1948 УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК Т. XXXVI, вып. 2

БИБЛИОГРАФИЯ

P. A. M. Dirac. The principles of quantum mechanics, 3d edition, Oxford.1947.

П. А. М. Дирак. Принципы квантовой механики. 3-е издание.

Известная книга Дирака, вышедшая в свет в 1930 г., явилась первой фундаментальной монографией по квантовой механике, излагавшей как абстрактные основания, так и главнейшие приложения нерелятивистской теории, завершённой построением в 1927—28 гг. Одна глава была посвящена релятивистской теории электрона, только что установленной самим Дираком в 1928 г.

Эта книга, несмотря на строгость и известную абстрактность, встретила горячий приём среди широких кругов и была переведена на основные международные языки. Русское издание появилось в 1932 г. Второе издание, опубликованное в 1935 г. и также переведённое на русский язык, как писал Дирак в предисловии к нему, отличалось несколько меньшей абстрактностью. Понятие состояния применялось в трёхмерном нерелятивистском смысле. Были добавлены разделы о квантовой электродинамике и вторичном квантовании фермиевских частиц.

Настоящее, третье издание книги Дирака, кроме различных менее значительных видоизменений текста, почти полностью, по словам предисловия, переписанного, отличается от предыдущих изданий главным образом в следующих трёх направлениях.

Квантовая электродинамика изложена с учётом теории ламбда-процесса Вентцеля-Дирака и классической теории точечного электрона, предложенной Дираком и развивавшейся специально Соколовым и Баба. Напомним, что при этом в классической теории речь идёт о выводе или обосновании уравнения движения точечного электрона с тем, чтобы известные члены, зависящие от его радиуса, полученные Лоренцом, отпали бы естественным путём. Теория Дирака отбрасывает гипотезу полевой массы электрона, которая здесь попросту исчезает, оставляя вопрос о природе собственной массы пока что открытым. Члены с реакцией лучистого трения в точности совпадают у Лоренца и Дирака. В этой связи следует отметить, что в последнее время в квантовой электродинамике производится тщательный анализ различных бесконечностей, причём выясняется, что отбрасывание бесконечных (в современном несовершенном формализме) собственных инерциальных членов типа массы или момента инерции приводит к разумным результатам. Мы имеем в виду квантовую теорию затухания в непрерывном спектре Соколова-Гейтлера-Вильсона и недавние работы Бете и группы Оппенгеймера (Льюиса, Эпштейна и других) по сдвигу уровней в атоме водорода. Характерным для теории Дирака-Соколова является использование опережающих потенциалов наряду с запаздывающими.

Как показывает далее Дирак, классические релятивистские, но неквантовые уравнения движения точечного электрона в электромагнитном поле могут быть сформулированы в виде гамильтоновых уравнений с пуассо-

новыми скобками, если за потенциалы поля взять вентцелевские, а не максвелловские значения.

Пуассоновы скобки для потенциалов Вентцеля зависят от некоего вспомогательного временного вектора Λ, который в конце концов стремится к нулю. Заменяя пуассоновы скобки перестановочными соотношениями, мы переходим, как обычно, к квантовой теории.

Нетрудно показать, что вектор Λ играет роль формфактора электрона или вспомогательного обрезающего множителя в правой части правил перестановки. Полевая масса электрона, обязанная продольной части поля, вычисленная с помощью вентцель-дираковских потенциалов, или, иначе говоря, с помощью новых правил перестановки, оказывается равной нулю.

Напомним, что, наглядно говоря, Λ-процесс в значительной мере сводится к вычислению силы, действующей на электрон в некоторый момент времени, как среднего от сил, действующих в момент несколько более поздний и несколько более ранний, причём в окончательных формулах этот сдвиг (Λ) стремится к нулю. Однако применение предельного Λ-процесса не устраняет порождённой точечной частицей бесконечной энергии поля, связанной с его поперечной частью и имеющей чисто квантовое происхождение. Так как эту энергию следует приравнять (поперечной) собственной массе, то последняя оказывается бесконечной. Дирак не видит сейчас никакого выхода из этой трудности квантовой электродинамики и тем самым отказывается от своего прежнего предложения устранить поперечную бесконечную энергию путём искусственного введения отрицательных энергий для фотонов или отрицательных вероятностей (см. его дублинские лекции).

Вряд ли кто из теоретиков будет оплакивать отказ от этой сложной и неплодотворной гипотезы. Нельзя не заметить, что Λ-процесс Вентцеля-Дирака, с одной стороны, произволен и неоднозначен в качестве обрезающего множителя, с другой стороны, не привёл к каким-либо физическим результатам. В качестве же средства лишь для устранения продольной бесконечной массы, поистине, он представляет собою слишком дорогое лекарство!

В заключение главы об электродинамике Дирак указывает на необходимость, при подсчёте процессов рассеяния, испускания и поглощения, обрезания связанных с поперечными волнами расходящихся интегралов на длинах волн порядка радиуса электрона, подчёркивая вместе с тем неудовлетворительность этой процедуры и намекая на возможность коренных изменений в теории. Первая часть замечания Дирака вызывает, однако, удивление, так как хорошо известно, что квантовая электродинамика, вопреки первоначальному пессимизму, оказалась пригодной также для многих процессов с длинами волн меньше радиуса электрона, что выяснилось, например, в каскадной теории космических ливней.

Хотя формализм ламбда-процессов и потенциалов Вентцеля применялся до сих пор только для обсуждения принципиальных вопросов и всё изложение квантовой электродинамики Дирака далеко от реальных, близких к эмпирике проблем (границы каскадной теории, проблема сдвига уровней и т. д.), всё же глава эта несомненно интересна и даёт повод к поучительной дискуссии. На этом, однако, и заканчиваются более или менее значительные физические новинки книги.

Второй новый пункт связан с видоизменённым изложением теории систем одинаковых частиц. Наконец, третий новый пункт заключается в использовании новой символики, так называемых «дуальных» векторов: «бра» (bra) и «кет» (ket) (*sic!*). Поразительным образом сам Дирак выдвигает именно этот пункт на первое место в качестве важнейшего улучшения нового издания своей книги. Эти термины, странно звучащие для неанглосаксонского слуха, являются, очевидно, половинками слова bracket, т. е. скобка. Поэтому русский перевод мог бы звучать как вектора типа «скоб»

и типа „ка“ (или „ско“ и „бка“?). Мотивы, побудившие Дирака отбросить привычные термины ψ („кет“) и ψ^* („бра“), не кажутся нам убедительными и никакого специального удобства транскрипция типа $|\xi'>$ (вместо $\psi^*_{\xi'}$) и $<\xi'|\xi''>=0$ при $\xi'\neq\xi''$ вместо $\int \psi^*_{\xi'}\psi_{\xi''}d\tau=0$ (теорема ортогональности), на наш взгляд не представляет. Некоторая экономия в написании не окупается излишней абстрактностью, отсутствием наглядности и разрывом с традициями математической и физической транскрипции.

Напомним, что в своё время, когда Дирак ввёл немецкую терминологию eigen-value (собственные значения) вместо proper-value, в английской литературе раздались некоторые протесты. Во всяком случае порядочным ребусом для неискушённого читателя являются такие теоремы (стр. 31): the eigen-values associated with eigen-kets are the same as the eigen-values associated with eigen-bras, т. е. переводя в духе Дирака: „эйген-значения, связанные с эйген-кетами совпадают с эйген-значениями, связанными с эйген-бра“. На прежнем „старомодном“ языке это означает: „собственные значения, связанные с векторами ψ, совпадают с собственными значениями, связанными с сопряжёнными векторами ψ^*“. Или (стр. 55) уравнение $<\lambda_1\lambda_2\ldots\lambda_n/L_1=\lambda_1<\lambda_1\lambda_2\ldots\lambda_n/$ „показывает, что each basic bra is an eigen-bra of L_1, the value of the parameter λ_1, being the eigen-value belonging to it» (перевод чего мы предоставляем читателям). На каком языке сие написано и не является ли новая терминология некоей шуткой?

После этого неудивительно, что появление волновой функции ψ на стр. 79 испытывается почти как встреча с другом:
если

$$<\xi'|P>=\psi(\xi'), \tag{60}$$

то

$$|P>=|\psi(\xi)>.$$

При помощи подобной терминологии Дирак излагает по-новому общую теорию представителей линейных операторов во 2-й и 3-й главах книги 3-я и 4-я главы второго издания о теории представлений ныне слиты в одну 3-ю главу, содержание и заголовки остальных глав остались почти без изменения. Отметим ещё новые, довольно удачные термины: бозоны и фермионы (частицы или системы, подчиняющиеся бозевской или фермиевской систематике).

Сколь ни важным представляется обоснование, аксиоматика и выработка терминологии и транскрипции в квантовой теории, однако мы не можем не усмотреть в преимущественном внимании Дирака к этим проблемам признака отхода его от фронтовых задач нашей науки в довольно глубокий тыл. В книге нет ничего об аннигиляции фотонов, о ядре, ядерных силах, космических лучах или мезоне, несмотря на то, что в двух её главах (11 и 12) трактуются проблемы релятивистской теории электрона и квантовой электродинамики и в предыдущих главах даётся много приложений нерелятивистской квантовой механики.

Нам представляется подобный отход Дирака в сторону от актуальных проблем нашей науки не случайным, но обусловленным, в известной мере, его философскими позициями „кэмбриджской“ школы, склонной к формализму и даже схоластике в своих крайних проявлениях (например, вывод мировых констант Эддингтоном) после исчерпания здорового эмпирического базиса теми или иными авторами. Конечно, невозможно требовать от книги, посвящённой основам теории, исчерпывающего изложения приложений, но вся наша наука далеко продвинулась вперёд с 1930 г.

Превосходное изложение знаменитого квантового уравнения Дирака в гл. 11 не подверглось за 18 лет почти никаким изменениям. Попрежнему Дирак не приводит здесь общей формулы для трансформации ψ-функций при лоренцовом преобразовании, ограничиваясь отдельными случаями, по-

прежнему ограничивается анализом записи уравнения лишь в полярных координатах наряду с декартовыми.

Прежняя неясная трактовка электрического момента электрона ныне Дираком отброшена и сейчас в изложении (стр. 264—265) фигурирует лишь кинематический магнитный момент при малых скоростях $\vec{\mu}_e = \frac{eh}{4\pi mc}\vec{\sigma}$. Так как, однако, электрический момент с необходимостью возникает наряду с магнитным, образуя вместе с последним тензор моментов, замеченный Я. И. Френкелем ещё в классической теории электрона, то нельзя признать новое изложение этого вопроса Дираком достаточно полным.

Мы остановились в своей рецензии главным образом на некоторых характерных новинках книги Дирака, отражая, может быть с излишним ударением, некоторое своё разочарование. С другой стороны, следует подчеркнуть огромное богатство ценного материала в 3-м издании, большей частью перешедшего из первых двух, среди которого в первую очередь следует отметить, например, блестящее введение о принципе суперпозиции в п. 1, трактовку пуассоновых скобок (гл. 4), теорию осциллятора, теорию вращательных моментов и трактовку водорода в гл. 6, главу 8, посвящённую столкновениям, с прекрасной формулой, выражающей принцип излучения, теорию излучения в гл. 10, релятивистскую теорию электрона в гл. 11 и т. д. и т. д.

Нет сомнений, что перевод 3-го издания фундаментальной книги Дирака, первые издания которой на русском языке давно разошлись, послужит к плодотворным дискуссиям и будет способствовать дальнейшему углублённому изучению квантовой механики в нашей стране.

Д. Иваненко