

БИБЛИОГРАФИЯ

539.12.01(049 3)

ОБЪЕДИНЕНИЕ И СУПЕРСИММЕТРИЯ

Mohapatra R. Unification and Supersymmetry: The Frontiers of Quark-Lepton Physics/Ed. E. J. Redish. — Berlin; Heidelberg; New York; London; Paris; Tokyo: Springer-Verlag, 1986. — 309 p. — (Contemporary Physics).

Книга написана известным теоретиком, работающим в области объединенных моделей, и основана на курсе лекций, читавшихся автором в течение ряда последних лет в Нью-йоркском Сити Колледже и в Мэрилендском университете (Колледж-Парк). Цель книги, как отмечает автор, состоит в том, чтобы представить упорядоченное изложение широкого круга идей и методов, применяемых при построении единых моделей элементарных частиц. В настоящее время отсутствуют безусловные критерии, которые однозначно выделяли бы какую-нибудь одну из моделей большого объединения, чем и определяется значительное число потенциально возможных расширений теории Вайнберга — Салама. В подобной ситуации основным достижением теории, занимающейся построением объединенных моделей, является не та или иная конкретная схема (ни одна из которых не может претендовать на исключительность), а, скорее, весь накопленный арсенал тех методов и подходов, которые, переходя из модели в модель, доказали свою жизнеспособность и актуальность. Соответствующим образом построено и изложение в рецензируемой книге: его несколько мозаичный характер определяется современным состоянием проблемы. Автор не исключает из рассмотрения модели, которые в своей настоящей форме не удовлетворяют всем требованиям эксперимента, если, тем не менее, используемый в них механизм способен описать какие-либо наблюдаемые эффекты. В результате перед читателем открывается широкая картина методов, используемых при построении объединенных моделей.

Книга содержит шестнадцать глав, первые восемь из которых, составляющие около трех пятых всего объема, не связаны с суперсимметрией. Эта первая часть может служить также введением в предмет для читателей, знакомых по крайней мере с мотивировками предлагаемых построений и с сопутствующим фольклором (конечно, многое предполагается помимо этого: сам автор называет курсы квантовой теории поля, теории групп, основ теории частиц). В первых двух главах кратко, почти на уровне установления обозначений, вводятся основные понятия, с которыми предстоит оперировать в дальнейшем: симметрии и токи в лагранжевой теории поля, локальные симметрии и поля Янга — Миллса и т. п., вслед за чем на конкретных примерах излагается круг идей, связанных со спонтанным нарушением симметрии и механизмом Хиггса. Третья глава посвящена теории Вайнберга — Салама и сравнению с экспериментом ее следствий (глубококонечное электрон-адронное рассеяние, нарушение атомной четности, подавление распада $K_L^0 \rightarrow \mu\mu$, разница масс $K_L - K_S$, распад $K_L \rightarrow 2\gamma$ и др.); здесь рассматриваются также свойства хиггсовских бозонов.

После обсуждения этих стандартных фактов автор переходит к изложению различных вариантов ответа на вопрос: какая новая физика открывается за пределами модели Вайнберга — Салама? В четвертой главе обсуждаются два аспекта CP-нарушения: модели слабых взаимодействий, способные вызвать экспериментально наблюдаемое CP-нарушение при распаде каона (модель Кобаяши — Маскавы, право-левосимметричная модель, нарушение за счет хиггсовского обмена и др.), и вопросы, связанные с параметром θ и аксионом в сильных взаимодействиях. Право-левосимметричным моделям, представляющим собой альтернативу стандартной $SU(3)_c \times SU(2)_c \times U(1)$ -модели, посвящена, кроме того, отдельная глава. Мотивировка рассмотрения право-левосимметричных моделей включает соображения о возможной ненулевой массе нейтрино. Вслед за построением модели обсуждаются космологические следствия ненулевой массы нейтрино, безнейтринный двойной β -распад, правила отбора для процессов с несохранением барионного числа, нарушение лептонного числа и другие низкоэнергетические следствия.

По одной главе посвящено каждой из двух моделей большого объединения: $SU(5)$ (теоретико-групповые аспекты нарушения $SU(5) \rightarrow SU(3) \times SU(2) \times U(1)$, проблема иерархии, предсказание для угла Вайнберга, детальный анализ предсказаний для распада протона и т. д.) и $SO(10)$ (теоретико-групповые аспекты, различные промежуточные ступени нарушения $SO(10) \rightarrow \dots \rightarrow SU(3) \times SU(2) \times U(1)$, массы фермионов). Наконец, восьмая глава знакомит читателя с техникварками, преонами и различными вариантами построения составных моделей. В сравнении с предыдущими эта глава носит более обзорный характер.

В качестве указаний в поисках Правильной Модели важны концептуальные идеи, устанавливающие связь с другими областями физики или заимствованные из них. Одним из таких направляющих принципов является гипотеза о (нарушенной) суперсимметрии, лежащей в основе наблюдаемого мира. К настоящему времени достигнут значительный прогресс в изучении и понимании ряда нетривиальных свойств (ультрафиолетовая конечность, вопросы нарушения суперсимметрии) многих суперсимметричных теорий, являющихся, однако, заведомо нереалистическими. Естественно попытаться испробовать работающие в них механизмы в приложении к моделям элементарных частиц. Отдельное важное место среди суперсимметричных теорий занимают различные версии супергравитации. Объединение фундаментальных взаимодействий вплоть до планковских энергий в суперсимметричных моделях могло бы быть дополнено включением супергравитации, в результате чего среди объединяемых взаимодействий оказалось бы и гравитационное. В свою очередь (хотя это остается уже за рамками рецензируемой книги) супергравитацию вместе с другими суперсимметричными теориями стали в последнее время всерьез рассматривать как низкоэнергетический предел теорий суперструн, на которые возлагается окончательная надежда единой и непротиворечивой «теории всего».

Вторая часть книги (гл. 9—16), собственно и посвященная суперсимметрии, открывается сжатым изложением основных идей ($N = 1$)-суперсимметрии, в том числе понятий суперпространства и суперполей. Вслед за этим строятся примеры суперсимметричных теорий поля. Изложение доводится до правил Фейнмана и суперграфов. Здесь, как и на протяжении всей книги, новые понятия вводятся на простых примерах, изложение подчинено цели наглядности, а не стремлению к максимальной общности. В небольшой, но важной десятой главе речь идет о нарушении суперсимметрии, которое необходимо в реалистических моделях. Описаны механизмы Файе — Илюпулоса и О'Райферти спонтанного нарушения суперсимметрии, итогом рассмотрения которых является вывод в пользу «мягкого» нарушения суперсимметрии. После этого изложение концентрируется вокруг «мягкого» нарушения за счет введения масс (скалярных частиц или калибрино) или трilinearных скалярных взаимодействий. Отдельную главу занимает модель с «мяг-

ким» нарушением, являющаяся суперсимметричным расширением («удвоением») $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ -модели. Здесь обсуждаются массы фермионов-суперпартнеров и феноменологические ограничения на них, в связи с чем рассматривается целый ряд процессов с участием суперпартнеров (всего около тридцати древесных фейнмановских диаграмм). Кратко, с иллюстративной целью, затронуты также и другие возможные проявления суперсимметрии.

Одной из основных функций, выполнение которых возлагается на суперсимметрию в объединенных моделях, является решение проблемы иерархии. Прогресс на этом пути обсуждается в главе, посвященной суперсимметричному расширению $SU(5)$ -модели большого объединения. Новым затруднением, однако, является вырождение вакуума, что, вообще говоря, создает космологическую проблему. В супер- $SU(5)$ -модели рассматривается также распад протона, основная мода которого иная по сравнению с несуперсимметричным вариантом.

В четырнадцатой главе вводится локальная ($N = 1$)-суперсимметрия, приводящая, как известно, к супергравитации, процедура построения которой кратко намечена здесь же вместе с указанием основных фактов о поле спина $3/2$ и общей теории относительности. На уровне сводки результатов вводятся также конформная супергравитация и взаимодействие супергравитации с материей (в терминах компонентных полей). Здесь же определяется предмет дальнейшего анализа — скалярный потенциал. Следующая глава посвящена собственно приложению ($N = 1$)-супергравитации к физике частиц, основным мотивом которого является связь шкалы нарушения электрослабой симметрии с массой гравитино (т. е. параметром нарушения суперсимметрии), а масштаба большого объединения — с массой Планка.

Последняя глава содержит краткий обзор возможных обобщений ($N = 1$)-супергравитации: указано, уже без обсуждения связи с реалистическими моделями, на существование ($N \geq 2$)-супергравитаций и супергравитаций в старших размерностях. Упомянуто также существование свободной от аномалий десятимерной суперсимметричной теории Янга — Миллса и супергравитации с калибровочной группой $SO(32)$ или $E_8 \times E_8$. Дальнейшее развитие этой темы — предмет современных исследований по приложению теорий суперструн.

Книга содержит два (1) упражнения; в действительности, от читателя требуется серьезная самостоятельная работа, помощью в которой является достаточно обширная библиография и к которой постоянно призывает сам автор. Читатель, разобравший до конца все рассматриваемые примеры, сможет самостоятельно изучать объединенные модели.

А. М. Семихатов