

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

ВВЕДЕНИЕ

В современной научной терминологии понятие макроскопической электродинамики в целом совпадает с классической теорией электромагнитного поля, основы которой заложил Д. К. Максвелл (1831—1879) в своем фундаментальном труде «Трактат об электричестве и магнетизме» (1873). Г. Герц (1857—1894) своими известными опытами (1887—1889) экспериментально подтвердил ее, получив предсказанные Максвеллом электромагнитные волны; он же придал уравнениям Максвелла их современную форму. В теории Максвелла в изящной сжатой форме обобщены основные экспериментальные и теоретические достижения учения об электромагнетизме.

Завершением классической электродинамики явилось открытие материальной природы электромагнитного поля; основная заслуга этого открытия (1905) принадлежит А. Эйнштейну (1879—1955). Некоторая, главным образом терминологическая, непоследовательность Эйнштейна в трактовке физической природы электромагнитного поля была затем устранена академиком С. И. Вавиловым (1891—1951).

В классическом понимании поле — область пространства, характеризующаяся распределением некоторой физической величины (например, температуры, упругих сил, скорости) в веществе, локализованном в данной области пространства. В отличие от таких «математических» полей, имеющих вещественные носители, электромагнитное поле не нуждается в каком-либо носителе. Оно представляет собой самостоятельный вид материи (один из видов материальных физических полей). Это поле как особый вид материи характеризуется, с одной стороны, непрерывным распределением в пространстве (электромагнитные волны) и, с другой — обнаруживает дискретность структуры (фотоны); оно обладает способностью распространяться в вакууме со скоростью, близкой к $3 \cdot 10^{10}$ см/с, и оказывает на заряженные частицы силовое воздействие, зависящее от их скорости.

При исследовании электромагнитного поля обнаруживаются два его проявления — электрическое и магнитное. Условность такого расчленения, связанная с выбором системы отсчета, выяснена теорией относительности. Электрическое поле определяется как одна из двух сторон электромагнитного поля, обусловленная электрическими зарядами и изменением магнитного по-

ля, оказывающая силовое воздействие на заряженные частицы и тела и выявляемая по силовому воздействию на неподвижные заряженные тела и частицы.

Магнитное поле — одна из двух сторон электромагнитного поля, обусловленная движущимися электрическими зарядами и изменением электрического поля, оказывающая силовое воздействие на движущиеся заряженные частицы и выявляемая по силовому воздействию, направленному нормально к направлению движения этих частиц и пропорциональному их скорости.

Другим видом материи, отличным от физических полей, является вещество, характеризующееся дискретной (атомистической) пространственной структурой.

Современные представления об электромагнитном поле возникли в результате длительной эволюции научных знаний о природе электрических, магнитных и световых явлений.

Своеобразным «предшественником» электромагнитного поля явился механический мировой эфир Гюйгенса — Френеля. Это гипотетическое вещество, всепроникающее и невесомое, на протяжении долгого времени считалось носителем световых явлений. Фарадей ввел в физику электрическое и магнитное поля, рассматривая их как состояния особой среды — электромагнитного эфира. Возникла двойственность эфира (светоносного и электромагнитного), которая затем, во второй половине XIX в., была устранена Максвеллом, создавшим единую теорию электрических, магнитных и оптических явлений, основанную на представлении об электромагнитном поле. Носителем электромагнитного поля Максвелл и его непосредственные последователи считали единый электромагнитный эфир; оптика и электромагнетизм объединялись под общим названием «физика эфира».

На пороге XX в. в понимании природы электромагнитного поля произошла резкая перемена. С электромагнитным эфиром (носителем электромагнитного поля) связывались многие механистические представления, строились механические модели электрических взаимодействий и др. Вместе с тем считалось, что эфир пребывает в состоянии абсолютного покоя и может служить системой отсчета. Поэтому, установив, например, скорость движения Земли относительно эфира, исследователь тем самым определил бы ее абсолютную скорость. Как известно, все опыты такого типа потерпели полную неудачу. Ее причину объяснила специальная теория относительности, отрицающая существование среды, относительно которой мыслимо определение абсолютной скорости движения тел.

Эйнштейн совершенно отказался от применения термина «эфир» для обозначения среды-носителя электромагнитных явлений. Этим носителем является само электромагнитное поле, оно материально и обладает всеми свойствами материи — массой, импульсом, энергией, которая способна превращаться в другие виды энергии в строго эквивалентных количествах.

Следует отметить, что установившаяся в ходе исторического развития терминология теории поля не всегда правильно выражает материальную природу электромагнитного поля. Такие обычные и трудно заменяемые выражения, как «заряд создает поле», «заряд порождает поле» и т. п., явно неудачны и должны пониматься лишь в смысле наличия определенной взаимосвязи между характеристиками заряда и его поля.

Теория электромагнитного поля полностью сохранила свое значение и в наше время; область ее практических приложений продолжает расширяться. Она является теоретическим фундаментом электро- и радиотехники, электроники, ей принадлежит ведущее место в ряде «гибридных» дисциплин (электродинамика, биофизика, астрофизика и др.). Знание ее основ обязательно для каждого физика. Физика XX в. (теория относительности и квантовая механика) отнюдь не «отменила» классическую теорию поля, а лишь видоизменила физический смысл ряда понятий и установила границы ее применимости.

Обобщаемые в теории электромагнитного поля экспериментально найденные закономерности в курсах общей физики записываются обычно в так называемой интегральной форме. При этом рассматриваются электромагнитные явления, протекающие в объемах пространства, на поверхностях или на отрезках макроскопического масштаба (например, токи в проводниках привычных для нас сечений). «Интегральная форма» не связана с обязательным применением интегралов. К таким закономерностям относятся закон Ома, закон электромагнитной индукции и др., которые можно представить алгебраическими формулами.

Примечательной особенностью максвелловской теории является выражение закономерностей электродинамики в дифференциальной форме, когда явления и характеризующие их величины рассматриваются в бесконечно малых элементах объемов, поверхностей, отрезков, или, как принято говорить, в точке. Можно без преувеличения утверждать, что именно отнесение физических величин к точке и рассмотрение электромагнитных явлений, протекающих в рядом лежащих точках, обеспечили грандиозные успехи теории Максвелла и работ его последователей.

Дифференциальная форма уравнений электродинамики позволила Максвеллу окончательно устранить из физики идеалистические представления о «дальнодействии», согласно которым электрические силы и взаимодействия передаются якобы мгновенно, без участия промежуточной среды. Максвелл открыл законы взаимосвязи между электрическим и магнитным полями, из которых непреложно вытекает факт постепенного распространения электромагнитного процесса в пространстве от точки к точке с конечной скоростью (близкодействие). Дифференциальная форма уравнений электродинамики не обязательно предполагает их выражение в виде дифференциальных уравнений.