

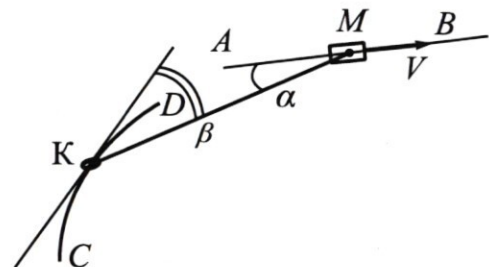
Олимпиада «Физтех» по физике,

Класс 11

Вариант 11-04

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

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.

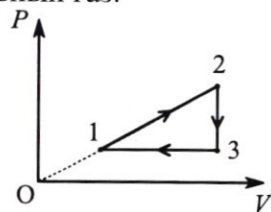


- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
 - 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
 - 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.
2. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из изохоры, изобары и участка прямо пропорциональной зависимости давления P от объема V (см. рис.). 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 $\gamma = \frac{|q|}{m}$.

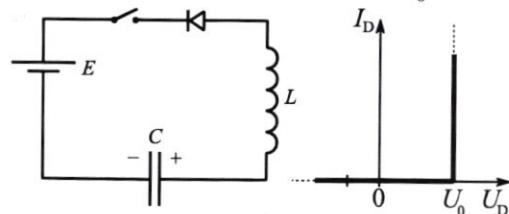
2) Через какое время T после влета в конденсатор частица вылетит из него?

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.

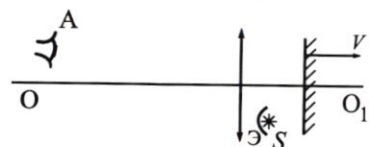


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник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

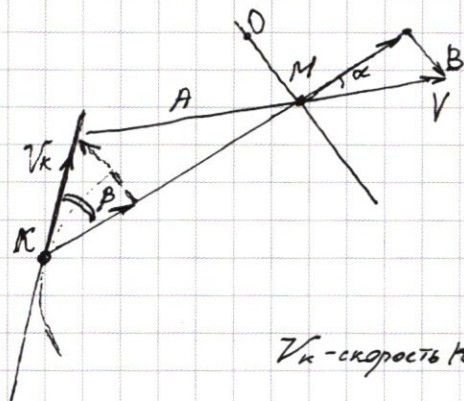
1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель А сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?

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) Поскольку кольцо и шpulley связаны нерастяжимой нитью, то точки K и M всегда находятся на одном и том же расстоянии друг от друга.

V_k - скорость K.

Тогда проекции скоростей на ось KM равны:

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

$$V_k = V \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = V \frac{4/5}{3/17} = \frac{17}{10} V = 1,7 V.$$

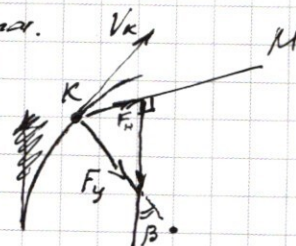
2) Так как проекции скоростей на KM равны, то относительная скорость кольца и шpulley - разность проекций на ось OM ($OM \perp MK$)

$$\begin{aligned} V_{отн} &= V_k \cdot \sin \beta + V \sin \alpha = \\ &= V \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \beta} + V \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = V \left(1,7 \cdot \sqrt{\frac{289 - 64}{289}} + \sqrt{\frac{25 - 16}{25}} \right) = \\ &= V \left(\frac{17}{10} \cdot \frac{15}{17} + \frac{3}{5} \right) = 2,1 V. \end{aligned}$$

3) Кольцо движется по окружности радиуса R $\Rightarrow$ на него действует центростремительная сила.

$$F_y = a_m = \frac{V_k^2}{R} m; \text{ проекция } F_y \text{ на KM.}$$

$$F_n = F_y \cdot \sin \beta = \frac{V_k^2}{R} m \cdot \sin \beta = \frac{3,1^2 \cdot 0,4 \cdot 15}{1,9 \cdot 17} =$$



$$= \frac{4,41 \cdot 0,6}{1,9 \cdot 17} \text{ (H)}$$

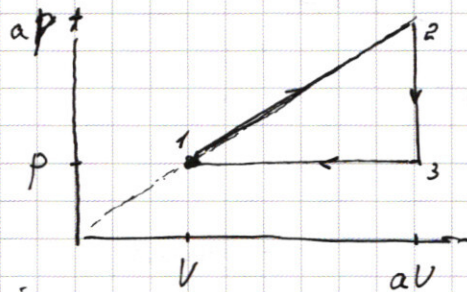
- Ответ:
- 1) $1,7 V = 3,4 \text{ м/с}$
 - 2) $2,1 V = 4,2 \text{ м/с}$
 - 3) $\approx \frac{4,41 \cdot 0,6}{1,9 \cdot 17} \approx 0,0067 \text{ Н}$

Задача 2.

1) В процессе 1-2

$$p \sim aV.$$

Пуск a - коэффициент, произвольный ($a > 1$)



Тогда, рассмотрим процесс 2-3: изохора.

$$A = 0; Q = \Delta U = \frac{3}{2} DR \Delta T; \text{ ~~изохора~~ } C_{2-3} = \frac{3}{2} R$$

Процесс 3-1: изобара.

$$Q = \Delta U + A = \frac{3}{2} DR \Delta T + p(Va - V) = \frac{3}{2} DR \Delta T + pV(a-1) = \frac{5}{2} DR \Delta T; C_{3-1} = \frac{5}{2} R$$

Тогда отношение молярных теплоемкостей:

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

$$2) \text{ Процесс 1-2: } A = \frac{a+1}{2} p V(a-1) = \frac{1}{2} (a^2 - 1) p V$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} DR \Delta T = \frac{3}{2} (a^2 p V - p V) = \frac{3}{2} (a^2 - 1) p V$$

$$\text{Тогда } \frac{\Delta U_{1-2}}{A_{1-2}} = \frac{\frac{3}{2} (a^2 - 1) p V}{\frac{1}{2} (a^2 - 1) p V} = 3.$$

3) $\eta = \frac{A_{п}}{Q}$; $A_{п}$ - численно равна площади, ограниченной графиком.

$$A_{п} = \frac{1}{2} p(a-1) V(a-1) = \frac{1}{2} p V(a-1)^2 \Rightarrow$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

(продолжение задачи 2)

⇒

$$Q = 2 \Delta U_{1-2} + A_{1-2} = 2pV(a^2 - 1)$$

$$\eta = \frac{2pV(a-1)}{2pV(a^2-1)} = \frac{1(a-1)}{4(a+1)} ; \eta(a) = \frac{1}{4} \frac{1}{(a+1)^2}$$

Ответ: 1) $\frac{C_{2-3}}{C_{3-1}} = \frac{3}{5}$; 2) 3 ; 3) $\frac{1}{4}$.

Задача 3.

1) В конденсаторе напряженность электрического поля $E = \frac{U}{d}$; U - напряжение на конденсаторе.

Тогда на заряженную частицу действует сила

$$F = Eq$$

Частица пролетает в поле $S = d - 0,2d = 0,8d$.

Работа поля равна начальной кинетической энергии.

$$\frac{mv_1^2}{2} = F \cdot S \Rightarrow \frac{mv_1^2}{2} = Eq \cdot 0,8d$$

$$\frac{mv_1^2}{2} = \frac{Uq \cdot 0,8d}{d} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{|q|}{m} = \frac{v_1^2}{2 \cdot 0,8 \cdot U} = \frac{v_1^2}{1,6U}$$

2) Во время нахождения в поле конденсатора между обкладками на частицу действует сила $F = Eq$

По II закону Ньютона: $ma = F = Eq$

$$a = \frac{Eq}{m}$$

⇒

→ Т.к. по 3.С.Э. при вылете из конденсатора частица будет иметь обратную скорость V_1 , т.е.

$$aT = 2 \cdot V_1$$

~~а = 2V_1~~

$$T = \frac{2V_1}{a} = \frac{2V_1 \cdot m}{Eq} = \frac{3,2 V_1 \cdot d \cdot U}{V_1^2 \cdot U} = \frac{3,2 d}{V_1}$$

3) Поскольку поле сосредоточено между обкладками конденсатора, то при вылете оно более не совершает работу с частицей $\Rightarrow V_0 = V_1$

~~Задание~~

Ответ:

$$1) \gamma = \frac{V_1^2}{1,6U}$$

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

$$3) V_1$$

Задача 4.

1) По II закону Кирхгофа: $R I_L = L \frac{dI}{dt}$

Поскольку диод пропускает ток лишь в одном направлении, то на источник ЭДС не влияет на перезарядку конденсатора.

После замыкания на катушке $U_L = U_1 = 9V$

$$\Rightarrow \frac{dI}{dt} = \frac{U_L}{L} = \frac{9}{0,4} = 22,5 \text{ (A/c)}$$

2) После замыкания ключа конденсатор будет разряжаться, пока на нем не останется $U_C = U_0$

Ввиду отсутствия сопротивлений, по закону сохранения энергии:

$$\frac{C(U_1 - U_C)^2}{2} = \frac{L I_m^2}{2}$$

$\Rightarrow$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\Rightarrow I_m = \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot (U_1 - U_0) = \sqrt{\frac{10^{-5}}{0,4}} \cdot (9 - 1) = \frac{1}{2} \cdot 10^{-3} \cdot 8 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ (A)}$$

- 3) Катушка начнет перезаряжать конденсатор.
При этом, энергия, которая передаётся
через диод:

$$W_{L2} = \frac{C(U_1 - 2U_0)^2}{2}$$

Поскольку на конденсаторе осталось U_0 , то

$$\frac{CU_2^2}{2} = W_{\text{кон}} = \frac{C(U_1 - 2U_0)^2}{2} - \frac{CU_0^2}{2} \Rightarrow U_2 = \sqrt{U_1^2 - 2U_0U_1} =$$

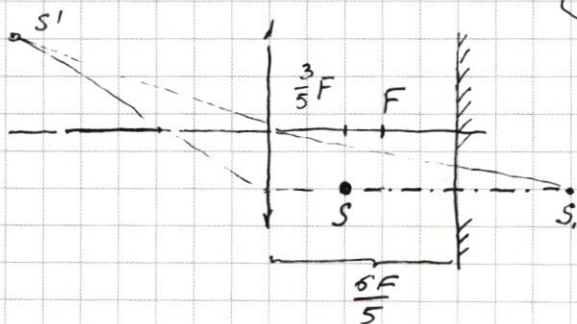
$$= \sqrt{81 - 2 \cdot 9 \cdot 1} = \sqrt{64} = 8 \text{ В.}$$

Ответ: 1) $22,5 \text{ А} \cdot \text{с}^{-1}$

2) 4 мА

3) $U_2 = 8 \text{ В.}$

Задача 5.



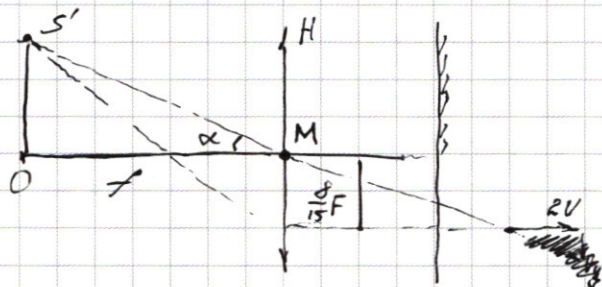
- 1) Расстояние от отражения до линзы: $d = \frac{6}{5}F + \left(\frac{6}{5}F - \frac{3}{5}F\right) = \frac{9}{5}F$

По формуле тонкой линзы

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \Rightarrow f = \frac{dF}{d - F} = \frac{\frac{9}{5}F}{\frac{9}{5} - 1} = \frac{9}{4}F$$

$$A = f = 2,25F.$$

2) Увеличение при этом $\Gamma = \frac{f}{d} = \frac{\frac{9}{4}F}{\frac{9}{5}F} = \frac{5}{4}$.



Т.е. изображение находится на

$$S'O = \Gamma \cdot \frac{8}{15} F = \frac{2}{3} F.$$

$$\alpha = \arctg \frac{S'O}{OM} = \arctg \left(\frac{2/3}{9/4} \right) = \arctg \left(\frac{8}{27} \right)$$

3) Скорость вдоль ММ $V_{MO} = 2V$.

Тогда скорость изображения

$$V_i = V_{MO} \cdot \Gamma^2 = \frac{25}{16} V_{MO} = \frac{25}{8} V = 3,125 V.$$

Ответ: 1) $A = 2,25 F$

2) $\alpha = \arctg \frac{8}{27}$

3) $V_i = 3,125 V$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3. 1.) $E = \frac{U}{d}$; $F = q \frac{U}{d}$; $A = \frac{mU^2}{2} = q \frac{U}{d} \cdot 0.2d = qU \cdot 0.2$ ~~$\frac{mU^2}{2} = \frac{qU}{d} \cdot 0.2d$~~

2.) $T = 2t_1 = \frac{4U}{a}$ $2t_1 = 2 \frac{v_1}{a} = \frac{2v_1}{F/m} = \frac{2v_1 \cdot dm}{qU}$

3.) $q(\phi_1 - \phi_2) = qU$ $IR = I'L$ $P = LI \frac{dI}{dt}$ $\phi_2 = IR + L \frac{dI}{dt} = E$

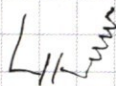
$A = qE$

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

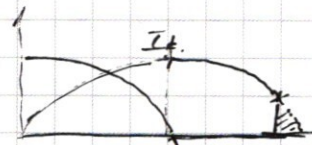
Батт. замкнется при $U < E$.

Переключатель. Т.к. сопротивление и ЭДС не зависят,
то по ЗСЗ: U

Исход:



$U_k = RI'$

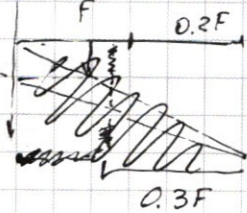


$U_k =$

$f = \frac{dF}{dF} = \frac{3 \cdot 1}{5 \cdot 1} = \frac{3 \cdot 5}{5 \cdot 2} = 1.5F$

$1.5F - \frac{6F}{5} = \frac{2F \cdot 1.5}{5} = \frac{3F}{5}$

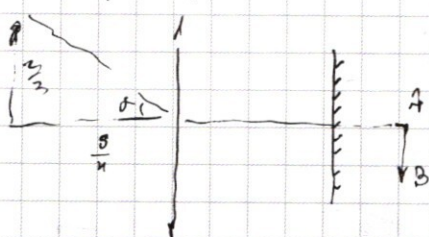
$\frac{3F}{5} - \frac{5}{5} = 0.3F$



$\alpha = \frac{3}{5} + \frac{6}{5} = \frac{9}{5}F$

$\frac{9}{5}F = \frac{9}{5} \cdot \frac{5}{4} = \frac{9}{4} = 2.25F$

3.)

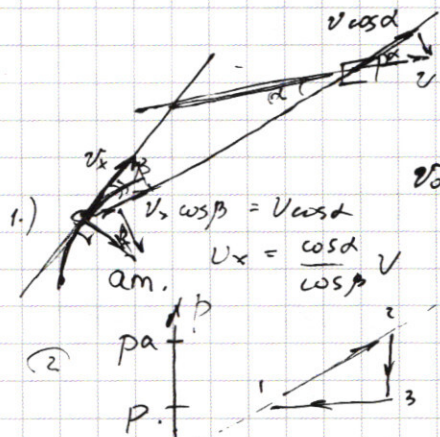


$AB = \frac{8}{15}F$

$\Gamma = \frac{3/4}{9/5} = \frac{5}{4}$

$A'B' = \frac{8}{15} \cdot \frac{5}{4} = \frac{2}{3}F$

$U = U \Gamma^2$



$$\frac{10}{25} \Rightarrow \sin \alpha = \frac{3}{5} \quad \frac{17}{25} \Rightarrow \sin \beta = \frac{4}{5}$$

$$\sin \beta = \frac{4}{5} = \frac{240}{288} = \frac{240}{288}$$

$$v_{отн} = v_x \sin \beta - v \sin \alpha$$

$$F_H = a m \sin \beta = \frac{U^2}{R} \sin \beta m$$

2-3. В процессе 1-2 $p \sim U$
1-3. Изотерма

Тогда, рассм. 2-3: изотерма

$$Q = \Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$$

1-3 - изотерма

$$Q = \Delta U + A$$

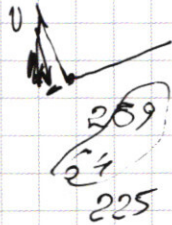
$$Q = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + p(V_a - V) =$$

$$\frac{3}{2} \nu R \Delta T + pV(a-1) = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$$

$$2) A = \frac{a+1}{2} pV(a-1) = \frac{pV(a^2-1)}{2} \rightarrow \frac{5}{3}$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} pV(a^2-1)$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta U}{A} = \frac{3}{5} = \frac{240}{288}$$



$$3) \eta = \frac{A_2}{A_3} = \frac{Q_2}{Q_3}$$

$$Q_2 = \frac{3}{2} pV(a^2-1) = 2pV(a^2-1)$$

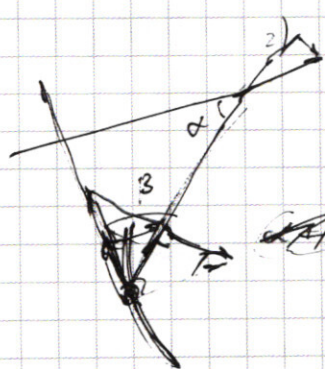
$$A_3 = \frac{3}{2} pV(a^2-1) - pV(a-1)$$

$$\frac{A_2}{A_3} = \frac{\frac{3}{2}(a^2-1) - (a-1)}{2(a^2-1)} = \frac{3(a+1-1)}{4(a+1)} = \frac{3a}{4(a+1)}$$

$$\frac{3}{2} + \frac{3}{5} = \frac{15+6}{10} = \frac{21}{10}$$

$$\frac{1}{(x+1)^2} = \frac{1}{(x+1)^2}$$

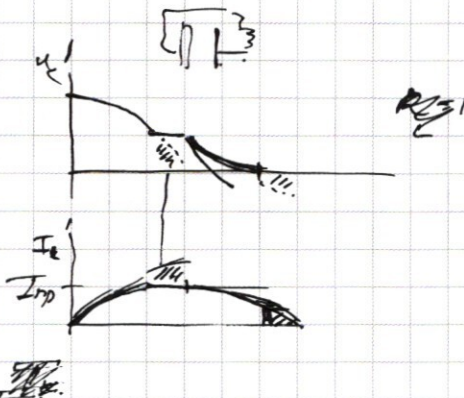
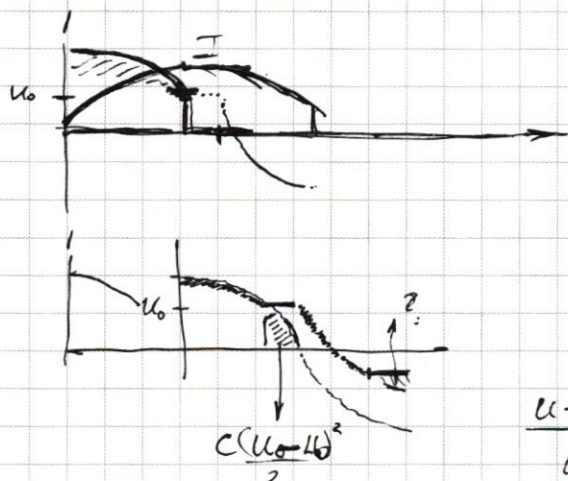
1, $U_5 = L I'$ - сразу после замыкания: $I' = \frac{U}{L}$



$$L I'^2 = \frac{C(U-LI_0)^2}{2} = \frac{C(U-LI_0)^2}{2}$$

$$\frac{3}{2} + \frac{3}{5} = \frac{15+6}{10} = \frac{21}{10}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

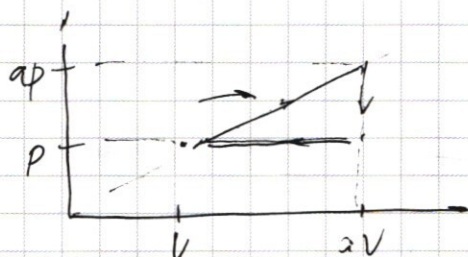


$U - U_0$ — осталось, может быть $\angle$.

11-216 - отдачи $\angle$

$$W_k = \frac{C(u-2u_0)^2}{2} - \frac{C(u_0)^2}{2}$$

$$W_k = A.$$



$$A_n = \frac{1}{2p} \sqrt{(a-1)^2}$$

$$Q = \frac{3}{2} n k_B T + \frac{(a+1)(a-1)}{2} p V = \frac{3}{2} (a^2 - 1) p V + \frac{1}{2} (a^2 - 1) p V = 2(a^2 - 1) p V$$

$$\frac{\frac{1}{2}(a-1)^2}{2(a^2-1)} = \frac{a^2-2a+1}{4(a^2-1)} = \frac{a-1}{4(a+1)}$$

$$f'(a) = (a-1)' \left(\frac{1}{4(a+1)} \right) + \left(\frac{1}{4(a+1)} \right)' (a-1) =$$

$$a^{2+1} = 1 \cdot \frac{1}{4(a+1)} = \frac{1}{4(a+1)^2} \cdot 1 \cdot (a-1)$$

$$a+1 - (a-1) = \frac{1}{2(a+1)^2}$$

$$b = g - f = 1$$

$$a_{1,2} = \frac{3 \pm 1}{4} = 1; 0,5$$

$$\sqrt{\frac{2a+1}{2(a+1)}}$$

$$\frac{\frac{1}{2}(a+1)^2}{\frac{1}{2}(a+1)(a-1)} = \frac{a+1}{a-1}$$

$$\frac{2}{2(a+1)} - \frac{1}{2(a+1)^2} = \frac{2(a+1) - 1}{2(a+1)^2} = \frac{2a+2-1}{2(a+1)^2} = \frac{2a+1}{2(a+1)^2}$$

$$\frac{1}{a^2} \cdot \frac{a^2}{(a-1)^2} = \frac{1}{(a-1)^2} \Rightarrow$$

