

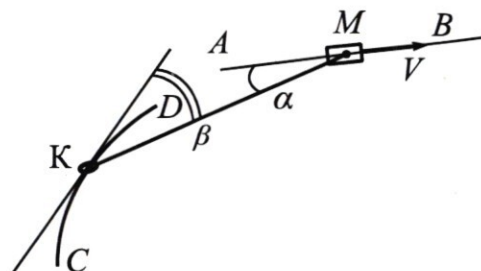
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Вариант 11-04

Класс 11

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

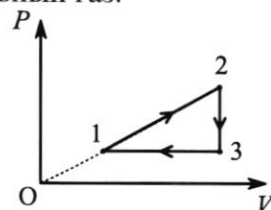
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 2$ м/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,4$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент трос составляет угол α ($\cos \alpha = 4/5$) 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 изменения внутренней энергии газа к работе газа.
- 3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



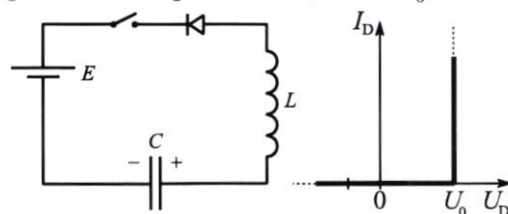
3. Обкладки конденсатора – квадратные металлические сетки, сторона квадрата во много раз больше расстояния d между обкладками. Напряжение на конденсаторе U . Отрицательно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается на расстоянии $0,2d$ от отрицательно заряженной обкладки.

- 1) Найдите удельный заряд частицы $\gamma = \frac{|q|}{m}$.
- 2) Через какое время T после влета в конденсатор частица вылетит из него?
- 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.

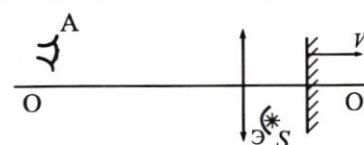
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 9$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,4$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ 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.

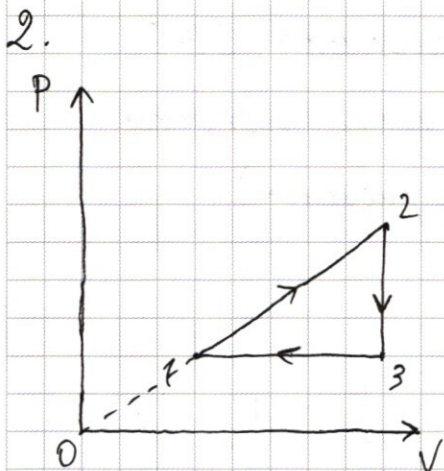


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $8F/15$ от оси OO_1 и на расстоянии $3F/5$ от плоскости линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии $6F/5$ 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



1) $\frac{C_{m23}}{C_{m31}} = ?$

2) $\frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = ?$

3) $\eta_m = ?$

Решение:

1) Процесс 2-3:

По I закону Термодинамики:

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} \quad (1)$$

$$A_{23} = p \Delta V_{23}, \text{ но } \Delta V_{23} = 0 \quad (V_2 = V_3)$$

$$A_{23} = 0 \quad (\text{работа})$$

$$Q_{23} = \Delta U_{23} \quad (2)$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{23} \quad (3) \quad (\text{изм внутр эн})$$

$$(3) \rightarrow (2): Q_{23} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{23} \quad (4)$$

$$Q_{23} = C_{m23} \nu \Delta T_{23} \quad (5)$$

$$(4) \rightarrow (5): \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{23} = C_{m23} \nu \Delta T_{23}$$

$$C_{m23} = \frac{3}{2} R \quad (6)$$

2) Процесс 3-1:

$$Q_{31} = \Delta U_{31} + A_{31} \quad (7)$$

$$\Delta U_{31} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{31} \quad (8)$$

$$A_{31} = p_1 \Delta V_{31} \quad (9)$$

По ур. сост. уг. газа:

$$p_1 \Delta V_{31} = \nu R \Delta T_{31} \quad (10)$$

$$(10) \rightarrow (9)$$

$$A_{31} = \nu R \Delta T_{31} \quad (11)$$

$$(11); (8) \rightarrow (7)$$

$$Q_{31} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T_{31} \quad (12)$$

$$Q_{31} = C_{m31} \nu \Delta T_{31} \quad (13)$$

$$(12) \rightarrow (13): \frac{5}{2} \nu R \Delta T_{31} = C_{m31} \nu \Delta T_{31}$$

$$C_{m31} = \frac{5}{2} R \quad (14)$$

Разделим (6) на (14):

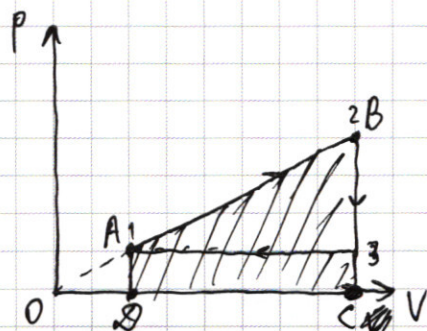
$$\frac{C_{m23}}{C_{m31}} = \frac{3 R}{2 \cdot 5 R} = \frac{3}{5}$$

продолжение на др. стороне

3) Процесс 1-2:

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12} \quad (15) \quad \text{Чтобы найти работу газа на участке}$$

1-2 найдем площадь закрашенной фигуры ABCD. Для этого из площади Δ треугольника OBC вычтем площадь треугольника OAD (как видно из рисунка)



~~Итого работа~~

$$A_{12} = S_{ABCO} = S_{OBC} - S_{OAD} \quad (16)$$

$$S_{OBC} = \frac{1}{2} OC \cdot BC; \quad OC = V_2; \quad BC = p_2 \Rightarrow S_{OBC} = \frac{1}{2} p_2 V_2 \quad (17)$$

$$S_{OAD} = \frac{1}{2} OD \cdot AD; \quad OD = V_1; \quad AD = p_1 \Rightarrow S_{OAD} = \frac{1}{2} p_1 V_1 \quad (18)$$

По ур. сост. уг. газа:

$$p_1 V_1 = \nu R T_1 \quad (19)$$

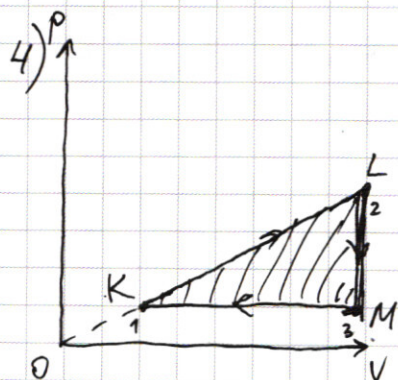
$$p_2 V_2 = \nu R T_2 \quad (20)$$

$$(19) \rightarrow (18); \quad (20) \rightarrow (17): \quad S_{OBC} = \frac{1}{2} \nu R T_2^{(21)}; \quad S_{OAD} = \frac{1}{2} \nu R T_1^{(22)}$$

$$(21); (22) \rightarrow (16): \quad \boxed{A_{12} = \frac{1}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{1}{2} \nu R \Delta T_{12}} \quad (23)$$

Разделим (15) на (23):

$$\boxed{\frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = \frac{\frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12}}{\frac{1}{2} \nu R \Delta T_{12}} = 3}$$



$\eta = \frac{A}{Q_{нагр}}$ (24); работа газа за цикл равна площади закрашенной фигуры KLM

$$A = S_{KLM} = \frac{1}{2} KM \cdot LM = \frac{1}{2} (V_3 - V_1) (p_2 - p_3)$$

но $V_2 = V_3$; $p_3 = p_1$, поэтому:

$$A = S_{KLM} = \frac{1}{2} (V_2 - V_1) (p_2 - p_1) = \frac{1}{2} \Delta p_{12} \cdot \Delta V_{12} \quad (25)$$

продолжение на след. лист

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~~по 1-й. 2-й. 3-й. 4-й. 5-й. 6-й. 7-й. 8-й. 9-й. 10-й. 11-й. 12-й. 13-й. 14-й. 15-й. 16-й. 17-й. 18-й. 19-й. 20-й. 21-й. 22-й. 23-й. 24-й. 25-й. 26-й. 27-й. 28-й. 29-й. 30-й. 31-й. 32-й. 33-й. 34-й. 35-й. 36-й. 37-й. 38-й. 39-й. 40-й. 41-й. 42-й. 43-й. 44-й. 45-й. 46-й. 47-й. 48-й. 49-й. 50-й. 51-й. 52-й. 53-й. 54-й. 55-й. 56-й. 57-й. 58-й. 59-й. 60-й. 61-й. 62-й. 63-й. 64-й. 65-й. 66-й. 67-й. 68-й. 69-й. 70-й. 71-й. 72-й. 73-й. 74-й. 75-й. 76-й. 77-й. 78-й. 79-й. 80-й. 81-й. 82-й. 83-й. 84-й. 85-й. 86-й. 87-й. 88-й. 89-й. 90-й. 91-й. 92-й. 93-й. 94-й. 95-й. 96-й. 97-й. 98-й. 99-й. 100-й.~~

~~$$Q_{12} = \Delta U_{12} = 2UR\Delta T_{12} \quad (26)$$~~

~~$$(26) \rightarrow (25)$$~~

~~$$A = \frac{1}{2} UR$$~~

В процессах 2-3 и 3-1 газ отдаёт тепло, а получает только

в процессе 1-2, значит $Q_{нагр} = Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} \quad (26)$

(15); (23) $\rightarrow$ (26)

$$Q_{нагр} = 2UR\Delta T_{12} \quad (27)$$

Ответ: 1) $\frac{C_{m23}}{C_{m31}} = \frac{3}{5}$ 2) $\frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = 3$ продолжение этой задачи на стр. 8

3. Дано:

$d; U; V_1;$

$0,2d$

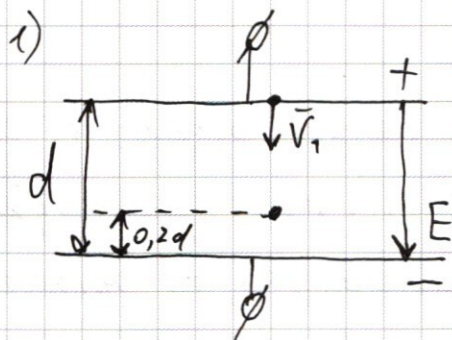
1) $r = \frac{|q|}{m}$

2) $T = ?$

3) $V_0 = ?$

$E = \frac{U}{d} \quad (2)$

Решение:



По 3. сохр. эи:

$$\frac{m V_1^2}{2} = E \cdot |q| \cdot 0,8d \quad (1)$$

Работа кулоновской силы, когда частица прошла расстояние: $d - 0,2d = 0,8d$

$\frac{m V_1^2}{2} = \frac{U |q| \cdot 0,8d}{d} \quad | : m$

$$\frac{V_1^2}{2} = \frac{0,8U |q|}{m} ; 0,8U \gamma = \frac{V_1^2}{2} \Rightarrow \gamma = \frac{V_1^2}{1,6U} \quad (*)$$

продолжение на др. стороне

2) Уравнение скорости для частицы:

$$v = v_0 - at ; v = 0 ; v_0 = V_1 ; t - \text{время, за кот. частица преодолела}$$

$$V_1 = at ; a - \text{уск-е, кот. придают частице расстояние } 0,8d \text{ или } 1,6d$$

$$t = \frac{V_1}{a} \quad (3)$$

По II з Колебание для частицы:

$$F = ma \quad (4) ; F = E|q| \quad (5)$$

$$(5) \rightarrow (4) : E|q| = ma \Rightarrow a = \frac{E|q|}{m} = E \gamma \quad (6)$$

$$(2); (*) \rightarrow (6) : \cancel{a = \frac{V_1^2}{1,6d}} \quad a = \frac{V_1^2}{1,6d} \quad (7)$$

$$(7) \rightarrow (3) : t = \frac{1,6 V_1 d}{V_1^2} ; \quad \boxed{t = \frac{1,6d}{V_1}}$$

такое же время частица будет лететь обратно, поэтому $T = 2t =$

$$\boxed{T = \frac{3,2d}{V_1}}$$

3) Когда частица вошёл в конденсатор, её скорость будет равна V_1 . Т.к. эл. поле существует только между пластинами конденсатора, то никакая сила не будет влиять на частицу вне конденсатора, а значит справедлив следующий закон:

$$\frac{m V_1^2}{2} = \frac{m V_0^2}{2} \Rightarrow V_0 = V_1$$

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

4. Дано:

- $E = 6 \text{ В}$
- $C = 10 \text{ мкФ}$
- $U_1 = 9 \text{ В}$
- $L = 0,4 \text{ Гн}$
- $U_0 = 1 \text{ В}$

Решение:

Обозначим потенциалы в точках A; B; C; D

Пусть $\varphi_A = 0$
тогда $\varphi_B = E$; $\varphi_C = U_1$
 $\varphi_C - \varphi_B = U_0$

1) $I' = ?$

2) $I_m = ?$

3) $U_2 = ?$

$$U_L = LI' \text{ (напр на катушке)} \Rightarrow I' = \frac{U_L}{L} \quad (1)$$

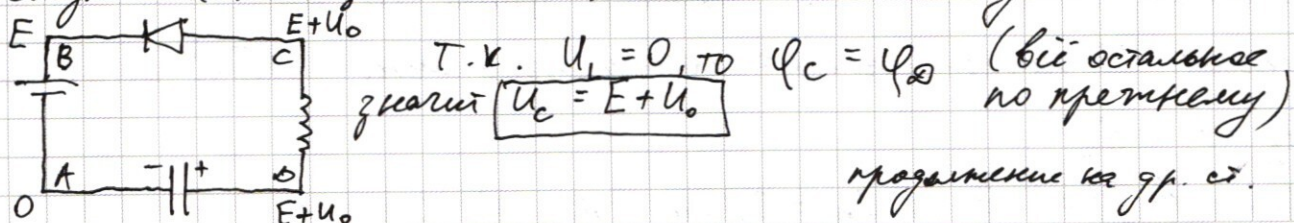
3) когда ключ замкнут, через диод пойдет ток, а значит на $U_D = U_0$, значит $\varphi_C = \varphi_B + U_0$
 $\varphi_C = E + U_0 \quad (2)$

$$U_L = \varphi_D - \varphi_C; \quad U_L = U_1 - E + U_0 \quad (3)$$

$$(3) \rightarrow (1): \quad I' = \frac{U_1 - E + U_0}{L} = \frac{2 \text{ В}}{0,4 \text{ Гн}} = 5 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$

4) когда $I = I_m$; $I' = 0 \Rightarrow U_L = 0$

Обозначим потенциалы на схеме в моменты, когда $I = I_m$:



5) По 3 сохр. зк:

минус, т.к. E соверш. отриц. раб при переборке заряда

$$-A_E = \Delta W_C + \Delta W_L \quad (u) \quad A_E - \text{работа источника}$$

$$A_E = E \Delta q$$

Δq - заряд, прошедший через источник за время τ

τ - время, за кот ток в цепи стал максимальным

$$\Delta q = q_c - q_c^*$$

$$q_c = C U_1; \quad q_c^* = C (E + U_1)$$

$$\Delta q = C (U_1 - E - U_1) = -CE \quad (5)$$

$$\Delta W_C = \frac{C (U_0 + E)^2}{2} - \frac{C U_1^2}{2} \quad (6)$$

$$\Delta W_L = \frac{L I_m^2}{2} \quad (7)$$

подст. (5); (6); (7) → (4)

$$CE^2 = \frac{C (U_0^2 + 2U_0E + E^2 - U_1^2)}{2} + \frac{L I_m^2}{2}$$

$$\frac{L I_m^2}{2} = C \left(E^2 - \frac{(U_0 + E)^2 - U_1^2}{2} \right)$$

$$I_m = \sqrt{\frac{2C (E^2 - \frac{(U_0 + E)^2 - U_1^2}{2})}{L}} = \sqrt{\frac{10^{-5} (36 - 16)}{0,4}} =$$

$$= \sqrt{\frac{10^{-5} \cdot 52}{0,4}} = \sqrt{10^{-5} \cdot 130} = \sqrt{13 \cdot 10^{-6}} \approx 3,6 \cdot 10^{-2} \text{ A}$$

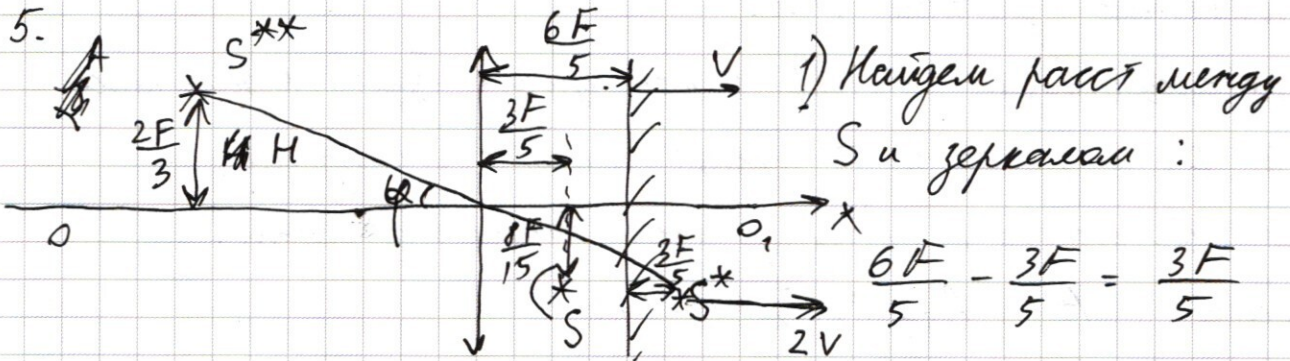
6) В установившемся режиме заряд на конденсаторе не будет меняться, а значит в цепи не будет

значит на напряжение на конденсаторе равно ЭДС источника

$$U_2 = E = 6 \text{ В}$$

Ответ: 1) $I' = 5 \frac{\text{A}}{\text{с}}$ 2) $I_m = 3,6 \cdot 10^{-2} \text{ A}$; 3) $U_2 = 6 \text{ В}$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



изображение S^* будет как-то на таком же расст. от зеркала, что и источник S

S^* будет источником для линзы

По формуле тонкой линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} ; f = \frac{Fd}{d-F} (1);$$

d - расст между линзой и S^*

$$d = \frac{6F}{5} + \frac{3F}{5} = \frac{9F}{5} (2)$$

$$(2) \rightarrow (1): \left[f = \frac{9F^2}{5\left(\frac{4F}{5}\right)} = \frac{9F^2}{4F} = \frac{9F}{4} \right]$$

3) Зеркало удаляется от S со скоростью V

значит относительно зеркала S^* будет удаляться со скоростью V , а относительно земли со скоростью $2V$

$$\Gamma = \frac{f}{d} = \frac{9F \cdot 5}{4 \cdot 9F} = \frac{5}{4} ; H = \frac{8F \cdot 5^2}{15 \cdot H_1} = \frac{2F}{3}$$

H - расст от S^{**} до OO_1

$$v_{*x} = \Gamma^2 \cdot 2V$$

v_{*x} - скорость S^{**} по оси Ox

$$v_{*x} = \frac{25 \cdot 2V}{16 \cdot 8} = \frac{25V}{8}$$

$$4) \operatorname{tg} \varphi = \frac{M}{f} = \frac{2F \cdot 4}{3 \cdot 9F} = \frac{8}{27}$$

Ответ: 1) $f = \frac{9F}{4}$

продолжение задачи №2.

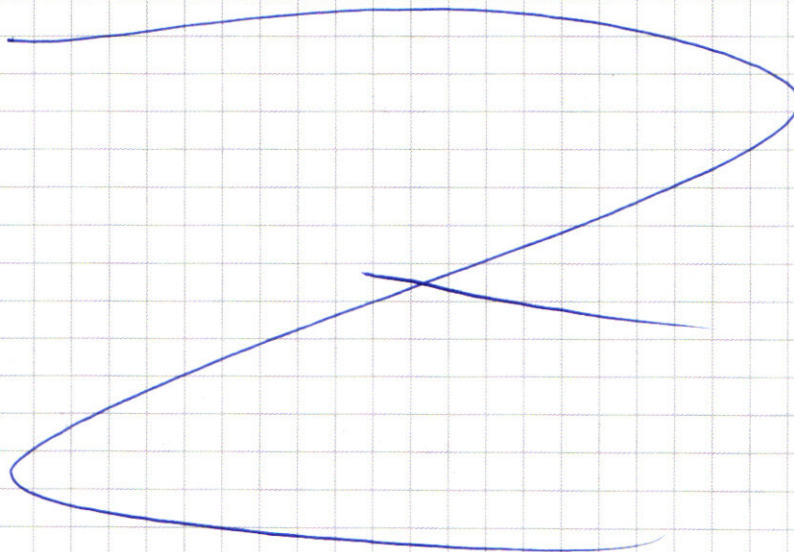
3) предположив КПД, такое условие будет предельным
если R_1 и R_3 считать будут крайне малыми.

Следовательно A_{31} можно признать за ноль.

Тогда $A = A_{12} = \frac{1}{2} U R_{AT_{12}}$

$\eta_m = \frac{A}{Q_{нагр}} = \frac{\frac{1}{2} U R_{AT_{12}}}{2 \cdot 2 U R_{AT_{12}}} = \frac{1}{4}$

Ответ: 3) $\eta_m = \frac{1}{4}$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$2. \quad \frac{pV}{T} = \text{const}$$

$$V = \text{const}$$

$$p = \text{const}$$

$$(3-1): \frac{V}{T} = \text{const}; \quad V \downarrow \Rightarrow T \downarrow$$

$$1-2: \quad T \uparrow \uparrow$$

$$(2-3) \quad \frac{p}{T} = \text{const} \Rightarrow p \downarrow \Rightarrow T \downarrow$$

$$C_M = \frac{C}{V}$$

$$Q = C_M \Delta T$$

$$Q = C \Delta t$$

$$C = C_M \cdot V$$

$$Q =$$

$$Q = C_M V \Delta t$$

$$\eta = \frac{A}{Q_{\text{нагр}}}$$

$$Q_{\text{нагр}} = Q_{12} = 2VR \Delta T_{12}$$

$$A = \frac{1}{2} VR \Delta T_{12} + VR \Delta T_{31}$$

$$A_{123} = \frac{1}{2} VR \Delta T_{12}$$

$$S_{123} = \frac{1}{2} (V_2 - V_1) \cdot (p_2 - p_1) =$$

$$= \frac{1}{2} \Delta p_{12} \cdot \Delta V_{12} = \frac{1}{2} VR \Delta T_{12}$$

$$A_{31} = - (V_3 - V_1) \cdot p_1 = p_1 \Delta V_{31}$$

$$A = \frac{1}{2} VR \Delta T_{12} + VR \Delta T_{31}$$

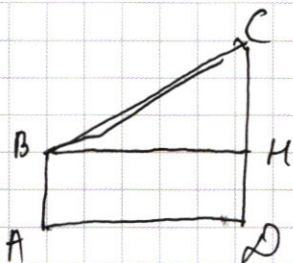
$$\eta = \frac{\frac{1}{2} VR \Delta T_{12}}{2 \cdot \frac{1}{2} VR \Delta T_{12}} = \frac{1}{4}$$

$$A_{12} = \frac{1}{2} VR (T_2 - T_1)$$

$$A_{31} = VR (T_1 - T_3)$$

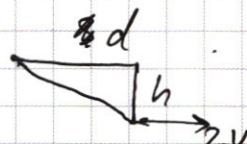
$$A = A_{12} + A_{31} = VR \left(\frac{1}{2} T_2 - \frac{1}{2} T_1 + T_1 - T_3 \right) =$$

$$A = VR \left(\frac{T_1}{2} + \frac{T_2}{2} - T_3 \right)$$



$$S_{ABCD} = \frac{AB + CD}{2} \cdot BH = \frac{1}{2} v R \Delta T_{12}$$

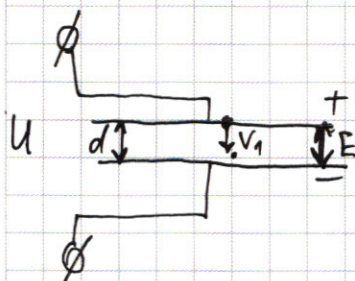
~~§ A~~



$h = \text{const}$

$$d = d_0 + 2V_1 t$$

3.



$$\frac{m v_1^2}{2} = E \cdot 0,8d \cdot |q|$$

$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

$$T = 2t$$

$$0,8d = v_1 t +$$

$$v = v_0 + at$$

$$0 = v_0$$

$$0 = v_1 - at$$

$$Eq = ma \quad E = \frac{U}{d}$$

$$a = \frac{Eq}{m} = \frac{U|q|}{dm}$$

$$= \frac{Uq}{d}$$

$$r = \frac{v_1^2}{1,6U}$$

$$= \frac{U \cdot v_1^2}{1,6d \cdot U} = \frac{v_1^2}{1,6d}$$

$$0,8d = v_1 t + \frac{v_1^2 t^2}{3,2d}$$

$$v_1 = at$$

$$v_1 = \frac{v_1^2 t}{1,6d}$$

$$\frac{v_1 t}{1,6d} = 1$$

$$t = \frac{1,6d}{v_1}$$

$$q = CU$$

$$49 - 81 = -32$$

$$\frac{-32}{2} = -16$$

$$\begin{array}{r} 520 \overline{) 4} \\ 130 \\ \hline 12 \\ \hline 00 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 36+3 \\ \hline 3/5 \\ \hline 3/5 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3,5 \\ \times 3,5 \\ \hline 175 \\ 105 \\ \hline 1225 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3,7 \\ \times 3,7 \\ \hline 259 \\ 111 \\ \hline 1369 \end{array}$$