого витка (см. рис.). Концы катушки замкнуты на резистор сопротивлением R . Внешнее поле выключают в течение времени τ . 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.



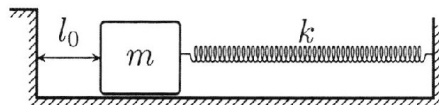
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-05

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



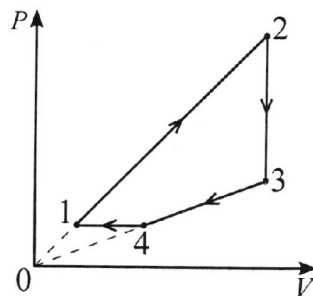
1. Покоящееся на гладкой горизонтальной поверхности тело массой m прикреплено к стене легкой достаточно длинной пружиной жесткостью k . На расстоянии l_0 от тела находится вертикальный уступ, как показано на рисунке. Сжимая пружину на $11l_0/4$, тело придвигают к стене и отпускают без начальной скорости. 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?

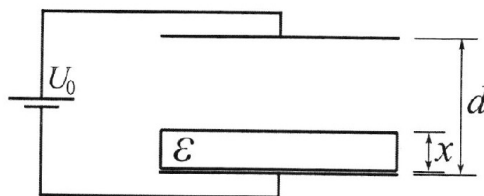
В ответе допустимы обратные тригонометрические функции.

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 $T_4/T_1 = 5/2$.

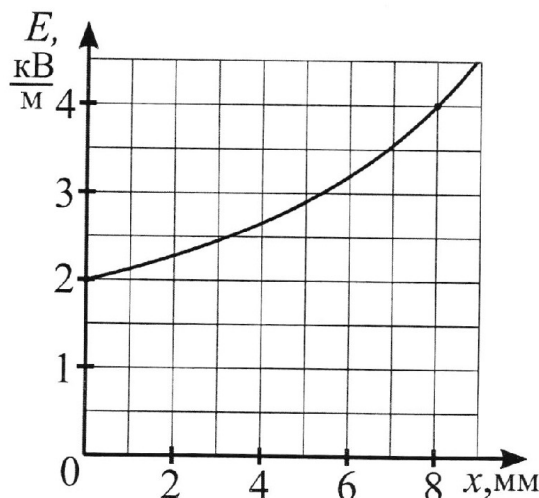


- 1) Найти молярную теплоёмкость газа в процессе 4-1.
- 2) Найти работу газа за цикл.
- 3) Найти КПД цикла.

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.





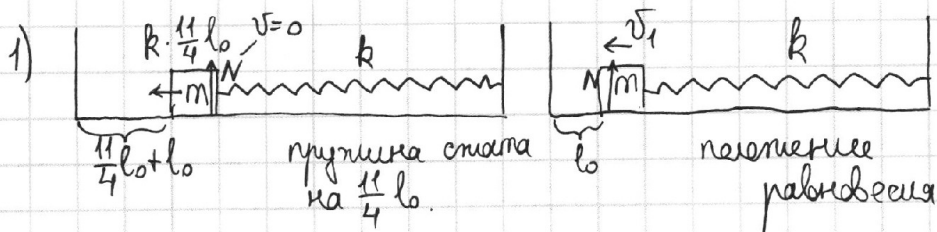
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении **каждой** задачи **отдельно**.

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



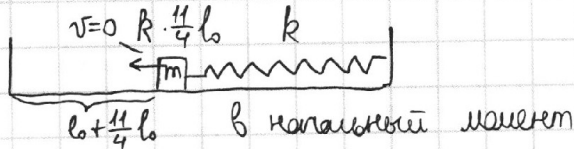
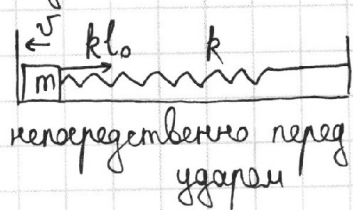
До удара тела о уступ ~~система~~ выполняется закон сохранения энергии для системы «тело + пружина», т.к. работа ~~внешних~~ от поверхности непотенциальных сил равна 0 (сила реакции опоры N на тело действует перпендикулярно $\downarrow$ скорости тела, а пружина не движется) $\Rightarrow$ ЗСЭ: $E_{\text{сист.нач}}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

от положения при статии 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 $\frac{E_{\text{к.после}}}{E_{\text{к.до}}} = \eta = \text{const}$. Рассмотрим систему до первого удара:



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

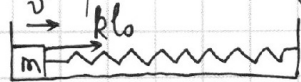


1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

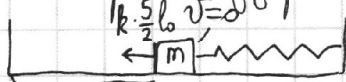
СТРАНИЦА
2 из 4

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 сразу после первого удара:



сразу после удара



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

в момент

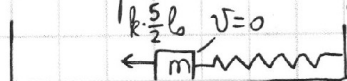
максимального сжатия пружины

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

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

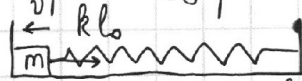
Значит, $\frac{E_{k, \text{после}}}{E_{k, \text{до}}} = n = \frac{E_{k, \text{после}}}{E_{k, \text{до}}} = \frac{\frac{21 k l_0^2}{4}}{\frac{105 k l_0^2}{16}} = \frac{21}{4} \cdot \frac{16}{105} = \frac{21 \cdot 4}{105} = \frac{4}{5}$

Рассмотрим систему перед вторым ударом:



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

в момент так сжатия пружины



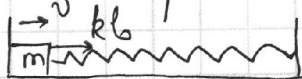
непосредственно перед ударом

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

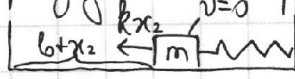
Значит, $E_{k2, \text{после}} = n \cdot E_{k2, \text{до}} = \frac{4}{5} \cdot E_{k2, \text{до}} = \frac{4}{5} \cdot \frac{21 k l_0^2}{4} = \frac{21 k l_0^2}{5}$

$= \frac{21}{5} \cdot \frac{k l_0^2}{2}$ - 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.

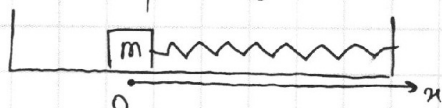
1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
3 из 4

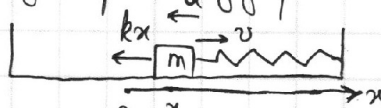
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

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: $x(0) = \frac{11}{4} l_0$, $v(0) = 0$

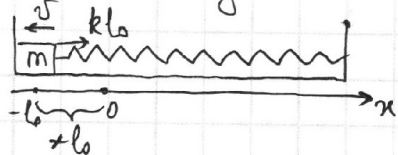
$$x(0) = A \cos(0) + B \sin(0) = A \Rightarrow A = \frac{11}{4} l_0$$

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

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

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 равновесия пружины за то же время, что и от положения равновесия пружины до упора.

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

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

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

статия пружины.

Значит, всего от момента отпущения тела до момента максимального статия 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) $x_2 = \frac{\sqrt{130}}{5} l_0$

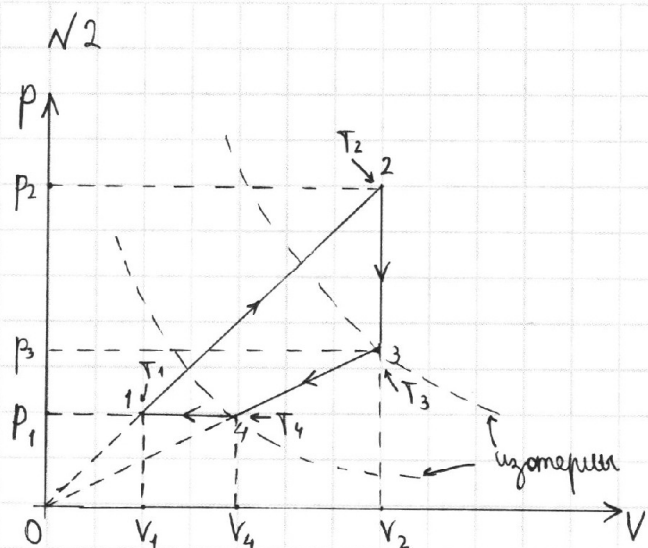
3) $\tau = \sqrt{\frac{m}{k}} \left(\arccos\left(-\frac{4}{11}\right) + \arccos\left(-\frac{2}{5}\right) \right)$



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.



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) $\eta = 4\%$.



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**.

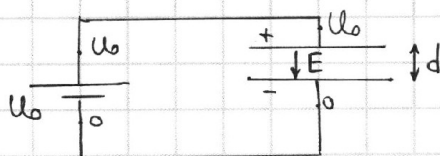
1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 из 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.



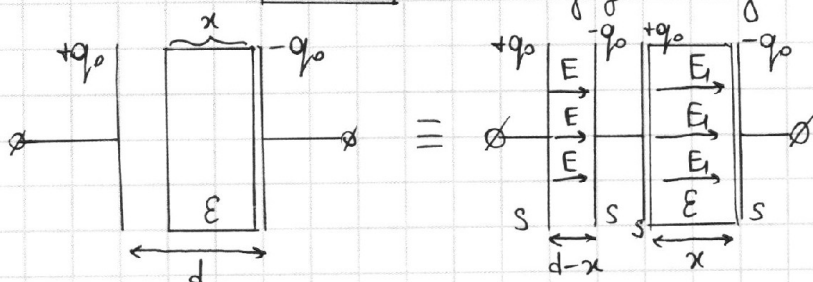
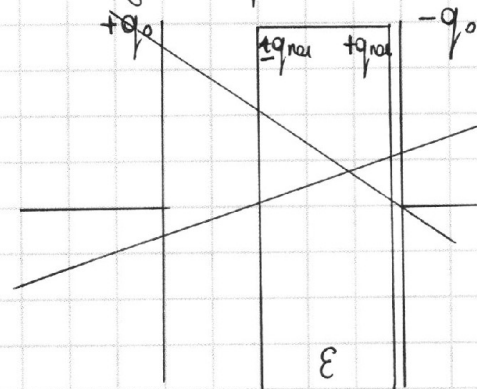
Напряжение на конденсаторе равно U_0 , $E_0 = \frac{U_0}{d}$

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

- 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 $E = 4 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$.

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



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 $E_1 = \frac{q_0}{\epsilon \cdot \epsilon_0 S} = \frac{E}{\epsilon}$.
($E_1 = \frac{U_2}{x} = \frac{q_0}{\epsilon \cdot \epsilon_0 S} = \frac{q_0}{\epsilon \epsilon_0 S} = \frac{q_0}{\epsilon \epsilon_0 S}$)
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) $\epsilon = 4$.



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.



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 изменении 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 ☐

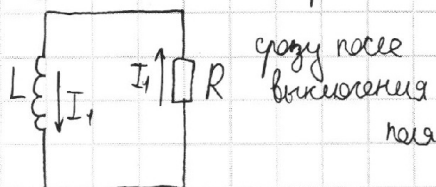
СТРАНИЦА
2 из 3

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

~~Ответ: 1) $\frac{I_1}{\tau}$ за всё время, что выключал 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

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

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) $LI_1 = n\Phi_0 S_1 \Rightarrow L = \frac{n\Phi_0 S_1}{I_1}$ - индуктивность катушки.

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

2) $q = \frac{2n\Phi_0 S_1}{R}$

3) $L = \frac{n\Phi_0 S_1}{I_1}$



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

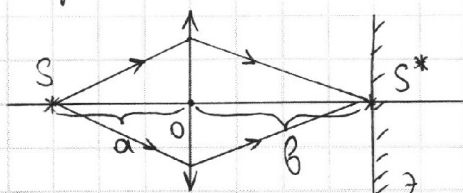
- 1) Оптическая сила тонкой линзы $\mathcal{D}$ вычисляется по формуле:

$\mathcal{D} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \left(\pm \frac{1}{R_1} \pm \frac{1}{R_2}\right)$, 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

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



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:

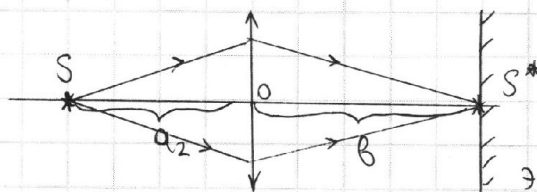
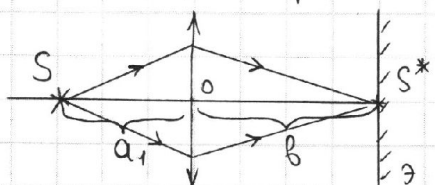
$$\begin{cases} R_1 = k U_1 + b \\ R_2 = k U_2 + b \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 1,6 \text{ см} = k \cdot 1 \text{ В} + b \quad (1) \\ 1,8 \text{ см} = k \cdot 2 \text{ В} + b \quad (2) \end{cases} \xrightarrow{\text{вычитаем (2)-(1)}} \begin{cases} 0,2 \text{ см} = k \cdot 1 \text{ В} \\ \Rightarrow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

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

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

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 светового диска 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

излучения 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

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

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

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

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

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

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

$$\frac{105}{15} \cdot \frac{3}{235} = \frac{21}{105}$$

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

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

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

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

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

$$Q_{34} = \Delta U_{34} + \Delta U_{34}, \quad \frac{6}{21} = \frac{2}{7}, \quad \frac{p_3 V_2}{p_4 V_4} = \frac{T_3}{T_4}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$dR(T_4 - T_1)$$

$$\frac{q_0}{\epsilon_0 S} = E \cdot \epsilon$$

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

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

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

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

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

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

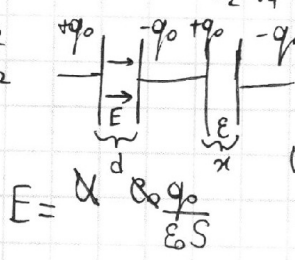
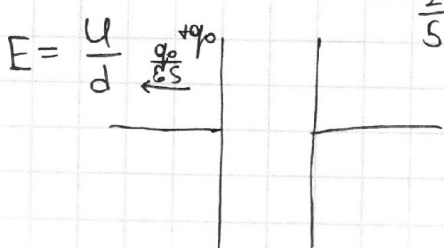
$$Q_{12} + Q_{34} = \frac{2}{35}Q + 2Q = \frac{72}{35}Q$$

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

$$E_0 d + E_1 d = U_0$$

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

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



$$U_1 = E_0 d$$

$$U_2 = E_1 d$$



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 ☐

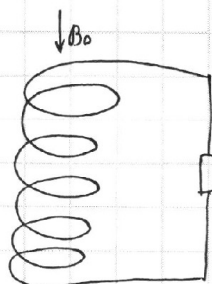
СТРАНИЦА

__ 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

$$I = k \cdot t$$



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

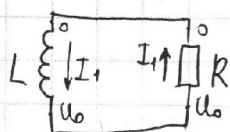
$$\mathcal{E}_{i1} = -\Phi_1' = -\frac{\Delta B_0}{\Delta t} \cdot S_1$$

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

$$\mathcal{E}_i \neq \uparrow \text{ on } 0 \text{ go } \frac{n S_1 B_0}{\tau}$$

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

$$\mathcal{E}_i = \frac{n B_0 S_1 - 0}{\tau} = \frac{n B_0 S_1}{\tau}, \quad I = \frac{\mathcal{E}_i'}{R} = \frac{1}{R} n B_0 S_1 (\tau^{-1})' = \frac{n B_0 S_1}{3R} (-1 \tau^{-2}) = \frac{n B_0 S_1}{3R \tau^2}$$



$$L I_1' = -I_1 R$$

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

$$\frac{3 \cdot 6}{4} = \frac{3 \cdot 3}{2}$$

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

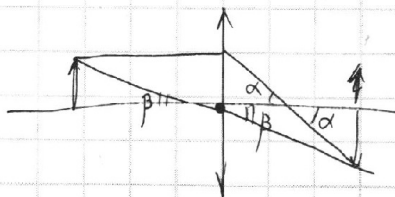
$$\frac{I}{n}$$

$$\frac{18 \cdot 6}{24} = \frac{18}{4} = \frac{9}{2}$$

$$\frac{4 \cdot 5}{0,4} = \frac{20}{0,4} = 50$$

$$R = ka + b$$

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



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

$$\frac{1,6}{0,4} = \frac{16}{4} = 4$$

$$\frac{1,6}{0,4} = \frac{16}{4} = \frac{8}{2} = 4,5$$