

8.58. Вычислить температуру T моля одноатомного газа, состоящего из частиц, имеющих два дискретных уровня энергии: $-\epsilon_0$ и ϵ_0 . Разность между числом атомов в состоянии с энергией ϵ_0 и числом атомов в состоянии с энергией $-\epsilon_0$ равна ΔN . Построить график зависимости энтропии газа от внутренней энергии: $S(U)$.

8.59. Вычислить теплоемкость одного моля одноатомного газа, состоящего из частиц, имеющих два дискретных уровня энергии:

$$Z = e^{-\frac{\epsilon_0}{kT}} + e^{\frac{\epsilon_0}{kT}} \rightarrow u = kT^2 \frac{\partial \ln Z}{\partial T} = kT^2 \left(\frac{1}{Z} \right) \cdot \left(\frac{\epsilon_0}{kT^2} \right) = -\epsilon_0 \tanh\left(\frac{\epsilon_0}{kT}\right)$$

$$C = \frac{\partial u}{\partial T} = \epsilon_0 \frac{1}{\cosh^2\left(\frac{\epsilon_0}{kT}\right)} \cdot \frac{\epsilon_0}{kT^2} = \frac{\epsilon_0^2}{kT^2} \frac{1}{\cosh^2\left(\frac{\epsilon_0}{kT}\right)}$$

8.52. Найти значения средней колебательной энергии теплового движения для двух различных атомных осцилляторов при температуре $T = 300$ К. Частота колебаний осцилляторов $\nu_1 = 10^{13}$ Гц и $\nu_2 = 10^{14}$ Гц. Сравнить полученные значения с соответствующим классическим значением. Найти колебательную теплоемкость C_V одного моля газа таких осцилляторов для случая $\nu = 4,7 \cdot 10^{13}$ Гц (кислород O_2).

$$1) Z = 1 + e^{-\frac{h\nu}{kT}} + e^{-\frac{2h\nu}{kT}} + \dots = \frac{1}{1 - e^{-\frac{h\nu}{kT}}} \rightarrow u = \frac{\partial \ln Z}{\partial T} kT^2 = \frac{e^{-\frac{h\nu}{kT}}}{1 - e^{-\frac{h\nu}{kT}}} h\nu = \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

$$2) C = \frac{\partial u}{\partial T} = \frac{h\nu^2 e^{\frac{h\nu}{kT}}}{(e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1)^2} \cdot \frac{1}{kT^2}$$

Т-9. (2017) Ионы солей иттербия имеют спин $s = 7/2$. Во внешнем магнитном поле B энергия иона зависит от ориентации спина и может принимать значения $E_m = m\mu B$, где μ — известная константа, и $m = -s, -s+1, \dots, s-1, s$. Найти изменение энтропии ΔS и количество теплоты Q , поглощаемое 1 молем соли при её квазистатическом изотермическом размагничивании от очень большого ($B_0 \gg kT/\mu$) до нулевого поля ($B_1 = 0$) при температуре $T = 1$ К. Взаимодействием ионов между собой пренебречь.

$$-\frac{7}{2}, -\frac{5}{2}, -\frac{3}{2}, -$$

Ответ: $\Delta S = 17,3$ Дж/К, $Q = 17,3$ Дж.

$$m = -\frac{7}{2}, -\frac{5}{2}, \dots, \frac{7}{2} \rightarrow \text{всего } 2s+1 \text{ состояний } 2s+1=8 \Rightarrow G_1 = \frac{N!}{(N/8)!^8} \rightarrow S = k \ln G_1 \approx k \ln N - k \ln \left(\frac{N}{8}\right)^8 = k N \ln 8$$

$$S_m = R \ln 8 \approx 17,3 \text{ Дж/К}$$

$$Q = T \Delta S = 17,3 \text{ Дж}$$

9.45. Сосуд разделен перегородкой на два различных объема, так что в одном объеме содержится N_1 атомов газа, в другом N_2 . Температуры и давления газов одинаковы. Затем перегородку убирают, и газы перемешиваются. Вычислить изменение энтропии после смешения.

298 $S_k =$

ния, если: а) газы различны; б) газы одинаковы. Газ одноатомный, идеальный.

Т-8. (2022) Характеристическая вращательная температура молекулы окиси азота NO равна $\theta_{\text{вр}} \approx 3 \text{ K}$, колебательная $\theta_{\text{кол}} \approx 2,6 \cdot 10^3 \text{ K}$. Кроме того, молекула NO имеет низколежащее возбужденное состояние, энергия которого на $\varepsilon = 0,015 \text{ эВ}$ больше энергии основного состояния. Найдите количество теплоты, которое нужно сообщить молю газообразного NO при изохорном увеличении его температуры от $T_1 = 50 \text{ K}$ до $T_2 = 300 \text{ K}$.



Ответ: $Q = 5,7 \text{ кДж/моль}$.

$$Z = 1 + e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} \rightarrow u = \frac{\varepsilon}{1 + e^{-\frac{\varepsilon}{kT}}} e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} = \frac{\varepsilon}{e^{\frac{\varepsilon}{kT}} + 1} \Rightarrow C' = \frac{\frac{\varepsilon^2}{kT^2} e^{-\frac{\varepsilon}{kT}}}{(e^{\frac{\varepsilon}{kT}} + 1)^2} \approx k \left(\frac{\varepsilon}{kT} \right)^2 \frac{e^{-\frac{\varepsilon}{kT}}}{(1 + e^{-\frac{\varepsilon}{kT}})^2}$$

$$C = 2C' \text{ (2 ст. сб-сти)} =$$

8.70. Определить вращательную теплоемкость паров HD вблизи температуры конденсации $T_k = 22 \text{ K}$. Для дейтериевого водорода характеристическая вращательная температура $\theta = \frac{\hbar^2}{2Ik_B} = 64 \text{ K}$.