019.941 : 539.12.01

Yuval Ne'eman. Algebraic Theory of Particle Physics (Hadron Dynamics in Terms of Unitary Spin Currents). W. A. Benjamin Inc., New York — Amsterdam, 1967, 334 pp.

Автор взял на себя очень трудную задачу — дать обзор богатой идеями и бурно развивающейся области физики, которую часто называют теорией симметрии элементарных частиц.

Основное содержание книги составляют унитарная ($SU(3)$) симметрия и алгебра токов. Это направление интенсивно разрабатывается после 1961 г.; было высказано много новых идей, получено немало интересных результатов. Но основная трудность для автора обзора, как кажется, связана не столько с необходимостью переработать большой материал, сколько с качеством самого материала. Вслед за исключительно плодотворной теорией, в которой восемь барионов принадлежат к одному мультиплету, хотя их массы расходятся на десятки процентов, появилось значительное количество новых, более или менее смелых гипотез, проверка которых оказалась принципиально сложной, так как точность их предсказаний заведомо не только низка, но и неопределенна. Тем не менее некоторые из этих гипотез приводят к результатам, которые поразительно хорошо согласуются с экспериментом. Разобраться в этом изобилии материала, отобрать наиболее важное, что-то такое, что имеет шансы сохранить свою ценность и в дальнейшем, и все это за сравнительно короткий срок,— вот задача, стоявшая перед автором книги.

Мне кажется, Ю. Нэеман, известный физик, обнаруживший вместе с Гелл-Манном SU (3)-симметрию, написал интересную и полезную книгу. Зачастую автор находит свой метод изложения, обычно наиболее простой и закономерный. При этом сильные и слабые стороны каждого пункта предстают в самой ясной форме, а проблемы ставятся максимально четко.

С 1965 г. Нэеман прочитал несколько курсов по теории симметрии элементарных частиц: в Калифорнийском технологическом институте, в университетах Иллинойса и Техаса, в Исследовательском центре в Далласе, в летних школах в Гонолулу и в Токио (1965 г.), в университетах Тель-Авива и Женевы (1966 г.). Эти лекционные курсы были использованы автором при работе над книгой.

Объясняя название своей книги, автор пишет, что прогресс в физике сильно взаимодействующих частиц (адронов) связан с двумя направлениями: аналитическим и алгебраическим. Первое использует теорию функций комплексных переменных и рассматривает амплитуды физических процессов как функции импульсов и угловых моментов. Алгебраический подход является развитием методов матричной механики, использовавшихся при разработке современной квантовой теории поля. Предметом книги служат методы алгебры операторов в применении к квантованным полям, описывающим адроны. При этом особую роль играют операторы унитарного спина (генераторы группы SU (3)).

Книга содержит 11 глав. Главы 1 («Введение») и 11 («Эпилог») содержат постановку и общий обзор проблемы. Глава 2 («Абстрактная алгебра унитарного спина») и приложения посвящены изложению математических результатов из области теории групп, необходимых для дальнейшего. При этом, конечно, основное внимание уделяется группе SU (3).

В главе 3 («Роль алгебры в квантовой механике, компактные и некомпактные генераторы и группы») на примере атома водорода объясняются основные понятия теории динамической симметрии. Как известно, с точностью до релятивистских поправок атом водорода обладает симметрией изотропного четырехмерного пространства. По принятой автором терминологии, алгебра группы вращений четырехмерного пространства (SO (4)) является алгеброй приближенной симметрии для атома водорода. В последнее время удалось найти такую группу, включающую в себя SO (4), что все решения уравнения Шрёдингера для кулоновского потенциала преобразуются по единому представлению этой группы. Алгебра этой группы, SO (4,1), называется алгеброй, генерирующей спектр. Так как атом водорода имеет бесконечно много уровней, некомпактность алгебры, генерирующей спектр, для этой задачи не удивительна. Если, обратившись к электромагнитным переходам в атоме водорода, добавить к генераторам SO (4) операторы дипольного момента, то соответствующая алгебра Ли является алгеброй генераторов группы SO (4,2). Такая алгебра называется алгеброй операторов перехода. Основная информация о динамике водородного атома может быть получена без решения уравнения Шрёдингера, исходя из алгебраической структуры задачи.

Возможно, что и в теории элементарных частиц еще до создания теории, которая объяснит известные в настоящее время основные закономерности, удастся найти такую совокупность операторов, с помощью алгебры которых можно было бы интерпретировать некоторые экспериментальные факты. Эта мысль является основой идей алгебры токов и очень важна для понимания подхода Нэемана к теории симметрии элементарных частиц.

В главе 4 («Унитарная симметрия») дан обзор физических применений $SU(3)$-симметрии к таким объектам, как строение адронных мультиплетов и соотношения между вероятностями различных процессов. Коротко обсуждаются также две модели, которые могли бы объяснить происхождение унитарной симметрии,— модель «бутстрэпа» и модель кварков. В главе 5 («Физическая алгебра унитарного спина») генераторы группы $SU(3)$ построены из операторов слабого и электромагнитного токов. Рассматривается также нарушение симметрии, в частности массовые формулы. В главе 6 унитарная симметрия применяется к электромагнитным и слабым взаимодействиям. В главе 7 рассмотрена алгебра, образуемая совокупностью векторных и аксиальных токов (спиральная алгебра $SU(3) \times SU(3)_{\gamma_5}$). Роль этой алгебры определяется тем, что матричные элементы ее операторов наблюдаются в электромагнитных и слабых взаимодействиях. Обсуждаются следствия из предположения, что эта алгебра является алгеброй приближенной симметрии. Рассмотрены следствия из предположения о доминирующей роли пионного полюса в матричных элементах дивергенции аксиального тока (гипотеза PCAC). В этой же главе содержатся некоторые интересные результаты, полученные из алгебры токов с помощью дисперсионных соотношений (например, сверхсходящиеся правила сумм).

Алгебра векторных токов, алгебра группы $SU(3)$, является алгеброй приближенной симметрии для физики адронов. Более сложная спиральная алгебра $SU(3) \times \times SU(3)_{\gamma_5}$ приводит к разумным результатам как алгебра операторов перехода, хотя и не является вполне приемлемой как приближенная симметрия. В главе 8 рассматривается возможность применения в качестве алгебры операторов перехода еще более широких алгебр, которые являются подалгебрами $SU(12)$. Обсуждаются те алгебры, которые могут быть связаны с некоторыми «частными» симметриями (например, в нерелятивистском пределе или при коллинеарном движении). Таким образом, рассмотрены применения групп $SU(6)$, $SU(6)_W$, $U(6) \times U(6)_\beta$ и т. д.

Глава 9 посвящена гипотезе о том, что вершинные функции, описывающие связь частиц с реджионами (точнее, вычеты амплитуд рассеяния в полюсах по угловому моменту), связаны с алгеброй скалярных и векторных токов, подобно тому как амплитуды слабых взаимодействий связаны с алгеброй векторных и аксиальных токов. При этом получаются предсказания для сильного взаимодействия частиц при высокой энергии и дается новый вывод ряда результатов, полученных из модели кварков.

В главе 10 описаны попытки найти алгебру операторов, которая генерировала бы спектр адронов. При этом схема должна воспроизводить две основные особенности, по-видимому, наблюдаемые на опыте: наличие $SU(6)$-мультиплетов и «реджевские семейства» резонансов. Рассмотрены модели сильной связи и спин-орбитального взаимодействия. В этой главе, как и в некоторых других местах книги, автор пытается изложить идеи, которые только начали формироваться в последнее время. Пока не ясно, принесет ли успех разработка этих идей, но включение в книгу новых многообещающих направлений может быть полезно.

Книга читается с большим интересом. Она окажет неоценимую помощь тому, кто захочет активно включиться в работу, так как пройти трудный и извилистый путь, который привел теорию элементарных частиц к современному состоянию, следуя многочисленным, во многом перекрывающимся и зачастую слишком конспективно написанным оригинальным статьям, практически невозможно.

М. С. Маринов