

НОБЕЛЕВСКИЕ ЛЕКЦИИ ПО ФИЗИКЕ 1979 ГОДА

539.12.01

**НА ПУТИ К ОБЪЕДИНЕННОЙ ТЕОРИИ — НИТИ В ГОБЕЛЕНЕ\*)***Ш. Глаشوу*

## ВВЕДЕНИЕ

В 1956 г., когда я начал заниматься теоретической физикой, наука об элементарных частицах напоминала лоскутное одеяло. Электродинамика, слабые взаимодействия и сильные взаимодействия были четко разграниченными дисциплинами, преподаваемыми и изучаемыми отдельно. Связной теории, которая бы описывала их в совокупности, не было. Такие достижения, как наблюдение несохранения четности, успехи квантовой электродинамики, открытие адронных резонансов и странности, были вполне определенными частями картины, но их было непросто подогнать друг к другу.

Положение вещей изменилось. Сегодня мы имеем, что называется, стандартную теорию в физике элементарных частиц, в которой все взаимодействия — сильные, слабые и электромагнитные — возникают из принципа локальной симметрии. Это до некоторой степени полная и, видимо, правильная теория, предлагающая качественное описание всех феноменов элементарных частиц и точные количественные предсказания во многих конкретных случаях. Нет экспериментальных данных, которые бы противоречили теории. Если еще и не на практике, то по крайней мере в принципе, все экспериментальные данные могут быть выражены в терминах малого числа «фундаментальных» масс и констант связи. Теория, которой мы сейчас располагаем, — это цельное произведение искусства. Лоскутное одеяло превратилось в гобелен.

Гобелены создает много мастеров, работающих вместе. Из законченной работы невозможно выделить вклады отдельных работников, а пропущенные или неверные нити перекрыты другими. То же и в нашей картине физики частиц. Одна часть картины — объединение слабых и электромагнитных взаимодействий и предсказание нейтральных токов, отмечаемое сейчас присуждением Нобелевской премии. Другая часть связана с убедительной эволюцией кварковой гипотезы от чистой фантазии к установившейся догме. Еще одна часть — развитие квантовой хромодинамики и превращение ее в мощную, предсказательную и внушающую доверие теорию сильных взаимодействий. Все соткано вместе и переплетено в гобелене; один кусок имеет мало смысла без другого. Поэтому и развитие электрослабой теории было не таким простым и прямым, как это могло бы быть. Она не возникла, вспыхнув целиком в уме одного или даже трех

\*) Sh. L. G l a s h o w. Towards a Unified Theory — Threads in a Tapestry: Nobel Lecture, December 8, 1979. — Перевод В. Ю. Цейтлина.

© The Nobel Foundation 1980.

© Перевод на русский язык, издательство «Наука» Главная редакция физико-математической литературы, «Успехи физических наук», 1980.

физиков, а является результатом коллективных усилий многих ученых — и экспериментаторов, и теоретиков.

Подчеркну, что я не верю в то, что стандартная теория долго продержится в качестве правильной и полной физической картины. Взаимодействия могут иметь калибровочную природу, но при этом они, конечно, должны лежать внутри единой объединяющей их группы. Из такого предположения, по-видимому, следует существование нового очень слабого взаимодействия, приводящего к распаду протонов, и вся материя, таким образом, оказывается внутренне нестабильной: можно наблюдать ее распад. Такого рода синтез слабых, сильных и электромагнитных взаимодействий называется «великой объединенной теорией», однако, теория не является ни великой, ни объединенной, пока она не включает описание гравитационных явлений. Мы все еще далеки от по-настоящему величественной эйнштейновской идеи.

Физика прошлого столетия характеризовалась частыми, но непредвиденными экспериментальными открытиями крупного масштаба. Если стандартная теория правильна, то такие времена подошли к концу. Осталось открыть только несколько важных частиц, и многие их свойства, как утверждается, известны заранее. Конечно, ход вещей не может быть таким, ибо Природа должна приберечь для нас сюрпризы про запас.

Тем не менее стандартная теория будет полезной в грядущие годы. Простой и элегантный синтез пришел теперь на смену недоумению прошлого. Стандартная теория может выжить в качестве части окончательной теории либо может оказаться фундаментально неправильной. В любом случае она останется важным промежуточным пунктом, и последующая теория должна будет ее превзойти.

В этом выступлении я не буду пытаться описать весь гобелен или даже ту его часть, которую представляет электрослабое объединение и его эмпирический триумф. Я, скорее, расскажу о нескольких старых нитях, в большинстве своем заново перетканых, но тесно связанных с моими собственными исследованиями. Моей целью является не столько объяснить, кто, что и когда сделал, сколько подойти к более сложному вопросу, почему ход вещей был именно таким. Я также прослежу за некоторыми новыми нитями, которые могут дать направление дальнейшего развития.

### РАННИЕ МОДЕЛИ

В 20-е годы все еще верили в то, что есть только два вида фундаментальных взаимодействий: гравитация и электромагнетизм. Пытаясь объединить их, Эйнштейн в то время мог надеяться сформулировать универсальную физическую теорию. Однако изучение атомного ядра вскоре вскрыло необходимость в двух дополнительных взаимодействиях: сильном, — чтобы ядро существовало как таковое, и слабом, — чтобы дать ему возможность распадаться. Юкава задался вопросом, не существует ли глубокой аналогии между этими новыми силами и электромагнетизмом. Все силы, говорил он, должны возникать в результате обмена мезонами. Первоначально подразумевалось, что его гипотетические мезоны переносят как сильные, так и слабые взаимодействия: они были сильно связаны с нуклонами и слабо связаны с лептонами. Это первая попытка объединить сильные и слабые взаимодействия опередила свое время на сорок лет. Более того, Юкава мог предсказать существование нейтральных токов. Его нейтральный мезон, необходимый для обеспечения зарядовой независимости ядерных сил, был слабо связан и с лептонными парами.

Электромагнетизм переносится фотонами и возникает из требования локальной калибровочной инвариантности. Эта концепция была обобщена

в 1954 г. для применения к неабелевым группам локальной симметрии<sup>1</sup>. Вскоре стало ясно, что между электромагнетизмом и другими взаимодействиями может существовать гораздо более далеко идущая аналогия. Эти взаимодействия тоже могут возникать из калибровочного принципа.

В этом пункте возникает некоторая проблема. Все калибровочные мезоны должны быть безмассовыми, тем не менее единственный безмассовый мезон — это фотон. Как получают массы остальные калибровочные бозоны? Хорошего ответа на этот вопрос не было вплоть до появления работ Вайнберга и Салама<sup>2</sup>, как показано 'т Хоофтом<sup>3</sup> (для спонтанно нарушенных калибровочных теорий), и Гросса, Вильчека и Политцера<sup>4</sup> (для ненарушенных калибровочных теорий). До появления этих работ массы калибровочных мезонов должны были вводиться *ad hoc*.

В 1960 г. Сакураи предложил, что сильные взаимодействия должны возникать из калибровочного принципа<sup>5</sup>. Применяя конструкцию Янга — Миллса к группе симметрии изоспина-гиперзаряда, он предсказал векторные мезоны  $\rho$  и  $\omega$ . Это была первая феноменологическая калибровочная теория  $SU(2) \times U(1)$ . Она была расширена до локальной  $SU(3)$  Гелл-Манном и Нееманом в 1961 г.<sup>6</sup>. Однако эти ранние попытки сформулировать калибровочную теорию сильных взаимодействий были обречены на провал. Говоря на современном жаргоне, в них в качестве существенной динамической переменной использовался «аромат» вместо скрытого и тогда еще не известного «цвета». Тем не менее, эти работы подготовили почву для появления квантовой хромодинамики десятилетием позднее.

Ранние работы по ядерному бета-распаду, казалось, говорили о том, что соответствующее взаимодействие является смесью скалярной, тензорной и псевдоскалярной компонент. Только после обнаружения несохранения четности и разоблачения нескольких неверных экспериментов стало по-настоящему ясно, что слабое взаимодействие в действительности имеет векторно-аксиальную форму. Понимание, внесенное работами Фейнмана и Гелл-Манна, а также Маршака и Сударшана, с необходимостью представило представление о калибровочном характере слабых взаимодействий<sup>7</sup>. Бладмен сформулировал первую  $SU(2)$ -калибровочную теорию слабых взаимодействий в 1958 г.<sup>8</sup>. Не делалось никаких попыток охватить электромагнетизм. Модель включала в себя общепринятые взаимодействия заряженных токов и, вдобавок, набор взаимодействующих нейтральных токов. Константы связи и форма последних воспроизводили современную теорию в пределе, когда слабые углы смешивания стремятся к нулю. Разумеется, теория одних только слабых взаимодействий не могла быть сделана перенормируемой. Для этого слабые взаимодействия должны быть объединены с электромагнитными.

Еще в 1956 г. Швингер считал, что слабые и электромагнитные взаимодействия должны сообща входить в единую калибровочную теорию<sup>9</sup>. При этом заряженный массивный промежуточный бозон и безмассовый фотон должны были быть калибровочными мезонами. Будучи его учеником, я принял эту веру. В своей диссертации 1958 г. в Гарварде я писал: «Немногого стоит потенциально перенормируемая теория бета-процессов без перспективы одновременно описать перенормируемую электродинамику. Надо полагать, что полностью приемлемая теория может быть построена, если рассматривать эти взаимодействия совместно»<sup>10</sup>. Мы использовали первоначальное калибровочное  $SU(2)$ -взаимодействие Янга и Миллса. Все должно было быть устроено так, что заряженный, а не нейтральный (электромагнитный) ток нарушал бы четность и странность. Технически такую теорию сконструировать можно, но она и уродлива, и неправильна с точки зрения эксперимента<sup>11</sup>. Теперь мы знаем, что нейтральные

токи действительно существуют и электрослабая калибровочная группа должна быть шире, чем  $SU(2)$ .

Другая идея электрослабого синтеза без нейтральных токов была выдвинута Саламом и Уордом в 1959 г.<sup>12</sup> Они также потерпели фиаско в попытках объяснить экспериментальный факт нарушения четности. Между прочим, в продолжение своей работы они предложили в 1961 г. калибровочную теорию сильных, слабых и электромагнитных взаимодействий, основанную на локальной группе симметрии  $SU(2) \times SU(2)$ <sup>13</sup>. Это было замечательным предзнаменованием  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$  — модели, принятой сейчас.

Мы подходим к результатам, полученным мною в Копенгагене в 1960 г.<sup>14</sup> и независимо Саламом и Уордом<sup>15</sup>. Было в конце концов обнаружено, что для описания электрослабых взаимодействий необходима более широкая, чем  $SU(2)$ , калибровочная группа. Для Салама и Уорда мотивом была неотразимая красота калибровочной теории. Мне же казалось, что я вижу путь к созданию перенормируемой схемы. К группе  $SU(2) \times U(1)$  я пришел по аналогии с приближенной изоспин-гиперзарядовой симметрией, характеризующей сильные взаимодействия. В моей модели было два электрически нейтральных промежуточных бозона: безмассовый фотон и массивный нейтральный векторный мезон, который я назвал  $V$  и который теперь известен как  $Z$ . Угол слабого смешивания определял линейную комбинацию генераторов группы  $SU(2) \times U(1)$ , которая соответствовала  $V$ . Точная форма предсказанного взаимодействия нейтральных токов была подтверждена недавними экспериментальными данными. Однако константа взаимодействия нейтральных токов не фиксировалась, а модель фактически не была перенормируемой. Только работы Салама и Вайнберга и последующее доказательство перенормируемости исправили эти кричащие упущения. Кроме того, модель являлась моделью лептонов — она не могла быть явно распространена на адроны.

#### ПЕРЕНОРМИРУЕМОСТЬ

В конце 50-х годов, благодаря, в частности, работам Салама, было известно, что квантовая электродинамика и псевдоскалярная теория мезонов перенормируемы. Ни одно из принятых тогда описаний слабых взаимодействий — с помощью заряженных промежуточных векторных бозонов либо прямого четырехфермионного взаимодействия — не удовлетворяло этому существенному критерию. Моя диссертация в Гарварде, выполненная под руководством Юлиана Швингера, была выдержана в духе веры моего учителя в объединенную электрослабую калибровочную теорию. Я нашел некоторые основания считать, что такая теория менее сингулярна, чем ее альтернативы. Г. Файнберг, работая с заряженными промежуточными векторными мезонами, обнаружил, что определенный тип расходимостей сокращается для специального выбора величины аномального магнитного момента мезона<sup>16</sup>. Эта величина отвечала не «минимальному электромагнитному взаимодействию», а магнитным свойствам, требуемым калибровочной теорией. Цоу Куосьен изучал предел нулевой массы в электродинамике заряженных векторных мезонов<sup>17</sup>. И снова разумный результат был получен только для очень специального выбора магнитного дипольного момента и электрического квадрупольного момента, как раз тех величин, которые предполагает калибровочная теория. Было ли случайным совпадением, что электромагнетизм заряженного векторного мезона был наименее патологическим именно в калибровочной теории?

Воодушевленный этими частными случаями, я написал печально известную статью<sup>18</sup>. Я утверждал, что калибровочная теория с мягким

нарушением симметрии, обеспечиваемым явными массовыми членами, перенормируема. Было быстро показано, что это неправильно.

В 1970 г. снова Илиопулос и я показали, что широкий класс ожидаемых в такой калибровочной теории расходимостей сокращается<sup>19</sup>. Мы показали, что ожидаемые из наивных соображений расходимости порядка  $(\alpha\Lambda^4)^n$  сводятся «просто» к  $(\alpha\lambda^2)^n$ , где  $\Lambda$  — импульс обрезания. Это была, вероятно, наиболее сложная теорема, когда-либо доказанная Илиопулосом или мной. Тем не менее наши труды пропали даром. Весной 1971 г. Велтман информировал нас о том, что его ученик Герхарт 'т Хоофт установил перенормируемость спонтанно нарушенной калибровочной теории.

Я трудился в поте лица в погоне за перенормируемостью, но проглядел свой шанс. Калибровочная симметрия является точной симметрией, но она спрятана. Вводить массовые члены «руками» нет необходимости. Ключом к проблеме является идея спонтанного нарушения — работа Голдстоуна в том виде, как она была распространена на калибровочные теории Хиггсом и Кибблом в 1964 г.<sup>20</sup> Эти люди никогда не думали применять свои результаты из области формальной теории поля к феноменологически пригодной модели. У меня было много бесед с Голдстоуном и Хиггсом в 1960 г. Пренебрег ли я упоминанием о своей  $SU(2) \times U(1)$ -модели в разговорах с ними, или они попросту забыли об этом?

И Вайнберг, и Салам оба имели большой опыт работы в формальной теории поля и оба они сотрудничали с Голдстоуном в исследовании спонтанного нарушения симметрии. В ретроспективе, нет ничего удивительного, что именно они впервые применили этот ключ. Их  $SU(2) \times U(1)$ -калибровочная симметрия была спонтанно нарушена. Массы  $W$  и  $Z$  и природа эффектов нейтральных токов зависели от единственного измеримого параметра, а не от двух, как в моей перенормируемой модели. Сила взаимодействия нейтральных токов предсказывалась правильно. Смелое предположение Вайнберга — Салама о перенормируемости было доказано в 1971 г. Нейтральные токи были открыты в 1973 г.<sup>21</sup>, но вплоть до 1978 г. было неясно, имеют ли они в точности предсказанные свойства<sup>22</sup>.

#### НЕЙТРАЛЬНЫЙ ТОК, ИЗМЕНЯЮЩИЙ СТРАННОСТЬ

В период с 1961 по 1970 гг. я, более или менее, оставил идею электро-слабой калибровочной теории. Тому было несколько причин. Одна из них — провал моего кавалерийского наскока на перенормируемость. Другая — возникновение эмпирически успешного описания сильных взаимодействий — схемы унитарной  $SU(3)$ -симметрии Гелл-Манна и Неемана. Первоначально эта теория была сформулирована как калибровочная теория с  $\rho$ ,  $\omega$  и  $K^*$  в качестве калибровочных мезонов. Совершенно невозможно было представить себе, как сильные, и слабые взаимодействия могли бы одновременно описываться калибровочными теориями: для коммутирующих структур, отвечающих слабым и сильным токам, попросту не хватало места. Кто мог тогда предвидеть успех кварковой модели и перемещение  $SU(3)$  с арены аромата на арену цвета? Предсказания унитарной симметрии подтверждались — предсказанная  $\Omega^-$ -частица была обнаружена в 1964 г. Успешно применялась алгебра токов. На сцене доминировали сильные взаимодействия.

Когда в 1960 г. я пришел к  $SU(2) \times U(1)$ -модели, я обсуждал возможность ее расширения для включения адронов. Конструировать модель одних лептонов казалось бессмысленным: ядерный бета-распад, в конце концов, был первой и наиглавнейшей проблемой. В этой связи казалась ясной одна вещь — то, что нарушение странности заряженным током вызовет также нарушение странности и нейтральным током. Тогда уже было

известно, что нейтральные токи с изменением странности либо отсутствуют, либо сильно подавлены. Отсюда я заключил, что  $Z^0$  должен был быть сделан гораздо тяжелее, чем  $W^\pm$ . Это был акт произвола, но это было допустимо в те дни: механизм нарушения симметрии был неизвестен. Я «решил» проблему нейтрального тока, изменяющего странность, подавив все нейтральные токи — ребенок был выплеснут вместе с водой.

На короткое время я вернулся к вопросу о калибровочной теории слабых взаимодействий в сотрудничестве с Гелл-Манном в 1961 г.<sup>23</sup> Исходя из развитых незадолго до того идей алгебры токов, мы показали, что калибровочная теория слабых взаимодействий неизбежно должна столкнуться с проблемой нейтральных токов, изменяющих странность. Мы сделали вывод, что нечто существенное упускается из виду. Так оно в действительности и было. Только после изобретения кварков могла возникнуть идея четвертого кварка и ГИМ-механизма.

В период с 1961 по 1964 гг. Сидней Коулмен и я посвятили себя разработке схемы унитарной симметрии. Весной 1964 г. я находился в короткой командировке в Копенгагене, где мы с Бьеркеном предложили дополнить систему трех кварков Гелл-Манна и Цвейга до четырех<sup>24</sup> (у других исследователей в это же время появилась та же идея). Мы назвали четвертый кварк очарованным. Мотивация его введения базировалась отчасти на наших ошибочных представлениях об адронной спектроскопии. Но нам хотелось также усилить аналогию между слабыми лептонным и адронным токами. Мы полагали, что так как имелось два слабых дублета лептонов, слабых кварковых дублетов должно быть тоже два.

Слабый ток, введенный Бьеркеном и мной в 1964 г., был в точности ГИМ-током. Соответствующий нейтральный ток, как мы заметили, сохранял странность. Если бы мы ввели эти токи в предшествующую электрослабую теорию, мы бы решили проблему нейтральных токов с изменением странности. Мы этого не сделали. Я почти полностью забыл свои прежние идеи об электрослабом синтезе. Проблема, которая, в принципе, была поставлена в 1961 г., была решена, тоже в принципе, в 1964 г. Но никто не знал об этом, и менее всех я. Возможно, мы все были одурманены химерой релятивистской  $SU(6)$ , возникшей, чтобы затуманить умы теоретиков, примерно в это время.

Пятью годами позже Джон Илиопулос, Лучано Майани и я вернулись к вопросу о нейтральных токах, изменяющих странность<sup>25</sup>. Сейчас кажется невероятным, что эту проблему полностью игнорировали столь длительное время. Мы показывали, что в любой из известных моделей слабых взаимодействий — четырехфермионной схеме, моделях заряженных векторных мезонов или электрослабой калибровочной теории, — следует ожидать появления ненаблюдаемых эффектов (большой разности масс  $K_1$  и  $K_2$ , распадов типа  $K \rightarrow \nu\bar{\nu}$  и т. д.). Мы работали с использованием обрезаний, так как в то время не была известна перенормируемая теория. Было показано, как исключаются нежелательные эффекты в предположении существования четвертого кварка. Проблема правил отбора для нейтрального тока, чахнувшая десять лет, была, наконец, решена. Конечно, не все верили тогда в существование предсказанных очарованных адронов.

Эта наша работа была сделана спустя полных три года после эпохальной работы Вайнберга и Салама и рассказывалась на семинарах в Гарварде и МТИ. Ни я, ни мои сотрудники, ни Вайнберг не ощутили связи между ними. Мы не ссылались, и нас не просили ссылаться на работу Вайнберга — Салама в нашей статье.

Соответствие стало очевидным только годом позже. Благодаря работам 'т Хоофта, Велтмана, Бенджамена Ли и Зинн-Жюстена стало ясно, что аналог Вайнберга — Салама фактически был перенормируемой теорией.

С помощью ГИМ он из модели лептонов тривиально превращался в теорию слабых взаимодействий. Слово теперь было за экспериментаторами. В течение нескольких лет были обнаружены очарованные адроны и нейтральные токи; и те, и другие имели в точности предсказанные свойства.

#### ОТ УСКОРИТЕЛЕЙ — В ШАХТЫ

Пионы и странные частицы были открыты в пассивных экспериментах, использовавших естественный поток космических лучей. Однако за последние тридцать лет большинство открытий в физике частиц было сделано активным методом, с помощью искусственных ускорителей частиц. Пассивное экспериментирование из-за недостатка средств и интереса находится в состоянии застоя. Но недавние достижения в теоретической физике частиц и астрофизике могут означать, что мы близки ко второму рождению пассивного эксперимента. Концентрация практически всех усилий в физике высоких энергий в малом числе главных ускорительных лабораторий может оказаться делом прошлого.

Это не означает, что большие ускорители начинают отмирать. Они останутся существенным и даже исключительным инструментом в физике высоких энергий. Не следует забывать, что существование  $Z^0$  при  $\sim 100$  ГэВ является важнейшим, но полностью непроверенным предсказанием электрослабой теории. На ускорителях будут сделаны и другие драматические открытия, и отнюдь не всегда они будут заранее предсказаны теоретиками. Сооружение новых машин типа ЛЭП или «Изабелла» является обязательным \*).

Обратимся к успехам электрослабого синтеза и тому факту, что единственная правдоподобная теория сильных взаимодействий также калибровочная. Надо полагать, что в конечном счете сильные, слабые и электромагнитные взаимодействия объединяются. Было показано, что сильная и электрослабая калибровочные группы могут быть помещены в более широкую, но простую калибровочную группу<sup>27</sup>. Идея гранд-объединения — возможно, в духе нашей с Джорджи первоначальной SU(5)-теории, — по существу, должна быть правильной. Отсюда следует, что протону, а в действительности и всей ядерной материи должна быть присуща нестабильность. Сейчас начаты высокочувствительные эксперименты по поиску распада протона. Если, как показывают теоретические оценки, время жизни протона меньше  $10^{32}$  лет, то наблюдение его распада не заставит себя долго ждать.

Если эффект будет обнаружен (а я в этом несколько не сомневаюсь), то возникнет необходимость проведения дальнейших экспериментов, чтобы точно установить моды распада нуклонов. Должны быть установлены правила отбора, углы смешивания и пространственно-временная структура нового класса эффективных четырехфермионных взаимодействий. Повторятся героические дни открытия природы бета-распада.

Последующие эксперименты по распаду протона, в отличие от первого их поколения, уже не будут дешевыми. Будет происходить соревнование между активными и пассивными экспериментами за истощающиеся ресурсы.

В детальных пассивных экспериментах может проявиться новая физика и другого рода. Сегодняшние теоретики предполагают моды распада протона, которые изменяют на единицу как барионное, так и лептонное число. Возможно, что закон  $\Delta B = \Delta L = 1$  будет выполняться. Воз-

\*) См., например, статьи Б. Рихтера: УФН, 1980, т. 130, с. 707, 717.— (Прим. перев.)

можно, будут обнаружены переходы с  $\Delta B = -\Delta L$ . Возможно, как полагают Пати и Салам, протон будет распадаться на три лептона. Возможно, два нуклона будут аннигилировать в  $\Delta B = 2$ -переходах. Могут быть обнаруженными эффекты нейтринных осцилляций, возникающие из-за массы нейтрино порядка долей электрон-вольта. Сверхтяжелые изотопы, которые могут присутствовать в малых концентрациях в земной коре, могли бы выдать себя высокоэнергетическими распадами. Могут быть замечены нейтринные взрывы, возникающие при отдаленных астрономических катастрофах. Список может быть бесконечным, а может быть пустым. Крупные пассивные эксперименты, типа тех, что мы сейчас вообразили, никогда ранее не проводились. Кто может сказать, какие результаты они принесут?

#### ОРТОДОКСАЛЬНОСТЬ ПРЕЖДЕВРЕМЕННА

Открытие  $J/\psi$  в 1974 г. укрепило веру в систему, включающую ровно четыре кварка и четыре лептона. Однако очень скоро после этого был открыт третий заряженный лептон ( $\tau$ ) и появились свидетельства в пользу третьего кварка с  $Q = -1/3$  (b-кварк). Оба открытия были классическими сюрпризами. Моментально вошло в моду помещать известные фермионы в семейства или поколения:

$$\begin{bmatrix} u & \nu_e \\ d & e \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} c & \nu_\mu \\ s & \mu \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} t & \nu_\tau \\ b & \tau \end{bmatrix},$$

предсказывается третий кварк с  $Q = 2/3$  (t-кварк), схема Кабиббо-ГИМ распространяется на систему из шести кварков. Трехсемейная система стала основой для многочисленных и смелых теоретических построений. К примеру, было написано множество статей, устанавливающих экспериментальные ограничения на четыре параметра, которые заменяют в шести-кварковой схеме угол Кабиббо.

Единственное, что здесь хочется иметь, — это экспериментальное подтверждение. Возникла новая ортодоксия, в пользу которой мало свидетельств и в которую я слабо верю.

Предсказанный t-кварк не найден. Тогда как масса ипсилон меньше 10 ГэВ, аналогичная  $\bar{t}t$ -частица, если она вообще есть, должна быть тяжелее 30 ГэВ. Возможно, она не существует.

Говард Джорджи и я (и другие до нас) работали над моделями без t-кварка<sup>28</sup>. Мы полагаем, что этот неортодоксальный взгляд столь же привлекателен, как и его альтернатива. И он дает множество волнующих экспериментальных возможностей.

Мы предполагаем, что b и  $\tau$  несут общее квантовое число типа барионного, которое, по существу, точно сохраняется. (Разумеется, оно может не сохраняться в той же степени, в которой ожидается несохранение барионного числа.) Значит, система b и  $\tau$ , по предположению, отличается от более легких четверок кварков и лептонов. В частности, отсутствует смешивание между b и d или s. Первоначальная ГИМ-структура остается нетронутой. Обеспечить распад b призван дополнительный механизм, который отсутствует в калибровочной теории.

Одна возможность заключается здесь во введении дополнительного калибровочного SU(2)-взаимодействия, с эффектами которого мы пока не сталкивались. Оно могло бы приводить к таким распадам b, как

$$b \rightarrow \tau^+ + (e^- \text{ или } \mu^-) + (d \text{ или } s).$$

Все распады b приводили бы тогда к рождению пар лептонов, включая  $\tau^+$  или его нейтрального партнера. Имеются также и другие возмож-



ности, которые предсказывают столь же причудливые распадные схемы для  $b$ -материи. Экспериментально еще неизвестно, как распадается  $b$ -кварк, но скоро это станет ясным.

Мы обращаемся к новой  $SU(2)$ -теории для объяснения не только  $b$ -распада, но и  $CP$ -нарушения. Для того чтобы удовлетворить эксперименту, должны существовать три добавочных массивных нейтральных векторных бозона и они не могут быть слишком тяжелыми. Один из них может рождаться в  $e^+e^-$ -аннигиляции, вдобавок к ожидаемому  $Z^0$ . Наша модель изобилует экспериментальными предсказаниями, например: второй  $Z^0$ , более тяжелый вариант  $b$  и  $\tau$ , рождение  $t\bar{b}$  в  $ep$ -столкновениях и существование тяжелых нейтральных нестабильных лептонов, которые могут рождаться и детектироваться в  $e^+e^-$ -или  $\nu p$ -соударениях.

Здесь не место детально описывать наши воззрения (тем не менее, я мимоходом должен заметить, что наша схема точно укладывается в теорию великого объединения, основанную на исключительной группе  $E_6$ ). Я хочу сказать только, что еще слишком рано убеждать себя, что нам известно будущее физики частиц. Имеется слишком много пунктов, в которых традиционная картина может быть неправильной или неполной. Калибровочная  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ -теория с тремя семействами, безусловно, хорошее начало, но ее нужно не безоговорочно принимать, а атаковать, расширять и эксплуатировать. Мы еще далеки от конца.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Я хочу поблагодарить Нобелевский комитет за величайшую для ученого честь, пожалованную мне. Есть много людей, без которых никогда не была бы сделана моя работа. Разрешите мне поблагодарить моих научных коллег, в особенности Джеймса Бьеркена, Сиднея Коулмена, Альваро де Рухулу, Говарда Джорджи, Джона Илиопулоса и Лучано Майани; Институт Нильса Бора и Гарвардский университет за их гостеприимство во время моих занятий электрослабыми взаимодействиями, Юлиана Швингера в первую очередь за то, что он научил меня, как заниматься научными исследованиями; систему публичных школ города Нью-Йорка, Корнелльский и Гарвардский университеты за мое формальное образование; моих друзей по высшей школе, Гэри Файнберга и Стивена Вайнберга за то, что под их влиянием я очень быстро изучил многие из вещей, которыми иначе я мог никогда не овладеть; моих родителей и двух моих братьев за постоянную поддержку моей детской мечты стать ученым. Наконец, я хочу поблагодарить мою жену и моих детей за тепло их любви.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Yang C. N., Mills R. — Phys. Rev., 1954, v. 96, p. 191.  
Также: Shaw R. (unpublished).
2. Weinberg S. — Phys. Rev. Lett., 1967, v. 19, p. 1264.  
Salam A. — In: Elementary Particle Physics/Ed. N. Svartholm. — Stockholm: Almqvist and Wiksells, 1968.
3. 't Hooft G. — Nucl. Phys. Ser. B, 1971, v. 33, p. 173.  
Lee B. W., Zinn-Justin J. — Phys. Rev. Ser. D, 1972, v. 5, p. 3121.  
't Hooft G., Veltman M. — Nucl. Phys. Ser. B, 1972, v. 44, p. 189.
4. Gross D. J., Wilczek F. — Phys. Rev. Lett., 1973, v. 30, p. 1343.  
Politzer H. D. — Ibid., p. 1346.
5. Sakurai J. J. — Ann. of Phys., 1960, v. 11, p. 1.
6. Gell-Mann M., Neeman Y. The Eightfold Way. — N.Y.: W. A. Benjamin, 1964.
7. Feynman R., Gell-Mann M. — Phys. Rev., 1958, v. 109, p. 193.  
Marshak R., Sudarshan E. C. G. — Ibid., p. 1860.
8. Bludman S. — Nuovo Cimento Ser. 10, 1958, v. 9, p. 433.

9. Schwinger J.— Ann. of Phys., 1958, v. 2, p. 407.
10. Glashow S. L. Harvard University Thesis.— 1958.— P. 75.
11. Georgi H., Glashow S. L.— Phys. Rev. Lett., 1972, v. 28, p. 1494.
12. Salam A., Ward J.— Nuovo Cimento, 1959, v. 11, p. 568.
13. Salam A., Ward J.— Ibid., 1961, v. 19, p. 165.
14. Glashow S. L.— Nucl. Phys., 1961, v. 22, p. 579.
15. Salam A., Ward J.— Phys. Lett., 1964, v. 13, p. 168.
16. Feinberg G.— Phys. Rev., 1958, v. 110, p. 1482.
17. Tzou Kuo-Hsien — C.R. Ac. Sci., 1957, t. 245, p. 209.
18. Glashow S. L.— Nucl. Phys., 1959, v. 10, p. 107.
19. Glashow S. L., Iliopoulos J.— Phys. Rev. Ser. D, 1971, v. 3, o. 1043.
20. Brout R., Englert F., Goldstone J., Guralnik G., Hagen C., Higgs P., Jona-Lasinio G., Kibble T., Nambu Y.
21. Hasett F. J. et al.— Phys. Lett. Ser. B, 1973, v. 46, p. 138; Nucl. Phys., 1974, v. 73, p. 1.  
Benvenuti A. et al.— Phys. Rev. Lett., 1974, v. 32, p. 800.
22. Prescott C. Y. et al.— Phys. Lett. Ser. B, 1978, v. 77, p. 347.
23. Gell-Mann M., Glashow S. L.— Ann. of Phys., 1961, v. 15, p. 437.
24. Bjorken J., Glashow S. L.— Phys. Lett., 1964, v. 11, p. 84.
25. Amati D. et al.— Nuovo Cimento, Ser. A, 1964, v. 34, p. 1732.  
Hara Y.— Phys. Rev. Ser. B, 1964, v. 134, p. 701.  
Okun L. B.— Phys. Lett., 1964, v. 12, p. 250.  
Maki Z., Ohnuki Y.— Progs. Theor. Phys., 1964, v. 32, p. 144.  
Nauenberg M. (unpublished).
- Teplitz V., Tarjanne P.— Phys. Rev. Lett., 1963, v. 11, p. 447.
26. Glashow S. L., Iliopoulos J., Maiani L. Phys. Rev. Ser. D, 1970, v. 2, p. 1285.
27. Georgi H., Glashow S. L.— Phys. Rev. Lett., 1974, v. 33, p. 438.
28. Georgi H., Glashow S. L. Harvard Preprint HUTP-79/A053.