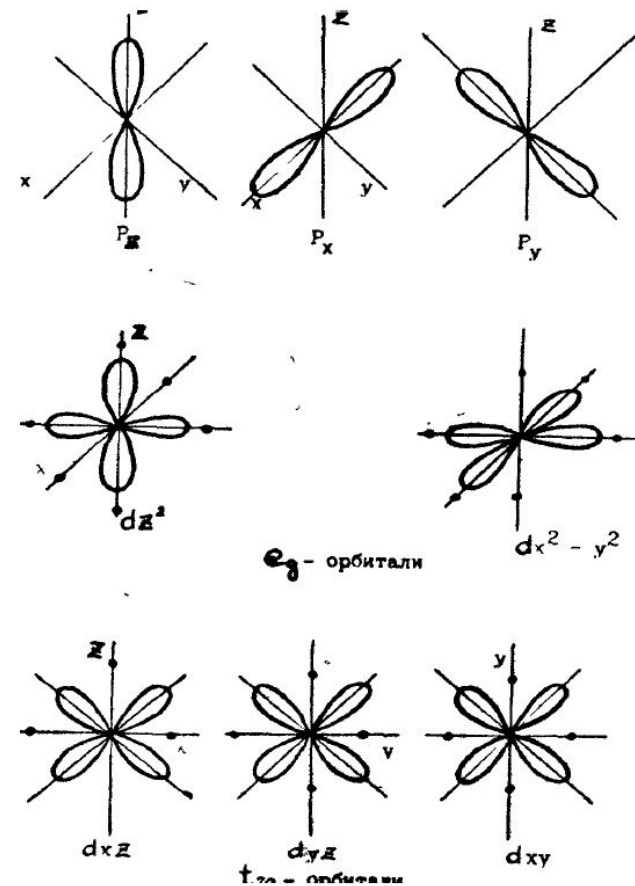
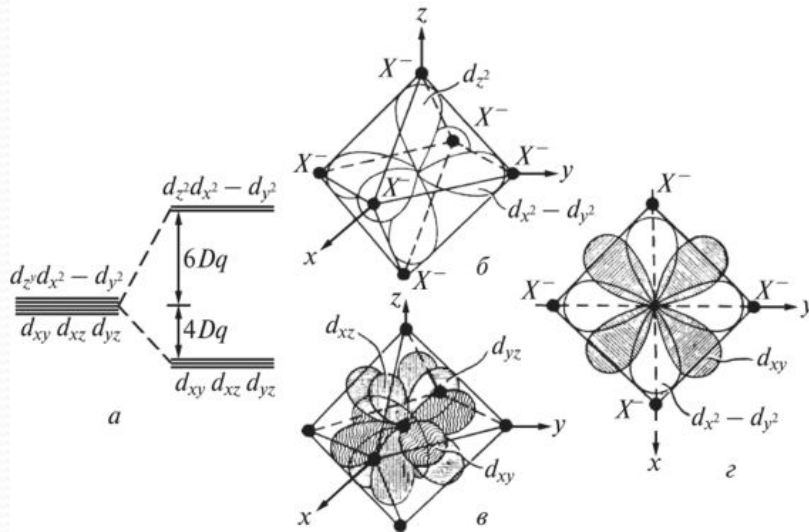


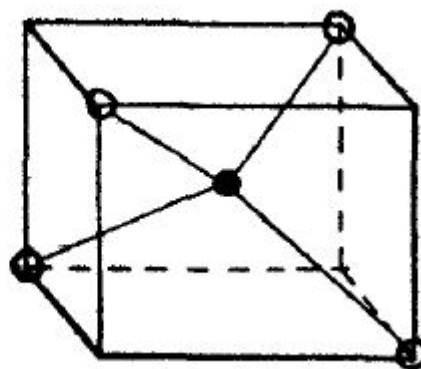
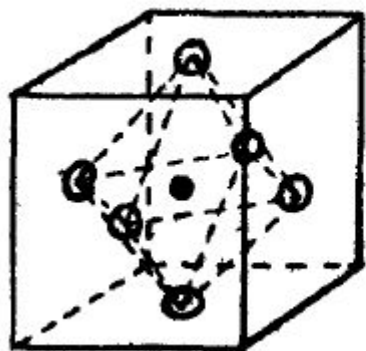
# МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И КОМПОНЕНТЫ

## Парамагнитный ион в кристаллическом поле

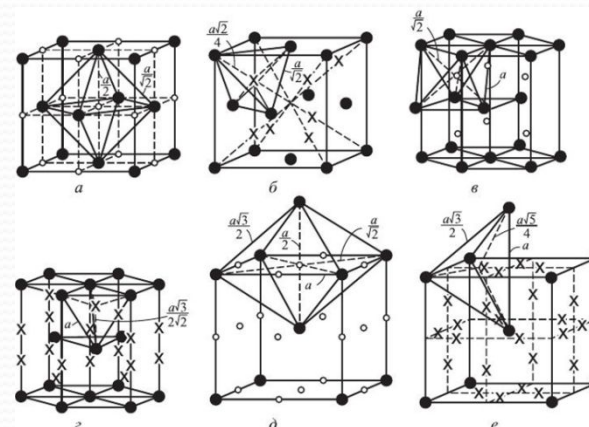
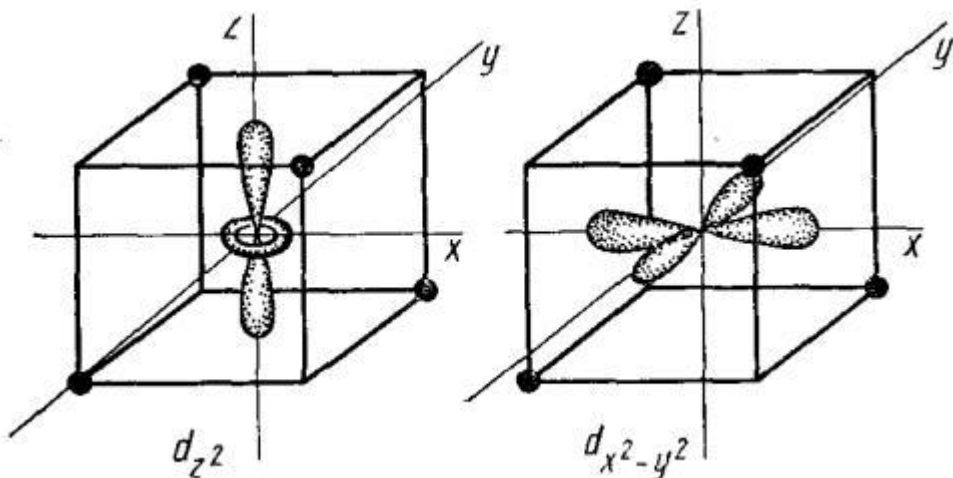


Волновые функции  $p$  и  $d$ -электронов

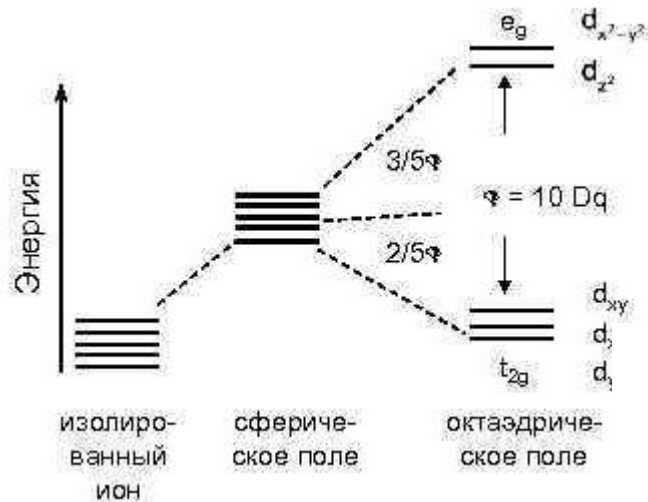
# Парамагнитные ионы в октаэдрическом и тетраэдрическом окружениях диамагнитных ионов, $O^{2-}$



○ -  $O^{2-}$   
● - Me



## Расщепление 3d-уровня в кристаллическом поле



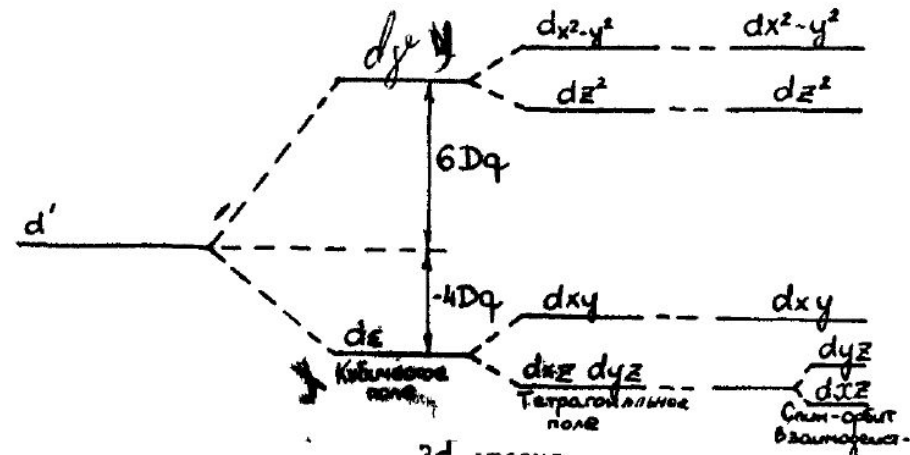
$$E_c = -(n_t E_t + n_e E_e)$$

Используя определение параметра расщепления

$$3X + 2Y = 0$$

$$|Y - X| = \Delta$$

$$|Y| = 3\Delta/5 = 6Dq, |X| = 2\Delta/5 = 4Dq.$$



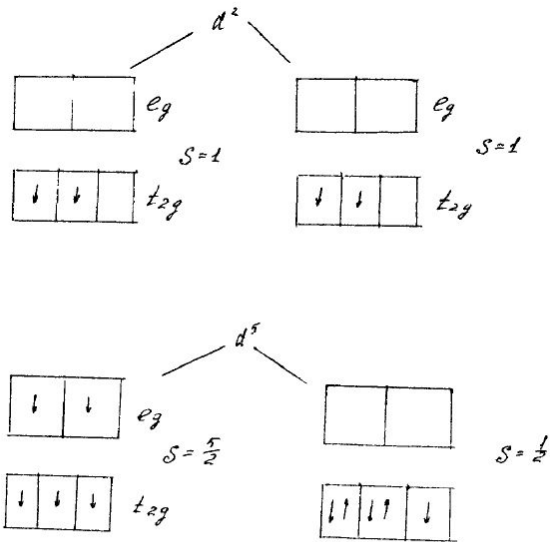
Гамильтониан для электронов парамагнитного иона в кристалле

$$H = H_0 + \hat{V}_L + \hat{V}_{ij} + H_{LS} + \hat{V}_{kn}$$

$$H_0 = \sum \left( \frac{p_i^2}{2m} - \frac{Z_{эфф} e^2}{r_i} \right)$$

- 1) слабое кристаллическое поле (радиоземельные ионы) -  $\hat{V}_{kn} < H_{LS}$ ;
- 2) промежуточное поле ( $3d$  -ионы)  $-H_{LS} < V_{kn} \ll V_{ij}$ ;
- 3) сильное кристаллическое поле ( $4d, 5d$  -ионы)  $V_{kn} > V_{ij} > H_{LS}$ .

## Заполнение электронами $t_{2q}$ и $e_g$ - орбиталей



а)

б)

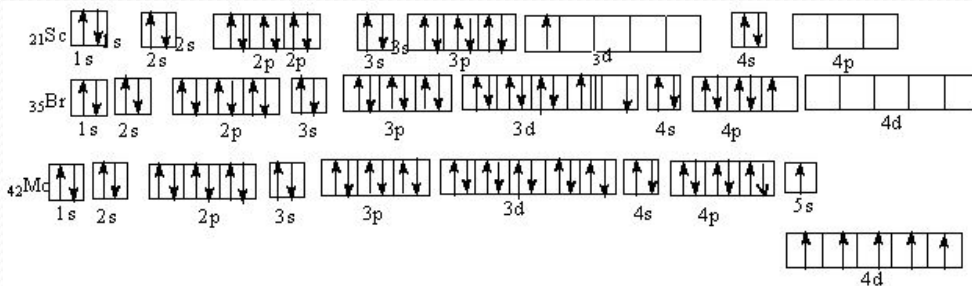


Таблица 1

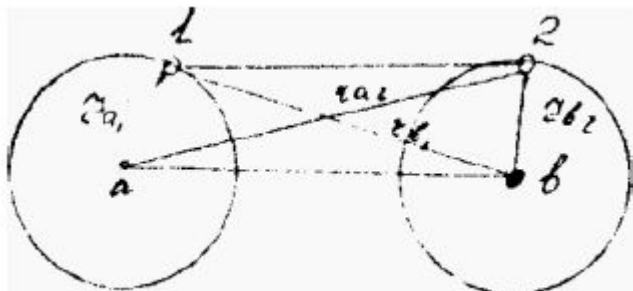
Электронная формула атомов первых четырех периодов

Период	Элемент	Электронная формула	Период	Элемент	Электронная формула
1	$^1\text{H}$	$1s^1$	4	$^{19}\text{K}$	$[\text{Ar}]4s^1$
	$^2\text{He}$	$1s^2$		$^{20}\text{Ca}$	$[\text{Ar}]4s^2$
2	$^3\text{Li}$	$1s^2 2s^1$		$^{21}\text{Sc}$	$[\text{Ar}]3d^1 4s^2$
	$^4\text{Be}$	$1s^2 2s^2$		$^{22}\text{Ti}$	$[\text{Ar}]3d^2 4s^2$
	$^5\text{B}$	$1s^2 2s^2 2p^1$		$^{23}\text{V}$	$[\text{Ar}]3d^3 4s^2$
	$^6\text{C}$	$1s^2 2s^2 2p^2$		$^{24}\text{Cr}$	$[\text{Ar}]3d^5 4s^1$
	$^7\text{N}$	$1s^2 2s^2 2p^3$		$^{25}\text{Mn}$	$[\text{Ar}]3d^5 4s^2$
	$^8\text{O}$	$1s^2 2s^2 2p^4$		$^{26}\text{Fe}$	$[\text{Ar}]3d^6 4s^2$
	$^9\text{F}$	$1s^2 2s^2 2p^5$		$^{27}\text{Co}$	$[\text{Ar}]3d^7 4s^2$
	$^{10}\text{Ne}$	$1s^2 2s^2 2p^6$		$^{28}\text{Ni}$	$[\text{Ar}]3d^8 4s^2$
3	$^{11}\text{Na}$	$[\text{Ne}] 3s^1$		$^{29}\text{Cu}$	$[\text{Ar}]3d^{10} 4s^1$
	$^{12}\text{Mg}$	$[\text{Ne}] 3s^2$		$^{30}\text{Zn}$	$[\text{Ar}]3d^{10} 4s^2$
	$^{13}\text{Al}$	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^1$		$^{31}\text{Ga}$	$[\text{Ar}]3d^{10} 4s^2 4p^1$
	$^{14}\text{Si}$	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^2$		$^{32}\text{Ge}$	$[\text{Ar}]3d^{10} 4s^2 4p^2$
	$^{15}\text{P}$	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^3$		$^{33}\text{As}$	$[\text{Ar}]3d^{10} 4s^2 4p^3$
	$^{16}\text{S}$	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^4$		$^{34}\text{Se}$	$[\text{Ar}]3d^{10} 4s^2 4p^4$
	$^{17}\text{Cl}$	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^5$		$^{35}\text{Br}$	$[\text{Ar}]3d^{10} 4s^2 4p^5$
	$^{18}\text{Ar}$	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^6$		$^{36}\text{Kr}$	$[\text{Ar}]3d^{10} 4s^2 4p^6$

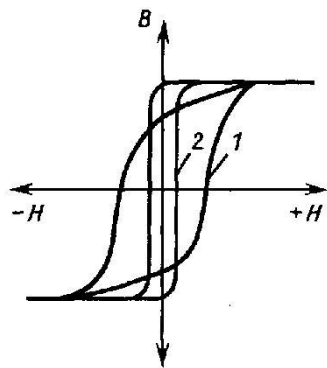
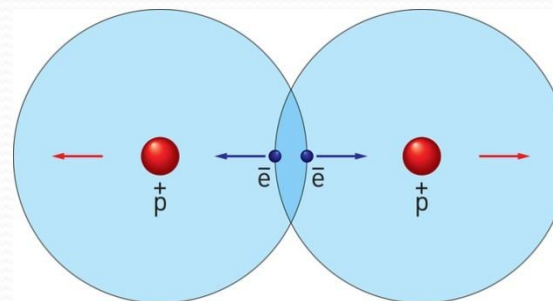
## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ФЕРРОМАГНЕТИКАХ

$$E_{\text{обм}} = -2 \sum_{ij} J_{ij} S_1 S_2$$

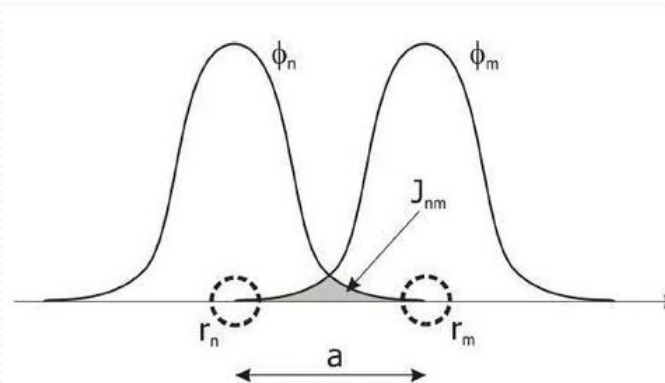
$$J_{ij} = \frac{e}{4\pi \epsilon_0} \int \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{r_{a2}} - \frac{1}{r_{b1}} \right) \psi_a^*(1) \psi_b(1) \varphi_a(2) \varphi_b^*(2) dq_1 dq_2$$



обменное взаимодействие



Петля гистерезиса магнитожёстких (1) и магнитомягких (2) ферромагнетиков



## Результирующий спин эффективного спинового момента

Ве- ще- ство	Число электронов в подболочках				Всего	Результирующий спин
	$3d^+$	$3d^-$	$4S^+$	$4S^-$		
Fe	4.8	2.6	0.3	0.3	8	2.2
Co	5	3.3	0.35	0.35	9	1.7
Ni	5	4.4	0.3	0.3	10	0.6
Cu	5	5	0.5	0.5	11	0

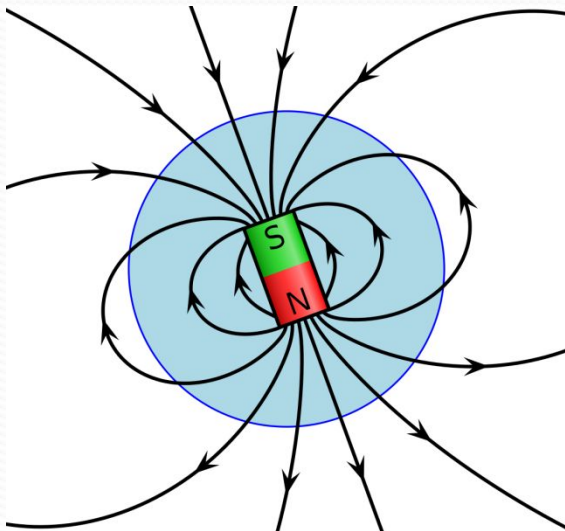


## Молекулярное поле в теории магнетизма

$$H_{\text{мол}} = H_{\text{F}} = \lambda M$$

$$kT_{\text{K}} = \mu H_{\text{E}} = gS \mu_{\text{B}} H_{\text{E}}$$

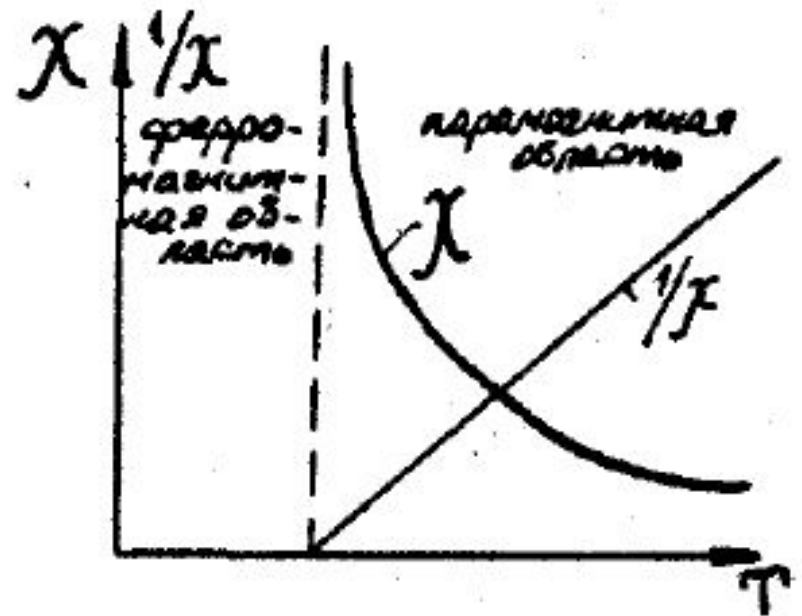
$$H_{\text{E}} = \frac{kT_{\text{K}}}{gS \mu_{\text{B}}}$$



## Парамагнитная область. Закон Кюри - Вейсса.

$$\frac{M}{H_0 + \lambda M} = \frac{C}{T}$$
$$M = \frac{CH_0}{T - C\lambda} = \frac{C}{T - T_K} H_0$$

$$\chi = \frac{M}{H_0} = \frac{C}{T - T_K}$$



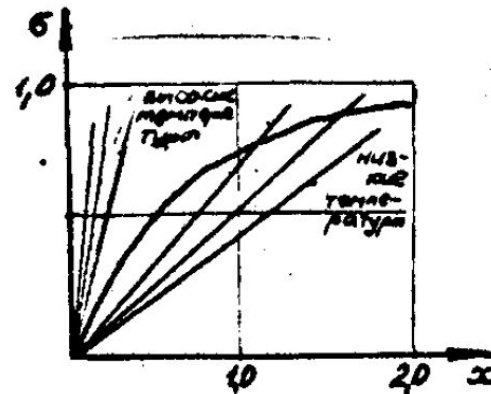
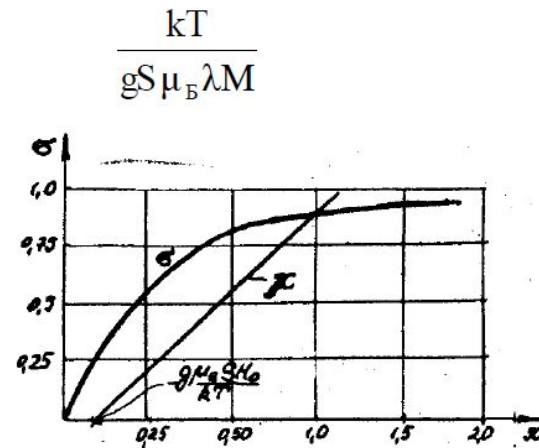
## Ферромагнитная область

$$M = NgS\mu_B B_s \left[ \frac{gS\mu_B (H_0 + \lambda M)}{kT} \right].$$

$$M = NgS\mu_B B_s \left[ \frac{gS\mu_B H_0}{kT} + \frac{gS\mu_B \lambda M}{kT} \right].$$

$$\sigma = \frac{M}{NgS\mu_B} = B_s(x);$$

$$x = \frac{gS\mu_B H_0}{kT} + \frac{gS\mu_B \lambda M_0 \sigma}{kT},$$



## Температурная зависимость спонтанной намагниченности

$$x = \frac{gS\mu_B\lambda M}{kT}$$

$$B_S(\chi) = 2\text{cth } 2x - \text{cth } x = \text{th } x = \text{th } \frac{\mu_B\lambda M}{kT}$$

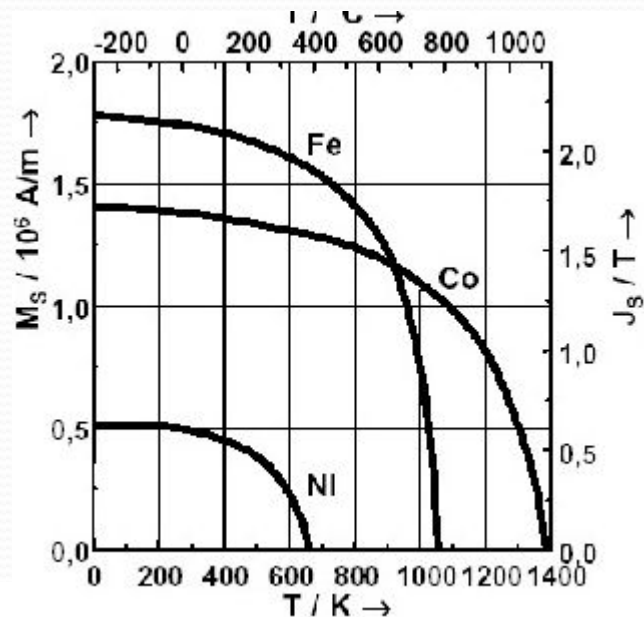
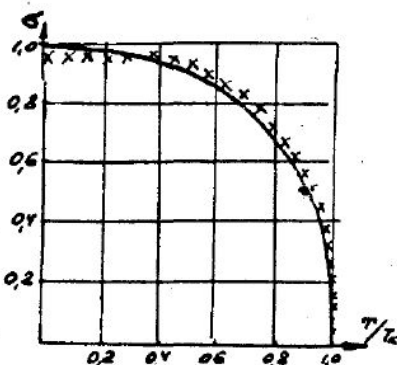
$$T_K = \frac{\mu_B H_E(0)}{k} = \frac{\mu_B\lambda M(0)}{k}$$

$$\sigma = \frac{M}{NgS\mu_B} = \frac{M}{M_0} = \text{th}\left(\frac{M}{M(0)} \frac{T_K}{T}\right)$$

$$\sigma = \frac{M}{M_0} = \sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{T}{T_K}}$$

$$\sigma = \frac{M}{M(0)} \approx 1 - 2e^{-\frac{2T_K}{T}}$$

$$\sigma = 1 - \alpha T^{\frac{3}{2}}$$



$$E_{\text{о6M}} = -\mu H_E = -g\bar{S}\mu_B \lambda(g\bar{S}\mu_B N)$$

$$\lambda = \frac{2J_e Z}{N\alpha^2 \dots}$$

$$T_K = \frac{2J_e Z S(S+1)}{3k}$$