

МЕМУАР МАЛЛАНСОНА

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ: КВАРКИ

"Оказавшись в 24-м, Купер долго и осторожно присматривался к окружающей обстановке, изучая непривычные нравы и образ жизни..."

После двух лет напряженных поисков Купер нашел Виктора Маллансона. Тот жил нелюдимым затворником в маленькой хижине, затерянной в глуши лесов Калифорнии. У Маллансона было много странностей и чудачеств, но он обладал смелым и нешаблонным умом. Очень осторожно, шаг за шагом, Купер завоевал его доверие и постепенно приучил его к мысли, что перед ним посланник из будущего. Так начались их совместные занятия. Купер обучал Маллансона уравнениям Лефевра и технологиям Темпоральных генераторов и исподволь готовил его к предстоящей роли..."

Айзек Азимов. "Конец Вечности".

В 1903 году Нагаока и в 1904 году Томсон предложили первые модели атома, описывающие его внутреннюю структуру. Модель Нагаоки представляла эту структуру по аналогии со строением солнечной системы – в центре атома располагалось положительно заряженное ядро, вокруг которого двигались по орбитам отрицательно заряженные электроны. Но эта модель противоречила законам классической электродинамики,¹ поэтому от нее отказались в пользу модели Томсона. В последней положительное электричество было распределено по всему внутреннему пространству атома, а отрицательно заряженные электроны были вкраплены в него. В простейшем атоме водорода электрон располагался в центре атома, а положительное электричество окружало его. На основе своей модели Томсон пытался объяснить периодическую систему элементов Менделеева.

Но в том же 1904 году начались исследования структуры атома с помощью излучения радиоактивных элементов, заставивших физиков вернуться к модели Нагаоки. В 1911 году Резерфорд, на основе этих исследований, сделал доклад, из которого следовало, что атом состоит из центрально расположенного точечного ядра, в котором сосредоточен практически весь атомный вес. Ядро имеет положительный электрический заряд, пропорциональный атомному весу, а отрицательное электричество рассредоточено по остальному пространству атома. Простейшим атомным ядром является ядро атома водорода. В 1919 году Резерфорд открыл это ядро и назвал его *протоном* (p^+). Протон имеет положительный электрический заряд, равный по величине заряду электрона (e^-). Масса протона в тысячу восемьсот сорок раз больше массы электрона. В 1932 году Чедвик открыл еще одну составную часть атомного ядра – *нейтрон* (n^0). Нейтрон имеет примерно такую же массу, как и протон, но не имеет электрического заряда.² Вес атомного ядра определяется количеством составляющих его протонов и нейтронов, а заряд ядра – количеством составляющих его протонов. Заряд ядра определяет его место в периодической системе элементов Менделеева.

¹ Я упоминал эту проблему в предыдущей части, когда говорил о невозможности существования модели атома Бора. На самом деле эта проблема ведет свою историю с модели атома Нагаоки, поскольку уже тогда было осознано противоречие этой модели законам классической электродинамики. Более того, в 1901 году Перрен предложил такую же модель атома, как и Нагаока, но она осталась незамеченной.

² Сегодня эти две частицы называют *нуклонами*, подчеркивая их равноправие в ядерном взаимодействии.

С начала 30-х и до конца 70-х годов было открыто более двухсот элементарных частиц. Так, например, в том же 1932 году в космических лучах был открыт *позитрон* – частица с массой электрона, но с положительным электрическим зарядом. Позитрон оказался первой открытой античастицей. В 1936 году в тех же космических лучах были открыты *мюон* (μ^-) и *антимюон* (μ^+) – частицы с теми же электрическими зарядами, что у электрона и позитрона, но с массой примерно в двести раз большей. В 1947 году, опять же в космических лучах, были открыты *пионы* (они же *π -мезоны*) – переносчики взаимодействия между протонами и нейтронами внутри атомного ядра. Пионы примерно в триста раз тяжелее электрона и бывают трех видов – имеющие положительный электрический заряд (π^+), имеющие отрицательный электрический заряд (π^-) и не имеющие заряда (π^0). Наконец, в том же 1947 году в космических лучах были открыты частицы с еще большей массой, получившие название *странных*. Такое название они получили за свое поведение при рождении и последующем распаде. Остальные элементарные частицы были открыты в основном на ускорителях частиц.

Все эти частицы делятся на две группы – *лептоны* и *адроны*. К лептонам относятся частицы, не участвующие в ядерном взаимодействии. Из только что перечисленных к ним относятся электрон, позитрон, мюон и антимюон. К адронам относятся частицы, участвующие в ядерном взаимодействии. Из только что перечисленных к ним относятся протон, нейтрон, пионы и странные частицы. В свою очередь, адроны делятся на *барионы* и *мезоны*. К барионам относятся протон и нейтрон, а к мезонам – пионы. Среди странных частиц имеются как барионы, так и мезоны. Барионы являются объектами ядерного взаимодействия (подобно тому, как электроны являются объектами электромагнитного взаимодействия), а мезоны – его переносчиками (подобно тому, как фотоны являются переносчиками электромагнитного взаимодействия). Барионы имеют полуцелый спин (как электрон и позитрон), а мезоны – целый спин (как фотон).

Деление адронов на барионы и мезоны не отражало всех взаимоотношений между ними, а значит не позволяло предсказывать свойства новых открываемых частиц. Поэтому в 1932 году Гейзенберг предложил теорию *изотопического квантования* адронов, призванную устранить этот недостаток. Суть ее сводится к тому, что если в ядерном взаимодействии пренебречь эффектами, обусловленными электромагнитным взаимодействием, то протоны и нейтроны станут неразличимыми.³ При "включении" электромагнитного взаимодействия равноправие протонов и нейтронов нарушается – у них возникает различие в электрическом заряде и массе. Электромагнитное взаимодействие снимает *вырожденность*⁴ ядерных состояний протонов и нейтронов подобно тому, как магнитное поле в эффекте Зеемана снимает вырожденность атомарных состояний электронов.

Именно эта аналогия с эффектом Зеемана легла в основу изотопического квантования адронов. В этом смысле изотопическое квантование равносильно обычному квантованию орбит электронов в атоме. Но если последнее осуществляется в нашем обычном пространстве, в котором после включения внешнего магнитного поля появляется выделенное направление, на которое проецируются векторы орбитальных и спиновых

³ В 1936 году такую гипотезу выдвинули Брейт, Кондон, Кеммер и Презент.

⁴ Вырожденные состояния частиц – это состояния, в которых они имеют одинаковую энергию, хотя другие параметры этих состояний могут отличаться. К примеру, состояния электронов в атоме на разных *p*-орбитах одного уровня (точнее, одного главного квантового числа) в отсутствие внешнего магнитного поля имеют одну и ту же энергию, т.е. являются вырожденными. Разную энергию они обретают только во внешнем магнитном поле, снимающем это вырождение, что и составляет смысл эффекта Зеемана.

моментов электронов, то изотопическое квантование адронов осуществляется в абстрактном изотопическом пространстве, не имеющем ничего общего с нашим обычным пространством. При включении электромагнитного взаимодействия в этом пространстве появляется выделенное направление, на которое проецируются векторы *изотопического спина* адронов. Разным адронам приписываются разные проекции изотопического спина. В результате все они разбиваются на упорядоченные группы – так называемые *изотопические мультиплеты*.⁵

Структура изотопических мультиплетов сходна со структурой электронных орбит в обычном пространственном квантовании. Полагают, что сходство это чисто математическое, поскольку пространственное квантование приводит к конкретной *квантовой статистике*,⁶ тогда как изотопическое квантование ни к какой статистике не ведет. Так, например, *изофермионы*⁷ в обычном квантовании могут быть как *фермионами*, так и *бозонами*, и наоборот, обычные фермионы в изотопическом квантовании могут быть как *изофермионами*, так и *изобозонами*.⁸

Теория изотопического квантования навела определенный порядок в мире элементарных частиц. Но с открытием *резонансов* – тяжелых адронов с особо коротким временем жизни – эта классификация стала узкой, поскольку появилось слишком много изотопических мультиплетов, и вновь стало трудно ориентироваться в продуктах ядерных реакций. Кроме того, у этой классификации обнаружился недостаток – в ней *проекция изоспина* и *барионный заряд* адронов имели разную природу. Первая порождалась изоспиновыми преобразованиями и различала адроны внутри изомultiплетов (сам изоспин различал изомultiплеты адронов), второй порождался калибровочными преобразованиями и вводился в теорию изотопического квантования извне. Барионный заряд был предложен Вигнером в 1949 году для объяснения сохранения количества барионов в слабом взаимодействии (по аналогии с законом сохранения электрического заряда в электромагнитном взаимодействии). В 1954 году Янг и Миллс теоретически обосновали закон сохранения барионного заряда, показав, что поле мезонов является калибровочным полем ядерного взаимодействия барионов.

С другой стороны, еще при разработке теории изотопического квантования рассматривался вопрос использования в нем слабого взаимодействия адронов. Включение этого взаимодействия в изотопическом пространстве нарушало бы равноправие адронов в данном пространстве подобно тому, как его нарушает электромагнитное взаимодействие. Причем использование для этого слабого взаимодействия даже более предпочтительно, чем электромагнитного взаимодействия. Поскольку слабое взаимодействие менее

⁵ Понятия изотопического пространства и изотопического спина (изоспина) в том же 1932 году ввел Гейзенберг. В 1937 году Вигнер указал на связь изоспина с зарядовой независимостью ядерных сил и сформулировал закон сохранения изоспина. (Закон сохранения изоспина является обобщением принципа зарядовой независимости ядерных сил).

⁶ Квантовая статистика изучает большие системы частиц, подчиняющихся законам квантовой механики. Примером является *статистика Ферми-Дирака*, запрещающая двум и более электронам одновременно находиться в одном квантовом состоянии. См. также 40-ю сноску в предыдущей части.

⁷ Фермионы – это частицы, подчиняющиеся статистике Ферми-Дирака. Эта статистика запрещает двум и более частицам с полуцелым спином одновременно находиться в одном квантовом состоянии. Изофермионы – это аналоги обычных фермионов в изотопическом квантовании.

⁸ Бозоны – это частицы, подчиняющиеся *статистике Бозе-Эйнштейна*. Эта статистика разрешает любому количеству частиц с целым спином одновременно находиться в одном квантовом состоянии. Изобозоны – это аналоги обычных бозонов в изотопическом квантовании.

интенсивно, чем электромагнитное, то оно приводило бы к меньшему различию масс адронов в изомультиплетах. Проблема заключалась в том, что в слабом взаимодействии отсутствует такое же однозначное определение заряда, как в электромагнитном взаимодействии, что затрудняло использование его в изотопическом квантовании. Поэтому, не смотря на достоинства слабого взаимодействия, физики предпочли использовать в изотопическом квантовании электромагнитное взаимодействие.⁹

В 1961 году Гелл-Манн и Неeman предложили новую, так называемую *унитарную* классификацию адронов, свободную от этих недостатков. Изотопическая классификация предполагала полную симметрию адронов в ядерном взаимодействии, нарушаемую только электромагнитным взаимодействием. В противоположность ей, унитарная классификация с самого начала предполагала неравноправие адронов в ядерном взаимодействии. А именно, если изоспиновая классификация, для объединения адронов в изотопические мультиплеты, предлагала исключить электромагнитное взаимодействие в абстрактном изотопическом пространстве, то унитарная классификация, для объединения их в более общие унитарные мультиплеты, предлагала исключить уже "изотопическое взаимодействие" в несколько более конкретном пространстве барионного заряда. При этом унитарные преобразования, различающие адроны внутри унитарных мультиплетов, включали в себя как изоспиновые, так и калибровочные преобразования.

Изотопическая классификация предсказывала существование только таких частиц, которые действительно существуют в природе. Не так обстояло дело с унитарной классификацией, поскольку она предсказывала существование еще и таких частиц, которые обладают дробным барионным зарядом. Согласиться с этим было трудно, поскольку понятие барионного заряда отражало один лишь факт принадлежности частиц к барионам. Поэтому допущение дробности барионного заряда равносильно предположению, что он содержит в себе дополнительную информацию, но какую – унитарная классификация не говорила. Более того, из дробности барионного заряда автоматически следовала и дробность электрического заряда, однозначно связанного с барионным зарядом в теории изотопического квантования. Но весь наш опыт говорит о том, что дробные электрические заряды в природе не существуют.

Предлагались и другие классификации адронов, обобщающие изотопическую классификацию, но все они по тем или иным причинам были отвергнуты. Так, например, предлагалось рассматривать обычный спин адронов в качестве такого же нарушителя симметрии ядерного взаимодействия, каким в изотопической классификации является электрический заряд адронов. Если пренебречь влиянием электрического заряда и спина, то можно объединить адроны в более общие мультиплеты, чем изотопические. Такое решение выглядело более привлекательно, чем пренебрежение изоспином, поскольку оперировало конкретным квантовым свойством адронов. Но спин частиц связан с фундаментальными свойствами окружающего нас пространства-времени, поэтому пренебрежение им означало бы рассмотрение адронов вне этого пространства.

⁹ В современной физике слабый заряд вводится по аналогии с квантовой электродинамикой. В последней электрический заряд частиц рассматривается как составная часть константы электромагнитного взаимодействия (так называемой постоянной тонкой структуры), равной отношению квадрата электрического заряда к произведению постоянной Планка на скорость света. Аналогичным образом слабый заряд частиц рассматривается как составная часть константы слабого взаимодействия, равной отношению квадрата слабого заряда к произведению постоянной Планка на скорость света. Но в электромагнитном взаимодействии такое толкование заряда частиц физически оправдано, то в слабом взаимодействии – нет.

По этой причине в 1964 году Гелл-Манн и Цвейг отбросили предрассудки, связанные с недопустимостью дробных зарядов и провозгласили существование *кварков* – такое название в унитарной классификации получили частицы с дробным барионным зарядом. Доводом в пользу такого решения служило то, что в этой классификации кварки имели фундаментальное значение – комбинируя их по три можно было строить из них все без исключения барионы, а комбинируя по два – все без исключения мезоны. Кроме того, без них было не понятно, какие свойства адронов являются векторами того абстрактного пространства, в котором действуют унитарные преобразования.¹⁰

Но, как и изотопическая, унитарная классификация практически сразу же столкнулась с трудностями. Дело в том, что кварки обладали полуцелым спином и, следовательно, должны были подчиняться статистике Ферми-Дирака, запрещающей им одновременно находиться в одном квантовом состоянии. Между тем, некоторые барионы в этой классификации строились из одинаковых кварков, что равносильно одновременному нахождению их в одном квантовом состоянии. Поначалу этот факт пробовали объяснить тем, что кварки подчиняются не статистике Ферми-Дирака, а *парастатистике*,¹¹ разрешающей нескольким фермионам одновременно находиться в одном квантовом состоянии. Но такое объяснение выглядело чересчур радикальным, поскольку статистика Ферми-Дирака опирается на фундаментальные представления о пространстве, времени и причинности, от которых пришлось бы отказаться при переходе к парастатистике.

Поэтому в 1965 году Боголюбов и Намбу¹² нашли другое объяснение этому факту, математически эквивалентное парастатистике. Оно заключалось в утроении числа состояний каждого кварка, которому приписывалось дополнительное квантовое свойство – так называемый *цвет*. Тогда никаких противоречий со статистикой фермионов не возникало, поскольку объединяться в барионы могли только кварки разного цвета. При этом суммарный цветовой заряд кварков, составляющих барион, должен равняться нулю. В "цветовой" формулировке это требование звучало так: все реально существующие барионы должны быть бесцветными.

После принятия концепции цвета разные сорта кварков стали называться ароматами. В настоящее время известно шесть таких ароматов: *верхний* (u – от англ. up), *нижний* (d – от англ. down), *странный* (s – от англ. strange), *очарованный* (c – от англ. charm), *прелестный* (b – от англ. beauty) и *истинный* (t – от англ. truth). Странный аромат был введен в физику еще до появления гипотезы кварков, в виде странного заряда адронов. Необходимость в этом возникла в связи с тем, что в ядерном взаимодействии сохранялся не только барионный заряд, но и странность адронов. Кроме того, в нем сохранялись верхний и нижний ароматы адронов, но до появления гипотезы кварков эти ароматы скрывались за понятием барионного заряда. С появлением гипотезы кварков стало ясно, что ароматами обладают не сами адроны, а составляющие их кварки. Барионный же заряд отражает способность трех кварков объединяться в барион и сохраняться в таком виде в ядерном и

¹⁰ Экспериментальная основа под эту гипотезу была подведена немного позже. В 1958 году Хофштадтер в опытах по рассеянию электронов высоких энергий на нуклонах обнаружил, что последние не являются точечными объектами, а имеют внутреннюю структуру. В 1969 году Блум в опытах по глубоко неупругому рассеянию электронов на нуклонах обнаружил, что структурные элементы последних являются точечными объектами. В этом же году Фейнман объяснил эти факты тем, что нуклоны состоят из *партонов* (от англ. part – часть). Партоны и стали экспериментальным оправданием гипотезы кварков.

¹¹ В 1964 году эту идею высказал Гринберг. В 1959 году на возможность парастатистик указывал Волков.

¹² А также Струминский, Тавхелидзе, Хан и Миямото.

слабом взаимодействиях.

Введение цвета в квантовую механику равносильно провозглашению новой симметрии частиц – цветовой. Эта симметрия подобна унитарной, но соответствующие ей преобразования затрагивают не ароматы кварков, а их цвета. Кроме того, она является точной, а не нарушенной, поэтому кварки одного аромата и разных цветов обладают одинаковой массой. Цветовая симметрия подразумевает инвариантность волновых функций кварков относительно цветовых калибровочных преобразований. Локализация этих преобразований приводит к цветовому калибровочному полю, посредством которого осуществляется цветное взаимодействие кварков. Кванты этого поля получили название *глюонов*. Как и фотоны, глюоны являются безмассовыми частицами, поэтому движутся со скоростью света. Но, в отличие от фотонов, которые являются электрически нейтральными частицами, глюоны несут на себе цветовой заряд, которым они обмениваются с кварками.

Гипотеза цветных кварков и глюонов коренным образом изменила взгляды на природу ядерного взаимодействия. Стало ясно, что протоны и нейтроны, обладающие нулевым цветовым зарядом, участвуют в ядерном взаимодействии не как целое, а своими структурными элементами – кварками. Точно также электрически нейтральные атомы связываются в молекулу, обмениваясь своими структурными элементами – электронами. Обычные ядерные силы в этом смысле эквивалентны силам *Ван-Дер-Ваальса*, действующим вне атомов и молекул. Цветовое взаимодействие протонов и нейтронов намного интенсивнее их ядерного взаимодействия посредством пионов, поскольку осуществляется на гораздо меньших расстояниях и при гораздо больших импульсах частиц. В связи с этим первое было названо *сильным взаимодействием*, а второе – *умеренно сильным взаимодействием*.

Теория сильного взаимодействия хорошо согласовывалась с экспериментом, но поначалу и она столкнулась с трудностями, поскольку кварки и глюоны никак не удавалось обнаружить в свободном состоянии. В столкновениях частиц на ускорителях они не рождались, в космических лучах и природных материалах не обнаруживались. Короче, повторялась ситуация с поисками магнитных зарядов. Но если экспериментаторы после этого охладели к частицам с дробными зарядами, то теоретики уже не могли без них обходиться. Без них унитарная классификация получалась неполной, разрозненной и бесперспективной. Поэтому была предпринята попытка теоретически узаконить в физике ненаблюдаемость кварков и глюонов.

И это действительно удалось. Оказалось, что сам характер сильного взаимодействия, а именно, наличие цветового заряда не только у кварков, но и у глюонов, приводит к двум удивительным явлениям. Одно из них заключается в том, что при сближении кварков друг с другом их цветовой заряд уменьшается до нуля, а другое – в том, что при удалении кварков друг от друга их цветовой заряд возрастает до бесконечности. Непосредственное отношение к ненаблюдаемости кварков имеет только второе явление, но оно неразрывно связано с первым.

Еще в 1955 году Ландау и Померанчук показали, что если импульсы виртуальных частиц, окружающих "голый" электрон, устремлять к бесконечности или, что равносильно, устремлять к нулю радиус "одетого" электрона, то электрический заряд виртуальной "шубы" последнего возрастает настолько, что полностью экранирует электрический заряд "голового" электрона. Этот результат получил название *нуллификации заряда реального*

электрона. Тогда он не нашел себе применения, поскольку рассматривался как незаконный. Зато в теории сильного взаимодействия этот результат позволил объяснить особенности рассеяния быстрых электронов на барионах. Ситуация выглядела так, будто кварки, с которыми электроны сталкивались внутри барионов, не взаимодействовали между собой на близких расстояниях, т.е. не имели цветового заряда. Это явление получило название *асимптотической свободы* кварков.¹³

С другой стороны, с увеличением расстояния между кварками их цветовое взаимодействие усиливается из-за возрастания у них цветового заряда. Этим цветовое взаимодействие отличается от электромагнитного, в котором электрический заряд остается постоянным на расстояниях, превышающих его собственную длину волны. Как показали предварительные оценки, с приближением расстояния между кварками к обычному радиусу барионов интенсивность цветового взаимодействия кварков возрастает настолько, что полностью исключает вылетание кварков из барионов при сегодняшних мощностях ускорителей частиц. Это явление получило название *конфайнмента* (т.е. пленения) кварков внутри барионов.

Но здесь возникла другая трудность, связанная с тем, что теория цветового взаимодействия не накладывала никакого ограничения на его интенсивность с увеличением расстояния между кварками, что не позволяло предсказывать результаты экспериментов. Кроме того, при этом возникали трудности с описанием структуры адронов и ядер атомов. В связи с этим предлагались разные дополнительные модели, уточняющие теорию цветового взаимодействия на больших расстояниях между кварками. Наиболее перспективной из них считалась модель *кварковой струны*.

Известно, что силовые линии статического поля электронов расходятся во все стороны от них, из-за чего их взаимодействие ослабевает с расстоянием. Но если бы все эти линии удалось сжать в трубку так, чтобы они не расходились с расстоянием, то сила взаимодействия электронов не зависела бы от расстояния между ними.¹⁴ Подобная конфигурация поля известна в физике – она возникает в сверхпроводниках, которые, как известно, выталкивают из себя магнитное поле. Но если оба полюса магнита разместить внутри сверхпроводника, то силовые линии магнитного поля уже не будут расходиться от полюсов и сконцентрируются в узкой трубке между ними. При этом в самой трубке сверхпроводимость разрушится.

Эта идея легла в основу модели кварковой струны, согласно которой между кварками протягивается тонкая трубка, внутри которой сосредоточено поле глюонов. Влияние вакуума на это поле аналогично влиянию сверхпроводящей среды на магнитное поле. При удалении кварков друг от друга эта трубка вытягивается, но сохраняет свою толщину. В результате энергия цветового взаимодействия кварков растет, а сила притяжения между ними остается постоянной. При достаточно большом расхождении кварков глюонное поле внутри струны может рождать кварк-антикварковые пары. Если струна разрывается, эти пары замыкают разорванные концы струны, и вместо одиночных кварков возникают две новые струны, все также замкнутые между кварком и антикварком. Точно также ведут себя постоянные магниты, при разрезании которых возникают не изолированные магнитные полюса, а новые магниты.

¹³ В 1973 году Гросс, Вильчек и Политцер открыли это явление в неабелевых калибровочных теориях поля.

¹⁴ Я имею в виду струну Томсона, которую рассматривал в предыдущей части.

Модель кварковой струны удовлетворительно описывала структуру мезонов, состоящих из кварка и антикварка, но при описании структуры барионов, состоящих из трех кварков, она испытывала трудности. Кроме того, в процессе работы над этой моделью выяснилось, что мезонная струна должна быть одновременно квантовой и релятивистской, но эти требования невозможно совместить в четырехмерном пространстве-времени. Непротиворечивая модель мезонной струны возможна только в двадцати шестимерном пространстве-времени, что противоречит нашему опыту. Изучение этой проблемы показало, что для универсальной мезонно-барионной струны количество этих измерений равно десяти, но и это еще слишком много для требуемой теории.¹⁵

Зато попытки встроить мезонную струну в барионы привели к открытию *суперсимметрии* – симметрии между фермионами и бозонами.¹⁶ Все предлагаемые до этих пор классификации адронов приводили только к таким мультиплетам, которые содержали либо фермионы, либо бозоны. При этом фермионы могли переводиться только в фермионы, а бозоны – только в бозоны. Суперсимметричные мультиплеты включали в себя как фермионы, так и бозоны, которые могли переводиться друг в друга преобразованиями суперсимметрии.

Более того, в тех моделях суперсимметрии, которые включали известные нам элементарные частицы, у каждой из них появлялся так называемый *суперпартнер*, имеющий точно такие же свойства, но спин – меньше на пол единицы. Для электрона таким партнером являлся *сэлектрон*, имеющий нулевой спин, для кварка – *скварк*, также имеющий нулевой спин, для фотона – *фотино*, имеющее полуцелый спин, для глюона – *глюино*, также имеющее полуцелый спин.¹⁷ Проблема заключалась в том, что в окружающей нас реальности такие суперпартнеры не наблюдались. Сегодня это объясняют тем, что в нашей Вселенной суперсимметрия является нарушенной.

Замечательным свойством преобразований суперсимметрии являлось то, что в качестве частного случая они содержали в себе преобразования Лоренца.¹⁸ Но давно уже было известно, что локализация этих преобразований приводит к теории гравитации, в целом сходной с общей теорией относительности. Поэтому в 1976 году Фридман и Ньювенхайзен предложили теорию *супергравитации*, основной смысл которой заключался в переходе от глобальной суперсимметрии к локальной. Эта теория предсказывает те же эффекты, что и общая теория относительности, но на микроскопическом уровне она существенно отличается от последней. Это позволяло надеяться, что супергравитация станет теорией, объединяющей квантовую механику с общей теорией относительности. Такое объединение требовало, с одной стороны, чтобы преобразования пространственно-временного положения частиц изменяли их внутреннее

¹⁵ В предыдущей части я показал, что электронно-монопольная струна должна быть, как минимум, восьмимерной. Причем тогда я еще не учитывал ее адронную часть. С учетом этого даже двадцати шестимерная струна уже не кажется экзотической (см. также 43-ю сноску).

¹⁶ Первую работу по суперсимметрии опубликовали Гольфанд и Лихтман в 1971 году, но она осталась незамеченной. В этом же году Жерве и Сагита обнаружили суперсимметрию в модели бозонно-фермионной струны Неве, Шварца и Рамона, о чем я говорил выше. В 1972 году Волков и Акулов независимо переоткрыли суперсимметрию. В 1974 году Весс и Зумино применили идеи суперсимметрии в квантовой теории поля, после чего теория суперсимметрии стала быстро набирать популярность.

¹⁷ Приставка "с" добавляется к именам тех суперпартнеров, которые имеют ненулевую массу покоя, а окончание "ино" – к именам тех суперпартнеров, которые имеют нулевую массу покоя.

¹⁸ Напоминаю, что спин автоматически возникает в уравнении Дирака для релятивистского электрона. То есть спин – это не только квантовое, но и релятивистское свойство.

состояние, а с другой стороны, – чтобы преобразования внутренней симметрии частиц приводили к изменению их пространственно-временного положения. С появлением теории суперсимметрии стало ясно, что необходимым для этого преобразованием внутренней симметрии является изменение спина частиц.

Следующим шагом на этом пути являлся переход к *расширенной супергравитации*, включающей в себя преобразования не только спина, но и других внутренних симметрий частиц. О характере возникших при этом трудностей можно судить по тому, что в расширенной супергравитации не находили себе места все известные элементарные частицы, так или иначе зарегистрированные в эксперименте. Это положение существенно изменилось с появлением теории *суперструн*, т.е. струн, представляющих элементарные частицы и изначально связанных с суперсимметрией. На этом пути удалось не только связать все фундаментальные взаимодействия – сильное, электромагнитное, слабое и гравитационное, – но и разрешить многие проблемы сегодняшней квантовой теории поля. Так, например, в теории суперструн отпадает необходимость в теории перенормировки. Кроме того, в этой теории отсутствуют свободные параметры, которые приходится вводить во всех теориях объединения взаимодействий, не опирающихся на суперсимметрию.¹⁹

Распутывание этого "клубка" я начну с гипотезы *дионов*, т.е. частиц, обладающих одновременно электрическим и магнитным зарядами. В 1969 году Швингер предложил заменить этими частицами кварки в унитарной классификации. По его мнению, это позволяло решить сразу несколько проблем, до того считавшихся самостоятельными. Во-первых, это ненаблюдаемость магнитных зарядов в эксперименте; во-вторых, универсальность электрического заряда в природе; в-третьих, дробность электрического заряда в унитарной классификации (что противоречит предыдущему пункту); и в-четвертых, нарушение CP-четности волновых функций адронов в радиоактивных распадах. Ненаблюдаемость магнитных зарядов в модели Швингера обеспечивалась их большой величиной,²⁰ что не позволяло разделить магнитные заряды противоположного знака; универсальность электрического заряда – условием квантования Дирака;²¹ дробность электрического заряда – тем, что данное условие требует, чтобы целым было только отношение электрического и магнитного зарядов, но не их собственная величина. О причинах нарушения CP-четности я говорил в предыдущей части.

Барионы в модели Швингера строились из трех дионов, а мезоны – из двух (точнее, из диона и антидиона). При этом требовалось, чтобы суммарный магнитный заряд адронов был равен нулю, а суммарный электрический заряд – либо нулю, либо заряду электрона. Как показал Швингер, это требование можно выполнить только в том случае, если дионы обладают, как минимум, двумя разными значениями электрического и магнитного зарядов. Для меньших зарядов он выбрал значение $\pm 1/3$, а для больших – $\pm 2/3$. Аналогичным образом адроны строились из кварков в унитарной классификации.

Модель Швингера привлекательна во многих отношениях, но она имела недостаток,

¹⁹ Эти параметры необходимы для того, чтобы предсказывать именно такое состояние частиц и полей в сегодняшней Вселенной, которое мы наблюдаем в эксперименте. Теория суперструн имеет настолько жесткую структуру, что в ней это состояние возникает автоматически. Проблема "лишь" в том, что уравнения этой теории являются приближенными, точная форма их до сих пор не известна.

²⁰ В двадцать один раз больше заряда электрона!

²¹ Точнее, условием взаимосвязанного квантования электрических и магнитных зарядов.

поскольку предсказывала такие значения электрических и магнитных дипольных моментов адронов, которые на порядок больше экспериментальных. Швингер пробовал устранить его, постулируя обмен между дионами тяжелыми бозонами, имеющими магнитный заряд.²² Эти бозоны должны были перезаряжать магнитные части дионов, что, по идее, должно было вносить необходимые поправки в значения электрических и магнитных дипольных моментов адронов. Но вопрос о правомочности такой поправки к его модели остался открытым.

Более привлекательной в этом отношении выглядит модель Чанга, предложенная в 1972 году. В этой модели магнитные заряды представляли собой разновидность кварков, которые, вместе с обычными электрическими кварками, составляли внутреннюю структуру адронов. Значения зарядов этих кварков были теми же, что и в модели Швингера (т.е. $\pm 1/3$ и $\pm 2/3$). Из этих кварков Чанг строил составные кварки в виде электрического кварка и магнитного антикварка, а также электрического антикварка и магнитного кварка, а уже из них – барионы и мезоны. Сегодня эта модель рассматривается как модификация модели Швингера.

Чангу удалось устранить недостаток модели Швингера, но и его модель осталась неустойчивой. Почему – не знаю. Полагаю, по той же причине, что и все работы, посвященные магнитным зарядам, – никто до сих пор не наблюдал эти заряды в эксперименте. Большая величина этих зарядов по отношению к заряду электрона не объясняет их ненаблюдаемость, поскольку энергии сегодняшних ускорителей частиц вполне достаточно для преодоления взаимного притяжения этих зарядов и выбивания их из адронов. Если конфайнмент обычных кварков еще можно объяснить увеличением их цветового заряда с увеличением расстояния между ними, то для магнитных зарядов эта возможность исключена. Если, конечно, не вводить цветное взаимодействие еще и между ними. Сегодня считается, что для этого вполне достаточно введения его между обычными кварками.

Между тем, главный недостаток моделей адронов Чанга и Швингера не в том, что они не смогли превзойти стандартную модель элементарных частиц. Он в том, что их модели неверно представляли взаимоотношения электрических и магнитных зарядов. Моя модель, фактически, эквивалентна стандартной из-за особой геометрии струны, разделяющей пространства электрических и магнитных зарядов. Она лишь "слегка" дополняет стандартную модель (магнитными зарядами) и объясняет многие положения, которые в стандартную модель вводятся аксиоматически. Например, положение об измерениях нашего пространства-времени.

Как вы думаете, в чем заключается главная функция цвета? В обеспечении обменного взаимодействия кварков и невылетания их из адронов? В наделении кварков дополнительным квантовым свойством, что позволяет им подчиняться статистике Ферми-Дирака? Правильно, и в том, и в другом. Но это еще не вся правда о цвете. Помните, что именно магнитные заряды в моей модели, за счет своей нелокальности, формируют пространство, окружающее материю нашей Вселенной. Это означает, что кварки, как и электроны, превращаясь в магнитные заряды, участвуют в формировании этого пространства. В том числе, в формировании его измерений. А теперь вспомните, что кварков в барионах ровно три, и что они фиксированы друг относительно друга цветовым

²² Здесь он копировал схему слабого взаимодействия, только наделил слабые бозоны магнитным зарядом.

взаимодействием. С электронами ничего такого не происходит, наоборот, если они освобождаются от притяжения протонов, то разлетаются в разные стороны "как ошпаренные". Это означает, что именно кварки, превращаясь в магнитные заряды, формируют измерения пространства нашей Вселенной.

Но если именно цвета кварков определяют измерения пространства, то это означает, что их может быть не только три, но и четыре, и пять, и... так далее, до бесконечности.²³ Или наоборот, и два, и один. Нужно лишь, чтобы эти кварки имели разные цвета, а сумма этих цветов была бесцветной. То есть это физическая основа для существования пространств любого числа измерений. В видимой нами Вселенной реализовалось пространство трех измерений, но это еще не означает, что в ней нет пространств с другим количеством измерений. Просто мы эти пространства не видим, это не позволяет нам сделать наша физическая природа. Или эти измерения являются свернутыми.

В этом свете совершенно по-новому выглядит парастатистика, которую в свое время пытались привлечь для объяснения построения некоторых барионов из кварков с одинаковыми ароматами. Как уже говорилось, утроение числа состояний кварков в барионах с помощью гипотезы цвета математически эквивалентно парастатистике. Отказались от нее потому, что она требовала отказа от наших обычных представлений о пространстве, времени и причинности внутри барионов. И вот оказывается, что это действительно необходимо, поскольку внутри барионов измерения пространства и времени только формируются, а в полной мере они развертываются во вселенной магнитных зарядов.²⁴ То есть не гипотеза цвета правильно описывает структуру барионов, а парастатистика. Гипотеза цвета только математически оправдывает отождествление внутреннего пространства барионов с обычным пространством-временем нашей Вселенной.

Более того, хочу напомнить вам альтернативу унитарной классификации адронов, когда в качестве нарушителя симметрии ядерного взаимодействия предлагалось спиновое взаимодействие адронов. Как я уже говорил, это предложение было отвергнуто, поскольку пренебрежение спином означало рассмотрение адронов вне нашего обычного пространства-времени. С учетом сказанного, это решение выглядит уже не таким обоснованным. Потому что пренебрежение спином в изотопическом квантовании можно было оформить и так, чтобы оно стало равносильным парастатистике. Например, как введение суперсимметрии...

Дело в том, что в 1964 году Липкин обратил внимание, что изотопическая классификация инвариантна относительно перестановок изотопического спина с обычным спином и гиперзаряда (этот заряд я рассмотрю чуть позже) с барионным зарядом. В обычной

²³ Интересно, что в квантовой хромодинамике существуют модели с бесконечным числом цветов кварков. Одной из таких моделей является $1/N_c$ -разложение. Его идея состоит в том, чтобы в качестве параметра разложения взаимодействия адронов по степеням малости в теории возмущений использовать величину $1/N_c$, где N_c – число цветов кварков. Ведущее приближение соответствует переходу $N_c \rightarrow \infty$. Такую теорию можно описать некоторым нелинейным лагранжианом (который, как оказалось, совпадает с предлагавшимся ранее феноменологическим мезонным лагранжианом). Этот лагранжиан имеет топологические решения типа солитонов, причем свойства этих решений позволяют отождествить их с барионами. В конце данной части я еще вернусь к этому факту.

²⁴ То есть геометрия внутреннего пространства барионов такова, что в нем отсутствует обычное понятие измерений – то, которое мы придаем им в окружающем нас пространстве.

классификации частицы с одним обычным спином и барионным зарядом объединяются в мультиплеты, а различаются они значением изоспина и гиперзаряда. В *барбарионной классификации*²⁵ в один мультиплет объединялись частицы с одним изоспином и гиперзарядом, а различались они обычным спином и барионным зарядом. Липкин предложил рассмотреть прямое произведение обычной и барбарионной симметрии, что равносильно суперсимметрии. Выключение такого взаимодействия во внутреннем пространстве адронов равносильно выключению суперсимметрии. В следующей части я еще вернусь к этому вопросу.

А теперь вспомните, что в своей модели адронов Швингер объяснял дробность электрических зарядов кварков тем, что условие квантования Дирака требует, чтобы целым было только отношение величин электрических и магнитных зарядов, но не сами эти величины. А еще вспомните, что когда Швингер анализировал модель магнитного заряда Дирака, то обнаружил, что если струна не одна, то изменяется характер квантования электрического и магнитных зарядов – величина магнитного заряда возрастает по отношению к величине электрического заряда пропорционально количеству струн.²⁶ Если сопоставить два этих факта, то можно предположить, что дробность электрических зарядов кварков во внутреннем пространстве барионов объясняется наличием в этом пространстве трех кварковых струн, связанных с одним целочисленным магнитным зарядом. То есть разные "цвета" кварков определяются тем, что они переходят из состояния электрических зарядов в состояние магнитных зарядов по взаимосвязанным струнам. Этим же определяются измерения нашего пространства-времени.

Правда здесь возникает пара вопросов. Во-первых, каким образом кварки могут переходить в магнитные заряды, если в одном барионе этот заряд один на три кварка? Ответ на этот вопрос состоит в том, что целочисленность магнитного заряда, в который переходят эти кварки, относительна. Во вселенной магнитных зарядов ситуация выглядит с точностью до наоборот: три монополя с дробными магнитными зарядами связаны струнами с одним целочисленным электрическим зарядом нашей Вселенной. При этом сразу же разрешается проблема барионных кварковых струн – такие струны ничем не отличаются от мезонных, просто у них антикварковые концы объединены в один целочисленный магнитный заряд. Этим же объясняются конфайнмент и асимптотическая свобода кварков внутри адронов. Просто "выдернуть" их из адронов в нашу Вселенную можно только вместе с объединяющим их магнитным зарядом, т.е. только в составе тех же адронов.²⁷ И наоборот, чем глубже пробные частицы проникают во внутреннее пространство адронов, тем дальше расходятся концы кварковых струн, тем больше эти струны становятся похожими на мезонные.

Во-вторых, куда девать цветное взаимодействие между кварками стандартной модели, если в моей модели различие состояний этих кварков определяется не цветом, а струнами? Тем более что конфайнмент и асимптотическую свободу кварков внутри адронов я объяснил также с помощью струн. Ни для чего другого гипотеза цвета вроде бы не нужна. На самом деле она нужна – нужна для объяснения существования самого внутреннего пространства адронов, а значит и пространства нашей Вселенной. Гипотеза цвета имеет прямое отношение к дробному квантованию электрического заряда. Потому что если во

²⁵ Так Липкин в шутку назвал свою классификацию, симметричную обычной изотопической классификации.

²⁶ Я говорил об этом во 2-й части.

²⁷ А насколько прочно эти заряды удерживают кварки в барионах демонстрируют те же электроны, с помощью которых мы пытаемся выбить кварки оттуда.

внутреннем пространстве адронов имеются движущиеся электрически заряженные частицы с ненулевой массой покоя, то там должны быть и фотоны. А если электрические заряды этих частиц имеют неравную дробную величину, да еще и противоположный знак, то фотоны также должны иметь электрический заряд,²⁹ чтобы обеспечить локальную симметрию движения этих частиц.

Помните работу Ландау и Померанчука по нулификации электрического заряда реального электрона? Тогда я сказал, что этот результат посчитали незаконным, поскольку на таких расстояниях и при таких импульсах виртуальных частиц электромагнитное взаимодействие уже нельзя рассматривать отдельно от сильного взаимодействия. Сейчас я могу уже сказать, что электрический заряд у фотонов, излучаемых реальным электроном, возникает автоматически при дроблении его электрического заряда на части и обеспечении целочисленности магнитного заряда связанного с ним монополя. Эти дробные заряды, помимо своей величины, имеют дополнительное свойство, ориентирующее эти заряды друг относительно друга так, чтобы они не находились в одном квантовом состоянии.³⁰ Именно это свойство формирует измерения пространства нашей Вселенной. Я буду по-прежнему называть это свойство "цветом" (а заряженные фотоны – "глюонами"), пока не возникнет необходимость в прямом указании на его электромагнитную природу.

Хочу еще раз подчеркнуть: каждый электрон нашей Вселенной связан струнами с тремя кварками магнитной вселенной, имеющими дробный магнитный заряд, и наоборот, кварки наших нуклонов связаны струнами с одним лептоном магнитной вселенной, имеющим целочисленный магнитный заряд. То есть различие между лептонами и барионами относительно – оно определяется тем, в какой вселенной находятся концы мезонных струн, формирующих данный лептон и данный барион. В той вселенной, в которой эти концы сжимаются в целочисленный заряд с неразличимыми структурными элементами, в той этот заряд становится лептоном. И наоборот, в той вселенной, в которой эти концы различимы внутри целочисленного заряда, в той этот заряд становится барионом. А регулируется это распределение лептонов и барионов СРТ-симметрией вселенных электрических и магнитных зарядов.

В связи с этим хочу уточнить понятие барионного заряда. Как я уже говорил, этот заряд может быть представлен в виде суммы ароматов составляющих барионы кварков. Конкретно это представление сводится к формуле, согласно которой электрический заряд барионов равен сумме проекции их изоспина и половины их барионного заряда.³¹ С открытием странных, очарованных, прелестных и истинных адронов эта формула претерпела изменение, отражающее тот факт, что в ядерном взаимодействии сохраняется не только барионный заряд, но и ароматы адронов. В новом виде эта формула гласила, что электрический заряд барионов равен сумме проекции изоспина и половины суммы их барионного заряда и ароматов.³²

²⁹ Причем заряд этих фотонов должен быть двойным, т.е. одновременно положительным и отрицательным.

³⁰ То есть измерения пространства – это первичная форма спиновых статистик.

³¹ $Q = I_z + \frac{1}{2}B$, где Q – электрический заряд, I_z – проекция изоспина, B – барионный заряд. В таком виде эта формула никогда не фигурировала в изотопической классификации, поскольку сразу была введена с учетом странности адронов.

³² $Q = I_z + \frac{1}{2}(B + s + c + b + t)$, где s – странность, c – очарование, b – прелесть, t – истинность. В таком виде эта формула была введена Гелл-Манном и Нишиджимой в 1953 году. Точнее, она была введена в виде $Q = I_z + \frac{1}{2}(B + s)$, поскольку ароматы c , b и t тогда еще не были открыты.

С появлением гипотезы кварков эта формула вновь претерпела изменение. Оказалось, что барионный заряд адронов может быть представлен в виде той же суммы их ароматов. Возникновение его в изотопической классификации объяснялось тем, что не была известна кварковая структура адронов. В унитарной классификации, учитывающей эту структуру, вместо барионного заряда вводится понятие *гиперзаряда*, равного сумме всех ароматов кварков в барионе. В такой интерпретации формула имеет более общий характер, поскольку барионный заряд в ней оказывается частным случаем гиперзаряда. При этом электрический заряд оказывается равным сумме проекции изоспина и половине гиперзаряда.³³

Так вот, заряд Q (см. 31-ю, 32-ю и 33-ю сноски) в левой части этой формулы представляет не только электрический, но и магнитный целочисленный заряд. Правая же часть этой формулы описывает дробную часть квантования данного заряда. Ясно, что она также представляет не только электрические, но и магнитные дробные заряды. При этом проекция изоспина дополняет величину гиперзаряда до целочисленного электрического (магнитного) заряда, поскольку гиперзаряд может состоять из разного количества ароматов – одного, двух или трех. В стандартной модели эта формула имеет абстрактный смысл, в моей модели она описывает взаимосвязанное дробно-целочисленное квантование электрических и магнитных зарядов. При этом заряд Q можно рассматривать как общий электро-магнитный заряд слабого взаимодействия. В стандартной модели³⁴ квантование электрического заряда не зависит от существования магнитного заряда – оно следует из симметрии зарядов лептонов и кварков, объединенных в один мультиплет. В моей модели оно следует из лептонно-барионной структуры электрических и магнитных зарядов. В стандартной модели проекция изоспина связывает квантование электрического заряда с квантованием магнитного заряда. В моей модели проекция изоспина связывает "цвета" кварков с их ароматами. Позднее я уточню, каким образом.

Прежде чем продолжить, вернемся ненадолго к истории. В 1927 году, при изучении бета-распада радиоактивных ядер, физики недосчитались некоторого количества энергии. Как полагали сначала, при этом один из нейтронов атомного ядра распадается на протон, электрон и гамма-фотон. Согласно закону сохранения энергии, сумма энергий продуктов распада при этом должна равняться энергии исходного ядра, поэтому энергия излучаемых ядром электронов должна быть фиксированной.³⁵ Но оказалось, что вылетающие из ядра электроны уносили с собой только часть полагающейся им энергии, причем в разных распадах эта часть оказывалась различной.

Поначалу этот факт пробовали объяснить нарушением закона сохранения энергии в процессах радиоактивного распада.³⁶ Но в 1929 году Паули предположил, что при бета-распаде возникает еще одна частица, которая не регистрируется приборами, поскольку имеет нулевой электрический заряд и нулевую массу покоя. Именно эта частица, по утверждению Паули, и уносила недостающую энергию. Дополнительным основанием для такого предположения служило то, что помимо нарушения закона сохранения энергии в этом распаде нарушались также законы сохранения импульса и момента импульса. При

³³ $Q = I_z + \frac{1}{2}Y$, где Y – гиперзаряд; $Y = u + d + s + c + b + t$, где u и d – верхний и нижний ароматы. Понятие гиперзаряда в 1956 году ввели д'Эспанья и Претки, а Швингер в этом же году связал его со странностью адронов.

³⁴ Точнее, в теории Великого объединения взаимодействий (электромагнитного, слабого и сильного).

³⁵ Равной разности энергии исходного ядра и энергий других продуктов распада.

³⁶ Такое объяснение предложил Бор.

этом треки вылетающих из ядра частиц выглядели так, будто из него вылетали не две частицы – электрон и фотон, – а три. Аналогичное предположение сделали бы и мы, если наблюдали за столкновениями массивных шаров, один из которых невидим, но участвует в столкновениях наравне с другими шарами.

Предложенную Паули частицу назвали *нейтрино* (ν). Ее античастица, соответственно, была названа *антинейтрино* ($\bar{\nu}$).³⁷ Нейтрино и антинейтрино являются лептонами, т.е. не участвуют в сильном взаимодействии адронов. Кроме того, они являются фермионами, т.е. имеют, как и электрон, полуцелый спин. Как уже говорилось выше, они имеют нулевой электрический заряд и нулевую массу покоя. Благодаря этим свойствам нейтрино и антинейтрино крайне слабо взаимодействуют с веществом.³⁸

Так вот, если моя магнитно-электрическая-лептонно-барионная модель элементарных частиц верна, то с нашими нейтронами должен быть связан магнитный лептон, не имеющий электрического заряда. А поскольку при распаде нейтронов излучается антинейтрино, то естественно отождествить его с этим лептоном. Для магнитных антинейтронов (магнитных барионов, не имеющих электрического заряда), таким лептоном будет нейтрино. Из этого предположения следуют два интересных вывода, допускающих экспериментальную проверку. Во-первых, нейтрино и антинейтрино должны обладать массой, что уже подтверждено в эксперименте.³⁹ Во-вторых, нейтрино и антинейтрино существуют в разных вселенных, что каким-то образом должно проявляться в эксперименте. В одной вселенной они могут существовать только в нестандартных ситуациях, подобных одновременному появлению электрона и позитрона в нашей Вселенной.

Еще один интересный вывод связан с распадом нейтрона на протон, электрон и антинейтрино. В моей модели такой распад может происходить только в одном случае – если параллельно ему во вселенной магнитных зарядов антинейтрон распадается на антипротон, позитрон и нейтрино.⁴⁰ При этом магнитный позитрон подстраивается к нашему протону, а наш электрон подстраивается к магнитному антипротону, образуя лептонно-барионные пары. Нейтрино и антинейтрино подстраиваются к другим только что образовавшимся нейтронам и антинейтронам.⁴¹ В силу нелокальных взаимоотношений между нашей Вселенной и вселенной магнитных зарядов, это может происходить мгновенно. Кроме того, они могут поглощаться другими нуклонами и антинуклонами (например, как в 41-й сноске). Но для этого они должны начать осциллировать, т.е. превращаться друг в друга, переходя из одной вселенной в другую, чтобы нелокальным способом найти точку своего поглощения.

Несколько сложнее обстоит дело с мезонами стандартной модели. С одной стороны, все наблюдаемые свойства мезонов – электрический заряд, спин, масса, аромат(ы) –

³⁷ Оно возникает в распадах нейтронов на протон, электрон и фотон. Нейтрино возникает в распадах антинейтронов на антипротон, позитрон и фотон.

³⁸ Для наглядности – пучок нейтрино с энергией 1 МэВ может без поглощения пройти стальную плиту толщиной с расстояние от Земли до ближайшей к ней звезды!

³⁹ В 2015 году Макдоналд и Кадзита зарегистрировали *нейтринные осцилляции*, которые могут происходить только при наличии у нейтрино массы. Нейтринные осцилляции – это взаимные превращения нейтрино и антинейтрино, а также разных сортов нейтрино и антинейтрино – электронного, мюонного и таонного.

⁴⁰ Во всех остальных случаях моя модель приводит к противоречиям.

⁴¹ Например, образовавшимся в реакциях $p^+ + \bar{\nu} \rightarrow n^0 + e^+$; $p^- + \nu \rightarrow \bar{n}^0 + e^-$.

прекрасно описываются стандартной моделью, которая утверждает, что все мезоны состоят из кварка и антикварка. С другой стороны, в моей модели основным состоянием всех античастиц является состояние магнитных зарядов. И если антикварк находится в этом состоянии, то он уже не может участвовать в формировании свойств мезона, т.е. эти свойства должны быть другими. Более того, при этом кварк мезона должен выглядеть как свободный, что находится в резком противоречии с опытом. Но если предположить, что кварки и антикварки мезонов только тогда "расходятся" по разным вселенным, когда находятся во внутреннем пространстве адронов, то все становится на свои места. А именно, во внутреннем пространстве адронов антикварк мезона переходит в состояние магнитного заряда, а его кварк становится свободным, и наоборот, во внешнем пространстве адронов антикварк мезона переходит в состояние электрического заряда и составляет пару кварку. При этом во вселенной магнитных зарядов к ним должны подстраиваться соответствующие магнитные кварки и антикварки.

Можно, конечно, возразить, что во внутреннем пространстве адронов могут находиться только *валентные* кварки, а других одиночных кварков там быть не должно, иначе электрические заряды адронов были бы другими. Но здесь нужно учитывать то, что кварки, как и электроны, могут быть не только реальными, но и виртуальными. Реальные кварки – это валентные кварки; они составляют структуру адронов. Виртуальные кварки – это *невалентные* кварки; они составляют виртуальное облако адронов подобно тому, как виртуальные электроны составляют виртуальное облако реального электрона. Реальные частицы излучают виртуальные частицы и тут же поглощают их обратно. Время, в течение которого существуют виртуальные частицы, и расстояние, на которое они успевают улететь от реальных частиц, не может превышать величины постоянной Планка.

Есть, правда, еще одна возможность "расхождения" кварков и антикварков мезонов по разным вселенным – это мезонные осцилляции. Как и в нейтринных осцилляциях, в них кварк и антикварк, превращаясь друг в друга, переходят из одной вселенной в другую. Наиболее очевидны такие осцилляции в случае электрически нейтральных мезонов, например, π^0 -мезонов. Стандартная модель рассматривает эти мезоны как суперпозицию (смешанное состояние) комбинаций кварков ($u^{+2/3} u^{-2/3}, d^{-1/3} d^{+1/3}$). В моей модели это смешивание объясняется осцилляцией этих комбинаций между вселенными электрических и магнитных зарядов. При этом комбинации ($u^{+2/3} u^{-2/3}$) и ($d^{-1/3} d^{+1/3}$) постоянно меняются своими местами. Они могут осциллировать и всей совокупностью ($u^{+2/3} u^{-2/3}, d^{-1/3} d^{+1/3}$); в таком случае к ней подстраивается аналогичная совокупность магнитных кварков. Электрически заряженные мезоны могут осциллировать только в паре с аналогичными магнитными мезонами, что равносильно их постоянному нахождению в соответствующей вселенной. Осцилляции нейтральных мезонов очевидны именно из-за перемешивания их состояний.⁴²

А теперь поговорим об измерениях времени. Как вы думаете, какие частицы должны эти измерения формировать? Если верить Эйнштейну, что измерения времени неразрывно

⁴² Интересно, что моя модель допускает также нейтрон-антинейтронные осцилляции. Это – встречные переходы нейтронов и антинейтронов (нейтрино и антинейтрино) по струне. В стандартной модели такие переходы допускают только некоторые варианты теории Великого объединения взаимодействий. Более того, поскольку все переходы частиц по струне в моей модели осуществляются таким же образом, то она допускает также протон-антипротонные (электрон-позитронные) осцилляции. Выше я говорил, что распределение лептонов и барионов по обеим вселенным регулируется СРТ-симметрией. Она же регулирует все синхронные реакции распада и образования (превращения) электрических и магнитных адронов.

связаны с измерениями пространства (а в этом сегодня не сомневаются даже противники Эйнштейна), то это должны быть те же кварки. Отсюда автоматически следует второй вопрос: какие свойства кварков отвечают за формирование этих измерений? Из тех свойств, которые могут быть к этому причастны, у меня осталось только одно – аромат.⁴³ Следовательно, именно это квантовое свойство формирует время нашей Вселенной (или просто маркирует его). Проблема в том, что время в нашей Вселенной одномерно, тогда как нуклоны в ней состоят из кварков двух ароматов: u- и d-. Следовательно, время в ней должно быть двумерно.

На самом деле эта проблема не такая уж серьезная. Вспомните, что все ядра атомов в нашей Вселенной состоят из двух видов нуклонов – протонов и нейтронов. При этом в разворачивании дальнейшей структуры материи участвуют только протоны. Нейтроны в нем не участвуют, поскольку не имеют электрического заряда. Они только обеспечивают устойчивость структуры атомного ядра. Если же они вылетают из ядра, то вскоре (примерно через двенадцать минут) распадаются. Это означает, что измерения времени в нейтронах "законсервированы", никак не проявляют себя на макроскопическом уровне организации материи.

Остаются, правда, те же два аромата кварков в протонах. Но здесь нужно вспомнить, что d-кварки в протонах обеспечивают, помимо существования еще одного пространственного измерения, нейтрализацию лишнего электрического заряда u-кварков, чтобы этот заряд был равным заряду электрона. Это означает, что d-кварки в протонах не участвуют в разворачивании дальнейшей структуры материи, и их измерения времени также "законсервированы", никак не проявляют себя на макроскопическом уровне. В нейтронах d-кварки полностью гасят электрический заряд u-кварков, почему нейтроны и не участвуют в дальнейшем разворачивании структуры материи.

Таким образом, время нашей Вселенной на макроскопическом уровне организации материи в моей модели одномерно, как это и требуется для "хорошей" теории. Двумерно оно только на уровне нуклонов, но лишнее измерение при этом сворачивается, не проявляет себя выше этого уровня. Более того, если учесть, что сегодня известно уже шесть ароматов кварков, можно предположить, что время нашей Вселенной на уровне адронов шестимерно. Но при этом лишние измерения либо свернуты, как у нейтронов, либо эти адроны быстро распадаются. Причем распадаются они, в отличие от нейтронов, в доли секунды. А то, что такие адроны все же регистрируются в эксперименте, можно рассматривать как доказательство, что время нашей Вселенной на уровне адронов действительно шестимерно. Но если бы кварки высших ароматов могли образовывать барионы, которые были бы устойчивыми в составе атомного ядра, и могли бы участвовать в разворачивании дальнейшей структуры материи, то время нашей Вселенной было бы шестимерным и на макроскопическом уровне. Вполне может быть, что где-то в нашей Вселенной существуют такие пространства, в которых макроскопическое время многомерно...

А сейчас хочу напомнить, что наша Вселенная и вселенная магнитных зарядов движутся во времени навстречу друг другу. При этом прошлое нашей Вселенной, которое мы воспринимаем как ее пространство, является будущим для вселенной магнитных зарядов

⁴³ Электрический заряд и спин не могут быть к этому причастны, иначе электроны также участвовали бы в таком формировании. (Они, правда, и участвуют, но только вместе с цветом и ароматом. См. далее).

и наоборот, будущее нашей Вселенной является прошлым для вселенной магнитных зарядов и ее пространством. Момент настоящего является общим для обеих вселенных. Кроме того, напоминаю, что когда наши частицы переходят из состояния электрических зарядов в состояние магнитных зарядов и обратно через будущее нашей Вселенной, то у них фиксируются корпускулярные свойства, прежде всего масса покоя. И еще напоминаю, что элементарные частицы вселенной магнитных зарядов "забивают битком" все пространство нашей Вселенной. Из всего этого следует, что будущее нашей Вселенной "забивает битком" все пространство вселенной магнитных зарядов и является для нас массовым полем, из которого наши частицы "черпают" свои массы. И наоборот, будущее вселенной магнитных зарядов ("забивающее битком" все пространство нашей Вселенной) является для ее частиц массовым полем, из которого уже они "черпают" свои массы. В отличие от масс наших частиц, массы магнитных зарядов являются мнимыми.

Все, что я сейчас сказал, так или иначе я говорил раньше, только по конкретным случаям, не связывая все вместе. А повторил я это затем, чтобы связать со следующим фактом: с каждым новым ароматом у кварков u -, d -, s -, c -, b - и t - последовательно увеличивается масса покоя. Это означает, что ароматы маркируют не столько разные измерения времени, сколько разные моменты настоящего, равносильные нашему моменту, продолжающие их цепочку в будущее нашей Вселенной. Причем это еще не означает, что они не могут быть маркерами измерений времени, поскольку наше будущее многовариантно. Просто мы, выбивая адроны из будущего, автоматически связываем их с нашим направлением времени.⁴⁴ А то, что в нашем настоящем существуют два аромата кварков – u - и d -, – говорит о размытости момента нашего настоящего. С учетом того, что во внутреннем пространстве наших элементарных частиц будущее и без того перемешано с прошлым, в этом нет ничего удивительного.

И, наконец, существование тяжелых родственников электрона – μ^- и τ^- – говорит о том, что в будущем нашей Вселенной могут разворачиваться другие моменты настоящего, обладающие таким же полноценным трехмерным пространством, как наше...⁴⁵ И наоборот, за световой границей нашей Вселенной могут существовать другие пространства, в которых частицы, образующие материю, имеют что-то вроде аромата наших кварков, только связанного не с массой, а с волновыми свойствами этих частиц. Но для выбивания этих частиц из нашего прошлого нужна принципиально иная физика...

Обратите внимание – цепочка лептонов и кварков у меня протягивается только в будущее нашей Вселенной. Как вы думаете, какой вывод можно сделать из этого факта в связи с моей моделью? Правильно, что такая же цепочка должна протягиваться и в будущее вселенной магнитных зарядов. И что "ароматы" этих магнитных частиц должны быть мерой их мнимой массы. И что в проекции на нашу Вселенную эта мера должна выглядеть как мера волновых свойств наших частиц, в том числе тех, что существуют в далеком прошлом, за световой границей нашей Вселенной. И что для выбивания этих частиц из прошлого, как я уже сказал, нужна принципиально иная физика...

⁴⁴ Кроме того, ароматы кварков можно рассматривать как меру (квант) массы элементарных частиц, отмечающую степень их проникновения в будущее.

⁴⁵ Вот вам и физическая основа для существования 26-мерной квантово-релятивистской кварковой струны, о которой я говорил в 15-й сноске: 9 измерений пространства нашей Вселенной (по 3 измерения на пространства электрона, мюона и таона), 9 измерений пространств вселенной магнитных зарядов, 6 измерений времени нашей Вселенной (по 2 измерения на каждое поколение кварков) и 6 измерений времени вселенной магнитных зарядов. Итого 30 измерений.

Хочу также обратить ваше внимание на то, что моя модель снимает проблему происхождения поколений лептонов и кварков. В стандартной модели элементарных частиц последние делятся на три поколения. В первое поколение входят *u*-кварк, *d*-кварк, электрон и его нейтрино, во второе – *s*-кварк, *c*-кварк, мюон и его нейтрино, а в третье – *b*-кварк, *t*-кварк, таон и его нейтрино. Стандартная модель не может объяснить это деление, в моей модели оно является следствием лептонно-барионной структуры электрических и магнитных зарядов и квантования их массы в будущем нашей Вселенной. В рамках этой структуры все частицы одного поколения оказываются взаимосвязанными, а в рамках этого квантования они оказываются распределенными по разным (трем) моментам настоящего.

А сейчас я объясню, каким образом проекция изоспина в моей модели связывает "цвета" кварков с их ароматами. Для этого рассмотрим понятие *осциллятора*. В классической механике *линейным гармоническим осциллятором* называется материальная точка с ненулевой массой покоя, совершающая гармонические колебания под воздействием упругой силы. Примером такого осциллятора является пружинный (или обычный) маятник, описываемый соответствующим уравнением движения. В квантовой механике линейным гармоническим осциллятором называется частица с ненулевой массой покоя, совершающая гармонические колебания в силовом поле той или иной природы. Колебания такого осциллятора описываются стационарным уравнением Шредингера. Осциллятор может быть одномерным (совершать колебания вдоль одной пространственной оси), двухмерным (... двух осей) или трехмерным (... трех осей). Период колебаний осциллятора – это время, в течение которого частица движется от одной точки силового поля к другой точке и обратно.

Как вы могли заметить, колебания квантового осциллятора описываются в проекции на обычное пространство-время нашей Вселенной. Такое описание вполне применимо к движению электронов на стационарных орбитах в атоме. Но уже к движению нуклонов внутри атомного ядра оно не применимо, по крайней мере в полном объеме. А к движению кварков внутри нуклонов применять его и вовсе нельзя. Там даже единого силового центра нет, вокруг которого могли бы упорядоченно двигаться кварки. Что уж тогда говорить о моей модели, которая лишила внутреннее пространство нуклонов даже обычных измерений пространства и времени, на которые можно было бы проецировать движение кварков. В ней вообще непонятно, что и как описывать.⁴⁶ Единственный выход – описывать такой осциллятор без опоры на геометрию пространства-времени.

И это действительно можно сделать, поскольку в моей модели цвета и ароматы кварков могут заменять измерения пространства и времени. При этом силовое поле барионного осциллятора будут задавать глюоны, структуру потенциальной ямы – цвета кварков, а период колебаний (промежуток времени между двумя моментами) – переходы между ароматами кварков. Самой же частицей, совершающей эти колебания, будет магнитный лептон, связанный с данными кварками.⁴⁷ В нуклонах такой осциллятор будет иметь две

⁴⁶ Попытки такого описания делались (по аналогии с описанием относительного движения трех тел), но расходились с экспериментальными данными.

⁴⁷ На самом деле колебания барионного осциллятора совершаются на основе переходов образующих его частиц по струне. Но в приближении реальных состояний допустима и такая интерпретация. Колеблется действительно образующий лептон, и колеблется он в трех измерениях пространства своей вселенной между двумя моментами времени, поворачиваясь в пространстве. Повороты – это и есть переходы его по струне, т.е. спиновое движение.

степени свободы, поскольку магнитный лептон может колебаться только между одним d-кварком и двумя u-кварками (в протоне) или между одним u-кварком и двумя d-кварками (в нейтроне). Такое состояние осциллятора можно считать стационарным. Оно возникает тогда, когда ароматы групп (u-, s-, b) и (d-, c-, t) комбинируются по два между группами в разных сочетаниях. Комбинирование их по два в пределах одной группы будет уже нестационарным. Кроме того, нестационарными будут комбинации из трех разных ароматов. Наконец, три кварка одного аромата будут артефактом. Существование такого осциллятора возможно только в виде совместного мгновенного распада с его антиподом сразу после возникновения.

Роль проекции изоспина в построении барионного осциллятора заключается в поддержании целочисленности его электрического заряда. К примеру, построение его из трех кварков одного аромата возможно только тогда, когда они имеют заряд $-1/3$ или $+1/3$ (в последнем случае это будут уже антикварки).⁴⁸ Выполнение этого требования обеспечивает проекция изоспина, сверяющая заряды кварков с целочисленным зарядом связанного с ними магнитного лептона.⁴⁹ Изменение заряда и аромата кварков возможно только тогда, когда соответствующим образом перестраивается внутренняя виртуальная структура этого лептона. И сверка, и изменение заряда и аромата кварков происходят в полупериоды колебаний барионного осциллятора.

Обращаю ваше внимание, что структура потенциальной ямы барионного осциллятора и две степени его свободы не имеют прямого отношения к измерениям пространства и времени нашей Вселенной. Последние формируются переходами кварков из нашей Вселенной во вселенную магнитных зарядов и обратно, а структура ямы и степени свободы осциллятора – это просто параметры динамики связанного с этими кварками магнитного лептона. Это отличает мою модель от теории суперструн, в которой пространство, время и их измерения отделены от струн, представляют собой самостоятельные объекты. Описание струн в этой теории изначально опирается на понятие пространства-времени, в котором они движутся и вибрируют, что позволяет вывести их физические свойства. Это – стандартный теоретико-полевой подход в современной физике. Несколько выпадают из него нульмерные струны, в каком-то смысле существующие вне пространства и времени. Полагают, что эти объекты являются фундаментальными в теории суперструн, но в целом стандартный подход в ней сохраняется.

В связи с этим хочу уточнить, каким образом ароматы кварков связаны со временем нашей Вселенной. Ароматы – это своего рода размеры внутреннего пространства барионов. Эти размеры являются не пространственными, а временными – они задают "длину свободного пробега" глюонов, измеряемую в единицах ct . А поскольку в моей модели такого "пробега" нет, то на самом деле они задают геометрические взаимоотношения между вселенными электрических и магнитных зарядов. В электрических барионах ароматы задают размеры вселенной магнитных зарядов (в магнитных барионах – размеры нашей Вселенной, измеряемые в световых годах). При этом аромат легкого кварка задает внешнюю границу внутреннего пространства барионов, а аромат тяжелого кварка – внутреннюю границу этого пространства. Фактически, это

⁴⁷ В первом поколении кварков первому варианту соответствует псевдоантипротон, а второму варианту – псевдопротон. Обнаружить их в эксперименте вряд ли возможно на фоне других резонансов.

⁴⁸ То есть она, как и в стандартной модели связывает квантование электрического и магнитного зарядов.

расстояние между конфайнментом и асимптотической свободой кварков. Я не буду сейчас утверждать, что конфайнмент определяется ароматом легкого кварка, а асимптотическая свобода – ароматом тяжелого кварка, поскольку в этой гипотезе остается еще много неясного.⁵⁰ В следующей части я постараюсь уточнить этот вопрос, а пока только скажу, что ароматам соответствуют сохраняющиеся динамические свойства адронов.

Завершая эту часть, хочу еще раз вернуться к истории изучения ядерного взаимодействия адронов. В 1952 году Ферми открыл возбужденное состояние нуклона со спином $3/2$ и очень малым временем жизни (порядка 10^{-23} с). Такое состояние, как и состояния стабильных элементарных частиц, характеризуется определенными квантовыми числами, поэтому его отождествили с частицей (Δ -изобарой). Но чтобы подчеркнуть чрезвычайно малое время жизни, его и другие подобные состояния называли резонансами. Большинство известных в настоящее время элементарных частиц относится именно к резонансам.

Резонансы обнаруживаются в эксперименте по характерному распределению энергии продуктов их распада. К примеру, в реакции $K^- + p^+ \rightarrow \Lambda + \pi^+ + \pi^-$, если образовавшиеся частицы не взаимодействуют между собой, энергетическое распределение π -мезонов должно описываться плавной кривой. Но в некоторых экспериментах энергия π -мезонов не укладывалась в эту кривую (на ней имелся пик). Этот факт интерпретировали как возникновение резонанса Y^- , который быстро распадается на Λ и π^- : $K^- + p^+ \rightarrow Y^- + \pi^+ \rightarrow \Lambda + \pi^- + \pi^+$.

Взаимодействие адронов описывается *S-матрицей*, теория которой была разработана Гейзенбергом в 1943 году. Элементы этой матрицы представляют амплитуды процессов рассеяния адронов. При этом каждый процесс разбивается на три этапа: начальное состояние, в котором взаимодействием между исходными частицами можно пренебречь; промежуточное состояние, в котором частицы взаимодействуют; и конечное состояние, в котором взаимодействием между образовавшимися частицами снова можно пренебречь. Сама S-матрица – это оператор, который преобразует начальные состояния частиц в конечные состояния.

Свойства S-матрицы определяются тремя условиями: релятивистской инвариантностью, унитарностью и причинностью. Первые два условия непосредственно выражаются через элементы матрицы: релятивистская инвариантность требует, чтобы эти элементы не менялись при преобразованиях Лоренца; унитарность связывает амплитуды разных процессов; а условие причинности означает, что элементы S-матрицы, зависящие от энергий и импульсов взаимодействующих частиц, должны быть аналитическими функциями своих аргументов. Выполнение этих условий позволяет получить интегральные соотношения между матричными элементами, которые называются дисперсионными соотношениями.

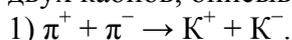
В предыдущей части я уже упоминал эти соотношения в связи с проверкой выполнения законов специальной теории относительности на расстояниях, сравнимых с размерами элементарных частиц. Тогда я сказал, что выполнение этих законов было подтверждено вплоть до 10^{-16} см, что намного меньше размеров протона и даже размеров электрона. В

⁵⁰ Например, неясно, как встроить конфайнмент и асимптотическую свободу в структуру барионов с двумя разными внешними или внутренними границами (ароматами легких или тяжелых кварков), с тремя разными внешними или внутренними границами, с тремя одинаковыми внешними или внутренними границами?...

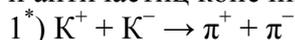
данном случае это означает, что условия релятивистской инвариантности, унитарности и причинности выполняются для S-матрицы. В 1954 году это установили Голдбергер, Гелл-Манн и Тирринг. А в 1956 году Боголюбов на основе квантовой теории поля строго доказал выполнение дисперсионных соотношений в формализме S-матрицы.

Теория взаимодействия адронов, основанная на формализме S-матрицы, является феноменологической теорией. Это проявляется в том, что массы адронов, константы их взаимодействия, значения сечений и амплитуд рассеяния берутся из эксперимента, поскольку не могут быть вычислены в теории. В связи с этим предлагались различные полуфеноменологические схемы взаимодействия адронов, уточняющие формализм S-матрицы. Одной из таких схем является *перекрестная* или, по-другому, *кроссинг-симметрия*, предложенная Фельдманом и Мэтьюзом в 1956 году. Смысл ее состоит в том, что несколько различных процессов с участием адронов описываются одной и той же амплитудой рассеяния.⁵¹

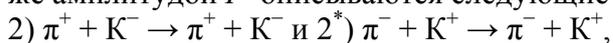
В качестве примера рассмотрим реакцию взаимодействия двух пионов с образованием двух каонов, описываемую некоторой амплитудой F :



Согласно СРТ-теореме, эта реакция симметрична относительно замены исходных частиц и античастиц конечными частицами и античастицами, а значит реакция



описывается той же амплитудой F . Более того, согласно той же СРТ-теореме, одной и той же амплитудой F' описываются следующие реакции:



поскольку они получаются друг из друга заменой частиц античастицами.⁵² Реакция 2)

получается из реакции 1) заменой мест π^- и K^+ и заменой их античастицами. Как предположили Фельдман и Мэтьюз, эти реакции описываются той же амплитудой F , что и реакция 1). Это предположение подтверждается в эксперименте, но доказать его строго в рамках квантовой теории поля не удалось.

Наиболее яркое выражение кроссинг-симметрия получила в гипотезе *бутстрапа*, предложенной Чу в 1961 году. Согласно этой гипотезе, существование и свойства адронов обусловлены их взаимодействием, поэтому все они, включая резонансы, одинаково фундаментальны. Каждый адрон является связанным состоянием каналов взаимодействия с другими адронами, каждый из которых, в свою очередь, связан таким же образом с другими адронами. При этом формализм S-матрицы должен был привести к такой системе нелинейных уравнений, которая имеет единственное решение – то, которое наблюдается в эксперименте. По идее, эта решение должно было содержать все внутренние симметрии адронов – изотопическую, унитарную и др. Но эта программа не была реализована.

Другое направление развития кроссинг-симметрии предложил в 1959 году Редже. Анализируя график Чу-Фраучи, устанавливающий зависимость массы адронов от их спинов, он построил так называемые *траектории Редже* и *полюса Редже*. Траектория Редже – это соотношение, связывающее квадрат массы адрона m^2 с его спином J в различных реакциях. Траектория Редже строится на основе экспериментальных данных

⁵⁰ В 1958 году Мандельштам постулировал определенные аналитические свойства амплитуд рассеяния частиц и получил двойные дисперсионные соотношения, соответствующие кроссинг-симметрии.

⁵¹ В 1958 году такую теорему в рамках квантовой теории поля доказал Померанчук.

при отборе адронов с одними и теми же зарядами, четностью, изотопическими спинами, но со спинами J , отличающимися на две единицы. Проводя через точки с координатами (m^2, J) плавную кривую, получают траекторию Редже. В теории Редже адроны рассматривались не как элементарные частицы, а как проявления одного протяженного объекта – *реджеона*.

Все траектории Редже являются прямыми и почти параллельными линиями. Каждая траектория характеризуется своей точкой пересечения с осью J (значением J_0 при $m^2 = 0$). Физический смысл на траекториях Редже имеют только точки с целым и полуцелым значением спина. Через каждые две единицы спина на траектории должны следовать адроны, что позволят предсказывать их существование. Все адроны, находящиеся на одной траектории, представляют семейство возбужденных спиновых состояний некоторого исходного адрона (со спином J_0).

Что касается полюсов Редже, то им соответствуют точки траекторий Редже, связывающие перекрестные каналы взаимодействия адронов. Наиболее наглядным является случай, когда в одних реакциях эти адроны выступают в качестве объектов ядерного взаимодействия, а в других реакциях – в качестве обменных квантов этого взаимодействия. Так, например, в одних реакциях протоны и антипротоны могут обмениваться пионами, а в других реакциях пионы могут распадаться на протон-антипротонные пары, которые затем аннигилируют в пионы.

В теории Редже различают две энергетические области рассеяния адронов: область низких энергий и область высоких энергий. Первая представлена в основном возбуждением резонансов, когда поведение амплитуд рассеяния определяется переходом от одного резонанса к другому. Во второй вклад резонансов незначителен, и поведение амплитуд рассеяния определяется обменом полюсами Редже. При этом возникает проблема с описанием ядерных реакций в промежуточной области энергий. В 1967 году Долен, Хорн и Шмидт смогли разрешить эту проблему с помощью *гипотезы дуальности*, согласно которой вклад резонансов в амплитуду рассеяния равен вкладу полюсов Редже в перекрестном канале рассеяния.

Гипотеза дуальности приводила к идее существованию единой амплитуды рассеяния, подобной единому решению нелинейных уравнений в гипотезе бутстрапа. В 1968 году эту идею реализовал Венециано, найдя представление для амплитуды рассеяния, удовлетворяющее гипотезе дуальности.⁵² Представление Венециано описывало рассеяние адронов феноменологически, поэтому потребовались значительные усилия, чтобы понять его смысл в деталях. Прорыв наступил в 1970 году, когда Намбу, Нильсен и Саскинд обнаружили в нем возможность интерпретации рассеяния адронов как взаимодействия релятивистских струн. А в 1974 году Шварц, Шерк и Йонейя предложили теорию струн в качестве фундаментальной теории элементарных частиц.

Так вот, мой барионный осциллятор воспроизводит все результаты дуальных моделей рассеяния адронов. Подстраивая к нему дополнительные мезонные струны (при взаимодействии его с другим барионным или лептонным осциллятором) можно получить

⁵⁴ Роясь в математических справочниках, Венециано натолкнулся на так называемую *гамма-функцию*, предложенную Эйлером еще в 1730 году. Эта функция как нельзя лучше подходила для описания взаимодействия адронов.

у него любое значение спина, любое количество цветов и ароматов кварков. А при распаде его возбужденного состояния на дочерние барионные и лептонные осцилляторы можно получить любые адроны и лептоны. Причем все эти процессы будут самосогласованы за счет того, что мой осциллятор существует одновременно в двух разных вселенных и двух встречных потоках времени. Именно поэтому в нем можно менять местами исходные и конечные частицы, заменять частицы античастицами, а также менять роли переносчиков взаимодействий и объектов взаимодействий.

"Но время шло, а обучение продвигалось туго – то ли первобытный ум Маллансона с трудом осваивал непривычные понятия, то ли педагогические таланты Купера оказались не из блестящих. С каждым днем Маллансон становился все более недоверчивым и нелюдимым. Купер с ужасом чувствовал, что теряет с таким трудом завоеванные позиции, как вдруг разразилась совершенно непредвиденная катастрофа – Маллансон погиб, сорвавшись при невыясненных обстоятельствах со скалы в пропасть. Несколько недель Купер провел в состоянии беспробудного отчаяния; ему казалось, что все рухнуло, Вечность никогда не будет создана, и человечество обречено на гибель. И тогда у него возник дерзкий замысел. Он скрыл смерть Маллансона. Поселившись в хижине покойного, он приступил к созданию из подручных материалов генераторов Темпорального поля... После долгих лет упорного труда, проявив чудеса терпения и изобретательства, Купер построил генератор и отправился с ним в Калифорнийский технологический институт, тот самый, куда он много лет назад собирался послать Маллансона..."

Айзек Азимов. "Конец Вечности".

Продолжение следует...