

Физика высоких энергий: триумф или кризис

В.А. Петров

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия

Уважаемые коллеги!

Прежде чем приступить к теме моего выступления, я хотел бы поблагодарить организаторов нынешней конференции ускорительщиков России за приглашение дать краткий обзор общего состояния физики высоких энергий.

Почему я выбрал это противопоставление: триумф и кризис? Физика частиц (физика высоких энергий) в последнее десятилетие совершила огромный прорыв. Прорыв идейно столь значительный, что можно говорить о триумфе науки. Разумеется, этот триумф был бы невысказанным без фантастического развития ускорительной техники, и многие из присутствующих здесь внесли, вносят и еще внесут большой вклад в этот процесс.

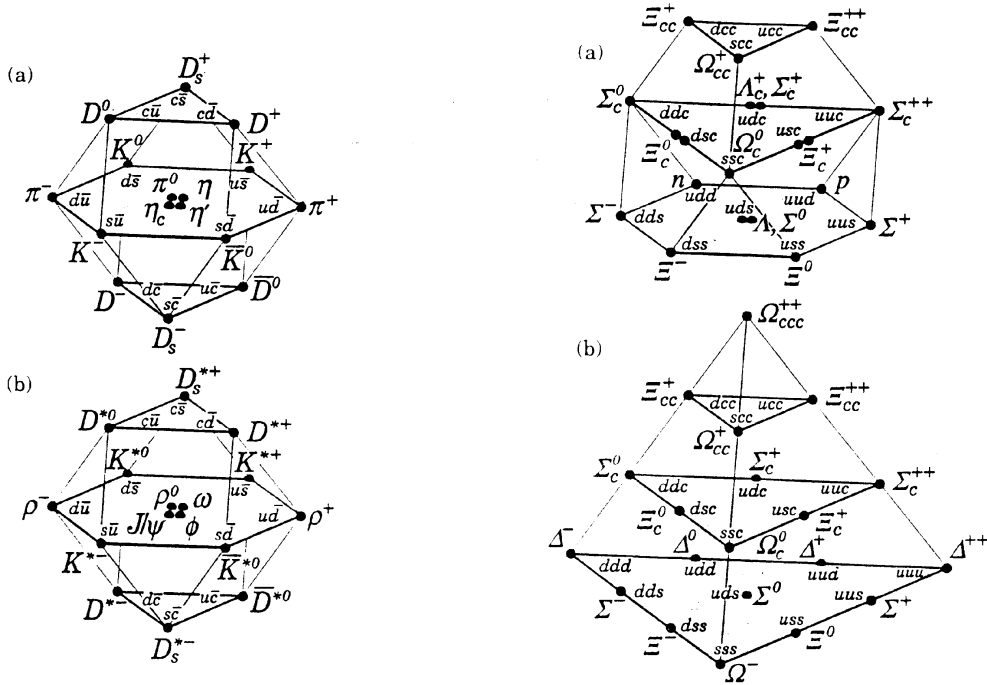
Как физик-теоретик в области физики частиц я, наверное, склонен относиться к ускорителям потребительски, хотя я смутно ощущаю, что это — самодовлеющая отрасль, своеобразная и оригинальная научная культура.

С древнейших времен и до наших дней человек использовал один главный метод изучения мира — развалить какой-нибудь его объект на части и посмотреть в микроскоп, как они устроены. Сейчас самый мощный микроскоп в руках физиков — это ускоритель элементарных частиц. С его помощью они довольно долго, несколько десятков лет, смотрели, как устроены самые мельчайшие из имеющихся в нашем мире объектов. И хотя за это время представление о том, на что же именно надо смотреть, сильно изменилось, физики пришли к некоей единой картине, которую назвали *“Стандартная модель”*. Ее с полным основанием можно считать триумфом нашей науки — физики высоких энергий.

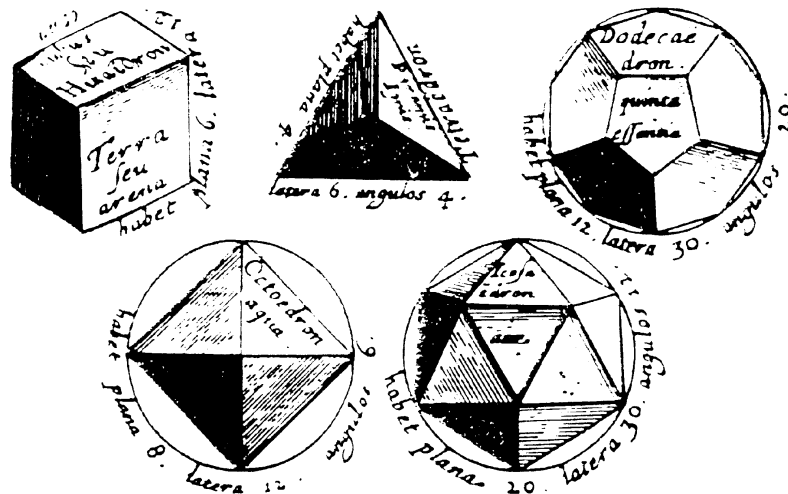
Не будем восторгаться тем, сколь интересно и когерентно все там устроено, как симметрично распределена легкая и тяжелая материя, сколь однотипны поля, каждое из которых имеет свой квант: фотон, глюон или гравитон. Главное, что картина оказалась очень простой, все многообразие определено небольшим числом параметров. События, случающиеся с объектами, которые образуют фундамент мира, удается объяснить, стоя на достаточно простых позициях, и простыми механизмами. И известны эти механизмы уже давно. Любопытно сравнить наглядные изображения элементов мироздания в конце XV в. и за 24 столетия до этого (см. рис. 1). Хотя в материальном плане парк *“строительных”* элементов прибывает, в идейном — все остается как было многие десятилетия назад, в начале двадцатого века, когда классики заложили основы квантовой механики и теории относительности.

И на этих же принципах стоит символ веры современной физики: при каких-то очень больших энергиях и на очень малых расстояниях силы, связывающие элементарные частицы, столь разные, различающиеся в миллионы раз силы, сольются в единую сверхсилу. Все физики в это верят. Ну и дальше все будет очень интересно, потому что тогда удастся в едином духе описать весь известный мир от очень малых расстояний порядка 10^{-33} до 10^{+28} см, что составляет видимый радиус Вселенной.

Есть основания считать, что картина, которую мы получили, включает в себя эволюцию вселенной на разных ее этапах, описывает и объясняет наш мир. Мы как бы достигли положения, когда действительно есть триумф теории. А что касается кризиса, то он не наблюдается.



Элементы мирового устройства по понятиям XIX века (*)



Фундамент всего сущего по Платону, IV в. до н.э.

(*) Eur.Phys.J.C15(2000).

Рис. 1:

Единственное, что наблюдается, так это некая эстетическая неудовлетворенность от того, что для практического применения всей этой красивой картины мироздания и описывающей ее капитальной теории нам надо получить много параметров — около 30. Параметров, про которые сама эта теория умалчивает и не представляет, откуда их надо брать. Но, в принципе, на этом можно успокоиться. Если это параметры, то они откуда-то взяты, и это не мешает изучать новые явления тем более, что не все явления, которые мы наблюдаем на опыте, были описаны Стандартной моделью.

Дальше можно столетиями открывать новые явления.

Нельзя сказать, что, достигнув триумфа, сообщество физиков успокоилось. Нет. Самая интересная попытка найти более глубокую теорию, из которой Стандартная модель получается как следствие, была предпринята лет 15 назад. Когда в 1984 г. произошла как бы “*Великая Революция*”, а в обиход для широкой публики вошло волшебное слово “*суперструна*”, которая стала символом того, на что мы должны уповать в качестве светлого будущего (рис. 2). Ни больше, ни меньше: авторы или приверженцы этого подхода претендуют на то, что теория ознаменует собой описание всего сущего. Характерная черта этой “последней теории”, которую по аналогии с Фукуямой можно назвать “*Конец физики*”, — это масштаб расстояний от 10^{28} до 10^{-33} см. Последнее — это знаменитая “*длина Планка*”, построенная М. Планком более 100 лет назад из постоянной его имени, гравитационной постоянной и скорости света. Поскольку никаких других (меньших) масштабов установить не удастся, это число и считают тем масштабом, когда единая теория описывает весь мир.

Но оказалось, что просто так суперструны получить не удастся. Необходимо ввести не четыре измерения, а больше. Таково математическое требование к этой теории.

В 1984 году никто не смутился оттого, что нужны дополнительные измерения. Эта идея не нова. В 20-е годы физики уже пытались привлечь дополнительные измерения, чтобы более общим порядком объяснить происхождение электромагнетизма. Эту давнюю идею обобщили и предложили: имеется плоское пространство, но есть еще измерения, которые мы не ощущаем просто так, потому что они компактные и “*маленькие*”.

Чтобы разобраться, представим себе цилиндр. Мы живем на прямых и не знаем, что у цилиндра есть диаметр. А вот как раз диаметр этого цилиндра и отвечает за те симметрии, что мы наблюдаем в мире элементарных частиц. Скажем, изотопическая симметрия или электрический заряд. Неясно, правда, кто решил, скольким измерениям стать маленькими, а скольким — нет...

Первое увлечение этой теорией, когда думали, что вот оно, единственное решение, найдено, уже можно торжествовать победу и бить в барабаны, продолжалось довольно долго. Но после внимательного рассмотрения, когда пыль рассеялась, оказалось, что задача далека от решения. Отметим, что эта “смена парадигмы” приводит к отказу от точки, которая в течение тысяч лет была основным идеальным элементом всей механики, и к ее замене на одномерную протяженную структуру, струну.

Но если быть последовательным, что нам мешает ввести как основной элемент двумерную мембрану, или даже трехмерное тело? Эта мысль некоторым ученым показалась привлекательной, и соответствующее направление активно развивается, правда пока не выходя за пределы чистой математики.

Что же касается проекта построения теории, в которой компактные измерения дадут нам все симметрии, которые мы имеем в Стандартной модели, работая с теми полями, какие симметрии порождают, то оказалось, что в результате возникает более 500 млн. возможных вариантов описания. Казалось бы, от такого числа энтузиазм может угаснуть. Но ученым не свойственно терять энтузиазм, и путем тяжелого труда физики к концу XX века свели число вариантов, которые годятся в качестве физической теории, до **212**.

Дальнейшие усилия, как надеются некоторые, могут в конце-концов завершиться единственной и неповторимой Теорией Всего Сущего.

Светлое Будущее:

Суперструны ИЛИ Теория Всего Сущего

Основные параметры:

*масса-энергия = 10^{49} ГэВ

*длина = 10^{-33} см

*размерность

пространства-времени = $1+10$ (или 9)

$10 = 3 + 7$ или $9 = 3 + 6$

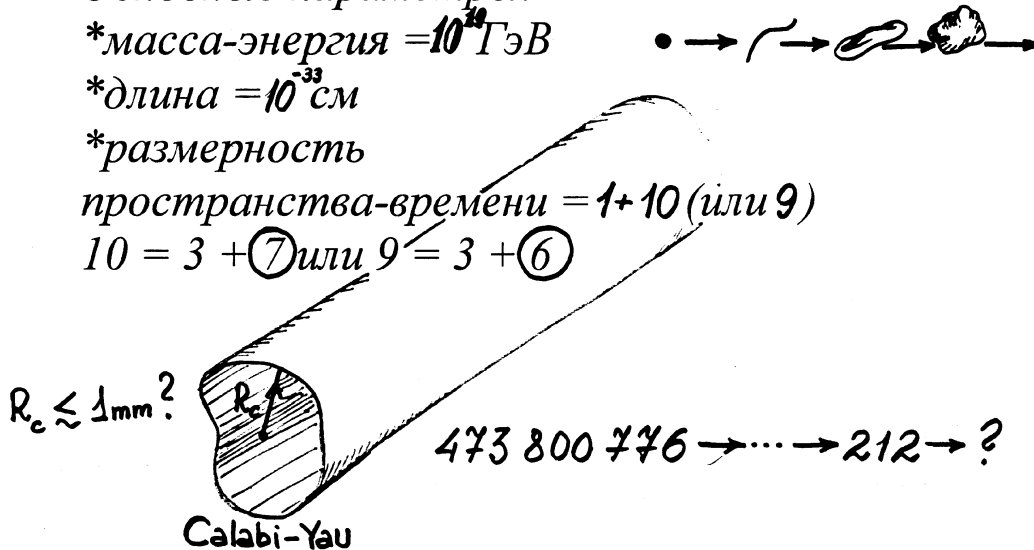


Рис. 2:

Что мы имеем и чего мы не имеем?

В конце XIX века проводились эксперименты, результаты которых теория описать не могла. В результате, когда было доказано отсутствие эфирного ветра, когда разразилась ультрафиолетовая катастрофа (т.е. теоретики обнаружили, что в области больших частот энергия

излучения становится бесконечно большой), когда атом казался в теории радиационно неустойчивым, то родились теория относительности и квантовая теория.

Сейчас такого кризиса, когда теория дает одно, а эксперимент показывает кардинально другое, нет. Все результаты экспериментов с помощью Стандартной модели можно или объяснить, или надеяться объяснить. Но такого, чтобы было прямое столкновение, и мы должны думать об изменении основополагающих принципов, — такого сейчас нет.

Поэтому только и остается, что, уверовав в триумф, идти дальше и делать эту теорию еще прекрасней, сводить число параметров к наименьшему возможному числу, объяснять, почему у нас есть именно такие “поколения” фундаментальных частиц, объяснять картину используемых полей, объяснять, откуда у нас взялся бозон Хиггса и т.д.

Но мы, по существу, от этого триумфа далеко уйти не сможем, поскольку создание Стандартной модели нашего мировоззрения не изменило. А в начале XX века сменился способ мышления. Сейчас такого не предвидится. Может быть, это потому, что после того потрясения, которое принесла человечеству квантовая теория, люди готовы ко всему и готовы пожертвовать всем, чем угодно. Сто лет назад было трудно расставаться с принципами, скажем, убеждать себя, что принцип действия-противодействия не работает. Сейчас народ абсолютно гибкий. Нас, видимо, ожидает бесконечное путешествие с открытием новых и новых частиц.

Однако для развития нужен кризис. Нам остро не хватает кризиса того типа, что был сто лет назад, и надежда на него кроется в находке неожиданного. То, что мы сейчас имеем, — это огромные тома, заполненные библиотеки, где все перечислено. Все будущее уже записано в них, а природа как бы поддается нашим мыслям: если мы сильно подумаем, она выдаст нам то, что мы хотим. Но ведь так быть не должно. Поэтому появление неожиданного было бы очень хорошо. И для этого стоит строить новые ускорители и поддерживать старые. Без них невозможно разгадать загадки мироздания и наткнуться на нечто неожиданное. Какие это загадки?

Одна из задач: разгадать природу массы, потому что масса — это очень сложно, никто не знает, что такое масса, нет среди ученых консенсуса, что это такое. А разгадывать природу неизвестно чего нелегко. Хотя тут многие, наверное, со мной не согласятся.

Открыть дополнительные измерения, нетривиальные топологии пространства-времени? Это очень популярно: раз некоторые люди фантазируют, что существуют скрытые измерения, почему бы нам их не поискать? И, действительно, ищут. Например, считается что наш мир — это всего лишь какая-то область в пространстве более высоких измерений, а некоторые элементарные частицы, например гравитоны, гравитационное поле, живут не только в нашем мире, но и уходят за его пределы. Поэтому, в принципе, гравитационное поле может ускользнуть. Как это событие ловить? Предположим, что родились какие-то частицы, и вдруг как бы оказалось, что энергия не сохраняется. Почему? Да потому что на самом деле никакого несохранения нет, а это гравитон ускользнул в пятое измерение. Пока что это похоже на желание просто “сделать красиво”, но реальных поводов так считать нет.

Следует иметь в виду: некоторые эксперименты могут закончиться не только поставкой материала для любопытствующих теоретиков. Все гораздо хуже. Возможен катастрофический сценарий. Некоторое время назад был бум среди сообщества физиков по поводу такого сценария при столкновении тяжелых ионов: что, если в результате столкновения возникнет черная дыра, и она начнет засасывать нас всех, и мы в нее погрузимся? Что, если мы живем не в “том” вакууме; что, если он метастабилен и энергия настоящего вакуума ниже? Тогда, если хватает энергии, в результате столкновения тяжелых ионов создадутся условия, когда образуются как бы пузырьки стабильного вакуума, и вследствие туннельного эффекта мы переходим в этот настоящий вакуум. Вернее, уже не мы — мир перейдет туда, а нас не останется.

Более прозаичная возможность — цепная реакция “странноватой” материи (рис. 3). Некоторыми людьми было сделано предположение: если взять обычную материю и заменить

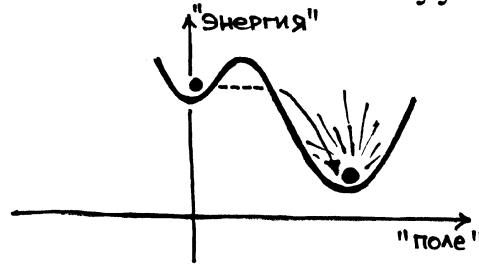
d -кварк на s -кварк, то энергетический баланс может сложиться так, что материи окажется лучше перейти в другую энергетически более выгодную форму. И вероятность такой катастрофы, может быть, не так уж мала, скажем 10^{-8} .

Все же хочется надеяться, что работа и новых и старых ускорителей будет и в дальнейшем служить нам источником радости в творчестве и в познании Природы. А кризисы пусть будут только идейные — в них залог всех триумфов.

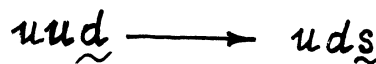
Катастрофа на RHIC ?

Причины:

1. Мы родились не в том вакууме...



2. Цепная реакция "странноватой" материи.



черная дыра ?

$p < 2$
($N_f < 15$)

Отбой ! (?)

\bar{N}_f - число смертельных исходов

Рис. 3: