

СОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

006.3:539.12.01

О ТЕОРЕТИЧЕСКИХ АСПЕКТАХ ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ *)

Теоретическая дискуссия, состоявшаяся на конференции по физике высоких энергий в Женеве в 1962 г., представляет несомненный интерес для широкого круга физиков. Она не потеряла своего значения и в настоящее время, хотя и публикуется теперь, спустя два года, когда на новой конференции в Дубне, летом 1964 г., внимание теоретиков привлекли идеи симметрии, позволяющие рационально систематизировать элементарные частицы.

Основное направление дискуссии 1962 г. в значительной мере определялось столкновением двух линий развития современной теоретической физики: теории квантованных полей (может быть, нелинейных, может быть, нелокальных полей), опирающейся на идею пространственно-временного континуума, и второй линии развития, которая стремится освободиться от применения «устаревшего» понятия пространства-времени и возлагает надежды на развитие метода S -матрицы в пространстве комплексных импульсов.

Во время дискуссии вторая точка зрения подкреплялась еще и надеждами на успех теории полюсов Редже, которая в настоящее время уже не выглядит столь обнадеживающей.

Если провести аналогию с развитием квантовой механики, то две современные линии напоминают ситуацию, когда новая квантовая теория развивалась двумя путями: в форме «волновой» механики и в форме механики «матричной». Вторая форма явно отрывалась от описания явлений в пространстве-времени, первая же была весьма близка к идеям классической физики. Впоследствии эти два подхода слились в единую теорию. Не произойдет ли подобное слияние двух путей развития современной теории, которые сейчас противопоставляются друг другу?

На дискуссии в Женеве первая линия была представлена В. Гейзенбергом, который со своими сотрудниками продолжает развивать нелинейную теорию квантованного спинорного поля. Тут явно нарушается аналогия с ранней стадией развития квантовой механики: тогда В. Гейзенберг представлял «матричную» механику, более близкую по своему духу к современным идеям S -матрицы.

В качестве наиболее яркого адепта второго направления выступал проф. Е. Чу (США): теория S -матрицы и ее аналитических свойств должна бы быть исчерпывающей основой теории элементарных частиц и физики высоких энергий.

Эти две тенденции в современной теоретической физике продолжают сосуществовать и конкурировать и в настоящее время. Ни та, ни другая линия развития еще не имеют решающего успеха, и это заставляет подозревать, что необходимо нечто третье, что теоретическая мысль еще не готова формулировать. Именно, с точки зрения поиска новых путей публикуемая в этом выпуске дискуссия особенно интересна. Если чтение ее хоть немного подвинет вперед кого-либо из читателей на пути к построению новой теории, то публикация ее будет вполне оправдана.

Редакция выражает благодарность председателю конференции директору ЦЕРНа профессору В. Вайскопфу за любезное согласие на опубликование этой дискуссии.

Д. Блохинцев

*) Перевод сокращенного текста стенограммы дискуссии о теоретических аспектах физики элементарных частиц, состоявшейся 7 июля 1962 г. во время Международной конференции по физике высоких энергий в ЦЕРНе. Перевод с английского Л. А. Смирновой, отредактирован Б. А. Арбузовым. Существенную помощь при подготовке текста оказал доктор физико-математических наук Г. Домокош.

Ван-Хов:

Мы думаем, что эта неофициальная сессия по теоретическим аспектам физики элементарных частиц может оказаться полезной по двум причинам: во-первых, она позволит нам, несколько оглянувшись назад, более глубоко осмыслить последние достижения в области теории, а во-вторых, даст возможность провести более обстоятельные дискуссии по сравнению с теми, которые обычно имеют место во время регулярных сессий на конференциях. А именно, нам хотелось бы, чтобы основное внимание в выступлениях было уделено принципиальным проблемам, а не описанию результатов или развитию какой-либо частной теории.

Позвольте мне начать обсуждение с перечисления некоторых моментов, которые произвели большое впечатление на многих из нас, включая, конечно, и меня. Я имею в виду очень интересные направления в развитии теории элементарных частиц и явлений, происходящих при высоких энергиях. Вероятно, они будут предметом наших обсуждений. Было бы очень полезно, если бы в дальнейшем были затронуты и некоторые другие вопросы. Что касается меня, то я хотел бы остановиться на следующих аспектах теории.

1. Полюсы Редже. Здесь следует отметить четыре момента:

а) Полюсы Редже в потенциальной теории.

б) Значение полюсов Редже для изучения асимптотических свойств амплитуд рассеяния, а также для исследования релятивистских амплитуд с предполагаемыми перекрестными соотношениями и свойствами аналитичности. Это в свою очередь затрагивает более глубокую проблему полного набора граничных условий для амплитуды рассеяния, когда две ее переменные стремятся к бесконечности.

в) Связь полюсов Редже со спектром масс частиц и резонансов.

г) Полюсы Редже в теории поля.

2. Динамические теории элементарных частиц. Среди них мы различаем следующее:

а) Нелинейную спинорную теорию в том виде, как она была развита Гейзенбергом и его сотрудниками, а также в том виде, как она изучалась Намбу и Иона-Ласинио.

б) Так называемый «шнурочный механизм» (bootstrap mechanism), который был предложен и изучался Чу и его группой.

в) Представление о вырождении вакуума, которое впервые ввели в теорию элементарных частиц Намбу и Гейзенберг. Если бы это представление, тесно связанное с проблемой нарушенных симметрий (broken symmetries), вошло в качестве составной части в будущую теорию элементарных частиц, то это имело бы принципиальное значение не только для теоретической физики, но и с точки зрения философии науки.

3. Последние достижения в области квантовой электродинамики. Самым замечательным достижением в этой области является работа Янга и Ли, посвященная электромагнитным свойствам векторных бозонов, особенно тот результат, что первая радиационная поправка к квадрупольному моменту векторного бозона имеет порядок $\alpha \ln \alpha$, где α — постоянная тонкой структуры. Это означает, что в квантовой электродинамике впервые получен результат, который содержит существенную сингулярность по α . Этот результат, если подтвердится его непреходящий характер, будет иметь огромное значение.

А сейчас мы попросим профессора В. Гейзенберга открыть дискуссию.

Гейзенберг:

Я хотел бы сделать несколько замечаний о связи между предположениями Чу для теории поля и нашими предположениями. Но вначале, возможно, уместно будет напомнить, что еще в то время, когда предпринимались первые попытки построить квантовую теорию поля, один факт совершенно выпал из поля нашего зрения, хотя, в действительности, он оказался чрезвычайно важным. Я имею в виду переход от дальнедействующих сил к силам, имеющим локальный характер. Этот переход был совершен Эйнштейном, когда он разрабатывал специальную теорию относительности. Мы в то время не отдавали себе отчета в том, насколько значительно это изменение. Действительно, в то время квантовая механика еще напоминала старую теорию Ньютона с ее дальнедействием. При построении квантовой теории поля мы должны были ввести локальные взаимодействия; это последнее обстоятельство и явилось, вероятно, причиной всех затруднений.

Представляется возможным следующим образом классифицировать различные попытки аксиоматизации теории полей или элементарных частиц:

1. Минимумом, который необходим для описания экспериментов, является S -матрица с некоторыми свойствами. Следовательно, наши первые аксиомы предполагают существование S -матрицы. Эта S -матрица должна быть унитарной и обладать аналитичностью в такой мере, чтобы удовлетворять тому, что понимается

под причинностью. Конечно, эта S -матрица должна быть инвариантна относительно группы Лоренца, группы изотопического спина и т. д.

2. Если это действительно минимум, который необходим для описания эксперимента, то можно быть более оптимистичным и привлечь другие аксиомы, которые требуют существования локального оператора поля (назовем его $\chi(x)$), коммутирующего или антикоммутирующего на пространственно-временных расстояниях. Кроме того, эти аксиомы требуют также и существования соответствующего гильбертова пространства. До сих пор мы еще ничего не утверждали относительно метрики в гильбертовом пространстве. Причинность будет представлена некоторым дифференциальным уравнением по $\chi(x)$.

3. Наконец, можно быть еще большим оптимистом и ввести дополнительные предположения, заключающиеся в том, что в гильбертовом пространстве метрика будет положительно-определенной и что асимптотические операторы будут достаточны для построения полного гильбертова пространства.

Если не выходить из рамок этой довольно грубой классификации, то я сказал бы, что Чу, вероятно, пытается исходить из системы аксиом, приведенной в пункте 1, и не учитывает тех, которые входят в пункты 2 и 3. Конечно, для получения определенных результатов нужно обратить большее внимание на свойства, указанные в пункте 1, требующие возможно большей аналитичности; например, предположение относительно полюсов Редже является как раз шагом в этом направлении. Постулаты 1 и 2 в действительности соответствуют предположениям, которые мы делаем в нелинейной спинорной теории. Именно, мы предполагаем существование локального поля, но не делаем никаких предположений о положительности метрики, предпочитая математически решать этот вопрос в рамках теории, и действительно получается, что метрика индефинитна.

Оппенгеймер:

Мне кажется, что такая классификация аксиом описывает связь между вашей теорией и другими, но разве невозможно также включить в пункт 1 некоторые элементы пункта 3 относительно существования асимптотических состояний и их полноты в гильбертовом пространстве, а уже отсюда вывести существование поля с некоторыми элементами локальности, не настаивая на полной локальности? Концепция поля, которую вы ввели, могла бы помочь сделать это, если перейти к аксиомам пункта 3 в несколько измененной форме, которая допускает индефинитную метрику, но несколько ограничивает и делает ее более «безвредной». Следовательно, вопрос о том, до какой степени поля локальны, может быть все же открытым. Мне не кажется, что локальность в своей обычной формулировке должна быть логической предпосылкой аксиом, указанных в пункте 3.

Гейзенберг:

Вы фактически хотите сказать, что если мы имеем аксиомы 1 и 3, то из асимптотических состояний мы каким-то образом получаем уже нечто вроде оператора поля?

Оппенгеймер:

Правильно, из интерполяции между асимптотическими состояниями.

Ван-Хов:

Мне хотелось бы задать вопрос относительно ослабленных форм локальности. Мне думается, профессор Оппенгеймер имеет в виду тот факт, что если S -матрица инвариантна относительно группы Лоренца и обладает TSP -инвариантностью, то для любого интерполирующего поля между входящими и выходящими полями можно написать соотношение слабой локальности или слабой коммутативности. Мне, однако, неясно, насколько это вообще имеет отношение к локальности? Мы могли бы попросить Йоста ответить на этот вопрос.

Йост:

Я согласен с утверждением Ван-Хова. Результат, который я получил в своей работе, заключается именно в том, что слабая локальность полностью эквивалентна

существованию антиунитарного оператора, который оставляет S -матрицу инвариантной, т. е. она эквивалентна TCP -инвариантности. Сейчас, мне кажется, термин «слабая локальность» идет от Дайсона, и это действительно очень и очень слабая локальность; она не имеет существенных элементов локальности, поскольку не приводит к аналитическим свойствам S -матрицы. Это, возможно, несколько неудачная работа, но, несомненно, сильная локальность обеспечивает слабую локальность, и в этом смысле, я думаю, что работа не так уж плоха.

Гейзенберг:

Если вы предполагаете аналитичность S -матрицы, что в действительности является выражением причинности, то как, по вашему мнению, могло ли поле быть нелокальным?

Йост:

Все дело в определении. Ясно, что если вы определяете причинность именно как ограничение, которое можно получить из условия локальности для матричных элементов S -матрицы, то ничего спорного не остается. Тогда это просто тавтология.

Мандельстам:

У меня есть небольшое замечание, которое, может быть, прольет некоторый свет на положение вещей. Мне кажется, что предположение о причинности более естественно включить во вторую группу, а не в первую. Я думаю, что люди, которые отказываются от использования полей, должны принять аналитичность в качестве постулата, не связанного с причинностью, ибо для получения аналитичности S -матрицы нельзя использовать простые доводы, подобные тем, которые были выдвинуты Крамерсом — Кронигом.

Гейзенберг:

Не имеете ли вы в виду, что можно доказать хотя бы какие-нибудь аналитические свойства из макроскопической причинности, скажем, как это пытались сделать Оге Бор и Вандерс?

Мандельстам:

Я не знаком с работой Вандерса, но я не согласен с тем, что предположение Оге Бора допускает макроскопическую причинность. Я думаю, что на самом деле он предполагает гораздо большее. Фактически он делает настолько большие допущения, что может вывести дисперсионные соотношения, которые противоречат теории возмущений.

Вайскопф:

Я не знаю, что доказал Оге Бор, но мне кажется очевидным, что любая теория, построенная на основе аксиом пункта 1, должна заключать в себе некоторую причинность, так как даже в такой теории сигнал не может выйти до прихода входящей волны.

Мандельстам:

Я думаю, что теория, основанная на аксиомах пункта 1, в действительности не включает время в качестве одной из ее концепций, не так ли?

Вайскопф:

Включает. Вы можете построить пакеты входящих волн.

Гейзенберг:

Я, со своей стороны, также считаю, что это сильный аргумент. Вы можете построить волновые пакеты и потребовать, чтобы они не выходили до того, как вопли. Это требование должно иметь некоторое представление.

Мандельстам:

Да. Я согласен, что оно должно иметь некоторое представление, но я не думаю, что можно было бы отсюда доказать дисперсионные соотношения, и профессор Боголюбов заметил то же самое.

Боголюбов:

Мне кажется, что только из макроскопической причинности очень трудно получить дисперсионные соотношения. Трудность состоит в следующем: как можно технически определить, что такое макроскопическая причинность? Существует много способов для определения микроскопической причинности, которые в большинстве своем эквивалентны, но в данный момент я не вижу подходящего определения для макроскопической причинности.

Гелл-Манн:

Вопрос состоит в том, что если дана теория S -матрицы со всеми необходимыми аналитическими свойствами, то можно ли ее уложить в рамки теории, обладающей всеми компонентами Фурье, включая и те, которые выходят за массовую поверхность, так, чтобы они соответствовали теории поля, с локальным полем. Мне кажется, что мы находимся в некотором неведении с двух точек зрения. Если мы хотим работать только с S -матрицей на массовой поверхности и попытаемся предположить или вывести из диаграмм Фейнмана подходящие свойства аналитичности и использовать их для вычисления, то мы все равно не будем знать, может ли такая теория укладываться удовлетворительно в рамки локальной теории при помощи некоторого аналитического продолжения за массовую поверхность.

Но совершенно не обязательно, чтобы она укладывалась таким образом. Это в свою очередь может служить ответом тем, кто выступает против такого метода. Тем же, кто пытается защищать этот метод как единственно приемлемый, я бы сказал, что они не могут быть убеждены в том, что метод не укладывается в рамки теории поля локального типа. Я не думаю, что у нас достаточно знаний для проведения дискуссий по этому вопросу.

Ван-Хов:

Может быть, мы попросим профессора Гейзенберга продолжить свое выступление?

Гейзенберг:

Я не собираюсь надолго задерживать ваше внимание. Просто мне хотелось задать несколько вопросов, и я буду очень рад, если на них будет дан ответ, хотя это, по-видимому, очень трудно. Мне бы хотелось сделать еще два замечания, которые одновременно могут служить и вопросами.

Первый вопрос заключается в следующем: что происходит с теориями в рамках лагранжева формализма, например, с квантовой электродинамикой при перенормировке? Для случая модели Ли мы знаем, что бесконечная перенормировка сводит к нулю дельта-функции на световом конусе. Поэтому посредством бесконечной перенормировки мы, очевидно, можем перейти от пункта 3 к пункту 2, и вопрос заключается в том, справедливо ли это, вообще, например, также и для квантовой электродинамики?

Второй вопрос я бы хотел задать Чу: если предположить, что все полюсы являются полюсами Редже, или, в более общей форме, что нет истинно элементарных частиц, или что никакие частицы не имеют голой сердцевин, то мне кажется, есть надежда найти формализм в рамках пункта 1 или пунктов 1 и 2, но нельзя, по всей видимости, найти его в пункте 3, так как, используя пункт 3, мы всегда получаем дельта-функции на световом конусе. Я хочу спросить Чу, что он думает по поводу следствий из теории полюсов Редже? Мне хотелось бы знать по крайней мере его интуитивные чувства.

Чу:

У меня возникают большие опасения относительно этого вопроса. Меня обвинили, и, как мне кажется, совершенно справедливо, в том, что я ввел некоторый элемент «религиозности», но Гейзенберг был достаточно любезен и своим вопросом дал возможность для ответа в несколько «религиозном духе». Я сослался бы на замечание Гелл-Мана. Возможно, допущения, сделанные в теории S -матрицы, включая предположение о том, что все полюсы являются полюсами Редже, будут соответствовать ситуации, которая не укладывается в рамки теории поля при помощи аксиом 2 или 3. Я совершенно согласен, что в настоящее время никто, в том числе и я, не в состоянии дать ответ на этот вопрос. Гейзенберг интересовался моим мнением, но прежде чем я выскажу его, позвольте мне остановиться на следующем. В течение многих лет я занимался сильными взаимодействиями и верил, что я занимаюсь теорией поля, т. е. тем, чему меня учили, и все те, кто работал со мной, использовали поля. Но на каком-то этапе я осознал, что из теории поля нельзя было извлечь абсолютно никакой пользы для всего того, чем я занимаюсь. И не только это; я по-настоящему не понимал, что же такое поле? Я работал в течение многих лет с амплитудами рассеяния, свойствами аналитичности, унитарностью и видел, что с этим можно работать. Конечно, естественно было ожидать, что унитарность даст нетривиальные результаты, но аналитические свойства S -матрицы оказались очень полезными, и крайне знаменательно, что многие из этих свойств в настоящее время получили экспериментальное подтверждение. Я не думаю, что те, кто не занимался интенсивно сильными взаимодействиями, в достаточной мере понимают важность этого обстоятельства. Тот факт, что эти свойства аналитичности там, где они проверялись, действительно работают, производит наиболее сильное впечатление. Я бы сказал, что самый поразительный пример — это дисперсионные соотношения для рассеяния вперед, которые были предложены Гольдбергером и которые, с учетом полюсов, доказали свою действенность. С тех пор проводилась детальная проверка вкладов высоких орбитальных моментов для нуклон-нуклонного рассеяния. Другим фактом, который не был уже таким точным, но который поразил мое воображение, был тот, что применение этих доводов к электромагнитной структуре нуклона приводит к выводу о наличии мезонных резонансов. В противном случае просто нельзя понять электромагнитную структуру, и в конце концов эти резонансы были открыты.

Гейзенберг:

Разрешите мне возразить на это заявление. Из форм-факторов в рассеянии электронов на нуклонах, как мне кажется, вы можете только заключить, что должен быть непрерывный спектр со свойствами симметрии, которые для нас представляют интерес. Но, судя по измерениям, я думаю, что нет абсолютно никаких оснований утверждать, что внутри этого непрерывного спектра должно быть также резонансное состояние. Это заключение, свидетельствующее в пользу резонансных состояний, было сделано только потому, что для теоретиков было намного удобнее проводить вычисления с одной линией, а не брать континуум. Я согласен также и с тем, что когда вы проводите детальные вычисления, из экспериментов Хофштадтера, вероятно, можно найти некоторое указание на то, что вы имеете не только непрерывный спектр, но также и некоторое резонансное состояние в нем. Но я думаю, что роль этих резонансов часто преувеличивалась.

Боголюбов:

У меня не вопрос, а скорее утверждение. Вы говорите, профессор Чу, что не используете концепции поля, но ведь вы работаете, например, с обычными дисперсионными соотношениями и с представлением Мандельштама. Дисперсионные соотношения можно доказать либо из общих принципов, либо с помощью диаграммной техники в рамках обычной теории возмущений. Представление Мандельштама можно доказать, по крайней мере для простых диаграмм. Но вы не работаете с представлениями Намбу, которые противоречили обычной диаграммной технике. Итак, в своем воображении вы оперируете критериями диаграммной техники, вы используете только те принципы аналитичности, которые по крайней мере нельзя легко опровергнуть диаграммной техникой.

Ван-Хов:

Я бы хотел еще задержать вас на одну минуту и сказать по поводу обсуждаемого вопроса следующее. Мне кажется, что очень важно представить себе, насколько сложными являются логические заключения, которые делаются при практическом приме-

нении дисперсионных соотношений. Затем, необходимо провести резкую грань между тем, что можно было бы назвать грубыми качественными результатами дисперсионных соотношений и тем определенным количественным успехом, который достигнут для рассеяния вперед π -мезонов на нуклонах. Насколько мне известно, этот частный пример по степени точности занимает особое положение.

А сейчас можно было бы задать такой вопрос: если вы верите только в это и отбрасываете все остальные случаи, то какие можно сделать заключения о справедливости свойств аналитичности? Если забыть на время о теории поля, можно ли на основании одного этого примера заключить, что наше предположение об аналитичности правильно?

Чу:

Я не думаю, чтобы это можно было сделать сколько-нибудь логически. Я бы сказал, религия здесь очень чувствуется. Я нахожу, что принцип $ТСР$ -симметрии или кросс-симметрии настолько проявляется, что если уж я увидел демонстрацию свойств аналитичности по энергии, то для меня почти очевидно, что эти свойства аналитичности будут также справедливы и по передаче импульса. Следовательно, представление Мандельстама, по-моему, основано на том факте, что это единственная логически оправданная реализация сочетания унитарности и перекрестных соотношений, которая когда-либо была предложена. Профессор Боголюбов упомянул, что в теории поля это объясняется диаграммами, и это совершенно правильно, но я думаю, что свойства этих диаграмм представляют собой всего лишь проявление сочетания унитарности и аналитичности. Полкингхорн и Стапп, а также и другие показали, что эта топологическая структура в действительности не что иное, как комбинация этих двух принципов.

Фубини:

У меня есть несколько замечаний. Дисперсионные соотношения вперед, которые оказались столь эффективными, были также доказаны на основании принципов теории поля. Поэтому их можно использовать в качестве примера для подтверждения действительности как принципа аналитичности, так и эффективности теории поля.

Для случая форм-фактора нуклона мне хотелось бы внести некоторые исправления в утверждение, сделанное профессором Гейзенбергом. Помнится, еще в 1957 г. группа, работавшая в Беркли, рассчитала двухпионный вклад. Это было сделано в предположении, что не существует никакого пион-пионного резонанса. И действительно, это вычисление было очень удачным. Теперь мне хочется вам напомнить, что в выступлении Дрелла на Rochesterской конференции в 1958 г. было показано, что эти вычисления не могли быть никоим образом согласованы с экспериментом, и поэтому теоретики были вынуждены предположить пион-пионный резонанс именно потому, что весьма разумное вычисление без учета последнего не согласовалось бы с экспериментом.

Я хотел бы также остановиться на третьем вопросе. Он представляет практический интерес, хотя в нашей дискуссии ему не было уделено достаточно внимания. Этот вопрос заключается в следующем: вы можете исходить из различных наборов аксиом, но все случаи объединяются тем, что практически очень трудно использовать эти наборы. Если вы исходите из аксиом теории поля, то вы можете доказать лишь некоторые дисперсионные соотношения. Условие причинности было использовано в очень небольшой области, большая же часть информации не используется. То же самое получается, если исходить из диаграмм теории возмущений или из общих принципов аналитичности.

В настоящее время еще трудно применить какие-нибудь из наших рассуждений в области, которая лежит за пределами, предусматриваемыми случаем проблемы двух тел. Мы сознаем, что теория поля представляет собой сложную теорию, потому что она включает рождение частиц.

Мне хотелось бы здесь сделать следующее предостережение относительно использования потенциального рассеяния. Потенциальное рассеяние было чрезвычайно полезно, во-первых, для строгого вывода представления Мандельстама и, во-вторых, для получения полюсов Редже. Но мы не должны забывать, что в потенциальном рассеянии содержится очень небольшая доля информации, которая может быть извлечена из теории поля. Поэтому у меня есть некоторые возражения против принятия на веру того утверждения, что свойства, которые можно доказать для потенциального рассеяния, справедливы без какого бы то ни было изменения и для теории поля. Разумно предположить, что свойства, присущие потенциальному рассеянию, могут быть каким-то образом перенесены в теорию поля, имея, однако, в виду, что может произойти и нечто новое.

Чу:

Я полностью с этим согласен, но мне кажется, что любые осложнения в теории поля, которые отсутствуют в потенциальной теории, а там они несомненно должны быть, будут возникать исключительно из унитарности и аналитичности. Я не думаю, чтобы был какой-нибудь другой источник осложнений.

Мандельстам:

У меня два замечания. Одно касается замечания, сделанного в последний раз Гелл-Манном. Оно состоит в следующем: если посмотреть на уравнения, получающиеся из так называемой аксиоматической теории поля, под которой я имею в виду аксиомы 2 и 3, то можно найти ряд сильно нелинейных интегральных уравнений, которые, несомненно, включают функции Грина на массовой поверхности и вне ее. Можно сделать так, чтобы нелинейность содержалась лишь в тех частях функции Грина, которые находятся на массовой поверхности, а именно, в матрице рассеяния; следовательно, можно решить уравнения для матрицы рассеяния, не касаясь вообще других частей функций Грина — вот что в основном мы делаем в теории S -матрицы. После этого нам уже нужно решить гораздо более простой, линейный ряд уравнений, что дает возможность получить остальные функции Грина. Если окажется возможным решить очень сложные уравнения и получить S -матрицу, то маловероятно, что по той или иной причине нельзя будет продвинуться дальше и решить очень простую систему уравнений для получения функций Грина.

Второе мое замечание относится к вопросу Гейзенберга. По-моему, предположение, что все полюсы являются полюсами Редже, само по себе никоим образом не делает менее вероятным совместимость его с дефинитной метрикой. Мы знаем, что можно получить операторы, соответствующие элементарным частицам в рамках пространства с определенной метрикой, и, конечно, функции распространения, связанные с такими частицами, будут иметь сингулярности на световом конусе. Поэтому можно ожидать, что функции распространения, соответствующие всем частицам, будут иметь сингулярности на световом конусе. Причиной несущественности этого является то, что функции распространения для элементарных частиц просто не используются, но я не вижу необходимости во введении индефинитной метрики для исключения этих особенностей.

Гейзенберг:

В этой связи мне бы хотелось задать один вопрос: у меня всегда было такое впечатление, что если вы используете определенную метрику, то имеете по крайней мере несколько частиц, которые являются, так сказать, голыми частицами, окруженными облаком, и что вам следует сделать, так это исключить голые частицы в центре реальной частицы при помощи бесконечной константы перенормировки. Но если это так, то вы, несомненно, пришли бы к индефинитной метрике. Я не понимаю, как могло получиться, что, не располагая бесконечным фактором перенормировки, все же оказалось возможным полностью исключить вклад голых частиц. Возможно, я неправ, и конечно, не могу доказать того, что сейчас утверждаю.

Йост:

Я хотел бы указать на то, что ответить на вопрос профессора Гейзенберга чрезвычайно трудно. А именно, если исходить из аксиом пункта 3 или, выражаясь точнее, из аксиом Уайтмана, возникает очень трудная проблема: как совместить эти аксиомы с S -матрицей, отличной от единицы? Мне кажется, что если вам удастся любым способом уточнить аксиомы пункта 1, — а под этим я имею в виду, например, насыщение унитарности, чего я, впрочем, сам не понимаю, и максимальную аналитичность, — то перед вами опять встанут те же проблемы совместимости. Если потребовать, чтобы S -матрица обладала аналитичностью, а особенностью ее, по-видимому, давались утверждением о насыщении унитарности, то, по-моему, не представляется никакой возможности избежать опасности того, что S -матрица в конечном итоге становится полностью аналитической. Поэтому можно сказать, что проблема совместимости содержится совершенно определенно в аксиомах пункта 3, но каким-то образом эта проблема содержится и в основе довольно расплывчатой системы предположений, содержащихся в пункте 1, которые мне совсем не хотелось бы называть аксиомами. Но, может быть, профессора Гейзенберга можно хотя бы немного убедить следующим доводом: если взять нелокальную теорию, можно, конечно, удовлетворить все аксиомы пунктов 1, 2 и 3, за исключением локальности, и при этом условии функция распространения

будет иметь дельтообразную сингулярность на световом конусе, и матрица рассеяния будет произвольна. Можно взять любую матрицу рассеяния и интерполировать ее с помощью метода Лемана — Симанзика — Циммермана.

Гелл-Манн:

Позвольте мне вначале сказать, что я полностью согласен с замечанием Мандельштама относительно возможности уложить S -матрицу с нужными свойствами аналитичности в рамки локальной теории поля, решая линейные уравнения; этот путь представляется очень вероятным. Во-вторых, я согласен с ним, что ответ на вопрос Гейзенберга относительно индефинитной метрики состоит в следующем. Если все частицы считать полюсами Редже, то не нужно иметь функции распространения для любой из них, они не входят в S -матрицу.

Мне хотелось бы также сделать еще два замечания. Практически сейчас имеются три способа получения свойств аналитичности. Один из них состоит в том, что отправной точкой является полный набор постулатов локальной теории поля. Второй способ заключается в выведении свойств из диаграмм Фейнмана, которые представляют собой нечто вроде «лаборатории» в теоретической физике, но гораздо более изощренной по сравнению с уравнением Шрёдингера, причем оба эти способа все еще продолжают оставаться очень ценными лабораториями. Третий путь состоит в том, чтобы пробовать то одно, то другое до тех пор, пока не получим аналитические свойства, которые, как нам кажется, будут работать, а уже затем предположить, что они правильны.

Я думаю, что каждый из этих способов имеет свои преимущества. До сих пор неясно, имеется ли между ними хоть какое-нибудь различие. Дело только в том, что эти методы различны, используют их люди с различным складом психики, а следовательно, различны и темпы движения вперед. Если исходить из аксиом и требовать математически справедливых доказательств, то развитие идет чрезвычайно медленно, но я не видел ничего, что указывало бы на особую трудность доказательства этим способом каких бы то ни было соотношений, которые, как кажется, вытекают из диаграмм Фейнмана. На это лишь уйдет много времени и усилий людей, искушенных в математике. Далее, если сравнить диаграммы со свойствами аналитичности S -матрицы, предположенными в пункте 1, то можно сказать, что до сих пор не наблюдалось никакого различия, так как все эти свойства были действительно выведены из диаграмм. Однако мы могли бы спросить, будет ли эта ситуация и далее иметь место, останутся ли все свойства одинаковыми? Что же касается граничных условий в бесконечности, то здесь могут быть некоторые различия, т. е. аксиомы теории поля, возможно, допускают несколько, а может быть, и ни одного из граничных условий.

Диаграммы Фейнмана дают достаточно определенные граничные условия, по крайней мере в каждом порядке. Но, конечно, никто не сможет сказать, что произойдет после их суммирования. Полюсы Редже в сочетании с аксиомами пункта 1 дают возможность получить в бесконечности результаты, совершенно отличные от получающихся из диаграмм Фейнмана в каждом порядке. Поэтому, что касается граничных условий, то возникают некоторые различия. А как обстоит дело с унитарностью и самими дисперсионными соотношениями, т. е. дисперсионными соотношениями и соотношениями унитарности, продолженными за физическую область? До сих пор не наблюдалось никакого различия между тремя точками зрения. Единственно опасным для возникновения некоторых различий является то обстоятельство, что при выводе свойств аналитичности из диаграмм мы имеем дело со стабильными частицами и пытаемся получить следствия, вытекающие из применения снова и снова условия аналитичности и условия унитарности по отношению к стабильным частицам. Таким образом, мы получаем на физическом листе полюсы, соответствующие стабильным частицам, и всякого рода разрезы. Но этот путь непригоден для получения нестабильных частиц, рассматриваемых как резонансы в каждом порядке теории возмущений. Конечно, они появляются на втором листе, и весь вопрос, по-видимому, в том, не окажет ли это влияния на сумму всего ряда и не произойдет ли изменения на физическом листе?

Могут также возникнуть некоторые различия между свойствами аналитичности, которые получены из диаграмм, и свойствами аналитичности, вытекающими из пункта 1. Я думаю, что Чу очень упорно работает над разрешением этой проблемы. Но пока я не вижу каких-либо оснований для споров, кроме того факта, что все люди мыслят по-разному.

Гейзенберг:

Мне хотелось сделать замечание в связи с тем, что только что сказал Гелл-Манн. Конечно, весьма возможно, что в действительности традиционные аксиомы локальной теории поля с положительной метрикой имеют решения, хотя я, впрочем, не уверен в этом. Я склонен считать, что нет нетривиального решения. Но давайте пока оставим

это. Если только на время допустить, что эти аксиомы не имеют нетривиального решения, что делать потом? Как я понял, Гелл-Манн думает, что от использования аксиом пункта 2, а не 1, мы немного приобретаем, так как если исключить дельта-функции на световом конусе, мы возвращаемся к чему-то, более или менее напоминающему теорию S -матрицы. Я не могу полностью согласиться с этим, потому что даже если нужно было опустить пункт 3 и использовать только пункты 1 и 2, можно извлечь очень много пользы из локального оператора поля. При помощи этого оператора несложно построить законы, которые будут справедливы для всех элементарных частиц. Мы уже в состоянии что-то утверждать об операторе поля, в частности то, как он взаимодействует на малых расстояниях. Однако, если мы говорим только об S -матрице, — и теперь это уже вопрос к Чу, — то я всегда испытываю трудность, которая в конце концов и заставила меня отказаться от чистой теории S -матрицы.

При изучении S -матрицы мы должны широко использовать аргументы аналитичности. Это означает, как недавно показал Чу, что мы не можем простым способом использовать приближения, так как если две функции приблизительно равны друг другу на вещественной оси, они могут быть совершенно различны в любом другом месте на комплексной плоскости. Это означало бы, что для вывода законов, описывающих поведение элементарных частиц, нам понадобилась бы теория функций с большим числом переменных, скажем, с 200 переменных, если у нас есть 200 элементарных частиц. Это, конечно, безнадежная задача. Поэтому я сразу же почувствовал, что работать только с S -матрицей чрезвычайно трудно, потому что я не знаю, как можно использовать концепцию аналитичности для более общих проблем, таких, как множественное рождение частиц и т. д. И поэтому я думаю, что было бы очень полезно с практической точки зрения иметь локальный оператор поля даже с indefinitной метрикой.

Иост:

Мне хотелось бы несколько дополнить то замечание, которое я сделал относительно связи между элементарными частицами и полями. Недавно в Цюрихе д-р Рюэль закончил работу, в которой доказывается, что при очень естественных условиях теория поля Уайтмана, которая с самого начала не использует понятие частиц, допускает введение частиц.

Однако в работе Рюэля нет никакого указания на то, что между полями в теории и выходящими частицами существует очень тесная связь. Например, можно легко представить себе теорию, подобную той, которая была выдвинута Гейзенбергом. Эта теория исходит из наличия спинорного поля и не включает стабильных спинорных частиц, но она может включать стабильные частицы с другим спином. А сейчас, по-видимому, мне нужно кратко ответить на замечания Гелл-Манна относительно медленного темпа развития аксиоматической теории поля. Я полностью с ним согласен, и у меня не хватает смелости заявить, что аксиоматическая теория поля в каком-то отношении имела успех. Однако я чувствую, что мы вправе говорить о прогрессе. Например, работа Рюэля кажется мне шагом вперед. И, конечно, дело вкуса, какими темпами двигаться дальше. Еще одно последнее замечание. Выводы из аксиом Уайтмана были до сих пор в значительной степени тривиальными. Каждый физик мог бы сказать, что доказанный факт сам по себе уже тривиален. По-моему, это свидетельствует в пользу аксиом Уайтмана. Насколько нам известно, эти аксиомы образуют логически замкнутую систему; они исходят из чрезвычайно абстрактных математических понятий и позволяют построить как раз то, что нужно, и поэтому я думаю, что в пользу аксиом Уайтмана говорит тот факт, что получается нечто подобное частицам. Каждый физик, естественно, знает о существовании частиц, зачем это нужно доказывать? Сейчас я хочу сделать замечание «религиозного» характера, и я решился на это после больших колебаний, так как считаю, что наука не должна носить отпечатка веры. Иногда может быть так, что фундаментальная структура полной или наполовину полной теории очень сложна, настолько сложна, что невозможно что-либо рассчитать, невозможно решить проблему совместности, но в теорию верят просто в силу ее внутренней структуры. Есть такие теории, например, общая теория относительности. Никто не знает, что общая теория относительности, последовательно рассматриваемая как нелинейная теория, действительно правильно описывает соответствующие явления. Все же мы считаем, что это очень красивая теория, полная физического смысла. Если в этом суть дела, то для получения результатов всегда нужно делать очень смелые приближения.

В качестве другого примера рассмотрим свойства меди, вернее, кристалла меди. Здесь мы располагаем фундаментальными уравнениями для такой системы, но никакой здравомыслящий человек не осмелился бы провести строгий расчет какого бы то ни было свойства кристалла меди. Мы располагаем дополнительными очень хорошими концепциями, скажем, моделью полос, с помощью которой можно многое объяснить, хотя для нас и не совсем ясно, почему эта модель так хороша. Если рассуждать и далее в этом духе, может оказаться, что например, гипотеза о полюсах Редже пред-

ставляет собой что-то такое, чего вы никогда не сможете до конца понять и оправдать, но в то же время она может играть такую же роль, как и модель полос в физике твердого тела. Это, несомненно, означало бы, что как те, чье движение вперед происходит медленно, так и те, чьи темпы высоки, находят свое оправдание.

Брейт:

Общая картина, которая вырисовывается при рассмотрении форм-факторов нуклонов, согласуется с простыми понятиями. Мне кажется, что различие в способе описания предмета не имеет прямого отношения к выводам. Правда, когда-то резонанс рассматривался как полезное явление, но позднее вынуждены были использовать, например, три резонанса. При использовании трех резонансов можно также перейти и к более простой картине, если только известно, что нужно вводить резонансы. Я также придерживаюсь того мнения, что для решения принципиальных проблем резонанс на самом деле не представляет очень большой ценности, чтобы его нужно было вводить, так как в действительности резонанс является частью континуума, в котором волновая функция некоторым образом меняется. Это имеет отношение к фундаментальным проблемам, принадлежащим к совершенно другой области. С другой стороны, при анализе экспериментальных данных упоминалось о состояниях с высокими орбитальными моментами при рассеянии нуклонов на нуклонах. Мне кажется, что эти данные пока еще очень неполны. Точность недостаточна для окончательных выводов. Выражая результаты через эквивалентный потенциал, соответствующий обмену одним пионом, вы не можете претендовать на то, чтобы получить его форму с высокой точностью, в частности, на то, чтобы утверждать, что константы связи заряженных и нейтрального пионов в точности равны. С феноменологической точки зрения мы идем ощупью; используя вычисления Гупта, можно также объяснить результаты теоретически, хотя эти вычисления и отличаются от вычислений по дисперсионной теории, доложенных на этой конференции в работе Амати, Лидера и Витале. Можно задать вопрос, насколько различаются разные подходы? Для конкретности предположим, что вы рассматриваете проблему двух нуклонов. Если вы имеете дело с упругим рассеянием ниже порога рождения мезонов, то вам нужна только S -матрица, что сейчас уже довольно тривиально. Предположим, вы рассматриваете фоторасщепление дейтрона: теперь у вас два нуклона плюс какая-то другая частица. Проанализируем связь между двумя этими проблемами. Очевидно, что если вы можете использовать волновую функцию, первая проблема определена полезна для второй, потому что в этом случае имеет смысл говорить о волновой функции для дейтрона и рассчитать результаты обычным путем. Здесь формализм S -матрицы заключает в себе некоторую трудность, так как он призван ввести новое правило для построения S -матрицы, когда задача усложняется введением другой частицы. Возникает вопрос: будет ли в состоянии чистый формализм S -матрицы обеспечить этот процесс расширения, состоящий в добавлении все большего числа частиц друг к другу, что, по существу, является исследованием волновой функции при обычном подходе. Возможно ли получить набор правил, который не будет чисто произвольным? Конечно, это достаточно просто, если основываться на теории поля и если верить в правильность расчетов по диаграммам Фейнмана.

Но далее вам также нужно знать, имеет ли смысл обычная теория поля, и не забывать о сделанном в свое время возражении профессора Гейзенберга о том, что на обычных формулировках теории поля лежит отпечаток искусственности из-за слишком большого числа постоянных связи. Мне кажется, что именно здесь и нужно сделать выбор не столько в отношении каких-то частных методов, а того, что лежит в основе вещей, относительно представления о природе, приемлемого для нас.

Вильсон:

Я совершенно согласен с замечанием Чу о том, что аналитические свойства амплитуды упругого рассеяния производят сильное впечатление. Но я думаю, что мы находимся в некотором заблуждении, потому что в последние несколько лет наше внимание сконцентрировалось почти исключительно на упругом рассеянии, а множественное рождение частиц, например, предано забвению. Мне кажется, что именно в проблеме множественного рождения теории поля воздается должное, так как понятие поля первоначально вводится в классической физике в уравнениях Максвелла, в которых описывается процесс рождения очень большого количества когерентных фотонов. Очень может быть, что в процессе множественного рождения при высоких энергиях мы снова сталкиваемся с ситуацией, которая предусматривает когерентное рождение большого количества π -мезонов, и в этом случае π -мезонное поле имеет классическую величину и при описании процесса играет большую роль.

Оппенгеймер:

У меня два кратких замечания. Первое, как мне кажется, имеет отношение к высказываниям Йоста, Гелл-Манна и Мандельштама, но в то же время оно может служить формальным ответом и на вопрос Гейзенберга. Мы не знаем, имеют ли аксиоматические уравнения, будь то на массовой поверхности или взятые как единое целое, какие-нибудь решения. По всей видимости, их не так уж легко найти. Мы не знаем, какой именно смысл заключен в невыписанных уравнениях аксиомы 1 и действительно ли они имеют решения, и каким образом мы могли бы найти эти решения? Но само собой разумеется, что любое из них имеет смысл. Далее, как мне кажется, еще совершенно нет уверенности в том, что продолжение за массовую поверхность аксиоматических уравнений, или уравнений пункта 1, имело бы свойства причинности, которые являются источником затруднений в теориях поля, из которых мы исходим. Это, по-моему, также вытекает из работы Рюэля.

Второе замечание имеет второстепенный характер. Первое выступление Фейнмана с объяснением своих диаграмм произвело несколько неприятное впечатление на Бора, так как последний продолжал мыслить в понятиях флуктуирующего квантованного электромагнитного поля, а эти маленькие штучки на бумаге были, по его мнению, всего лишь методом вычисления. Бор сказал, что это не физика. А дальше мы узнали, что это очень и даже очень хорошая физика и очень хороший способ мышления. Мне кажется, что когда работаешь с S -матрицей, ее начинаешь также ценить, как и диаграммы Фейнмана. Но есть один аспект физики, неправильность которого до сих пор еще не доказана. Я имею в виду концепцию пространства и времени. Я полагаю, что когда мы размышляем о структуре нуклонов, из этой концепции можно извлечь определенную пользу, впрочем, на это ссылался и Брейт. Понимание этого доступно только тем, кто допускает возможность продолжения S -матрицы за массовую поверхность.

Блохинцев:

Насколько я понял, Чу надеется обойтись без теории поля. Современная теория S -матрицы имеет скорее кинематическую природу, нежели динамическую. Поэтому для нахождения элементов S -матрицы нам нужно иметь динамический принцип. Если не поле, то что же тогда?

Чу:

"Здесь было задано уже настолько много вопросов, что для меня не совсем ясно, с чего же начать. Но наверное, лучше всего вначале остановиться на замечании Оппенгеймера, затем на замечании Блохинцева, а уже потом прокомментировать высказывание Йоста. Прежде всего, позвольте мне сказать, что одной из самых замечательных особенностей развития квантовой механики была попытка отбросить концепции, которые не могли быть экспериментально проверены или не имели смысла с точки зрения эксперимента. Возможно, это как раз то, что мы и должны рассматривать здесь, а именно, что континуум по импульсным переменным имеет какое-то экспериментальное значение. Мы не знаем, есть ли какой-нибудь предел нашим возможностям для измерения импульсов. Но уже давно, еще в то время, когда произошел синтез квантовой механики с релятивистской теорией, стало ясно, что не существует экспериментального метода проверки концепции пространственно-временного континуума. Эта концепция, по мнению профессора Оппенгеймера, очень привлекательна, но в действительности мы не имеем способа ее проверить, и это обстоятельство является иным выражением утверждения, что возможно ответить на все разумные экспериментальные вопросы; оставаясь в рамках теории S -матрицы, вам никогда не нужно обращаться к аксиомам пунктов 2 и 3 для ответа на вопросы, возникающие из эксперимента.

Второе, на чем я хотел бы остановиться, это замечание профессора Блохинцева. Возможно ли получить законченную динамическую теорию, не пересекая линию от аксиом пункта 1 к аксиомам пунктов 2 и 3? Я уверен, что многие из вас считают это возможным, но я также допускаю вероятность того, что многие придерживаются иного мнения. Действительно, кажется чрезвычайно странным, что такие общие понятия, как унитарность и аналитичность, имеют динамическое содержание. И они-таки имеют. Как ранее заметил Гелл-Манн, в рамках старых теорий, которые допускают элементарность для некоторых частиц, были частицы со спином, меньшим или равным единице; сочетание унитарности и аналитичности позволило бы вывести из соответствующих полюсов S -матрицы точно такие же динамические уравнения, как и в обычной теории поля. С физической точки зрения это уже не представляет большого интереса, так как мы не думаем, что эти частицы с малым спином сколько-нибудь отличаются от частиц с высоким спином. Это наглядно демонстрирует наличие динамического содержания в принципах унитарности и аналитичности. Мой ответ профессору Блохинцеву

состоит в том, что никогда еще не проводилось никакого вычисления, которое можно было бы представить себе в рамках теории поля и которое нельзя было бы выполнить также и в чистом виде в рамках S -матрицы. Вы могли бы задать некоторые вопросы, на которые, возможно, нельзя дать ответ в рамках теории S -матрицы, но они не имели бы физического смысла и с точки зрения эксперимента.

Теперь разрешите мне перейти к замечанию Йоста о том, что ситуация может быть настолько сложной, что вообще станет невозможным какой-либо систематический подход. Я не уверен, что в этом деле, но с некоторой неохотой мог бы все-таки допустить возможность этого. Конечно, с современной точки зрения это не является невероятным.

Существенное в теории S -матрицы, по крайней мере поскольку это касается сильных взаимодействий, состоит в том, что в S -матрице нет центральной точки, из которой вы могли бы исходить. Или все, или ничего. С физической точки зрения в этом и состоит отличительная черта данного подхода от подхода Гейзенберга. Гейзенберг рассматривает все частицы на равных правах, но он предполагает существование одного центрального поля, которое для него является отправной точкой. Формализм S -матрицы не содержит ничего подобного. Все области имеют одинаковое значение. Конечно, возникает вопрос о том, какие собственные значения лежат ниже всех значений. Эти собственные значения соответствуют наиболее устойчивым частицам, а затем, по мере движения вперед, вы подходите к резонансам и так далее. Таким образом, с практической точки зрения существует различная степень сложности, но это не более чем обычное различие между низшими и высшими состояниями, характерное для любой проблемы на собственные значения. Как вообще можно достичь какого-нибудь прогресса при такой ситуации? Тем же путем, каким он был достигнут и каким достигается сейчас. Дело в том, что вы можете исходить из наличия некоторых экспериментальных данных в любом месте этой чрезвычайно сложной теории S -матрицы.

Главное отличие S -матрицы от теории поля, с практической точки зрения, состоит в том, что основные величины, с которыми вы встречаетесь в первом случае в некоторых областях, можно измерить экспериментально. Экспериментатор дает вам какие-то числа, и вы знаете, что они представляют собой значения элементов S -матрицы в данной области. Вы не можете получить этого с помощью теорий поля, где еще никто никогда не мог закрепить какой-нибудь точки во всей структуре.

Итак, вы исходите из некоторого экспериментального знания малой области, а затем применяете принципы аналитического продолжения и унитарности, чтобы попытаться предсказать, что произойдет в некоторой соседней, но все же другой, экспериментальной области, и затем вы сможете увидеть, удалось ли вам это сделать, так как снова в этой точке можно провести измерение. До сих пор мы встречались, и это отражено в наших дискуссиях, с относительно небольшим числом ситуаций, для которых можно было бы сделать предсказания такого рода. Как указывалось, дисперсионные соотношения для пион-нуклонного рассеяния вперед являются наиболее интересными; например, вы можете измерить полные сечения, а затем предсказать, какова должна быть амплитуда рассеяния вперед. Но сейчас мы с надеждой изучаем другой случай, в котором имеется близкая связь между областями низких энергий и высоких энергий. Они очень тесно связаны друг с другом в смысле аналитического продолжения, и перед нами открываются большие возможности для экспериментальной проверки, которые, несомненно, являются предметом широкого обсуждения на этой конференции. Если они найдут подтверждение, а я уверен, что это произойдет, то развитие формализма S -матрицы получит, несомненно, мощный толчок. В настоящее время состояние вычислительного аппарата позволяет нам проходить только небольшое расстояние за данный отрезок времени, так как всегда возникает необходимость пренебрегать многими очень сложными особенностями. Но вы получили в свое распоряжение два принципа, которые, как мне кажется, можно выразить математически, хотя я и не знаю, каким образом. Я бы представил это так. Во-первых, соотношения Копи имеют общую форму закона Кулона, причем вклад данной особенности в данную область обратно пропорционален расстоянию от этой особенности. Во-вторых, у вас есть условие унитарности, которое налагает абсолютное ограничение на интенсивность любой из особенностей. Как раз этого и не хватает при обычном анализе теории поля, где нет никаких ограничений на соответствующие величины. Но аналитически продолженная S -матрица будет везде иметь эти ограничения, так что эти локальные продолжения смогут быть сделаны с некоторой долей уверенности, что вы действительно можете достичь соседних особенностей. Вы осознаете, что те особенности, которые расположены очень далеко, не могут доставить вам много неприятностей. До настоящего времени это остается единственным принципом, на основе которого делаются вычисления в рамках теории S -матрицы. Идея заключается в том, что при каждом небольшом продвижении следует принимать во внимание только соседние особенности. Предположим теперь, что вы хотите продвигаться далее, скажем, сделать большой рывок вперед. Поднимаясь со ступеньки на ступеньку, вы можете после каждого шага исходить опять из экспериментальных данных; это истина, это

в конце концов природа, и экспериментаторы скажут вам, каковы эти данные. А потом вы можете продолжать в том же духе и смотреть, эффективна ли вся эта система. При таком подходе вы медленно продвигаетесь вперед, все время сравнивая получаемые результаты с экспериментом. Таким образом, можно исследовать существенную часть S -матрицы. Добившись такого успеха, можно составить себе представление об общих принципах, даже несмотря на то, что провести полное вычисление исходя из любой точки, значительно сложнее.

Ван-Хов:

А сейчас мы перейдем к замечаниям, которые хотели бы высказать профессор Вайскопф и профессор Боголюбов, после чего будет продолжено обсуждение.

Вайскопф:

Мои замечания очень кратки. Я хотел бы подчеркнуть, что я выступаю до некоторой степени в роли постороннего наблюдателя. Я как бы рассматриваю обсуждаемые проблемы издали. Мне бы хотелось остановиться на одном моменте, о котором упоминал Йост, а именно на сравнении с ситуацией в теории металлов. Этот пример мне кажется очень удачным, и в этом смысле я хотел выступить против того, что сказал Чу. У меня такое впечатление, что новые концепции, которые возникли из анализа эксперимента и теории (я имею в виду полюса Редже и продолжения S -матрицы), определенно носят несколько упрощенный характер, что может служить предметом обсуждения не только экспериментальных данных, но также и положения в теории. Во всем этом есть элемент простоты; мы не знаем, почему он там содержится, но нам кажется, что он там есть, и это дает возможность говорить о том, что мы наблюдаем. Если это так, а я думаю, что это действительно так, вполне естественным было бы сказать: дайте больше возможности тем, кто занимается этими вещами, потому что это полезно и стимулирует дальнейшее развитие, подобно тому как теория полос в металлах открыла совершенно новую страницу в развитии физики и технологии. Здесь мы еще не достигли большого успеха, но мне хотелось бы обратить ваше внимание на один вопрос, имеющий к этому отношение. Он состоит в следующем: если это как-то напоминает теорию полос, то должна быть связь с фундаментальными понятиями, так как мы знаем, почему существуют полосы, и элементарное объяснение этого можно найти во всех книгах. Оно, правда, не очень совершенно. Все же, так как я выступаю здесь в качестве постороннего наблюдателя и в некотором смысле любителя, который предпочитает простые, хотя и не очень хорошие объяснения, я чувствую глубокое удовлетворение от этого объяснения и должен сказать, что я не видел еще ничего подобного для полюсов Редже. Я думаю, что было бы очень неплохо установить какую-то связь, и, как мне кажется, Чу относится к этому отрицательно. Он утверждает, что не должно быть связи, и что это самостоятельная теория. Может быть, это и так, но прежде чем говорить об этом, нужно сначала по-настоящему глубоко понять другую точку зрения и показать, не следует ли она в действительности из концепций теории поля, хотя я и очень хорошо сознаю, что концепции теории поля гораздо менее ясны, чем уравнение Шрёдингера, на основе которого построена теория полос. Мы все чувствуем некоторое отвращение к теории поля. Она слишком сложна, и в этом я вижу причину своего отвращения, другие же недовольны наличием в ней бесконечностей и противоречий. Но все-таки теория поля была на протяжении многих лет основой наших представлений о мире. В ней заключен глубокий смысл, по существу—это же квантовая механика, она вышла из квантовой механики. Не исключена также вероятность того, что Чу прав, и эта простая концепция, очертания которой можно смутно разглядеть при анализе эксперимента, описывает основы чего-то нового. Возможно, что до 1924 г. у физиков появлялось такое же ощущение, когда они видели, как появляются квантовые орбиты, очень могло стать, что за этим стояла какая-то новая теория. Но, по-моему, нужно быть чрезвычайно осторожным, прежде чем увлечемся этим, так как новая теория — это что-то огромное, и хотя мы и надеемся, что когда-нибудь она и будет создана, я все-таки думаю, что сначала нужно очень тщательно исследовать уже имеющиеся представления.

Боголюбов:

У меня несколько замечаний. Первое относительно аксиом пункта 1 профессора Гейзенберга. Мне кажется, что было бы лучше предположить сначала причинность, а потом уже аналитичность. Например, при рассмотрении проблемы аналитичности для вершинных частей с многими концами, для множественного рождения, аналитические свойства до сих пор даже не постулировались. Вы также можете сказать, что условия причинности формируются только вне пределов массовой поверхности, они требуют

использования некоторых пространственно-временных соотношений. Я хотел бы обратить ваше внимание на тот факт, что, возможно, есть какие-то глубокие физические основания для этого, так как, например, вы формируете условие причинности математически при помощи введения классических полей. С физической точки зрения такая же ситуация имеет место, когда вы имеете слабые взаимодействия. Предположим, какой-то физик строит теорию сильных взаимодействий только на массовой поверхности, и мы его можем попросить: вычислите процесс, в котором принимают участие слабые взаимодействия. Из сильных взаимодействий он сразу же выведет вершинную часть, но только эта вершинная часть будет иметь виртуальный конец, с которым связана слабая вершина. Итак, ему нужно иметь виртуальные вершинные части с виртуальными концами, чтобы дать ответ на вопрос физического характера, как сильно взаимодействующие частицы будут вести себя в присутствии слабых взаимодействий. Построить теорию только на массовой поверхности, станет возможным лишь тогда, когда вы имеете единую теорию, включающую сильные, электромагнитные и слабые взаимодействия, но я думаю, что в настоящее время такая теория «может существовать только в воображении».

А теперь я задам риторический вопрос: какой подход к решению проблемы оказался успешным? Я могу сказать, что теория поля обязана своим самым большим успехом обычной теории возмущений, включающей технику диаграмм Фейнмана, но посредством правильного суммирования, т. е. правильного извлечения информации из теории возмущений. Правильным я называю путь, который приводит к успеху. Например, в обычных дисперсионных соотношениях при помощи теории возмущений была установлена очень обширная область аналитичности. Соотношения Мандельштама устанавливаются как раз путем рассмотрения некоторого очень важного класса диаграмм. Но вы можете сказать, что полюса Редже еще не могут быть включены в эту схему. Все же я вкратце упомяну о работе Логунова, Тавхелидзе и других сотрудников, работающих в Дубне, которые изучают асимптотику четырехчастичных вершинных частей на массовой поверхности для больших S , применяя метод ренормализационной группы по переменной t . Рассматривая некоторые модельные примеры с малой константой связи, они получили формулу Редже с экспонентами, которые показывают правильную аналитическую структуру. Эта работа продолжается. Мне кажется, что даже в теории полюсов Редже очень интересно перейти к процедуре вычислений и посмотреть, как можно усовершенствовать теорию возмущений или диаграммную технику, как их можно суммировать для получения структуры полюсов Редже. Кроме того, это будет иметь некоторое практическое применение, например, для электродинамики. Что касается меня, то я предпочитаю аксиоматический подход, но объективно я должен признать, что большинство результатов обязано своим появлением диаграммной технике, включающей современный подход, ведущий к синтезу полюсов Редже и теории поля.

Гейзенберг:

Мне хотелось бы попросить профессора Боголюбова сказать что-нибудь о вырождении вакуума, так как он сам много занимался этой проблемой.

Боголюбов:

Концепция вырождения вакуума очень привлекательна. Но как ее реализовать технически? Здесь возникает трудность. Можно построить много моделей, в которых расходимости не так уж сильны. Например, д-р Тавхелидзе рассматривал успешно такие модели, и отсюда вы можете наглядно увидеть наличие вырождения вакуума. Но в свете общего положения дел в теории поля, для обсуждения свойств вакуума и для того, чтобы избавиться от расходимостей, вам нужно ввести «обрезание», как это сделал Намбу.

Гейзенберг:

Можно мне сказать одно лишь слово? Я не понимаю, почему нужно связывать эту проблему с проблемой расходимостей. Проблема расходимостей имеет отношение к тем фундаментальным проблемам, которые мы обсуждали все утро. Но я думаю, что проблему вырождения вакуума следует рассматривать совершенно независимо. Если кто-нибудь работает над разрешением этой проблемы, то ему для устранения расходимостей, несомненно, нужно использовать некоторую indefinite метрику, подобно тому, как это сделали мы, или же рассмотреть какие-нибудь классические примеры, например, ферромагнетизм или сверхпроводимость, которые также не содержат расходимостей. Но мне кажется, что не следует смешивать эти две проблемы, которые по существу не имеют между собой ничего общего.

Боголюбов:

Я согласен, что это совершенно различные проблемы. Но когда вы хотите превратить в жизнь идею вырождения, вы рассматриваете, например, теорию поля с регуляризацией Паули — Вилларса или с релятивистским «обрезанием». Таким образом вы вводите indefinite метрику. Теперь предположим, что в макроскопической физике мы имеем такое же положение, как и в теории сверхпроводимости. Вы имеете нормальное состояние и получаете сверхпроводящее состояние, которое лежит ниже и которое имеет меньшую энергию, и это хорошо. Но когда у вас применяется indefinite метрика и вы получаете энергию, меньшую нормальной, то возникает вопрос, хорошо это или плохо? Вы не знаете этого, потому что при помощи indefinite метрики можно получить энергию, стремящуюся к минус бесконечности.

Я полностью с вами согласен, что это совершенно другая проблема, и вся трудность состоит в том, как ее рассматривать. Может быть, ее нужно рассматривать как нерелятивистский случай и использовать нерелятивистский подход. В результате получается регуляризация, которая не является лоренц-инвариантной. Такая регуляризация подвержена критике с точки зрения indefinite метрики, но когда вы получаете там некоторые результаты, вы достигаете большего понимания идеи. Правда, эти две проблемы совершенно различны, но наличие в существующей теории расходимостей затрудняет математическое воплощение идеи вырождения вакуума.

Лавлес:

Я хочу сказать несколько слов по поводу замечаний Чу. Мы не обсудили одно из самых интересных предсказаний, которое содержалось в его выступлении. Оно состоит в следующем. Теория полюсов Редже предсказывает, что при высоких энергиях пик дифракционного рассеяния должен становиться более острым. Это настолько необычное предсказание, что сначала оно даже использовалось некоторыми людьми для опровержения полюсов Редже. Тем не менее, мы располагаем большим количеством новых экспериментальных данных, и сами физики-экспериментаторы поручили мне заявить, что это предсказание нашло сейчас вполне надежное подтверждение *).

Мандельштам:

Не мог бы профессор Боголюбов более подробно рассказать о работе Логунова относительно получения полюсов Редже из метода ренормализационной группы. Получили ли эти сотрудники какие-нибудь строгие следствия из теории поля или же они просто утверждают, что полюса Редже совместимы с теорией поля?

Боголюбов:

Эти следствия не являются строгими, потому что метод ренормализационной группы — это только средство суммирования диаграмм. Если вам не нравится этот метод, вы можете получить те же самые результаты суммированием определенного класса диаграмм. Но это представляется мне началом очень важного направления для вычисления полюсов Редже, возможно, очень неточного, но ведущего к некоторому интуитивному пониманию, так как эти результаты демонстрируют все свойства полюсов Редже, аналитичность и т. д.

Далее Оппенгеймер и Фубини обращают внимание на исследования полюсов Редже в рамках теории поля, проведенные Ли и Сойером в Принстоне, а также Амати. Фубини и Стангеллини в ЦЕРНе. Гелл-Манн задает также вопрос о полюсах Редже в электродинамике.

Фубини:

Так как снова затрагивается вопрос о полюсах Редже, я хотел бы обратить ваше внимание на один момент, замеченный Гольдбергером, Бланкенбеклером и Куком, который отражает некоторые парадоксальные аспекты новой теории. Если, например, для определения траектории вакуума использовать траекторию, найденную в ЦЕРНе из эксперимента по рассеянию протонов на протонах, то получается поразительный результат. Если фотон все еще считается вышедшей из моды частицей, к которой все мы привыкли, то при упругом рассеянии при бесконечной энергии электромагнитный эффект будет везде доминировать над сильными взаимодействиями, за исключением

*) Для нуклон-нуклонного рассеяния действительно имеется сужение дифракционного пика, но оно не обнаруживается в пион-нуклонном рассеянии. (Прим. Д. Блохинцева.)

рассеяния вперед. Таким образом, если, скажем, построить ускоритель на один миллион $G\text{эв}$, то сразу же можно найти, что $e^2 = 1/137$. В этом заключен парадокс и существует много возможностей для исправления этого положения. Первая возможность состоит в том, что поведение траектории Редже — это первое приближение к чему-то более сложному. Вторая возможность состоит в необходимости реджезировать также и электродинамику (строить электродинамику также на основе полюсов Редже), причем ее нужно очень сильно изменять, потому что она должна иметь наклон $\alpha(t)$ более крутой, чем тот, который был определен в ЦЕРНе, и это очень неприятно, так как электромагнетизм представляет собой теорию, которая хорошо себя оправдала, и очень неприятно подвергать ее изменению. Я думаю, что такое новое поведение полюсов Редже приведет наши теории к напряженному состоянию.

Ван-Хов:

Мне хотелось бы обсудить последний вопрос в течение тех 20 минут, которые у нас остались. В некотором смысле этот вопрос имеет отношение к замечанию, сделанному Вильсоном. Когда профессор Гейзенберг выписывал аксиомы, то в пункте 1 предполагалось существование S -матрицы, в пункте 2 — существование локального поля $\chi(x)$, коммутирующего для пространственно-подобных расстояний. Затем у меня появилась мысль сравнить эти аксиомы с этическими правилами: правило 1 — будь хорошим, правило 2 — когда ведешь машину, придерживайся правой стороны. Я имею в виду, что пункт 1 очень тесно и неразрывно связан с основными принципами квантовой и релятивистской физики, в то время как пункт 2 имеет сугубо технический характер и занимает особое место; он даже очень произволен, если его рассматривать чисто внешне. Сейчас стали совершенно ясны исторические корни всего этого, и, как мне кажется, это как раз то, что было отмечено Вильсоном. Другими словами, на всем протяжении развития физики концепция поля всегда играла основную роль в электромагнетизме, а затем сохранила за собой то же значение и в квантовой формулировке электродинамики. Здесь мы имеем особую теорию поля, которая использует особые операторы поля с их коммутирующими правилами, описывающими локальную коммутативность или локальную причинность. Мне кажется, что причина наших волнений по поводу использования или же отказа от этой концепции лежит в том, что электродинамика очень хорошо себя оправдала. Если бы электродинамика оказалась бесполезной при сравнении с экспериментами по исследованию явлений на внутриатомных расстояниях, то мы не проявляли бы такого беспокойства по поводу концепции поля и отказались бы от нее еще давно.

Йост:

Я хотел бы указать на одно общее свойство, характерное для всех аксиом теории поля. Я использую сейчас аксиомы Уайтмана, которые не совсем совпадают с тем, что вы сейчас утверждаете, но мне кажется, что все в порядке. А именно, если рассматривать эти аксиомы все вместе, то мы по опыту знаем, что они образуют очень стройную систему. Если выбросить хотя бы одну из них, то вы получите полностью аморфную систему, которая, несомненно, допускает слишком много возможностей. Например, если выбросить локальность, то следствие будет состоять в том, что каждую S -матрицу можно интерполировать с помощью процедуры Лемана — Симанзика — Циммермана.

Поэтому мне кажется, что есть еще одна причина, почему нужно следовать аксиоме пункта 2, а именно, если совершенно от нее отказаться, то вы просто не получите ничего интересного. Другими словами, мне кажется, что мы должны считаться с возможностью возникновения, может быть через некоторое время, противоречия между аксиомами и S -матрицей, отличной от единицы, так как все эти аксиомы, несомненно, содержат элемент истины. Если вы откажетесь от одной аксиомы, вы потеряете все то, что до сих пор понято. Это очень неприятная ситуация, и, как мне кажется, многие считают необходимым изменить ее революционными методами, но в Европе уже не очень сильно верят в революции!

Оппенгеймер:

Я не могу согласиться. Чу говорит, что мы должны быть готовы отказаться от пространства и времени, а это в основном, конечно, то же самое, что отказаться от причинности. Но подумайте о прошлом; никто не хочет отказаться от детерминизма, никто не хочет отказаться от детерминистической механики. Мы не должны слишком охотно отказываться от чего-либо, не зная ради чего. Трудно создать принцип соответствия для перехода от S -матрицы через квантовую теорию к макроскопическому миру, в котором мы живем, потому что нет способа сформулировать его, пока мы не знаем, где именно что-либо нарушается. Я не думаю, чтобы это можно было понять иначе, как удерживая все имеющиеся элементы, пока мы не увидим, где они нарушаются.

Ван-Хов:

В квантовой электродинамике, как бы она ни была хороша, всегда возникает необходимость проведения ренормализации. Теперь появился новый момент. В перенормируемой теории, где долгое время считалось неизбежным наличие расходящихся в наблюдаемых величинах, Ли и Янг при помощи сложного предельного перехода нашли, что квадрупольному моменту векторного бозона можно придать конечное значение, неаналитическое по α .

Я попросил бы Янга прокомментировать значение этого результата. Из-за недостатка времени это будет последним выступлением в нашей дискуссии.

Янг:

В соответствии с духом дискуссии, состоявшейся сегодня утром, позвольте мне сделать сначала замечание философского характера. Мы обнаружили, что элементы веры и психологии пронизали дух наших обсуждений. Мне кажется, что это характерно для современного стиля и направления теоретической физики. Я чувствую, что все мы ответственны за это. Теперь относительно нашей работы. Позвольте мне прежде всего сказать, что мы с д-ром Ли предпочитаем мыслить в рамках диаграмм Фейнмана. Именно используя этот подход, мы рассматривали нашу проблему, и сейчас я останавлиюсь только на том, что составляло ее существо.

Мы знаем, что векторный мезон нельзя перенормировать обычным образом, так как его функция распространения не обладает нужными характеристиками для малых расстояний или больших импульсов. Таким образом, мы ввели скалярное мезонное поле тем же путем, как это делалось много раз и ранее (и которое служит регулятором). Затем мы задали себе вопрос, можно ли перенормировать такую схему в привычном смысле. Оказывается, что все еще нельзя. Далее мы нашли, что если ввести отрицательные вероятности для скалярных мезонов, то теория становится перенормируемой. Теперь квадрат массы вводимого скалярного мезона можно представить в виде m^2/ξ , где m^2 — масса векторного мезона, а ξ — положительный параметр. Если параметр стремится к нулю, то масса скалярного мезона стремится к бесконечности, в то время как вся S -матрица теперь уже не унитарна, а та ее часть, которая не содержит скалярного мезона, становится унитарной в области, где ξ стремится к нулю. С другой стороны, постольку, поскольку ξ конечно, теория перенормируема. Это означает, что вы имеете степенной ряд по α , причем каждый коэффициент этого ряда для любого процесса является функцией от ξ , но, конечно, если вы будете стремить ξ к нулю, то теория примет свою первоначальную форму и все ее члены будут расходиться, причем эта расходимость проявляется в том, что ряд представляет собой степенной ряд по α/ξ^2 . Наличие в теории ξ , входящего в сочетании m^2/ξ , указывает на то, что расходимость квадратична по мере перехода к более высоким порядкам α . Когда встречаешься с подобной ситуацией, например, со степенным рядом типа $\sum_n (\alpha/\xi^2)^n$, возникает вопрос: имеет ли эта теория вообще какой-нибудь смысл? Мы только пытались извлечь как можно больше пользы из этого и утверждали, что если теория вообще имеет смысл, то возможно, несмотря на расходимости в членах ряда, что сумма сходится. Это утверждение может показаться несколько странным, но мы видели, что в предыдущих случаях оно очень хорошо себя оправдало. В проблеме многих тел, если взять большой набор твердых шариков, разреженный газ из твердых шариков радиуса a , то можно рассчитать, например, энергию основного состояния. Вы находите степенной ряд по α , причем коэффициенты всех членов расходятся. Однако, так как в этом случае все коэффициенты можно вычислить, вы можете наглядно показать, что они суммируются так, что дают сходящийся результат по $\sqrt{\alpha^3}$, т. е. дробную степень α . Для случая векторного мезона, если известен способ вычисления коэффициентов, получается аналогичное поведение. К счастью, для получения практических результатов это делать необязательно. Это является следствием того, что члены низшего порядка содержат логарифмическую зависимость от ξ . Затем, когда это происходит, часто оказывается несложным выделить логарифмически расходящийся член, не будучи в состоянии вычислять ряд до бесконечности, хотя вам все еще нужно сделать предположение, что сумма сходится к конечному числу. Если воплотить эту идею в жизнь, то оказывается фактически возможным получить поправки к различным процессам с участием векторного бозона, которые содержат член $\alpha \ln \alpha$. Это также было проведено для радиационной поправки к распадам μ -мезона, промежуточного бозона и не сильно связанного нейтрона. Все эти результаты описаны в двух препринтах, поэтому я не вижу необходимости проводить сейчас подробное рассмотрение.