

**11.29.** Насыщенный водяной пар при температуре  $t = 100^\circ\text{C}$  адиабатически расширяется, при этом его температура падает на  $\Delta T = 1\text{ K}$ . Считая, что равновесие между жидкой и газообразной фазами успевает установиться, определить, какая часть водяного пара при этом конденсируется. Пар считать идеальным газом.

$$\begin{aligned}
 1) \frac{dp}{dT} &= \frac{\lambda p n}{T} = \frac{\mu \lambda p}{RT^2} & 2) \gamma C_V dT &= -p dV & 3) p dV + V dp &= R(T dV + V dT) \\
 \frac{dp}{p} &= \frac{\mu \lambda}{RT} \cdot \frac{dT}{T} & V C_V dT &= V dp - R(T dV + V dT) \\
 \frac{C_V}{R} \frac{dT}{T} &= \frac{dp}{p} - \frac{dV}{V} - \frac{dT}{T} & \frac{C_V}{R} \frac{dT}{T} &= \frac{dp}{p} - \frac{dV}{V} - \frac{dT}{T} \\
 \frac{C_P}{R} \cdot \frac{dT}{T} &= \frac{\lambda}{RT} \cdot \frac{dT}{T} - \frac{dV}{V} & \frac{C_P}{R} \cdot \frac{dT}{T} &= \frac{\lambda}{RT} \cdot \frac{dT}{T} - \frac{dV}{V} \\
 \frac{dm}{m} &= \frac{dT}{T} \left( \frac{\mu \lambda}{RT} - \frac{C_P}{R} \right) = \frac{dT}{T} \cdot \left( \frac{\mu \lambda - T C_P}{RT} \right)
 \end{aligned}$$

**11.16.** В закрытом сосуде с объемом  $V_0 = 5\text{ л}$  находится  $1\text{ кг}$  воды при температуре  $t = 100^\circ\text{C}$ . Пространство над водой занято насыщенным водяным паром (воздух выкачан). Найти увеличение массы насыщенного пара  $\Delta m$  при повышении температуры системы на  $\Delta T = 1\text{ K}$ . Удельная теплота парообразования  $\lambda = 539\text{ кал/г}$ .

У к а з а н и е. Пар считать идеальным газом. Удельным объемом воды пренебречь по сравнению с удельным объемом пара.

$$\begin{aligned}
 1) \frac{dp}{dT} &= \frac{\mu p \lambda}{RT^2} & 2) \frac{dp}{p} &= \frac{dm}{m} + \frac{dT}{T} \\
 \frac{dp}{p} &= \frac{dT}{T} \cdot \frac{\mu \lambda}{RT} & \frac{dm}{m} &= \left( \frac{\mu \lambda}{RT} - 1 \right) \frac{dT}{T}
 \end{aligned}$$

**11.34.** Кусок льда помещен в адиабатическую оболочку при температуре  $0^\circ\text{C}$  и атмосферном давлении. Как изменится температура льда, если его адиабатически сжать до давления  $P = 100\text{ атм}$ ? Какая доля льда  $\Delta m/m$  при этом расплавится? Удельные объемы воды  $v_B = 1\text{ см}^3/\text{г}$ , льда  $v_L = 1,09\text{ см}^3/\text{г}$ . Теплоемкости воды и льда связаны соотношением  $c_L \approx 0,6 c_B$ .

$$\begin{aligned}
 1) \frac{dp}{dT} &= \frac{\lambda}{T(v_1 - v_2)} \\
 dp &= \frac{\lambda}{v_1 - v_2} \ln \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow T_2 = T_1 e^{\frac{v_1 - v_2}{\lambda} dp} \approx T_2 = T_1 + \frac{T_1 \Delta p (v_1 - v_2)}{\lambda} \\
 2) q \Delta m &= m c_L \Delta T \Rightarrow \frac{\Delta m}{m} = \frac{c_L \Delta T}{q}
 \end{aligned}$$

**Т-5. (2019)** Закрытый сосуд с жесткими стенками полностью заполнен водой при нормальных условиях. После помещения сосуда в морозильную камеру и установления равновесия 10% воды превратилось в лёд. Найти температуру  $t$  в камере. Теплота плавления льда  $q = 330\text{ Дж/г}$ , начальная плотность воды  $\rho_B = 1,0\text{ г/см}^3$ , сжимаемость воды  $\beta_B = 4,8 \cdot$

$$\begin{aligned}
 \frac{dp}{dT} &= \frac{\lambda}{T \left( \frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho_2} \right)} \\
 \beta_B &= -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial p} \right)_T \\
 \Delta p &= \frac{1}{\beta_B} \cdot \frac{\Delta V}{V} = 0,1 \cdot \frac{\rho_B}{\rho_L} \cdot \frac{1}{\beta_B} \\
 \Delta T &= \frac{T \left( \frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho_2} \right) 0,1 \cdot \frac{\rho_B}{\rho_L} \cdot \frac{1}{\beta_B}}{\lambda} \approx t, 6^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

13

$10^{-5}\text{ атм}^{-1}$ , плотность образовавшегося льда  $\rho_L = 0,92\text{ г/см}^3$ . Деформацией стенок пренебречь.

Ответ:  $-1,5^\circ\text{C}$

**11.74.** Молярная энтропия жидкого гелия-3 при низких температурах меняется по закону  $S_{\text{ж}} = RT/\theta$ , константа  $\theta \approx 0,46\text{ K}$  при давлениях, близких к  $30\text{ атм}$ . Энтропия одного моля твердого гелия при

**11.74.** Молярная энтропия жидкого гелия-3 при низких температурах меняется по закону  $S_{\text{ж}} = RT/\theta$ , константа  $\theta \approx 0,46$  К при давлениях, близких к 30 атм. Энтропия одного моля твердого гелия при этих условиях не зависит от температуры и равна  $S_{\text{тв}} = 0,7R$ . Зная, что при  $T_1 = 0,25$  К гелий-3 затвердевает при давлении  $P_1 = 29$  атм, найти давление, когда он затвердевает при  $T = 0,1$  К. Разность молярных объемов жидкого и твердого гелия-3 при этих температурах  $\Delta V = V_{\text{ж}} - V_{\text{т}} = 1,25$  см<sup>3</sup>.

$$\frac{dp}{dT} = \frac{S_{\text{ж}} - S_{\text{тв}}}{V_{\text{ж}} - V_{\text{т}}} = \frac{R(T - \theta)}{\theta \Delta V} \Rightarrow \Delta p = \frac{R \left( \frac{T_2^2 - T_1^2}{2} - (T_2 - T_1)\theta \right)}{\theta \Delta V}$$

пу и  $\text{Ge}$

**11.78.** Воду в скороварке объемом  $V = 10$  л доводят до кипения, и в этот момент, когда вся вода выкипает, клапан скороварки герметично закрывают, а скороварку охлаждают до  $0^\circ\text{C}$ . В результате этого на стенках конденсируется  $m = 6,7$  г воды. Оценить, на сколько температура кипения в этой скороварке выше  $100^\circ\text{C}$ . Молярная теплота парообразования воды при  $100^\circ\text{C}$  равна  $\Lambda = 40,7$  кДж/моль. Пар считать идеальным газом.

$$1) \frac{dp}{dT} = \frac{\mu \lambda p}{RT^2} \Rightarrow \ln \frac{p_2}{p_1} = \frac{\mu \lambda}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

$$2) \left. \begin{array}{l} p_1 V = \nu_1 R T_1 \\ p_2 V = \nu_2 R T_2 \end{array} \right\} \frac{p_2}{p_1} = \frac{\nu_2}{\nu_1} \cdot \frac{T_2}{T_1} \quad \left. \begin{array}{l} \nu_1 \approx \frac{p_0 V}{RT_0} \end{array} \right\}$$

$$\frac{\mu \lambda}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) = \frac{\frac{p_0 V}{RT_0} - \Delta \nu}{\frac{p_0 V}{RT_0}} \cdot \frac{T_2}{T_1}$$

$$\frac{\mu \lambda}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \approx \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{\Delta \nu}{\frac{p_0 V}{RT_0}}$$

$$\frac{\mu \lambda}{T_2 R} \left( 1 - \frac{T_1}{T_2} \right) \approx \frac{\Delta \nu}{\frac{p_0 V}{RT_0}} //$$