

Семинар 8. Магнитное поле в веществе

Краткая теория

Определения. Магнитным моментом $\vec{p}_m$ элементарного кольцевого тока I площадью dS называется величина $IdS\vec{n}$, где $\vec{n}$ – единичный вектор нормали к площади контура, направленный в сторону магнитной индукции, создаваемой этим током в центре контура. Поскольку атом или молекула вещества могут обладать магнитным моментом за счёт движения электрона, то можно определить *вектором намагниченности*, равный магнитному моменту единицы объёма вещества, то есть:

$$\vec{M} = \frac{1}{\Delta V} \sum \vec{p}_{mi} \quad \left(\vec{P} = \frac{1}{\Delta V} \sum \vec{p}_i \right)$$

В электричестве все заряды были разделены на свободные и связанные. Электрический ток может быть обусловлен как теми, так и другими зарядами. Ток свободных зарядов называется током проводимости. Магнитная индукция возникает при движении любых зарядов (равно как и напряжённость электрического поля определялась наличием и свободных, и связанных зарядов). Чтобы выделить вклад в магнитную индукцию свободных зарядов, вводят вектор напряжённости магнитного поля:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{m_0} - \vec{M} \quad (\vec{D} = e_0 \vec{E} + \vec{P})$$

Материальное уравнение в рамках нашего курса задаётся так же, как и в электричестве:

$$\vec{M} = c_m \vec{H} \quad (\vec{P} = e_0 c_e \vec{E}), \text{ то есть}$$

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{m_0 m} \quad (\vec{D} = e_0 e \vec{E})$$

Теорема о циркуляции. Циркуляция вектора напряжённости магнитного поля по любому замкнутому контуру равна силе тока проводимости, пронизывающего этот контур:

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = I \Rightarrow \text{rot} \vec{H} = \vec{j}.$$

Граничные условия для магнитного поля. На границе раздела сред:

$$B_{n1} = B_{n2} \text{ (всегда)}$$

$$H_{t1} = H_{t2} \text{ (в отсутствие токов проводимости на границе)}$$

Типы задач

- | | |
|---------------------------------|------------------|
| 1. Теорема о циркуляции. | 8.1-5, 8.8, 8.15 |
| 2. Намагниченность и соленоиды. | 8.9-14 |
| 3. Магнитный момент. | 8.6 |
| 4. Метод отражений. | 8.7 |

Важные примеры из книжки

Пример 8.5 содержит принцип решения, часто использующийся в задачах.

Задачи с решениями

8.1.

$$\left\{ \begin{array}{l} H_1 2p r = \frac{I}{p R_1^2} p r^2 \\ H_2 2p r = I \\ H_3 2p r = 0 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \frac{B_1}{m_0 m} 2p r = \frac{I}{p R_1^2} p r^2 \\ \frac{B_2}{m_0} 2p r = I \\ \frac{B_3}{m_0} 2p r = 0 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} H_1 = \frac{I}{2p R_1^2} r \\ H_2 = \frac{I}{2p} \frac{1}{r} \\ H_3 = 0 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} B_1 = \frac{m_0 I}{2p R_1^2} m r \\ B_2 = \frac{m_0 I}{2p} \frac{1}{r} \\ B_3 = 0 \end{array} \right.$$

8.2.

8.5.

8.9.

8.10.

Задачи для самостоятельного решения

8.3, 8.4, 8.8, 8.11, 8.12., 8.13, 8.14, 8.15

Литература

Н.В. Нетребко, И.П. Николаев, М.С. Полякова, В.И. Шмальгаузен. Электричество и магнетизм. Практические занятия по физике для студентов-математиков. Часть III. Москва: Макс Пресс, 2006 г.

$$\left\{ \begin{array}{l} j = l E \\ I = j p R^2 \\ U_{12} = \int_1^2 E dr \end{array} \right\} \Rightarrow E = \frac{I}{l p R^2}$$

$$U_{12} = \int_1^2 \frac{I}{l(r) p R^2} dr$$

$$l(r) = l_1 + (l_2 - l_1) \frac{x}{L}$$