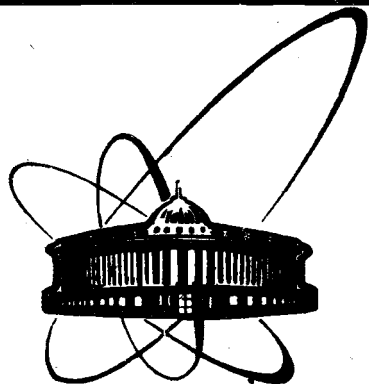


89-700



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

T 243

D2-89-700

Г.Г. Тахтамышев

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ОПЫТОВ
ПО НЕСОХРАНЕНИЮ ЧЕТНОСТИ

1989

Закон сохранения четности в рамках квантовой механики формулируется как коммутативность P -оператора и гамильтониана взаимодействия. Этот закон может рассматриваться как частный случай более общего принципа зеркальной симметрии. Мы сформулируем этот принцип в виде двух следующих правил:

1. Любая система, обладающая в какой-то момент времени зеркальной симметрией, будет сохранять такую симметрию всегда.
2. Существование в природе зеркально-асимметричных объектов предполагает наличие их зеркальных партнеров.

В данной работе, говоря о сохранении или несохранении четности, мы будем иметь в виду выполнение или невыполнение этих двух правил.

Известно, что опыт группы Ву, выполненный в 1956 году^{1/1}, был интерпретирован как свидетельство нарушения принципа зеркальной симметрии в нашем мире. Известно также, что никакого объяснения наблюдаемого в этом эксперименте эффекта до сих пор нет. Множитель $(1 + \gamma_5)$, который был введен в гамильтониан слабого взаимодействия, не имеет другого обоснования, кроме желания согласовать выводы теории с результатами эксперимента. Вывод, который, по мнению автора, следует из опыта Ву, можно сформулировать следующим образом. Электрический заряд не является больше дополнительным фундаментальным свойством материи, а имеет геометрическую природу. Элементарные частицы имеют внутреннюю структуру, они могут быть устроены либо левым, либо правым, либо зеркально-симметричным образом. Соответственно устройству, заряд частицы будет либо положительным, либо отрицательным, либо нулевым. Очевидно, что заряд, имеющий такую природу, является псевдоскаляром, так как меняет знак при зеркальном отражении. Если частицы устроены именно так, тогда опыт Ву не является нарушением принципов зеркальной симметрии. Иными словами, опыт Ву (и последующий опыт Фитча-Кронина) должны были заставить нас усомниться в той концепции частиц и зарядов, которая существовала до этих экспериментов. Согласно этой концепции, частица (и кварк в том числе) есть нечто маленькое, даже, может быть, точечное, несущее на себе заряды разного сорта: лептонный, электрический, барионный. В этой концепции заряд — первичное понятие, это просто качество, которым частица либо обладает, либо нет. Вопрос о природе заряда в такой концепции вообще не рассматривается.

В данной работе предлагается новая концепция, в которой известные нам заряды частицы объясняются ее пространственно-временной структурой. Взамен этих известных нам зарядов роль фундаментального играет некоторый новый, пока неизвестный нам заряд, которым обладают конститuentы частиц. Преимущество новой концепции в том, что она возвращает, или, по крайней мере, дает надежду на возвращение утраченных симметрий.

По-видимому, Вигнер^{12/} был первым, кто сформулировал альтернативный вариант трактовки опыта Ву без нарушения зеркальной инвариантности. Он высказал ту мысль, что частицы не обладают зеркальной симметрией (а следовательно, и определенной четностью). Так, зеркальное преобразование, сделанное над позитроном, переводит его в некоторое другое состояние, например, в электрон. В этом случае опыт Ву не нарушает ни одного из двух сформулированных нами правил: начальное состояние (поляризованный кобальт) не является симметричным, а зеркальный партнер каждой частицы — это античастица.

Такая трактовка во многом близка идее "комбинированной инверсии", которая была высказана несколькими авторами^{13/} почти сразу после эксперимента Ву. Существенное различие, однако, заключается в том, что только в работе Вигнера^{12/} содержится утверждение о том, что одно зеркальное преобразование (без дополнительного зарядового) может переводить частицу в античастицу и, следовательно, опыт Ву не является доказательством нарушения пространственной четности.

Как известно, эксперименты Фитча, Кронина и др.^{14/}, а также последовавшие за ними эксперименты продемонстрировали отсутствие симметрии между частицами и античастицами (CP-нарушение). Наиболее ярким в этой серии экспериментов явилось обнаружение зарядовой асимметрии в полулептонных распадах долгоживущих нейтральных каонов^{15/}. Этот эксперимент показал, что доля состояния K^0 в волновой функции K_L^0 -мезона превышает долю \bar{K}^0 .

Отметим, однако, что во всех этих экспериментах K_L^0 -мезоны получались в протон-ядерных или электрон-ядерных соударениях, т.е. начальное состояние было преимущественно K^0 . Поэтому вывод о нарушении CP-четности можно считать справедливым только, если справедливы наши сегодняшние представления о K^0 -мезонах, в частности, что K_L^0 -мезон есть суперпозиция только двух состояний: K^0 и \bar{K}^0 . Но наличие в природе только двух K^0 -мезонных состояний, — это не более, чем гипотеза, согласующаяся с сегодняшними экспериментальными данными. И именно эта гипотеза приводит нас к выводу об отсутствии симметрии между материей и антиматерией. Так как мы, следуя Вигнеру, признали антиматерию за зеркальное отображение материи, то нарушение CP-четности означает опять отсутствие зеркальной симметрии.

Ниже будет рассмотрена модель, сохраняющая зеркальную симметрию и не противоречащая существующим экспериментальным данным. Вернемся к следствию гипотезы Вигнера и дополним его еще одной гипотезой. А именно, предположим, что элементарные частицы (включая в это понятие и кварки и лептоны), имеют пространственно-временную структуру. Структура эта асимметрична, т.е. в результате P-, T- или PT-отражения мы получаем другие частицы, не совпадающие с исходной. Это означает, например, что у электрона должно быть три аналога (P-, T- и PT-аналоги), одним из которых является позитрон. Для наглядности рассмотрим возможную классическую модель такого электрона. Представим себе, что электрон состоит из некоторого числа движущихся частиц — конститuentов, причем конститuentы нейтральные, т.е. не обладают ни одним из трех основных зарядов (электромагнитным, сильным, слабым). В любой момент времени каждый конститuent характеризуется координатой \vec{r}_i и скоростью \vec{v}_i . Все свойства электрона определяются только числом конститuentов и законами их движения. В такой модели понятия P- и T-инверсии имеют простой наглядный смысл. При T-отражении меняют знак скорости частиц конститuentов, а при P-отражении — и скорости и координаты, поэтому для электрона, характеризующегося набором $\{\vec{r}_i(t), \vec{v}_i(t)\}$, T-аналог будет иметь набор $\{\vec{r}_i(t), -\vec{v}_i(t)\}$, P-аналог — набор $\{-\vec{r}_i(t), -\vec{v}_i(t)\}$, а PT-аналог — набор $\{-\vec{r}_i(t), \vec{v}_i(t)\}$.

Для дальнейших рассуждений несущественно, с каким именно аналогом электрона следует отождествить позитрон. Для определенности предположим, что позитрон — это T-аналог электрона, а P- и PT-аналоги — это представители новой, зеркальной материи, которую мы до сих пор не наблюдали.

Причина ненаблюдаемости зеркальной материи может заключаться в следующем. Согласно нашей гипотезе, заряды частиц определяются характером движения конститuentов. Можно предположить, что заряды зеркальной материи отличны от зарядов обычной материи и, таким образом, зеркальные частицы не взаимодействуют с нашими ни электромагнитным, ни сильным, ни слабым образом.

Рассмотрим теперь экспериментальные следствия гипотезы сохранения четности. Хотя зеркальные частицы не рождаются (или почти не рождаются) на современных ускорителях и не регистрируются нашими детекторами, они все же имеют общую природу с обычными частицами.

Существование зеркальных частиц должно проявиться, например, в физике K^0 -мезонов. Их собственные состояния будут теперь суперпозицией четырех каонов: K^0 , \bar{K}^0 , K_m^0 , \bar{K}_m^0 . Индексом m обозначены зеркальные каоны (от английского mirror — зеркало). Это означает, что обра-

зованный в какой-то реакции нейтральный каон через некоторое время t имеет возможность распадаться на зеркальные частицы. Такой процесс перехода между обычными и зеркальными каонами вполне аналогичен известному процессу перехода $K^0 \rightleftharpoons \bar{K}^0$ и вызван той же причиной — наличием общего для двух частиц взаимодействия. Переход обычного каона в зеркальное состояние может наблюдаться экспериментально — он должен вызывать нехватку регистрируемых каонов, например, при ассоциативном рождении пар $\Lambda^0 K^0$. Но численная оценка этого эффекта возможна лишь в рамках какой-то модели, в которой элементы матрицы смешивания имеют определенные значения. Такая модель в настоящее время отсутствует.

Есть, однако, эксперимент, с помощью которого гипотеза сохранения четности может быть проверена без привлечения дополнительных модельных предположений. Выше уже говорилось о наблюдаемой зарядовой асимметрии в полуплептонных распадах долгоживущих каонов. С точки зрения рассматриваемой гипотезы этот эффект может быть вызван только одной причиной — несимметричным начальным состоянием или, иными словами, тем, что каоны рождались в протон-ядерных или электрон-ядерных соударениях. Поэтому критическим экспериментом для гипотезы сохранения четности было бы измерение зарядовой асимметрии в распадах каонов, рожденных в электрон-позитронных или протон-антипротонных соударениях.

Результат эксперимента однозначно будет свидетельствовать, сохраняется ли четность или нарушается. В первом случае асимметрии не будет, во-втором она по величине и знаку будет такой же, как и в уже сделанных экспериментах.

Гипотеза существования зеркальной материи, близкая к рассматриваемой в настоящей работе, была предложена Л.Б.Окунем в 1968 г.¹⁶ Для проверки этой гипотезы предлагалось пропустить пучок нейтральных каонов через толстый слой вещества, в котором будут поглощены все обычные каоны. Если зеркальный мир существует, то обычный каон может перейти в зеркальное состояние, пройти через слой поглотителя, затем вернуться в обычное состояние и распасться на обычные частицы. К сожалению, такой опыт не был осуществлен.

Есть еще один класс экспериментов, в которых можно искать подтверждение гипотезы заряженной частицы, состоящей из нейтральных конститuentов. По-видимому, электрическое поле, создаваемое движущимися частицами, не будет сферически-симметричным. Поэтому экспериментальное обнаружение отклонения потенциала от сферически-симметричного можно было бы рассматривать как косвенное подтверждение предлагаемой гипотезы сохранения четности. В этой связи следует обратить внимание на предлагавшиеся ранее эксперименты такого сорта¹⁷.

Сформулируем в заключение основные положения данной работы. Каждый последующий пункт естественным образом следует из предыдущего.

1. Мы до сих пор не знаем причины асимметрии распада, наблюдавшейся в опыте Ву.
2. Можно понять результаты этого опыта, если предположить, что античастица является зеркальным аналогом частицы (Вигнер).
3. Опыт Фитча, Кронина и др. нарушает эту зеркальную симметрию.
4. Зеркальная и зарядовая симметрии существуют, если существует еще один вид материи, которая зеркальна по отношению к нашей. Античастицы в этом случае можно рассматривать как Т-аналог частиц.
5. Существование Р- и Т-аналогов можно объяснить пространственно-временной структурой частиц (кварков и лептонов).
6. Конкретным примером такой структуры является модель, в которой частицы состоят из движущихся нейтральных конститuentов, причем все свойства частицы определяются движением этих конститuentов.
7. Ненаблюдаемость зеркальной материи в этой модели объясняется существованием других зарядов (электрического, сильного, слабого), которые не взаимодействуют с нашими.
8. Критическим экспериментом для данной гипотезы сохранения четности является измерение зарядовой асимметрии в распадах нейтральных каонов при симметричном начальном состоянии (например, в протон-антипротонных соударениях).

Автор выражает искреннюю благодарность проф. В.А.Никитину за постоянную помощь и поддержку в процессе работы над этой публикацией. Автор благодарит Л.Г.Заставенко, Э.О.Оконова, Р.Ледницкого, В.М.Дубовика и В.Л.Любошица за стимулирующие дискуссии по вопросам, затронутым в данной работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wu C.S. et al. — Phys.Rev., 1957, 105, p. 1413.
2. Wigner E. — Rev.Mod.Phys., 1957, 29, p.255. (Русский перевод в кн.: Е.Вигнер "Этюды о симметрии", М.: Мир, 1971, с.67).

3. Ландау Л.Д. — ЖЭТФ, 1957, 32, с. 405;
Lee T.D., Oehme R., Yang C.N. — Phys. Rev., 1957, 106, p. 340;
Salam A. — Nuovo Cim., 1957, 5, p. 229.
4. Christenson J.H. et al. — Phys.Rev.Lett., 1964, 13, p. 138.
5. Dorfan D. et al. — Phys.Rev.Lett., 1967, 19, p. 987;
Bennet S. et al. — Phys. Rev. Lett., 1967, 19, p. 993.
6. Окунь Л.Б. — УФН, 1968, 95, вып. 3, с. 402.
7. Матора И.М. — ОИЯИ, P4-85-18, Дубна, 1985.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
Д1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. (2 тома)	7 р. 75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р. 00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р. 80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
Д3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1986.	4 р. 50 к.
—	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. (2 тома)	13 р. 50 к.
Д1,2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. (2 тома)	7 р. 35 к.
Д9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. (2 тома)	13 р. 45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986.	7 р. 10 к.
Д2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа - 86". Дубна, 1986.	4 р. 45 к.
Д4-87-692	Труды Международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем. Дубна, 1987.	4 р. 30 к.
Д2-87-792	Труды VIII Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987.	3 р. 55 к.
Д14-87-799	Труды II Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987.	4 р. 20 к.
Д17-88-95	Труды IV Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1987.	5 р. 20 к.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 октября 1989 года.