

Предисловие

Классическая теория электромагнетизма наряду с классической и квантовой механикой является в настоящее время одной из основных теоретических дисциплин при подготовке физиков. Серьезное знание этих предметов — необходимое условие успешного изучения специальных дисциплин.

Типичная программа по электричеству и магнетизму для высшего учебного заведения рассчитана на два или три семестра после изучения курса элементарной физики. Преимущественное внимание уделяется в ней основным законам электродинамики, их лабораторному подтверждению и рассмотрению следствий из них, анализу цепей, простым волновым явлениям и излучению. Из математических средств используются векторное исчисление, обыкновенные дифференциальные уравнения с постоянными коэффициентами, ряды Фурье, иногда преобразования Фурье и Лапласа, уравнения в частных производных, полиномы Лежандра и функции Бесселя.

Для аспирантов обычно дается двухсеместровый курс теории электромагнетизма. Именно такому курсу соответствует моя книга. При обучении аспирантов электродинамике я ставлю перед собой по крайней мере три цели. Во-первых, все содержание курса должно быть представлено как единое связное целое. Особенно важно подчеркнуть единство электрических и магнитных явлений как с точки зрения их физической сущности, так и с точки зрения математической трактовки. Во-вторых, не менее важной задачей является изложение и применение различных методов математической физики, весьма полезных как в электродинамике, так и в квантовой механике. Сюда относятся теорема Грина и функции Грина, ортогональные разложения, сферические гармоники, цилиндрические и сферические функции Бесселя. Наконец, третьей и, быть может, важнейшей задачей является изложение нового материала, в частности вопросов, касающихся взаимодействия релятивистских заряженных частиц с электромагнитным полем. Здесь, конечно,

в сильной степени сказываются личные вкусы автора. Выбор материала определяется тем, что, на мой взгляд, наиболее существенно и полезно для лиц, интересующихся теоретической физикой, экспериментальной ядерной физикой, физикой больших энергий и пока еще недостаточно определенной «физикой плазмы».

Книга начинается по традиции с электростатики. В первых шести главах последовательно излагается теория электромагнетизма Максвелла. По ходу изложения вводится необходимый математический аппарат, особенно в гл. 2 и 3, где детально рассмотрены граничные задачи. При этом мы исходим из напряженности электрического поля E и магнитной индукции B . Производные макроскопические характеристики D и H вводятся путем усреднения по ансамблю атомов и молекул. При рассмотрении диэлектриков даются простые классические модели поляризации атома, однако при описании магнитных свойств модельные представления не используются. Частично это обусловлено недостатком места, но в основном объясняется тем, что построить чисто классическую модель магнитной восприимчивости вообще невозможно. Кроме того, только для разъяснения такого интересного явления, как ферромагнетизм, потребовалась бы чуть ли не целая книга.

Следующие три главы (гл. 7—9) посвящены различным электромагнитным явлениям главным образом макроскопического характера. В гл. 7 рассматриваются плоские волны в различных средах, в том числе в плазме, а также дисперсия и распространение электромагнитных импульсов. В гл. 8 обсуждаются волноводы и резонаторы произвольного поперечного сечения. Вопрос о затухании волн в волноводах и о добротности резонаторов решается в весьма общем виде, что позволяет подчеркнуть физическую суть процессов. Гл. 9 посвящена элементарной теории мультипольного излучения ограниченных источников и теории дифракции. Поскольку простая скалярная теория дифракции излагается во многих учебниках по оптике и в учебниках по электричеству и магнетизму для высших учебных заведений, в этой главе дается более строгое, хотя также приближенное, изложение теории дифракции на основе не скалярных, а векторных теорем Грина.

В последнее время проблемы магнитной гидродинамики и динамики плазмы все больше привлекают внимание физиков и астрофизиков. В гл. 10 дается обзор этого весьма сложного раздела и излагаются относящиеся сюда основные физические понятия.

Первые девять или десять глав образуют основу классической теории электричества и магнетизма. Предполагается, что аспиранты уже знакомы с большей частью этих вопросов, может быть, в более элементарном изложении. Но изучив эти же вопросы при более строгом подходе, принятом в настоящей книге, читатель приобретет более полное представление о предмете, глубже поймет отдельные

вопросы и в значительной степени овладеет техникой применения различных аналитических методов решения задач. После этого он сможет воспринять более сложные проблемы, рассматриваемые в последующих главах. Сюда относятся главным образом вопросы взаимодействия заряженных частиц друг с другом и с электромагнитным полем (в частности, частиц, движущихся с релятивистскими скоростями).

Специальная теория относительности ведет свое происхождение от классической электродинамики. И сейчас, через 60 лет, классическая электродинамика по-прежнему служит блестящим примером ковариантности законов природы при преобразовании Лоренца. Специальной теории относительности посвящена гл. 11. В ней описывается весь необходимый формальный аппарат, исследуются различные кинематические следствия и устанавливается ковариантность законов электродинамики. Следующая глава посвящена кинематике и динамике релятивистской частицы. Динамику заряженных частиц в электромагнитных полях, конечно, можно отнести к электродинамике. Читатель может, однако, усомниться в том, насколько правомерно относить к электродинамике, скажем, кинематические преобразования при соударении. На это следует ответить, что коль скоро установлен четырехмерный характер импульса и энергии частицы, использование таких примеров вполне оправдано, поскольку при этом у читателя вырабатываются полезные навыки обращения с преобразованиями Лоренца, а получаемые результаты весьма полезны и мало где приводятся.

В гл. 13, где обсуждаются соударения заряженных частиц и их рассеяние, особое внимание уделяется энергетическим потерям и вводятся понятия, необходимые для последующих глав. Здесь в первый раз в этой книге я использую полуklassические соображения, связанные с принципом неопределенности, чтобы получить из классического рассмотрения приближенные квантовомеханические выражения для энергетических потерь и т. п. Такой подход, оказавшийся столь плодотворным в руках Нильса Бора и Вильямса, позволяет ясно понять, где и каким образом квантовомеханические эффекты видоизменяют классические представления.

Важному вопросу об излучении движущегося с ускорением точечного заряда посвящены гл. 14 и 15, причем особое внимание удалено релятивистским эффектам. Выражения для спектрального и углового распределения излучения выводятся достаточно общим путем, а их применение иллюстрируется на столь различных примерах, как синхротронное и тормозное излучение и излучение при β -распаде. Обсуждается также излучение Черенкова — Вавилова и метод виртуальных фотонов Вейцекера — Вильямса. При рассмотрении процессов атомных и ядерных соударений для получения приближенных квантовомеханических соотношений вновь приме-

няются полуклассические соображения. Я специально подчеркиваю это, так как считаю весьма существенным, чтобы читатель понимал, что такие радиационные эффекты, как, например, тормозное излучение, являются по своему характеру почти полностью классическими, хотя мы здесь и имеем дело с соударениями на малых расстояниях. Если же читатель встретится с тормозным излучением впервые в курсе квантовой теории, он не поймет его физической сущности.

Предметом гл. 16 являются мультипольные поля. Разложение скалярного и векторного полей по сферическим волнам производится на основе самых общих предпосылок, при этом не накладывается никаких ограничений на соотношения между размером области, занимаемой источниками, и длиной волны. Затем рассматриваются свойства электрических и магнитных мультипольных полей излучения и устанавливается их связь с мультипольными моментами источника. После этого в качестве примеров обсуждается атомное и ядерное мультипольное излучение, а также макроскопический источник, размеры которого сравнимы с длиной волны. Для иллюстрации граничной задачи с векторными сферическими волнами довольно подробно исследована задача о рассеянии плоской электромагнитной волны на сферическом препятствии.

В последней главе рассмотрен сложный вопрос о реакции излучения. Рассмотрение здесь скорее физическое, чем математическое. Особое внимание уделяется определению областей применимости приближенных выражений для радиационных поправок и выявлению случаев, когда существующие теории неприменимы. Здесь излагается как первоначальная теория Абрагама — Лоренца, так и более поздний классический подход.

Книга заканчивается приложением, в котором рассматривается вопрос об единицах и размерностях физических величин, и библиографией. В приложении я старался показать логику построения системы единиц, не пытаясь убедить читателя в особых преимуществах выбранной нами системы единиц. Здесь приведены две таблицы, которые, как можно надеяться, окажутся полезными. Первая служит для перевода формул из одной системы в другую, вторая — для перевода численных значений физических величин из гауссовой системы в систему МКС и обратно. В библиографию включены книги, которые могут, на наш взгляд, пригодиться читателю для справок или для дальнейшего изучения предмета. Ссылки на них даются в тексте в квадратных скобках.

Эта книга возникла на основе лекционного курса по классической электродинамике, который я читал для аспирантов последние одиннадцать лет в Иллинойском университете и в университете Мак-Гилла. Я хочу поблагодарить моих коллег и слушателей в обоих университетах за бесчисленные полезные замечания. Особо

следует упомянуть профессора Уоллеса (университет Мак-Гилла), который предоставил мне возможность вести этот весьма неортодоксальный по тем временам курс, и профессоров Уальда и Асколи (Иллинойский университет), которым я обязан многими цennыми предложениями по методике изложения различных вопросов. Я благодарен также д-ру Кауфману, прочитавшему первоначальный вариант рукописи и сделавшему ряд замечаний, и м-ру Кэйну за помочь при составлении предметного указателя.

Дж. Джексон

Урбана, Иллинойс
Январь 1962