

019.941:539.12.01

Stephen L. Adler, Roger F. Dashen. Current Algebras, and Applications to Particle Physics. (Frontiers in Physics.) W. A. Benjamin, Inc., New York—Amsterdam, 1968, 394 pp.

Книга вышла в свет в 1968 г. в серии «На рубежах физики». Каждая из семи глав книги состоит из авторского текста, написанного Адлером и Дашеном, и фотографий оригинальных работ. Общее число воспроизведенных оригинальных работ равно 22, а авторский текст занимает 190 страниц.

Целью издания является ознакомление читателя с развитием физики элементарных частиц, связанным с использованием «алгебры токов» и гипотезы о «частичном сохранении аксиального тока». Число журнальных статей, посвященных алгебре токов, очень велико, и необходимость систематического изложения основных идей и полученных результатов вряд ли вызывает сомнения. Интерес к книге будет тем более значителен, что научный авторитет авторов в этой области физики очень велик. В частности, некоторые результаты, полученные Адлером, уже сейчас считаются классическими (соотношение Адлера — Вайсбергера, условие самосогласованности Адлера). Одной из основных идей, обсуждаемых в книге, является гипотеза о связи слабых и электромагнитных взаимодействий с симметриями сильных взаимодействий. Проследим коротко эту связь на примере изотопической симметрии.

Изотопическая симметрия означает, что можно построить три сохраняющиеся оператора V^i ($i = 1, 2, 3$), которые представляют собой проекции полного спина на различные оси в изотопическом пространстве. Коммутационные соотношения между этими операторами задаются равенством

$$[V^i, V^k] = i\epsilon^{ikl}V^l. \quad (1)$$

Всякую сохраняющуюся величину, в частности «заряды» V^i , можно записать в виде интеграла по пространству от четвертой компоненты тока, дивергенция которого равна нулю:

$$V^i = \int d^3x v_0^i \quad (\partial_\mu v_\mu^i = 0). \quad (2)$$

Предполагается, что введенные таким образом токи определяют слабое взаимодействие адронов с лептонами (например, β -распад нейтрона) и электромагнитное взаимодействие адронов (точнее говоря, его изовекторную часть). Это предположение подтверждается экспериментальными данными.

Можно поставить далее вопрос о свойствах токов v_μ^i , не проинтегрированных по пространству. Самый простой способ изучать эти свойства — предположить спаредливость, какой-нибудь модели. Например, можно считать, что «затравочным» является β -распад нейтрона, а все остальные слабые распады вызваны совместным действием перехода $n \rightarrow p$ и сильных взаимодействий. Тогда слабый ток должен удовлетворять правилу отбора по изотопическому спину $\Delta T = 1$. Ясно, что последнее утверждение имеет большую общность, чем исходное предположение. Поэтому можно

не использовать в полной мере модельные представления и сформулировать гипотезу как предположение о том, что ток v_μ^i преобразуется при вращениях в изотопическом пространстве самым простым из возможных способов, т. е. является изотопическим вектором. Математически это утверждение можно записать так:

$$[V^k, v_\mu^k(x)] = i\varepsilon^{klm} v_\mu^l(x). \quad (3)$$

Включив в рассмотрение слабые взаимодействия с изменением странности, подобные рассуждения можно легко обобщить на случай более высокой, унитарной, симметрии. Интегралы по пространству от слабых токов адронов с изменением странности также отождествляются при этом с генераторами группы симметрии сильных взаимодействий. Предположение о существовании простых правил отбора по изотопическому спину оказывается полезным и при рассмотрении слабых нелептонных распадов.

Равенства (1), (2) определяют коммутационные соотношения между операторами зарядов и зарядов с токами. Значительно более сложным является вопрос о том, почему равен коммутатор двух локальных токов $v_\mu^i(x)$ и $v_\nu^k(k')$. Существование изотопической группы не помогает угадать вид этого коммутатора, и для того, чтобы сделать какое-то разумное предположение, нужно использовать модели. Важно отметить, что всегда рассматривается одновременный коммутатор токов. Это связано с тем, что одновременные коммутационные соотношения не меняются при «включении» взаимодействия, что и позволяет сформулировать различные модели для «затравочного» слабого взаимодействия.

Об одновременных коммутационных соотношениях токов (как проинтегрированных по пространству, так и не проинтегрированных) говорят как об алгебре токов. Следствия из предположения о виде коммутационных соотношений подробно обсуждаются в книге.

Второй фундаментальной гипотезой, рассматриваемой в книге, является предположение о том, что существует более широкая по сравнению с изотопической группой симметрии сильных взаимодействий, включающая преобразования с изменением четности.

Считается, однако, что эта симметрия осуществляется непохожим на изотопическую инвариантность образом: она предполагает равенство нулю массы π -мезона и поэтому является приближенной; она объединяет в одном «мультиплете» бесконечное число состояний с различным числом π -мезонов с нулевой энергией. Эта симметрия устанавливает соотношения между амплитудами процессов с различным числом π -мезонов в пределе их нулевой полной энергии.

Ясно, что если такая симметрия есть, то можно ввести аксиальные токи a_μ^i , сохраняющиеся в пределе нулевой массы π -мезона, и предположить, что токи a_μ^i определяют аксиальную часть взаимодействия адронов с лептонами, простой вид коммутационных соотношений между токами a_μ^i и векторными, аксиальными зарядами.

Следствия из этих гипотез рассматриваются в первых трех главах, которые занимают большую часть книги. В первой главе излагаются основные гипотезы. В оригинальных статьях к этой главе приведены, в частности, выводы соотношения Гольдбергера — Треймана и Адлера — Вайсбергера. Безусловным упоминанием является отсутствие заметки Намбу (Phys. Rev. Lett. 4, 380 (1960)) о соотношении Гольдбергера — Треймана.

Во второй главе обсуждаются соотношения между амплитудами слабых и электромагнитных процессов с участием π -мезонов. Все результаты, как обсуждалось выше, справедливы в пределе равной нулю полной энергии π -мезонов. В этой главе рассматриваются процессы фоторождения π -мезонов, πN , $\pi\pi$ -рассеяние, распады $K \rightarrow 3\pi$, $K \rightarrow \pi\pi\pi$, $K \rightarrow 2\pi\pi$.

В третьей главе получены низкоэнергетические теоремы для матричных элементов от токов. Классической здесь является работа Лоу, в которой было показано, что матричный элемент испускания фотона с точностью до (удерживаемых) членов нулевого порядка по энергии фотона выражается через амплитуду нерадиационного процесса, а также заряды и магнитные моменты частиц. Обсуждается обобщение теоремы Лоу для матричных элементов аксиального тока.

Содержание первых трех глав составляет, по-видимому, в основном законченный раздел теоретической физики элементарных частиц, поскольку здесь обсуждаются только правила отбора различных взаимодействий относительно группы симметрии, включающей преобразования с изменением четности, и нет каких-либо принципиальных неясностей. Конечно, может оказаться, что симметрия, которая является только приближенной, неприменима для описания реальных процессов, но этот вопрос может быть решен только экспериментально. Также могут возникнуть трудности при извлечении из экспериментальных данных значения амплитуды в точке $E_\pi = 0$, если вблизи

этой точки есть какие-то сложные особенности. Решение этого (теоретического) вопроса, вообще говоря, не связано с алгеброй токов.

В последних четырех главах в той или иной степени затрагивается поведение матричных элементов токов при высоких энергиях и вводятся новые гипотезы. Известным правилом сумм, полученным на основе таких гипотез, является соотношение Кабиббо — Радикатти, связывающее величину изовекторного магнитного момента нуклона с интегралом по энергии от определенной комбинации сечений фоторождения π -мезонов с различными зарядами на нуклонах. Алгебра токов позволяет найти матричный элемент от двух слабых токов в пределе малых переданных лептонам импульсов. Такой процесс практически невозможно наблюдать экспериментально. Если же написать безвычитательное дисперсионное соотношение, то в мнимых частях удается с помощью изотопических соотношений перейти к амплитудам экспериментально наблюдаемого процесса фоторождения. Однако предположение о существовании безвычитательного дисперсионного соотношения остается необоснованным.

Соотношение Кабиббо — Радикатти обсуждается в четвертой главе, где также излагается общая процедура получения дисперсионных правил сумм, исходя из алгебры токов. В оригинальных статьях к этой главе дан, в частности, вывод правила сумм для сечений нейтринных реакций (Адлер) и неупругого рассеяния электрона на протоне (Бъеркен). Литературу к этой главе можно дополнить ссылками на работы В. Н. Грибова, Б. Л. Иоффе, В. М. Шехтера (Phys. Lett. 21, 457 (1966)), В. Н. Грибова, Б. Л. Иоффе, И. Я. Померанчука (Phys. Lett. 24B, 554 (1967)).

Отметим такой недостаток книги, как отсутствие ссылок на работы советских физиков. Правда, библиография книги невелика, но некоторые из их работ должны включаться в самые сокращенные списки литературы. Например, в третьей главе воспроизводится статья Дрелла и Хирна о дисперсионном правиле сумм для магнитного момента нуклона (Phys. Rev. Lett. 16, 231 (1966)), и даже не упоминаются работы Лапидуса и Чжоу Гуан-чжака (ЖЭТФ 41, 1546 (1961)), С. Б. Герасимова (ЯФ 2, 598 (1965)), где тот же результат был получен значительно раньше.

В пятой и шестой главах обсуждается возможность построения динамической теории сильных взаимодействий, исходя из алгебры токов. Основная мысль (неоднократно высказывавшаяся Гелл-Манном) состоит здесь в том, что одновременные коммутационные соотношения могут служить исходными уравнениями теории. В применениях, обсуждаемых в первых трех главах книги, считается, что есть группа симметрии, нарушение которой характеризуется тем или иным малым параметром и полученные результаты справедливы, как правило, в нулевом порядке по этим малым параметрам.

Может, однако, случиться, что симметрии нет (сильно нарушена), а коммутационные соотношения токов угаданы правильно. Было предложено два способа решения возникающих тогда уравнений. Один из них — насыщение дисперсионных правил сумм вкладом небольшого числа резонансов. При этом с опытом сравниваются предсказания о константах связи резонансов. Были предприняты также поиски алгебраических решений, т. е. такой системы состояний, обычно являющейся представлением какой-либо группы, на которых уравнения выполняются строго. Эти два подхода обсуждаются соответственно в пятой и шестой главах.

Наконец, в последней, седьмой, главе, излагается теорема Бъеркена, согласно которой матричный элемент токов в асимптотической области выражается через одновременный коммутатор токов. Отметим, что справедливость предположений, использованных Бъеркеном, исследовалась Вайнштейном и Иоффе (Письма ЖЭТФ 6, 917, (1967)).

Книга «Алгебра токов и ее применения в физике элементарных частиц» безусловно является полезной. Одним из ее достоинств является широта затронутых проблем. Иногда исходная точка зрения авторов носит несколько формальный характер, но следует иметь в виду, что книга написана по материалам статей, опубликованных до конца 1966 г., т. е. более двух лет назад.

В. И. Захаров