

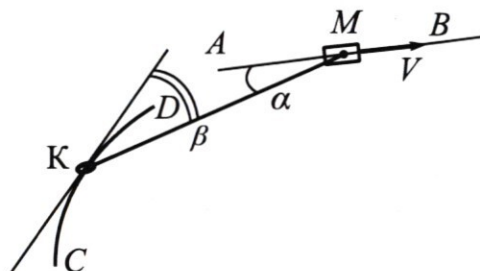
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-04

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

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.



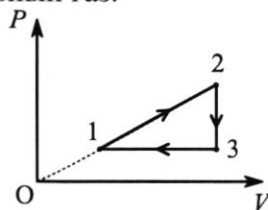
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

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.

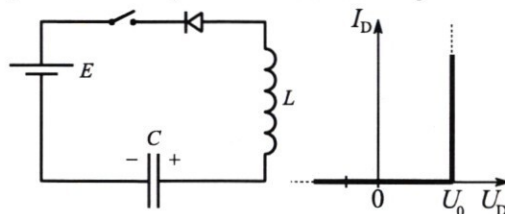
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 9$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,4$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$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

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.

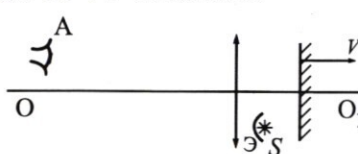


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник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

Задача 1

Дано:

$$m = 0,4 \text{ кг}$$

$$V = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

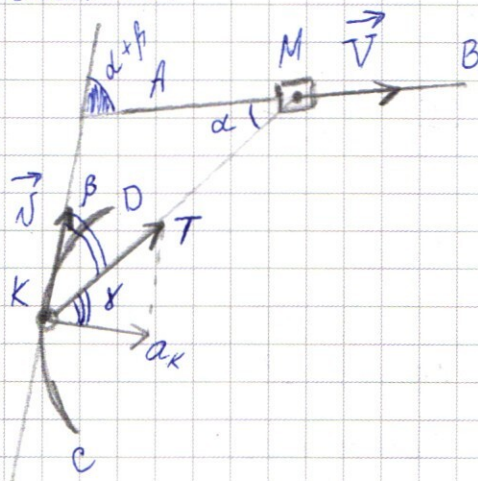
$$R = 1,9 \text{ м}$$

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

$$\cos(\alpha) = \frac{4}{5}$$

$$\cos(\beta) = \frac{8}{17}$$

Решение:



CD - дуга окружности
радиуса $R = 1,9 \text{ м}$.

1) Т.к. трос нерастя-
жим, то скорость каж-
дой точки троса, нап्रा-
вленная вдоль троса, бу-

дет постоянной:

$$V \cos(\alpha) = v \cos(\beta)$$

$$v = V \frac{\cos(\alpha)}{\cos(\beta)} = 3,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}, \text{ где } v - \text{ скорость кольца } K$$

Ответ: $v = 3,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

1) $v_K = ?$

2) $v_{\text{ком}} = ?$

3) $T = ?$

2) Найдем $v_{\text{ком}}$ по теореме косинусов:

$$\vec{v}_{\text{ком.м}} = \vec{V} - \vec{v}, \text{ где } v_{\text{ком.м}} - \text{ скорость кольца отно-} \\ \text{сительно муфта.}$$

$$v_{\text{ком.м}} = \sqrt{V^2 + v^2 - 2Vv \cos(180 - (\alpha + \beta))} = \sqrt{V^2 + v^2 + 2Vv \cos(\alpha + \beta)}$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos(\alpha) \cos(\beta) - \sin(\alpha) \sin(\beta) = -\frac{13}{85}$$

$$v_{\text{ком.м}} = \sqrt{4 + 11,56 - 2 \cdot 3,4 \cdot 2 \cdot \frac{13}{85}} = \sqrt{15,56 - 2,04} = \sqrt{13,52} \text{ м/с} \\ \approx 3,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ответ: $v_{\text{ком.м}} \approx 3,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

3) Сила натяжения нити T заставляет кольцо двигаться по окружности радиуса R :

$$\gamma = 90 - \beta$$

$$T \cos(\gamma) = a_k \cdot m$$

$$\frac{m v^2}{R} = T \cos(\gamma) = T \sin(\beta)$$

$$T = \frac{m v^2}{R \sin \beta} = \frac{0,4 \cdot 11,56 \cdot 17}{1,9 \cdot 15} \approx 2,85 \text{ Н}$$

Ответ: $T \approx 2,85 \text{ Н}$.

Задача 2

Дано:

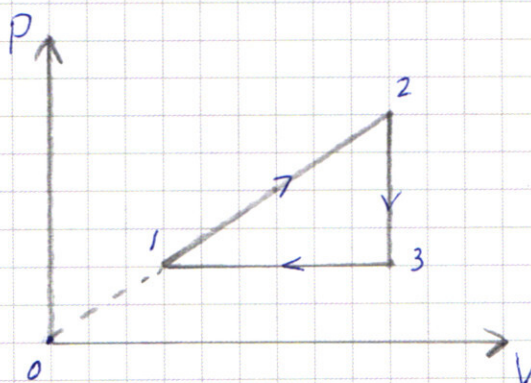
процесс 1-2-3-1
газ - идеальный газ

$$C_{23} : C_{31} = ?$$

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

$$\eta_{\max} = ?$$

Решение:



$$1 \rightarrow 2: p = \text{const}$$

$$2 \rightarrow 3: V = \text{const}$$

$$3 \rightarrow 1: p = \text{const}$$

$$1) \text{ В процессе } 2 \rightarrow 3 \quad V = \text{const} \Rightarrow C_{23} = C_V = \frac{3}{2} R$$

$$\text{В процессе } 3 \rightarrow 1 \quad p = \text{const} \Rightarrow C_{31} = C_P = \frac{5}{2} R$$

$$\frac{C_{23}}{C_{31}} = \frac{C_V}{C_P} = \frac{3}{5} = 0,6$$

$$\text{Ответ: } \frac{C_{23}}{C_{31}} = 0,6$$

2) Найдем первое начало ТД для процесса 1-2:

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}, \text{ где } \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1), \text{ а } A_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p(V) dV$$

Найдем A_{12} :

$$\text{т.к. } p(V) = \alpha V, \text{ то } A_{12} = \int_{V_1}^{V_2} \alpha V dV = \frac{\alpha}{2} (V_2^2 - V_1^2)$$

Теперь ΔU_{12} :

$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{\nu R} = \frac{\alpha V_2^2}{\nu R}$$

$$T_1 = \frac{p_1 V_1}{\nu R} = \frac{\alpha V_1^2}{\nu R}$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R \left(\frac{\alpha V_2^2}{\nu R} - \frac{\alpha V_1^2}{\nu R} \right) = \frac{3}{2} \alpha (V_2^2 - V_1^2)$$

$$\frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = \frac{\frac{3}{2} \alpha (V_2^2 - V_1^2)}{\frac{\alpha}{2} (V_2^2 - V_1^2)} = 3$$

$$\text{Ответ: } \frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = 3.$$

3) КПД цикла можно найти по формуле:

$$\eta = \frac{A_0}{Q_H}, \text{ где } A_0 - \text{работа за цикл (площадь фигур)}$$

Q_H — теплота на нагревание газа.

Найдем A_0 — это площадь фигур:

$$A_0 = \frac{(V_2 - V_1)(p_2 - p_1)}{2} = \frac{\alpha}{2} (V_2 - V_1)^2$$

Теперь найдем Q_H .

формула теплоемкости:

$$C_V = \frac{3}{2} \nu R + p(V) \frac{dV}{dT}, \text{ где } \frac{dV}{dT} = \left(\frac{dT}{dV} \right)^{-1} = T'(V)$$

Найдем $T(V)$:

$1 \Rightarrow 2$:

$$\begin{cases} p = 2V \\ \frac{pV}{T} = \nu R \end{cases} \rightarrow \frac{dV^2}{T} = \nu R \rightarrow T = \frac{dV^2}{\nu R}$$

$$T'(V) = \frac{2dV}{\nu R}, \text{ т.к. степень } -1, \text{ то:}$$

$$\frac{dV}{dT} = \frac{\nu R}{2dV}$$

$$p(V) \cdot \frac{\nu R}{2dV} = \frac{\nu R}{2}$$

$$CV = \frac{3}{2}\nu R + \frac{\nu R}{2}$$

$$C_v = 2R = \text{const} \Rightarrow Q_n = \int_{T_1}^{T_2} C(T) dT = C \int_{T_1}^{T_2} dT = C(T_2 - T_1) =$$
$$= 2\nu R \left(\frac{dV_2^2}{\nu R} - \frac{dV_1^2}{\nu R} \right) = 2d(V_2 - V_1)(V_2 + V_1)$$

$$\text{Итак: } \eta = \frac{d}{2}(V_2 - V_1)^2 : (2d(V_2 - V_1)(V_2 + V_1)) = \frac{1}{4} \cdot \frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}$$

$$\eta_{\max} \text{ достигнет своего значения при } \frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1} = 1 \Rightarrow$$

$$V_1 = 0$$

$$\eta_{\max} = 25\%$$

$$\text{Ответ: } \eta_{\max} = 25\%$$

Задача 3

Дано:

$$V_1, d, U$$

$$V_{\text{ост}} = 0,2d$$

$$1) \gamma = ? \quad 2) T = ? \quad 3) V_0 = ?$$

Решение:

Вспомогательная ЗСЭ для заряда в момент, когда он остановился: $\frac{mV_1^2}{2} = 0,8U|q|$

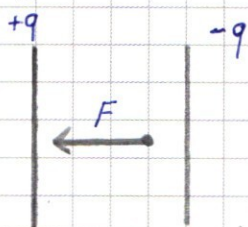
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{v_1^2}{2} = 0,8 U \delta$$

$$\delta = \frac{v_1^2}{1,6 U} = \frac{10 v_1^2}{16 U}$$

Ответ: $\delta = \frac{10 v_1^2}{16 U}$

2) Т.к. поле однородное, то на него будет действовать ускорение $a = \text{const}$:



$$F = qE = ma$$

Т.к. поле однородно, то $E = \text{const} = \frac{U}{d}$

$$\frac{qU}{d} = ma$$

$$\frac{qU}{d} = a$$

а. Теперь составим закон движения частицы:

$$s = \frac{at^2}{2}$$

$$0,8 d = \frac{qU T^2}{2d}$$

$$\frac{1,6 d^2}{qU} = T^2$$

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

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

Ответ: $T = 1,6 \frac{d}{v_1}$.

3) Изменение энергии частицы есть работа ЭС им:

~~$$\frac{m}{2} (v_1^2 - v_0^2) = qU$$~~

~~$$\frac{m}{2} v_1^2 - \frac{m}{2} v_0^2 = qU$$~~

~~$$2.8U = v_1^2 - v_0^2$$~~
~~$$v_1^2 - 2.8U = v_0^2$$~~

~~$$v_1^2 - \frac{10}{8} = v_0^2$$~~

$$2.8U - v_1^2 = v_0^2$$

$$\frac{10}{8} v_1^2 - v_1^2 = v_0^2$$

$$\frac{1}{4} v_1^2 = v_0^2$$

$$v_0 = \frac{v_1}{2}$$

Ответ: $v_0 = \frac{v_1}{2}$

Задача 4

Дано:

Схема

$$E = 6 \text{ В}$$

$$C = 10 \text{ мкФ}$$

$$U_1 = 9 \text{ В}$$

$$L = 0,4 \text{ Гн}$$

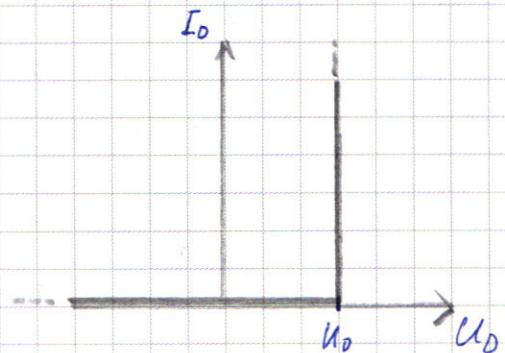
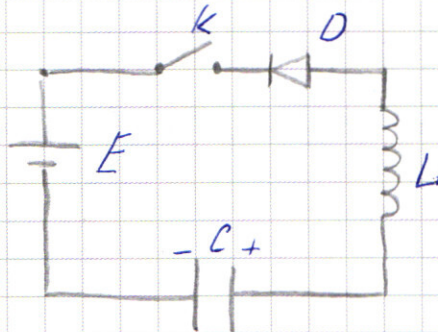
$$U_0 = 1 \text{ В}$$

$$\frac{dI}{dt}(0) = ?$$

$$I_{\text{max}} = ?$$

$$U_2 = ?$$

Решение:



1) В момент замыкания ключа напряжения распределяются так:

$$E = U_C + U_D + U_L, \text{ где } U_L = -L \frac{dI}{dt}(0), U_D = U_0$$

Решим уравнение:

$$E - U_C - U_D = -L \frac{dI}{dt}(0)$$

$$-4 = -0,4 \frac{dI}{dt}(0)$$

$$\frac{dI}{dt}(0) = 10 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$

Ответ: $\frac{dI}{dt}(0) = 10 \frac{\text{А}}{\text{с}}$

2) Запишем ЗСЭ для цепи:

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{CU_1^2}{2} = \frac{L I_{max}^2}{2}$$

$$\frac{CU_1^2}{2} = \frac{L I_{max}^2}{2}$$

А также при I_{max} $\frac{d\Phi}{dt} = 0 \Rightarrow E = U_c + U_o \Rightarrow U_{c3} = 5$

$$\frac{CU_1^2}{2} - \frac{CU_{c3}^2}{2} = \frac{L I_{max}^2}{2}$$

$$C(9^2 - 5^2) = L I_{max}^2$$

$$I_{max}^2 \approx 0,372 \cdot 10^{-1} \text{ A} = 37,2 \text{ mA}$$

Ответ: $I_{max} = 37,2 \text{ mA}$.

$$\frac{CU_1^2}{2} = \frac{L I_{max}^2}{2}$$

$$I_{max} = \sqrt{\frac{C}{L}} U_1 = \sqrt{225 \cdot 10^{-6}} \cdot 9 = 15 \cdot 10^{-3} \cdot 9 = 0,135 \text{ A}$$

Ответ: $I_{max} = 0,135 \text{ A}$

3) Когда когда установится напряжение, то:

$$U_2$$

$$U_2 - E = U_o$$

$$U_2 = U_o + E = 7 \text{ B}$$

Ответ: $U_2 = 7 \text{ B}$

Задача 5

Дано:

рисунок

Решение:

$$L = \frac{6}{5} F$$

$$a = \frac{3}{5} F$$

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

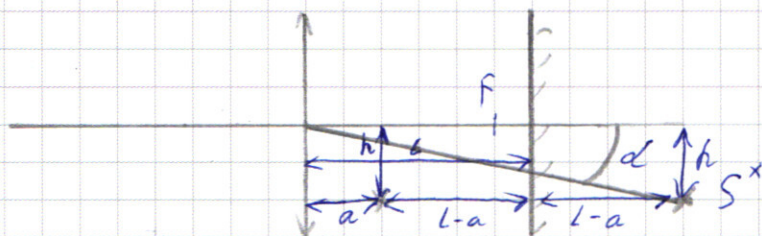
Даны:

- 1) $d_1 = ?$
- 2) $\alpha = ?$
- 3) $V^* = ?$

Решение:

1) Используем формулу тонкой линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1}$$



$$f_1 = a + 2(l-a) = a + 2l - 2a = 2l - a = \frac{9}{5} F$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} + \frac{5}{9F}$$

$$\frac{1}{F} \left(1 - \frac{5}{9}\right) = \frac{1}{d_1}$$

$$\frac{1}{F} \cdot \frac{4}{9} = \frac{1}{d_1}$$

$$d_1 = \frac{9}{4} F$$

Ответ: $d_1 = \frac{9}{4} F$.

2) из рисунка:

$$\sin(\alpha) = \frac{h}{f_1} = \left(\frac{8}{15} \cdot \frac{9}{5}\right) = \frac{8}{15} \cdot \frac{5}{9} = \frac{8}{27}$$

Ответ: $\sin(\alpha) = \frac{8}{27}$.

3) скорость изображения будет равна:

$$V^* = \Gamma V, \text{ где } \Gamma = \frac{f_1}{d_1} = \frac{9}{5} \cdot \frac{4}{9} = \frac{4}{5} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V^* = \frac{4}{5} V = 0,8V$$

Ответ: $V^* = 0,8V$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

[illegible]

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$10 \cdot 10^{-6} \cdot 81 = 0,4 \cdot x^2$
 $10^{-5} \cdot 22,5 \cdot 225 = x^2$
 $2,25 \cdot 10^{-3} =$
 $\frac{81}{0,4} = \frac{810}{4}$
 $10 \cdot 10^{-6} \cdot 81 = 0,4 \cdot x^2$
 $10 \cdot 10^{-5} \cdot 81 = \frac{4}{10} x^2$
 $10^{-4} \cdot 22,5 = x^2$
 $E = \frac{q}{c} - L u + 1$
 $\bar{S} = \frac{q}{c} - L u$
 $S = \frac{I}{c}$
 $5c = I$
 $E = \frac{q}{c} + L \ddot{q} + 1$
 $E = S = \frac{q}{c} + L \ddot{q}$
 $E = S = \frac{I}{c}$
 $E = U_c + U_L + U_0$
 $S = U_c + U_L$
 $E = U_c + U_0$
 $0,14 \cdot 10^{-2} = I_{\max}^2$
 $6 =$
 $\frac{L}{5} = 5$
 $E = U_c + U_0$
 $560/4$
 140
 4
 560

$$C dT = u dT + p dV$$

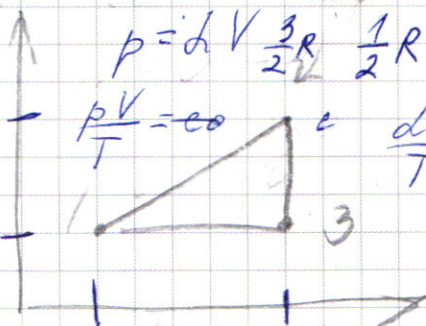
$$T = \frac{a_k}{9PR\beta} = a_k \cdot \frac{17}{8} = 0,4 \cdot \frac{3,4^2}{1,9} = \frac{2}{5} \cdot \frac{289}{25} \cdot \frac{10}{19} \cdot \frac{12}{8} =$$

$$C = u \quad C = \frac{3}{2} VR + pV \quad \frac{dV}{dT} = \frac{17^3 \cdot 20}{125 \cdot 19 \cdot 8} = \frac{17^3 \cdot 20}{1000}$$

$$2VR(T_2 - T_1) = 2VR \left(\frac{dV_2}{VR} - \frac{dV_1}{VR} \right) = 2d(V_2^2 - V_1^2) \quad \frac{d(V_2 - V_1)^2}{2d(V_2^2 - V_1^2)} =$$

$$a = \text{Vormu} = u + v = \frac{17^3 \cdot 20}{1900} = \frac{17^3 \cdot 2}{1900} =$$

$$\eta = \frac{A_1}{Q_{H1}} \left(\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1} \right) \quad \left(\frac{dT}{dV} \right)^{-1} \quad \frac{2dV}{VR} \rightarrow \frac{VR}{2dV}$$



$$p = dV \frac{3R}{2} \frac{1}{2R} \frac{3}{2} \quad \frac{dV^2}{T} = VR \quad T = \frac{d}{VR} V^2$$

$$\frac{5}{3} \frac{dT}{dV} = \frac{2dV}{VR}$$

$$p \propto V^x = \frac{1}{2} \cdot \frac{d}{dT} = \frac{d}{p \cdot dV} \quad T = V^2 \quad C_p - C = C_v - C$$

$$\frac{dV^2}{T} = c \quad \frac{dV^2}{T} = c \quad C_p - C_v =$$

$$\frac{dV_2^2}{2} - \frac{dV_1^2}{2} =$$

$$15,56 - \frac{4 \cdot 17 \cdot 13}{25 \cdot 17^2} = \frac{d(V_2^2 - V_1^2)}{2}$$

$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{VR} = \frac{dV_2}{VR} = 13,52$$

$$\frac{3}{2} VR(T_2 - T_1) = \frac{3}{2} VR \cdot \frac{dV_2}{VR} = \frac{3}{2} VR \frac{dV_1}{VR} =$$

$$= \frac{3}{2} d(V_2^2 - V_1^2) \quad \frac{dV_2}{dV_1} =$$

$$\frac{(V_2 - V_1)(p_2 - p_1)}{2} = \frac{(V_2 - V_1)(dV_2 - dV_1)}{2} =$$