

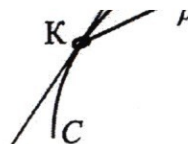
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2020

Класс 11

Вариант 11-02

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без влс

1. Муфту М двигают со скоростью $V = 40$ см/с по горизонтальной нап[р] 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 α ($\cos \alpha = 3/5$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 8/17$) с направлением движения кольца.



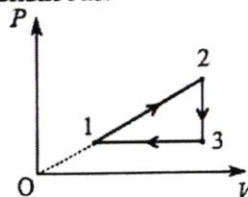
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

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.

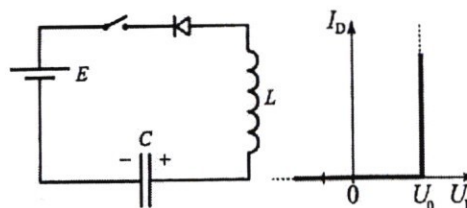


3. Обкладки конденсатора – квадратные металлические сетки, сторона квадрата во много раз больше расстояния d между обкладками. Положительно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается между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

- 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.



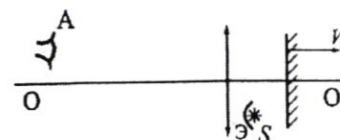
- 1) Найти скорость возрастания тока сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти максимальный ток после замыкания ключа.
- 3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.

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

Найти;

$$\frac{C_{2-3}}{C_{3-1}} - ?$$

$$\frac{Q_{1-2}}{A_{1-2}} - ?$$

$$\eta - ?$$

Решение:

1) Проведём касательные, которые будут являться касательными к графику на P,V диаграмме.

Видно, что в процессе 1→2 теплота подводится к газу, а в 2→3 и 3→1 отводится т.е. температура уменьшается.

2-3 - изохорный процесс, значит $A_T = 0$, значит $\Delta U = Q$, а т.к. газ одноклассный, то

$$C_{2-3} = \frac{3}{2} R \cdot \nu$$

3-1 - изобарный процесс, значит $A = p \cdot \Delta V = \nu R (T_1 - T_3)$, где T_1 - температура в состоянии 1, а T_3 - температура в состоянии 3, тогда $Q = \Delta U + A$

$$C_{3-1} = \frac{5}{2} R \nu$$

$$\frac{C_{2-3}}{C_{3-1}} = \frac{\frac{3}{2} R \nu}{\frac{5}{2} R \nu} = \frac{3}{5}$$

2) $Q_{1-2} = \Delta U_{1-2} + A_{1-2}$, где ΔU_{1-2} - изменение внутренней энергии в процессе $1 \rightarrow 2$, A_{1-2} - работа, совершаемая в процессе $1 \rightarrow 2$.

$$\Delta U_{1-2} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) \quad T_2 - \text{температура в состоянии 2}$$

$$\Delta U_{1-2} = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) \quad T_1 - \text{температура в состоянии 1}$$

$$A_{1-2} = (V_1 + V_2) \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) = \frac{-P_1 V_1 + P_2 V_2 + P_1 V_2 + P_2 V_1}{2}, \text{ пусть объём в процессе } 1 \rightarrow 2 \text{ увеличился в } \kappa > 1 \text{ раз } V_2 = \kappa V_1$$

$$\text{тогда } P_2 = \kappa P_1, \text{ тогда } A_{1-2} = \frac{P_2 V_2 + P_1 V_2 - P_1 V_1 - P_2 V_1}{2} = \frac{(T_2 - T_1) \nu R}{2}$$

$$Q_{1-2} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) + \frac{\nu R}{2} (T_2 - T_1) = 2(T_2 - T_1) \nu R$$

$$\frac{Q_{1-2}}{A_{1-2}} = \frac{2(T_2 - T_1) \nu R}{\frac{\nu R (T_2 - T_1)}{2}} = 4$$

3) A_{3-1} , за процесс $3 \rightarrow 1$, равно

$A_{3-1} = \frac{P_3 V_3 - P_1 V_1}{\kappa - 1}$, считая, что газ в процессе $1 \rightarrow 2$ увеличился в объёме в κ раз

получаем, что $A_{3-1} = P_1 V_1 (\kappa - 1)$, тогда работа газа за цикл $A_{\text{цикл}}$

$$A_{\text{цикл}} = \frac{\nu R}{2} T_1 (\kappa^2 - 1) + \frac{\nu R}{\kappa} (T_1 - T_2) = \nu R (\kappa - 1) \left(\frac{\kappa + 1}{2} - 1 \right) = \frac{\nu R (\kappa - 1)^2}{2}$$

Q_0 Тепло, подводимая к газу за цикл равна $Q_{1-2} = 2 \nu R (\kappa^2 - 1)$, тогда

$$\eta = \frac{A_{\text{цикл}}}{Q_{1-2}} = \frac{\frac{\nu R (\kappa - 1)^2}{2}}{2 \nu R (\kappa^2 - 1)} = \frac{\kappa - 1}{4(\kappa + 1)} \quad \kappa > 1$$

возьмем производную $\eta'(\kappa)$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\eta'(k) = \left(\frac{k-1}{4(k+1)} \right)' = \frac{1}{4} \left(\frac{k-1}{k+1} \right)' = \frac{1}{4} \left(\frac{(k-1)(k+1)^{-1}} \right)' = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{k+1} + \frac{(k-1)(-1)}{(k+1)^2} \right) =$$

$$= \frac{1}{4} \left(\frac{k+1-k+1}{(k+1)^2} \right) = \frac{1}{4} \frac{2}{(k+1)^2} = \frac{1}{2(k+1)^2}, \text{ т.к. } \eta'(k) \text{ при любых}$$

значениях $k \geq 1$ принимает значение больше нуля, значит $\eta(k)$ возрастает на всем отрезке

$k \in [1, +\infty)$, значит $\eta(k)$ принимает максимальное значение, при $k \rightarrow \infty$

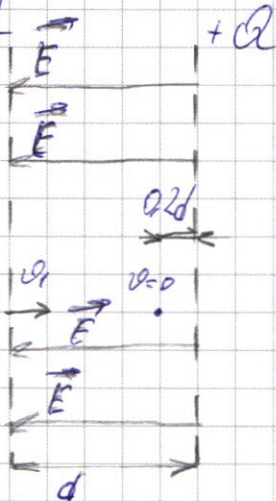
$$\eta_{k \rightarrow \infty} = \frac{1}{4} \frac{k-1}{k+1} \approx \frac{1}{4} = 25\%$$

Ответ: 1) $\frac{C_{2-3}}{C_{3-1}} = \frac{3}{5}$; 2) $\frac{Q_{2-2}}{A_{1-2}} = 4$ $\eta_{\max} = 25\%$.

№3
Дано:

Решение:

1)



т.к. поле $\vec{E}$ внутри конденсатора можно считать однородным, то

движение заряда внутри поля

можно считать равноускоренным, тогда

$$\frac{(v_1+0)}{2} \cdot \frac{(v_1+0)}{2} \cdot T = 0,8d$$

$$T = \frac{0,8d}{0,5v_1} = 16 \frac{d}{v_1}$$

2) Пусть, напряжение конденсатора равно U ,
тогда $E = \frac{U}{d}$

~~Апо~~. Работа поля по остановке ~~заряда~~ частицы
равна $A_{\text{пол}} = q \frac{U}{d} \cdot 0,84 = 0,8 U q$

Работа поля по остановке заряда $A_{\text{пол}} = -\Delta E_k$,
где ΔE_k - изменение кинетической энергии
частицы

$$\Delta E_k = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$$

$$0,8 U q = \frac{mv_1^2}{2}$$

$$U = \frac{mv_1^2}{1,6q} = \frac{v_1^2}{1,68}$$

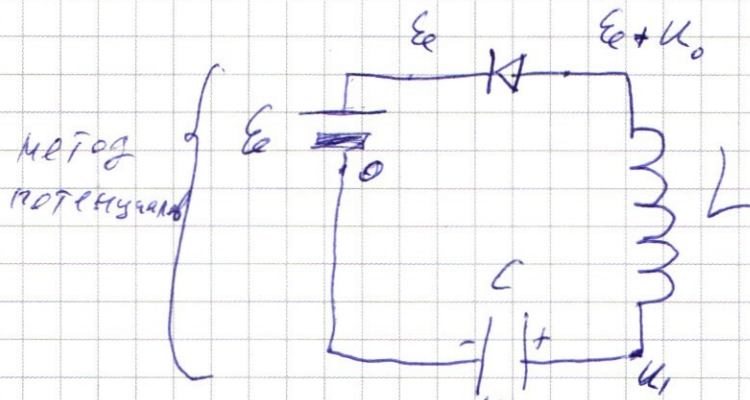
3) ~~Апо~~ $\Delta \varphi = \int_0^L E_{\text{пол}} dx$, т.к. поле за пределами
конденсатора отсутствует (равные
по модулю, но противоположные по направлению
(за пределами конденсатора) $\vec{E}_+$, создаваемая
пластиной с зарядом $+Q$ и $\vec{E}_-$, создаваемая
пластиной с зарядом $-Q$ взаимно уничтожаются
($\vec{E}_+ + \vec{E}_- = \vec{0}$)), то $\Delta \varphi = 0$, следовательно и
изменение энергии частицы равно
нулю, значит скорость на бесконечно
большом расстоянии от конденсатора,
равна скорости частицы при влете
частицы в конденсатор $v_0 = v_1$
Ответ: 1) $T = 1,68$; 2) $U = \frac{v_1^2}{1,68}$; 3) $v_0 = v_1$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Исходные данные:
 $E = 3\text{В}$
 $C = 20\text{нФ}$
 $U_1 = 6\text{В}$
 $L = 0,2\text{Гн}$
 $U_0 = 1$

$\dot{I}_{\text{взам}} - ?$
 $I_{\text{мах}} - ?$
 $U_2 - ?$

Решение:
 1) $t = 0$ - в момент времени сразу после замыкания я ключа



т.к. ток на катушке скачком не изменяется, то $I_{\text{взам}} = 0$

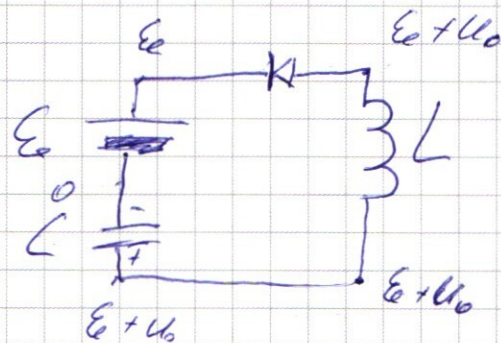
$L \cdot \dot{I}_{\text{взам}} = U_L(t)$, где U_L - напряжение на катушке

$$\dot{I}_{\text{взам}} = \frac{U_C(t=0)}{L} = \frac{U_1 - E - U_0}{L} = \frac{6 - 3 - 1}{0,2} = \frac{2}{0,2} = 10 \left(\frac{\text{А}}{\text{с}} \right)$$

2) пусть в момент времени $t = T$ ток в цепи максимален, значит $\dot{I}(t) = 0$, значит

$$U_L(t) = 0$$

метод потенциалов



U_C - напряжение на конденсаторе

$$U_C(t) = E + U_0$$

Заряд, притекший на отрицательно

заряженную обкладку равен $q_{\text{пр}} = (U_1 - E - U_0) \cdot C$

равота источника $A_{ист} = -\mathcal{E}C(U_1 - \mathcal{E} - U_0)$

Запишем ЗСЭ для цепи:

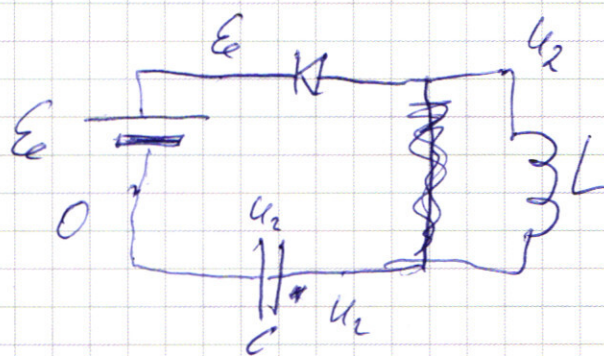
$$\frac{CU_1^2}{2} = \frac{C(\mathcal{E} + U_0)^2}{2} + \frac{LI_{(t)}^2}{2} + \mathcal{E}C(U_1 - \mathcal{E} - U_0)$$

$$\frac{LI_{(t)}^2}{2} = C \left(\frac{U_1^2}{2} - \mathcal{E}(\mathcal{E} + U_0) - \frac{(\mathcal{E} + U_0)^2}{2} \right)$$

$$I_{(t)} = \sqrt{2 \frac{C}{L} \left(\frac{U_1^2}{2} - \mathcal{E}(\mathcal{E} + U_0) - \frac{(\mathcal{E} + U_0)^2}{2} \right)} =$$

$$= \sqrt{2 \cdot \frac{20 \cdot 10^{-6}}{0,01} \cdot \left(18 - 3(2) - 8 \right)} = \sqrt{2 \cdot 10^{-4} \cdot (18 - 6 - 8)} = \sqrt{2 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,02 \sqrt{2} \text{ (A)}$$

3) $t = t_{уст}$ - установившееся состояние
ток через конденсатор не течёт,
напряжение на катушке равно
нулю.



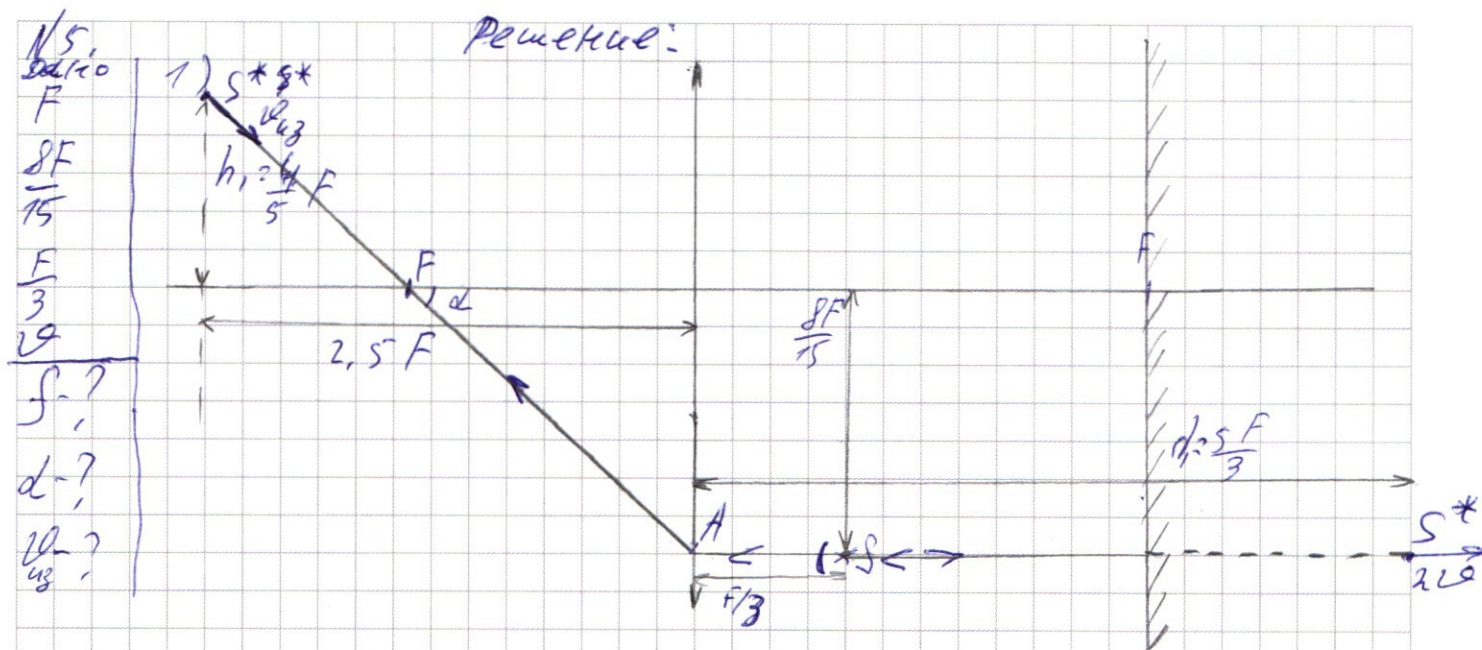
$$U_2 - \mathcal{E} \leq U_0$$

т.к. конденсатор перезаряжается
засчет ЭДС, то U_c уменьшается
и предельное значение U_c , при котором
ток перестанет течь - это $U_c = \mathcal{E} + U_0$, значит

$$U_c = \mathcal{E} + U_0 = 4 \text{ (В)}$$

Ответ: 1) $I_{(t_{зам})} = 10 \frac{\text{A}}{\text{с}}$, $I_{\text{max}} = 0,02 \sqrt{2} \approx 0,0282$; $U_2 = 4 \text{ В}$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Γ_1 - увеличение линзы в момент, когда зеркало на расстоянии F от линзы

$$\Gamma_1 = \frac{F}{\frac{5F}{3} - F} = 1,5$$

$$f = d, \Gamma_1 = \frac{5F}{3} \cdot \frac{3}{2} = 2,5F ;$$

2) h_1 - расстояние от изображения в линзе до OO ,

$$h_1 = \frac{4}{15} F \cdot \frac{3}{2} = \frac{4}{5} F$$

Представим, что некоторый луч ~~пройдёт~~ от источника S пойдёт параллельно OO , ~~и~~ отразится от зеркала, ~~и~~ пройдёт через линзу и в дальнейшем попадёт в главный фокус линзы с другой стороны линзы с в реальности он так не пойдёт, из-за

3) В (D) зеркале источник света S удаляется

3) В (D) зеркала источник света S удаляется

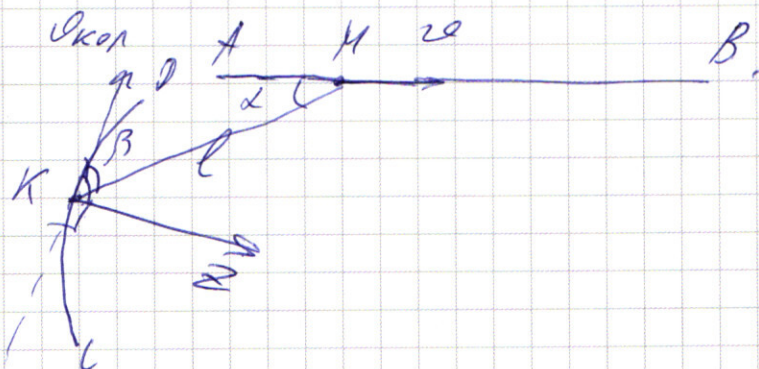
Горизонтальная составляющая скорости и ее обратная
в лкзе $v_{\text{из}} = \pi^2 \cdot 2v = 4,5v$, тогда

$$v_{u3} = \frac{v_{u3} \cos \alpha}{\cos \alpha} = \frac{1 \times \cancel{4.5} \cos 50^\circ}{\cancel{1.5}} = 5.1 \text{ m/s}$$

№1. Дано:

T-7

и в со лаборатори



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1

$$L = \frac{17R}{15}$$

$$R = 1,7M$$

$$v = 0,4M/C$$

$$m = 1KT$$

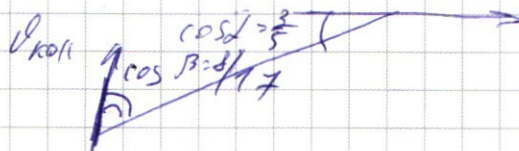
$$\cos \alpha = 3/5$$

$$\cos \cos \beta = 8/17$$

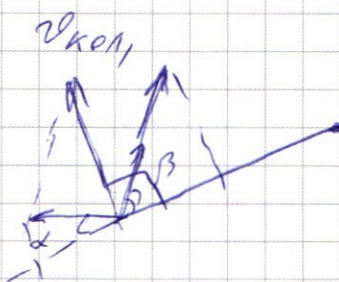
$$v_{\text{кол}} = ?$$

$$v_{\text{кол},1} = ?$$

$$T = ?$$



В (0) м/с



$$v_{\text{кол}} \cdot \cos \beta = v \cdot \cos \alpha$$

$$v_{\text{кол}} = \frac{v \cdot \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{320 \cdot 17}{5 \cdot 8} = \frac{5120}{40} = 128 \text{ м/с}$$

$$v_{\text{кол},1} = v_{\text{кол}} \cdot \sin \beta + v \cdot \sin \alpha = \frac{128}{5} + \frac{5120}{40} \cdot \frac{3}{5} = \frac{128}{5} + \frac{1536}{5} = \frac{1664}{5} = 332,8 \text{ м/с}$$

$$a_{\text{ус}} = \frac{v_{\text{кол},1}^2}{R} = \frac{332,8^2}{1,7} = \frac{110764,8}{1,7} = 64980,47 \text{ м/с}^2$$

$$\frac{0,77^2}{1,7} \cdot m = T \cdot \frac{15}{17}$$

$$T = \frac{0,77^2 \cdot m \cdot 17}{15} = \frac{0,77^2 \cdot 1,7 \cdot 10^6 \cdot 17}{15} = 0,77^2 \cdot m \cdot \frac{2}{3}$$

$$= 0,77^2 \cdot m \cdot \frac{2}{3}$$

В (О), связанной с муфтой М
 скорость кольца относительно муфты
 $M - v_{\text{кол}}$ будет направлена перпендикулярно
 тросу т.к. трос не растяжим.



т.к. $v_{\text{кол}} - v = v_{\text{кол}}$

В проекции на ось KX $v_{\text{кол}}$ равна нулю,

значит $v \cdot \cos \alpha = v_{\text{кол}} \cdot \cos \beta$

$$v_{\text{кол}} = \frac{v \cdot \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{v \cdot 3 \cdot 17}{5 \cdot 8} = \frac{17 \cdot 3}{40} \quad v = 51 \text{ (см/с)} = 0,51 \text{ (м/с)}$$

$$2) v_{\text{кол}_1} = v_{\text{кол}} \cdot \sin \beta + v \cdot \sin \alpha$$

$$v_{\text{кол}_1} = \frac{4v}{5} + \frac{15}{14} v_{\text{кол}} = \frac{4}{5} v + \frac{1 \cdot 3 \cdot 15}{4 \cdot 40} v = \frac{45 + 32}{40} v = \frac{77v}{40} =$$

$$= 0,77 \text{ (м/с)}$$

3) В лабораторной (О) кольцо движется по
 дуге окружности радиусом R со скоростью
 $v_{\text{кол}}$, тогда центростремительное ускорение

$$a_{\text{цс}} = \frac{v_{\text{кол}}^2}{R}$$

по второму закону Ньютона в проекции на ось
 KZ ($KZ \perp v_{\text{кол}}$) ($KZ \perp v_{\text{кол}}$)

$$m \cdot a_{\text{цс}} = T \cdot \sin \beta$$

$$T = \frac{m v_{\text{кол}}^2}{R \cdot \sin \beta}$$

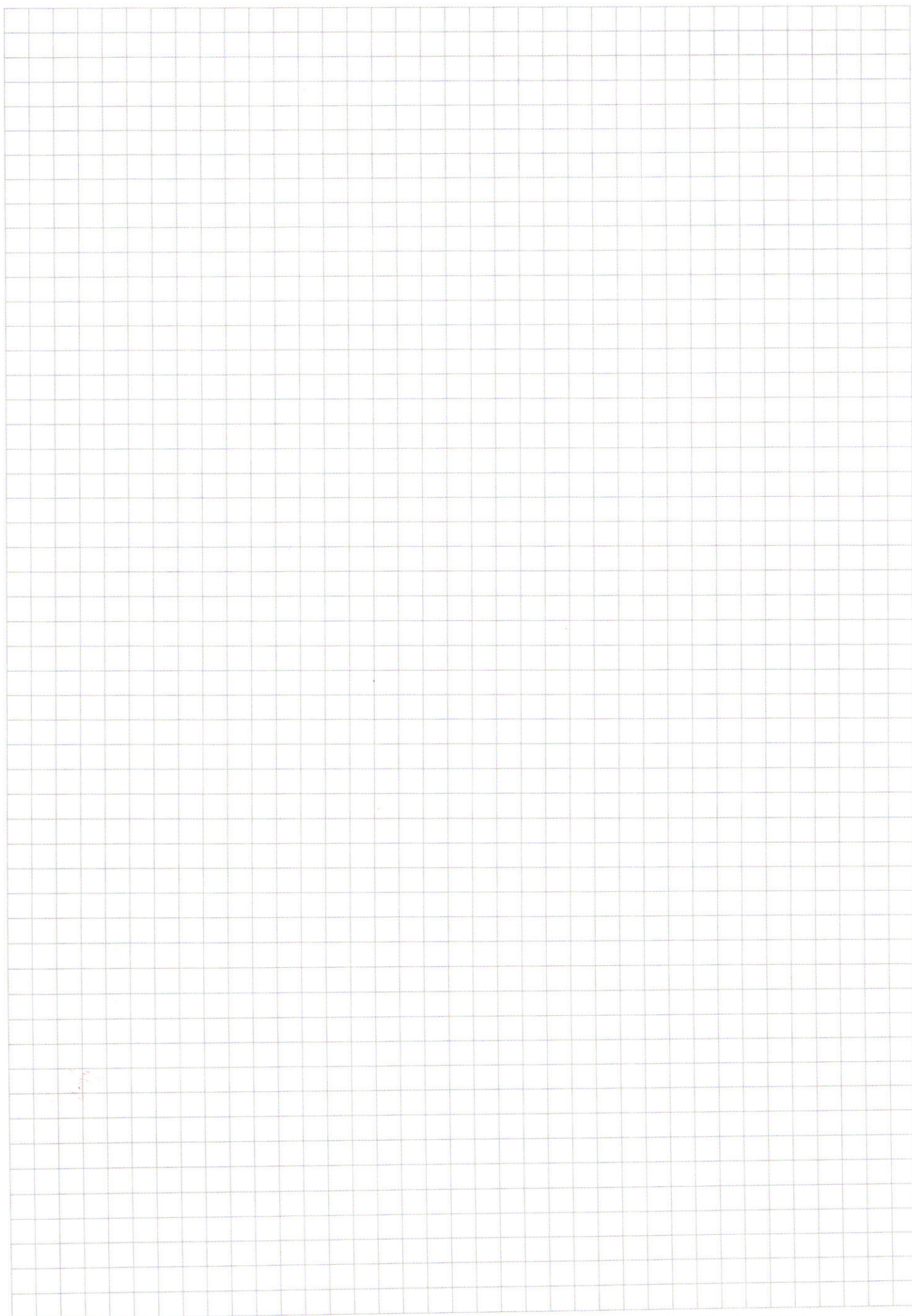
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$T = \frac{m \cdot 0,51^2 \cdot 47}{1 \cdot 3} = \frac{2}{3} \cdot m \cdot 0,51^2 \cdot 20,1734 \text{ (H)} + 0,51$$

$$\begin{array}{r} 0,51 \\ 255 \\ \hline 0,2601 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 0,2601 \mid 3 \\ - 24 \\ \hline 20 \\ - 18 \\ \hline 21 \\ - 21 \\ \hline 0 \end{array} \quad \begin{array}{r} 0,0867 \\ \times 0,0567 \\ \hline 0,1734 \end{array}$$

Ответ: $1) v_{\text{кор}} = 0,51 \text{ М/с}$ $2) v_{\text{кор}} = 0,72 \text{ М/с}$; $3) T = 0,1734 \text{ Н.}$



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)