Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»

Курсовая работа
по Общей физике (Электричество и магнетизм)

Выполнили: Костенко Ю. А.,
Зеленев В. С.

Москва - 2024

Содержание

1 Постановка задач

1.1 Задача 1

Исследовать электродинамику с монополями. Рассмотреть движение диона в однородном электрическом поле E; в однородном магнитном поле B; в скрещивающихся однородных электрическом и магнитном полях E и B, причем считать, что $E \perp B$.

1.2 Задача 2

Исследовать модель Изинга для ферромагнетиков. Рассчитать вектор намагниченности, получить петлю гистерезиса (если возможно).

1.3 Задача 3

Изучить движение заряженной частицы в равновесной электронейтральной плазме. Все необходимые параметры плазмы и частицы даны.

2 Задача 1

2.1 Электродинамика с монополями

Как известно, классические уравнения Максвелла несимметричны относительно обмена электрических и магнитных полей. Это, во многомо, связано с отсутствием магнитных зарядов. Однако существуют различные теории, которые предполагают их существование и позволяют исследовать так называемую электродинамику с монополями, чему и будет посвящен этот раздел.

Сперва следует договориться об обозначениях. Работать будем в системе СГС. К обозначениям будем добавлять индексы $\vec{E}$ или $\vec{B}$, в зависимости от того, с чем связан соответствующий объект (конкретная связь обычно будет понятна из контекста).

Начнем с получения новых уравнений Максвелла, а также преобразований обмена полей. Выпишем, для начала, классические уравнения Максвелла, с учетом соглашений об обозначениях:

$$
\begin{aligned}
\nabla \cdot \vec{E} &= 4\pi\rho_{\vec{E}} \\
\nabla \cdot \vec{B} &= 0 \\
\nabla \times \vec{E} &= -\frac{1}{c}\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\
\nabla \times \vec{B} &= \frac{4\pi}{c}\vec{j}_{\vec{E}} + \frac{1}{c}\frac{\partial \vec{E}}{\partial t}
\end{aligned}
$$

Очевидно, что для получения симметричных уравнений, во второе из них необходимо добавить член, связанный с плотностью магнитных зарядов $\rho_{\vec{B}}$, а в третье — с током магнитных зарядов $\vec{j}_{\vec{B}}$. После их добавления получается следующая система уравнений:

$$
\begin{aligned}
\nabla \cdot \vec{E} &= 4\pi\rho_{\vec{E}} \\
\nabla \cdot \vec{B} &= 4\pi\rho_{\vec{B}} \\
\nabla \times \vec{E} &= -\frac{4\pi}{c}\vec{j}_{\vec{B}} - \frac{1}{c}\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\
\nabla \times \vec{B} &= \frac{4\pi}{c}\vec{j}_{\vec{E}} + \frac{1}{c}\frac{\partial \vec{E}}{\partial t}
\end{aligned}
$$

При этом минус в третьем уравнении необходим из-за вида искомой симметрии. Полученная система уравнений оказывается симметрична относительно следующего преобразования:

$$\vec{E} \to \vec{B}$$
$$\vec{B} \to -\vec{E}$$
$$\rho_{\vec{E}} \to \rho_{\vec{B}}$$
$$\rho_{\vec{B}} \to -\rho_{\vec{E}}$$
$$\vec{j}_{\vec{E}} \to \vec{j}_{\vec{B}}$$
$$\vec{j}_{\vec{B}} \to -\vec{j}_{\vec{E}}$$

Опираясь на эти преобразования и на известные формулы классической электродинамики, можно получить следующие выражения:

$$\frac{\partial \rho_{\vec{E}}}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{j}_{\vec{E}} = 0 \to \frac{\partial \rho_{\vec{B}}}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{j}_{\vec{B}} = 0$$

$$\varphi_{\vec{E}} = \frac{q_{\vec{E}}}{r} \to \varphi_{\vec{B}} = \frac{q_{\vec{B}}}{r}$$
$$\vec{E} = \frac{q_{\vec{E}}}{r^3}\vec{r} \to \vec{B} = \frac{q_{\vec{B}}}{r^3}\vec{r}$$
$$\vec{B} = \frac{q_{\vec{E}}}{c}\frac{\vec{v} \times (\vec{r} - \vec{r'})}{|\vec{r} - \vec{r'}|^3} \to \vec{E} = -\frac{q_{\vec{B}}}{c}\frac{\vec{v} \times (\vec{r} - \vec{r'})}{|\vec{r} - \vec{r'}|^3}$$
$$\vec{F}_{\vec{E}} = q_{\vec{E}}(\vec{E} + \frac{1}{c}\vec{v} \times \vec{B}) \to \vec{F}_{\vec{B}} = q_{\vec{B}}(\vec{B} - \frac{1}{c}\vec{v} \times \vec{E})$$

2.2 Движение диона в различных полях

3 Задача 2

4 Задача 3