

Раздел II. Электричество и магнетизм.

Глава 9. Магнитное поле в веществе.

1. Физические величины, характеризующие магнитные свойства вещества.

Магнитное поле в веществе создается, как внешними (сторонними) токами \vec{B}_0 , как и внутренними (атомными, молекулярными) \vec{B}_1

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_1$$

Каждый атом – это круговой ток, создаваемый вращающимися вокруг ядра электронами.

Важнейшей характеристикой кругового тока является магнитный момент.



$$\vec{P}_m = I \cdot S \cdot \vec{n} \text{ - магнитный момент тока}$$

S – площадь, охватываемая током

I – сила тока

\vec{n} – единичный вектор нормали, направлен по буравчику

При наложении внешнего магнитного поля происходит ориентация \vec{P}_m в одном направлении (по или против поля). Количественной характеристикой этого процесса является вектор намагниченности.

Вектор

Намагниченности

$$\vec{J} = \frac{\sum \vec{P}_m}{V}$$

суммарный магнитный момент единицы объема вещества

Для характеристики магнитного поля в веществе, помимо магнитной индукции \vec{B} , вводят еще одну величину – напряженность \vec{H} .

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J} \quad \left[\frac{A}{m} \right]$$

Для большинства веществ вектор намагниченности \vec{J} и напряженность магнитного поля \vec{H} связаны простым эмпирическим законом

$$\vec{J} = \chi \vec{H} \quad \chi \text{ – магнитная восприимчивость (безразмерна)}$$

тогда
$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H} \quad \mu = 1 + \chi \text{ - относительная магнитная проницаемость}$$

Напряженность магнитного поля \vec{H} определяется только внешними (сторонними) токами в отличие от магнитной индукции \vec{B} .

2. Типы магнетиков.

а) Парамагнетики – вещества, атомы которых (Na, K, Al) обладают \vec{P}_m .

Во внешнем поле \vec{P}_m ориентируются по полю.

$$\chi \sim 10^{-3} - 10^{-4} \quad ; \quad \chi = \frac{c}{T} \quad (\text{закон Кюри})$$

$$\mu = 1 + \chi \gtrsim 1 ;$$

б) Диамагнетики - $\bar{P}_m^{am} = 0$ (H_2 , N_2 , $NaCl$, Ag)

Под влиянием магнитного поля в атомах наводятся \bar{P}_m , которые направлены против поля.

$$\chi \sim -(10^{-3} \div 10^{-2})$$

$$\mu = 1 + \chi \lesssim 1$$

в) Ферромагнетики – вещества (Fe , Ni , $Co...$), у которых есть области (домены) спонтанной намагниченности.

Под действием внешнего поля магнитные моменты доменов ориентируются по полю.

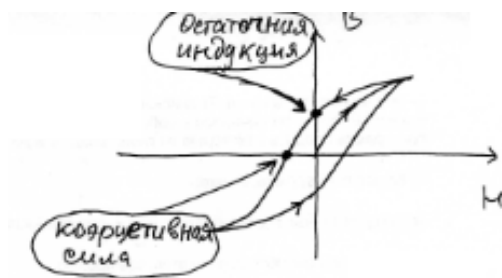
Размеры доменов 1-10 мкм.

$$\mu_{Fe} \sim 5000 ;$$

$$\left. \begin{array}{l} 79\% Ni \\ 5\% Mo \\ 16\% Fe \end{array} \right\} \mu \sim 800000$$



Явление гистерезиса у ферромагнетиков:



3. Уравнения магнитного поля в веществе.

а) Интегральная форма б) Дифференциальная форма

$$\oint_S \bar{B} \cdot d\bar{S} = 0 \quad \begin{array}{l} \text{т.О-Г} \\ \Rightarrow \end{array} \quad \text{div } \bar{B} = 0$$

$$\oint_\Gamma \bar{H} \cdot d\bar{l} = \int \bar{j} \cdot d\bar{S} \quad \begin{array}{l} \text{т.С} \\ \Rightarrow \end{array} \quad \text{rot } \bar{H} = \bar{j}$$

$$\bar{B} = \mu \mu_0 \bar{H} \quad \bar{B} = \mu \mu_0 \bar{H}$$

\bar{j} - плотность внешних (сторонних) токов

4. Условия на границе раздела двух магнетиков.

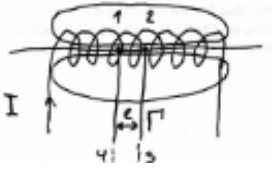
На границе раздела сохраняется нормальная составляющая магнитной индукции

$$B_{1n} = B_{2n}$$

и тангенциальная составляющая напряженности

$$H_{1\tau} = H_{2\tau}$$

5. Применение теоремы о циркуляции (закона полного тока) для расчета магнитного поля соленоида.



$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_1^2 + \int_2^3 + \int_3^4 + \int_4^1 = \int_1^2 \vec{H} \cdot d\vec{l} + 0 + 0 + 0 = H \cdot l = \sum I = I \cdot n \cdot l$$

$$O(\vec{H} \perp d\vec{l}) \quad O(\infty) \quad O(\vec{H} \perp d\vec{l})$$

$$\boxed{H = nI} \quad \boxed{B = \mu\mu_0 nI} \quad n = \frac{N}{l} \text{ — плотность витков}$$

Вопросы:

1. Что такое магнитный момент?
2. Что такое вектор намагниченности?
3. Что такое напряженность магнитного поля?
4. Типы магнетиков.
5. Уравнения магнитостатики в интегральной форме.
6. Уравнения магнитостатики в дифференциальной форме.
7. Условия на границе раздела магнетиков.
8. Магнитного поле длинного соленоида.