

## §1. МИКРО- И МАКРОЭЛЕКТРОДИНАМИКА

Классическая (максвеллова) теория поля как в ее интегральной, так и в дифференциальной форме носит макроскопический характер; иначе говоря, она является феноменологической теорией. Это означает, что в ней не учитывается атомно-молекулярная структура вещества, полностью или частично заполняющего пространство, в котором имеется поле. Наличие вещества учитывается путем введения ряда коэффициентов (диэлектрической  $\epsilon$  и магнитной  $\mu$  проницаемостей, удельной проводимости  $\gamma$  и др.), которые полагают для каждого однородного вещества постоянными величинами, не зависящими от особенностей поля (его напряженности и частоты). В этой формальной теории вакуум отличается от вещества лишь другими значениями указанных выше коэффициентов. Не учитывается и атомистическая структура зарядов (их дискретность).

В феноменологическом характере теории заключена ее ограниченность. Учет строения вещества привел к возникновению *классической электронной теории или классической микроскопической электродинамики*, основателем которой стал Г. Лоренц (1853—1928).

Другим примером феноменологического и структурного подходов к объекту исследования могут служить термодинамика и молекулярно-кинетическая теория, изучающие одни и те же физические объекты: первая—вне связи с микроструктурой вещества, вторая—с учетом этой структуры.

Электронная теория Лоренца называется классической, поскольку для нее характерно основное положение всей классической физики, сводящееся к утверждению, что на всех уровнях организации материи, в мега-, макро- и микромире (например, в мире звезд и внутри атома), действуют строго одинаковые закономерности. Иными словами, полагается, что между макро- и микромиром существуют чисто количественные, масштабные, но отнюдь не качественные различия.

Из этой основной установки сразу же вытекает фундаментальное положение, на котором построено все здание электронной теории: уравнения Максвелла, сформулированные в макроскопической электродинамике, со всей строгостью применимы и в микромире, например в бесконечно малых объемах внутри атомов. Отметим попутно, что это положение отвергается квантовой физикой. Тем не менее классическая электронная теория не утратила своего значения до сих пор.

При исследовании микромира бросается в глаза колоссальная пространственная неоднородность вещества, его микрочарядов и обусловленных ими микроскопических полей. Действительно, плотность ядерного вещества имеет порядок  $10^{14}$  г/см<sup>3</sup>, а рядом с ядром плотность вещества равна нулю. Напряженность электрического поля ядра атома водорода на расстояниях  $r \approx 0,5 \cdot 10^{-8}$  см

от ядра («первая боровская орбита»)  $E \approx 2 \cdot 10^7$  ед. напряженности СГС, а вне атома результирующая напряженность поля атома практически равна нулю. Из дискретности электрических зарядов вытекает огромная микронеоднородность плотности заряда какого-либо заряженного тела.

Между тем в макроскопической физике повсюду пользуются понятиями однородного поля, постоянной плотности заряда и вещества и др. Это обусловлено усреднением истинных микрофизических величин. Последние величины в макроскопической физике и технике (например, в радио- или электротехнике) не рассматриваются, тем более что они не поддаются прямому определению обычными (классическими) измерительными приборами. Вводя в электрическое поле шарик с пробным зарядом, мы определяем ту равнодействующую силу, с которой на заряд шарика действует огромное количество микрочарядов. В результате этого или аналогичных опытов мы определяем усредненную силу и усредненную напряженность электрического поля. Подобными усредненными величинами оперирует вся макроскопическая физика, включая и макроскопическую электродинамику.

Лоренц предложил исключительно удачный и плодотворный метод усреднения истинных микроскопических значений физических величин и получения их макроскопических значений, которые используются в «обычной» физике и технике.

Лоренц ввел понятия физически бесконечно малых объемов, поверхностей, отрезков, отличающиеся от определений аналогичных величин в математике. Так, по Лоренцу физически бесконечно малый объем (ф. б. м. объем):

1) должен быть очень большим по сравнению с микроскопическими неоднородностями вещества, обусловленными его атомно-молекулярным строением. Поскольку линейные размеры атомов имеют порядок  $10^{-8}$  см, линейные размеры  $l$  ф.б.м. объема должны удовлетворять неравенству:  $l \gg 10^{-8}$  см;

2) должен быть весьма малым по сравнению с макроскопическими неоднородностями вещества (например, по сравнению с объемом таких дефектов металлических изделий, какими являются раковины, микроскопические трещины, чужеродные включения, поверхностные пленки и т. п.). Можно, например, потребовать, чтобы ф.б.м. объем был значительно меньше  $10^{-3}$  см<sup>3</sup>. Определения ф.б.м. поверхностей и отрезков формулируются аналогично.

Макроскопическим значением физической величины по Лоренцу следует считать ее значение, которое получают при усреднении истинных микроскопических значений данной величины по физически бесконечно малому объему (соответственно по ф.б.м. поверхности и ф.б.м. отрезку). Пусть  $\psi_{\text{микро}}$  — истинное микроскопическое значение некоторой величины  $\psi$  в математически бесконечно малом объеме (в «точке»), отнесенное к единице объема. Образует произведение  $\psi_{\text{микро}} dV$ . Интегрируя по

ф.б.м. объему  $\Delta V$  и деля результат интегрирования на этот объем, получаем макроскопическое значение этой величины:

$$\frac{1}{\Delta V} \int_{\Delta V} \psi_{\text{микро}} dV = \overline{\psi_{\text{микро}}} = \psi_{\text{макро}}.$$

При такой методике усреднения макроскопические значения физических величин в двух смежных ф.б.м. объемах, как правило, либо мало, либо вовсе не отличаются друг от друга.

Все величины макроскопической физики, в том числе и макроскопической электродинамики, определяемые в «точке», на самом деле относятся к ф.б.м. объемам, поверхностям, отрезкам. Следовательно, макроскопическое электромагнитное поле определяется значениями векторов напряженности электрического поля  $\vec{E}$  и магнитной индукции  $\vec{B}$  в ф.б.м. объеме; микроскопическое поле определяется значениями этих векторов в математически бесконечно малом объеме.

Таким образом, термину «точка» в макро- и в микроэлектродинамике приписывается различный смысл.

В последующем изложении (§ 54) будут введены уравнения Лоренца для микроскопического электромагнитного поля. Естественно, что константы вещества  $\epsilon$ ,  $\mu$ ,  $\gamma$  в эти уравнения не входят, они выражаются в микроэлектродинамике через реальные атомно-молекулярные параметры (заряд и массу электрона, концентрацию электронов и др.).

В электронной теории взамен феноменологического метода исследования используется структурный подход, при котором макроскопические закономерности получают модельное обоснование путем анализа атомно-молекулярных взаимодействий, осуществляемых через микроскопические электромагнитные поля. Структурный подход — характерная особенность физики XX в.; объяснить явление означает вскрыть его микрофизический механизм.

Электронная теория оказала неоценимую помощь при уточнении физического смысла ряда величин, введенных раньше в феноменологической теории. В силу этого в современных руководствах по электродинамике и в научной литературе осуществлен своеобразный синтез макро- и микроэлектродинамики. Строя изложение в основном в духе классической электродинамики, авторы «вкрапливают» в ход рассуждений микроструктурное (атомно-молекулярное) рассмотрение явлений и закономерностей. Этот прием используется и в данной книге.

Успехи электродинамики, достигнутые к концу XIX в., все более и более убеждали физиков в порочности механицизма и ознаменовали переход к электромагнитной картине мира. Развитием электромагнитной картины мира был подготовлен переворот в основных положениях физики, которым и явилось создание А. Эйнштейном теории относительности.