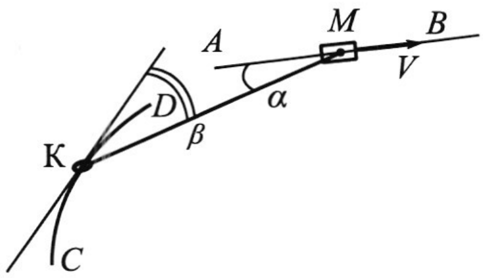
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-02

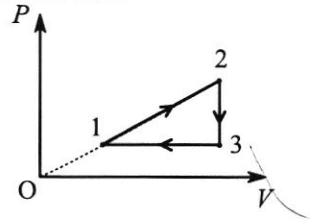
Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без вло:

1. Муфту М двигают со скоростью $V = 40$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1{,}7$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент трос составляет угол $\alpha (\cos\alpha = 3/5)$ с направлением движения муфты и угол $\beta (\cos\beta = 8/17)$ с направлением движения кольца.



1) Найти скорость кольца в этот момент.
2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

2. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из изохоры, изобары и участка прямо пропорциональной зависимости давления P от объема V (см. рис.). Рабочее вещество – одноатомный идеальный газ.



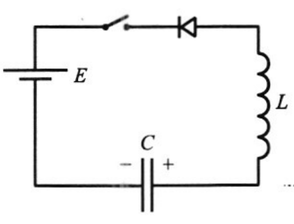
1) Найти отношение молярных теплоемкостей на тех участках цикла, где происходило понижение температуры газа.
2) Найти для процесса 1-2 отношение количества теплоты, полученной газом, к работе газа.
3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.

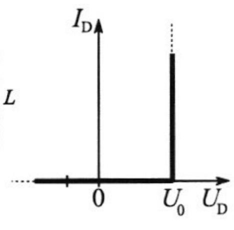
3. Обкладки конденсатора – квадратные металлические сетки, сторона квадрата во много раз больше расстояния d между обкладками. Положительно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается между обкладками на расстоянии $0{,}2d$ от положительно заряженной обкладки. Удельный заряд частицы $\dfrac{q}{m} = \gamma$.

1) Найдите продолжительность T движения частицы в конденсаторе до остановки.
2) Найдите напряжение U на конденсаторе.
3) Найдите скорость V_0 частицы на бесконечно большом расстоянии от конденсатора.

При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 3$ В, конденсатор емкостью $C = 20$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 6$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0{,}2$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ В. Ключ замыкают.

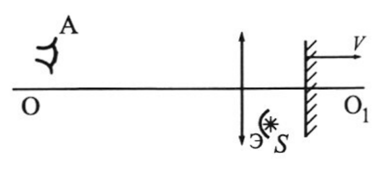




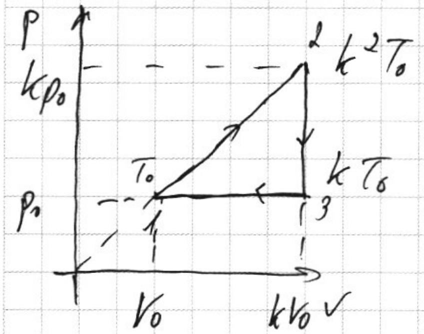
1) Найти скорость возрастания тока сразу после замыкания ключа.
2) Найти максимальный ток после замыкания ключа.
3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.

5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F, плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO$_1$ линзы. Источник S находится на расстоянии $8F/15$ от оси OO$_1$ и на расстоянии плоскости $F/3$ от линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO$_1$. В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии F от линзы.

1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель А сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?
2) Под каким углом α к оси OO$_1$ движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)
3) Найти скорость изображения в этот момент.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



№2

Дано: $i=3$

Найти: 1) $\frac{C_1}{C_2}$ - ?, где

C_1, C_2 - молярная теплоёмкость газа на тех участках, где $T\downarrow$

2) $\frac{Q_{12}}{A_{12}}$ - ? 3) η_{max} - ?

Решение:

1) Пусть давление в точке ~~о~~ 1 равно p_0, а объём - V_0; И в ~~точке~~ процессе 1-2: объём увеличился в k раз, тогда $p_2 = kp_0$, т.к. в процессе 1-2: $p \sim V$.

2) Из графика видно, что температура понижается в процессах 2-3, и 3-1 (переходят на более низкую изотерму). Пусть $C_{23} = C_1$, а $C_{31} = C_2$.

3) Рассмотрим процесс 2-3:

по первому началу термодинамики:

$Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23}$; т.к. этот процесс изохорный, то $A_{23} = 0 \Rightarrow$

$Q_{23} = \Delta U_{23}$;

$\Delta U_{23} = \frac{i}{2} \nu R \Delta T$;

Запишем ур-ние Менделеева Клайперона для точек 1, 2, 3:

1: $p_0 V_0 = \nu R T_0$ (1) (ввели температура в точке 1 равную T_0)

2: $k p_0 k V_0 = \nu R T_2$ (2)

3: $p_0 k V_0 = \nu R T_3$. (3)

(2) ÷ (1): $k^2 = \frac{T_2}{T_0} \Rightarrow T_2 = k^2 T_0$

(3) ÷ (1): $k = \frac{T_3}{T_0} \Rightarrow T_3 = k T_0$

Тогда ~~ΔU_{23}~~ $\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \frac{3}{2} \nu R (k T_0 - k^2 T_0) =$

$= \frac{3}{2} \nu R T_0 k (1-k) \Rightarrow$

$Q_{23} = \frac{3}{2} \nu R T_0 k (1-k)$

$C_1 = C_{23} = \frac{Q_{23}}{\nu \Delta T} = \frac{3}{2} R \frac{T_0 k (1-k)}{(k T_0 - k^2 T_0)} = \frac{3}{2} R$

4) Рассмотрим процесс 3-1:

по первому началу термодинамики:

$Q_{31} = A_{31} + \Delta U_{31}$;

$A_{31} = -S_{гр}$, где $S_{гр}$ - площадь под ~~пр~~ отрезком 3-1 в графике; $S_{гр} = p_0 (k V_0 - V_0) = p_0 V_0 (k-1) \Rightarrow A_{31} = p_0 V_0 (1-k)$

$\Delta U_{31} = \frac{i}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} \nu R (T_0 - k T_0) = \frac{3}{2} \nu R T_0 (1-k)$;

из ур-ния Менд.-Клайперона для первой точки:

$p_0 V_0 = \nu R T_0 \Rightarrow$ $\Delta U_{31} = \frac{3}{2} \nu R T_0 (1-k) = \frac{3}{2} p_0 V_0 (1-k)$

$Q_{31} = A_{31} + \Delta U_{31} = p_0 V_0 (1-k) + \frac{3}{2} p_0 V_0 (1-k) = \frac{5}{2} p_0 V_0 (1-k) = \frac{5}{2} \nu R T_0 (1-k)$

☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№2 (продолжение)

$$C_2 = C_{31} = \frac{Q_{31}}{\nu \Delta T} = \frac{\frac{5}{2}\nu R T_0(1-k)}{\nu(T_0 - kT_0)} = \frac{5}{2}R$$

5) $$\boxed{\frac{C_1}{C_2} = \frac{\frac{3}{2}R}{\frac{5}{2}R} = \frac{3}{5}}$$

6) Рассмотрим процесс 1-2:

по первому началу термодинамики:

$Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12}$;

$A_{12} = S^*_{тр}$, где $S^*_{тр}$ - площадь под отрезком 1-2 в графике. $S^*_{тр} = \frac{p_0 + kp_0}{2}(kV_0 - V_0) = \frac{p_0V_0}{2}(k^2-1)$; $A_{12} = \frac{p_0V_0}{2}(k^2-1)$

$$\Delta U_{12} = \frac{i}{2}\nu R\Delta T = \frac{3}{2}\nu R(k^2T_0 - T_0) = \frac{3}{2}\nu RT_0(k^2-1) = \frac{3}{2}p_0V_0(k^2-1);$$

$$Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12} = \frac{p_0V_0}{2}(k^2-1) + \frac{3}{2}p_0V_0(k^2-1) = 2p_0V_0(k^2-1)$$

$$\boxed{\frac{Q_{12}}{A_{12}} = \frac{2p_0V_0(k^2-1)}{\frac{p_0V_0(k^2-1)}{2}} = 4}$$

7) $\cancel{\eta_{max}} = \eta = \frac{A_\Sigma}{Q_H}$, где A_Σ - работа газа за цикл

Q_H - полученное газом тепло за цикл

В данном цикле: $Q_{23} = \Delta U_{23} < 0$; $Q_{31} = A_{31} + \Delta U_{31}$ и т.к. $A_{31} < 0$ и $\Delta U_{31} < 0$, то и $Q_{31} < 0$; $Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12}$

$A_{12} > 0$ и $\Delta U_{12} > 0 \Rightarrow Q_{12} > 0$

Значит $Q_н = Q_{12} = 2p_0V_0(k^2-1)$

$A_\Sigma = S_{тр}^{**}$, где $S_{тр}^{**}$ – площадь фигуры на графике ограниченная ~~прямыми~~ отрезками, задающими цикл.

$S_{тр}^{**} = \frac{1}{2}(kp_0 - p_0)(kV_0 - V_0) = \frac{1}{2}p_0V_0(k-1)^2$

Получается $\eta = \frac{A_\Sigma}{Q_н} = \frac{\frac{1}{2}p_0V_0(k-1)^2}{2p_0V_0(k^2-1)} = \frac{(k-1)^2\cancel{(k+1)}}{4(k-1)(k+1)}$,

на $(k-1)$ можно сократить, т.к. $k \neq 1$ иначе бы точка 2 совпала с первой. Получаем:

$\eta = \frac{k-1}{4(k+1)} = \frac{k-1}{4k+4} = \frac{4k+4-3k-5}{4k+4} = 1 - \frac{3k+5}{4k+4}$;

$\eta = \eta_{max}$, когда $\left(1 - \frac{3k+5}{4k+4}\right)$ – максимально ~~k~~=const, поэтому надо, чтобы $\frac{3k+5}{4k+4}$ было минимально.

При увеличении k знаменатель растёт ~~бы~~ быстрее числителя, поэтому дробь минимальна когда $k \to \infty$ $\lim\limits_{k\to\infty} \frac{3k+5}{4k+4} = \lim\limits_{k\to\infty} \frac{3+\frac{5}{k}}{4+\frac{4}{k}} = \frac{3+0}{4+0} = \frac{3}{4}$;

Получается $\eta_{max} = 1 - \frac{3}{4} = \frac{1}{4} = 25\%$.

Ответ: 1) $\frac{C_1}{C_2} = \frac{3}{5}$ 2) $\frac{Q_{12}}{A_n} = 4$ 3) $\eta_{max} = 25\%$.

☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

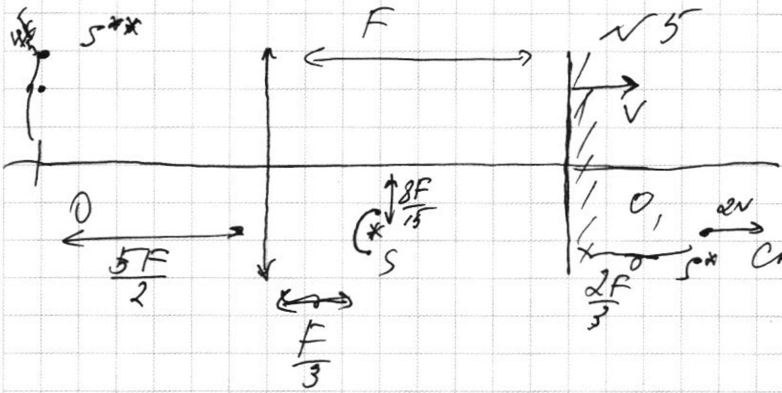
Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№5



1) Свет от источника может попасть сначала толь на зеркало

2) Рассмотрим S^* – ~~изо~~ мнимое изобр. действительного предмета S в зеркале.

d_1 – расстояние от источника S до зеркала

$d_1 = F - \frac{F}{3} = \frac{2F}{3}$; изобр. S^* будет симметрично ~~отн.~~ расположенно отн. плоскости зеркала; на расстоянии $l = d_1 = \frac{2F}{3}$, от линзы справа и $x = \frac{8F}{15}$ от оси OO_1.

Чтобы понять какая скорость будет у изображения перейдём в СО линзы.

~~В ней скорость изоб источника S $\vec{V}_S = \vec{V}_{абс} - \vec{V}_{отн}$~~ ~~направлена влево~~, тогда скорость изобр. ~~$V_{S^*} = V$~~, но направлена ~~вправо (всё же симметрично). Вернёмся в СО Земли~~

~~В ней~~ тогда по закону сложения скоростей $\vec{V}_{S абс} = \vec{V}_{S отн} + \vec{V}$, где $\vec{V}_{S абс}$ и $\vec{V}_{S отн}$ – скорости источника S относительно земли и линзы соответственно

Откуда $\vec{V}_{S\,отн} = \vec{V}_{S\,абс} - \vec{V} = \vec{0} - \vec{V} = -\vec{V}$. Получается скорость источника $V_{S\,отн} = V$ и направлена влево, Тогда ~~α~~ скорость его изобр относительно линзы $V_{S^*\,отн} = V$, но направлена вправо (это же зеркало). Вернёмся в СО земли. По закону сложения скоростей $\vec{V}_{S^*\,абс} = \vec{V}_{S\,отн} + \vec{V} = 2\vec{V}$, где $\vec{V}_{S^*\,абс}$ – скорость S^* относительно ~~з~~ земли.

~~3~~ ③ Рассмотрим ~~изображение S^{**}~~

изображение S^{**} ~~предм~~ действительного предмета S^* (т.к от S^* на линзу падает расходящийся пучок лучей) в линзе:

Расстояние от S^* до линзы $d_2 = F + l = F + \frac{2F}{3} = \frac{5F}{3} > F \Rightarrow$ изобр будет действительным и перевёрнутым.

По формуле тонкой линзы:

$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2}$, где f_2 – расстояние от S^{**} до линзы. $\frac{1}{f_2} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d_2} = \frac{d_2 - F}{d_2 F}$, $\boxed{f_2} = \frac{d_2 F}{d_2 - F} = \frac{\frac{5F}{3} F}{\frac{5F}{3} - F} = \frac{\frac{5F^2}{3}}{\frac{2F}{3}} = \boxed{\frac{5F}{2}}$. Найдём поперечное увеличение

$\Gamma = \frac{f_2}{d_2} = \frac{\frac{5F}{2}}{\frac{5F}{3}} = \frac{3}{2}$,

Найдём начальное расстояние y от оси OO, значения S^{**}: $\frac{y}{x} = \Gamma \Rightarrow y = \Gamma x$, ~~тогда~~ $y = \frac{3}{2} \cdot \frac{8F}{15} = \frac{4F}{5}$

В СО линзы, а т.к. скорость линзы $V_Л = 0$, то и в СО земли скорости предмета и его изображения

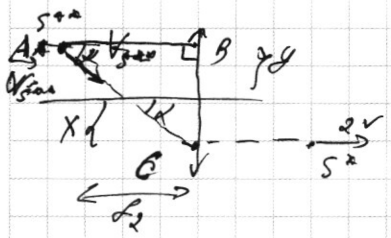
☐ черновик ☐ чистовик Страница №__

(Поставьте галочку в нужном поле) (Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№5 (продолжение)

либо параллельны линзе, либо пересекаются в точке на ней. (или их продолжение ~~скоростей~~ направлений скоростей)

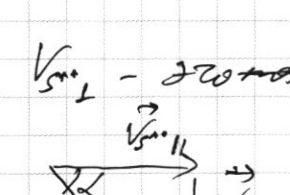


Также продольные скорости совпадают по направлению, и относятся как Γ^2, откуда продольная скорость S^{**} $V_{S^{**}\parallel} = 2V\cdot\Gamma^2 = 2V\left(\frac{3}{2}\right)^2 = \frac{9V}{2}$;

Найдём под каким углом α к оси OO_1 направлена $\vec{V}_{S^{**}}$;

Из ~~треугольника~~ геометрии: ~~треугольник у которого одна~~ в $\angle ABC$: $\boxed{tg\alpha = \frac{x+y}{\ell_2} = \frac{\frac{8F}{15}+\frac{4F}{5}}{\frac{5F}{2}} = \frac{\left(\frac{8F}{15}+\frac{4F}{5}\right)\frac{30}{F}}{\left(\frac{5F}{2}\right)\frac{30}{F}} = \frac{16+24}{75} = \frac{40}{75} = \frac{8}{15}}$;

Рассмотрим треугольник $\vec{V}_{S^{**}} = \vec{V}_{S^{**}\parallel} + \vec{V}_{S^{**}\perp}$, где $V_{S^{**}\perp}$ - ~~это тот~~ поперечная скорость S^{**}:



$V_{S^{**}} = \frac{V_{S^{**}\parallel}}{\cos\alpha}$; $\cos\alpha = \sqrt{\frac{1}{1+tg^2\alpha}} = \sqrt{\frac{1}{1+\left(\frac{8}{15}\right)^2}} = \frac{15}{17}$; $V_{S^{**}} = \frac{9V}{2}\cdot\frac{17}{15} = \frac{51V}{10} = 5{,}1V$;

Ответ: 1) $\ell_2 = \frac{5F}{2}$; 2) $tg\alpha = \frac{8}{15}$; 3) $V_{S^{**}} = 5{,}1V$

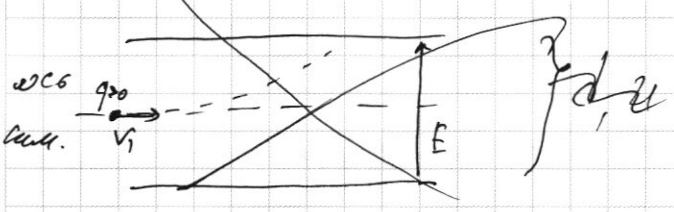
☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

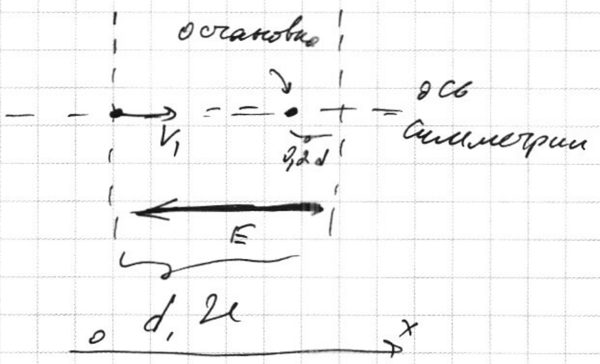
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 3

Вид сбоку:



Вид сбоку:



Решение:

1) Пусть напряжение между обкладками равно U, тогда напряжённость поля внутри $E = \frac{U}{d}$;

2) Частица летела против $\vec{E}$, иначе бы она не остановилась

3) По 2 ЗН: $\vec{R} = m\vec{a}$; В нашем случае $\vec{R} = \vec{F_э} = \vec{E}q$; на ось Ox: $-Eq = ma_x \Rightarrow a_x = \frac{-Eq}{m}$;

$a_x = \frac{-U\gamma}{d}$; $a_x = \frac{-U\gamma}{d} = const \Rightarrow$ верны формулы РУД: $\frac{V_1 + 0}{2} T = (d - 0{,}2d) = 0{,}8d \Rightarrow$

$\boxed{T = \frac{0{,}8d \cdot 2}{V_1} = \frac{1{,}6d}{V_1}}$, а также $0^2 - V_1^2 = 2 \cdot a_x \cdot (d - 0{,}2d)$

$a_x = \frac{-V_1^2}{2 \cdot 0{,}8d} = \frac{-V_1^2}{1{,}6d}$; Подставим a_x:

$\frac{-U\gamma}{d} = \frac{-V_1^2}{1{,}6d} \Rightarrow \boxed{U = \frac{V_1^2}{1{,}6\gamma}}$

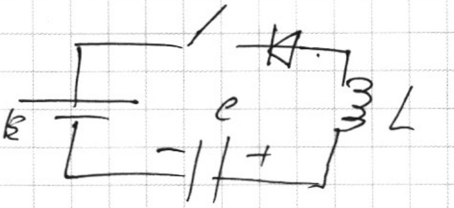
4) Снаружи конденсатора поля нет ⇒ $\Delta\varphi = 0 \Rightarrow \varphi_\infty = \varphi_1$, где $\varphi_\infty, \varphi_1$ – потенциал в точке, удалённой на бесконечно большое расстояние от конденсатора, и в точки на обкладки конденсатора, где частица имела скорость V_1; тогда по ЗСЭ:

$$\frac{mV_0^2}{2} + q\varphi_\infty = q\varphi_1 + \frac{mV_1^2}{2},$$ где q - заряд частицы ⇒

$$V_0^2 = V_1^2 \Rightarrow V_0 = V_1$$

Ответ: 1) $T = \frac{1,6d}{V_1}$ 2) $U = \frac{V_1^2}{1,6\gamma}$ 3) $V_0 = V_1$

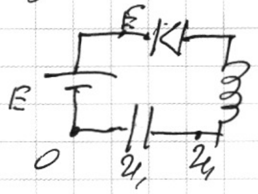
№4



Дано: $\mathcal{E} = 3$ В; $C = 20$ мкФ; $U_1 = 6$ В; $L = 0,2$ Гн; $U_0 = 1$ В;

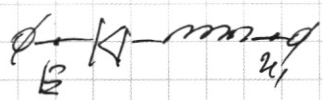
Найти: 1) $I_L'(0)$ - ? 2) I_{max} - ? 3) U_2 - ?

Решени.: 1) Рассмотрим цепь сразу после замыкания ключа: Напряжение на конденсаторе



скачком не изменится $U_C(0) = U_1$ ~~Рассмотрим~~ Метод потенциалов:

$\varphi = 0$ возьмём между конденсатором и источником. Тогда на участке цепи (диод+катушка)



Напряжение больше со стороны катушки, и в последующие моменты ток потечёт в направлении катушка → диод ⇒ диод открыт и $U_D = U_0$. Тогда $U_L = U_1 - (\mathcal{E} - U_0)$;

☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

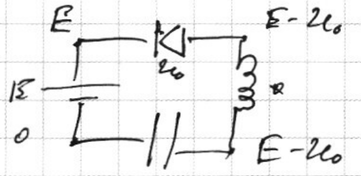
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№4 (продолжение)

Также напряжение на катушке с постоянной индуктивностью $U_L = LI'$ $\Rightarrow I' = \frac{U_L}{L}$

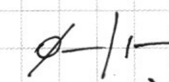
Подставим U_L: $I' = \frac{U_1 - E - U_0}{L} = \frac{6В - 3В - 1В}{0{,}2Гн} = \frac{2В}{0{,}2Гн} = \boxed{10\ А/с}$

2) Рассмотрим цепь когда по цепи течёт ток $I = I_{max}$: в этот момент ~~U_L~~ $U_L = LI' = 0$, ~~т.к. $I = I_{ma}$~~ т.к. $I' = 0$, если $I = I_{max}$



Также если в цепи есть ток, то диод открыт и $U_D = U_0$.

По методу потенциалов: $U_C^* = E - U_0 = 3В - 1В = 2В$.

~~Расс~~ Найдём какой заряд протёк через источник  – обкладка конденсатора, на ней был заряд $q(0) = -C\,U_C(0) = -CU_1$, а стал $q^* = -CU_C^*$, т.к. $U_C^* < U_1$ $(2В < 6В)$, то $q(0) < q^*$

Получается заряд протекал на обкладку, а протёкший заряд $\Delta q = q^* - q(0) = -CU_C^* - (-CU_1) = C(U_1 - U_C^*)$

для процесса от замыкания ключа до рассмотр. момента

Тогда по ЗСЭ: $A_б = \Delta W + Q$, резисторов в цепи нет, поэтому $Q = 0$.

$A_б$ – работа источника, $A_б = -E\Delta q$, т.к. заряд протёк против направления действия сторонних сил

$A_б = -C(U_1 - U_c^*)\mathcal{E} = -20\,мкФ\,(6В - 2В)\cdot 3В = -20\,мкФ\cdot 4В\cdot 3В =$
$= -20\cdot 12\,мкДж = -240\,мкДж.$

$\Delta W = W(2) - W(0)$, где $W(0)$, $W(2)$ – ~~закопленна~~ накопленна в цепи энергия в начальный момент и в момент когда $I = I_{max}$, соответственно

$W(0) = \frac{CU_1^2}{2} + \frac{L\cdot 0^2}{2} = \frac{CU_1^2}{2} = \frac{20\,мкФ\cdot(6В)^2}{2} = 20\cdot 18\,мкДж =$
$= 360\,мкДж.$

$W(2) = \frac{CU_c^{*2}}{2} + \frac{LI_{max}^2}{2}$; $\frac{CU_c^{*2}}{2} = \frac{20\,мкФ\cdot(2В)^2}{2} = 40\,мкДж$

Подставляя всё в ЗСЭ, получаем:

$-240\,мкДж = 40\,мкДж + \frac{LI_{max}^2}{2} - 360\,мкДж$

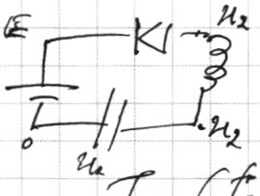
$\frac{LI_{max}^2}{2} = (360 - 40 - 240)\,мкДж = 80\,мкДж$

I_{max}. Пусть $Q_0 = 80\,мкДж$, тогда $\frac{LI_{max}^2}{2} = Q_0 \Rightarrow$

$\boxed{I_{max}} = \sqrt{\frac{2Q_0}{L}} = \sqrt{\frac{2\cdot 80\,мкДж}{0{,}2\,мГн}} = \sqrt{800}\,A = 20\sqrt{2}\,A \approx$

$\approx 20\cdot 1{,}41 = 20 + 8 + 0{,}2 = \boxed{28{,}2\,A}$

3 Рассмотрим цепь в установившемся состоянии



U_c ~~Пусть в этот~~ Обозначим этот момент $t = t_{уст}$, когда ~~$U_C(t_{уст}) = 0$~~ и $I_C(t_{уст}) = 0$ (ток через конденсатор) и $U_L(t_{уст}) = 0$ (напряжение на катушке); т.к. $I_C = 0$ и все эл-менты ~~подключены~~ соединены последовательно, то ток в цепи отсутствует. ~~Пусть в этот~~ Найдём заряд протёкший через источник в этом случае.

φ —||—| обкладка конденсатора: был заряд $q(0) = CU_1$, стал $q^{**} = -CU_2$; (напряжение на конденсаторе именно такой полярности

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№4 (продолжение

т.к. иначе бы току пришлось течь ~~на~~ против в ~~д~~ закрытого диода а такое невозможно)

~~Тогда~~ Очевидно $U_2 < U_1 \Rightarrow q^* = -CU_2 > q(0) = -CU_1$

Значит протёкший заряд $\Delta q^* = -CU_2 - (-CU_1) = C(U_1 - U_2)$ против направления действия сторонних сил источника $\Rightarrow A_Б^* = -E\Delta q^* = -EC(U_1 - U_2)$

По ЗСЭ от момента, когда замкнули ключ K_3 до момента, когда в цепи наступило установившееся состояние:

$A_Б^* = \Delta W^* + Q$; резисторов в цепи нет $\Rightarrow Q = 0$; $\Delta W^* = W(t_{уст}) - W(0)$,

$W(t_{уст}) = \frac{CU_2^2}{2}$; $W(0) = \frac{CU_1^2}{2}$; Подставим в ЗСЭ:

$-EC(U_1 - U_2) = \frac{CU_2^2}{2} - \frac{CU_1^2}{2} \Big| \cdot \frac{2}{C}$;

$-2E(U_1 - U_2) = U_2^2 - U_1^2$; $U_2^2 - 2EU_2 - U_1^2 + 2EU_1 = 0$

$D = (2E)^2 - 4(2EU_1 - U_1^2) = 4E^2 + 4U_1^2 - 8EU_1 = 4(E^2 + U_1^2 - 2EU_1) = 4(E - U_1)^2 = 4(U_1 - E)^2$

$U_2 = \frac{2E \pm \sqrt{4(U_1 - E)^2}}{2} = E \pm |U_1 - E|$; $\left[\begin{array}{l} U_2 = U_1 = 6В \\ U_2 = 2E - U_1 = 0В \end{array}\right.$

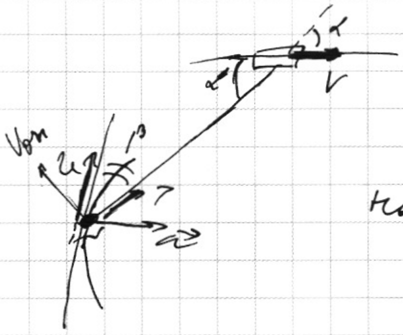
$U_2 = U_1 = 6В$, соответствует начальному моменту $\Rightarrow$

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

$U_2 = 0\,B$

Ответ: 1) $I'(0) = 10$ А/с 2) $I_{max} = 28,2$ А 3) $U_2 = 0$ В

№1



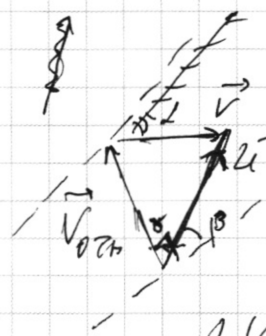
1 Т.к муфта и кольцо связаны тросом, то ~~их скоростей~~ проекции их скоростей на ось троса ~~совпадают~~ равны:

$V\cos\alpha = u\cos\beta$, $\boxed{u} = \frac{V\cos\alpha}{\cos\beta} = \frac{40 см/с \cdot 3}{8 \cdot 5} \cdot 17 =$

$= \boxed{51 см/с}$,

2 Перейдём в СО муфты, по ЗСС:

$\vec{V}_{абс} = \vec{V}_{отн} + \vec{V}$, где $V_{абс}$ - скорость кольца относительно земли, а $\vec{V}_{отн}$ - относительно муфты: $\vec{V}_{отн} = \vec{V}_{абс} - \vec{V} = \vec{u} - \vec{V} = \vec{u} + (-\vec{V})$



Введём угол γ - $\vec{V}_{отн}$ между $\vec{V}_{отн}$ и прямой ~~паралл~~ параллельной проводу. тогда:

$\begin{cases} V_{отн}\sin\gamma = V\sin\alpha + u\sin\beta \\ V_{отн}\cos\gamma = u\cos\beta - V\cos\alpha \end{cases} \Rightarrow tg\,\gamma = \frac{V\sin\alpha + u\sin\beta}{u\cos\beta - V\cos\alpha}$;

$\sin\alpha = \sqrt{1-\cos^2\alpha} = \sqrt{1-(\frac{3}{5})^2} = \frac{4}{5}$; $\sin\beta = \sqrt{1-\cos^2\beta} =$

$= \sqrt{1-(\frac{8}{17})^2} = \frac{15}{17}$; $tg\,\gamma = \frac{40 см/с \cdot \frac{4}{5} + 51 см/с \cdot \frac{15}{17}}{51 см/с \cdot \frac{8}{17} - 40 см/с \cdot \frac{3}{5}} = \frac{32+45}{24-24}$,

Т.к. $u\cos\beta - V\cos\alpha = 0$, то $\cos\gamma = 0 \Rightarrow \gamma = \frac{\pi}{2}$, $\Rightarrow \sin\gamma = 1 \Rightarrow$

$\boxed{V_{отн} = V\sin\alpha + u\sin\beta = \cancel{32+} 40 см/с \cdot \frac{4}{5} + 51 см/с \cdot \frac{15}{17} = (32+45) см/с = 77 см/с}$. В этой СО: муфта неподвижна, а скорость кольца $\vec{V}_{отн} \perp$ тросу $\Rightarrow$ кольцо движется по окружности (в этой СО) радиуса $r = \frac{17R}{15}$

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1 (продолжение)

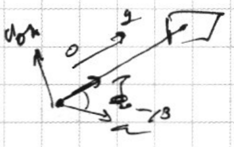
По 2ЗН: $\vec{R} = m\vec{a}$, в нашем случае:

~~$\vec{R} = \vec{T}$ - сила натяжения троса, а $\vec{a}$ = ускорение~~

~~$a = a_{ц.с.} = \frac{V_{отн}^2}{17R}$ $\frac{V_{отн}^2 \cdot 15}{17R}$, Имеем:~~

~~$T = \frac{m15V_{отн}^2}{17R} = \frac{m \cdot 15\,(77\,см/с)^2}{17 \cdot 1{,}7\,м} =$~~

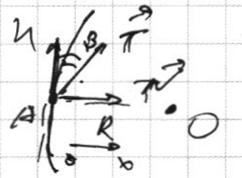
$\vec{R} = \vec{T} + \vec{N}$, где $\vec{T}$ — сила натяжения троса, а $\vec{N}$ — сила реакции со стороны проволоки: тогда: на ось оу: 2ЗН:



$$T + N\cos(90-\beta) = m a_{ц.с.}, \text{ где}$$

$a_{ц.с.}$ — это центро-стремительное ускорение, обусловленное тем, что $V_{отн} \perp$ тросу и $a_{ц.с} = \frac{V_{отн}^2}{l} = \frac{15V_{отн}^2}{17R}$ (колечко движется по окружности с центром в муфте (проволоки))

В СО земли: скорость колечка $\vec{u} \perp$ радиусу проведённому в точку, где находится колечко (точка касания) на . Тогда 2ЗН в проекции на ox:



$$N + T\sin\beta = m a^*_{ц.с}, \text{ где}$$

$a^*_{ц.с}$ - центро стремительное ускорение (колечко движется по окружности с центром в O) обусловленное тем, что $\vec{u} \perp AO$: $a^*_{ц.с} = \frac{u^2}{R}$

Имеем $\begin{cases} T + N\sin\beta = \frac{15mV_{отн}^2}{17R} \Rightarrow N = \frac{15mV_{отн}^2}{17R\sin\beta} - \frac{T}{\sin\beta} \\ N + T\sin\beta = \frac{mu^2}{R} \end{cases}$

Подставим найденое N во второе ур-ние:

$\frac{15 m V_{отн}^2}{17 R \sin\beta} - \frac{T}{\sin\beta} + T\sin\beta = \frac{m u^2}{R}$; Используем, то

что $\sin\beta = \frac{15}{17}$;

$$\frac{15 m V_{отн}^2}{17R}\cdot\frac{17}{15} - \frac{17T}{15} + \frac{15T}{17} = \frac{m u^2}{R}$$

$$\frac{m V_{отн}^2}{R} - T\left(\frac{17}{15} - \frac{15}{17}\right) = \frac{m u^2}{R}$$

$$T\cdot\frac{17^2-15^2}{15\cdot17} = \frac{m}{R}\left(V_{отн}^2 - u^2\right)$$

$$T\cdot\frac{289-225}{170+85} = \frac{m}{R}\cancel{(77^2-51^2)}\left(V_{отн}^2 - u^2\right)$$

$$T\,\frac{64}{255} = \frac{m}{R}\left(V_{отн}^2 - u^2\right)$$

$$T = \frac{255m}{64R}\left(V_{отн}^2 - u^2\right) = \frac{255\cdot 1кг}{64\cdot 1{,}7м}\left(77^2(см/с)^2 - 51^2(см/с)^2\right)$$

$$= \frac{15\cdot17\cdot1кг}{64\cdot1{,}7м}\cdot 3328(см/с)^2 =$$

$$= \frac{150}{64}\cdot 3328\cdot10^{-4}Н = \frac{150}{8}\cdot 416\cdot10^{-4}Н =$$

$$= 150\cdot52\cdot10^{-4}Н = 15\cdot52\cdot10^{-3}Н =$$

$$= 15\cdot52\ мН = 780\ мН$$

Ответ: 1) $u = 51$ см/с

2) $V_{отн} = 77$ см 3) $T = 780\cdot10^{-3}$ Н

Расчёты:

77^2: $\cancel{77\times77}$

$77^2 = (80-3)^2 = 6400 - \cancel{240}\,480 + 9 = 5929$

$51^2 = (50+1)^2 = 2500 + 100 + 1$

$= 2601$

$5929 - 2601 = 3328$

$3328 : 8 = 416$

$416 : 8 = 52$

128×26: $768 + 256 = 3328$

52×15: $260 + 52 = 780$