

## ВВЕДЕНИЕ

Электродинамику можно определить как науку об электромагнитном поле и его связи с электрическими зарядами, а также о действии поля на заряды.

В классической механике рассматривается движение тел под действием заданных сил, причем зависимость сил от координат, времени и скорости материальной точки указывается как найденная экспериментально либо заимствуется из других физических теорий. Например, нами изучались проявления гравитационных и электромагнитных взаимодействий в виде ускоренных движений тел в пространстве, а природа соответствующих сил оставалась в тени. Электродинамика в известной мере восполняет этот пробел, описывая электромагнитное взаимодействие со стороны сил, вызванных электрически заряженными телами и действующих на тела, несущие заряды.

Понятие электрического заряда является в электродинамике одним из исходных. Здесь обычно говорят о заряде как о самостоятельной субстанции, т. е. отделяют это свойство от его носителей — тел и частиц. Величина заряда определяется той силой, которая действует между двумя точечными зарядами, один из которых принимается за эталонный.

Но основной объект, изучаемый электродинамикой, не заряд, а электромагнитное поле — переносчик электромагнитного взаимодействия между зарядами. Важно, что электромагнитное поле — реальный физический объект, вид материи, существующий в природе наряду с веществом. Хотя поле создается электрическими зарядами, оно может существовать и независимо от зарядов — в так называемом свободном состоянии, утратив связь с зарядами. Так, например, свет от Солнца движется к Земле 8,3 мин после излучения его атомами солнечной фотосферы.

Все электромагнитные излучения, фиксируемые и используемые человеком, возникают за счет движения электрических зарядов, но далее существуют в вакууме самостоятельно. Электромагнитное поле занимает макроскопические области пространства, не имеющие в отличие от тел четких границ, и судят о наличии поля по силе, действующей в этих областях на заряженные тела.

В механике уже было использовано понятие силового поля.

Однако там поле — объект вспомогательный математический. Это не физический материальный объект. Согласно механической концепции на тело действует сила со стороны другого тела на расстоянии без какого-либо материального посредника. Но в природе реально не существует взаимодействие между телами на расстоянии (это только модель, применяемая в механике со сравнительно медленным движением тел), а имеет место взаимодействие зарядов с полем в точках, где заряды находятся. В электродинамике, изучающей самого переносчика взаимодействия — электромагнитное поле, механическая концепция дальнего действия заменяется концепцией близкого действия. Теперь переносчиком или носителем силы является электромагнитное поле. Сила определяется состоянием поля в заданной точке, а передача взаимодействия между заряженными телами осуществляется через поле с конечной скоростью  $c$ . Такова в общих чертах полевая концепция взаимодействия электродинамики.

Полевая или релятивистская модель взаимодействия рассматривалась нами во второй части курса (см. [1]). По скорости передачи взаимодействия электромагнитное поле является предельно релятивистским объектом, а изучающая его электродинамика по природе изучаемого объекта — релятивистской теорией (но это не исключает возможность движения заряженных тел со скоростями  $v \ll c$ ), где для описания полей, как и в механике для описания движения тел, применяются инерциальные системы отсчета. С достаточной степенью точности для многих электромагнитных явлений инерциальной системой может служить система, связанная с Землей. (Во многих задачах электромагнитные силы на несколько порядков превышают силы инерции, так что в этой системе последними можно пренебречь.) При переходе от одной инерциальной системы к другой в электродинамике необходимо использовать преобразования Лоренца.

В классической электродинамике как поле, так и заряд считаются непрерывными. Это модели макроскопических полей и зарядов. В то же время известна дискретная микроструктура поля и заряда: свободное электромагнитное поле состоит из элементарных частиц — фотонов, а заряд — из элементарных зарядов частиц, входящих в состав вещества, — электронов и протонов.

Классическая электродинамика относится к макроскопическим теориям и имеет хотя и очень широкую, но ограниченную область применимости. Она справедлива при условии, когда дискретный характер поля и заряда не сказывается при протекании явлений. Как правило, в ней речь идет о макроскопических областях пространства, о скоплениях огромного множества электронов, протонов и соответственно фотонов; рассматривается некое усредненное взаимодействие макроскопических зарядов и полей. Что касается электромагнитного взаимодействия на элементарном уровне, то законы макроскопической электродинамики имеют к нему ограниченную применимость и существенно дополняются в так называемой квантовой электродинамике.

Теоретическое ядро электродинамики – система дифференциальных уравнений Максвелла, устанавливающая связь между характеристиками электромагнитного поля: напряженностью электрического поля и индукцией магнитного, а также расположением и движением электрических зарядов (плотностями тока и заряда). Большая часть задач электродинамики сводится к нахождению поля по заданному расположению и движению зарядов путем интегрирования исходных уравнений для различных частных случаев.

Область применимости электродинамики необычайно широка в силу распространенности электромагнитных взаимодействий в природе, важности их технических применений, существенной роли этой теории в понимании свойств и структуры вещества и т. д.

Созданию современной теории электричества предшествовал длительный период накопления эмпирических фактов и открытий отдельных фундаментальных законов. Начало научного изучения электричества и магнетизма было положено У. Гильбертом во второй половине XVI века, который объяснил поведение магнитной стрелки взаимодействием полюсов магнитов, открыл намагничивание, электризацию ряда тел и, наконец, ввел термин «электричество». Г. Кавендиш в 1771 г. впервые экспериментально показал, что силы взаимодействия электрических зарядов обратно пропорциональны квадрату расстояния между ними, а в 1784–1785 гг. Ш. Кулон установил фундаментальный закон взаимодействия точечных неподвижных электрических зарядов. В 1791 г. Л. Гальвани открыл электрический ток, А. Вольта (1800 г.) построил первый источник тока – «вольтов столб», и в 1820 г. Х. Эрстед открыл магнитное действие тока.

Начало электродинамики как самостоятельной науки связывают с работами А. Ампера. Он около 1820 г. ввел понятия «напряжение» и «ток», установил закономерности механических взаимодействий токов, сделал попытку объяснить природу магнитных полей постоянных магнитов микроскопическими «молекулярными» токами в веществе.

Вскоре (1827 г.) Г. Ом открывает закон, названный его именем, а в 1831 г. следует открытие М. Фарадеем явления электромагнитной индукции, установившее важную связь между магнитным полем и электрическим.

Характерная особенность первоначальных эмпирических знаний об электричестве и магнетизме состояла в их разобщенности: например, рассматривалось до пяти видов электричества, а электрические и магнитные явления трактовались как самостоятельные. Процесс теоретического обобщения в этой области знания особенно наглядно выявляет установление единой природы и единых начал явлений и объектов, кажущихся различными. Вершиной такого обобщения является теория электромагнитного поля, развитая Д. К. Максвеллом в 1860–1865 гг. Как электрическое поле, так и магнитное оказываются в ее рамках проявлениями единой сущности – электромагнитного поля, а все эмпирические законы электромагнетизма

могут быть выведены из исходных уравнений. Теория Максвелла утвердилась в физике после открытия в 1888 г. Г. Герцем электромагнитных волн, предсказанных Максвеллом.

В истории познания природы замена механической концепции взаимодействия полевой имела революционное значение. Поле как таковое можно считать введенным в физику М. Фарадеем. Окончательно взгляды на поле как на вид материи утвердились после работ А. Эйнштейна по специальной теории относительности (1905 г.).

В теории Максвелла электромагнитные свойства вещества учитывались феноменологически. В 1895 г. Г. Лоренц в электронной теории синтезирует идеи теории поля с представлениями о дискретности электрических зарядов. И хотя электронная теория Лоренца оказалась ограниченной в силу отсутствия в ней неизвестных тогда квантовых положений, в принципиальном отношении анализ электрических и магнитных свойств вещества, а также особенностей электромагнитного поля в нем на основе изучения взаимодействия зарядов вещества с полем является крупным эвристическим шагом вперед. Современная электронная теория – фундаментальная отрасль физики, опирающаяся не только на электродинамику и классическую механику, но и на квантовую механику и статистическую физику.

В настоящее время по причинам методического характера не представляется возможным построить курс электродинамики в соответствии с исторической последовательностью ее развития. Целесообразно начинать с изучения электромагнитного поля в вакууме как нового (по отношению к веществу) вида материи, а затем на этой основе переходить к изучению поля в веществе. Если рассматривать вещество как систему связанных между собой электрических зарядов, то некоторые особенности электромагнитного поля в веществе становятся понятными в рамках простейшей модели вещества.

По этим причинам в нашем курсе изложение электродинамики подчинено следующей схеме:

- за основу взято учение об электромагнитном поле макроскопической системы электрических зарядов в вакууме (т. е. без учета влияния на поле тел, на которых заряды располагаются);
- электромагнитное поле в веществе рассматривается как результат наложения на внешнее поле электромагнитного поля перестраивающихся в нем зарядов вещества.

В связи с избранным подходом в курсе выделены две части: учение о поле в вакууме и учение о поле в веществе. Постановка во главу угла изучения электромагнитного поля в вакууме характерна и для современного школьного курса физики.

С историей развития теории электричества можно ознакомиться по специальным пособиям (см. [4]).