

§ 21.1. Общая характеристика теории Максвелла

1. В предыдущих главах были рассмотрены основные законы электрических и электромагнитных явлений: теорема Остроградского — Гаусса (§ 2.4, 6.3), законы полного тока (§ 16.1, 20.5) и электромагнитной индукции (§ 19.1). Эти законы, являющиеся обобщением экспериментальных фактов, позволяют решать основную задачу, возникающую при изучении электромагнитных явлений: по заданному распределению зарядов и токов отыскать созданные ими в каждой точке пространства электрические и магнитные поля.

В 60-х годах прошлого столетия Д. К. Максвелл, основываясь на идеях Фарадея об электрическом и магнитном полях, обобщил законы, установленные экспериментальным путем, и разработал законченную теорию единого электромагнитного поля, создаваемого произвольной системой зарядов и токов. Теория Максвелла явилась величайшим вкладом в развитие классической физики и позволила в общей точке зрения охватить огромный круг явлений, начиная от электростатического поля неподвижных зарядов и кончая электромагнитной природой света. В этой главе мы кратко остановимся на существовании идей Максвелла и содержании его теории.

2. Теория Максвелла представляет собой феноменологическую теорию электромагнитного поля. Это означает, что внутренний механизм явлений, происходящих в среде и вызывающих появление электрических и магнитных полей, в теории не рассматривается.

Электрические и магнитные свойства среды характеризуются в теории Максвелла тремя величинами: относительной диэлектрической проницаемостью ϵ , относительной магнитной проницаемостью μ и удельной электрической проводимостью γ . Зависимость этих величин от свойств среды, физический смысл явлений, происходящих в ней при поляризации и намагничивании, в теории Максвелла не исследуются.

3. Теория Максвелла является макроскопической теорией электромагнитного поля. В ней рассматриваются электрические и магнитные поля, создаваемые макроскопическими зарядами и токами, т. е. зарядами, сосредоточенными в объемах, неизмеримо больших, чем объемы отдельных атомов и молекул. Кроме того, предполагается, что расстояния от источников полей до рассматриваемых точек пространства также во много раз больше размеров молекул. Поэтому заметные изменения полей, исследуемых в теории Максвелла, возможны только на протяжении расстояний, огромных по сравнению с размерами атомов и молекул. Наконец, периоды изменения переменных электрических и магнитных полей должны быть во много раз больше периодов внутримолекулярных процессов.

В действительности макроскопические заряды и токи представляют собой совокупности микроскопических зарядов и токов,

которые создают свои электрические и магнитные поля, непрерывно изменяющиеся в каждой точке пространства. Поэтому и результирующие электрическое и магнитное поля всегда переменны. Эти поля получили название **микрополей**.

Из сказанного выше следует, что в теории Максвелла рассматриваются у с р е д н е н н ы е электрическое и магнитное поля, причем усреднение соответствующих микрополей производится для интервалов времени, значительно больших периодов обращения или колебания элементарных зарядов, и для участков поля, объемы которых во много раз больше объемов атомов и молекул.

§ 21.2. Первое уравнение Максвелла. Бетатрон

1. В § 19,1 было показано, что э. д. в. индукции, возбуждаемая в неподвижном замкнутом п р о в о д я щ е м контуре, выражается формулой (19.12):

$$\oint_L \mathbf{E} d\mathbf{l} = - \frac{\partial \Phi_m}{\partial t}. \quad (21.1)$$

Тем самым было выяснено, что переменное магнитное поле создает в проводящем замкнутом контуре вихревое электрическое поле. Максвелл предложил считать, что соотношение (21.1) справедливо не только для проводящего, но и для л ю б о г о замкнутого контура, мысленно выбранного в переменном магнитном поле. Иными словами, он предположил, что *переменное магнитное поле создает в любой точке пространства вихревое электрическое поле независимо от того, находится в этой точке проводник или нет*. Обобщенное таким образом равенство (21.1) называется **первым уравнением Максвелла в интегральной форме**: циркуляция вектора напряженности электрического поля по произвольному замкнутому контуру L равна взятой в обратном знаке скорости изменения магнитного потока сквозь поверхность, натянутую на контур.

Магнитный поток $\Phi_m = \int_S \mathbf{B} d\mathbf{S}$. Считая поверхность интегрирования S , натянутую на неподвижный контур L , тоже неподвижной, получим

$$\frac{\partial \Phi_m}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \int_S \mathbf{B} d\mathbf{S} = \int_S \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} d\mathbf{S}.$$

Поэтому первое уравнение Максвелла (21.1) можно также записать в форме

$$\oint_L \mathbf{E} d\mathbf{l} = \oint_S \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} d\mathbf{S}. \quad (21.2)$$

где направление обхода контура L и векторов $d\mathbf{S}$ согласовано между собой по правилу буравчика [см. соответствующее замечание к формуле (19.12)].