

ФИЗИКА НАШИХ ДНЕЙ

539.12.01

ФИЗИКА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ-86*)**Л. Б. Окунь**

Задача этого вводного доклада, как я ее понимаю,— дать общий обзор современного состояния физики элементарных частиц, который послужил бы своеобразным театральным задником, на фоне которого на этой конференции будут представлены различные ускорительные идеи и проекты.

Прежде всего необходимо выбрать общий тон, колорит всей картины. Должен ли он быть светлым, оптимистичным, или же мрачным, пессимистичным? В разговорах можно услышать много пессимистичных аргументов. По мнению многих, одним из основных источников пессимизма является то, что мы обладаем в настоящее время прекрасной стандартной $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ -калибровочной теорией сильных и электрослабых взаимодействий. Ни один эксперимент в течение 70-х и 80-х годов не смог бросить серьезного вызова этой теории. А ведь не так уж много радости можно получить, поставляя все новые экспериментальные подтверждения предсказаний, основанных на теории, в справедливости которой мало кто сомневается. К тому же некоторые компьютерные экстремисты утверждают, что для проверки теории опыты на ускорителях вообще не нужны; можно, дескать, обойтись компьютерными экспериментами.

С другой стороны, самые активные молодые теоретики ушли в суперструны, они работают в основном в 2-х, 10-ти, 26-ти, . . . , 506-ти измерениях и предпочитают избегать тривиальных, «обыденных», проблем четырехмерного мира, в котором обречены работать феноменологи, экспериментаторы и ускорительщики.

Суперструнисты оперируют планковскими энергиями, которые никогда не будут доступны нашим ускорителям. Так что их восторги, как мне кажется не должны вызывать ответный восторг в этой аудитории. И тут мы приходим к очередным источникам пессимизма: космологии и астрофизике. Ведь наши земные ускорительные лаборатории не могут конкурировать в поисках Предельной Физической Истины с уникальной планковской лабораторией высоких энергий, которой является ранняя Вселенная.

Серьезный вызов ускорительной физике высоких энергий бросают подземные низкофоновые лаборатории, в которых ведутся поиски таких фундаментальных явлений, как распад протона, двойной бета-распад, несохранение электрического заряда, детектирование нейтрино, летящих из Солнца. Из этих же лабораторий приходят вести о загадочных «гадких утятах», якобы летящих от Лебедя ХЗ, и тому подобных сенсациях.

А ведь есть еще два старых соперника и родственника ускорительной физики: 1) ядерная физика низких энергий с ее поисками массы нейтрино и нейтринных осцилляций, нейтрон-антинейтронных осцилляций и аксионо-

*) Обзорный доклад о состоянии работ и перспективах в физике высоких энергий на XIII Международной конференции по ускорителям заряженных частиц высоких энергий. Новосибирск, 7—11 августа 1986 г.

подобных частиц, и 2) физика космических лучей с ее потоком частиц высокой энергии, который поставляется природой бесплатно.

Слово «бесплатно» напоминает нам о правительствах, которые не торопятся выделять деньги на строительство новых коллайдеров, которые стоят отнюдь не дешево; так что многие смелые проекты находятся в течение ряда лет в эмбриональном состоянии. И сверх всего этого недавно в одной из западно-европейских стран появился доклад, авторы которого рекомендуют четверть всех ассигнований, идущих на физику высоких энергий в Западной Европе (ЦЕРН), передать нашим коллегам, работающим в биологии, химии, физике, твердого тела и других областях науки.

Итак, говорят, что для пессимизма имеется достаточно оснований. И тем не менее я собираюсь дать оптимистический обзор.

В основе моего оптимизма лежат прежде всего соображения, связанные с теоретической физикой, с ее нерешенными проблемами. В том, что касается теории, мы в настоящее время достаточно умны, для того чтобы не только радоваться тому, как прекрасно работают калибровочные принципы стандартной теории, но и понимать, что калибровочные принципы — это только часть ответа. Мы убеждены, что должна существовать новая страна скалярных бозонов с массами, не превышающими несколько ТэВ. Теоретики импортируют из этой страны нарушение калибровочных симметрий, массы всех открытых (и еще не открытых) частиц, углы смешивания в слабых токах, нарушение СР-симметрии, а некоторые теоретики — даже нарушение Р-симметрии. Мы абсолютно убеждены в том, что открыть и исследовать эту неизвестную землю необходимо, что достичь ее можно с помощью ускорителей и только с помощью ускорителей, поскольку только ускорители могут позволить нам проводить опыты при тэвных энергиях с достаточно высокой светимостью и в тщательно контролируемых условиях.

Далее, мы знаем, что и тогда, когда скаляры будут открыты и изучены, до конца фундаментальной ускорительной физики будет еще очень далеко, поскольку наше понимание природы в доступной для ускорителей области энергий будет все еще не полным.

Существует широко распространенное мнение, что теория, чтобы быть самосогласованной, требует существования так называемых «счастливых» — суперпартнеров наших обычных частиц. Счастливые, так же как и скаляры, должны быть не тяжелее, чем 1 ТэВ. Этот верхний предел определяется масштабом Ферми: $m_F = G_F^{-1/2} \approx 0,3$ ТэВ. Единственная дорога в страну счастливых протекает через ускорительные лаборатории.

Модели суперструн указывают на то, что могут существовать многочисленные частицы — «остатки» высших симметрий:

$$E_8 \times E_8 \supset E_6 \supset \dots \supset SU(3) \times SU(2) \times U(1).$$

Среди этих частиц с массами порядка 1 ТэВ — второй Z-бозон, новые лептоны и кварки из трех 27-плетов группы E_6 , дополнительные хиггсы (некоторые из них электрически заряжены, а некоторые нейтральные — могут быть очень легкими) и, наконец, спартнеры всех этих частиц.

Нет такого супертеоретика, который мог бы детально предсказать свойства этих частиц. Только экспериментаторы, работающие на коллайдерах, смогут открыть и исследовать их. Я не разделяю мнения тех, кто считает, что суперструны и дополнительные пространственные измерения — это кратковременная мода. Я думаю, что мы являемся свидетелями очень важного события в истории физики, по своему значению не уступающего созданию квантовой теории поля.

Именно в рамках квантовой теории поля были созданы наша стандартная модель и все ее экстраполяции, получившие название моделей великого объединения. Такие необычные явления, как конфайнмент кварков и распад протонов находят естественное объяснение и предсказываются в рамках квантовой теории поля.

Квантовая теория поля — дитя квантовой механики и специальной теории относительности. (Это дитя родилось шесть десятилетий тому назад.) Теория суперструн — это дитя квантовой теории поля и общей теории относительности. Когда она, наконец, будет создана, эта теория придаст новый более глубокий смысл таким основным понятиям физики, как пространство, время, поле.

Новая фундаментальная теория требует нового математического языка. Работы по суперструнам уже обогатили физику новыми математическими инструментами, созданными топологией и алгебраической геометрией. Некоторые из суперструнных конструкций очень красивы. Мне кажется тем не менее, что строители грандиозной суперструнной башни — «теории всего» — до тех пор не смогут осуществить свои планы, пока многотэвные коллаидеры не откроют новые слои фундаментальных фактов и тем самым не создадут достаточно широкого основания для этой башни. (Подумайте только о том, насколько узким было основание проекта электрогравитационного объединения, над которым трудились Калуца, Клейн и Эйнштейн.)

Обратимся теперь к астрофизике и космологии. Мне кажется очевидным, что без знания свойств таких фундаментальных элементов материи, как скаляры и частицы, масштабom масс которых является 1 ТэВ, невозможно найти уникальный космологический сценарий первых трех пикосекунд, определивших все дальнейшее развитие Вселенной. Или другой пример: знаменитое темное вещество, составляющее, по-видимому, основную массу Вселенной. Для выяснения его природы чрезвычайно важно знать спектр и другие свойства пока не открытых нейтральных стабильных частиц (фотино (?), гравитино (?), аксионов (?) и т. д.).

Космология, как никогда ранее, нуждается в том знании, которое добывается в ускорительных лабораториях, и это должно быть предметом особой гордости ускорительщиков. Имеется глубокая и все углубляющаяся взаимозависимость между физикой частицы и небесной физикой. И мы испытываем чувство глубокой благодарности к астрофизике и космологии за то, что они дали нам такие путеводные звезды первой величины как, например (практически?), нулевой космологический член или необходимость инфляционной стадии и несохранения барионов в сверххранней Вселенной.

Симптоматично, что те же физики, которые работают на коллаидерах, участвуют в настоящее время и в больших астрофизических проектах, в том числе и в подземных.

Творческая взаимозависимость связывает физику высоких энергий и с физикой низких энергий, и с атомной физикой (вспомним, например, о многочисленных ядерных и атомных экспериментах по исследованию несохранения четности или об активном беспокойстве, вызванном сенсационными сообщениями из Дармштадта о наблюдении необъяснимых линий в спектрах электронов и позитронов, испускаемых при столкновениях тяжелых ионов). Даже гравиметрия стала в последнее время частью физики элементарных частиц. Я имею здесь в виду поиски так называемой «пятой силы» с эффективным радиусом порядка километра. Недавние сообщения о том, что такая сила, якобы, открыта, оказались ложной сенсацией. Тем не менее вопрос этот заслуживает дальнейшего исследования на более высоком уровне точности. Очевидно, что когда и если такое дальное действие будет открыто, оно найдет самое широкое применение.

Мы являемся свидетелями и участниками очень важного процесса — междисциплинарного синтеза. Растет понимание того, что дух творческой взаимозависимости, требует суммирования и умножения усилий, а не вычитания и деления. Я уверен, что этот же дух будет определять взаимоотношения физики элементарных частиц с физикой твердого тела, химией, биологией и другими естественными науками. Фундаментальное знание является потенциальным источником фундаментальных благодеяний для человечества. Дополнительные деньги надо искать не путем сокращения бюджета

лаборатории соседа. Уйма денег тратится впустую, тратится во зло, вне рамок чистой науки.

Заклучим этими замечаниями описание общей картины ускорительной физики высоких энергий и обратимся к нашим фундаментальным частицам.

В основе физического мира образца 1986 г. находятся 17 «элементов»:

6 лептонов ($e, \mu, \tau, \nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$),

6 кварков (d, s, b, u, c, t),

4 векторных бозона (фотон γ , глюон g и вионы W, Z),

1 гравитон.

Заметьте, что я не рассматриваю здесь античастицы и цветные степени свободы, что слово вион — транслитерация английского сокращения $wion = weak intermediate boson$ по-английски произносится [waion] по аналогии с π on), что t -кварк пока окончательно не открыт и что гравитоны — отдельные кванты гравитационного поля — по-видимому, никогда не станут доступны экспериментальному наблюдению.

Следует подчеркнуть, что большинство из 17 фундаментальных частиц были открыты в ускорительных опытах:

3 лептона (τ, ν_μ, ν_τ),

все кварки (кварковая структура легких адронов, состоящих из u -, d -, s -кварков, многие из самих легких адронов и тяжелые адроны, содержащие тяжелые кварки c и b),

3 векторных бозона (глюон и вионы).

В лептонном секторе наиболее интересными и загадочными являются, конечно, нейтрино. Перечислим ряд важных вопросов, относящихся к нейтрино:

1. Являются ли они массивными или безмассовыми? Если они массивны, каковы их массы?

2. Отличны ли нейтрино от соответствующих антинейтрино, или они истинно нейтральны?

3. Верно ли каждое из трех нейтрино своему заряженному партнеру и если нет, то как они осциллируют, каковы углы смешивания в лептонных заряженных токах?

4. Каковы величины электромагнитных дипольных моментов нейтрино, диагональных и/или недиагональных?

5. Не обладают ли нейтрино какими-либо аномальными взаимодействиями?

6. Существуют ли другие нейтрино, кроме ν_e, ν_μ, ν_τ ?

Заметьте, что в простейших вариантах теории второй и третий вопросы имеют физический смысл, только если нейтрино обладают ненулевыми массами.

За последнее время верхние пределы для масс мюонного и тау-нейтрино существенно улучшились, но они все еще невообразимо велики по сравнению с тем, что ожидают для нейтринных масс теоретики.

Что касается массы электронного (анти)нейтрино, то масса больше 20 эВ, на которую по-прежнему указывает группа ИТЭФ, не согласуется с недавними данными эксперимента в СИН: которые естественным образом интерпретируются при $m_{\nu_e} = 0$ и не допускают $m_{\nu_e} > 18$ эВ. Ряд точных измерений массы электронного нейтрино будут завершены в ближайшем будущем. Так что, если она больше 10 эВ, мы будем знать это с высокой надежностью. Но чтобы пройти от 10 эВ до 1 эВ, понадобится, по-видимому, не меньше десятилетия.

Как хорошо известно, прямым сигналом нейтральности нейтрино послужило бы открытие безнейтринного двойного бета-распада. К сожалению, пока известны лишь нижние пределы для соответствующих времен полураспада, лучшие из которых близки к 10^{22} — 10^{23} лет.

В поисках нейтринных осцилляции экспериментальные достижения носят, скорее, отрицательный характер: некоторые положительные указа-

ния, полученные на реакторе в Бюже, почти полностью исключены последующими экспериментами на реакторах в Гёзгене и Ровно. Но заслуживает специального упоминания очень интересное теоретическое предсказание Михеева и Смирнова, согласно которому в Солнце, с его медленно спадающей от центра к периферии плотностью, даже очень малый угол смешивания может привести к почти полному, резонансному превращению электронного нейтрино в мюонное или тауонное. Этот новый резонансный механизм делает предсказания для будущих солнечных детекторов (особенно галлиевого) менее определенными, а соответствующие эксперименты еще более интересными.

Будущие солнечные нейтринные детекторы (особенно жидкий аргонный детектор) могут пролить свет на проблему нейтринных электромагнитных дипольных моментов. Если эти моменты порядка 10^{-10} магнетона Бора и если магнитное поле в конвективной зоне Солнца достаточно сильное, то должны возникнуть 11-летние и полугодовые вариации потока солнечных нейтрино. (Некоторые намеки на такие вариации можно увидеть в известных данных группы Дэвиса.)

Что касается возможных аномальных взаимодействий, в которых участвуют только нейтрино (и гипотетические нейтральные бозоны), то оказывается, что обнаружить на опыте такие взаимодействия очень трудно, даже если они сильные.

Чисто лептонные слабые процессы очень чисты и поэтому могут быть использованы для проверки предсказаний высших поправок электрослабой теории. Именно это является целью нового нейтринного эксперимента в ЦЕРН, который будет измерять отношения сечений рассеяния мюонного нейтрино и антинейтрино на электроны с точностью 2%. К сожалению, ведущие радиационные поправки имеют здесь тривиальное электромагнитное происхождение; нетривиальные электрослабые поправки могут стать наблюдаемыми в этом опыте, только если существуют новые тяжелые фермионы. В связи с этим имеет смысл заметить, что четвертое поколение кварков и лептонов (с легким или даже безмассовым нейтрино) все еще не исключено ни лабораторными измерениями ширины Z-бозона, ни космологической теорией нуклеосинтеза в сочетании с наблюдательными данными о распространенности гелия.

Я хотел бы заключить нейтринный раздел доклада полуриторическим вопросом: «Может быть, все же теоретикам легче открыть принцип, согласно которому нейтрино являются частицами без масс, осцилляции и уродливых взаимодействий, чем экспериментаторам открыть все это на опыте?»

Обратимся теперь к кваркам. Начнем с их слабых взаимодействий. Наше знание двух из трех углов смешивания все еще абсолютно неадекватно. Но наиболее сильное чувство неудовлетворенности вызывает нарушение СР. До сих пор эффекты нарушения СР наблюдались лишь в четырех каналах распада долгоживущих нейтральных каонов:

$$K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-, \quad K_L^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0, \quad K_L^0 \rightarrow e^\pm \nu \pi^\mp, \quad K_L^0 \rightarrow \mu^\pm \nu \pi^\mp.$$

Наибольший интерес вызывают амплитуды распадов на два заряженных пиона и на два нейтральных. Деленные на амплитуды соответствующих распадов K_S^0 -мезонов, они обозначаются η_+ и η_{00} . Рассмотрим отношение η_+/η_{00} . Фаза этой величины должна равняться нулю (с точностью порядка 1°) в силу СРТ-симметрии. (На опыте эта фаза $9 \pm 5^\circ$). Отклонение модуля этой величины от единицы является мерой прямых СР-нарушающих переходов СР-нечетной компоненты нейтрального каона в два пиона. Недавние измерения упомянутого модуля не вполне согласуются с предсказаниями стандартной теории, в которой все нарушение СР описывается одной фазой в матрице заряженных слабых кварковых токов. В настоящее время проводятся новые, более точные измерения модуля, и появились два предложения об измерении фазы с точностью до $\pm 1^\circ$ в ЦЕРН и ФНАЛ.

Роль каонов в физике элементарных частиц уникальна. Тридцать лет назад именно их распады заставили поставить вопрос о нарушении Р- и С-симметрий; в 1964 г. они проявили нарушение СР-симметрии. Еще через несколько лет малая разность масс долгоживущих и короткоживущих нейтральных каонов привела теоретиков к мысли, что эта малость обусловлена чармом, и позволила предсказать, что масса с-кварка близка к величине 1 ГэВ. Кстати, знаменитая квадратная диаграмма (рис. 1), описывающая $K^0 \leftrightarrow \bar{K}^0$ -переходы ($K^0 = d\bar{s} \leftrightarrow \bar{d}s = \bar{K}^0$), до этого года являлась единственной диаграммой второго порядка по слабому взаимодействию, которая

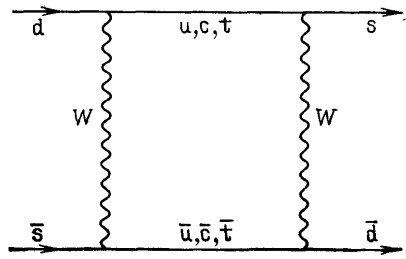


Рис. 1. Квадратная диаграмма, описывающая $d\bar{s} \leftrightarrow \bar{d}s$ -переходы

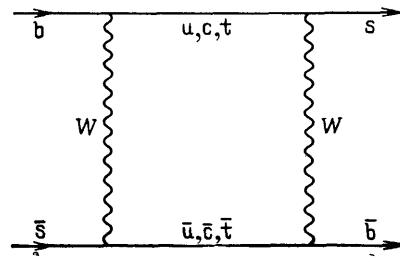


Рис. 2. Квадратная диаграмма, описывающая $b\bar{s} \leftrightarrow \bar{b}s$ -переходы

наверняка имеет отношение к реально наблюдавшимся явлениям. Реальная часть этой диаграммы ответственна за разность масс K_L^0 - и K_S^0 -мезонов, мнимая часть — за СР-запрещенный переход $K_2^0 \leftrightarrow K_1^0$. Я уверен, что дальнейшие опыты с каонами, особенно поиски и количественное изучение их редких распадов, еще дадут возможность прикоснуться к самым глубоким проблемам физики элементарных частиц.

Между тем новое семейство мезонов, по-видимому начало приносить сведения о слабых взаимодействиях. Я имею здесь в виду В-мезоны, или сокращенно — беоны. Переходы $\bar{B}_S^0 = \bar{b}s \leftrightarrow \bar{s}b = B_S^0$ описываются квадратной диаграммой рис. 2, которая аналогична диаграмме рис. 1. $B^0 \leftrightarrow \bar{B}^0$ -переходы чувствительны к возможному вкладу кварка четвертого поколения t' .

Недавно коллаборация UA1 сообщила о наблюдении примерно двухсот событий димюонов одного знака. Естественным объяснением этих событий является процесс сильного рождения пар $B_S^0 \bar{B}_S^0$ с последующими переходами в вакууме $B_S^0 \leftrightarrow \bar{B}_S^0$ и полупертонными распадами B_S^0 -мезонов:

$$B_S^0 \bar{B}_S^0 \rightarrow B_S^0 \bar{B}_S^0 \rightarrow \mu^- \mu^- + \dots$$

или

$$B_S^0 \bar{B}_S^0 \rightarrow \bar{B}_S^0 B_S^0 \rightarrow \mu^+ \mu^+ + \dots$$

Имеются интересные предложения по рождению энергичными гиперонами медленных B_S^0 -мезонов и наблюдению осцилляции и СР-нечетных эффектов в распадах последних. Правдоподобно, что нейтральные B_S^0 -мезоны будут следующими после K^0 -мезонов частицами, в распадах которых будет измерено нарушение СР-инвариантности.

Нелептонные распады очарованных адронов оказались твердым орешком для теоретиков, которые вначале ожидали, что тяжелый с-кварк будет распадаться, не обращая внимания на то, какие легкие кварки находятся рядом с ним. Но такая картина оказалась слишком простой. На опыте время жизни D^0 -мезона оказалось примерно вдвое короче времени жизни D^+ -мезона, а D_s -мезон и Λ_c -гиперон распадаются еще быстрее. Постфактум теорети-

ки показали, что взаимодействия с соседними легкими кварками качественно объясняют эти отклонения от наивных ожиданий, но для количественных предсказаний необходимо более полное понимание виртуальных сильных взаимодействий (одной диаграммы рис. 3 недостаточно).

Так мы подошли к нашей следующей теме — сильным взаимодействиям кварков. Но прежде, чем приступить к ней, сделаем естественный вывод из предыдущего обзора слабых взаимодействий: для решения целого ряда важных вопросов слабых взаимодействий нам нужны сильноточные ускорители — фабрики странности, чарма и красоты.

Ситуация с сильными взаимодействиями необычна. Вот уже более десятилетия мы убеждены в том, что знаем самое главное в них — лагранжиан квантовой хромодинамики (КХД). В этом смысле сильные взаимодействия не уступают электромагнитным. Но аппарат теории возмущений, который доведен до совершенства в КЭД и позволяет делать экспериментально проверяемые предсказания с величайшей точностью (в некоторых случаях до 9 значащих цифр), в случае КХД работает лишь на малых расстояниях, да и то лишь с точностью порядка десяти процентов. В то же время нет ни одного процесса с участием адронов, в котором большие расстояния не играли бы роли. С теоретической точки зрения принципиальным отличием КХД от КЭД является не только различие величин констант связи, но и сильное прямое глюон-глюонное взаимодействие, в то время как прямого фотон-фотонного взаимодействия нет. Попытки учесть вклад больших расстояний очень разнообразны, часто остроумны, реже изощренны, еще реже надежны и, если речь не идет о высокой точности, почти всегда успешны. (Я чуть не сказал: «к сожалению»). В целом картина современной КХД напоминает красочный восточный базар.

Сравнительно надежно выглядит теория жестких (глубоко неупругих) инклюзивных или полуинклюзивных процессов, в частности, кварковых и глюонных струй, в которых, если не гнаться за высокой точностью, можно считать, что фрагментация жестких кварков и глюонов в адроны не меняет вероятности процесса, определяемой вкладом малых расстояний.

Если обратиться к вычислению статических свойств адронов и, в частности, их масс, ширин распада, магнитных моментов, тот тут наиболее успешными и последовательными с теоретической точки зрения были до сих пор квантовохромодинамические правила сумм, в которых мостиком между малыми и большими расстояниями служат дисперсионные соотношения. Очень существенными при этом подходе оказываются так называемые кварковые и глюонные вакуумные конденсаты, имеющие непертурбативную природу, т. е. не описываемые теорией возмущений. Эти конденсаты представляют собой вакуумные средние значения кварковых и глюонных полей, простейшие из которых билинейны по этим полям: $\langle \bar{q}q \rangle$, $\langle G G \rangle$ и т. д. Используя в качестве параметров значения этих конденсатов, удается описать очень широкий круг экспериментальных данных, относящихся как к адронам, содержащим тяжелые кварки, так и к адронам, состоящим лишь из легких кварков, а также не содержащим кварков вообще, так называемым глюболам.

Наряду с квантовохромодинамическими правилами сумм очень успешно описывают экспериментальные данные более наивные упрощенные модели, не имеющие под собой столь твердой теоретической базы: потенциальные модели тяжелых кваркониев, модель нерелятивистских кварков, различные модификации модели мешков.

Сам факт мирного сосуществования этих моделей с квантовой хромодинамикой является свидетельством незрелости последней как количественной

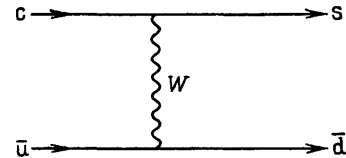


Рис. 3. Слабое взаимодействие с-кварка с \bar{u} -кварком, дающее вклад в распад D^0 -мезона

теории. Незрелость вычислительного аппарата КХД особенно проявляется, когда речь идет, например, о невозможности теоретически исключить существование такого экзотического объекта, как странная кварковая материя, спекуляции о существовании которой базируются на модели мешков.

Особо я хотел бы остановиться на так называемых компьютерных, экспериментах: КХД-расчетах, в которых пространственно-временной континуум заменяется четырехмерной решеткой. В последних расчетах число узлов решетки превышает 10^5 , а шаг решетки — порядка 10^{-14} см. Компьютерные расчеты проводились, в частности, в рамках квантовой глюодинамики, т. е. КХД без кварков, для оценки ожидаемых масс глюоболов. Проводятся также расчеты и с учетом кварков, в частности, вычисления слабых нелептонных амплитуд.

Наибольший интерес вызвали компьютерные исследования КХД при высоких значениях плотности и температуры. Эти исследования указывают на то, что при температуре порядка 200 МэВ ядерное вещество должно перейти в состояние так называемой кварк-глюонной плазмы. Пока не совсем ясно, насколько яркие сигналы будут указывать на то, что такой фазовый переход действительно происходит. В качестве первого шага для поисков кварк-глюонной плазмы на суперсинхротроне ЦЕРН начинается эксперимент по бомбардировке неподвижной мишени высокоэнергичным пучком ионов кислорода.

Экспериментальные перспективы исследования сильных взаимодействий чрезвычайно благоприятны. С точки зрения квантовой хромодинамики большой интерес представляют опыты самого различного уровня трудности в очень широком интервале энергий: от очень низких до предельно высоких. Это означает, что ценную информацию можно будет получить не только на будущих суперускорителях, но и на существующих обычных машинах. И даже на машинах, которые уже не существуют. Последнее замечание вызвано прекрасными измерениями масс и ширин двух уровней чармония χ_1 и χ_2 , которые резонансно рождались в $p\bar{p}$ -аннигиляции на ныне демонтированном коллайдере ISR. Препринт, содержащий результаты обработки этого эксперимента, появился в апреле 1986 г. Это — как вспышка света от давно погасшей звезды.

Мы обсудили лептоны и кварки и переходим сейчас к векторным бозонам. Мы о них уже немного говорили, обсуждая электрослабую теорию и сильные взаимодействия. С пуском СЛК и ЛЭП мы получим уникальные фабрики по производству Z-бозонов, которые позволят количественно проверить многие аспекты электрослабой теории. Но уже сегодня надо смотреть в более далекое будущее: ведь самым интересным в калибровочных бозонах является их самодействие. Для экспериментального изучения самодействия ионов понадобятся ЛЭП2 и ВЛЭПП. Что касается глюон-глюонного самодействия, то тут особенно интересно изучение парных глюонных струй на больших адронных коллайдерах.

Несмотря на простоту и красоту неабелевых калибровочных теорий, не следует упускать из виду, что, по крайней мере, некоторые из них могут оказаться лишь феноменологическим описанием более глубокой физики. С этой точки зрения вионы могли бы оказаться не более фундаментальными, чем легчайшие векторные мезоны (ρ , ω), к которым в 60-е годы тоже пытались применять (правда, с существенно меньшим успехом) неабелеву калибровочную симметрию. Составными могут оказаться и кварки, и лептоны. Правда, ни одной сколько-нибудь красивой преонной теории пока не предложено. Но здесь решающее слово должно принадлежать не теоретикам, а экспериментаторам. Если опыты обнаружат преоны — составные элементы современных фундаментальных частиц — то я уверен, что недостатка в красивых схемах не будет.

Я почти ничего не говорил о гравитоне. Я оставил его на конец своего доклада, поскольку в современной физике гравитон занимает исключитель-

ное место. Это связано с тем, что гравитационное взаимодействие, согласно современным теоретическим представлениям, играет основную роль не только на самых больших масштабах, но и на самых малых. Именно, для того чтобы построить непротиворечивую теорию гравитационного взаимодействия при энергиях порядка и больше планковских, где оно становится сильным, теоретики обращаются к дополнительным пространственным измерениям и заменяют точечные частицы многомерными суперструнами, имеющими планковские размеры. Именно на основе попыток построения непротиворечивой теории суперструн возникли в последнее время надежды, что удастся угадать высшую группу симметрии, найти механизм ее нарушения и объяснить эмпирические закономерности, характеризующие массы частиц и углы смешивания в слабых токах.

Одна из основных мыслей этого доклада заключается в том, что имеется множество фундаментально интересных экспериментов, которые можно выполнить на самых разных ускорителях.



Рис. 4

И все же больше всего нас интересуют явления, лежащие при все более высоких энергиях. К сожалению, чем больше энергия E , тем меньше сечения наиболее интересных процессов ($\sim E^{-2}$) и тем больше множественность фоновых процессов.

Стратегической триадой физики высоких энергий являются ускорители, детекторы и компьютеры. Мы стремимся ко все более высоким энергиям, светимостям, точностям и темпам обработки данных, чтобы скрупулезно проверять наши теории, решать их нерешенные проблемы и, что самое главное, искать явления, которые никакими теориями не предсказываются. Просто очень хочется знать, что лежит впереди.

Для успешного развития физики желательно в начале следующего столетия на три порядка величины увеличить темп ускорения и светимость проектируемых линейных электронных коллайдеров и темп набора и обработки данных на адронных коллайдерах.

Готовя этот доклад, я случайно наткнулся в газете на шуточный рисунок В. Пескова (рис. 4) *), который, как мне показалось, имеет к докладу какое-то отношение. После некоторого размышления я решил, что рисунок можно истолковать следующим образом. Паровоз — это символ физики высоких энергий. Что касается теоретиков, то их на рисунке не видно, но подразуме-

*) Я благодарен В. Пескову, который любезно предоставил для публикации в УФН оригинал рисунка, получившего Золотую медаль на Международном конкурсе в Любляне в 1969 г.

меваются, что их дело — строить железную дорогу. Однако иногда некоторые из них используют свое и чужое время, а также рельсы, чтобы строить не рельсовый путь, а рельсовые стрелы, которые, по их мысли, должны указывать направление будущего прогресса.

Этим самокритичным замечанием я закончу доклад. В качестве домашнего задания Вы можете поискать другие интерпретации.

Желаю Вам успеха! Благодарю Вас.

Институт теоретической и экспериментальной физики,
Москва