

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 $Н \cdot м$

Мощность $Вт=Дж/с$

Разн.потенц. $В=Вт/А$

Заряд $Кл=А \cdot с$

Напр.эл.поля $В/м$

Эл.сопр. $Ом=В/А$

Эл.ёмкость $Ф=Кл/В$

Магн.индукция $Тл=Кл \cdot Ом/м^2$

Напр.магн.поля $А/м$

Магнитные материалы

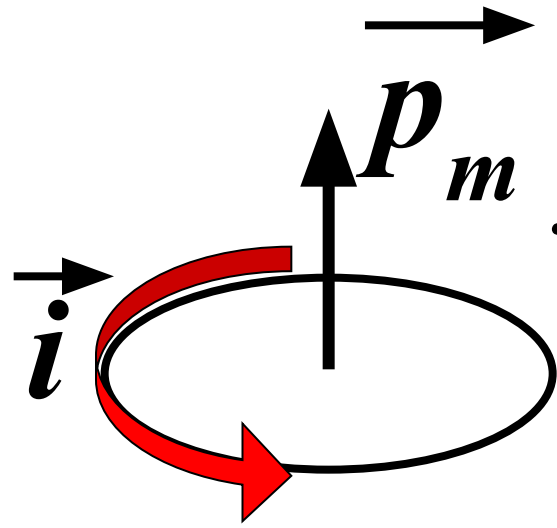
1) Преображенский А.А. Бишард Е.Г.

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

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

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

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

Магнитная восприимчивость $\chi \sim \text{до } 10^7$

Магнитная проницаемость $\mu \text{ до } 10^7$

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

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

Намагничивание ферромагнетиков

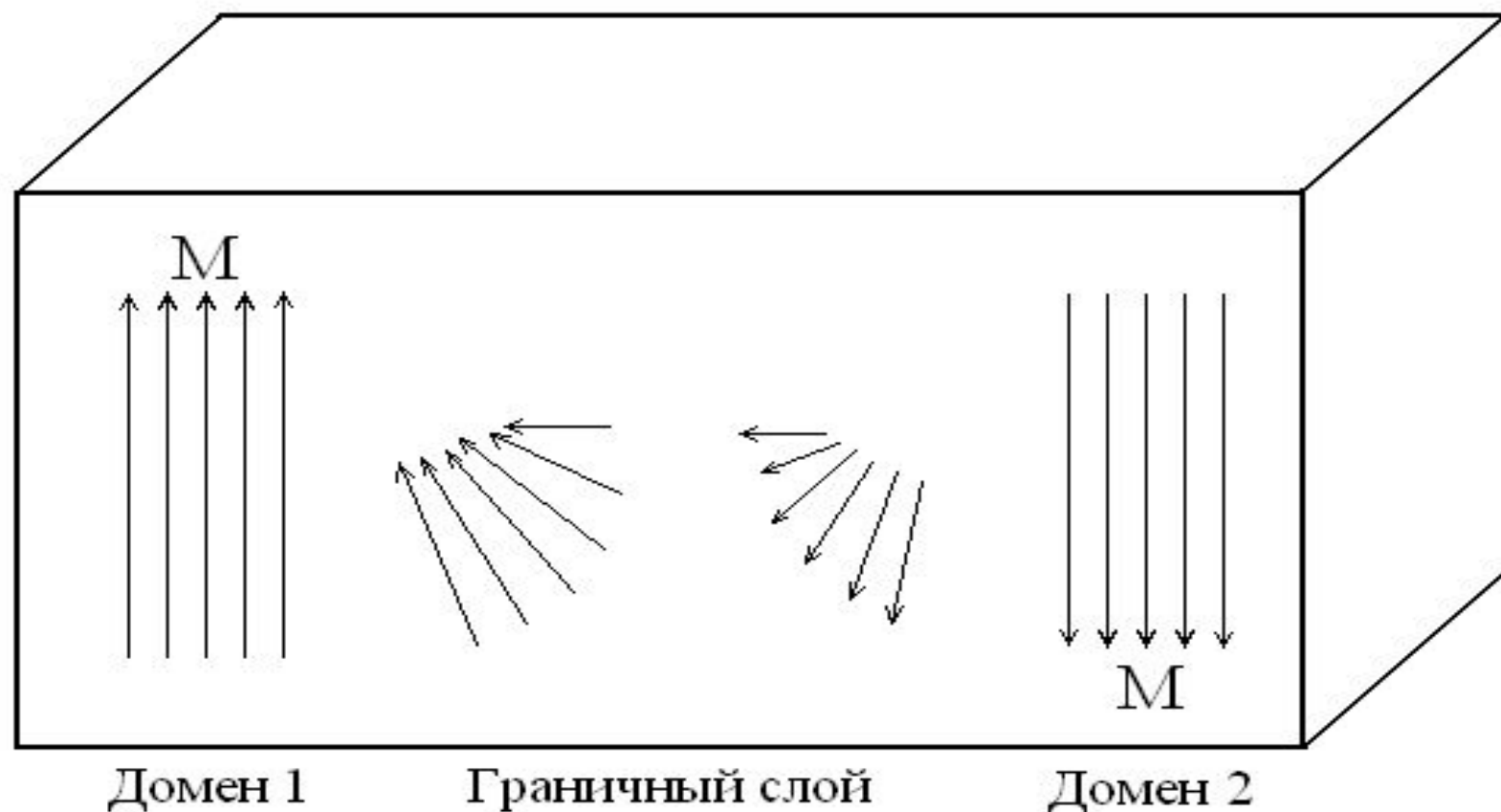
Доменом называется
макроскопическая область
материала, внутри которой
намагниченность спонтанно ($H=0$)
достигает насыщения,
т. е. внутри домена магнитные моменты
практически всех атомов ориентированы в
одном направлении.

Условия возникновения доменной структуры (ферромагнетизма)

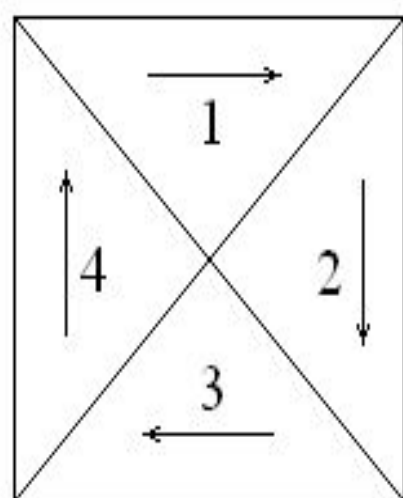
1. Наличие внутренних незаполненных электронных оболочек (d или f) атома;
2. Величина интеграла обменной энергии $A > 0$, что выполняется если диаметр незаполненных оболочек мал по сравнению с межатомным расстоянием кристаллической решетки: $a/d > 1,5$.

Особенность ферромагнетиков:

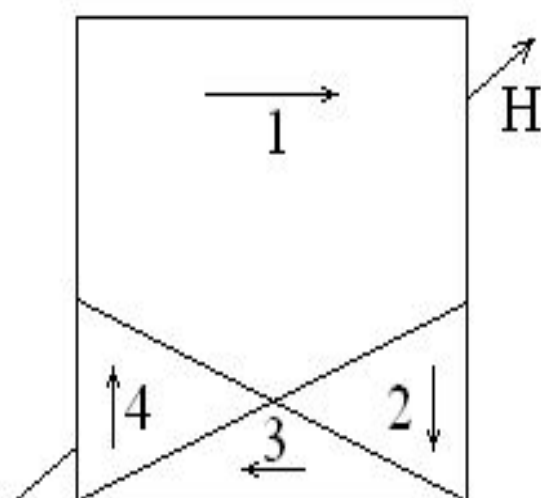
1. Наличие доменной структуры
2. Зависимость магнитного состояния от предшествующей магнитной истории
3. Наличие температуры Кюри



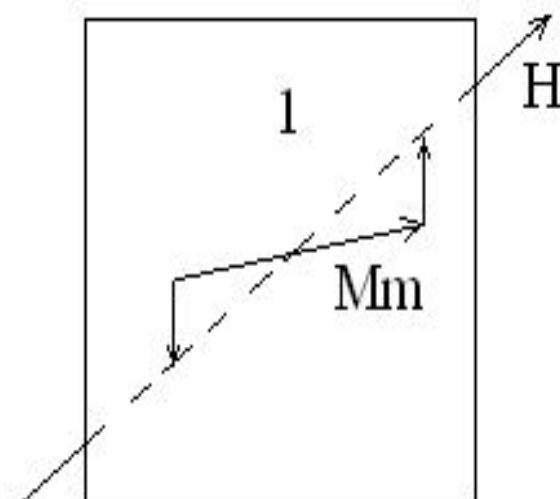
Магнитная структура граничного слоя в кристалле



а

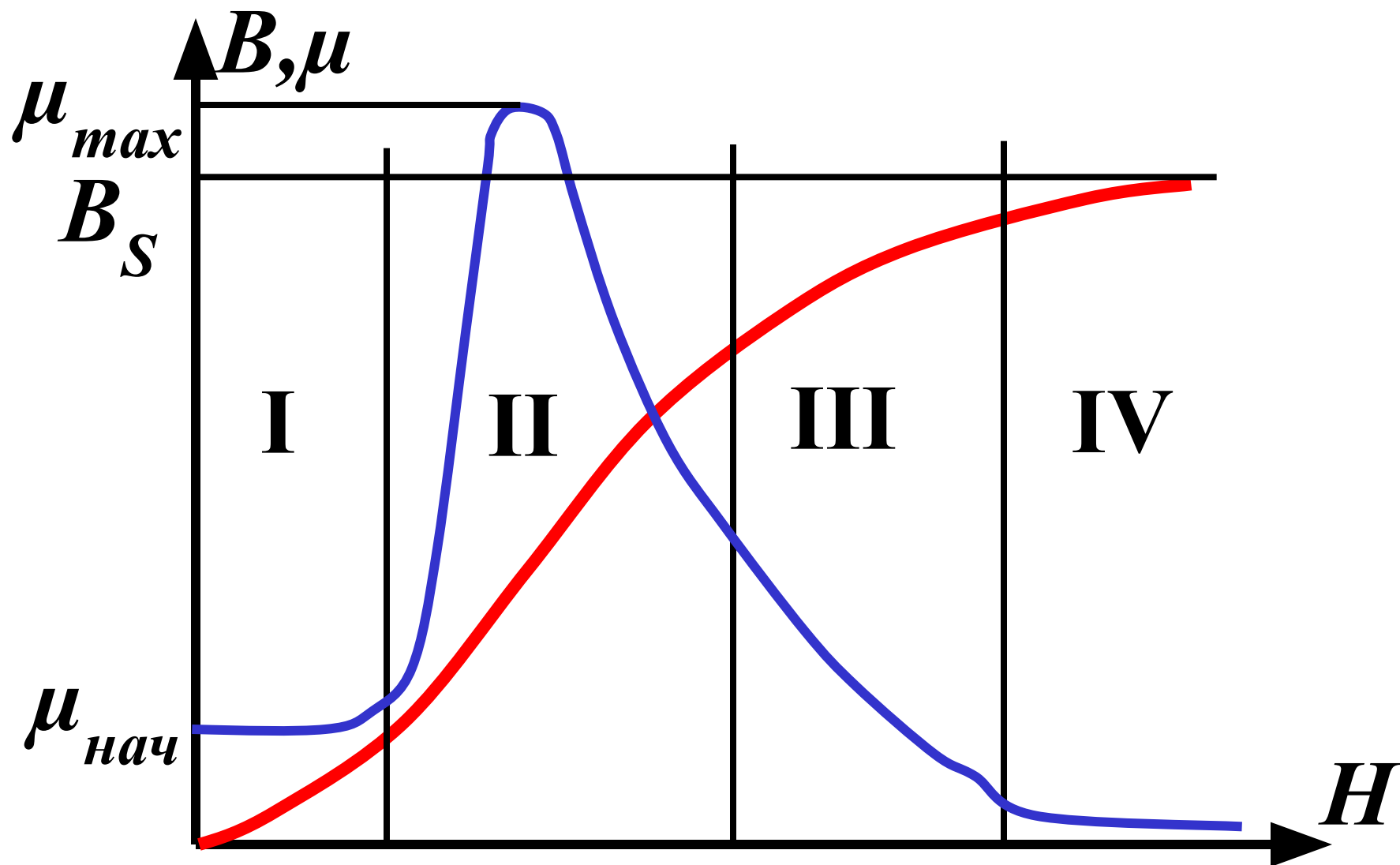


б



в

Схема процессов, протекающих при намагничивании



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

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

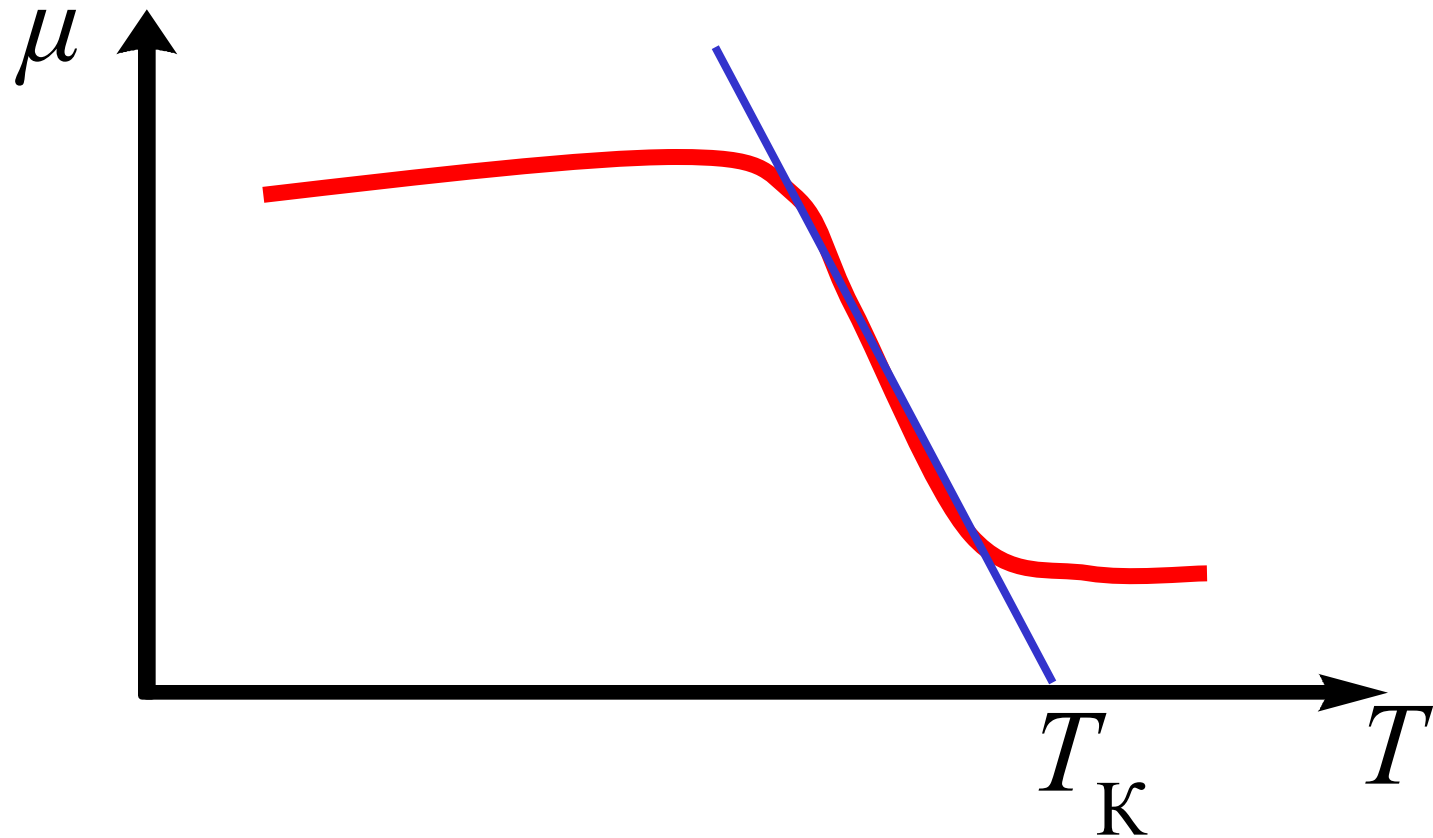
$$\mu_{\max} = B_{\max} / H_{\max} \quad (3)$$

Величина магнитной проницаемости
зависит от вида приложенного
внешнего магнитного поля

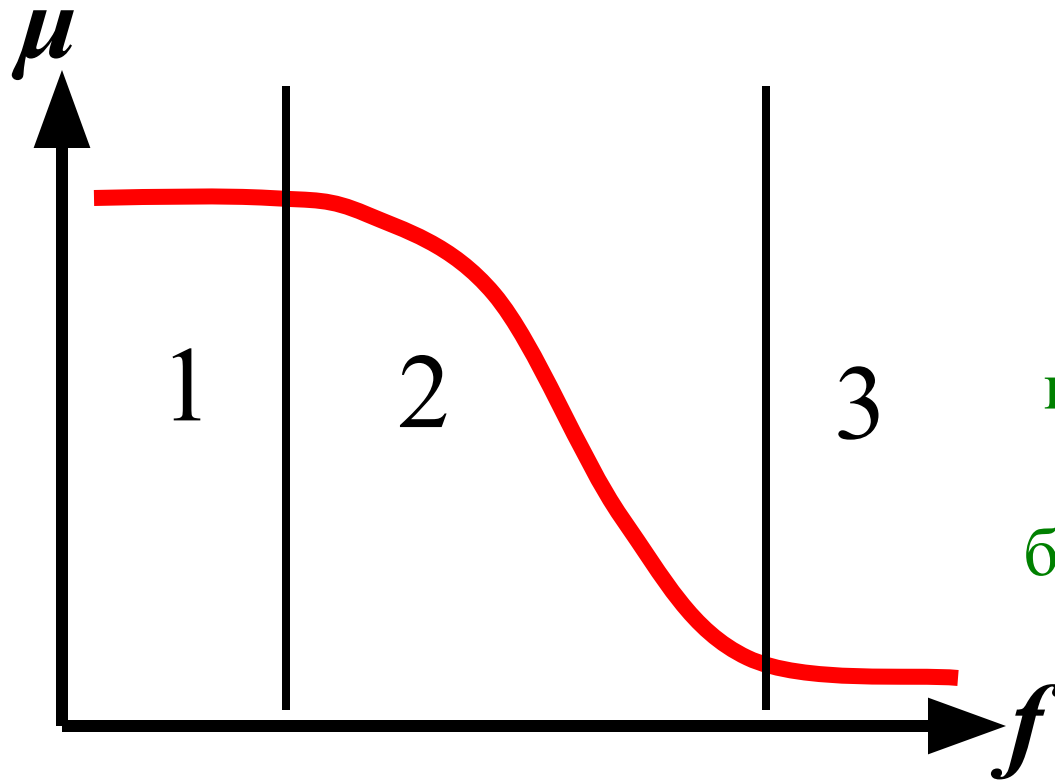
$$\mu_{\sim} = B_m / H_m \quad (4)$$

В переменном магнитном поле μ
зависит от частоты f

Зависимость магнитной проницаемости μ ферромагнитных материалов от температуры T .

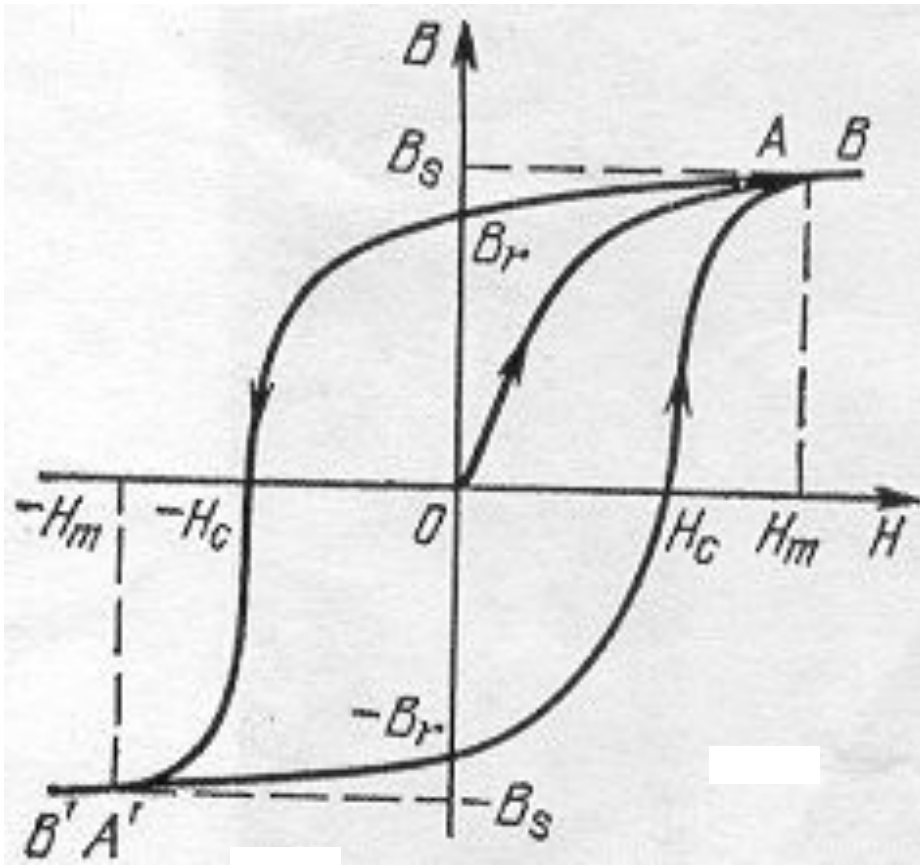


ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ ПРИЛОЖЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ f НА ОТНОСИТЕЛЬНУЮ МАГНИТНУЮ ПРОНИЦАЕМОСТЬ μ



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 $[Ом \cdot м]$

ВИДЫ МАГНИТНЫХ ПОТЕРЬ

1. ПОТЕРИ НА ГИСТЕРЕЗИЗ

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

2. ПОТЕРИ НА ВИХРЕВЫЕ ТОКИ

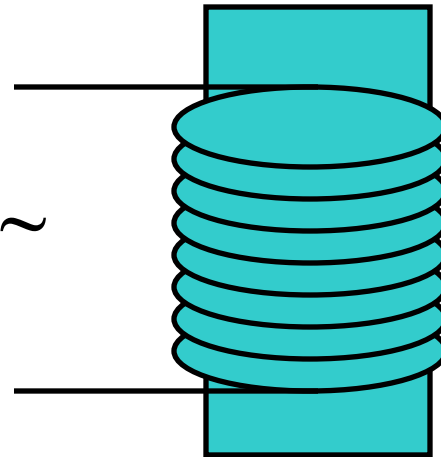
$$P_{\epsilon} = \frac{1,64 \cdot d^2 \cdot f^2 \cdot B_{\max}^2}{D \cdot \rho_V}$$

3. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПОТЕРИ

МАГНИТОСТРИКЦИЯ -

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

Генераторы УЗ – колебаний. ~



Классификация магнитных материалов:

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