

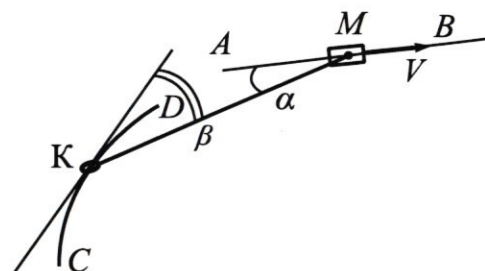
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Вариант 11-03

Класс 11

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без вложенного задания не проверяются.

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.



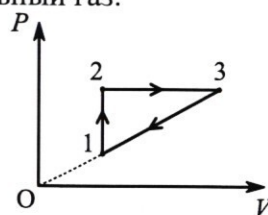
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

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 $\frac{|q|}{m} = \gamma$.

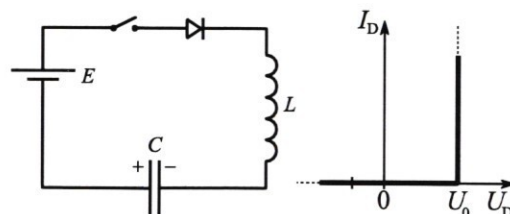
- 1) Через какое время T частица будет находиться на одинаковых расстояниях от обкладок?
- 2) Найдите величину Q заряда обкладок конденсатора.
- 3) С какой скоростью V_2 будет двигаться частица на бесконечно большом расстоянии от конденсатора?

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.

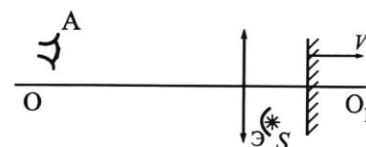


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник 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

№ 2

1) Рассмотрим процесс 1-2:

$$V = \text{const} \Rightarrow \text{при } p \uparrow \Rightarrow T \uparrow \Rightarrow$$

$\Rightarrow$ температура увеличивается

Найдём молярную теплоёмкость:

$$Q_{1-2} = C_1 \nu \Delta T_{1-2} = \underbrace{\Delta U_{1-2}}_{\substack{\text{т.к.} \\ V = \text{const}}} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{1-2} \Rightarrow C_1 = \frac{3}{2} R$$

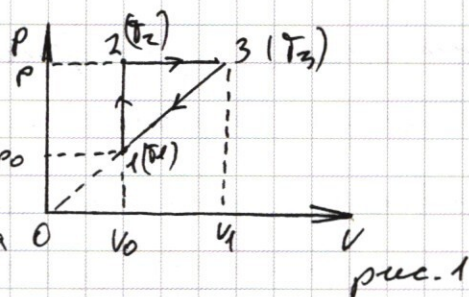


рис. 1

2) Рассмотрим процесс 2-3:

$p = \text{const} \Rightarrow$ при $V \uparrow \Rightarrow T \uparrow \Rightarrow$ температура увеличивается. Найдём молярную теплоёмкость:

$$Q_{2-3} = C_2 \nu \Delta T_{2-3} = \Delta_{23} \underbrace{Q_{23}}_{\substack{\text{т.к.} \\ p = \text{const}}} = p(V_1 - V_0) + \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{2-3}$$

Из у-а Менделеева Клапейрона: $pV = \nu RT$

$$\Rightarrow \Delta_{23} = p(V_1 - V_0) = \nu R \Delta T_{2-3} \Rightarrow Q_{23} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T_{2-3}$$

$$\Rightarrow C_2 = \frac{5}{2} R; \quad \frac{\Delta U_{23}}{\Delta_{23}} = \frac{\frac{3}{2} \nu R \Delta T_{2-3}}{\nu R \Delta T_{2-3}} = \frac{3}{2}$$

3) Рассмотрим процесс 3-1: $p = kV$

$p \downarrow; V \downarrow$, т.к. $\frac{pV}{T} = \text{const} \Rightarrow T \downarrow$

$$\Delta U_{3-1} = -(\Delta U_{12} + \Delta U_{23});$$

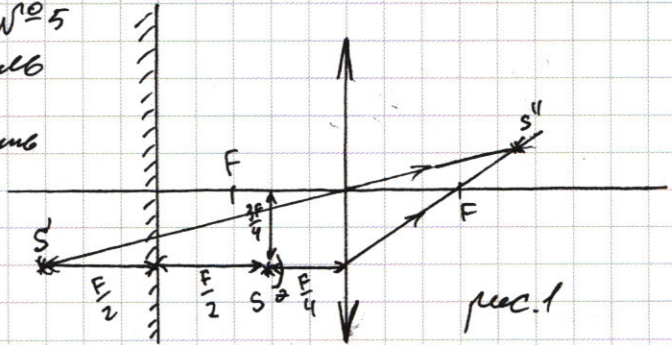
$$\Delta_{3-1} = (V_1 - V_0) \cdot \frac{(p_0 + p)}{2}$$

4) Из 1, 2, 3 $\Rightarrow$ отношение ~~до~~ нужных молярных теплоёмкостей: $C_1 : C_2 = 3 : 5$

$$\begin{aligned} 5) \text{ Из 1, 2, 3 } \Rightarrow \eta &= \frac{\Delta_{2-3} - \Delta_{3-1}}{\Delta_{2-3}} = \frac{\frac{1}{2}(p - p_0)(V_1 - V_0)}{p(V_1 - V_0)} = \frac{1}{2} \left(\frac{p - p_0}{p} \right) = \\ &= \frac{1}{2} \left(1 - \frac{p_0}{p} \right) \Rightarrow \eta_{\text{прег}} = \frac{1}{2} \text{ при } p_0 = 0 \text{ (см. рис. 2)} \end{aligned}$$

Ответ: 3:5 ; 3:2 ; 0,5

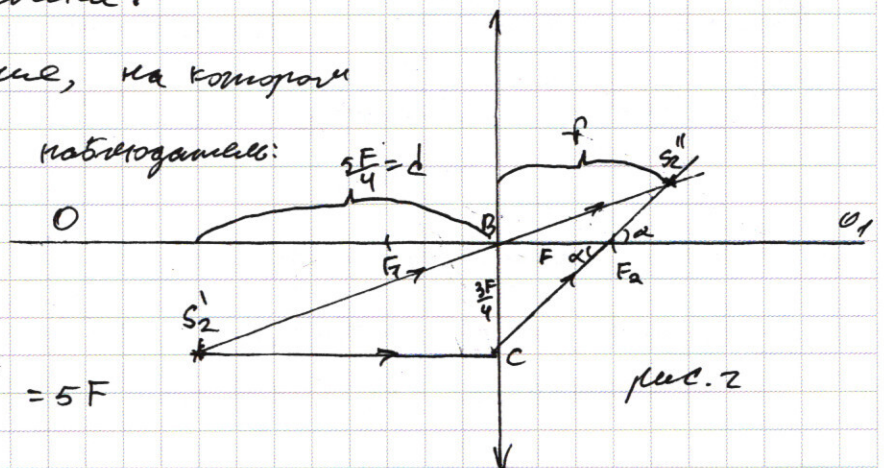
- 1) Заметим, что наблюдатель из-за экрана $\Rightarrow$ будет видеть изображение не источника S , а источника S' , который является отражением S в зеркале.



С учётом этого построим эквивалентную схему для данного момента времени.

- 2) Найдём расстояние, на котором должен находиться наблюдатель:

$$\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d} \Rightarrow f = \frac{dF}{d-F} = \frac{5F \cdot F}{F} = 5F$$



- 3) Заметим, что движение зеркала со скоростью v эквивалентно движению S'_2 со скоростью v в направлении движения зеркала. Также же луч $S'_2 C S''_2$ идёт так, независимо от положения S'_2 (т.к. $\parallel O O_2$ до линзы)

$\Rightarrow$ скорость изображения направлена вдоль $C S_2$

$\Rightarrow$ тангенс искомого угла (α) можно найти из $\triangle B F_2 C$:

$$\tan \alpha = \frac{BC}{BF_2} = \frac{3}{4} \Rightarrow \text{из осн. триг. нахождения } \cos \alpha = \frac{4}{5}$$

- 4) Пусть изображение движется со скоростью u .

Найдём горизонтальную составляющую, т.е:

$$u_x = u \cos \alpha = \dot{f} = \left(\frac{dF}{d-F} \right) = F \frac{v(d-F) - vd}{(d-F)^2} = v \cdot \frac{F^2}{(d-F)^2} = v \cdot \frac{F^2}{d^2} : d^2 = v \left(\frac{F}{d} \right)^2 = 16v \Rightarrow u = \frac{u_x}{\cos \alpha} = 20v$$

Ответ: $5F$; $\tan \alpha = \frac{3}{4}$; $20v$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано:

$$V = 34 \frac{\text{см}}{\text{с}} = 34 \cdot 10^{-2} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$m = 0,3 \text{ кг}$$

$$R = 0,53 \text{ м}$$

$$\cos \alpha = \frac{15}{14}$$

$$\cos \beta = \frac{3}{5}$$

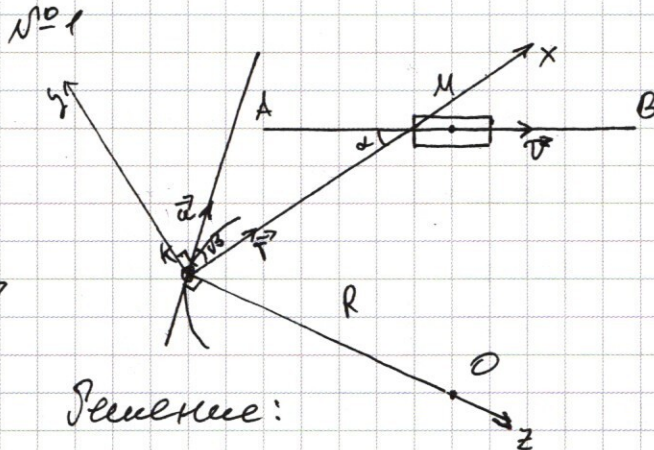
$$\rho = \frac{5R}{4}$$

Найти:

$$|\vec{u}| - ?$$

$$|\vec{u}_{\text{отн}}| - ?$$

$$|\vec{T}| - ?$$



Решение:

1) т.к. нить нерастяжимая $\Rightarrow$ проекции скоростей нити и колеба на ось x должны быть равны!

$$V \cos \alpha = u \cos \beta \Rightarrow u = \frac{V \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{34 \cdot \frac{15}{14}}{\frac{3}{5}} = 50 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

$$\Rightarrow u = 50 \frac{\text{см}}{\text{с}} = 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2) т.к. проекции на ось x равны, то относительная скорость ~~колебаний~~ возникает только из-за проекций на ось y : $u_{\text{отн}} = |u \sin \beta - V \sin \alpha| = 50 \cdot \frac{4}{5} - \frac{34 \cdot 8}{14} = 24 \frac{\text{см}}{\text{с}}$

3) По II закону Ньютона на ось z для колеба:

$$m a_{\text{ц.с.}} = T \cdot \cos(90 - \beta)$$

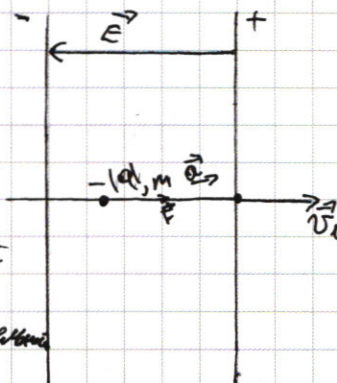
$$T = \frac{m a_{\text{ц.с.}}}{\sin \beta} = \frac{m \frac{u^2}{R}}{\sin \beta} = \frac{m u^2}{R \sin \beta} = \frac{0,3 \cdot 50 \cdot 50 \cdot 10^{-4}}{0,53 \cdot \frac{4}{5}} \approx$$

$$\approx \frac{50 \cdot 0,3 \cdot 5 \cdot 10^{-2}}{4} \approx 0,1845 \text{ Н}$$

Ответ: $0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $24 \frac{\text{см}}{\text{с}}$; $0,1845 \text{ Н}$

№ 3

Дано:

 S, d, U_1 $\frac{|q|}{m} = \gamma$ 1) Электрическое поле
конденсатора будет

Найти: время отрицательной

Т-?

заряд в сторону положительной

Q-?

плоскости. Тогда, для момента времени

 U_2 -?

заряд из конденсатора справедливо (по ЗСЭ):

$$A_{\text{кин}} = \frac{m U_1^2}{2}$$

$$|q| E \cdot 0,4d = \frac{m U_1^2}{2} \Rightarrow E = \frac{m U_1^2}{1,4d|q|} = \frac{U_1^2}{1,4d\gamma}$$

2) По II-му з-ку Ньютона для какого-то момента

времени: $|q|E = ma \Rightarrow a = \gamma E$; В то же время:

$$S_n = \frac{a t^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2 S_n}{a}} = \sqrt{\frac{2 S_n}{\gamma E}}$$

$$\Rightarrow T = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2d \cdot 1,4d\gamma}{U_1^2 \gamma}} = \frac{d}{U_1} \sqrt{\frac{56}{100}} \approx \frac{3}{4} \frac{d}{U_1}$$

$$3) U = Ed = \frac{U_1^2}{1,4\gamma} ; C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

$$C = Q/U \Rightarrow Q = CU = \frac{\epsilon_0 S U_1^2}{1,4d\gamma}$$

4) Работа ~~на~~ ~~конденсатора~~ конденсатора при

перемещении заряда вне конденсатора (открытый заряд)

$$|A| = |q| \frac{E}{2} + |q| \frac{E}{2} (r+d) = \left| \frac{|q| E d}{2} \right| = \frac{|q| E d}{2}$$

 $\Rightarrow$ По ЗСЭ:

$$\frac{m U_2^2}{2} = \frac{m U_1^2}{2} - |A| = |q| E \cdot 0,4d - 0,5|q| E d = 0,2|q| E d$$

$$U_2 = \sqrt{0,4\gamma E d} = \sqrt{\frac{0,4\gamma U_1^2}{1,4d\gamma}} = U_1 \sqrt{\frac{2}{7}}$$

$$\text{Ответ: } \frac{3d}{4U_1} ; \frac{\epsilon_0 S U_1^2}{1,4d\gamma} ; U_1 \sqrt{\frac{2}{7}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 4

Дано:

$$\mathcal{E} = 6 \text{ В}$$

$$C = 40 \text{ мкФ} = 40 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$U_1 = 2 \text{ В}$$

$$L = 0,1 \text{ Гн}$$

$$U_0 = 1 \text{ В}$$

Найти:

$$\dot{I}_0 - ?$$

$$I_{\max} - ?$$

$$U_2 - ?$$

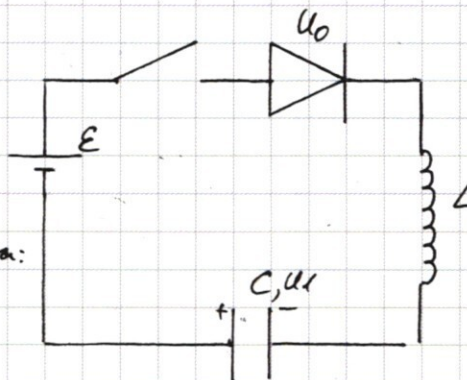
Решение

1) По правилу Кирхгофа:

$$\mathcal{E} + \mathcal{E}_{\text{инд}} = U_C$$

$$\mathcal{E} - L \dot{I} = U_C$$

$$\dot{I} = \frac{\mathcal{E} - U_C}{L} \Rightarrow \dot{I}_0 = \frac{\mathcal{E} - U_1}{L} = \frac{6 - 2}{0,1} = 40 \text{ А/с}$$



2) По ЗСЭ:

$$\frac{q^2}{2C} + \frac{L \dot{I}^2}{2} = (q - q_0) \mathcal{E}$$

$$q_0 = C U_1$$

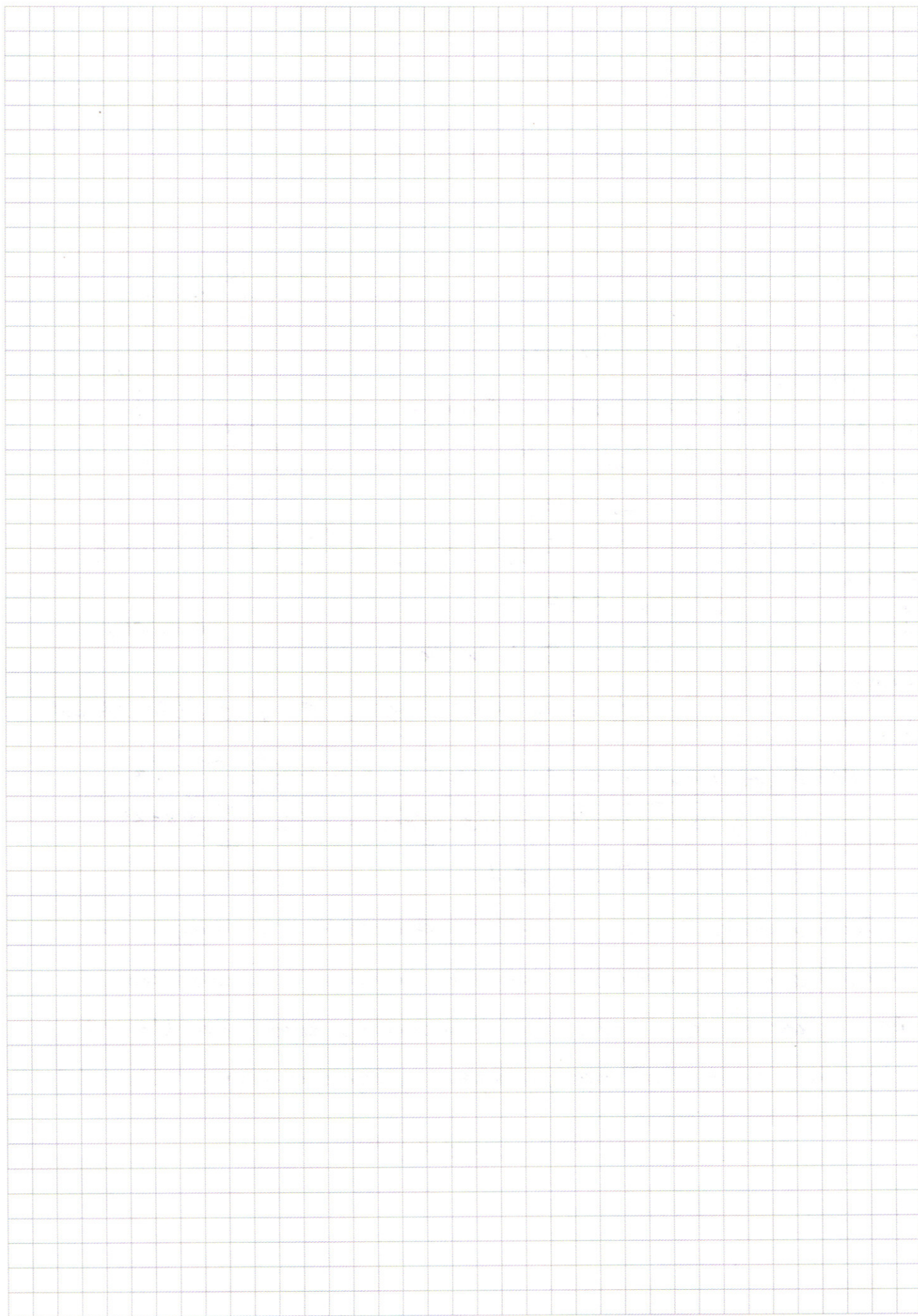
$$\frac{L \dot{I}^2}{2} = (q - q_0) \mathcal{E} - \frac{q^2}{2C} = -\frac{q^2}{2C} + 2qC\mathcal{E} - 2q_0C\mathcal{E}$$

$$\Rightarrow \text{наб зм при } q = C\mathcal{E} \Rightarrow \frac{L \dot{I}^2}{2} = \frac{C^2 \mathcal{E}^2 + 2C^2 \mathcal{E}^2 - 2C^2 U_1 \mathcal{E}}{2C}$$

$$\Rightarrow I = \sqrt{\frac{3C^2 \mathcal{E}^2 - 2C U_1 \mathcal{E}}{L}} = \sqrt{\frac{3C \mathcal{E}^2 - 2U_1 \mathcal{E}}{L}} = \sqrt{\frac{40 \cdot 10^{-6} (108 - 24)}{0,1}} = 2 \cdot 10^{-2} \sqrt{8,4} \approx 0,06 \text{ А}$$

3) Поскольку это колебательный контур, то конденсатор только может иметь напряжения из диапазона $[-2; 2]$. Заметим, что при $U = -1 \text{ В}$ стрелка диода $\nrightarrow$ перезарядка прекратится $\Rightarrow U_2 = 1 \text{ В}$

Ответ: 40 А/с ; $0,06 \text{ А}$; 1 В



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\cos \alpha = \frac{15}{14} \Rightarrow \sin \alpha = \frac{8}{14}$$

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

по формуле ЗСК:

или

$$1) u = V \cdot \cos(180 - \beta - \alpha) =$$

$$= V \cdot \cos(\beta + \alpha) = V(\cos \beta \cdot \cos \alpha - \sin \alpha \cdot \sin \beta) =$$

$$= 34 \cdot \left(\frac{15}{14} \cdot \frac{3}{5} - \frac{8}{14} \cdot \frac{4}{5} \right) = \frac{34 \cdot 13}{14 \cdot 5} = \frac{26}{5} = 5,2 \text{ м/с}$$

$$2) \cos(90 - \beta) \cdot T = \frac{m u^2}{R}$$

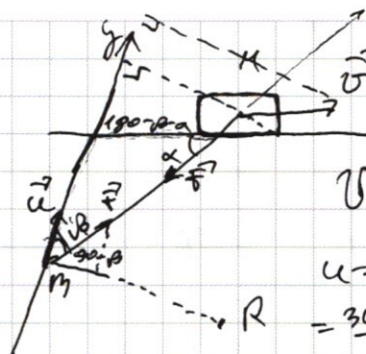
$$T = \frac{m u^2}{R \cdot \sin \beta} =$$

$$T = \frac{3 \cdot 10 \cdot 50^2}{500 \cdot \frac{4}{5}} = \frac{3 \cdot 100 \cdot 25}{500 \cdot \frac{4}{5}} =$$

$$2) \text{ (scribbled out)}$$

$$0,3 \cdot \frac{(26)^2}{25} = \frac{26 \cdot 26 \cdot 0,3}{50} =$$

$$= 13 \cdot 0,3 = 3,9 \text{ Н}$$



$$V \cdot \cos \alpha = u \cdot \cos \beta$$

$$u = \frac{V \cdot \cos \alpha}{\cos \beta} =$$

$$= \frac{34 \cdot \frac{15}{14}}{\frac{3}{5}} = 50$$

$$\begin{array}{r} 250 \\ \times 0,3 \\ \hline \end{array}$$

$$25 \cdot 3$$

$$\begin{array}{r} 45 \quad 4 \\ 4 \quad 8 \\ \hline 35 \\ 32 \\ \hline 3 \end{array}$$

№2

0) Изометр 1-2: $V = \text{const}$
 $\Rightarrow \frac{p}{T} = \text{const} \quad pT \Rightarrow T \uparrow$

2-3: $\frac{V}{T} = \text{const}$

$$\Rightarrow \frac{C_V}{C_P}$$

1) $C_V : A = 0 \Rightarrow C_V = R \cdot \frac{5}{2}$

$$C_P : A = \cancel{V} p_1 - V p_2 + \frac{3}{2} V R \Delta T = \frac{5}{2} V R \Delta T$$

$$\Rightarrow C_P = \frac{5}{2} R \Rightarrow$$

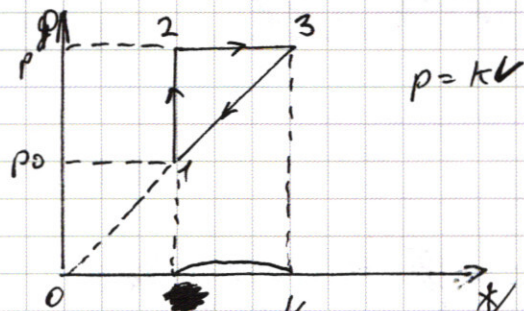
(3:5)

2) $A U = \frac{3}{2} V R \Delta T$

$$A = V R \Delta T \Rightarrow \frac{3}{2}$$

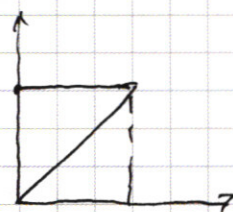
$$3) \eta = \frac{\frac{1}{2} (p - p_0) (T - T_0)}{p (T_0 - T_0)} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{p_0}{p} \right)$$

$$\Rightarrow \eta_{\max} = 0,5$$



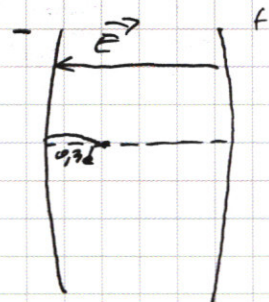
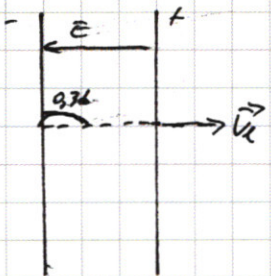
$$C_{\text{max}} = Q$$

$$C_V \Delta T = \frac{3}{2} V R \Delta T = A$$



№3

$$C = \frac{q \cdot S}{d} \rightarrow \infty$$



S!

$$q \cdot E \cdot d \cdot q = \frac{m v^2}{2}$$

$$E = \frac{q \cdot v^2}{2 d q}$$

$$q E = m a$$

$$a = \frac{q E}{m}$$

$$S = \frac{a t^2}{2}$$

$$\Rightarrow t = \sqrt{\frac{2 S}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,4 d}{\frac{q \cdot 50^2}{4 d x}}} = \frac{d}{v_1} \sqrt{\frac{28}{50}}$$

2)

$$3) A = \int_0^\infty \frac{Q \cdot q}{x^2} dx = Q q \int_0^\infty \frac{dx}{x^2} = -Q q \frac{1}{x} \Big|_0^\infty$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 4

1) $\mathcal{E} = L \dot{I} + U_C$

$$\dot{I} = \frac{\mathcal{E} - U_C}{L} = \frac{6 - 2}{0,1} = 40 \text{ A/C}$$

2) $\frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = q \mathcal{E}$

$$\frac{q^2}{2C} + \frac{LI^2}{2} = q \mathcal{E}$$

$$\frac{LI^2}{2} = (q_0 - q) \mathcal{E} - \frac{q^2}{2C} =$$

$$= \frac{\mathcal{E} \cdot 2Cq_0 + \mathcal{E}^2 C - q^2}{2C} = \frac{2\mathcal{E}Cq_0 + 2\mathcal{E}^2 C^2 - \mathcal{E}^2 C^2}{2C} =$$

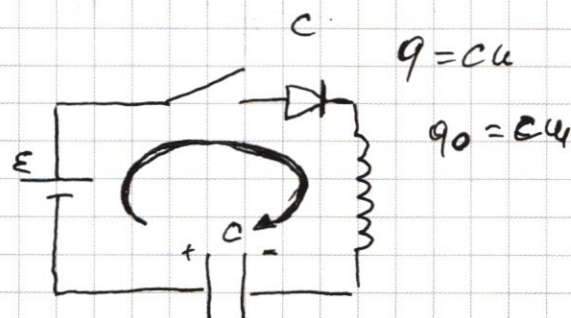
$$\Rightarrow \text{max} \Rightarrow \mathcal{E} C$$

$\Rightarrow \text{max}$ в момент времени.

$$I = \sqrt{\frac{2\mathcal{E}q_0}{L}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 6 \cdot 8 \cdot 40 \cdot 10^{-6}}{0,1}} = 8 \cdot 10^{-2} \sqrt{6} \approx 0,2 \text{ A}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 6 \cdot 40 \cdot 10^{-6} \cdot 2}{0,1}} \approx 0,1 \text{ A}$$



3) При

3) При $\mathcal{E}_{\text{ind}} = U_0$ диод открыт и зарядка прекращается

$$U_2 = U_0$$

$$84 \mid \frac{4}{21}$$

$$\frac{LI^2}{2} = \frac{CU^2}{2}$$

$$I = U \sqrt{\frac{C}{L}} =$$

$$= 2 \cdot \sqrt{40 \cdot 10^{-6}} =$$

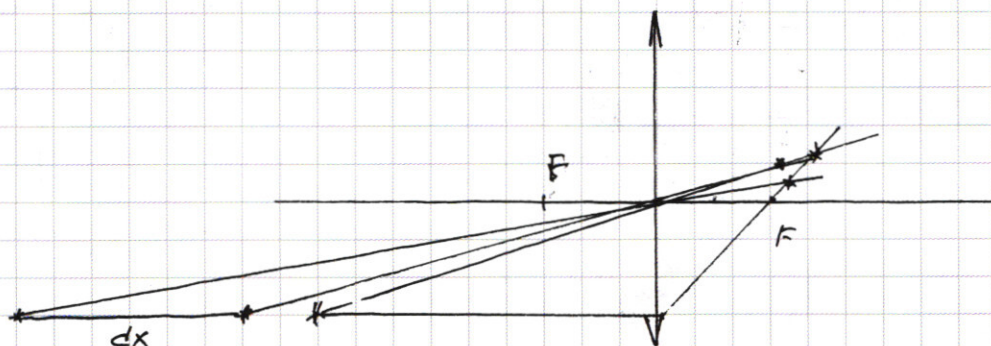
$$= 2 \cdot 10^{-2} =$$

no 5

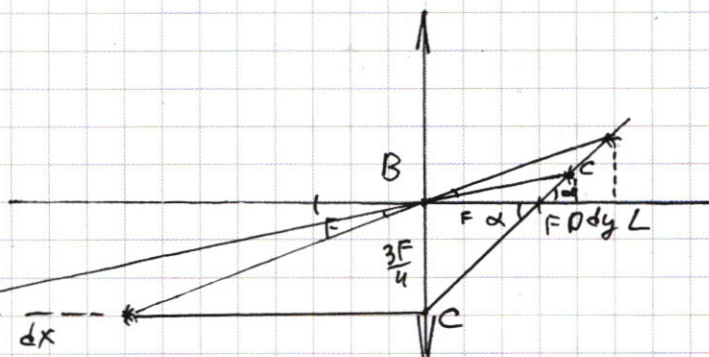
The diagram shows a horizontal beam of length $2l$ pivoted at the left end. A weight $\frac{F}{2}$ is suspended from the beam at a distance l from the pivot. A force F is applied at the right end of the beam, perpendicular to it. The beam is in equilibrium. The diagram shows the forces and the geometry of the beam.

$\theta = \frac{5F}{4}$

2)



$$\sin x = \frac{3}{4}$$



3) $\frac{1}{d+dx} + \frac{1}{F+dy} = \frac{1}{F}$

$\frac{1}{F+dy} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d+dx} = \frac{d+dx-F}{F(d+dx)}$

$A' = \left(\frac{d-F}{Fd} \right)' = \frac{d \cdot Fd - Fd(d-F)}{F^2 d^2}$

$A' = \frac{1}{F} \left(1 - \frac{F}{d} \right)' = \frac{1}{F} \left(\frac{F}{d^2} \right) = \frac{F}{F^2 d^2}$

$$A' = \frac{1}{F} \left(1 - \frac{F}{d} \right) = \frac{1}{F} \left(1 - \frac{F}{d} \cdot v \right)$$

$$A' = \left(\frac{Fd}{d-F} \right)^2 = F \frac{v(d-F) - v d}{(d-F)^2} = v \cdot \frac{F^2}{(d-F)^2} =$$

$$= v \cdot \frac{d^2 F^2}{(d-F)^2} : d^2 = v \left(\frac{F}{d} \right)^2 = 16F$$

$$= 4 \cdot \cos \alpha$$