Из книги:

[**Джим Бэгготт**](http://bookz.ru/authors/djim-beggott.html).

**Бозон Хиггса. От научной идеи до открытия «частицы Бога»**

**М. Центрполиграф, 2014**

……

Чтобы создать квантовую теорию поля для сильного взаимодействия, сначала нужно было выяснить, что именно сохраняется при сильных взаимодействиях и с каким непрерывным преобразованием симметрии это связано.

Китайский физик Янг Чжэньнин считал, что количество, которое сохраняется при сильных взаимодействиях в ядре, – это изоспин.

Янг родился в 1922 году в Хэфэе, административном центре восточнокитайской провинции Аньхой. Он учился в Куньмине в Национальном юго-западном объединенном университете, образованном из Университета Цинхуа, Пекинского и Нанькайского университетов после вторжения японских сил в Китай в 1937 году. Янг закончил университет в 1942 году и через два года получил степень магистра. Стипендия, так называемая «боксерская контрибуция», позволила ему в 1946 году отправиться в Чикагский университет.

В Чикаго он изучал ядерную физику под руководством Эдварда Теллера. Вдохновленный автобиографией американского изобретателя и политика Бенджамина Франклина, он взял себе второе имя Франклин, или для краткости Фрэнк. В 1948 году Янг получил докторскую степень и следующий год проработал ассистентом у Ферми. В 1949 году он перебрался в Институт перспективных исследований в Принстоне.

Именно в Принстоне он задумался над тем, как применить теорему Нетер для разработки квантовой теории поля для сильного взаимодействия.

Концепция изоспина, или изотопического спина, выросла из того простого факта, что массы протона и нейтрона очень близки. После открытия нейтрона в 1932 году возникло объяснимое предположение, что это составная частица из протона и электрона. Было хорошо известно, что при бета-распаде происходит выброс высокоскоростного электрона прямо из ядра, в процессе чего нейтрон превращается в протон. Казалось, это означает, что в бета-распаде один из составных нейтронов как бы сбрасывает «приклеенный» к нему электрон.

Вскоре после открытия нейтрона Гейзенберг использовал ту идею, что нейтрон состоит из протона с электроном, для разработки модели протон-нейтронных взаимодействий в ядре. Она основывалась главным образом на теориях химической связи.

Гейзенберг высказал гипотезу, что протон и нейтрон связываются в ядре за счет обмена электроном между ними, при этом протон превращается в нейтрон, а нейтрон в протон. В таком случае взаимодействие между двумя нейтронами включает обмен двумя электронами, по одному в каждом «направлении».

Этот обмен предполагает, что в ядре протоны и нейтроны перестают быть самими собой и постоянно «переключаются» из одной формы в другую. Это укладывалось в цели Гейзенберга, который хотел показать, что протон и нейтрон являются всего лишь разными состояниями одной и той же частицы, различающимися лишь свойствами, присущими каждому состоянию. Разные состояния, разумеется, обладают разными электрическими зарядами, одно заряжено положительно, а другое нейтрально. Но чтобы теория заработала, в нее нужно было ввести еще одно свойство, аналогичное электронному спину.

Поэтому Гейзенберг ввел идею изоспина, который не следует путать со спином электрона. Протону (произвольно) назначена ориентация вверх, а нейтрону – вниз. Это ориентации в так называемом изоспиновом пространстве, у которого только два измерения, вверх и вниз. Превращение нейтрона в протон, таким образом, эквивалентно «повороту» спина нейтрона в изоспиновом пространстве и изменению ориентации с нижней на верхнюю.

Все это звучит очень загадочно, но во многих отношениях изоспин похож на электрический заряд. Наше близкое знакомство с электричеством не должно скрывать тот факт, что это такое же свойство, которое принимает «значения» (а не «ориентацию») в абстрактном «заряженном пространстве» с двумя направлениями – положительным и отрицательным.

Даже в качестве простой аналогии теория Гейзенберга уже была большой натяжкой. Сила химических связей, образованных обменом электронами, гораздо слабее, чем сила, связывающая протоны и нейтроны внутри ядра. Но Гейзенберг смог использовать свою теорию, чтобы применить нерелятивистскую квантовую механику непосредственно к ядру. В ряде публикаций 1932 года он сообщил о многих наблюдениях физики ядра, например, относительной стабильности изотопов.

Эксперименты, проведенные всего через несколько лет, показали слабость теории. Поскольку протоны не имеют «приклеенного» электрона, модель электронного обмена Гейзенберга не допускала никакого взаимодействия между протонами. Напротив, эксперименты показали, что сила взаимодействия между протонами сравнима с силой взаимодействия между протонами и нейтронами.

Несмотря на недостатки, модель электронного обмена Гейзенберга содержала по крайней мере долю истины. От обмена электронами пришлось отказаться, но концепция изоспина сохранилась. Что касается сильного взаимодействия, протон и нейтрон, по существу, являются двумя состояниями одной и той же частицы, так же как два электронных спина. Единственная разница между ними – это изоспин.

Отдельные изоспины протонов и нейтронов можно сложить и получить полный изоспин. Эту концепцию впервые ввел физик Юджин Вигнер в 1937 году. Опубликованные работы по ядерным реакциям поддерживали мысль, что полный изоспин сохраняется, так же как сохраняется электрический заряд при физических и химических превращениях. Янг определил изоспин как локальную калибровочную симметрию, фазовую симметрию волновой функции электрона в КЭД, и начал поиск такой квантовой теории поля, в которой бы он сохранялся.

Он быстро увяз в проблемах, но поиск захватил его полностью. «Иногда одержимость в итоге оказывается полезной», – позднее заметил он[30].

Летом 1953 года он взял в Институте перспективных исследований небольшой отпуск и посетил Брукхейвенскую национальную лабораторию в Лонг-Айленде, Нью-Йорк. Там он делил кабинет с молодым американским физиком Робертом Миллсом.

Миллса увлекла одержимость Янга, и они вместе стали работать над квантовой теорией поля для сильного ядерного взаимодействия. «У нас не было других, каких-то более актуальных мотивов, – рассказывал несколько лет спустя Миллс. – Мы с ним просто спросили себя: «Вот вещь, которая происходит один раз. Почему не два?».

В КЭД изменения фазы волновой функции электрона в пространстве и времени компенсируются соответствующими изменениями в электромагнитном поле. Поле «отталкивает» таким образом, что фазовая симметрия сохраняется. Но новая квантовая теория поля для сильного взаимодействия должна была учитывать то, что теперь в нем участвуют две частицы. Если изоспиновая симметрия сохраняется, это значит, что сильное взаимодействие не видит разницы между протоном и нейтроном. Следовательно, изменение изоспиновой симметрии за счет, например, «поворота» нейтрона и превращения его в протон требует поля, которое «отталкивает» и таким образом восстанавливает симметрию. Поэтому Янг и Миллс ввели новое поле, которое назвали полем B, предназначенное именно для этой цели.

Простая группа симметрии U(1) недостаточна для такого рода сложности, и Янг и Миллс обратились к группе симметрии SU(2), особой унитарной группе преобразований с двумя комплексными переменными. Более крупная группа потребовалась потому, что нужно учитывать два объекта, которые могут преобразовываться друг в друга.

Кроме того, теория нуждалась в трех новых частицах поля, отвечающих за перенос сильного взаимодействия между протонами и нейтронами внутри ядра, аналогичных фотону в КЭД. Две из трех были нужны, чтобы переносить электрический заряд и отвечать за изменение заряда, происходящее во время протон-нейтронных и нейтрон-протонных взаимодействий. Янг и Миллс назвали эти частицы B+ и B—. Третья частица была нейтральной, как протон, и должна была отвечать за протон-протонные и нейтрон-нейтронные взаимодействия, в которых заряд не изменялся. Ее назвали B0. Они обнаружили, что эти частицы поля взаимодействуют не только с протонами и нейтронами, но также и друг с другом.

К концу лета они выработали решение. Но это было решение с целым набором новых задач.

Во-первых, методы перенормировки, столь успешно использованные в КЭД, были неприменимы к теории поля, которую изобрели Янг и Миллс. Хуже того, член нулевого порядка в разложении возмущения указывал, что частицы поля должны быть безмассовыми, как фотон. Но в этом содержалось внутреннее противоречие. Гейзенберг и японский физик Хидэки Юкава еще в 1935 году предположили, что частицы короткодействующих сил, таких как сильное взаимодействие, должны быть «тяжелыми», то есть это должны быть большие, массивные частицы. Безмассовые частицы поля для сильного взаимодействия не имели никакого смысла.

Янг вернулся в Принстон. 23 февраля 1954 года он провел семинар по проделанной вместе с Миллсом работе. Среди слушателей был Оппенгеймер, а также и Паули, которые перебрались в Принстонский университет в 1940 году.

Оказалось, что Паули раньше уже рассуждал подобным же образом и пришел к таким же противоречивым умозаключениям касательно массы частиц поля. Впоследствии он отказался от этого подхода. Когда Янг записывал на доске свои уравнения, Паули подал голос.

– Какова масса этого поля B? – громко спросил он, предвосхищая ответ.

– Я не знаю, – несколько неуверенно ответил Янг.

– Какова масса этого поля B? – настойчиво повторил Паули.

– Мы думали над этим вопросом, – сказал Янг. – Он очень сложный, и пока мы не можем на него ответить.

– Это слабое оправдание, – проворчал Паули[32].

Растерянный Янг сел, и все почувствовали себя очень неловко.

– По-моему, надо дать Фрэнку продолжить, – сказал Оппенгеймер.

Янг продолжил лекцию. Паули больше не задавал вопросов, но был раздражен. На следующий день он оставил Янгу записку: «Сожалею, что вы почти исключили для меня возможность разговаривать с вами после семинара»[33].

Эта проблема просто никак не решалась. Без массы частица янг-миллсовской теории поля не укладывалась в физические предсказания. Если частицы безмассовые, как предсказывала теория, они должны быть такими же вездесущими, как фотоны, однако таких частиц никто никогда не наблюдал. Обычные методы перенормировки не работали.

И все же это была хорошая теория.

«Идея была красивая, и ее следовало опубликовать, – писал Янг. – Но какова масса калибровочной частицы?

У нас не было никаких уверенных выводов, одно только раздражение из-за того, что [этот] случай оказался гораздо более запутанным, чем электромагнетизм. Исходя из физики, мы склонялись к мнению, что заряженные калибровочные частицы не могут быть безмассовыми».

Янг и Миллс опубликовали доклад с описанием своих результатов в октябре 1954 года. В нем они писали: «Здесь мы подходим к вопросу массы кванта [B], на который у нас нет удовлетворительного ответа».

Пойти дальше они не смогли и занялись другими вопросами.