1957 г. Февраль *Т. LXI, вып. 2*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

БИБЛИОГРАФИЯ

Вальтер Тирринг. Введение в квантовую электродинамику (Einführung in die Quantenelektrodynamik. Walter Thirring. Wien, Franz Deuticke, 1955).

Книга Тирринга «Введение в квантовую электродинамику», в отличие от всех других существующих монографий по квантовой электродинамике, обладает очень небольшим объемом — в ней всего VIII + 122 небольших страницы. При этом, тоже в отличие от всех других аналогичных книг, формулы в тексте сравнительно не столь сложны. Тем не менее рассматриваемый в книге материал весьма обширен.

Во введении к книге (14 стр.) даны некоторые формулы классической (неквантовой) релятивистской электродинамики и рассмотрены при помощи соотношения неопределенности некоторые явления атомной физики, дающие представление о порядке величин, с которыми оперирует квантовая электродинамика.

В первой части книги «Квантование свободных полей» (39 стр.) удачно формулируются общие принципы квантовой теории поля, вводится лагранжева функция и тензоры плотности энергии-импульса и момента импульса и обсуждаются основные соотношения вторичного квантования, а также связь спина и статистики согласно Паули; по ходу дела вводятся различные перестановочные функции; затем рассматриваются некоторые конкретные поля—скалярное, векторное, спинорное. В двух остальных параграфах этой главы анализируются вакуумные флуктуации при помощи нормальных произведений и обсуждаются границы измеримости электромагнитного поля по Бору — Розенфельду.

Во второй части «Взаимодействующие поля» (37 стр.) даются общие уравнения квантовой электродинамики и их решение по методу возмущений. Дана матрица рассеяния и пояснены различные типы фейнмановских графиков. Далее рассматриваются некоторые важнейшие приложения полученных формул — излучение света, взаимодействие электронов (и позитронов), комптон-эффект и формула Клейна—Нишины, нелинейные поправки к уравнениям Максвелла, поляризация вакуума и др.

В третьей части «Границы теории» (12 стр.) дискутируются расходимости, собственная энергия электрона, лэмбовский сдвиг, вакуумный магнитный момент электрона, теория ренормировки массы и заряда, сходимость разложения S-матрицы и пр.

Кроме того, в книге имеется перечень обозначений, два дополнения — о матрицах Дирака и о сингулярных функциях с их разложениями, Фурье-представлениями в виде контурных интегралов, а также 25 задач с решениями. В задачах приведен ряд вычислений, опущенных в тексте, связанных с уточнением свойств тензора энергии, перестановочных соотношений, определения вакуума. Другие задачи касаются подсчета потерь энергии электроном на излучение в линейном и циклическом ускорителях, подсчета эффективных сечений ряда процессов, в том числе рассеяния света на свете. Конечно, эти задачи по трудности выходят за рамки обычных упражнений и являются своеобразными дополнениями, к сожалению, впрочем, изложенными слишком кратко.

Следует подчеркнуть, что в этой книге на передний план выдвинуты общие физические принципы, основные математические методы и самые важные результаты квантовой электродинамики, а не ее разнообразные применения к конкретным проблемам. При этом более детальный просмотр книги показывает, что весь этот материал изложен отнюдь не только качественно в общих чертах, а вполне конкретно, со всей математической строгостью, на принятом в квантовой теории поля уровне.

Вызывает удивление способность автора изложить огромный и сложный материал на таком высоком уровне в небольшой книжке. Это удалось ему прежде всего благодаря очень сжатому стилю. Во всей книге, можно сказать, нет лишних слов. Вводных, направляющих мысль читателя, слов очень мало, хотя даются все определения основных понятий и формулировки принципов и намечены все доказательства выводов. При этом неизбежно известная часть вопросов, например о вакуумном (аномальном) магнитном моменте электрона и о ренормировке массы и заряда, только разъяснена, но не решена исчерпывающе.

Вторая и несомненно более существенная причина, позволяющая автору достигнуть поставленной цели при малом объеме книги, это удачный выбор исходных положений теории. По-видимому, квантовая электродинамика является дисциплиной довольно установившейся, по крайней мере, за последние 5 лет здесь не произошло каких-либо существенных изменений. Тем не менее в выборе ее основных положений есть некоторая свобода. Автор сформулировал эти положения так, что они смогли послужить ему прочным фундаментом общей и логически последовательной теории.

В качестве примера мы приведем одно из исходных положений Тирринга: «Каждому каноническому преобразованию любой классической системы S соответствует унитарное преобразование квантовой системы S таким образом, что производящая инфинитезимального унитарного преобразования построена подобно производящей соответствующего инфинитезимального канонического преобразования». Этот принцип, являющийся некоторой физической интерпретацией принципа Швингера, автор приводит после того, как он принял, что каждому состоянию системы S соответствует некоторый вектор D в пространстве представлений E, а каждой динамической переменной o соответствует некоторый эрмитовский оператор O в E и что возможные результаты измерения величины o и их вероятности связаны обычным образом с вектором состояния D, а также с собственными значениями и собственными векторами оператора O. Ввиду данных Тиррингом определений содержание этого принципа заключается в следующем.

Пусть $\psi^\alpha(x_i)$ представляют собой N операторов полей в E, каждый из которых зависит от координат x_i в пространстве Минковского R. Пусть $L(\psi^\alpha, \psi_i^\alpha)$ — функция Лагранжа, зависящая от операторов ψ^α и от их производных ψ_i^α по x_i. Пусть σ — пространственно-подобная поверхность в R и $W_{12} = \int\limits_{\sigma_1}^{\sigma_2} L(dx_i)$ — обобщенное действие. Каждый оператор O рассматривается как интеграл на σ от некоторой функции операторов $\psi^\alpha : O = O(\psi^\alpha, \sigma)$. При этих обозначениях упомянутый выше принцип Тирринга означает, во-первых, что если $O(\psi_1^\alpha, \sigma_1)$ и $O(\psi_2^\alpha, \sigma_2)$ — один и тот же оператор O при разных выборах поверхности σ и представления операторов ψ^α, то существует соотношение типа

$$O(\psi_2^\alpha, \sigma_2) = U_{12}^{-1} O(\psi_1^\alpha, \sigma_1) U_{12},$$

где U_{12} — некоторая унитарная матрица, и, во-вторых, что если σ_1, σ_2 и $\psi^\alpha(x_i)$ подвергнутся бесконечно малой вариации, то соответствующие приращения U_{12} и W_{12} будут связаны соотношением

$$\delta U_{12} = \delta W_{12} U_{12}.$$

Из этого принципа выводятся, во-первых, эйлеровы уравнения движения $\frac{\partial L}{\partial \psi_i^\alpha} - \frac{\partial}{\partial x_i}\frac{\partial L}{\partial \psi_i^\alpha} = 0$, во-вторых, формулы, выражающие заряд Q, вектор энергии-импульса P_i, тензор момента J_{ih}, а также плотности этих величин j_i, T_{ik}, M_{ikl} через функцию L, в-третьих, перестановочные соотношения для функции ψ^α и, в-четвертых, перестановочные соотношения типа $[\psi^\alpha, P_k] = i\psi_k^\alpha$ и аналогичные соотношения для коммутаторов $[\psi^\alpha, Q]$ и $[\psi^\alpha, J_{ih}]$.

Дальше в книге содержится еще ряд оригинальных подходов, например, к определению вакуума, сохраняющему дефинитную метрику в E, введение нормальных произведений уже при задании функции Лагранжа, вывод основных свойств ψ^α, как операторов испускания и поглощения разных частиц независимо от выбора L, и др.

Все же, в целях лучшего понимания книги, автору следовало бы дать больше пояснений основных понятий и принципов. Например, было бы хорошо дать некоторые представления операторов ψ^α при определенном выборе координатных векторов в E; выяснить вопрос о существовании операторов O и U, удовлетворяющих вышеупомянутому принципу при любом выборе поверхностей σ_1 и σ_2; определить, как следует понимать производные функции L, когда она является функцией, в особенности не аналитической, некоммутирующих операторов; уточнить, как следует понимать утверждение, что $\psi^\alpha(x_i)$ являются операторами порождения и уничтожения частиц в точке x_i, не имея оператора, дающего число частиц в данной точке или данной области, и т. д.

Хотя краткость книги является ее достоинством, которое не следует разрушать, все же хотелось бы видеть здесь небольшие дополнительные замечания также о выводе теоремы Паули, связывающей спин со статистикой в духе Швингера, а также о влиянии конечности заряда на пределы измеримости.

Автор сумел в ряде пунктов отметить основные трудности теории, но не наметил возможных путей их преодоления. Впрочем, никаких установленных взглядов на этот счет сейчас не имеется. Заметим кстати, что успешное развитие квантовой мезодинамики за последние полтора-два года, связанное с установлением дисперсионных соотношений, уравнением Ло и уточнением константы связи, делают пессимистическое высказывание Тирринга о состоянии мезонной теории устарелым.

Автор называет эту книгу «Введением» и в предисловии говорит, что предполагает у читателя знакомство только с математическим анализом, линейной алгеброй, специальной теорией относительности и элементарной квантовой механикой. Нам кажется, однако, что эта книга авторитетного и активного автора со своими оригинальными выводами и рядом интересных замечаний может быть более полезна специалистам, уже несколько знакомым с квантовой электродинамикой.

Эта книга особенно полезна сейчас, когда теория стала столь сложной и почти все курсы такими громоздкими. Она несомненно даст возможность читателю, как студенту и аспиранту теоретику, так и зрелому специалисту, выяснить более глубоко основные понятия и законы квантовой электродинамики и вообще квантовой теории поля и тем самым будет содействовать дальнейшей творческой разработке этого важнейшего раздела современной теоретической физики.

Мы считаем перевод книги Тирринга на русский язык весьма желательным. Ввиду небольшого размера книги представляется целесообразным ее издание вместе с другой, также сравнительно небольшой, но несколько более элементарной, интересной книгой по квантовой электродинамике проф. Дайсона — известного специалиста по новейшей квантовой электродинамике.

Д. Иваненко и Хр. Христов