

Система единиц СИ Производные

Основные

Длина L [м]

Масса M [кг]

Время t [с]

Сила эл.тока I [А]

Температура T [°K]

Сила света [св]

Вспомогательные

Плоский угол [рад]

Телесный угол [стер]

Скорость м/с

Сила $N=кг \cdot м/с^2$

Работа, энергия Н·м

Мощность Вт=Дж/с

Разн.потенц. $V=Вт/А$

Заряд Кл=А·с

Напр.эл.поля В/м

Эл.сопр. Ом=В/А

Эл.ёмкость $\Phi=Кл/В$

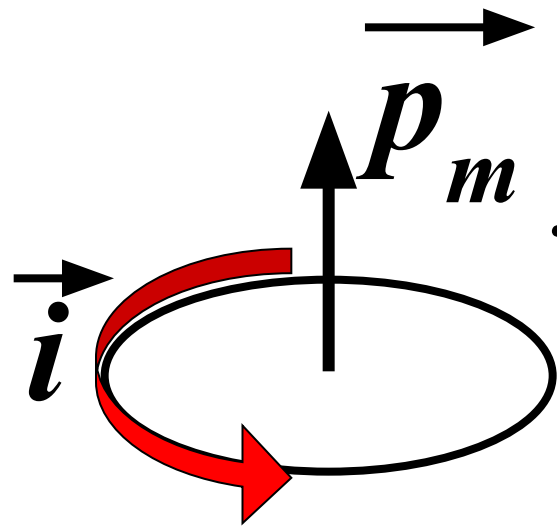
Магн.индукция $Tл=Кл \cdot Ом/м^2$

Напр.магн.поля А/м

Магнитные материалы

- 1) Преображенский А.А. Бишард Е.Г.
Магнитные материалы и элементы М. Высш.
шк. 1986г.
- 2) Мишин Д.Д. Магнитные материалы М. Высш.
шк. 1981г.
- 3) Справочник по электротехническим
материалам том3 под ред. Ю.В. Корицкого
Энергоатомиздат 1988г.

Основные определения



Элементарный

магнитный момент атома

$$\vec{p}_m = i\mathcal{S} \cdot \vec{n}$$

является векторной суммой орбитальных и спиновых магнитных моментов электронов, а также магнитного момента ядра, который составляет 10^{-3} магнитного момента электрона.

Векторная сумма магнитных
моментов атомов в единице объёма
называется

намагниченностью M [А/м]:

$$\vec{M} = \Sigma \vec{p}_m ; \quad \vec{M} = \chi \cdot \vec{H}$$

χ — магнитная восприимчивость

Суммарное магнитное поле в объёме вещества называется

магнитной индукцией B [Тл]

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot (\vec{H} + \vec{M}) = \mu_0 \cdot (1 + \chi) \vec{H}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ [Гн/м]}$$

$$\mu = 1 + \chi ; \mu_a = \mu_0 \mu$$

Намагничиванием называется процесс ориентации магнитных моментов атомов вещества под влиянием внешнего магнитного поля, в результате которого намагниченность материала становится $M \neq 0$.

Виды магнетизма:

Различают следующие механизмы намагничивания:

- 1. Диамагнетизм**
- 2. Парамагнетизм**
- 3. Ферромагнетизм**
- 4. Антиферромагнетизм**
- 5. Ферримагнетизм**

Диамагнетизм – свойство вещества слабо намагничиваться противоположно внешнему магнитному полю

Магнитная восприимчивость $\chi \sim -10^{-5} \div -10^{-7}$

Магнитная проницаемость $\mu \approx 0,9999$

Диамагнетики

Cu, Ag, Au, Be, Zn, Ga, B, Pb, Sb

Парамагнетизм – свойство вещества слабо намагничиваться согласованно с внешнем магнитным полем

Магнитная восприимчивость $\chi \sim 10^{-2} \div 10^{-6}$

Магнитная проницаемость $\mu \approx 1,0001..$

Парамагнетики

Al, O, Pt, Mg, Pd, Cr, Ca, Mo

**Ферромагнетизм – свойство вещества
сильно намагничиваться согласованно с
внешнем магнитным полем**

Магнитная восприимчивость $\chi \sim 10^3 \div 10^7$

Магнитная проницаемость μ от 10^3 до 10^7

Ферромагнетики

Fe, Co, Ni

Cd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm

Антиферромагнетики – материалы, в которых в результате обменного взаимодействия соседних атомов происходит антипараллельная ориентация **равных** по величине **магнитных моментов**

Магнитная восприимчивость $\chi \sim 10^{-2} \div 10^{-5}$

Магнитная проницаемость $\mu \approx 1,0001..$

Антиферромагнетики
Ce, Nd, Pr, Sm, Eu, Mn, Cr

Ферримагнетики (**ферриты**) – материалы, в которых обменное взаимодействие соседних атомов приводит к антипараллельной ориентации различных по величине (**нескомпенсированных**) магнитных моментов

Магнитная восприимчивость $\chi \sim$ до 10^7

Магнитная проницаемость μ до 10^7

Ферриты $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{MeO}$

где **Me** – Mg, Fe, Zn, Co, Cu, Cd, Mn и др.

Намагничивание ферромагнетиков

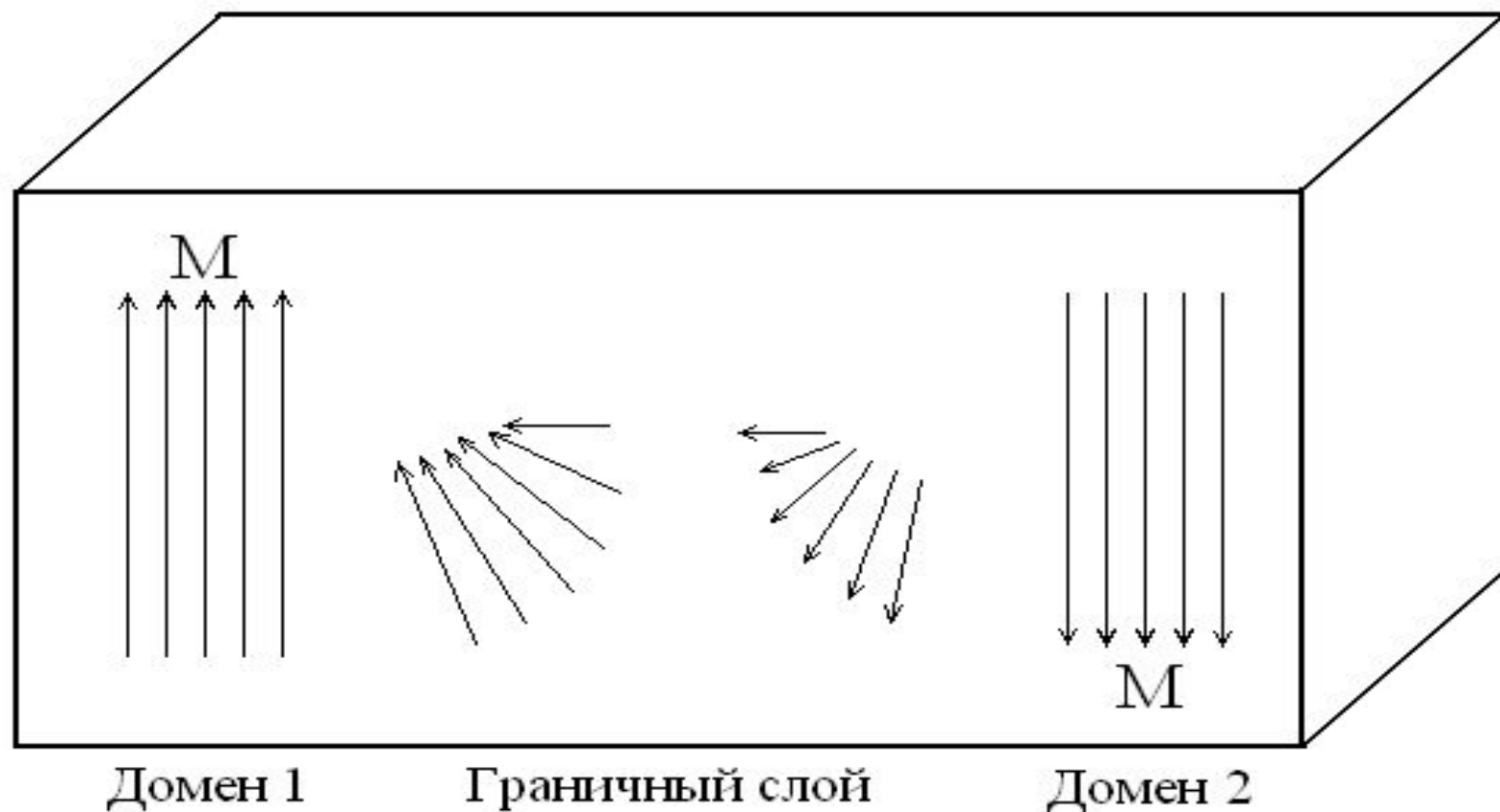
Доменом называется макроскопическая область материала, внутри которой намагниченность спонтанно ($H=0$) достигает насыщения, т. е. внутри домена магнитные моменты практически всех атомов ориентированы в одном направлении.

Условия возникновения доменной структуры (ферромагнетизма)

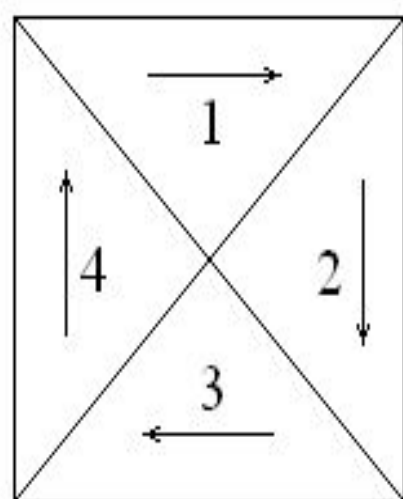
1. Наличие внутренних незаполненных электронных оболочек (d или f) атома;
2. Величина интеграла обменной энергии $A > 0$, что выполняется если диаметр незаполненных оболочек мал по сравнению с межатомным расстоянием кристаллической решетки: $a/d > 1,5$.

Особенность ферромагнетиков:

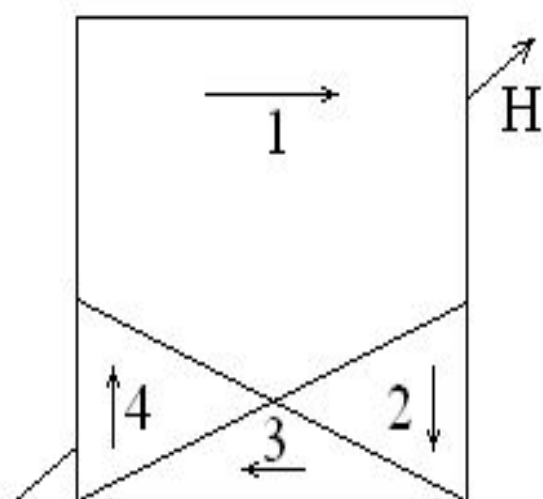
1. Наличие доменной структуры
2. Зависимость магнитного состояния от предшествующей магнитной истории
3. Наличие температуры Кюри



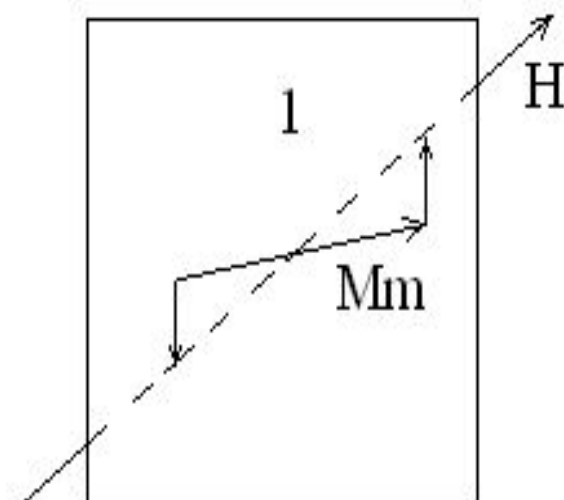
Магнитная структура граничного слоя в кристалле



а

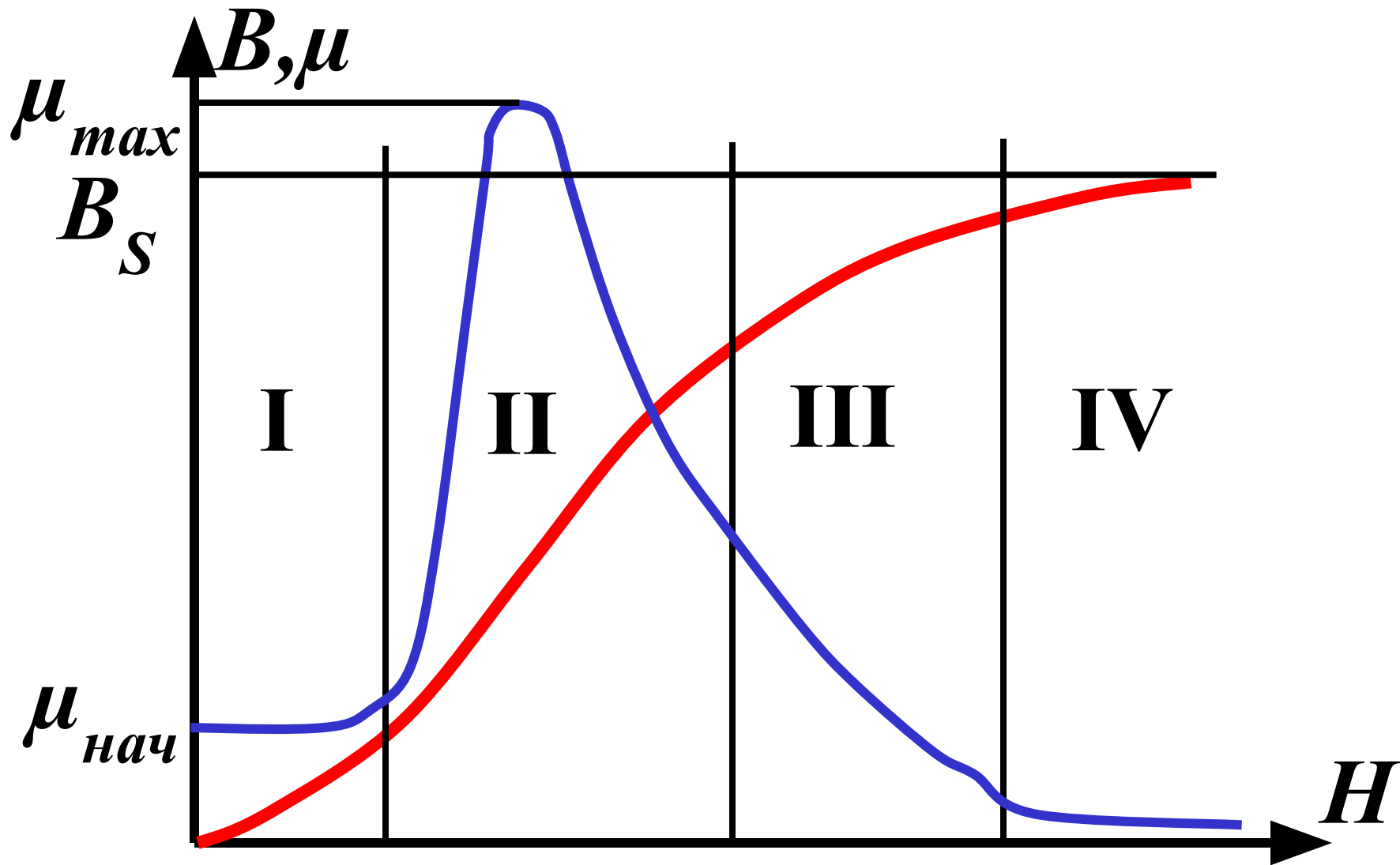


б



в

Схема процессов, протекающих при намагничивании



$$\mu_a = B/H \quad (1)$$

$$\mu = \mu_a / \mu_0 \quad (2)$$

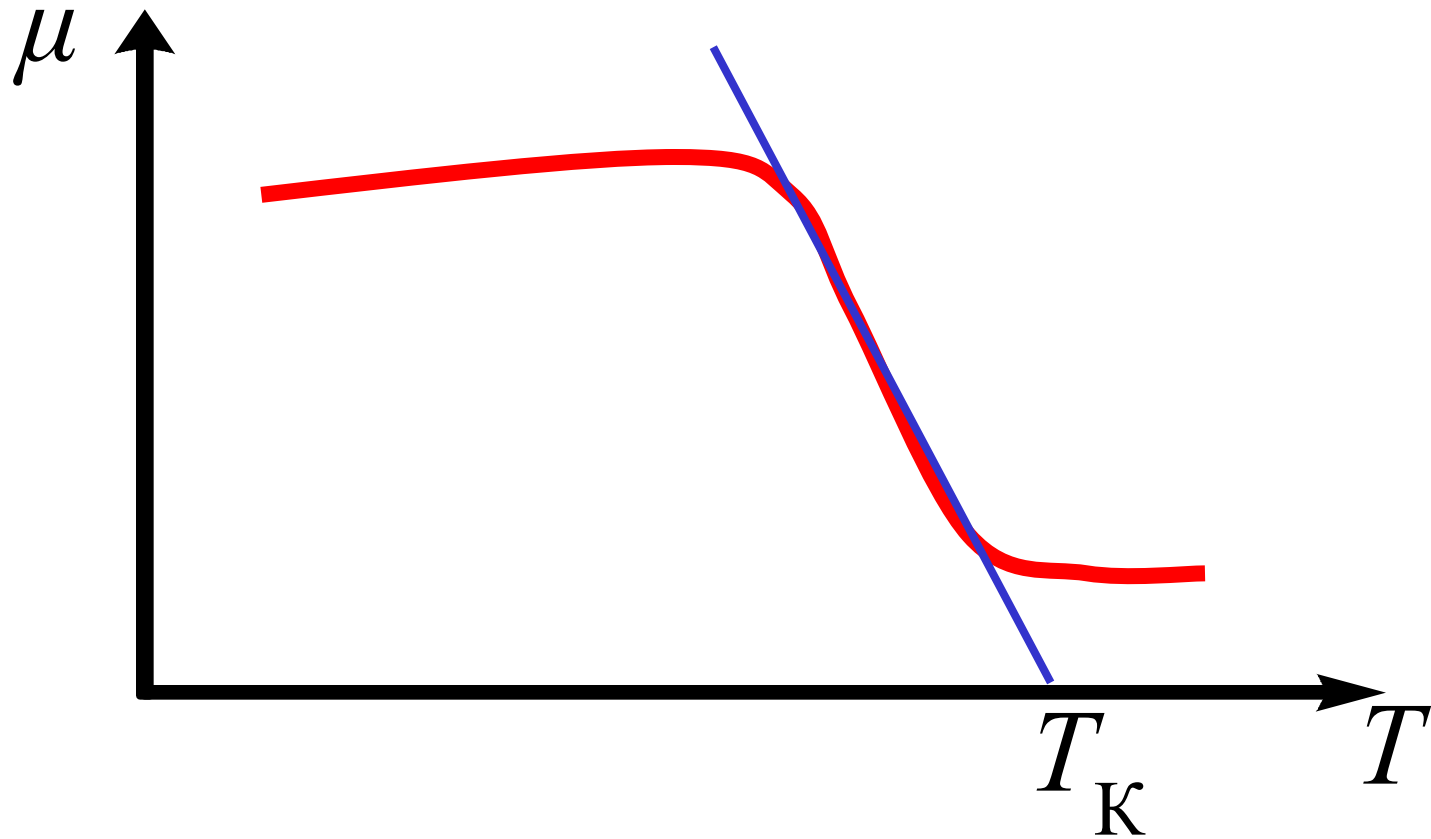
$$\mu_{\max} = B_{\max} / H_{\max} \quad (3)$$

Величина магнитной проницаемости зависит от вида приложенного внешнего магнитного поля

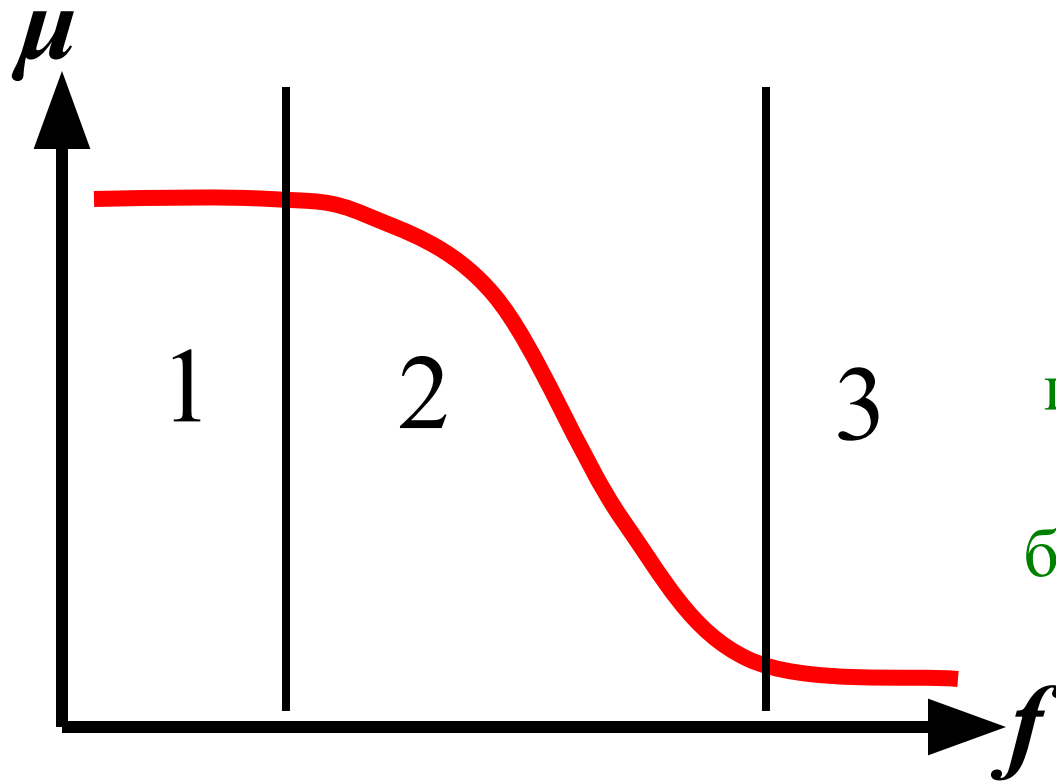
$$\mu_{\sim} = B_m / H_m \quad (4)$$

В переменном магнитном поле μ зависит от частоты f

Зависимость магнитной проницаемости μ ферромагнитных материалов от температуры T .

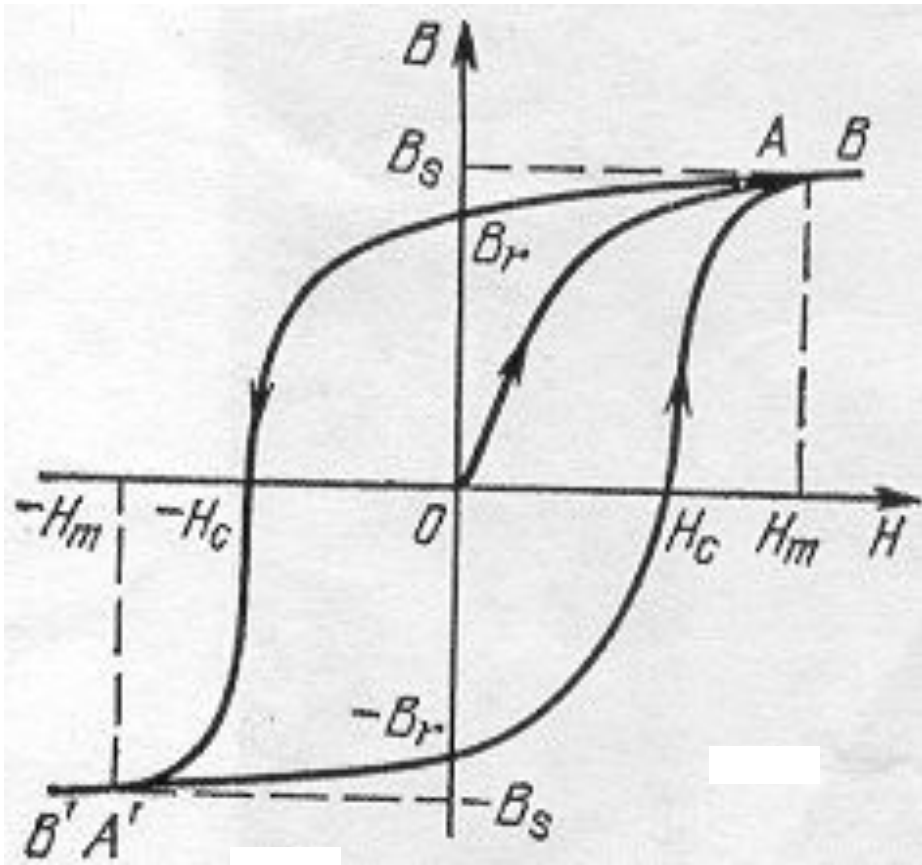


ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ ПРИЛОЖЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ f НА ОТНОСИТЕЛЬНУЮ МАГНИТНУЮ ПРОНИЦАЕМОСТЬ μ



С повышением
частоты магнитные
моменты доменов
не успевают
переориентироваться
вслед за
быстроизменяющимся
магнитным полем

НАМАГНИЧИВАНИЕ ФЕРРО- И ФЕРРИМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПЕРЕМЕННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ



1. B_s – индукция насыщения
2. H_c – коэрцитивная сила
3. B_r – остаточная индукция
4. Потери на гистерезис (на перемагничивание) – площадь петли гистерезиса

Виды потерь

1. Потери на гистерезис

За один цикл к единице объема:

$$P_r = \oint H dB ; \text{Дж/м}^3$$

Или к единице массы при перемагничивании
с частотой f :

$$P_r = (f/D) \oint H dB ; \text{Вт/м}^3$$

f – частота [Гц]

D – плотность вещества [кг/см³]

2. Потери на вихревые токи для листового сердечника

$$P_{\varepsilon} = \frac{1,64 \cdot d^2 \cdot f^2 \cdot B_{\max}^2}{D \cdot \rho_V} \quad ; \quad \left[\frac{Вт}{кг} \right]$$

d — толщина листа [м]

B_{\max} — амплитуда значения в [Тл]

ρ_V — удельное объемное сопротивление [Ом·м]

ВИДЫ МАГНИТНЫХ ПОТЕРЬ

1. ПОТЕРИ НА ГИСТЕРЕЗИС

$$P_{\Gamma} = f \frac{\oint H dB}{D} \text{ [Вт / кг]}$$

2. ПОТЕРИ НА ВИХРЕВЫЕ ТОКИ

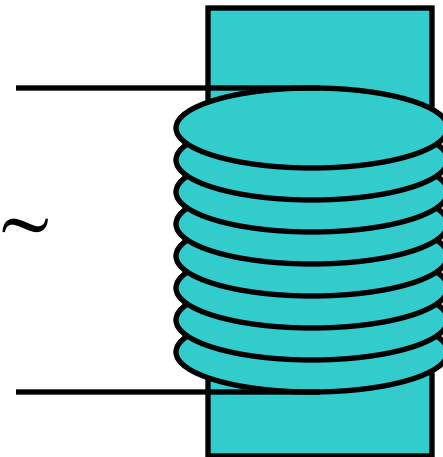
$$P_{\epsilon} = \frac{1,64 \cdot d^2 \cdot f^2 \cdot B_{\max}^2}{D \cdot \rho_V}$$

3. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПОТЕРИ

МАГНИТОСТРИКЦИЯ -

**- ИЗМЕНЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ
МАТЕРИАЛА ПОД ДЕЙСТВИЕМ
МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

Генераторы УЗ – колебаний.



Классификация магнитных материалов:

1. **Магнитомягкие ($H_C < 4$ кА/м)** – высокая μ , малая H_C , узкая петля гистерезиса, малые потери на перемагничение.
1. **Магнитотвердые ($H_C > 4$ кА/м)** – большая B_r , широкая петля гистерезиса, большие потери на перемагничение
3. **Магнитные материалы специального назначения**