Магнитное поле в веществе

Каждое вещество является магнетиком, т.е. способно под действием внешнего магнитного поля приобретать магнитный момент (намагничиваться). Намагниченный магнетик создает поле $\vec{B}'$, накладывающееся на внешнее поле $\vec{B}_0$. Таким образом, результирующее поле:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}' \tag{1}$$

Намагничение магнетика характеризуется магнитным моментом единицы объема. Эта величина называется намагниченностью $\vec{J}$:

$$\vec{J} = \frac{1}{\Delta V}\sum_{\Delta V}\vec{p}_m \tag{2}$$

Выражение для ротора магнитной индукции принимает вид:

$$[\vec{\nabla};\vec{B}] = [\vec{\nabla};\vec{B}_0] + [\vec{\nabla};\vec{B}'] \tag{3}$$

Переходим к плотностям токов (создающих внешнее поле и молекулярных):

$$[\vec{\nabla};\vec{B}] = \mu_0(\vec{j} + \vec{j}_{\text{мол}}) \tag{4}$$

Вычислим поток плотности молекулярных токов через поверхность некоторого контура:

$$\int_S \vec{j}_{\text{мол}} d\vec{S} \tag{5}$$

Вклад в поток вносят только "нанизанные"на контур токи.

Элемент контура dl, образующий с направлением намагниченности угол α, нанизывает на себя молекулярные токи, центры которых попадают внутрь косого цилиндра с объемом $S_{\text{мол}}\cos\alpha dl$ ($S_{\text{мол}}$ – площадь молекулярного тока). Если n – число молекул в единице объема, то $I_{\text{мол}}S_{\text{мол}}n\cos\alpha dl$ – суммарный ток, охватываемый элементом контура dl. $I_{\text{мол}}S_{\text{мол}}n$ дает магнитный момент единицы объема $\vec{J}$, а $I_{\text{мол}}S_{\text{мол}}n\cos\alpha$ – проекцию вектора $\vec{J}$ на направление $d\vec{l}$. Таким образом:

$$\int_S \vec{j}_{\text{мол}} d\vec{S} = \oint_l \vec{J}d\vec{l} \tag{6}$$

По теореме Стокса:

$$\int_S \vec{j}_{\text{мол}} d\vec{S} = \int_S [\vec{\nabla};\vec{J}]dS \tag{7}$$

$$\vec{j}_{\text{мол}} = [\vec{\nabla};\vec{J}] \tag{8}$$

Отсюда:

$$[\vec{\nabla};\vec{B}] = \mu_0\vec{j} + \mu_0[\vec{\nabla};\vec{J}] \tag{9}$$

Объединим роторы:

$$[\vec{\nabla};\frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J}] = \vec{j} \tag{10}$$

Таким образом, величина $\frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J}$ такова, что ее ротор зависит только от плотности токов, создающих внешнее магнитное поле. Эта величина называется напряженностью магнитного поля $\vec{H}$:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J} \tag{11}$$

Получили, что

$$[\vec{\nabla};\vec{H}] = \vec{j} \tag{12}$$

Перейдем к циркуляции по теореме Стокса:

$$\int_S [\vec{\nabla};\vec{H}]d\vec{S} = \int_S \vec{j}d\vec{S} \tag{13}$$

$$\oint_l \vec{H}d\vec{l} = \int_S \vec{j}d\vec{S} \tag{14}$$

Т.е. циркуляция $\vec{H}$ по замкнутому контуру равна сумме макроскопических токов, охватываемых им:

$$\oint_l \vec{H}d\vec{l} = \sum_k I_k \tag{15}$$

Намагниченность принято связывать с напряженностью магнитного поля. Для этого вводится коэффициент пропорциональности χ, называемый магнитной восприимчивостью вещества:

$$\vec{J} = \chi\vec{H} \tag{16}$$

Отсюда:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \chi\vec{H} \tag{17}$$

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0(1+\chi)} \tag{18}$$

Величину $1+\chi$ называют магнитной проницаемостью вещества и обозначают через μ:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0\mu} \tag{19}$$

Иногда условно полагают, что напряженность поля в магнетике имеет вид:

$$\vec{H} = \vec{H}_0 - \vec{H}_{\text{разм}} \tag{20}$$

Здесь H_0 – напряженность внешнего поля, а $H_{\text{разм}}$ – напряженность т.н. размагничивающего поля, равная:

$$\vec{H}_{\text{разм}} = N\vec{J} \tag{21}$$

N – размагничивающий фактор, табличная величина (например, для диска, перпендикулярного $\vec{H}_0$ $N = 1$, для шара $N = \frac{1}{3}$).