

МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И КОМПОНЕНТЫ

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКОВ

Кубическая структура

- 75 -

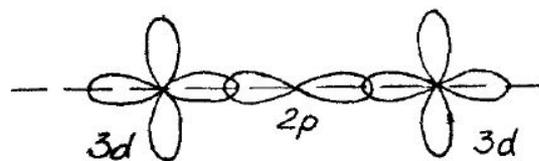
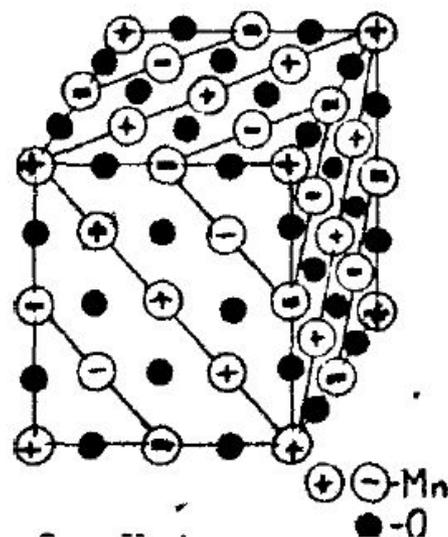
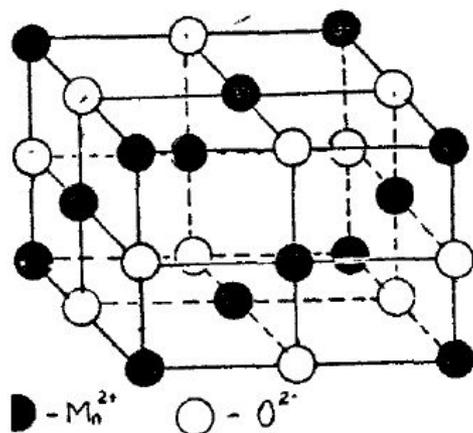


Схема перекрытия волновых функций

Феноменологическая теория антиферромагнетизма

$$\begin{aligned} H_A &= H_O + \lambda_{aa} M_a - \lambda_{ab} M_b, \\ H_B &= H_O + \lambda_{bb} M_b - \lambda_{ab} M_a, \end{aligned} \quad (5.1)$$

$$\overline{M} = \overline{M}_a + \overline{M}_b. \quad (5.2)$$

$$M_a = \frac{H_a C}{2T}, \quad M_b = \frac{H_b C}{2T}. \quad (5.3)$$

$$M = \frac{C}{2T} [2H_O + (\lambda_{aa} - \lambda_{ab})M]. \quad (5.4)$$

$$\chi = \frac{C}{T - \theta}; \quad \theta = \frac{C}{2} (\lambda_{aa} - \lambda_{ab}). \quad (5.5)$$

$$M_a = \frac{C}{2T} [\lambda_{aa} M_a - \lambda_{ab} M_b], \quad (5.6)$$

$$M_b = \frac{C}{2T} [\lambda_{bb} M_b - \lambda_{ab} M_a].$$

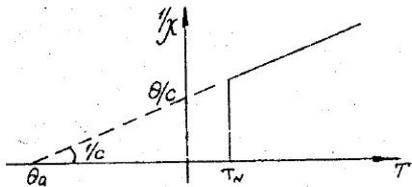
$$\begin{aligned} 2T - C\lambda_{aa} - C\lambda_{ab} &= 0, \\ -C\lambda_{ab}(2T - C\lambda_{bb}) &= 0. \end{aligned} \quad (5.7)$$

$$2T - C\lambda_{aa} = C\lambda_{ab},$$

$$T_N = \frac{C}{2} (\lambda_{aa} + \lambda_{ab}),$$

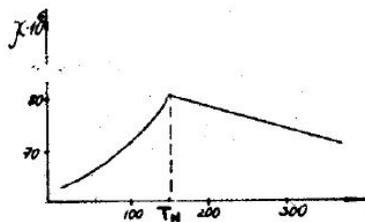
$$\theta = \frac{C}{2} (\lambda_{aa} - \lambda_{ab}), \quad (5.8)$$

$$T_N = \theta \frac{\lambda_{aa} + \lambda_{ab}}{\lambda_{aa} - \lambda_{ab}}.$$



Температурная зависимость магнитной восприимчивости
антиферромагнетика

Феноменологическая теория антиферромагнетизма

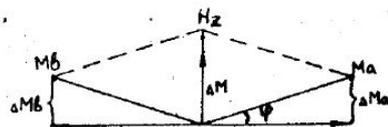


Зависимость магнитной восприимчивости от температуры

Таблица 5.1

Материал	T_N , К	Материал	T_N , К
FeCl ₂	23,5	FeO	198
NiCl ₂	50,0	CoO	520
CoCl ₂	24,5	NiO	520
MnF ₂	75,0	CrSb	725
FeF ₂	78,4		
NiF ₂	85,0		

Феноменологическая теория антиферромагнетизма

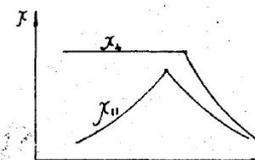


Расположение векторов намагниченности M_a и M_b подрешеток

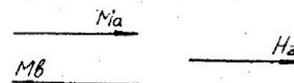
$$\Delta M = \Delta M_a + \Delta M_b = 2\Delta M_b. \quad (5.8)$$

$$H_Z = \Delta H_a + \Delta H_b = (\lambda_{ab} - \lambda_{aa}) \Delta M. \quad (5.9)$$

$$\chi = \frac{\Delta M}{H_Z} = \frac{1}{\lambda_{ab} - \lambda_{aa}}. \quad (5.10)$$



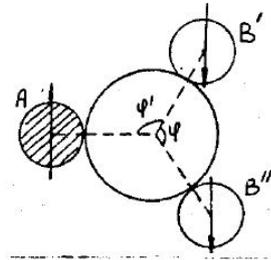
Зависимость относительной восприимчивости от температуры



Параллельное расположение векторов M_a и M_b и внешнего поля H_Z

ПРИРОДА ФЕРРИМАГНЕТИЗМА

Обменное взаимодействие в ферримагнетиках



Расположение ионов металлов в ферримагнитном кристалле,
окружающем атом кислорода:

Теория молекулярного поля

$$h_A = h_{aa} + h_{ba}, \quad (6.1)$$

$$h_B = h_{bb} + h_{ab},$$

$$h_{aa} = k\lambda J_A$$

$$h_{ab} = \varepsilon n \lambda J_A,$$

$$h_{ba} = \varepsilon n \mu J_B.$$

(6.2)

$$h_A = k\lambda J_A + \varepsilon n \mu J_B, \quad (6.3)$$

$$h_B = P\mu J_B + \varepsilon n \lambda J_A.$$

$$h_A = n(\alpha\lambda J_A + \varepsilon \mu J_B), \quad 6.4$$

$$h_B = n(\beta\mu J_B + \varepsilon \lambda J_A).$$

$$J_A = \frac{C_A}{T}(H_0 + h_A), \quad (6.5)$$

$$J_B = \frac{C_B}{T}(H_0 + h_B).$$

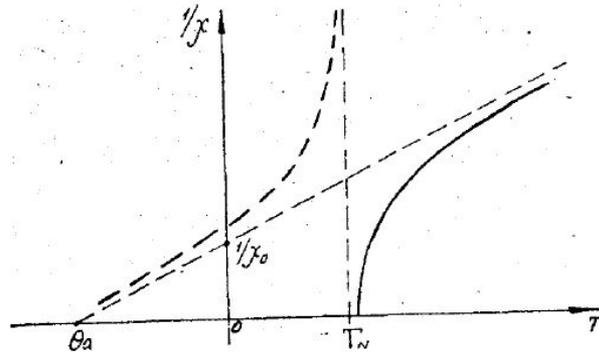
$$\frac{1}{\chi} = \frac{H}{J} = \frac{T^2 - nC(\lambda\alpha + \mu\beta)T + \lambda\mu n^2 C^2(\alpha\beta - 1)}{C(T - nC\mu\lambda)(2 + \alpha + \beta)}. \quad (6.6)$$

$$\frac{1}{\chi} = \frac{T}{C} + \frac{1}{\chi_0} - \left(\frac{\sigma}{T - \theta}\right), \quad (6.7)$$

где $\theta = Cn\mu\lambda(2 + \alpha + \beta)$,

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{\chi_0} &= n(2\mu\lambda - \alpha\lambda^2 - \mu^2\beta), \\ \sigma &= n^2 C \mu \lambda [\lambda(1 + \lambda) - \mu(1 + \beta)]^2. \end{aligned} \right\} \quad (6.8)$$

Теория молекулярного поля



Зависимость обратной восприимчивости ферримагнетика
от температуры

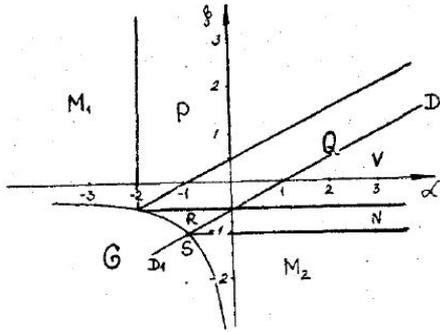
$$T^2 - nC(\lambda\alpha + \mu\beta)T - \lambda\mu n^2 C^2(\alpha\beta - 1), \quad (6.9)$$

$$T_N = \frac{nC}{2} [(\lambda\alpha + \mu\beta) \pm \sqrt{(\lambda\alpha - \mu\beta)^2 + 4\mu\lambda(\alpha\beta - 1)}]. \quad (6.10)$$

$$\chi_a = \frac{C}{T + \theta_a}, \quad (6.11)$$

где $\theta_a = -\frac{C}{\chi_0}$

Теория молекулярного поля



Разбиение плоскости $\alpha\beta$ и типы кривых зависимости M от T для отрицательного взаимодействия А-В

$$\sigma Cn^2 \lambda \mu [\lambda(1 + \alpha) - \mu(1 + \beta)]^2 = 0. \quad (6.12)$$

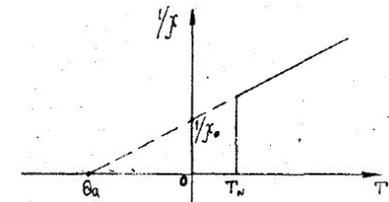
$$\lambda + \lambda\alpha = \mu + \mu\beta, \quad (6.13)$$

$$\beta = \frac{\lambda}{\mu} \alpha + \frac{\lambda}{\mu} - 1. \quad (6.14)$$

$$\theta_a = Cn \frac{9}{25} \left[\frac{4}{3} - \frac{4}{9} \alpha - \beta \right], \quad (6.15)$$

$$T_N = \frac{3Cn}{10} \left(\frac{3}{2} \alpha + \beta \right) + \sqrt{\left(\frac{3}{2} \alpha - \beta \right)^2 + \frac{8}{9}}, \quad (6.16)$$

$$\theta_a = -Cn \mu^2 \left[2 \frac{\lambda}{\mu} - \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^2 \alpha - \beta \right]. \quad (6.17)$$



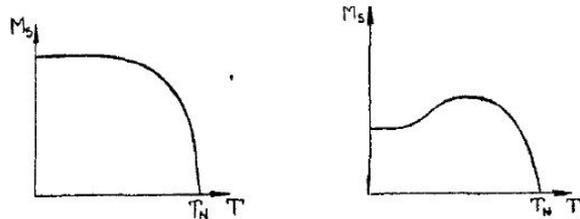
Температурная зависимость $1/\chi$ для точек α и β , расположенных на отрезке DD'

Ферромагнитная область

$$dF = -SdT - MdH.$$

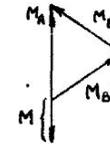
Продифференцируем по dT момент и получим соотношение

$$\left(\frac{\partial M}{\partial T}\right)_H = \left(\frac{\partial S}{\partial H}\right)_T.$$

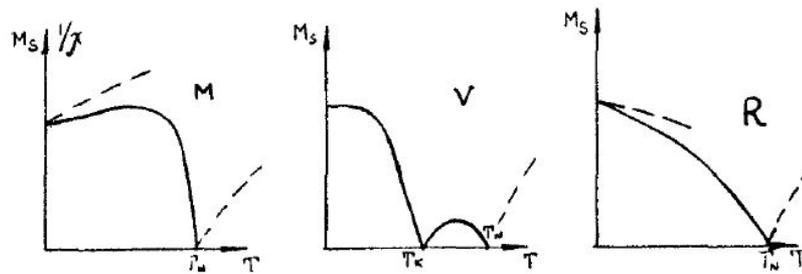


Виды основных типов температурных зависимостей

спонтанной намагниченности M_s



"Треугольное" расположение магнитных
моментов подрешеток



Виды зависимостей намагничивания областей M, V, R диаграммы