

Теория парамагнетизма

Мустафа Исмагамбетов

Содержание

- 1) Что такое парамагнетик?
- 2) Теория Ланжевена
- 3) Теория Бриллюэна

Что такое парамагнетик?

- Парамагнетики- вещества, которые намагничиваются во внешнем поле вдоль вектора напряженности магнитного поля и имеют положительную магнитную восприимчивость, которая намного меньше единицы.
- Парамагнетики относятся к слабомагнитным веществам, магнитная восприимчивость которых незначительно отличается от 1 ($\mu \geq 1$)

Теория Ланжевена

- $U = -\mathbf{m}\mathbf{B} = -mB\cos\theta$ - энергия отдельного магнитного момента в маг. поле
- Распределение моментов по направлениям:

$$dn = A \exp\left(-\frac{U}{kT}\right) d\Omega$$

- ,где $d\Omega = 2\pi \sin(\theta) d\theta$ - телесный угол

$$\rightarrow dn = 2\pi \sin(\theta) A \exp\left(\frac{mB}{kT} \cos(\theta)\right) d\theta$$

- Мн-ль A берется из условия

$$\int_{\theta=0}^{\pi} dn = n_0 \text{ — полная концентрация частиц}$$

Откуда

$$A = \frac{n_0 a}{4\pi sha}$$

- Намагниченность в-ва

$$I = \int m_z dn$$

$(m_x = m_y = 0 \text{ (Осевая симметрия)})$

- $m_z = m \cos(\theta) \rightarrow$

$$\begin{aligned} I &= 2\pi mA \int_0^\pi e^{a \cos \theta} \cos(\theta) \cos(\theta) d\theta \\ &= n_0 m \left(ctha - \frac{1}{a} \right), a = \frac{mB}{kT} \end{aligned}$$

Пределные случаи

- $$I = n_0 m \left(cth a - \frac{1}{a} \right), a = \frac{mB}{kT}$$
- 1) Низкие температуры, $a = mB/kT \gg 1$
$$I \rightarrow I_{\text{нас}} = n_0 m$$
- 2) Высокие температуры, $a = mB/kT \ll 1$
$$cth a - \frac{1}{a} \approx \frac{a}{3} \rightarrow I \approx \frac{n_0 m^2}{3kT} B \approx \frac{n_0 m^2}{3kT} H$$

$$\kappa = \frac{n_0 m^2}{3kT}, \mu = 1 + 4\pi\kappa$$

• $a = \frac{\mu_B V}{kT}$, $n_1 = Ae^a$ – по полю, $n_2 = Ae^{-a}$ – против поля

• A – нормировочная *const*, находящаяся из условия

$$n_1 + n_2 = n_0 \rightarrow A = \frac{n_0}{2\sinh a}$$

Откуда

$$I = n_1 m - n_2 m = n_0 m \tanh\left(\frac{mV}{kT}\right)$$

Пределные случаи

- 1) Низкие температуры: $a = \frac{\mu_B B}{kT} \gg 1$

$$I \rightarrow I_{\text{нас}} = n_0 m$$

- 2) Высокие температуры: $a = \frac{\mu_B B}{kT} \ll 1$

$$tha \approx a \rightarrow I \approx I_{\text{нас}} \frac{mB}{kT} = \frac{n_0 m^2}{kT} B \approx \frac{n_0 m^2}{kT} H = \kappa H$$

Откуда имеем

$$\kappa = \frac{n_0 m^2}{kT},$$

Что согласуется с экспериментальными данными