

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Глава 2. Электростатика в веществе.

2.1. Макро и микрополя в веществе.

Вещество состоит из атомов и молекул. Размеры ядер и электронов по сравнению с размерами атомов малы: примерно в 10^5 раз меньше размеров атома. На долю заряженных частиц приходится очень маленький объем, равный примерно 10^{-15} от занимаемого телом пространства. Весь остальной объем – вакуум. Под вакуумом здесь мы понимаем пространство, в котором отсутствует вещество, но в нем могут существовать различные поля. Электроны и ядра возбуждают в нем электрические и магнитные поля.

Электрическое поле в этом “пустом пространстве”, т.е. между электронами и протонами, меняется очень сложным образом и в *пространстве*, и во *времени*. Назовем это поле, меняющееся на расстояниях порядка размеров атома “микроскопическим полем” – *микрополе* $E_{\text{микро}}$. Источником этих полей является электроны и протоны, их распределение и плотность образуют, так называемую, *микроплотность* зарядов $\rho_{\text{микро}}$. Эти величины $E_{\text{микро}}$ и $\rho_{\text{микро}}$ нельзя измерить путем внесения пробного заряда, т.к. наименьший элементарный заряд – заряд электрона e^- , но при его помещении в точку измерения поля его влияние существенно исказит микрополе и микроскопическое распределение заряда.

Задание $E_{\text{микро}}$ и $\rho_{\text{микро}}$ во всех точках пространства и времени дает наиболее детальное описание, однако оно практически неосуществимо при описании макропроцессов в веществе. Для многих целей достаточно более грубое описание, отвлеченное от атомистического строения и мелкомасштабных изменений поля.

Лоренц показал, как, исходя из представлений о микрополях, можно прийти к уравнениям для описания макроскопических проявлений и процессов в телах. Переход к *макрополям* и *макроплотностям* происходит путем усреднения микрополей и микроплотности по пространству и времени. Классическая физика оперирует со сглаженными полями, которые плавно меняются в пространстве и времени.

Рассмотрим физически малый объем ΔV , тогда электрическое поле и плотность электрического заряда в макроскопическом масштабе определяются как среднее от микроскопических значений соответственно:

$$\vec{E}_{\text{макро}} = \vec{E} = \frac{1}{\Delta V} \int_{\Delta V} \vec{E}_{\text{микро}} dV = \langle \vec{E}_{\text{микро}} \rangle \quad (2.1.1)$$

$$\rho_{\text{макро}} = \rho = \langle \rho_{\text{микро}} \rangle \quad (2.1.2)$$

Чтобы усреднение не зависело от объема ΔV , нужно его выбрать следующим образом:

- 1) чтобы внутри ΔV содержалось много атомов и
- 2) ΔV должен быть достаточно малым, чтобы считать его бесконечно малым с точки зрения макровеличин (т.е. $\Delta V = dV$).

Тогда при таком выборе ΔV можно, например, записать для производных от электрического поля следующее:

$$\frac{\partial}{\partial x} \langle \vec{E} \rangle = \left\langle \frac{\partial \vec{E}}{\partial x} \right\rangle, \quad \frac{\partial}{\partial t} \langle \vec{E} \rangle = \left\langle \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right\rangle \quad (2.1.3)$$

Аналогично можно проводить усреднение изменяющегося поля по промежутку времени Δt , который бесконечно мал с точки зрения «макро» часов, но существенно больше характерных времен в микромире, например, больше периода обращения электронов вокруг ядер.

Положим, что для микрополей справедлива теорема Гаусса, поскольку выполнение закона Кулона экспериментально проверено до расстояний 10^{-15} см:

$$\text{div} \vec{E}_{\text{микро}} = 4\pi \rho_{\text{микро}} \quad (2.1.4)$$

Усредняя по пространству или по времени, имеем:

$$\langle \text{div} \vec{E}_{\text{микро}} \rangle = \text{div} \langle \vec{E}_{\text{микро}} \rangle \equiv \text{div} \vec{E} = 4\pi \langle \rho_{\text{микро}} \rangle = 4\pi \rho \quad (2.1.5)$$

Таким образом, получаем уравнение Максвелла в среде:

$$\text{div} \vec{E} = 4\pi \rho \quad (2.1.6)$$

В нашем дальнейшем изложении будем иметь дело со сглаженными усредненными полями, для которых будут выполняться основные уравнения электромагнетизма в веществе.

При внесении вещества во внешнее электрическое поле появляются *индуцированные или связанные* заряды, которые рожают дополнительное, внутреннее, электрическое поле. Поэтому макрополе в веществе образуется в результате суперпозиции внешнего и внутреннего полей

$$\vec{E} = \vec{E}_{\text{внешн}} + \vec{E}_{\text{внутр}}. \quad (2.1.7)$$

Будем также считать, что внешнее поле создается *сторонними*, или иначе называемыми *свободными*, зарядами. Причем нам придется учитывать, что как поляризация, так и внутреннее поле зависят от внешнего поля, и это усложняет задачу определения электрических полей в веществе.