

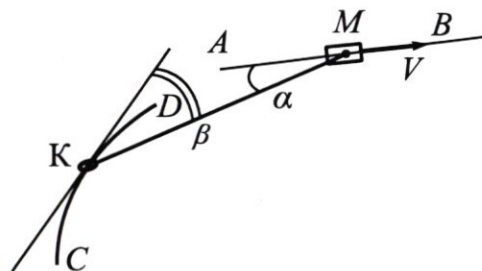
Олимпиада «Физтех» по физике, 11 класс

Вариант 11-03

Класс 11

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без бланка не принимаются.

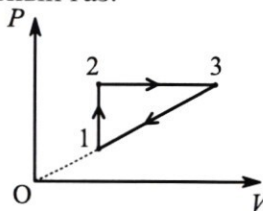
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 34$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,3$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 0,53$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/4$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент нить составляет угол α ($\cos \alpha = 15/17$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 3/5$) с направлением движения кольца.



- ✓ 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- ✓ 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- ✓ 3) Найти силу натяжения нити 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 повышение температуры газа.
- ✓ 2) Найти в изобарном процессе отношение изменения внутренней энергии газа к работе газа.
- ✓ 3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки, радиус обкладок намного больше расстояния d между обкладками. Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,3d$ от отрицательно заряженной обкладки стартует с нулевой начальной скоростью отрицательно заряженная частица и вылетает из конденсатора перпендикулярно обкладкам со

скоростью V_1 . Удельный заряд частицы $\frac{|q|}{m} = \gamma$.

- ✓ 1) Через какое время T частица будет находиться на одинаковых расстояниях от обкладок?
- ✓ 2) Найдите величину Q заряда обкладок конденсатора.

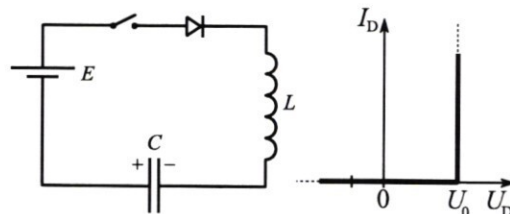
3) С какой скоростью V_2 будет двигаться частица на бесконечно большом расстоянии от конденсатора?

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 $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 2$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ 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 $3F/4$ от оси OO_1 и на расстоянии плоскости $F/4$ от линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии $3F/4$ 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

Чистовик.

N1.

v_k - ?

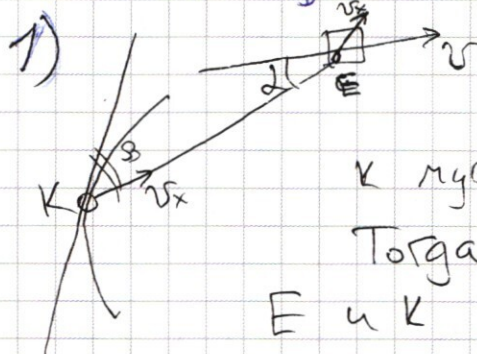
$v_{отн.}$ - ?

T - ?

$$\begin{aligned} v &= 34 \frac{см}{с} \\ m &= 0,3 кг \\ R &= 0,53 м \\ l &= \frac{5R}{4} \\ \cos \alpha &= \frac{15}{17} \\ \cos \beta &= \frac{3}{5} \end{aligned}$$

$$\cos \alpha = \frac{15}{17} \Rightarrow \sin \alpha = \frac{\sqrt{289-225}}{17} = \frac{8}{17} \quad (\alpha \in [0; \frac{\pi}{2}])$$

$$\cos \beta = \frac{3}{5} \Rightarrow \sin \beta = \frac{4}{5}$$



Пусть нить прикреплена к муфте в точке E.

Тогда скорость нити в точках E и K одинакова и равна v_x

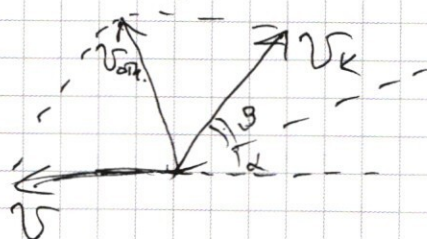
$$v_x = v \cos \alpha$$

$$v_k = v_x \cos \beta, \text{ т.к. на кольцо действует только нить } \Rightarrow v_k = v \cos \alpha \cos \beta$$

$$v_k = 34 \frac{см}{с} \cdot \frac{15}{17} \cdot \frac{3}{5} = 18 \frac{см}{с}$$

2) Перейдем в систему отсчета, связанную с муфтой.

Тогда скорость кольца $v_{отн.}$ будет складываться из следующих образцов:



По теореме косинусов:

$$v_{отн.}^2 = v_k^2 + v^2 + 2v \cdot v_k \cdot \cos(\alpha + \beta)$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta = \frac{13}{5 \cdot 17}$$

$$\Rightarrow v_{отн.} = \sqrt{1156 + 324 + \frac{936}{5}} = 0,8 \sqrt{2605} \approx 40,8 \frac{см}{с}$$

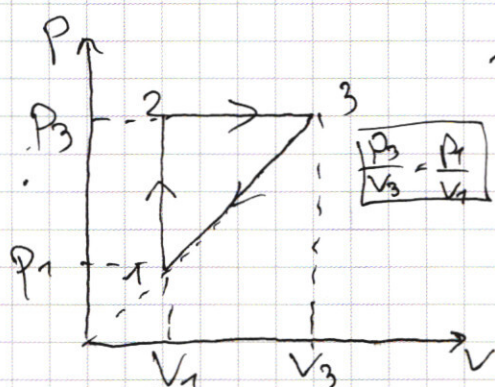
$$3) T = \frac{m v_k^2}{R} \cdot \sin \beta$$

$$T = 14,64 \cdot 10^{-3} Н$$

$$v_k = 18 \frac{см}{с}; v_{отн.} = 40,8 \frac{см}{с}$$

Ответ: $V_k = 18 \frac{\text{см}}{\text{с}}$; $V_{\text{отн.}} = 40,8 \frac{\text{см}}{\text{с}}$; $T = 14,64 \text{ нА}$

N2.



1) 1-2: $C_{12} \Delta T = \frac{3}{2} \Delta R \Delta T \Rightarrow C_{12} = \frac{3}{2} R$

2-3: $C_{23} \Delta T = \frac{3}{2} \Delta R \Delta T + \Delta R \Delta T \Rightarrow C_{23} = \frac{5}{2} R$

$\Rightarrow \frac{C_{12}}{C_{23}} = \frac{3}{5} = \boxed{0,6}$

2) $\Delta U_{23} = \frac{3}{2} P_3 (V_3 - V_1)$
 $A_{23} = P_3 (V_3 - V_1)$ } $\Rightarrow \frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = \frac{3}{2} = \boxed{1,5}$

3) $Q_{\text{нагр.}} = \frac{5}{2} P_3 (V_3 - V_1) + \frac{3}{2} V_1 (P_3 - P_1) =$

$= \frac{5}{2} P_3 V_3 - \frac{3}{2} P_1 V_1 + P_3 V_1$

$A_{1-2-3-1} = \frac{(P_3 - P_1)(V_3 - V_1)}{2} = \frac{P_3 V_3 + P_1 V_1}{2} - P_1 V_3$

$\eta = \frac{\frac{P_3 V_3 + P_1 V_1}{2} - P_1 V_3}{\frac{5}{2} P_3 V_3 - \frac{3}{2} P_1 V_1 + P_3 V_1} = \frac{P_1 \frac{V_3^2}{V_1} + P_1 V_1 - 2 P_1 V_3}{5 P_1 \frac{V_3^2}{V_1} - 3 P_1 V_1 + 2 P_1 V_3} =$

$= \frac{V_3^2 - 2 V_1 V_3 + V_1^2}{5 V_3^2 + 2 V_1 V_3 - 3 V_1^2} \stackrel{t = \frac{V_3}{V_1}}{=} \frac{(t-1)^2}{(t+1)(5t-3)}$

~~$\frac{2(t^2-1)(5t-3) + (t-1)^2(10t+2)}{1(t+1)^2(5t-3)^2} = 0 \Rightarrow t=2 \Rightarrow \eta_{\text{max}}$~~

~~$\Rightarrow \eta_{\text{max}} = \frac{1}{3} = 0,33$~~

Заметим, что при $t \rightarrow \infty$ $\eta \rightarrow 0,2 \Rightarrow$

$\Rightarrow \eta_{\text{max}} = 0,2$

Ответ: $\frac{C_{12}}{C_{23}} = 0,6$

$\frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = 1,5$

$\eta_{\text{max}} = 0,2$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Чистовик.

№3.

$$1) V_0 = 0 \Rightarrow V(t) = at$$

$$x(t) = \frac{at^2}{2}$$

Рассмотрим момент вылета из конденсатора:

$$\begin{cases} 0,7d = \frac{aT_1^2}{2} \\ V_1 = aT_1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} T_1 = 1,4 \frac{d}{V_1} \\ a = \frac{V_1^2}{1,4d} \end{cases}$$

В момент, когда частица находится посередине между обкладками:

$$0,2d = \frac{aT^2}{2} \Rightarrow T = \sqrt{\frac{0,4d \cdot 1,4d}{V_1^2}} = \frac{0,2d}{V_1} \sqrt{14} \approx \boxed{\frac{0,8d}{V_1}}$$

$$2) F = Eq = ma \Rightarrow F = \frac{a}{\gamma}$$

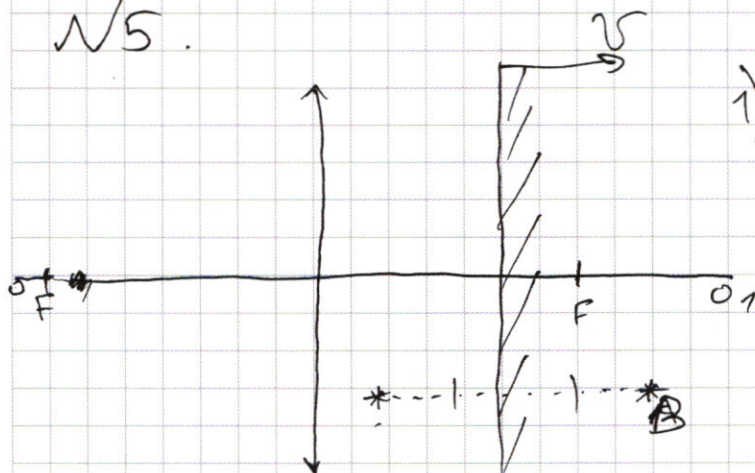
$$E = \frac{2\sigma}{\epsilon_0} = \frac{2Q}{\epsilon_0 S} \Rightarrow \frac{a}{\gamma} = \frac{2Q}{\epsilon_0 S} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q = \frac{\epsilon_0 S a}{2\gamma} \Rightarrow \boxed{Q = \frac{\epsilon_0 S V_1^2}{2,8d}}$$

Ответ: $T = \frac{0,8d}{V_1}$; $Q = \frac{\epsilon_0 S V_1^2}{2,8d}$

Чистовик

N5.



1) При отражении источника от зеркала на линзу попадают те же лучи, которые бы исходили от источника

в точке B при отсутствии линзы

$$\text{расстояние от B до линзы} = \frac{3F}{4} \cdot 2 - \frac{F}{4} = \frac{5F}{4}$$

По формуле тонкой линзы:

$$\frac{4}{5F} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \Rightarrow f = 5F$$

2) $h_{\text{изобр.}} = h_{\text{исп.}} \cdot \frac{f}{d} = 3F$ (h - расстояние до $O1$)

Пусть прошло время $\Delta t \rightarrow 0$:

Мнимый предмет B сместился на $2V\Delta t$ вправо.

f_{new} из формулы тонкой линзы:

$$f_{\text{new}} = \frac{F(\frac{5F}{4} + 2V\Delta t)}{\frac{F}{4} + 2V\Delta t}$$

$$\text{Тогда } h_{\text{new}} = \frac{3F}{4} \cdot \frac{f_{\text{new}}}{d_{\text{new}}} = \frac{3F^2}{F + 8V\Delta t}$$

$$\text{tg} \alpha = \left| \frac{h_{\text{new}} - h}{f_{\text{new}} - f} \right| = \left| \frac{3F \left(\frac{F}{F + 8V\Delta t} - 1 \right)}{\frac{F(5F/4 + 2V\Delta t)}{F/4 + 2V\Delta t} - 5F} \right| = \left| \frac{\frac{24FV\Delta t}{F + 8V\Delta t}}{\frac{F/4}{F/4 + 2V\Delta t}} \right| = \frac{24V\Delta t}{F}$$

Ответ: $f = 5F$
 $\text{tg} \alpha = \frac{24V\Delta t}{F}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Чистовик.

№4.

$$1) \mathcal{E} - L I'_b(t) + U_1 - U_0 = 0$$

Так как сразу после замыкания
конденсатор — это батарейка

$$I'_b(t) = \left[\frac{\mathcal{E} + U_1 - U_0}{L} \right] = 70 \frac{A}{c}$$

Ответ: $70 \frac{A}{c}$

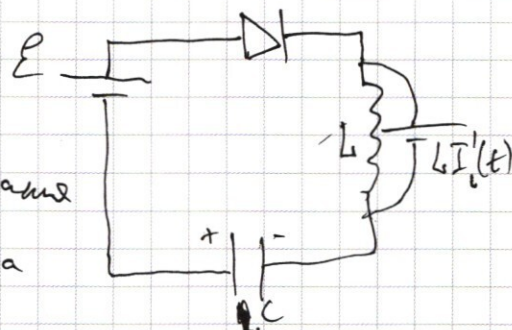
2) $I_{max} \Rightarrow I(t) = 0 \Rightarrow$ катушка — это провод

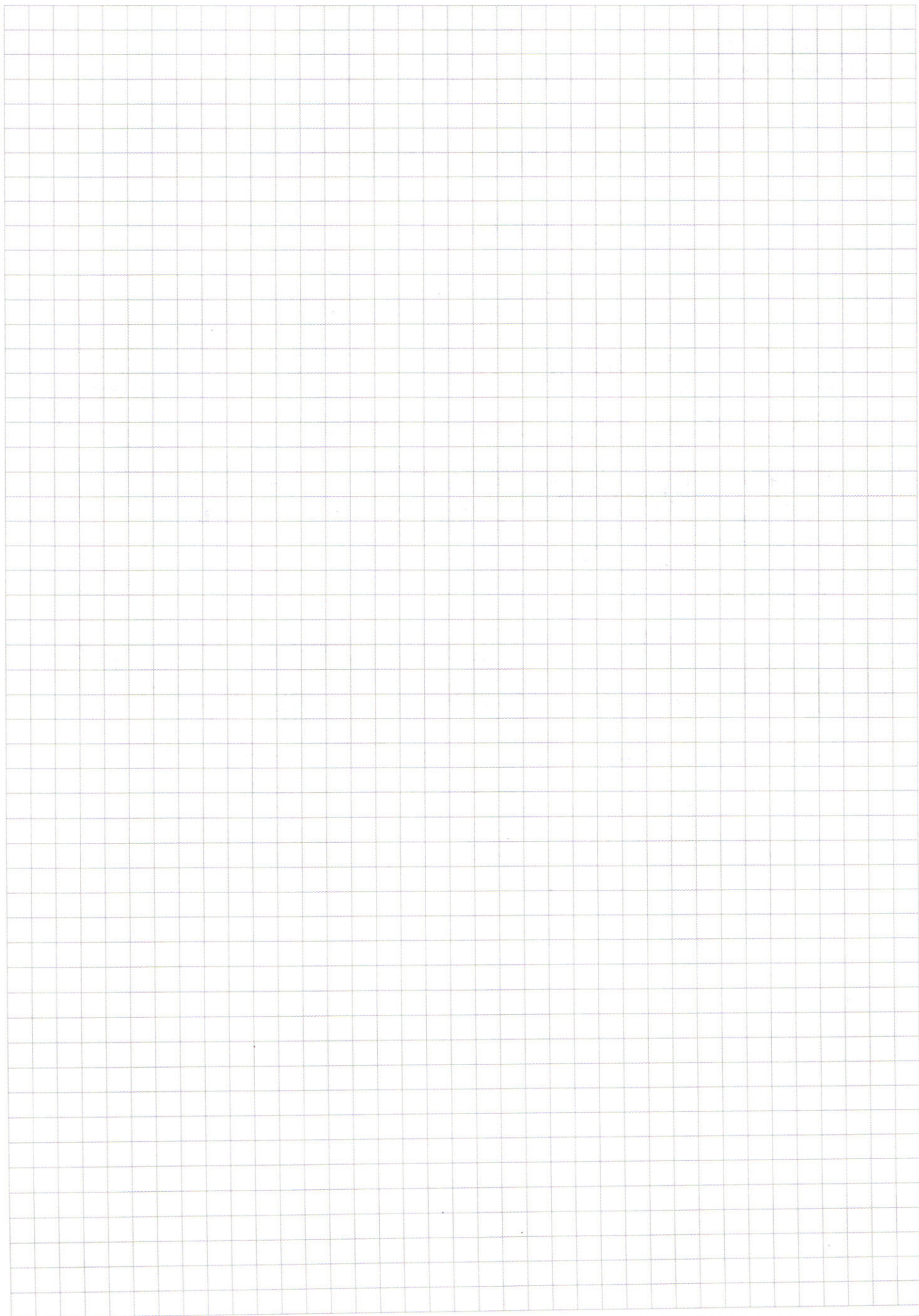
3) ~~В~~ В конце катушка — провод $\Rightarrow$

$$\Rightarrow \cancel{U_2} \quad \mathcal{E} - U_0 \neq U_2 = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow U_2 = \mathcal{E} - U_0 = 5V$$

Ответ: $U_2 = 5V$



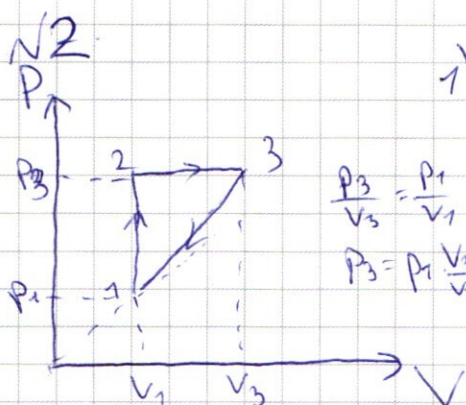


☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Черновик



$$1) \frac{C_{12}}{C_{23}}$$

$$\frac{P_3}{V_3} = \frac{P_1}{V_1} \quad C_{\text{изох.}} = \frac{1}{2} R = \frac{3}{2} R$$

$$P_3 = P_1 \frac{V_3}{V_1} \quad C_{\text{изох.}} = \frac{1+2}{2} R = \frac{5}{2} R$$

изобары изохоры аналогично

$$C \Delta T = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + V_1 (P_3 - P_1) =$$

$$= \frac{5}{2} \nu R \Delta T \Rightarrow C = \frac{5}{2} R$$

$$\Rightarrow \frac{C_{12}}{C_{23}} = \frac{3}{5} = 0,6$$

$$2) \Delta U_{23} = \frac{3}{2} P_3 (V_3 - V_1) \quad A_{23} = P_3 (V_3 - V_1) \quad \Rightarrow \frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = \frac{3}{2} = 1,5$$

$$3) A_{\text{ср.}} = \frac{(P_3 - P_1)(V_3 - V_1)}{2} = \frac{P_3 V_3 + P_1 V_1 - P_1 V_3 - P_3 V_1}{2} = \frac{P_3 V_3 + P_1 V_1}{2} - P_1 V_3$$

$$Q_{12} + Q_{23} = \frac{3}{2} (P_3 - P_1) V_1 + \frac{5}{2} P_3 (V_3 - V_1) =$$

$$5x^2 + 2x - 3 = 0$$

$$(x+1)(5x-3) = 0$$

$$\eta = \frac{\frac{P_3 V_3 + P_1 V_1}{2} - P_1 V_3}{\frac{3}{2} (P_3 - P_1) V_1 + \frac{5}{2} P_3 (V_3 - V_1)} = \frac{P_3 V_3 + P_1 V_1 - 2 P_1 V_3}{2 P_1 V_3 - 3 P_1 V_1 + 5 P_3 V_3} = \frac{\frac{V_3^2}{V_1} + V_1 - 2 V_3}{2 V_3 - 3 V_1 + 5 \frac{V_3^2}{V_1}} =$$

$$= \frac{V_3^2 + V_1^2 - 2 V_1 V_3}{2 V_1 V_3 - 3 V_1^2 + 5 V_3^2} = \frac{(V_3 - V_1)^2}{(V_1 + V_3)(5 V_3 - 3 V_1)} \stackrel{t = \frac{V_3}{V_1}}{=} \frac{(t-1)^2}{(t+1)(5t-3)}$$

$$\eta' = \frac{2(t-1)(t+1)(5t-3) - (t-1)^2(10t+2)}{(t+1)^2(5t-3)^2} = 0$$

$$\frac{4}{4 \cdot 12} = \frac{1}{12}$$

$$\frac{0,81}{23 \cdot 6,5}$$

$$2(t^2 - 1)(5t - 3) - (t^2 - 2t + 1)(10t + 2) = 0$$

$$10t^3 - 6t^2 - 10t + 6 - (10t^3 - 18t^2 + 6t + 2) = 0 \quad 5t^3 - 3t^2 - 5t + 3 =$$

$$24t^2 \quad 12t^2 - 16t + 4 = 0 \quad t = 2$$

$$3t^2 - 4t + 1 = 0$$

$$(t-1)(3t-1) = 0$$

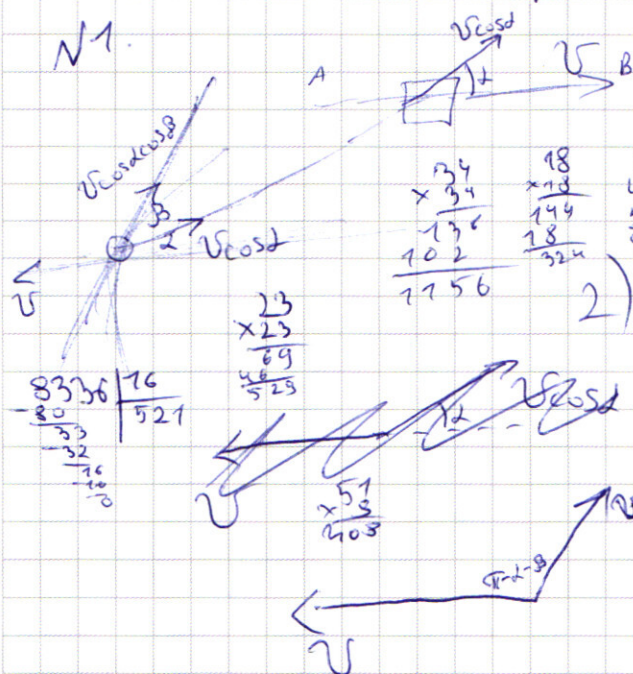
$$\frac{(t-1)^2}{(t+1)(5t-3)} =$$

$$(t^2 - 1)(3t - 5) = (t^2 - 2t + 1)(3t - 1) \quad \frac{(t-1)(3t-5)}{3t^2 - 2t - 5} = \frac{(t-1)(3t-1)}{3t^2 - 4t + 1}$$

$$2t = 6 \Rightarrow t = 3$$

Черновик.

N1.



$$1) V_{\text{контра}} = V \cos \alpha \cos \beta =$$

$$= 34 \cdot \frac{15}{17} \cdot \frac{3}{5} = 18 \frac{\text{cm}}{\text{c}}$$

$$\sin \alpha = \frac{3}{7} \quad \sin \beta = \frac{4}{5}$$

$$2) \cos(\alpha + \beta) = \frac{9}{17} - \sin \alpha \sin \beta = \frac{9}{17} - \frac{32}{5 \cdot 17} = \frac{13}{5 \cdot 17}$$

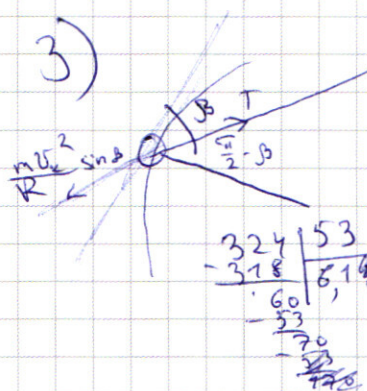
$$V_{\text{new}} = \sqrt{U^2 + V^2 + 2UV \cos(\alpha + \beta)} =$$

$$= \sqrt{34^2 + 18^2 + 2 \cdot 34 \cdot 18 \cdot \frac{13}{5 \cdot 17}} =$$

$$= \sqrt{1156 + 324 + \frac{4 \cdot 18 \cdot 13}{5}} = \sqrt{\frac{8336}{5}} =$$

$$= 4 \sqrt{\frac{521}{5}} = 0,8 \sqrt{2605} \approx 51 \cdot 0,8 = 40,8 \frac{\text{cm}}{\text{c}}$$

3)



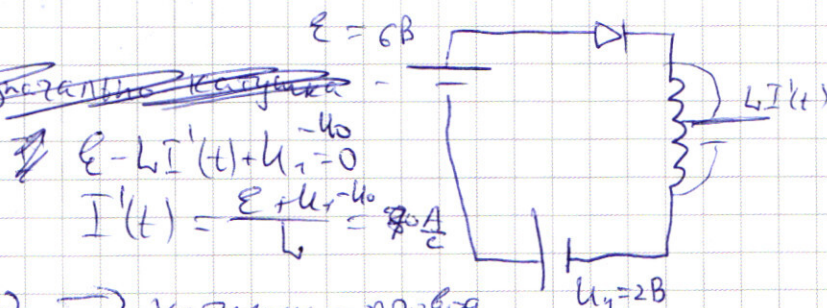
$$T = \frac{m v_k^2}{R} \sin \beta$$

$$T = \frac{m v_k^2 \cdot \frac{4}{5}}{R} = \frac{14}{15} \frac{m v_k^2}{R^2} = \frac{14}{15} \cdot \frac{0,3 \cdot 3,24}{0,53} =$$

$$= \frac{4}{5} \cdot \frac{0,3 \cdot 3,24}{0,53} \approx 14,64 \cdot 10^{-3} \text{ H}$$

N4.

1) ~~1700~~ ~~изначально катушка~~

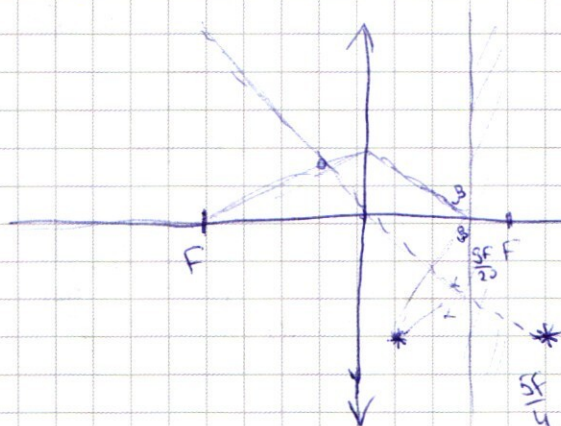


2) $I_{\text{max}} \Rightarrow I' = 0 \Rightarrow$ катушка - провод

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Черновик.

№5.



$$\frac{3F}{4x} = \frac{F}{2(\frac{3F}{4} - x)} \Rightarrow \frac{9F}{4} - 3x = 2x$$

$$x = \frac{5F}{20}$$

$$t_{\text{св}} = \frac{2}{3}$$

$$\frac{4}{5F} + \frac{1}{F} = \frac{1}{F} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{f = 5F} \quad (1)$$

2) $h_0 = 4h_{\text{неч}} = 3F$

~~перез Δt = 1ε~~ сдвинулся на $\frac{F}{4}$:

$$\frac{5F}{4} + 2V_{\text{св}} \Delta t = \frac{5F}{4} + 2V$$

$$\frac{1}{\frac{5F}{4} + 2V_{\text{св}} \Delta t} + \frac{1}{F} = \frac{1}{F}$$

$$f = \frac{\frac{F}{4} + 2V_{\text{св}} \Delta t}{F(\frac{5F}{4} + 2V_{\text{св}} \Delta t)}$$

$$h_0 = h_{\text{неч}} \cdot \frac{f}{d}$$

$$\text{tg} \alpha =$$

$$\frac{\frac{3F}{4}}{\frac{4}{7F} + \frac{1}{F}} = \frac{1}{F} \Rightarrow f$$

$$V_x = \frac{\Delta f}{\Delta t} \cdot \text{tg} \alpha = \frac{2V_{\text{св}} \Delta f}{F} = \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

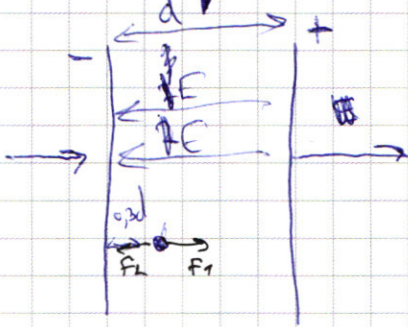
Δt :

$$\text{tg} \alpha = \frac{\frac{3F}{4} \cdot \frac{5}{4} - 3F}{\frac{F(\frac{5F}{4} + 2V_{\text{св}} \Delta t)}{\frac{F}{4} + 2V_{\text{св}} \Delta t} - 5F} = \frac{\frac{3F}{4} + 2V_{\text{св}} \Delta t}{\frac{5F}{4} + 2V_{\text{св}} \Delta t - \frac{5F}{4} - 2V_{\text{св}} \Delta t} = \frac{3F}{-8V_{\text{св}} \Delta t} = -\frac{3F}{8V_{\text{св}} \Delta t}$$

Черновик.

N3.

$$F - Eq = ma$$



$$a = Ey$$

$$\frac{aT^2}{2} = 0,2d$$

$$T = \sqrt{\frac{0,4d}{Ey}}$$

$$E = \frac{26}{\epsilon_0}$$

$$d = \frac{q}{5}$$

$$\begin{cases} V_1 = aT_1 \\ \frac{aT_1^2}{2} = 0,7d \end{cases} \Rightarrow V_1 T_1 = 1,4d$$

$$T_1 = \frac{1,4d}{V_1}$$

$$a = \frac{V_1^2}{1,4d}$$

$$F_1 = K \frac{qQ}{x_2^2}$$

$$F_2 = K \frac{qQ}{(d-x)^2}$$

$$F_1 - F_2 =$$

$$\int \left(\frac{1}{x^2} - \frac{1}{(d-x)^2} \right) = \int_{0,3d}^{0,7d} \frac{d^2 - 2dx}{x^2(d-x)^2} = \frac{d}{x(d-x)} \Big|_{0,3d}^{0,7d} = 4 - \frac{1}{0,21} = \frac{0,8}{d}$$

$$1) T^2 = \frac{0,4d \cdot 1,4d}{V_1^2} = \frac{0,8}{d} \Rightarrow T = \frac{0,2d}{V_1} \sqrt{1,4} = \frac{0,8d}{V_1}$$

$$2) E = \frac{2Q}{\epsilon_0 S} = \frac{a}{y} \Rightarrow Q = \frac{a \epsilon_0 S}{2y} = \frac{\epsilon_0 S V_1^2}{2,88d}$$

3)