

## Нелегкая задача установления авторства

Х.Д. Политцер

(Нобелевская лекция. Стокгольм, 8 декабря 2004 г.)

PACS numbers: 01.30.Bb, 11.10.Ni, 12.38.-t

Во время своего выступления я полагал, что среди присутствовавших есть и такие, кто более или менее понимает, что такое утренние лекции по физике. Кроме того, там было целых три человека, которые могли бы рассказать об одном знаке "минус". Если бы было только двое и знак "плюс", один мог бы рассказать о модуле, а другой — о знаке "минус". Но на мой взгляд, премия этого года представляет или символизирует не только знак "минус", но и значительное продвижение в нашем понимании физики, и является результатом многолетнего труда не только трех человек, но и большого числа ученых из разных стран. Это действительно награда всему научному сообществу.

Мой любимый преподаватель во время моей учебы в аспирантуре, Сидни Коулмен, называл это сообщество *i fratelli fisici*, подразумеваемая под этим "братство физиков". Большинство из нас хоть немного говорили на ломаном итальянском — следствие великолепных и очень важных летних школ, которые в Эриче на Сицилии организовывал Нино Зикики. Несомненно, одно из самых теплых впечатлений за время моей карьеры как физика — то, что на железнодорожной станции практически в любом уголке мира меня мог встретить совершенно незнакомый человек, который сразу начинал вести себя со мной, как со старым знакомым.

Я бы с удовольствием рассказал вам истории о каждом из них, но я, конечно, все их не знаю, да и на то, что знаю, у меня не хватит времени (или места). Поэтому я выбрал несколько человек и несколько историй, на которых остановлюсь подробно. Потом вы сможете решить для себя, насколько хорошо мне это удалось. Я буду, в основном, рассказывать о теоретиках, так как лучше с ними знаком. Хотя должен сказать, что считаю теоретическую физику принципиально паразитической профессией, существующей за счет упорного труда настоящих физиков.

Я хотел бы отметить один из аспектов влияния Нобелевских премий, заслуживающий особого внимания. Эти премии появились в значительной мере для того, чтобы представлять важные вехи развития науки. И то, какое значение они приобрели, свидетельствует о тщательности и мудрости процесса отбора. Что касается общества, эти премии поддерживают постоянный инте-

рес к самым важным научным достижениям. Но даже в среде научных специалистов они служат вехами этого развития. Использование истории в научном образовании может быть важным фактором для объяснения, почему это так происходит и как это работает. Будучи наставниками следующего поколения ученых, мы постоянно ищем способ представить в сжатой и упрощенной форме все предшествующие достижения. Мы стремимся как можно скорее подвести наших студентов к современному пониманию проблем. При таком подходе обращение к реальному, многогранному и содержащему много ошибочных шагов историческому процессу только мешает. И весьма полезной сказкой становится четкая и прямая линия развития, обозначенная последовательностью ярких жемчужин, отмеченных Нобелевскими премиями. Но это всего лишь сказка. Действительность часто гораздо сложнее. Конечно, здесь есть регулярно возникающие споры о приоритете, касающиеся того, кто является автором конкретной идеи. Однако такие вопросы часто не просто неразрешимы, но и достаточно бессмысленны. Подлинно независимые друг от друга открытия не только возможны, но и происходят постоянно. Временами еще более сложная задача в процессе выбора лауреатов — определить, что является существенной или самой важной идеей в рамках данного достаточно широкого контекста. Так что вопрос заключается не только в том, кто это сделал, т.е. кто выполнил работу, но и в чем ее смысл, другими словами, что является тем существенным "элементом", который должен стать символом данного заслуживающего особого внимания достижения.

Мне нет никакого интереса подробно излагать свою биографию или рассказывать о своей карьере физика. Вместо этого я хотел бы остановиться на ситуации вокруг конкретной работы, отмеченной в связи с наградами этого года. Итак, я начну свое повествование с поездки на конференцию, куда мы отправились вместе с Эриком Вайнбергом, аспирантом, другом и кем-то вроде наставника (он был на год старше меня), из Кембриджа, штат Массачусетс, в Хобокен, штат Нью-Джерси (думаю, это было в 1970 г.), чтобы послушать выступление нашего учителя Сидни Коулмена. Он написал статью под названием "Почему операторы дилатации не генерируют дилатации". Мы прочитали письменный вариант, но надеялись, что устный рассказ поможет нам лучше во всем этом разобраться. Дорога заняла несколько часов. Где-то посреди пути я попросил Эрика

рассказать мне немного о так называемых калибровочных теориях Янга – Миллса, или неабелевых калибровочных теориях. Я слышал название, но в остальном был в полном неведении. Введенные в 1954 г., эти теории были самым современным и наименее понятным пунктом в том коротком списке, который включал только то, что считалось возможным описанием фундаментальных взаимодействий частиц. Эрик объяснил мне основные положения, но сказал, что ничего не известно об их следствиях и что большинство самых известных, ведущих теоретиков в области физики частиц серьезно ими озадачены. (Список этих знаменитостей включал Ричарда Фейнмана, Шелли Глэшоу, Абдуса Салама и Стива Вайнберга.) И было похоже, что ни один ведущий физик не желает эту тему обсуждать; их неведение и затруднения вызвали большое замешательство.

(Когда я выступал с речью в Стокгольме, мне пришло в голову, что нужна маленькая вспышка света или звоночек, возникающие при упоминании имени Нобелевского лауреата, поскольку часть моей задачи — попытаться понять, кто им является, а кто нет. Выдающиеся имена хорошо известны физической аудитории. А для остальной части слушателей я просто временами поднимал вверх палец. Здесь я буду использовать верхний индекс  $H$ . На настоящий момент среди лауреатов Янг<sup>H</sup>, Фейнман<sup>H</sup>, Глэшоу<sup>H</sup>, Салам<sup>H</sup>, Стив Вайнберг<sup>H</sup>, но нет Коулмена и Эрика Вайнберга.)

Однако нашелся один смельчак, Тини Вельтман<sup>H</sup>, который никогда не сбрасывал со счетов теорию Янга – Миллса и вместе со своим лучшим аспирантом Герардом 'т Хофтом<sup>H</sup> открыл ларчик в 1971 г. Я думаю, не имеет значения, что лично я не знаю никого, кто утверждал бы, что детально разобрался в статье 'т Хофта. Правильнее сказать, мы все узнали о ней от Бена Ли, который объединил идеи своей собственной работы (о том, что константы перенормировки в таких теориях не зависят от выбора основного состояния) и не упоминавшейся до тех пор работы российских ученых (Фаддеева и Попова по квантованию и правилам Фейнмана), а также простое понимание, основанное на работе 'т Хофта, что это в принципе возможно. (Удивительно, насколько проще найти решение задачи, когда вы уверены, что оно существует!)

Часть физических вопросов, которая мне больше всего запомнилась на конференции в Хобокене, была связана с выступлением Т.Д. Ли<sup>H</sup>. Он уверенно утверждал, что промежуточным звеном в слабом взаимодействии, переносчиками сил являются тяжелые бозоны, и получил их массу. (Несколькими годами позже правильность его утверждений была доказана.) Самая четкая версия этой теории была написана Стивом Вайнбергом<sup>H</sup> в 1967 г. Но никто в то время даже не ссылался на статью Вайнберга. Я, например, не думаю, что работа Вайнберга сколько-нибудь повлияла на размышления Т.Д. Ли. Фактически, когда теория, известная сейчас как модель Вайнберга – Салама, получила признание Нобелевского комитета, Сидни Коулмен опубликовал в журнале *Science* список собранных им ссылок, подтверждающий, что никто не придавал значения отмеченной Нобелевской премией статье Вайнберга до появления работы 'т Хофта<sup>H</sup> (как только ее объяснил Бен Ли). В 1971 г. интерес к статье Вайнберга значительно возрос. У меня был собственный подобный опыт: в 1970 г. я проходил годичный курс обучения по слабым взаимодействиям у Шелли Глэшоу<sup>H</sup>, и он никогда даже не упоминал модель Вайнберга – Салама или свой собственный вклад в теорию (за которую он получил часть Нобелевской премии; кстати, его вклад в эту теорию содержался

в значительной мере в диссертации, выполненной под руководством Юлиана Швингера<sup>H</sup>, который в середине 1960-х годов уже опубликовал статьи о неабелевых калибровочных бозонах как переносчиках слабых сил). Опять замечу, что также лично не знаю никого, кто когда-либо читал и работу Салама по этой теме, кроме Джона Уорда, который является на самом деле соавтором соответствующих статей, но не стал Нобелевским лауреатом.

Отдельно следует сказать о работе 'т Хофта<sup>H</sup> и Вельтмана<sup>H</sup>, чей вклад был велик и оказал огромное влияние, хотя его достаточно трудно разъяснить непрофессиональной аудитории. Одно из их многочисленных достижений (называемое у нас размерной регуляризацией) — очень важный инструмент как для решения принципиальных вопросов, так и для выполнения точных расчетов. С той же целью размерная регуляризация была также независимо введена Боллини и Джамбиаджи и опубликована в более ранней работе, сейчас по большей части забытой.

Выступление Коулмена в Хобокене касалось его раннего понимания того, что получило название ренормгруппы. На его размышления оказала огромное влияние независимая работа Курта Симанзика и Кертиса Каллана. Однако несомненным чемпионом в вопросе о ренормгруппе был Кен Вильсон<sup>H</sup> (один из моих абсолютных героев на все времена), за что он и получил признание Нобелевского комитета. То, что премия в 1982 г. была вручена одному Вильсону<sup>H</sup>, отражает, вероятно, глубину его понимания, точность его подробных физических предсказаний и его протестантское усердие. Однако нам следует помнить, что работа по изучению ренормгруппы, результатом которой стали экспериментально подтвержденные предсказания, касающиеся фазовых переходов и упомянутые при вручении той премии, целиком выполнена в соавторстве с Михаэлем Фишером; нам следует помнить, что основная формальная работа была независимо проделана и еще раньше опубликована Вегнером и Хоутоном; и мы должны помнить, что весьма ценные физические идеи были ранее независимо озвучены Лео Кадановым. Более того, ренормгруппа была фактически введена Мюрреем Гелл-Маном<sup>H</sup> и Френсисом Лоу в 1954 г. Но даже эта формулировка ренормгруппы появилась еще раньше в независимой работе Штокельберга и Петермана.

Вскоре после триумфа модели Вайнберга – Салама Глэшоу<sup>H</sup> как-то задал Коулмену практический вопрос, который возник в его собственной работе. (Конкретно он был сформулирован так: "Что произойдет, если теория в целом будет обладать меньшей симметрией, чем ее сектор, описывающий скалярное поле (с нулевым спином)?") Коулмен дал ответ, но признал, что этот вопрос заслуживает более глубокого и подробного исследования. И он вместе с моим приятелем Эриком Вайнбергом занялся его изучением для простейших возможных случаев. Я следовал за ними по пятам в этой работе и порой вносил свою лепту.

(Вот забавная история о моей первой встрече с Николо Каббиво, очаровательным человеком, ответственным за монументальный вклад в наше понимание слабых взаимодействий и их связи с сильными взаимодействиями, который сейчас в значительной мере упускается из виду из-за того, что исторические события сжимаются до размеров краткого введения в современность. Мы оба были в Чикагском университете и жили в гостинице "Виндемер". Мы беседовали во время и после обеда, когда между нашими ногами сновали крысы. Он был единственным, кто когда-либо упомянул меня,

указав мое имя в благодарностях, относящихся к классической статье Коулмена и Вайнберга.)

Однажды во время нашей работы с Коулменом и Вайнбергом у меня возник интересный вопрос, который я затем задал Коулмену: "Что произойдет, если вообще не будет скалярных полей (частиц с нулевым спином)?" Это был наивный, но необычайно глубокий вопрос, которым мы оба достаточно интенсивно занимались последующие несколько месяцев. Решая эту проблему, я узнал очень много нового. И извлек пользу из более тесного и интенсивного сотрудничества с Коулменом, уделявшего мне больше внимания, чем остальным своим студентам, поскольку он активно работал над задачей вместе со мной. Однако я так и не сделал ничего такого, что по меркам Коулмена можно было бы рассматривать как существенный "прогресс". С другой стороны, я сделал много вещей, которые, оглядываясь назад, вероятно можно было бы считать заслуживающими отдельной публикации. Например, я был горд придуманным мной трюком (только позднее мне рассказали, что впервые это сделал Гейзенберг<sup>H</sup>) для решения задачи, позже получившей известность как модель Гросса–Неве (в простейшем, так называемом  $1/N$ -приближении).

Коулмен взял в Гарварде отпуск, намереваясь провести свой свободный от лекций год в Принстоне. В этот момент я решил, что мне нужна программа исследований, над которой я мог бы работать самостоятельно — нечто такое, что, может, и не отвечает высоким стандартам Коулмена, но могло бы дать мне шансы на успех. Я решил посмотреть, может ли ренормгруппа что-нибудь сказать о поведении теории Янга–Миллса при низкой энергии (или в основном состоянии). Аналогичный анализ в области электродинамики содержался в классическом учебнике Боголюбова и Ширкова, хотя Коулмен называл соответствующую главу этой книги "непостижимой". Это был возможный путь к ответу на заданный мной вопрос относительно отсутствия скалярных полей, но я полагал, что смогу непосредственно воспользоваться логикой рассуждения Боголюбова и Ширкова.

Первым важным шагом было вычисление  $\beta$ -функции теории Янга–Миллса. (Во время доклада я подразумевал, и справедливо, что ее определение четко дали в предшествовавших выступлениях мои коллеги; это, помимо прочего, тот знак "минус", на который я намекал в начале статьи.) Кстати, Эрику Вайнбергу предложили вычислить ее в качестве приложения к его диссертации, чтобы обобщить аргументацию, связанную с ренормгрупповым потоком и использованную в статье Коулмена–Вайнберга для всех случаев, кроме реалистической неабелевой теории слабых взаимодействий. Но в итоге, я полагаю, он решил, что у него достаточно материала для получения степени и пришло время заняться чем-то новым. В действительности я надеялся, что мы сравним наши записи, но он никогда не пытался провести эти вычисления.

Несколько раз я ездил к Коулмену в Принстон. Когда я описывал ему мою новую собственную программу исследований, то спросил, не знает ли он, найдена ли уже  $\beta$ -функция. Он считал, что еще нет, но сказал, что мы должны спросить у Дэвида Гросса, который находится в аудитории ниже этажом. Дэвид ответил, что нет, и тогда мы немного побеседовали на тему о том, что, хотя кому-то расчет может показаться устрашающим, он в действительности будет простым.

К счастью для нас обоих — и для Фрэнка тоже — он, вероятно, ошибался, хотя этот эпизод полон двусмы-

сленности. Насколько я знаю, нет соответствующих печатных подтверждений важных этапов этой истории, которая передается следующим поколениям только в виде разнообразных вариантов устных преданий.

В предшествующем году на главной конференции по физике частиц в Марселе, где присутствовали многие светила этой области науки, Симанзик сделал доклад в точности о том, что стало известно как "асимптотическая свобода". Он показал, как она может объяснить иначе необъяснимые, непостижимые результаты по электрон-протонному рассеянию, полученные на установке SLAC. Симанзик знал, что в других теориях  $\beta$ -функции были полностью положительными. В действительности, многие знающие люди думали, что есть общий, модельно-независимый довод в пользу положительного знака. Например, Швингер<sup>H</sup> позже спрашивал меня после моего выступления по этому вопросу: "А что по поводу положительности спектральной функции?" То есть промежуточные физические состояния имеют положительные вероятности. (Это относится к доводам, которые, несомненно, уместны в других теориях.) Симанзик сказал, что было бы интересно узнать ответ для теории Янга–Миллса, и тогда 'т Хофт объявил, что она отрицательна. Согласно некоторым версиям этой истории, 'т Хофт выступал во время обсуждения, последовавшего за докладом Симанзика. Однако некоторые участники конференции не могут такого припомнить. По другим версиям, 'т Хофт и Симанзик просто беседовали друг с другом.

Есть много соображений из первых, вторых и третьих рук по поводу того, почему 'т Хофт впоследствии никогда больше не высказывался на эту тему. Я не хочу все их здесь повторять<sup>1</sup>. Но хотел бы высказать еще одно предположение о том, почему никто на той конференции не ухватился за эту мысль или не взял ее на заметку. (Правда, меня там не было, поэтому это всего лишь предположение.) Внимание большинства теоретиков было приковано к слабым взаимодействиям, а данный вопрос касался сильных взаимодействий. Но это не может служить достаточным оправданием. Помимо прочего, активно обсуждалась проблема скейлинга в Стэнфордских электрон-протонных экспериментах. И, конечно, я думаю, решающую роль сыграл стиль выступления Симанзика. Он был очаровательным, впечатлительным, приятным человеком и выдающейся личностью. Но его устные выступления оставляли желать лучшего. Я вспоминаю, как слушал другое его выступление на какую-то похожую тему. Он использовал нарисованные от руки слайды для проектора (что было в то время стандартным способом представления научных докладов). Однако он обычно писал на своих слайдах, подкладывая вниз линованную бумагу и используя каждую строчку. Поэтому в итоге на каждой странице оказывалось более двадцати пяти строк формул и текста. Его рукописный текст был

<sup>1</sup> Добавлю к этому списку одну догадку, хотя она не из разряда тех, что я когда-либо обсуждал с 'т Хофтом<sup>H</sup>. Возможно, в то время 'т Хофт<sup>H</sup> знал знак  $\beta$ -функции, но не ее коэффициент. В своих расчетах он применял размерную регуляризацию и размерное вычитание. Исходя из этого, он, вероятно, знал знак констант перенормировки. Однако в фундаментальном определении  $\beta$ -функции есть упоминание об отклике теории на масштабные преобразования. Процедура размерной регуляризации вводит масштаб хитрым способом — с помощью аналитического продолжения по размерности пространства. Способ представления традиционной ренормгруппы для этого случая был разработан только несколько лет спустя.

типично немецким: неразборчивым, по крайней мере для американцев, напоминающим бесконечные линии вверх вниз, вверх вниз, вверх вниз. Однако самое интересное начиналось, когда в уравнении с одной страницы была ссылка на уравнение с другой страницы. Он располагал второй слайд прямо поверх первого, сдвинув их на пол-линии и показывая сразу на обоих.

Я тщательно и неспешно завершил расчет  $\beta$ -функции теории Янга–Миллса. К счастью, я достаточно расторопный и умеренно неспособен к чтению. По этой причине у меня проблемы с право/лево, внутрь/наружу, вперед/назад и т.п. А потому я выводил каждый промежуточный результат с самого начала, уделяя особое внимание знакам и соглашениям. Но страх перед окончательным знаком "минус" (который был, конечно, бесполезен для изучения явлений при низкой энергии) быстро сменился восторгом перед открывающимися возможностями. Я позвонил Сидни Коулмену. Он терпеливо выслушал меня и сказал, что это интересно. Но по мнению Коулмена, я, по-видимому, допустил ошибку, потому что Дэвид Гросс и его студент провели тот же расчет и получили знак плюс. Похоже, Коулмен больше верил в надежность коллектива из двух человек с одним опытным теоретиком, чем из одного молодого студента. Я сказал, что проверю расчеты еще раз. Через неделю я позвонил снова, чтобы сказать, что не смог обнаружить никакой ошибки в своих вычислениях. Коулмен сказал, да, он знает, потому что принстонская группа нашла ошибку, исправила ее и уже отправила статью в журнал *Physical Review Letters*.

Узнав о результате Гросса–Вильчека–Политцера, Кен Вильсон<sup>H</sup>, который, по-видимому, считал его невозможным по тем же соображениям, которые выше я приписывал Швингеру<sup>H</sup>, знал кому надо позвонить, чтобы проверить результат. Он понимал, что во всем мире есть несколько человек, выполнивших такой расчет, так сказать мимоходом, в рамках своей работы по радиационным поправкам к слабым взаимодействиям в ставшей недавно популярной модели Вайнберга–Салама. Они никогда не собирались уделять внимание этой конкретной проблеме. Но смогли, заглянув в свои записи, быстро подтвердить Вильсону<sup>H</sup>, что заявленный результат, несомненно, является правильным.

Среди тех, кто сразу принял неабелеву калибровочную симметрию с цветной SU(3) группой как теорию сильных взаимодействий, были Стив Вайнберг<sup>H</sup> и Мюррей Гелл-Ман<sup>H</sup>. В случае Гелл-Мана это было в немалой степени потому, что он уже ее ввел(!) вместе с Харальдом Фритчем и назвал ее КХД. Предварительно он привел три веских довода в пользу данной конкретной теории. (Для физиков аргументы были такие: барионная статистика,  $\pi \rightarrow 2\gamma$  и сечение электрон-позитронной аннигиляции.) А решающим доводом стала асимптотическая свобода, т.е. отрицательная  $\beta$ -функция. Я услышал о работе Гелл-Мана<sup>H</sup> и Фритча из третьих рук, от Шелли Глэшоу, который, похоже, думал, что ее не нужно воспринимать всерьез. Только позже я осознал, что это был в большей степени его стиль общения, чем серьезная оценка правдоподобности этого предложения. В любом случае, я полностью заблудился в КХД Гелл-Мана<sup>H</sup> и Фритча.

После моего первого семинара по этой тематике (это было в МТИ) ко мне подошли Кен Джонсон (который сам несколькими годами ранее выполнил пионерскую работу по ренормгруппе) и Вики Вайскопф. "Очень славно, — сказали они. — И чрезвычайно жаль, что это сильно противоречит по меньшей мере

двум важным классам экспериментов". Одна проблема была с сечениями электрон-позитронных взаимодействий, где ситуация только ухудшилась с тех пор, как Гелл-Ман<sup>H</sup> и Фритч предложили КХД, а другая касалась больших углов вылета продуктов реакции в протон-протонных столкновениях. Здесь возникало гораздо больше частиц с высокой энергией, чем предсказывала КХД (в простом варианте). Кстати, эта вторая проблема привлекла внимание Дика Фейнмана. И только несколькими годами позже, после тщательного анализа, выполненного им совместно с Риком Филдом, выводы КХД были согласованы с этими экспериментами. Только тогда Фейнман<sup>H</sup> пополнил ряды ее сторонников.

Экспериментально измеренные электрон-позитронные сечения (как функция возрастающей энергии столкновений) оставались постоянными, вместо того чтобы круто убывать, что, как считалось, предсказывала КХД. Летом 1974 г. в Аспене, штат Колорадо, я встретился с Кеном Вильсоном, который в свойственной ему краткой манере сказал: "Это очарование, и малые расстояния тут ни при чем". Том Аппельквист и я поставили перед собой задачу понять этот комментарий оракула и сформулировать его следствия. К концу лета вопрос согласования КХД с результатами экспериментов стал для нас практически ясен. Том проехал по стране, объясняя нашу работу. Его семинары включали краткий рассказ о том, каково действительное сечение, в противоположность тому, о котором сообщали экспериментаторы, и оценку, хотя формально это была верхняя граница, поразительно большого времени жизни частицы, которая рождалась и распадалась, хотя и оставалась незамеченной. Многие слушали эти выступления и помнят их, и есть по меньшей мере одно объективное письменное свидетельство их существования: Сид Дрелл поместил сообщение об очаровании в своей заметке, написанной позже для журнала *Scientific American*. В это время появилось уже много оказавшихся ошибочными статей, пытавшихся интерпретировать электрон-позитронные эксперименты, а руководитель эксперимента на установке SLAC Берт Рихтер<sup>H</sup> ездил по стране, рассказывая, что сделал фундаментальное открытие: электрон — это на самом деле маленький адрон, т.е. сильно взаимодействующая частица типа протона, только меньшего диаметра. (Несколькими годами ранее это открытие было сделано, или по крайней мере получен такой же экспериментальный результат, на Кембриджском электронном ускорителе, совместном проекте Гарварда и МТИ. Но никто в него не поверил, и установка была законсервирована.) Аппельквист и я подготовили черновой вариант статьи. Но я проявил осторожность, вероятно, как я позже осознал, на меня слишком повлияло выступление Стива Адлера о том, насколько велико может быть расхождение между расчетами в рамках простой КХД и экспериментальными данными, прежде чем с этой теорией действительно возникнут трудности. Я сосредоточился на вещах, которые мы могли вычислить надежде всего, и не оценил правильность более общих доводов Тома.

Той осенью, в ноябре, появились новости от экспериментаторов. На установке SLAC обнаружили частицу (ее называли  $\psi$ ) и наблюдали в конечном счете в точности такое же полное сечение, как предсказывал Аппельквист. И одновременно пришло сообщение от Сэма Тинга<sup>H</sup> о результатах эксперимента, где был обнаружен небольшой пикоч на так называемом "плече Ледермана" (по имени Леона Ледермана<sup>H</sup>), который Тинг<sup>H</sup> обозначил в

свою честь буквой<sup>2</sup> *J*. Следует сказать, что эксперимент Тинга был на самом деле еще раньше сделан Ледерманом<sup>H</sup>. У этого более раннего эксперимента разрешение было хуже, но он ясно показал, что именно при данной энергии существует какая-то аномалия.

Аппельквист и я спешно набросали краткую версию нашей работы для журнала *Physical Review Letters*, где она была немедленно и однозначно отклонена главным редактором Си Пастернаком. Это противоречило политике журнала — позволять авторам заниматься созданием новой, фривольной терминологии. Наш друг и коллега Алваро де Рухула, прослышав о нашей работе, придумал термин "чармоний", который позволял одним словом донести основную новую идею статьи до каждого серьезного специалиста по физике частиц. В конце концов Шелли Глэшоу<sup>H</sup> достиг компромисса на переговорах с Пастернаком. Мы смогли использовать термин "чармоний" в тексте, но не в заголовке. Переговоры привели к задержке на несколько недель — долгий срок по меркам тех бурных дней. В итоге, публикация появилась одновременно с несколькими другими, уже давно забытыми статьями, вместо того чтобы оказаться на самом грёбне экспериментального открытия.

Тот факт, что наше объяснение было правильным, вскоре получил широкое признание и убедил почти всех оставшихся скептиков в состоятельности КХД. Я полагаю, что консенсус по этому вопросу стал главным фактором, способствовавшим признанию открытия Рихтера<sup>H</sup> и Тинга<sup>H</sup> со стороны Шведской Королевской Академии наук всего через несколько лет.

Я надеюсь, вы все теперь понимаете, почему я должен принести Тому Аппельквисту огромные, глубочайшие публичные извинения. Несомненно, мы могли в сентябре представить к публикации фактически ту же статью, что в итоге написали два месяца спустя.

Теперь, отойдя от хронологической последовательности событий, я хотел бы выразить благодарность моему другу и коллеге Говарду Джорджи. После вычисления  $\beta$ -функции стало фактически очевидно, что следует делать дальше. Нужно было заново выполнить некоторые расчеты, проделанные ранее Норманом Кристом, Брослом Хасслахером и Элом Мюллером, но уже в контексте новой и, очевидно, правильной теории. И опять здесь было упущено из виду имя одного из участников той коллаборации, внесшего значительный вклад в эту работу — Георгио Паризи. Итак, Говард Джорджи периодически проверял, как у меня идут дела, и я признался, что столкнулся с рядом технических трудностей. Тогда он добровольно вызвался помочь мне, и мы продолжили работу, придумав вместе немало остроумных ходов.

Что касается остроумных решений, то это нередко такие достижения, которые требуют значительных умственных усилий и многословного обоснования только для того, чтобы затем по сути исчезнуть как нерезультативные, поскольку просто становятся очевидными при взгляде с новых позиций. Например, то, что кварки могут иметь массу — нечто однозначно выражаемое в количественных единицах и измеряемое в граммах, несмотря на то, что они не существуют как отдельные частицы — было предметом моих споров со многими другими физиками, например с Гелл-Маном<sup>H</sup> и Стивом Вайнбергом<sup>H</sup>. Тяжелый очарованный кварк дал толчок подобным рассуждениям, но это было принципиальное сражение, которое нужно было выиграть вопреки ста-

рым предрассудкам, сформированным в рамках ограниченного подхода "легких" кварков. Более молодые физики не могут сегодня себе даже вообразить, что здесь был предмет для обсуждения.

В ходе своей исследовательской карьеры мне пришлось еще раз заняться проблемой тяжелых кварков. Джо Полчински задал Марку Вайсу, моему коллеге по Калтеху, вопрос о расчетах по тяжелым кваркам, на который мы с Марком приняли искать ответ. Это снова был тот случай, когда работа независимо от нас уже была сделана в Советском Союзе Михаилом Шифманом и Михаилом Волошиным. Более того, я снова упустил важные феноменологические следствия в этой цепочке рассуждений. Им пришлось ждать совместной работы Марка Вайса и Натана Изгура. То, что физические свойства тяжелого кварка только тривиальным образом зависят от реального значения его массы, было очевидно для меня, как, вероятно, и для любого, кто задумывался над этим. Но Изгур и Вайс обратили внимание именно на то, что наличие в мире больше одной разновидности тяжелых кварков приводит к появлению необычайно важных и полезных симметрий. (Второй тяжелый кварк, так называемый нижний кварк, был идентифицирован только через несколько лет после первого, т.е. очарованного кварка.)

Утверждение в середине 1970-х годов КХД в качестве правильной теории сильных взаимодействий завершило создание того, что сейчас прозаически называют Стандартной моделью. Она дает описание всех известных физических взаимодействий, кроме гравитации, а гравитация — это нечто такое, что не оказывает заметного влияния, когда изучают небольшое число частиц. Однако ситуация немного напоминает способ, каким уравнение Навье–Стокса объясняет течение жидкости. Уравнения на некотором уровне, очевидно, правильны, но есть только небольшое, ограниченное число случаев, для которых следствия могут быть изучены сколь угодно подробно. Тем не менее многие ведущие физики в конце 1970-х годов склонялись к мысли, что основная задача физической науки практически выполнена и скоро мы останемся без работы. Знаменитый пример — лекция Стивена Хокинга при вступлении в должность профессора кафедры математики в Кембриджском университете, которую первым занимал Исаак Барроу. Хокинг озаглавил свою лекцию так: "Виден ли конец теоретической физики?" И твердо ответил: "Да".

Но недавно полученные результаты астрономических наблюдений перевернули все вверх ногами. Вспомните, если угодно, что самой важной догадкой Исаака Ньютона, второго по счету профессора кафедры математики Кембриджского университета, была мысль о том, что небеса состоят из той же самой материи, что и Земля. Это была революционная идея. И он объявил, что законы, управляющие движением небесной материи, не отличаются от тех, что действуют на Земле. (Может быть самой глубокой его догадкой было то, что законы вообще существуют. Это именно то, что стало предметом физики в целом как научной дисциплины.) Три столетия мы копили убедительнейшие, подробные подтверждения этих предположений Ньютона. Но при очень пристальном рассмотрении теперь оказывается, что обе эти идеи, похоже, не так верны, как могли бы быть — по крайней мере такова простейшая интерпретация современных крупномасштабных астрофизических наблюдений. Это показывает, что у нас нет другого ответа на вопрос, из чего состоит практически вся материя Вселенной, кроме как тот, что она сделана не из тех частиц, которые образуют вещество Земли или звезд. Более того,

<sup>2</sup> Подходящее приближение к соответствующему китайскому иероглифу.

силы, управляющие крупномасштабным движением во Вселенной, не имеют ничего общего с силами, описываемыми Стандартной моделью, или с гравитацией, хорошо знакомой нам здесь, на Земле.

Существует активно развивающаяся область теоретической физики, которая пытается выйти за рамки Стандартной модели. Успешный итог этих попыток означал бы объяснение, по-видимому, произвольно выбранных параметров Стандартной модели; этот успех означал бы присоединение гравитации к общей физической картине и он означал бы внесение ясности в уже упоминавшиеся проблемы астрофизики. Однако теперь перед нами стоит очень серьезная проблема преодоления экспериментального барьера, проблема, которую мало кто любит обсуждать. Мне кажется, что со времен Левенгука достижения по совершенствованию мощи наших "микроскопов" сопровождалась пропорциональными затратами финансовых средств и людских ресурсов. Другими словами, для увеличения на порядок первого требовалось увеличить на порядок второе, по крайней мере, если брать процесс в среднем, учитывая прорывы, скачки и блестящие озарения. Последняя большая установка в США, строительство которой было запланировано, а потом отменено, должна была стоить около 10 млрд (т.е.  $10^{10}$ ) долларов. Она позволила бы нам достичь расстояний, достаточно малых для непосредственного изучения взаимодействий слабых бозонов. Область предполагаемого "объединения" сил в Стандартной модели, область их возможного объединения с гравитацией и основная физика теории струн — наиболее активно рассматриваемого подхода к физической теории, более фундаментальной, чем Стандартная модель, все они отстоят еще дальше от этой величины, более чем на дюжину порядков. Но сумма  $10^{22}$  долларов нереальна для такого рода исследований (да и для любых других, коли на то пошло).

Вопрос о пользе от такой деятельности для человечества, оговоренный в завещании Нобеля, является другой отдельной темой для разговора. Но, как я сказал в начале, я, несомненно, высоко оцениваю тщательность и мудрость Шведской Королевской Академии наук в вопросах выбора достойных внимания достижений фундаментальной физики — и в выборе конкретного достижения, о котором мы говорим сегодня. Однако в действительности истинный процесс развития науки часто оказывается более сложным, что, я надеюсь, мне удалось продемонстрировать на нескольких примерах. Комитеты Академии это очень хорошо знают, но их обсуждения конфиденциальны. Я сохранил твердое убеждение, что большинство людей должны задумываться над этим, если они хотят понять не только идеи науки, но и то, как она развивается. Я также надеюсь, что большая часть научного сообщества тоже будет об этом помнить.

Мое выступление в Стокгольме на этом закончилось, но за время, прошедшее с того момента, появились инициированные им разнообразные комментарии, вопросы и обмены мнениями. Я хотел бы кратко коснуться здесь одного из них. Меня прямо спросили, что я думаю о Нобелевской премии по физике 2004 года, если оставить в стороне очевидные личные соображения. И вот смысл моего ответа. Признание теории сильных взаимодействий — это очевидный выбор, учитывая все причины, обсуждавшиеся в лекциях моих коллег по награде, в презентационной речи Ларса Бринка в Стокгольме, в собранных Нобелевским комитетом документах и во

многих других материалах. Однако, на мой взгляд, путь к современному уровню понимания был сложен и многообразен. Тем не менее я полагаю, что есть согласованное (но отнюдь не единодушное) мнение подавляющего большинства исследователей в этой области (и я лично его разделяю), что открытие асимптотической свободы стало действительно чрезвычайно важным событием. Для одних это открытие все прояснило. Для других стало только началом. А для третьих — началом последней главы. Но в любом случае это был ключ к решению.

## Литература

Вот две книги, содержащие прекрасное описание этой эпохи в физике частиц (и не только), которые я рекомендовал бы в первую очередь:

1. *The Second Creation (Второе рождение)*, авторы Роберт Криз (Robert Crease) и Чарльз Манн (Charles Mann). 2. *Constructing Quarks (Создавая кварки)*, автор Эндрю Пикеринг (Andrew Pickering).

Первая из них содержит яркие описания персонажей, достаточно точное физическое изложение материала и полностью доступна для интересующихся этими вопросами неспециалистов. Вторая книга — это более научный труд. Пикеринг начал свою карьеру с физики частиц, будучи моим современником. Он приводит достаточно много научных деталей, но все равно адресует свою книгу непрофессиональным читателям.

Еще две замечательные книги о физике двадцатого века для любителей, интересующихся этой темой, где внимание по большей части уделяется научным проблемам, а не историческим событиям:

3. *The Cosmic Code (Космический код)*. 4. *Perfect Symmetry (Идеальная симметрия)*.

Их автор — Хайнц Пайелс (Heinz Pagels), который был кем-то вроде нью-йоркского щеголя, но настолько очаровательной личностью, насколько это вообще возможно. Он умер молодым, но мечты его сбудутся.

Книга *Космический код* посвящена квантовой механике, а *Идеальная симметрия* охватывает большинство вопросов физики частиц и космологии.

Я не искал ссылки на современные публикации, касающиеся соответствующих пунктов моего выступления. Найти их несложно, но это не реферлируемый журнал. И еще, есть, вероятно, поучительный момент в том, что я все это составил исключительно по памяти в октябре и ноябре 2004 г. В то время как обычные ссылки, несомненно, доступны в опубликованных документах, то, что случилось в действительности и привело к этим публикациям, остается за их рамками. Мы опираемся на личные свидетельства. И тут попадаем в интересную область, когда участники одного и того же события могут иметь очень разные и взаимно противоположные толкования произошедшего, которые могут меняться по прошествии времени. Несмотря на то, что намеренное измышление не является чем-то неслыханным, такие явления оказывают влияние на самые правдивые сообщения. Хотя, по всей видимости, весьма непросто оценить достоверность моих собственных воспоминаний, можно, по крайней мере, выяснить, насколько хорошо я помню то, что может быть подтверждено или опровергнуто.

Перевела с английского М.В. Чадеева  
Научный редактор перевода А.С. Горский