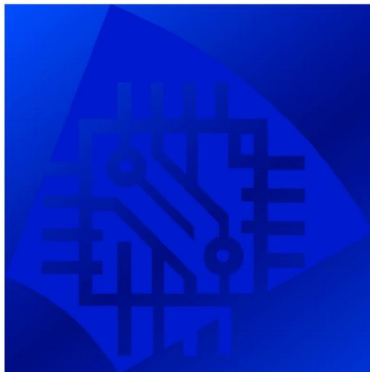


Дисциплина :
**”МАТЕРИАЛЫ И ЭЛЕМЕНТЫ
ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ”**
Модуль №5

Тема 5.1 Свойства и строение магнитных материалов

**Лекция 5.1 Свойства и строение
магнитных материалов**



План лекции

1. Магнитные характеристики.
2. Физическая природа магнитных эффектов.
3. Ферромагнитное и ферримагнитное состояние вещества.
4. Процессы при намагничивании ферромагнетиков.
5. Влияние температуры на магнитные свойства.
6. Нанокристаллические магнитные материалы.

Индукция магнитного поля в вакууме

$$B = \mu_0 H$$

μ_0 – магнитная проницаемость в вакууме

$$\mu_0 = 1.26 \cdot 10^{-7} \text{ Вб/А}$$

H – напряженность магнитного поля

$$[H] = \text{А/м}; \quad [B] = \text{Тл}$$

Индукция магнитного поля в материале

$$B = \mu_0 \mu_r H$$

μ_r – магнитная проницаемость материала



$$B = \mu_0 H + \mu_0 M$$



намагниченность

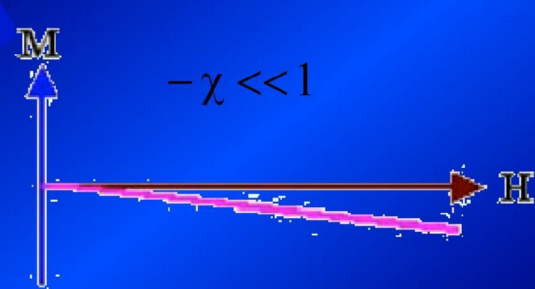
Намагниченность

$$M = \chi \cdot H$$

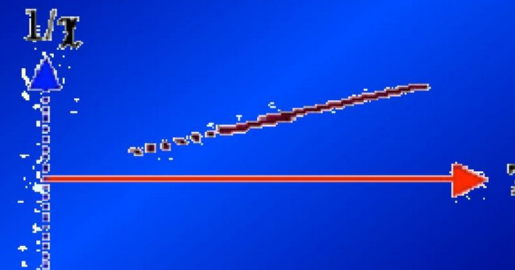
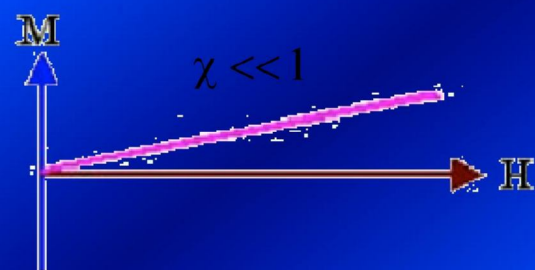
$$\chi = \mu_r - 1$$

магнитная восприимчивость
материала

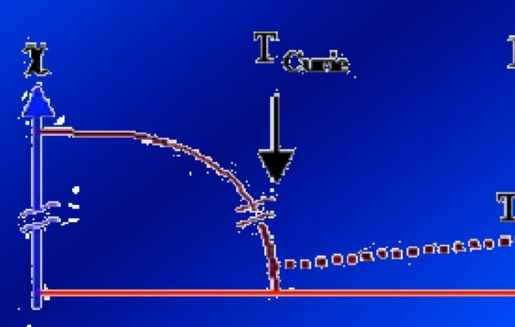
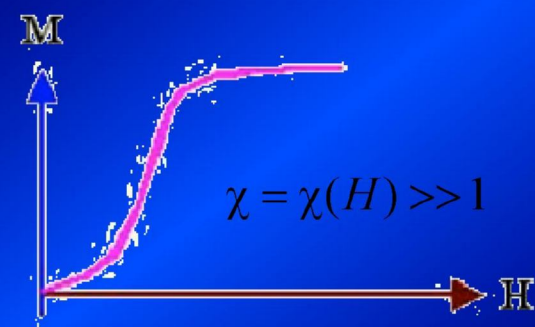
Классификация материалов по восприимчивости



Диа-магнетики

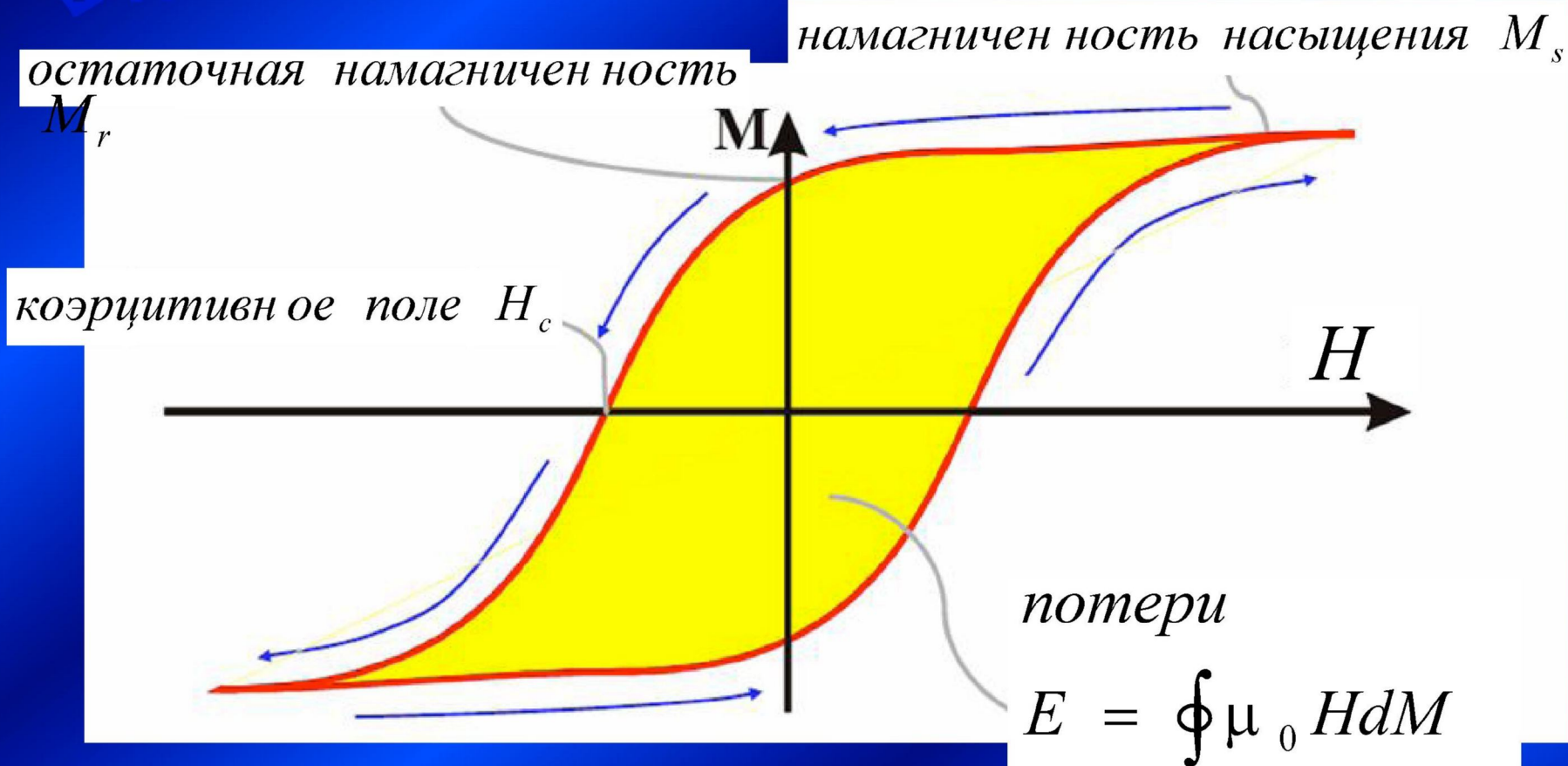


Пара-магнетики



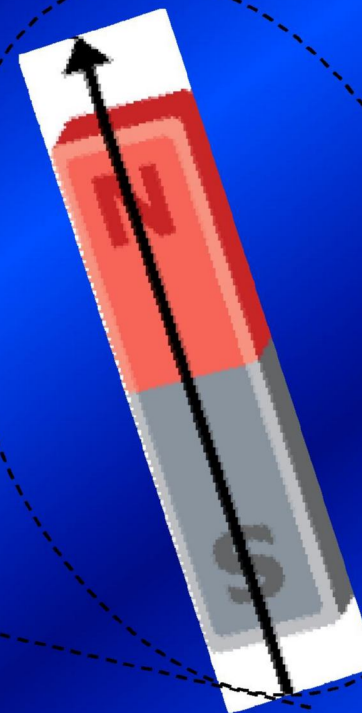
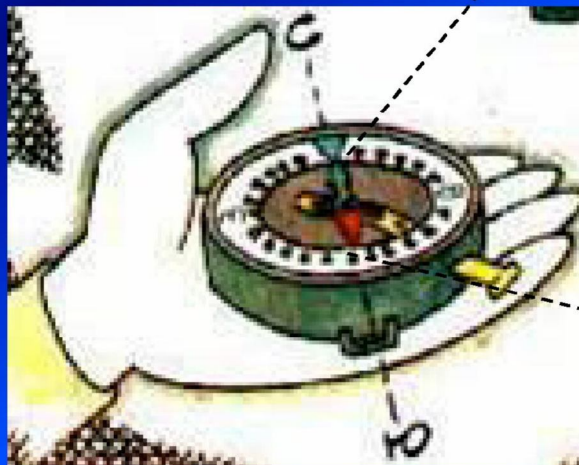
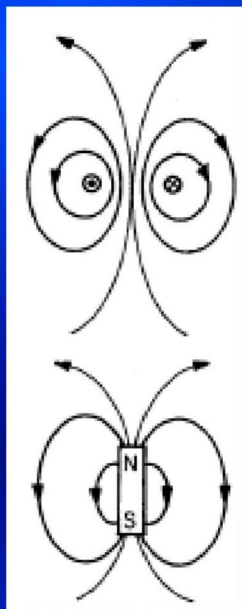
Ферро-магнетики

Петля гистерезиса в ферромагнетиках



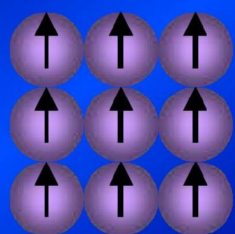
Физическая природа намагниченности

*Магнитный диполь ориентируется
по направлению внешнего
магнитного поля*

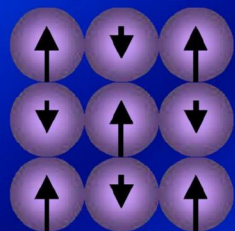


Физическая природа намагниченности

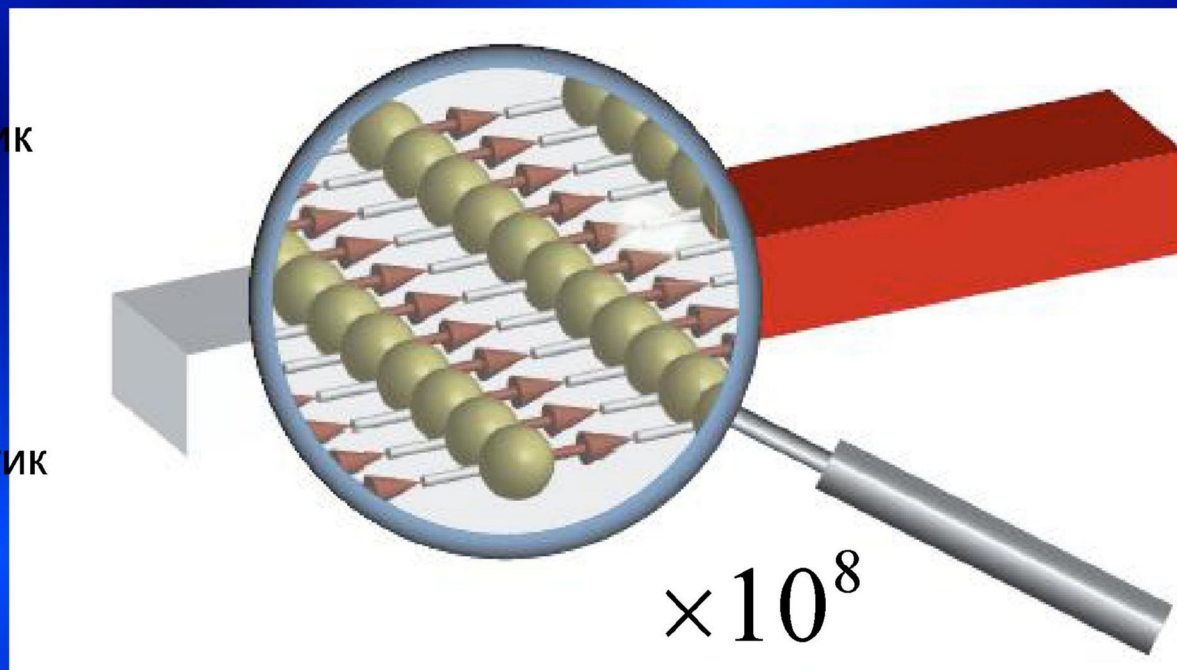
- * *Атомы – магнитные диполи*
- * *Магнитный порядок в ферромагнетике $\Rightarrow$ высокая магнитная восприимчивость*



ферромагнетик

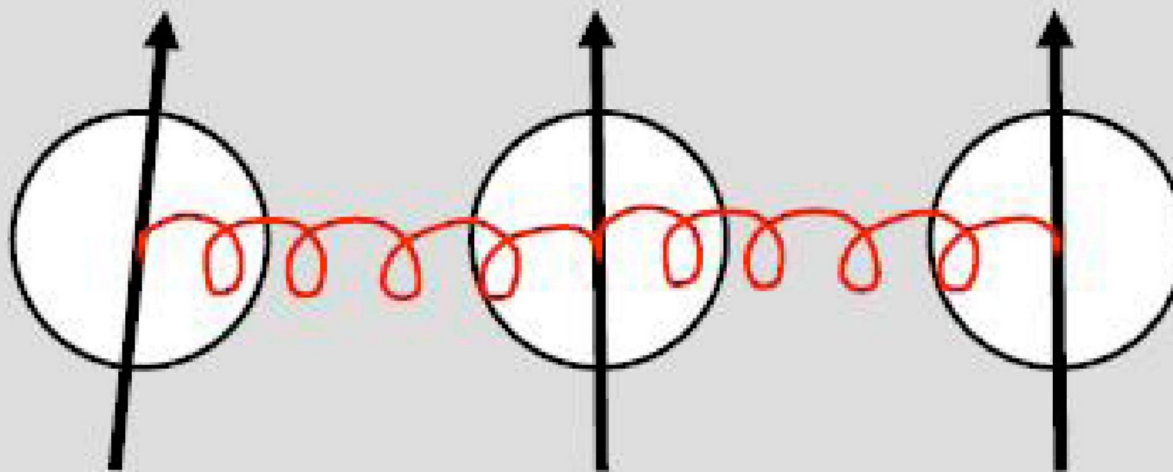


ферримагнетик



Основные вклады в энергию магнетика

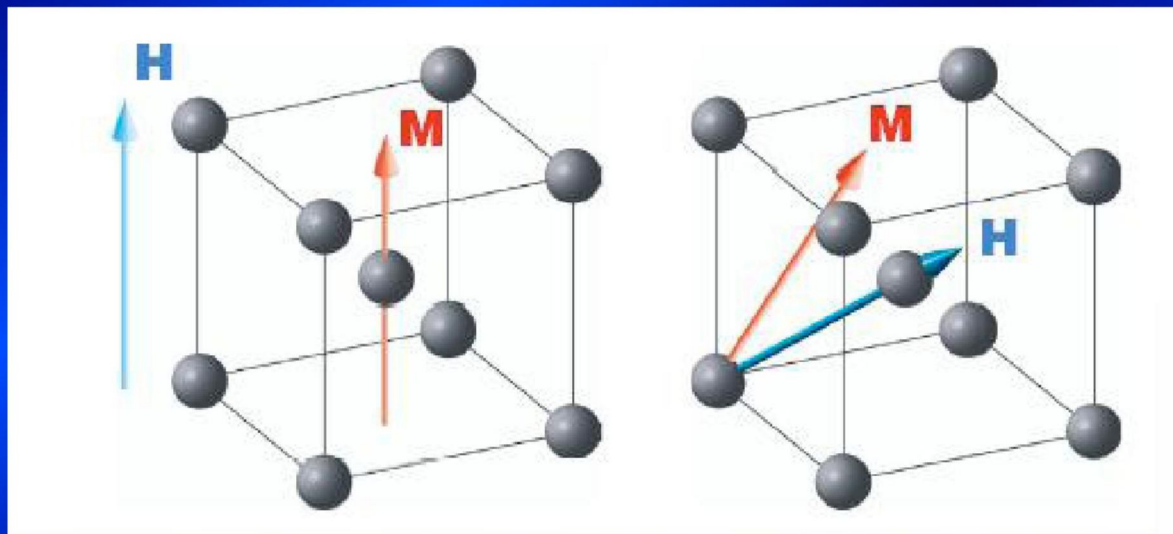
Обменная энергия



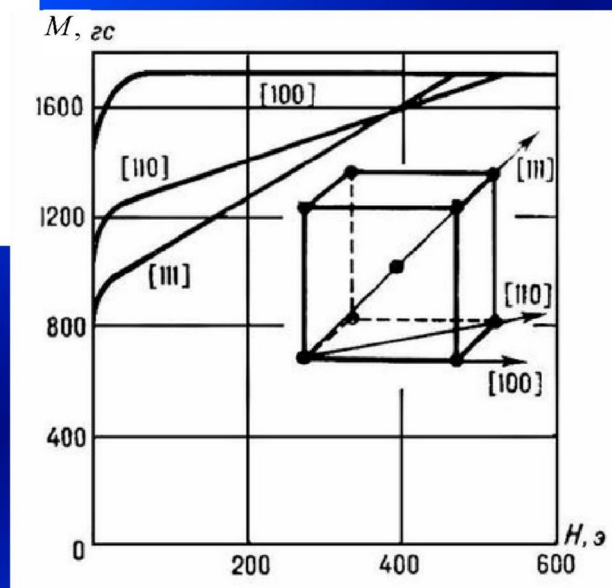
$$E_{\text{Ech}} = -J_{1,2} \vec{S}_1 \cdot \vec{S}_2$$
$$= A(\nabla \theta)^2$$

Основные вклады в энергию магнетика

Энергия магнитокристаллической анизотропии

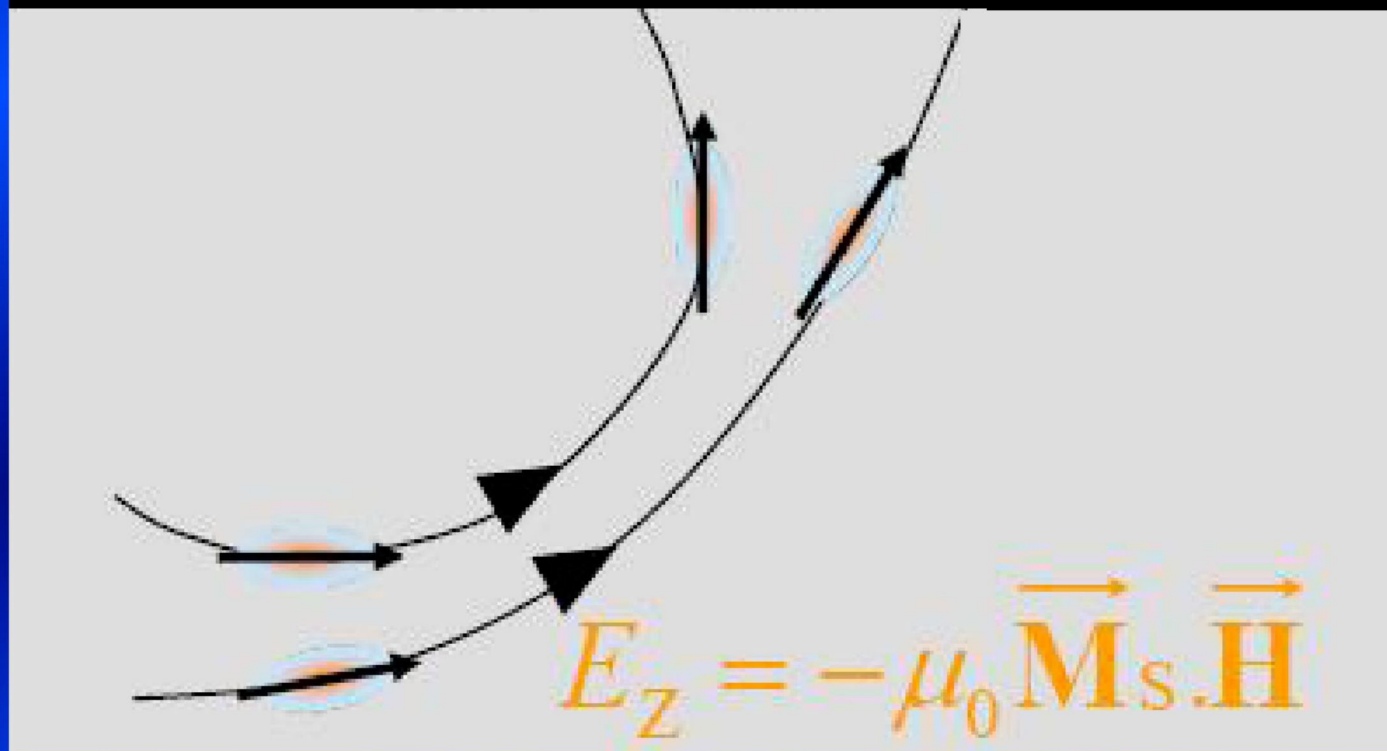


$$E_{mc} = K \sin^2(\theta)$$



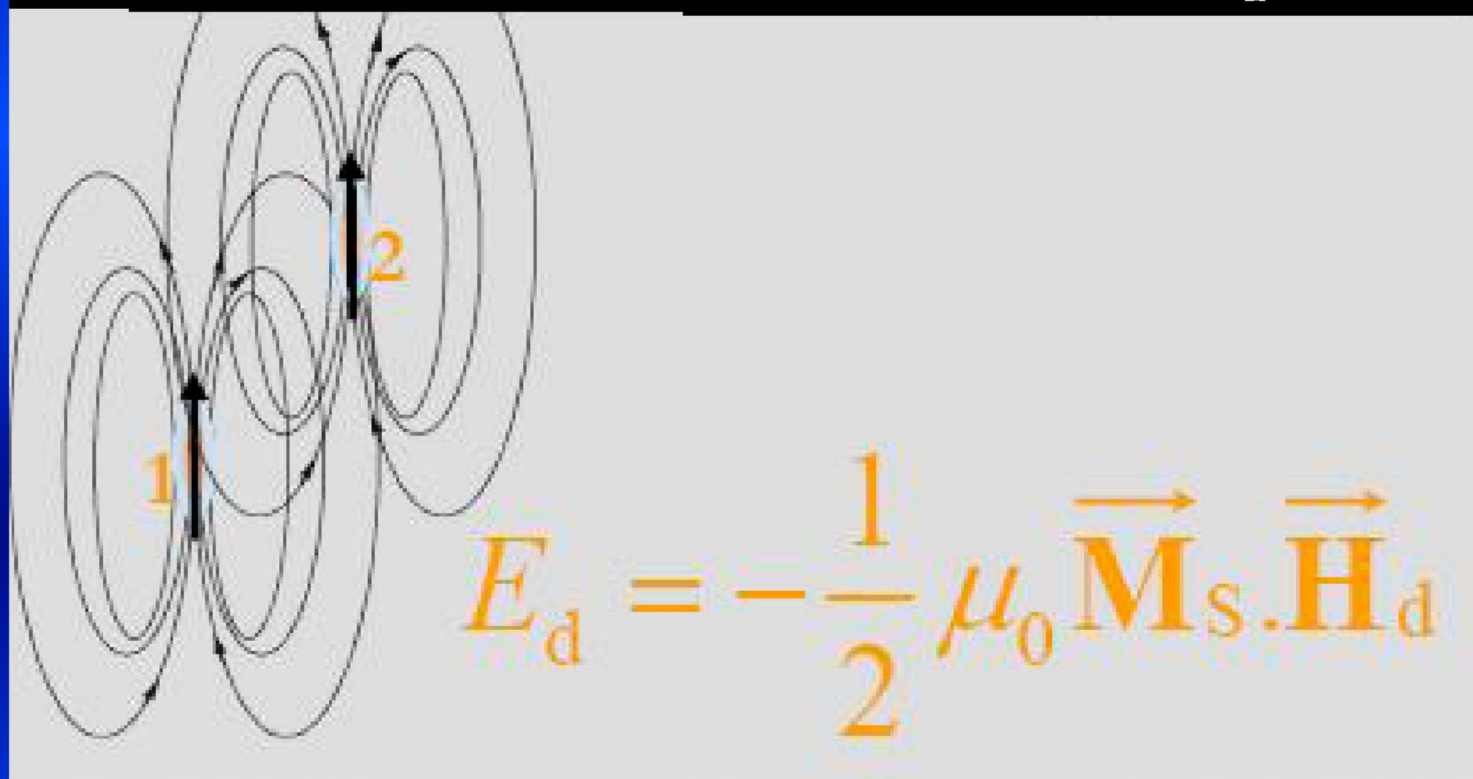
Основные вклады в энергию магнетика

Энергия Зеемана



Основные вклады в энергию магнетика

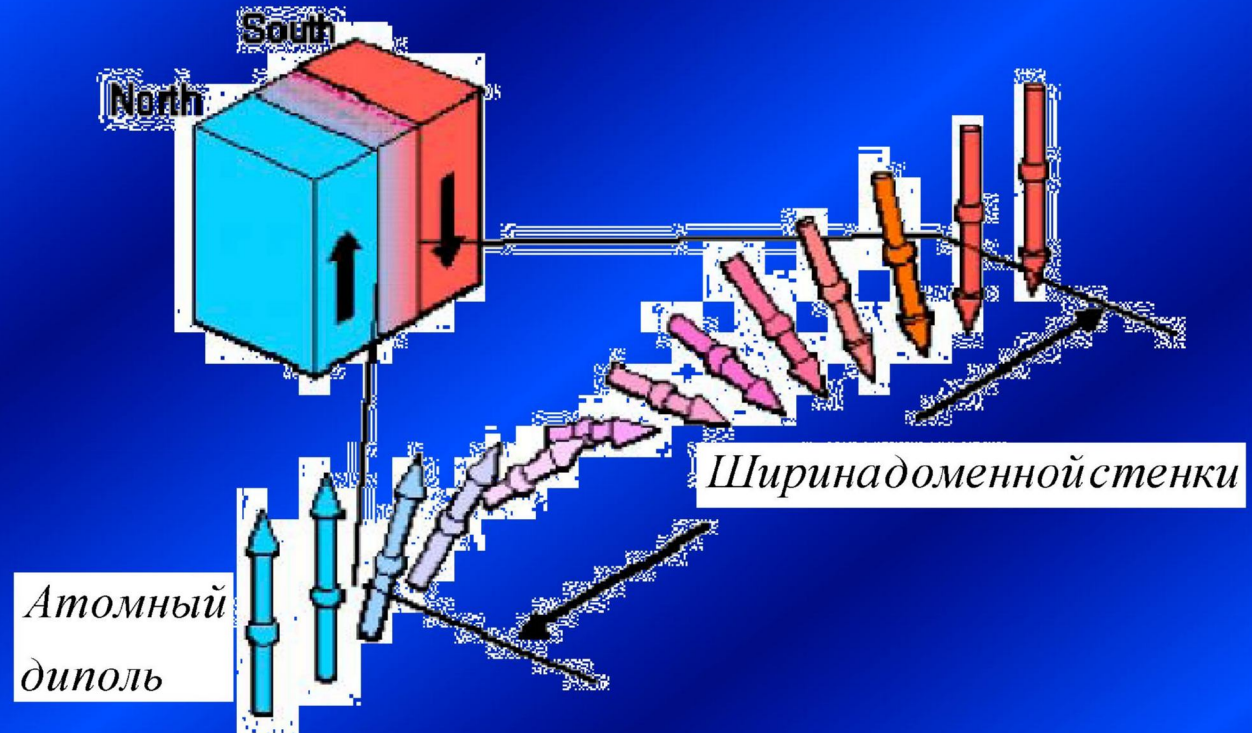
Дипольная энергия



Конкуренция энергетических вкладов формирует характерные масштабы в магнитной структуре

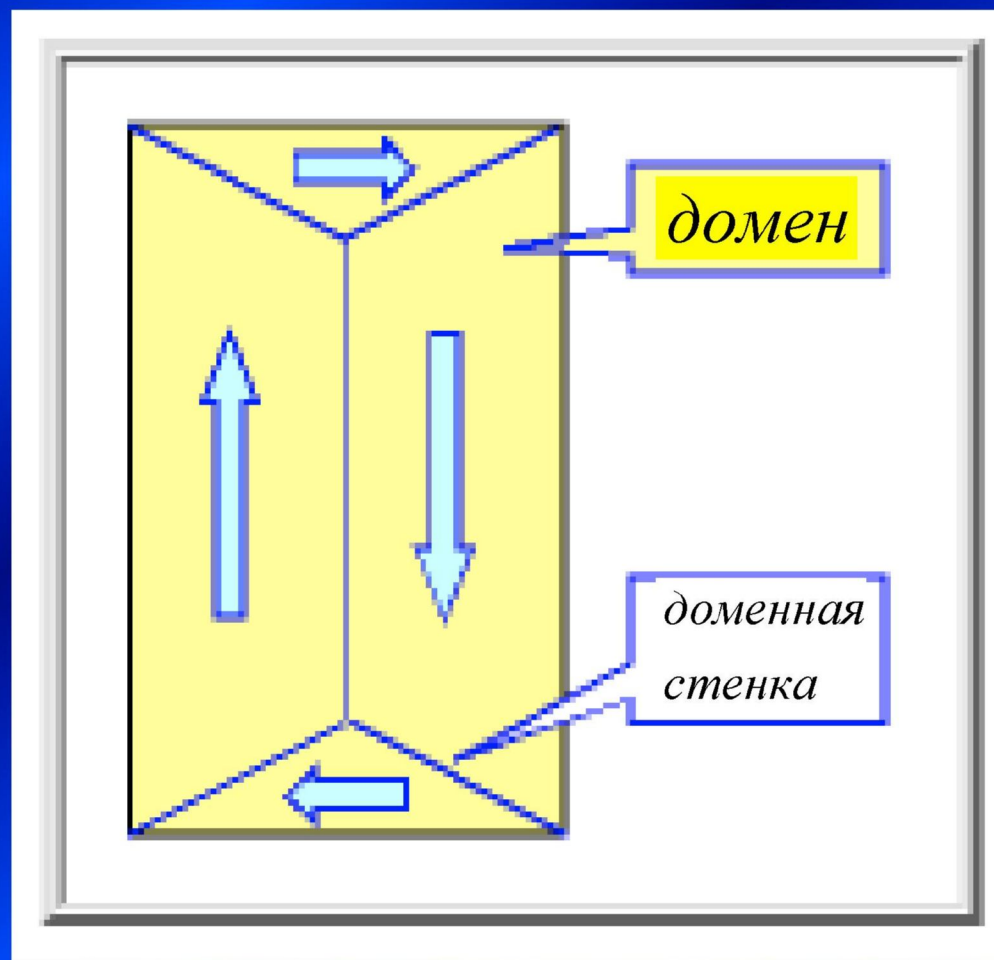
$$\lambda_B = \pi \sqrt{A/K}$$

$$\lambda_B = 2 \div 100 \text{ нм}$$

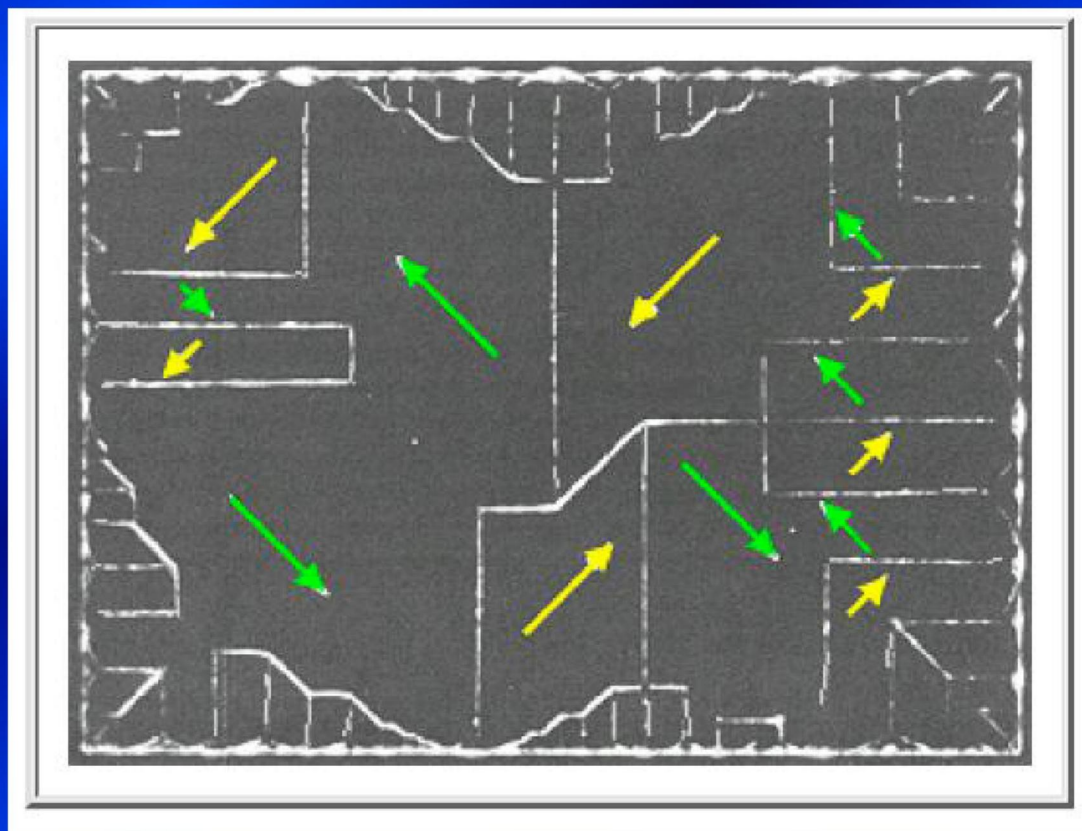


$$e = A \left(\frac{d\theta}{dx} \right)^2 + K \sin^2 \theta$$

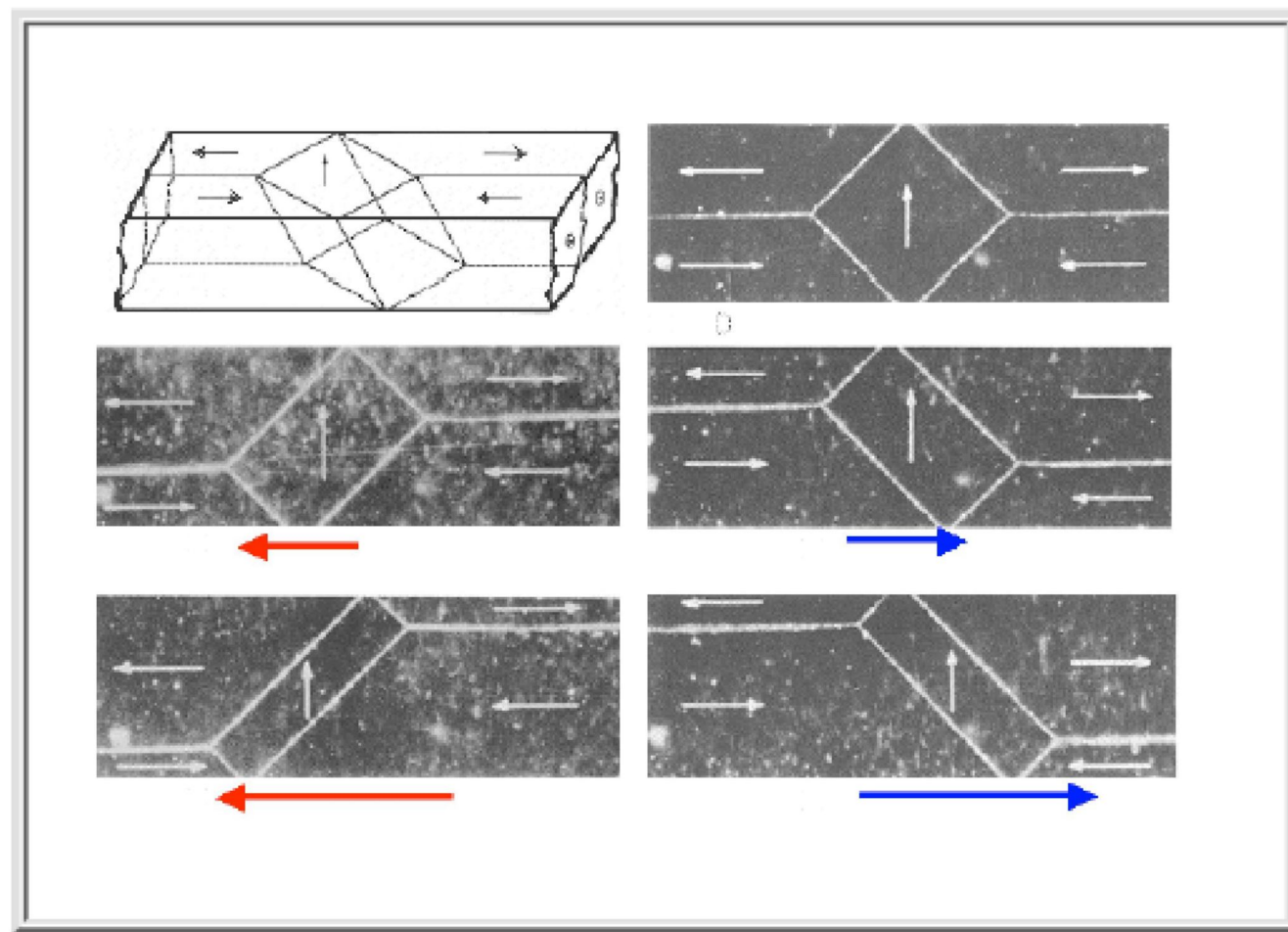
Магнитные домены



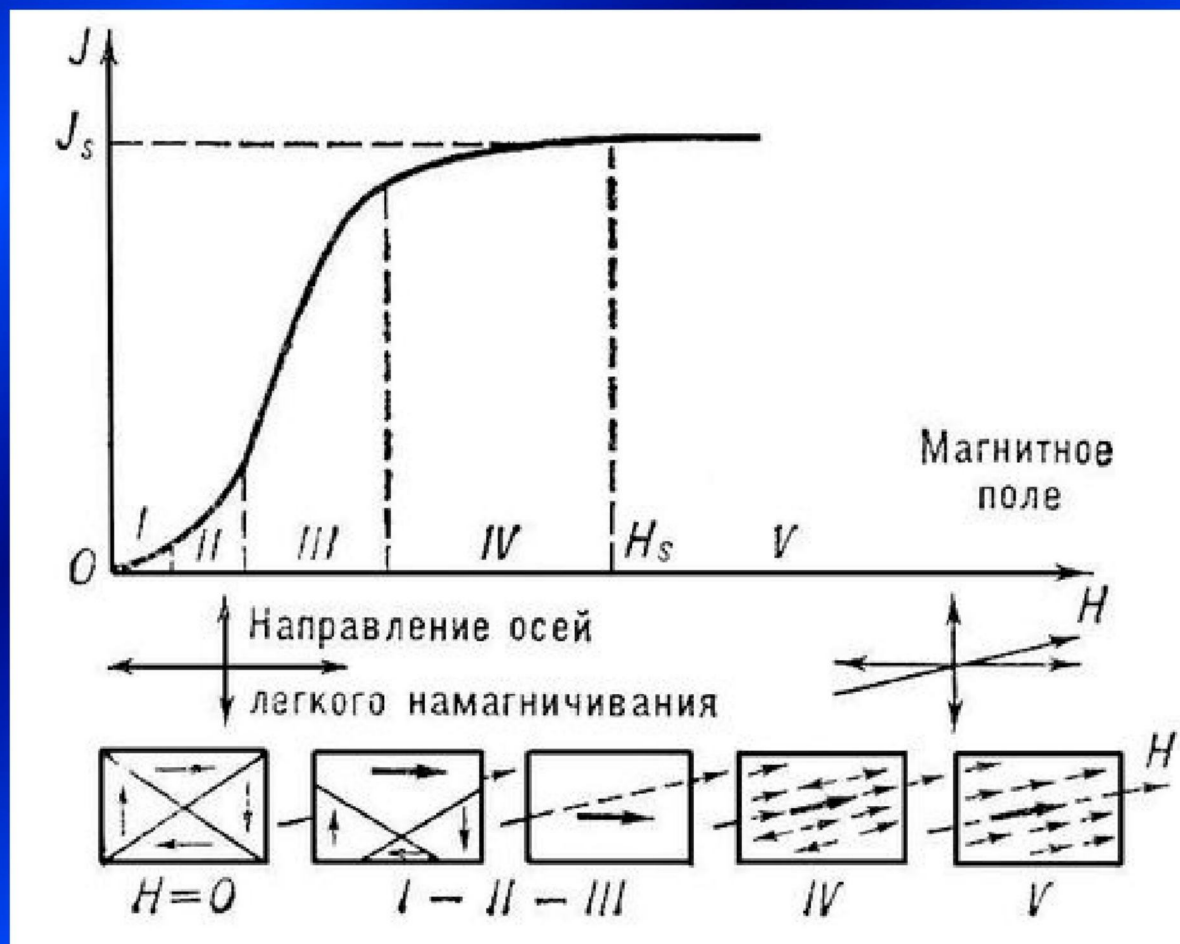
Магнитные домены на поверхности монокристаллического Ni



Изменение доменной структуры в монокристалле Fe во внешнем поле



Намагничивание в моно и поликристаллических ферромагнетиках



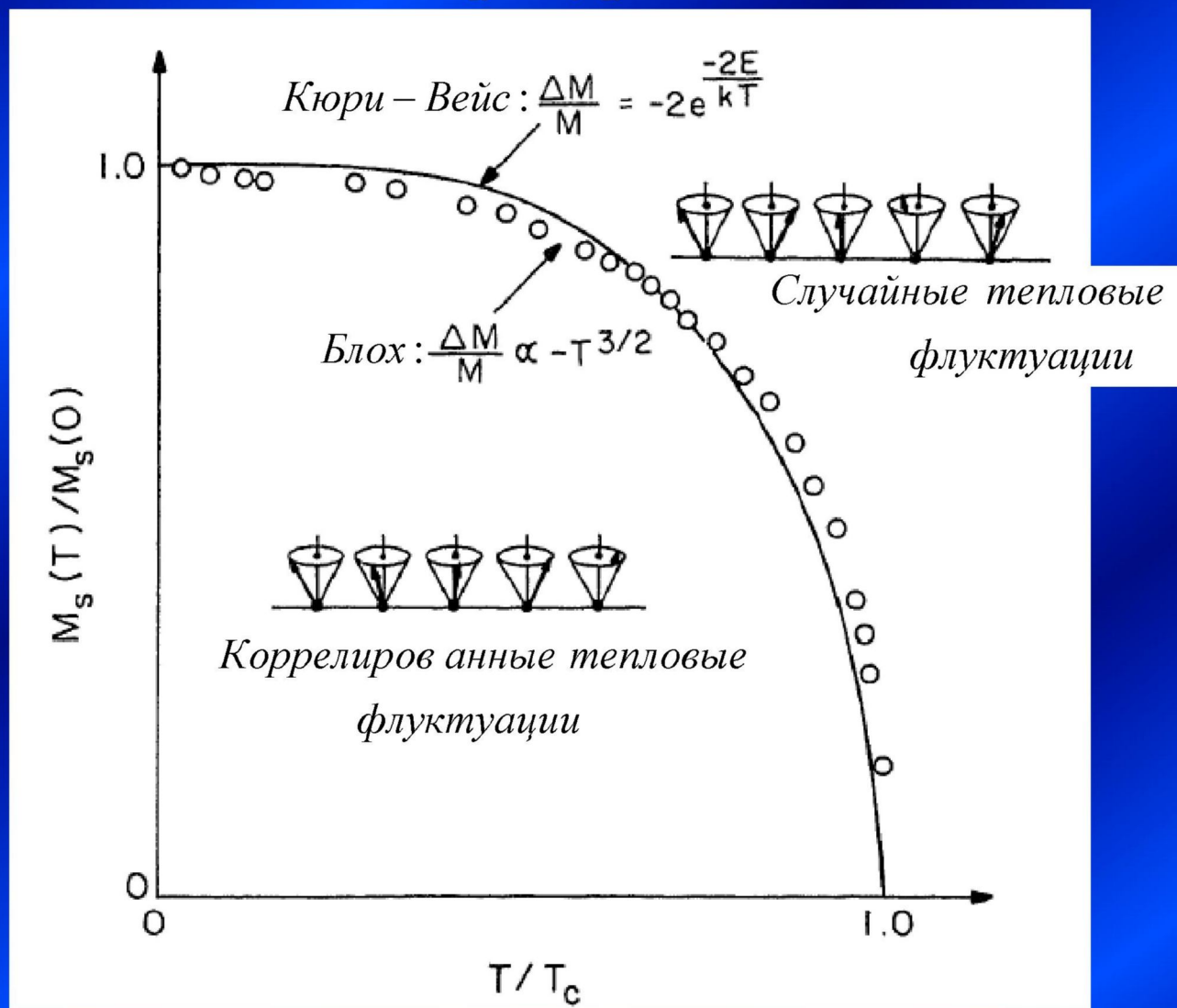


Потери энергии ферромагнетиков в переменных магнитных полях

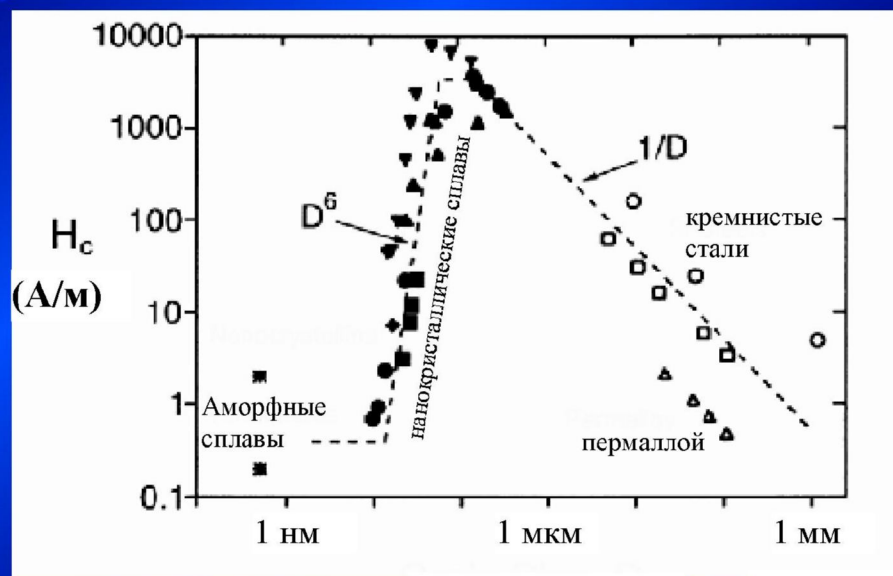
$$P_{\text{Fe}} \approx P_{\text{eddy}} + P_{\text{hyst}} \approx$$

$$\approx \frac{\pi \cdot d^2}{6\rho} \cdot (f \cdot B_{\text{max}})^2 + 2f \cdot H_{\text{C}} \cdot B_{\text{max}}$$

Влияние температуры на намагниченность



Нанокристаллические магнитные материалы



Размер зерна, D

$$K_{\text{eff}} = K/(N)^{1/2}$$

$$K_{\text{eff}} \sim KD^{3/2} \sim \left[\frac{K_{\text{eff}}}{A} \right]^{3/2} \sim \left[\frac{K^4 D^6}{A^3} \right]$$

