

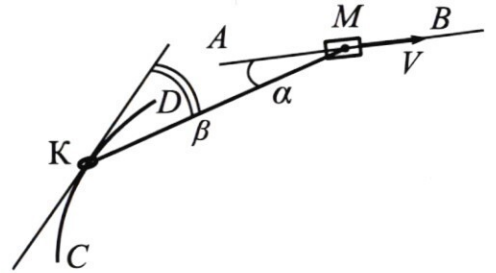
Олимпиада «Физтех» по физике, фс

Класс 11

Вариант 11-02

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

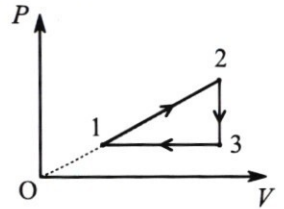
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 40$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,7$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной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



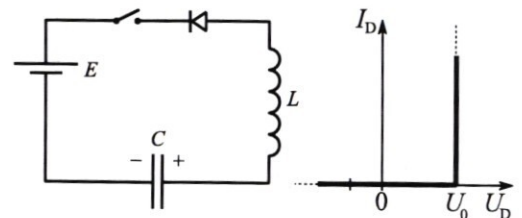
3. Обкладки конденсатора – квадратные металлические сетки, сторона квадрата во много раз больше расстояния d между обкладками. Положительно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается между 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.

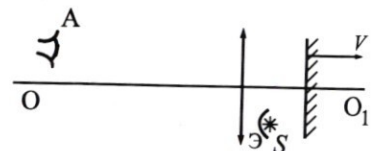
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 3$ В, конденсатор емкостью $C = 20$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 6$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,2$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$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



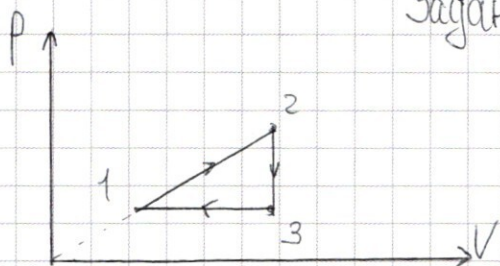
5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник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

Задание 2.



1) Пусть T_1, T_2, T_3 - температура газа в точках 1, 2 и 3 графика соответственно. Пусть C_{12}, C_{23} и C_{31} - молярные теплоемкости процессов 1-2, 2-3 и 3-1 соответственно. i - степень свободы газа (для однокатного газа $i=3$). Пусть $p_1, V_1, p_2, V_2, p_3, V_3$ - давление и объем газа на участке 1-2 в точках 1, 2 и 3 графика соответственно.

На участке 1-2 выполняется соотношение $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$. Из графика видно, что $p_2 = p_1$, а $V_2 > V_1$. Следовательно $T_2 > T_1$, то есть на участке 1-2 температура возрастает.

Участок 2-3 - изохора, следовательно $\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3}$. Из графика видно, что $p_3 < p_2$, следовательно $T_3 < T_2$. На участке 2-3 температура падает. Поскольку 2-3 - изохора, то $C_{23} = \frac{i}{2} R$, то есть $C_{23} = \frac{3}{2} R$.

Участок 3-1 - изобара, значит $\frac{V_3}{T_3} = \frac{V_1}{T_1}$. Из графика видно, что $V_1 < V_3$, значит $T_1 < T_3$. На участке 3-1 температура падает. Поскольку 3-1 - изобара, то $C_{31} = \frac{i}{2} R + R$. $C_{31} = \frac{3}{2} R + R = \frac{5}{2} R$.

Температура падает на участках 2-3 и 3-1. $\frac{C_{23}}{C_{31}} = \frac{\frac{3}{2} R}{\frac{5}{2} R} = \frac{3}{5}$.

2) Пусть $A_{12}, \Delta U_{12}, Q_{12}$ - это работа, изменение внутренней энергии и теплота, полученная газом на участке 1-2. Поскольку $T_2 > T_1$, то $\Delta U_{12} > 0$. Поскольку $V_2 > V_1, p_2 = p_1$, то Поскольку зависимость давления

от объема на участке 1-2 можно описать формулой $p = k/V$, где p - давление газа, V - объем газа, а k - коэффициент, то $p \cdot V = k$, где k - константа. Участок 1-2 - процесс, который можно описать формулой $pV^\alpha = \text{const}$. Для такого процесса молярная теплоемкость будет равна $C = C_V + \frac{R}{1-\alpha}$, где C_V - молярная теплоемкость изохорного процесса этого газа. Значит

$$C_{12} = C_{23} + \frac{R}{1-1} \quad \text{и} \quad C_{12} = \frac{3}{2}R + \frac{R}{2} = 2R. \quad \Delta U_{12} = \frac{3}{2}R(T_2 - T_1).$$

$$Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12} = C_{12} \cdot (T_2 - T_1) \cdot \nu. \quad A_{12} = Q_{12} - \Delta U_{12}.$$

$$A_{12} = 2R \cdot \nu \cdot (T_2 - T_1) - \frac{3}{2} \nu R \cdot (T_2 - T_1). \quad A_{12} = \frac{1}{2} \nu (T_2 - T_1)$$

$$\frac{A_{12}}{Q_{12}} = \frac{Q_{12}}{A_{12}} = \frac{2R \cdot \nu \cdot (T_2 - T_1)}{\frac{1}{2} \cdot \nu \cdot (T_2 - T_1)} = 4.$$

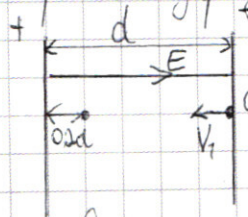
$$\text{Ответ: 1) } \frac{C_{23}}{C_{31}} = \frac{3}{5}. \quad 2) \frac{Q_{12}}{A_{12}} = 4.$$

Задание 3.

1) Рассмотрим два случая: когда заряд влетает в положительно и в отрицательно заряженную обкладку. Если заряд влетает в положительно заряженную обкладку, то поле внутри конденсатора будет разгонять заряд, а значит внутри конденсатора заряд не остановится. Значит заряд влетает в отрицательно заряженную обкладку.

Пусть E - напряженность поля между обкладками конденсатора, F - сила, действующая на заряд со стороны поля конденсатора.

v_2 - его конечная скорость ($v_2 = 0$) заряда. a - ускорение заряда после его влета в конденсатор.



Поскольку d очень мало по сравнению с радиусами ~~и~~ сеток, то электрическое поле можно считать однородным.

Когда заряд влетает в конденсатор, на него начинает действовать тормозящая сила $F = E \cdot q$. $a = \frac{F}{m} = \frac{Eq}{m} = Eq$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Заряд внутри конденсатора пролетит расстояние $l = d - 0,2d = 0,8d$.

Тогда $l = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a}$ $0,8d = \frac{-v_1^2}{-2 \cdot E_f}$. Отсюда $E = \frac{v_1^2}{1,6 \cdot d \cdot f}$.

Так же $v_2 = v_1 - at$ $v_1 = at$ $T = \frac{v_1}{a}$ $T = \frac{v_1}{E_f} = \frac{v_1 \cdot 1,6 \cdot d \cdot f}{v_1^2}$

$T = \frac{1,6d}{v_1}$.

2) $U = Ed$, где E - напряженность поля внутри конденсатора, d - расстояние между обкладками. $U = \frac{v_1^2 \cdot d}{1,6 \cdot d \cdot f}$ $U = \frac{v_1^2}{1,6 f}$.

3) Пусть потенциал на отрицательно заряженной обкладке будет равен нулю. Тогда в точке, где остановилась частица потенциал $\varphi = 0,8d \cdot E$ $\varphi - 0 = 0,8d \cdot E$ $\varphi = 0,8d \cdot \frac{v_1^2}{1,6d f}$ $\varphi = \frac{v_1^2}{2f}$. Полная энергия A

частицы будет $A = \varphi q = \frac{v_1^2 q}{2f}$. Пусть A_1 - полная энергия частицы на бесконечно большом расстоянии от конденсатора. $A_1 = \frac{mv^2}{2}$, где v - скорость частицы. $A = A_1$ $v = \sqrt{\frac{2A_1}{m}}$. $v = \sqrt{\frac{2 \cdot \frac{v_1^2 q}{2f}}{m}} = \sqrt{\frac{v_1^2 q}{mf}}$.
 $v = |v_1|$.

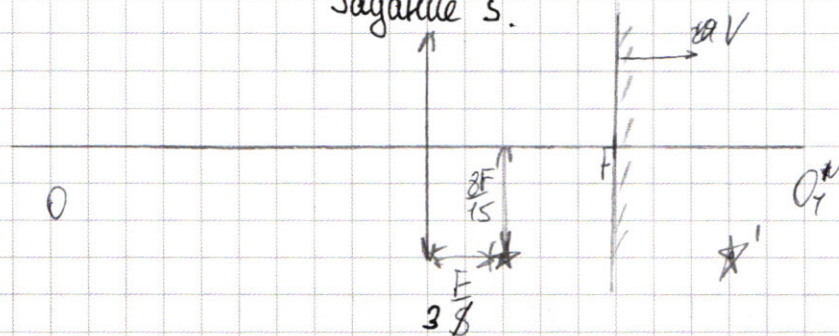
Ответ: 1) $T = \frac{1,6d}{v_1}$. 2) $U = \frac{v_1^2}{1,6 f}$. 3) $v = |v_1|$.

Задача 4.

3) Поскольку активного сопротивления в цепи нет, конденсатор будет разряжаться до $E = 3В$ источника. $U_2 = E = 3В$.

Ответ: 3) $U_2 = 3В$.

Задача 5.



1) ~~Изображение источника~~ Для удобства я приму $\star'$ как "источник". $\star'$ находится симметрично $\star$ относительно зеркала. Поскольку все лучи, идущие от источника $\star$ отражаются от плоского зеркала, можно считать, что лучи идут от источника $\star'$ плоскости линзы, а f - расстояние от плоскости линзы до изображения "источника" $\star$. $d = 2 \cdot (F - \frac{F}{3}) + \frac{F}{3} = \frac{5}{3}F$. $f = \frac{Fd}{d - F}$

$$f = \frac{F \cdot \frac{5}{3}F}{\frac{5}{3}F - F} = \frac{5}{2}F$$

3) Пусть в момент $t=0$ зеркало находилось на расстоянии $\frac{F}{3}$ от оси линзы. Тогда $d(t) = \frac{F}{3} + (\frac{F}{3} + Vt - \frac{F}{3})^2 = \frac{F}{3} + 2Vt$.

$$f(t) = \frac{F \cdot (\frac{F}{3} + 2Vt)}{\frac{F}{3} + 2Vt - F} = \frac{F^2 + 6VtF}{6Vt - 2F}$$

Если мы возьмем производную по времени то найдем $v(t)$ - зависимость скорости изображения вдоль оси OO_1 от времени.

$$v_t = f' = \frac{6VF(6Vt - 2F) - 6V(F^2 + 6VtF)}{(6Vt - 2F)^2} = \frac{-12VF^2 - 6VF^2}{(6Vt - 2F)^2}$$

(со знаками "-", так как направление в другую сторону).

Когда зеркало прои

Пусть t_0 - время, когда зеркало достигло расстояния F от плоскости линзы. $F = \frac{F}{3} + Vt_0$ $Vt_0 = \frac{2}{3}F$ $t_0 = \frac{2F}{3V}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$v_1(t_0) = \frac{-18VF^2}{(4F-2F)^2} = \frac{-18VF^2}{4F^2} = -4,5V.$$

Пусть h - высота изображения, а v_2 - скорость движения изображения по вертикали. $\frac{h}{\frac{8F}{15}} = \frac{f}{d}$ $h = \frac{\frac{8F}{15} \cdot f}{d}$

$$h_{\text{ис}} = \frac{8F \cdot \frac{F^2 + 6VtF}{6Vt - 2F}}{15 \cdot (\frac{F}{3} + 2Vt)} = \frac{8F(F^2 + 6VtF)}{15(6Vt - 2F)(\frac{F}{3} + 2Vt)} = \frac{8F^3 + 48VtF^2}{15(6Vt - 2F)(\frac{F}{3} + 2Vt)}$$

$$= \frac{8F^2(F + 6Vt)}{5(6Vt - 2F)(F + 6Vt)} = \frac{8F^2}{5(6Vt - 2F)} = \frac{8F^2}{30Vt - 10F}$$

Если мы возьмем производную по времени, то получим скорость по вертикали (подставив t_0).

$$v_2(t) = h'(t) = \frac{-30V \cdot 8F^2}{(30Vt - 10F)^2}$$

$$v_2(t_0) = \frac{-240VF^2}{(20F - 10F)^2} = \frac{-240VF^2}{100F^2} = -2,4V.$$

Пусть u - полная скорость изображения в момент времени t_0 .

$$u = \sqrt{v_1(t_0)^2 + v_2(t_0)^2} = \sqrt{(4,5)^2 V^2 + V^2 \cdot (2,4)^2} = V \sqrt{26,01} = 5,1V.$$

2) Отношение скорости ^{движения} по вертикали к скорости движения по горизонтали изображения будет тангенсом угла наклона.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_2}{v_1} = \frac{2,4V}{4,5V} = \frac{8}{15}$$

Ответ: 1) $f = \frac{5}{2}F$. 2) $\operatorname{tg} \alpha = \frac{8}{15}$. 3) $u = 5,1V$.

Задание 1.

1) По умолчанию нить нерастяжима. Чтобы нить не порвалась, нужно, чтобы проекции скоростей концов нити на эту нить были одинаковыми. Пусть u - скорость камня, тогда $u \cos \beta = V \cdot \cos \alpha$ $u = \frac{V \cos \alpha}{\cos \beta}$ и $V = 40 \text{ м/с} = 0,4 \text{ м/с}$.

$$u = \frac{0,4 \cdot 3 \cdot 17}{5 \cdot 8} = 0,51 \text{ м/с}$$

2) Пусть $\vec{v}_0 = \vec{v} - \vec{u}$, то есть скорость камня относительно шурты. По теореме косинусов

$$v_0^2 = v^2 + u^2 - 2vu \cdot \cos(\beta + \alpha)$$

$$v_0 = \sqrt{v^2 + u^2 - 2vu(\cos \beta \cos \alpha - \sin \beta \sin \alpha)}$$

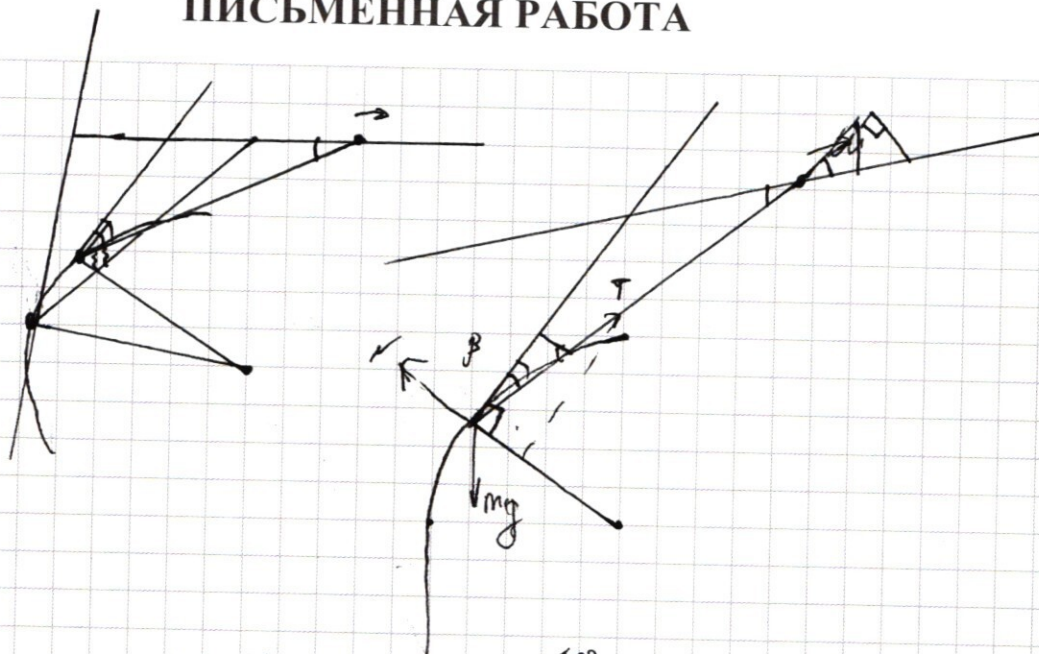
$$v_0 = \sqrt{0,4^2 + 0,51^2 - 2 \cdot 0,4 \cdot 0,51 \cdot \left(\frac{3}{5} \cdot \frac{8}{17} - \sqrt{\frac{25-9}{25}} \cdot \sqrt{\frac{17^2-64}{17^2}} \right)}$$

$$v_0 = \sqrt{0,16 + 0,2601 - 0,408 \cdot \left(\frac{3 \cdot 8}{85} - \frac{4 \cdot 15}{5 \cdot 17} \right)}$$

$$v_0 = \sqrt{0,4201 - 0,408 \cdot \frac{(-56)}{85}} = \sqrt{\frac{0,4201 + 0,408 \cdot 56}{85}} = \sqrt{\frac{23,2681}{85}} \approx \sqrt{0,2721} \approx 0,52 \text{ м/с}$$

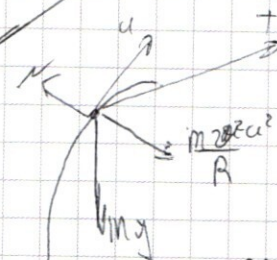
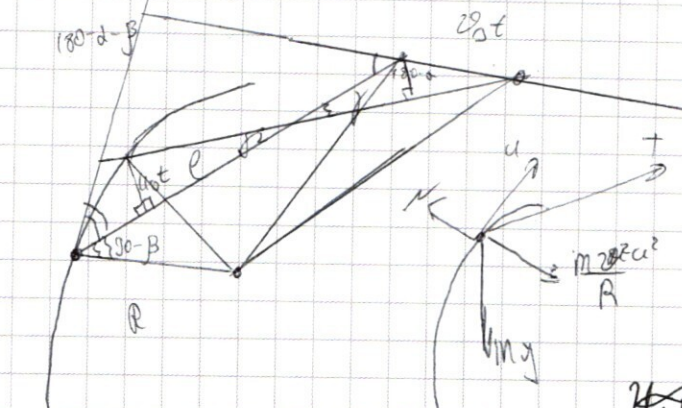
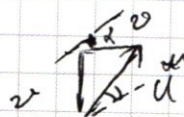
Ответ: 1) $u = 0,51 \text{ м/с}$ 2) $v_0 \approx 0,52 \text{ м/с}$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$u \cos \beta = v \cos \alpha$$

$$u = \frac{v \cos \alpha}{\cos \beta}$$



$$C = \frac{q}{u} \quad q = C u$$

$$\mathcal{E} = -L \dot{q} = -L C \dot{u}$$

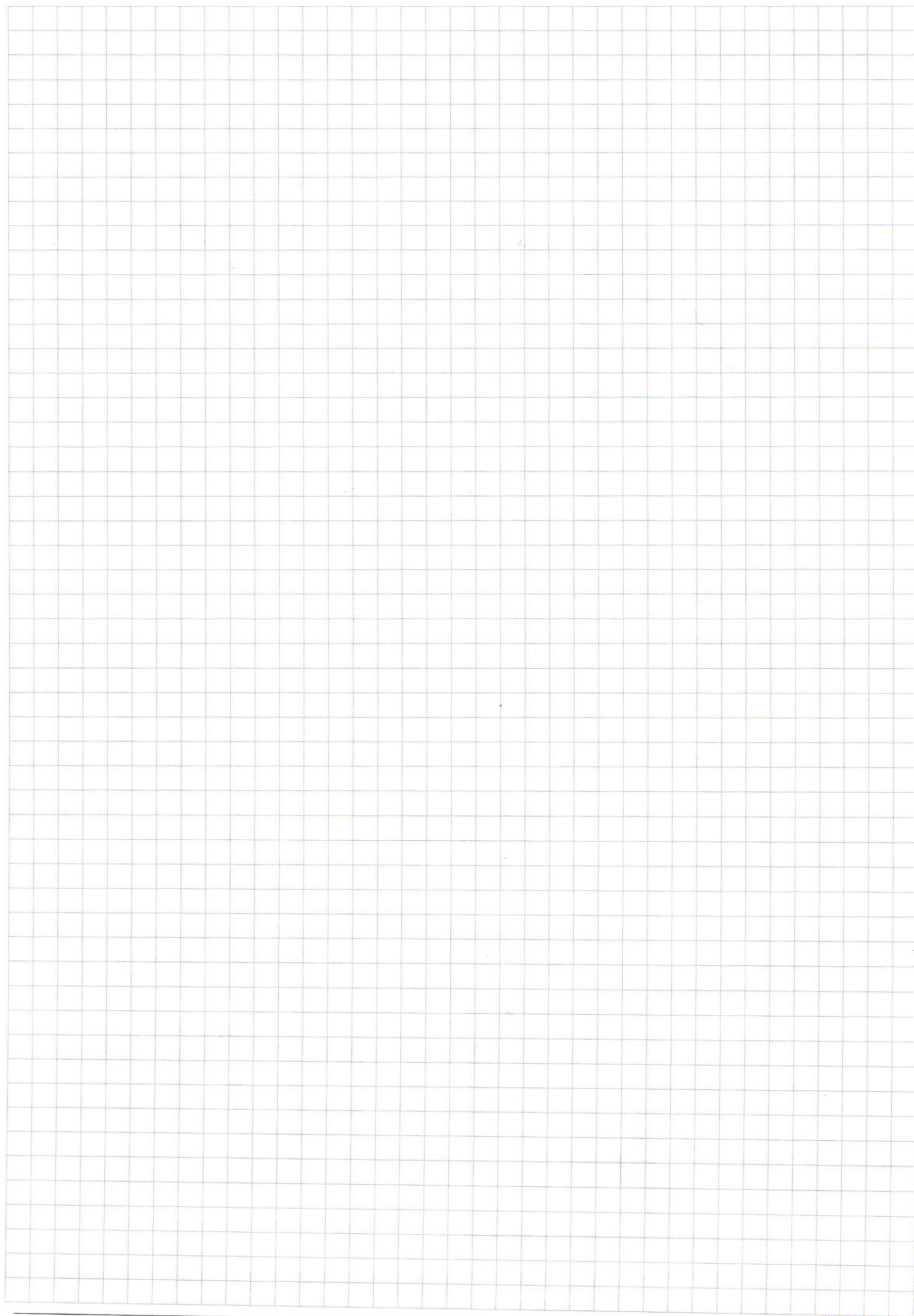
$$u = u - \mathcal{E} = u + L C \dot{u}$$

$$q' = q \quad J' = q'' \quad q = C u$$

$$v = \frac{dq}{dt} = \dot{q}$$

$$J = \frac{q}{t} \quad v = \frac{q}{t^2}$$

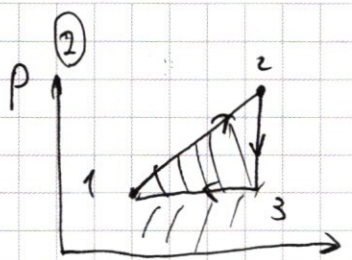
$$v = \dot{u} \quad q = C u$$



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$T_1 < T_2$ В 1-2 - поднагрев

B2-3 $\frac{P}{T} = \text{const}$

B 3-1 $\mu \frac{V}{T} = \text{const}$

$$\frac{p_1(V_3 - V_1) \cdot (p_2 - p_3) \cdot 10^4}{2(a + \beta) \frac{V_3 - V_1}{56}}$$

$$\frac{2 \cdot 2 \cdot 48}{2448}$$

$$\frac{2040}{232681}$$

$$T_2 < T_3$$

2-3 - изобара, малая

$$\frac{C_p}{C_v} = \frac{5}{3} \quad \text{Diatomic}$$

$$p = kV$$

$$p \cdot V^{-1} = k$$

$$Q = (12V) \Delta T$$

1-2: $Q = A \cdot v \cdot \rho$

$$C_{12} = C_V + \frac{R}{1-1-1} = \frac{3}{2}R + \frac{R}{3} = 2R$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu A(\Delta T) \quad (2)$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_{\text{out}}}{Q_{\text{in}}}$$

B₂₋₃ A=0 Q=ΔU = $\frac{3}{2} nR (T_3 - T_2)$

$$B_{3a} \quad A = p \Delta V \quad Q = \Delta U + p \Delta V = \frac{5}{2} V R (T_1 - T_2) + p(V_1 - V_3)$$

$$Q_+ = 2R\sqrt{T_2 - T_1}$$

$$2R(T_2 - T_1) - \frac{2}{3}R(T_1 - T_3) - \frac{3}{2}R(T_3 - T_2) + \phi R$$

$$Q_- = Q_{23} + Q_{31} = \frac{2}{2} R V (T_3 - T_2) + \frac{5}{2} R V (T_1 - T_3) = 1340 \text{ J}$$

$$Q_f = 2R\sqrt{(T_2 - T_1)}$$

$$- R \ln T_3 + \frac{5}{2} R \ln T_1 - \frac{3}{2} R \ln T_2$$

$$\eta = 1 -$$

$$P_a = 1 - \frac{\pi \cdot 2 \cdot 22 \text{ A} \cdot (T_2 - T_1) T_7}{\frac{3}{2} \pi (T_3 - T_2) - \frac{5}{2} \pi (T_4 - T_3)}$$

$$-1 + 3T_3 - 3T_2 + 5T_1 - 5T_3 -$$

$$= \frac{5T_1 - 3T_2 - 2T_3}{4T_2 - 4T_1} + 1 \text{ Eq.}$$

$$+ \frac{4T_2 - 4T_1}{\dots}$$

$F = 0$

1	2	0,8d
---	---	------

04 E-w

$$T_2 \rightarrow +\infty \quad \eta \approx 1$$

$$C = \frac{dQ}{dT}$$

$$\begin{array}{r} 4 \cdot 3 \cdot 17 = 64 \\ \hline - 225 \end{array}$$

$$5.10.8_2 \quad \begin{array}{r} 3 \\ 16 \\ 16 \end{array}$$

3.19 $\frac{16}{5} = 1.6$

100 23 23 6

92 64

$$\frac{3}{5} \cdot \frac{8}{17} - \sqrt{1 - \frac{9}{25}} \sqrt{1 - \frac{64}{17^2}}$$

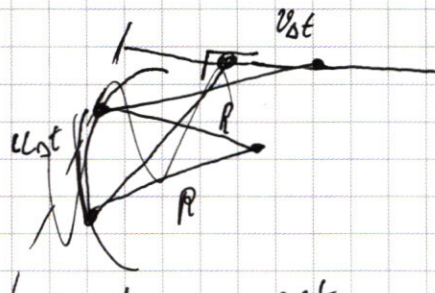
$$\cos \alpha, \beta = \sqrt{(1-\alpha^2)(1-\beta^2)}$$

$$\frac{v_1^2}{24-60}$$

$$EJ = 56$$

$u = 24$ 85

$$t = 49$$



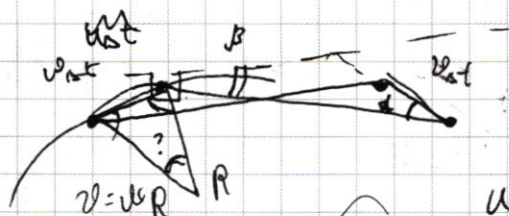
51
51
51
25 5
26,01

$$d(t) = \frac{5}{3}F + 2v_0 t$$

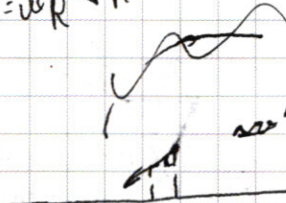
$$ds = \frac{F(\frac{5}{3}F + 2v_0 t)}{\frac{2}{3}F + 2v_0 t}$$

$$\frac{u^3}{c} - \frac{u^3}{c} - \frac{du}{c}$$

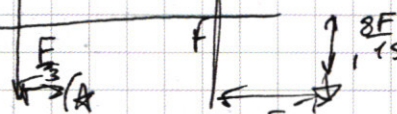
$$u = \frac{2v_0 F \cdot \frac{2}{3}F + 2v_0 F \cdot 2v_0 t - 2v_0}{\frac{2}{3}F + 2v_0 t}$$



$$u = f' = \frac{(F \cdot 2v_0) \frac{2}{3}F + 2v_0 t - 2v_0 (F \cdot \frac{2}{3}F + 2v_0 t)}{(\frac{2}{3}F + 2v_0 t)^2} = \frac{2v_0 F}{F + 2v_0 t}$$



$$\frac{\Delta H}{\Delta s} = \frac{v_0}{v}$$



$$d = F + 2v_0 t \quad \frac{24}{45} = \frac{8}{15}$$

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$$

$$\frac{1}{d} = \frac{f - F}{F d f}$$

$$d = \frac{F f}{f - F} \approx \frac{F \cdot \frac{5F}{3}}{\frac{5F}{3} - F} = \frac{\frac{5}{3}F}{\frac{2}{3}} = \frac{5}{2}F$$

$$h = \frac{8}{15}F$$

$$\frac{H}{h} = \frac{5}{10d}$$

$$H = 2v_0 t$$



$$d = F \quad d_1 = F + 2v_0 t$$

$$d(t) = \frac{F}{3} + \left(\frac{2}{3}F + 2v_0 t\right)^2 = \frac{5}{2}F + 2v_0 t$$

$$d_1 = \frac{F}{3} + (F + 2v_0 t - \frac{F}{3})^2$$

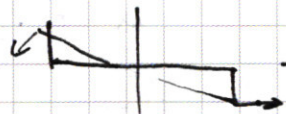
$$f(u) =$$

$$d = \frac{F}{3} + \frac{5}{3}F = \frac{2}{3}F + 2v_0 t$$

$$f_1 = \frac{F \cdot (\frac{5}{3}F + 2v_0 t)}{\frac{2}{3}F + 2v_0 t}$$

$$ds = \frac{F(\frac{5}{3}F + 2v_0 t)}{\frac{2}{3}F + 2v_0 t} - \frac{5}{3}F = \frac{5F^2 - 12v_0 t F + 10F^2}{6(F + 2v_0 t)}$$

$$u = \frac{df}{dt} = \frac{5(6v_0 t - 2F)(F + 2v_0 t)}{36v_0^2 t^2}$$



$$d(t) = \frac{F}{3} + \left(\frac{F}{3} + 2v_0 t - \frac{F}{3}\right)^2 = \frac{F}{3} + 2v_0 t$$

$$f = \frac{F(F + 2v_0 t)}{3 \cdot (\frac{F}{3} + 2v_0 t - \frac{F}{3})} = \frac{F(F + 2v_0 t)}{6v_0 t}$$

$$36v_0^2 F t - 6v_0 F^2 - 36v_0^2 F t = \frac{-6v_0 F^2}{36v_0^2 t^2}$$

$$f' = \frac{6v_0^2 F - 6v_0^2}{36v_0^2 t^2} = \frac{6v_0 F \cdot 6v_0 t - 6v_0 F(F + 2v_0 t)}{36v_0^2 t^2}$$