

Основные понятия и законы физики и свойства элементарных частиц материи

Л. Б. Окунь
ИТЭФ, Москва, Россия.

Слайды доклада 27 октября 2009 года на Президиуме РАН

2 декабря 2009 г.

ПЛАН ДОКЛАДА I

1. ВВЕДЕНИЕ
2. ЧАСТИЦЫ И ЖИЗНЬ
3. О ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ
4. О КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ
5. ДИАГРАММЫ ФЕЙНМАНА

ПЛАН ДОКЛАДА II

6. ГРАВИТАЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ
7. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ
8. СЛАБОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ
9. СИЛЬНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ
10. СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ И ЗА ЕЁ ПРЕДЕЛАМИ
11. ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ В РОССИИ И МИРЕ

ПЛАН ДОКЛАДА III

12. О ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУКЕ

1. ВВЕДЕНИЕ

- 1.1 Аннотация
- 1.2 В чём основная трудность этого доклада
- 1.3 Физика элементарных частиц
- 1.4 Теория относительности
- 1.5 Квантовая механика
- 1.6 От атомных ядер к частицам
- 1.7 Основное отличие элементарных частиц
- 1.8 6 элементарных частиц
- 1.9 18 элементарных частиц
- 1.10 Античастицы
- 1.11 Цвета кварков
- 1.12 Цвета глюонов
- 1.13 Стандартная модель и четыре типа взаимодействий
- 1.14 За пределами познанного
- 1.15 Тёмная материя
- 1.16 Тёмная энергия
- 1.17 Элементарные частицы в степени фундаментальны
- 1.18 Основные законы

1.1 Аннотация

Законы теории относительности и квантовой механики, согласно которым происходит движение и взаимодействие элементарных частиц материи, предопределяют формирование и появление закономерностей широчайшего круга явлений, изучаемых различными естественными науками. Эти законы лежат в основе современных высоких технологий и во многом определяют состояние и развитие нашей цивилизации. Поэтому знакомство с основами фундаментальной физики необходимо не только студентам, но и школьникам.

1.2 В чём основная трудность этого доклада

Он адресован одновременно и специалистам в области физики элементарных частиц, и гораздо более широкой аудитории: физикам, не занимающимся элементарным частицами, математикам, химикам, биологам, энергетикам, экономистам, лингвистам,...

Чтобы быть достаточно точным, я должен пользоваться терминами и формулами фундаментальной физики. Чтобы быть понятым, я должен постоянно пояснять, эти термины и формулы.

Если физика элементарных частиц не является Вашей специальностью, прочтите сначала только те разделы, заглавия которых не помечены звёздочками . Потом пытайтесь читать разделы с одной звёздочкой *, двумя **, и, наконец, тремя ***. О разделах без звёздочек я успел рассказать во время доклада, а на остальные не было времени.

1.3 Физика элементарных частиц

Физика элементарных частиц лежит в фундаменте всех естественных наук. Она изучает мельчайшие частицы материи и основные закономерности их движений и взаимодействий. В конечном счёте именно эти закономерности и определяют поведение всех объектов на Земле и на небе. Физика элементарных частиц имеет дело с такими фундаментальными понятиями как пространство и время; материя; энергия, импульс и масса; спин. Она была создана в XX веке. Её создание неразрывно связано с созданием двух величайших теорий в истории человечества: теории относительности и квантовой механики. Ключевыми константами этих теорий являются скорость света c и константа Планка \hbar .

1.4 Теория относительности

Специальная теория относительности, возникшая в начале XX века, завершила синтез целого ряда наук, изучавших такие классические явления как электричество, магнетизм и оптика, создав механику при скоростях тел, сравнимых со скоростью света. (Классическая нерелятивистская механика Ньютона имела дело со скоростями $v \ll c$.) Затем в 1915 году была создана общая теория относительности, призванная описать гравитационные взаимодействия при скоростях, сравнимых с c .

1.5 Квантовая механика

Квантовая механика, созданная в 1920х годах, объяснила строение и свойства атомов, исходя из дуальных корпускулярно-волновых свойств электронов. Она объяснила огромный круг химических явлений, связанных с взаимодействием атомов и молекул. И позволила описать процессы испускания и поглощения ими света. Понять информацию, которую несёт нам свет солнца и звёзд.

1.6 От атомных ядер к частицам

1.7 Основное отличие элементарных частиц

Элементарными частицами называют мельчайшие неделимые частицы материи, из которых построен весь мир. Самым удивительнейшим свойством, отличающим эти частицы от обычных не элементарных частиц, является то, что все элементарные частицы одного сорта, например, все электроны во вселенной абсолютно! одинаковы – тождественны.

1.8 6 элементарных частиц

Чтобы понять основные процессы в природе в первом приближении достаточно понимать процессы, в которых участвуют шесть элементарных частиц: электрон e , протон p , фотон γ , гравитон \tilde{g} , а также нейтрон n и электронное нейтрино ν_e .

Для понимания на следующем, более глубоком уровне необходимо понимать процессы, в которых участвуют 18 элементарных частиц с очень необычными свойствами. В число этих 18ти протон и нейтрон уже не входят, поскольку сами они состоят из夸рков и склеивающих их глюонов.

Для ещё более полного и глубокого понимания нужно ещё больше частиц с ещё более необычными свойствами. Но, возможно, в дальнейшем всё это разнообразие удастся свести к нескольким простым и прекрасным сущностям.

1.9 18 элементарных частиц

18 частиц включают: 6 лептонов ($e, \mu, \tau, \nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$), 6 кварков (u, d, s, c, b, t), 6 бозонов (гравитон \tilde{g} , фотон γ , глюоны g , слабые бозоны Z, W , бозоны Хиггса (или проще – хиггсы) h)

Часто протон, нейтрон и другие адроны (они состоят из кварков и глюонов) тоже относят к элементарным частицам, поскольку их нельзя разбить на свободные кварки глюоны. (Заметьте, что так поступил и я, отнеся протон и нейтрон к первым шести элементарным частицам.) Если адроны считать элементарными, то число элементарных частиц будет измеряться сотнями.

1.10 Античастицы

В действительности, даже истинно элементарных частиц больше, чем 18, т.к. у лептонов, кварков и W -бозона имеются соответствующие античастицы. У фотона, гравитона и Z -бозона античастица идентична частице; пока не исключено, что у нейтрино – тоже.

1.11 Цвета кварков

Кроме того, каждый из шести кварков существует в виде трёх цветовых разновидностей. Кварки обычно „раскрашивают“ в жёлтый, синий и красный цвета. Антикварки раскрашиваются в дополнительные цвета: фиолетовый, оранжевый, зелёный. Всеми этими цветами обозначают своеобразные заряды кварков – „многомерные аналоги“ электрического заряда –, ответственные за сильные взаимодействия

1.12 Цвета глюонов

Ещё более многочисленно семейство цветных глюонов: их восемь, из которых два идентичны своим античастицам, а остальные шесть – нет. Взаимодействия цветовых зарядов, описываются квантовой хромодинамикой и определяют свойства протона, нейтрона, всех атомных ядер, и свойства всех адронов. То, что глюоны несут цветовые заряды, приводит к явлению конфайнмента глюонов и кварков. Ядерные силы между бесцветными (белыми) адронами представляют собой слабые отголоски могучих цветовых взаимодействий внутри адронов. Это похоже на малость молекулярных связей по сравнению с внутриатомными.

1.13 Стандартная модель и четыре типа взаимодействий

Перечисленные выше элементарные частицы позволяют в рамках так называемой „стандартной модели элементарных частиц“ описать все известные до сих пор процессы, происходящие в природе в результате гравитационного, электромагнитного, слабого и сильного взаимодействий. Но для того чтобы понять, как работают первые два из них, достаточно четырёх частиц: фотона, гравитона, электрона и протона. При этом то, что протон состоит из u - и d -夸克ов и глюонов, оказывается несущественным. Конечно, без слабого и сильного взаимодействий нельзя понять, ни как устроены атомные ядра, ни как работает наше Солнце. Но, как устроены атомные оболочки, определяющие все химические свойства элементов, как работает электричество и как устроены галактики, понять можно.

1.14 За пределами познанного

Мы уже сегодня знаем, что частицы и взаимодействия стандартной модели не исчерпывают сокровищницы природы.

1.15 Тёмная материя

Установлено, что обычные атомы составляет лишь 5 % всей материи во вселенной, а 95 % составляет так называемая тёмная материя, природа которой пока неизвестна. Наиболее распространено мнение, что тёмная материя состоит из суперчастиц. Возможно, что она состоит из зеркальных частиц.

1.16 Тёмная энергия

Ещё более поразительным является то, что вся материя как видимая (светлая), так и тёмная, несёт в себе лишь четверть всей энергии вселенной. Три четверти принадлежат так называемой тёмной энергии.

1.17 Элементарные частицы е в степени фундаментальны

Когда мой учитель Исаак Яковлевич Померанчук хотел подчеркнуть важность какого-либо вопроса, он говорил, что вопрос е в степени важен. Разумеется, большая часть естественных наук, а не только физика элементарных частиц, фундаментальны. Физика конденсированных сред, например, подчиняется фундаментальным законам, которые мы не умеем выводить из законов физики элементарных частиц. Но законы теории относительности и квантовой механики „е в степени фундаментальны“ в том смысле, что им не может противоречить ни один из менее общих законов.

1.18 Основные законы

Основные законы, управляющие движением и взаимодействием элементарных частиц, очень необычны и очень просты. Они основаны на понятии симметрии и принципе, что всё, что не противоречит симметрии, разрешено и может и должно происходить. Ниже мы проследим, как это реализуется в гравитационном, электромагнитном, слабом и сильном взаимодействиях частиц.

2. ЧАСТИЦЫ И ЖИЗНЬ

- 2.1 О цивилизации и культуре 1
- 2.2 О цивилизации и культуре 2
- 2.3 О цивилизации и культуре 3
- 2.4 О фундаментальной физике и образовании
- 2.5 О математике
- 2.6 О мировоззрении и естественных науках
- 2.7 Об истинном и вульгарном редукционизме
- 2.8 О гуманитарных и общественных науках
- 2.9 Микро -, Макро -, Космо-
- 2.10 Наши модели
- 2.11 Порядки величин*
- 2.12 Капля нефти*
- 2.13 Джоули*
- 2.14 Электрон-Вольты*

2.1 О цивилизации и культуре 1

Иностранный член РАН Валентин Телегди (1922-2006) пояснял:
„Если WC (ватер клозет) - это цивилизация, то умение
пользоваться им - это культура.“

Сотрудник ИТЭФ А.А.Абрикосов мл. написал мне недавно:
„Одна из целей Вашего доклада – убедить высокую аудиторию
в необходимости шире преподавать современную физику. Если
так, то возможно, стоило бы привести несколько бытовых
примеров. Я имею в виду следующее:

Мы живём в мире, который даже на бытовом уровне немыслим
без квантовой механики (КМ) и теории относительности (ТО).
Сотовые телефоны, компьютеры, вся современная электроника,
не говоря про светодиодные фонари, полупроводниковые
лазеры (включая указки), ЖК-дисплеи — это существенно
квантовые приборы. Объяснить, как они работают, невозможно
без основных понятий КМ. А как их объяснишь, не упоминая о
туннелировании?

2.2 О цивилизации и культуре 2

Второй пример, возможно, знаю от Вас. Спутниковые навигаторы стоят уже в каждой 10-й машине. Точность синхронизации часов в спутниковой сети не меньше, чем 10^{-8} (это отвечает погрешности 1м в локализации объекта на поверхности Земли). Подобная точность требует учитывать поправки ТО к ходу часов на движущемся спутнике. Говорят, инженеры не могли в это поверить, поэтому первые приборы имели двойную программу: с и без учёта поправок. Как выяснилось, первая программа работает лучше. Вот Вам проверка теории относительности на бытовом уровне.

2.3 О цивилизации и культуре З

Разумеется, болтать по телефону, ездить на автомобиле и стучать по клавишам компьютера можно и без высокой науки. Но едва ли академики должны призывать не учить географию, ибо "извозчики есть".

А то школьникам, а потом и студентам пять лет, талдычат про материальные точки и галилеевскую относительность, и вдруг ни с того, ни с сего заявляют, что это "не совсем правда".

Перестроиться с наглядного ньютоновского мира на квантовый даже на физтехе трудно. Ваш, ААА.“

2.4 О фундаментальной физике и образовании

К сожалению, современная система образования отстала от современной фундаментальной физики на целый век. И большинство людей (в том числе и большинство научных работников) не имеют представления о той удивительно ясной и простой картине (карте) мира, которую создала физика элементарных частиц. Эта карта даёт возможность гораздо легче ориентироваться во всех естественных науках. Цель моего доклада - убедить вас в том, что некоторые элементы (понятия) физики элементарных частиц, теории относительности и квантовой теории могут и должны стать основой преподавания всех естественно-научных предметов не только в высшей, но и в средней и даже в начальной школе. Ведь фундаментально новые понятия легче всего осваиваются именно в детском возрасте. Дети в считанные секунды возвращают кубик Рубика в исходное состояние, а мне и суток не хватит.

Чтобы в дальнейшем не было неприятных сюрпризов, закладывать адекватное мировосприятие надо в детском саду

2.5 О математике

Математика - царица всех наук - безусловно должна служить основным инструментом познания. Она даёт такие основные понятия как истина, красота, симметрия, порядок. Понятия о нуле и бесконечности. Математика учит думать и считать.

Фундаментальная физика немыслима без математики.

Образование немыслимо без математики. Конечно, изучать теорию групп в школе, может быть и рано, но научить ценить истину, красоту, симметрию и порядок (а заодно и некоторый беспорядок) необходимо.

Очень важно понимание перехода от вещественных (реальных) чисел (простых, рациональных, иррациональных) к мнимым и комплексным, а затем к гиперкомплексным (кватернионам и октонионам).

2.6 О мировоззрении и естественных науках

Представление об основных законах, управляющих миром, необходимо во всех естественных науках. Конечно, физика твёрдого тела, химия, биология, науки о Земле, астрономия имеют свои специфические понятия, методы, проблемы. Но очень важно иметь общую карту мира и понимание того, что на этой карте есть много белых пятен неизведанного. Очень важно понимание того, что наука это не окостеневшая догма, а живой процесс приближения к истине во множестве точек карты мира. Приближение к истине - асимптотический процесс.

2.7 Об истинном и вульгарном редукционизме

Представление о том, что более сложные конструкции в природе состоят из менее сложных конструкций и, в конечном счёте, из простейших элементов, принято называть редукционизмом. В этом смысле то, в чём я пытаюсь Вас убедить, это редукционизм. Но абсолютно недопустим вульгарный редукционизм, претендующий на то, что все науки могут быть сведены к физике элементарных частиц. На каждом всё более высоком уровне сложности формируются и возникают (*emerge*) свои закономерности. Чтобы быть хорошим биологом, знать физику элементарных частиц не нужно. Но понимать её место и роль в системе наук, понимать узловую роль констант c и \hbar необходимо. Ведь наука в целом это - единый организм.

2.8 О гуманитарных и общественных науках

Общее представление об устройстве мира очень важно и для экономики, и для истории, и для когнитивных наук, таких как науки о языке. И наоборот - эти науки крайне важны для самой фундаментальной физики, которая постоянно уточняет свои основополагающие понятия. Это будет видно из рассмотрения теории относительности, к которому я сейчас перейду. Особо скажу о науках юридических, исключительно важных для процветания (не говоря уже о выживании) естественных наук. Я убеждён в том, что фундаментальные общественные законы не должны противоречить фундаментальным законам природы. Законы человеческие не должны противоречить Божественным Законам Природы.

2.9 Микро -, Макро -, Космо-

Наш обычный мир больших, но не гигантских, вещей принято называть макромиром. Мир небесных объектов называют космомиром, а мир атомных и субатомных частиц называют микромиром. (Поскольку размеры атомов порядка 10^{-10} м, то под микромиром подразумевают объекты как минимум на 4, а то и на 10 порядков меньшие, чем микрометр, и на 1 - 7 порядков меньшие, чем нанометр. По дороге от микро к макро расположена модная область нано.) В XX веке была построена так называемая Стандартная Модель элементарных частиц, которая позволяет просто и наглядно понимать многие закономерности макро и космо на основе закономерностей микро.

2.10 Наши модели

Модели в теоретической физике строятся путём отбрасывания несущественных обстоятельств. Так, например, в атомной и ядерной физике гравитационные взаимодействия частиц пренебрежимо малы, и их можно не принимать во внимание. Такая модель мира вписывается в специальную теорию относительности. В этой модели есть атомы, молекулы, конденсированные тела,... ускорители и коллайдеры, но нет Солнца и звёзд.

Такая модель наверняка будет неправильна на очень больших масштабах, где существенна гравитация.

Конечно, для существования ЦЕРН необходимо существование Земли (и, следовательно, гравитации), но для понимания подавляющего большинства экспериментов, ведущихся в ЦЕРН (кроме поисков на коллайдере микроскопических „чёрных дырочек“) гравитация несущественна.

2.11 Порядки величин*

Одна из трудностей в понимании свойств элементарных частиц связана с тем, что они очень маленькие и их очень много. В ложке воды огромное количество атомов (порядка 10^{23}). Столь же велико и число звёзд в видимой части вселенной. Больших чисел не надо бояться. Ведь обращаться с ними несложно, т.к. умножение чисел сводится в основном к сложению их порядков: $1 = 10^0$, $10 = 10^1$, $100 = 10^2$. Умножим 10 на 100, получим $10^{1+2} = 10^3 = 1000$.

2.12 Капля нефти*

Если каплю нефти объёмом 1 кубический миллиметр капнуть на поверхность воды, то она расплывётся в пятно площадью порядка квадратного метра и толщиной порядка нанометра, определяемой размером молекул.

2.13 Джоули*

Обычная батарейка АА имеет напряжение 1.5 Вольт (В) и содержит запас электрической энергии 10^4 Джоулей (Дж). Напомню, что $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Кулон} \times 1 \text{ В}$, а также, что $1 \text{ Дж} = \text{кгм}^2/\text{с}^2$ и что ускорение земного притяжения примерно $10 \text{ м}/\text{с}^2$. Так что 1 Джоуль позволяет поднять 1 килограмм на высоту 10 см, а 10^4 Дж поднимут 100 кг на 10 метров. Вот сколько энергии в батарейке.

2.14 Электрон-Вольты*

Единицей энергии в физике элементарных частиц является электрон-Вольт: энергию 1 эВ приобретает 1 электрон, прошедший разность потенциалов 1 Вольт. Поскольку в одном Кулоне $6.24 \cdot 10^{18}$ электронов, то $1 \text{ Дж} = 6.24 \cdot 10^{18} \text{ эВ}$.

1 кэВ= 10^3 эВ, 1 МэВ= 10^6 эВ, 1 ГэВ= 10^9 эВ, 1 ТэВ= 10^{12} эВ.
Энергия одного протона в коллайдере ЦЕРН равна 7 ТэВ

3. О ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

- 3.1 Системы отсчёта
- 3.2 Корабль Галилея
- 3.3 Далёкие звёзды*
- 3.4 В поисках универсальной системы отсчёта*
- 3.5 Коперник, Кеплер, Галилей, Ньютона*
- 3.6 Универсальные пространство и время*
- 3.7 “Теория инвариантности”*
- 3.8 Письмо Чиммеру*
- 3.9 Максимальная скорость в природе
- 3.10 Энергия, импульс и скорость
- 3.11 Масса
- 3.12 Безмассовый фотон
- 3.13 Энергия покоя
- 3.14 „Самая знаменитая формула“
- 3.15 Единица скорости*
- 3.16 Астрономические расстояния*
- 3.17 Мир Минковского
- 3.18 Четырёхмерный мир*
- 3.19 Зависимость хода часов от их скорости**
- 3.20 Мюоны в кольцевом ускорителе и в покое**
- 3.21 Дуга и хорда**

3.1 Системы отсчёта

Все наши опыты мы описываем в тех или иных системах отсчёта. Системой отсчёта может быть лаборатория, поезд, спутник Земли, центр галактики.... Системой отсчёта может быть и любая частица, летящая, например, в ускорителе частиц. Так как все эти системы движутся друг относительно друга, то не все опыты будут в них выглядеть одинаково. Кроме того, в них различно и гравитационное воздействие ближайших массивных тел. Именно учёт этих различий составляет основное содержание теории относительности.

3.2 Корабль Галилея

Галилей сформулировал принцип относительности, красочно описав всевозможные опыты в каюте плавно плывущего корабля. Если окна занавешены, невозможно с помощью этих опытов выяснить, с какой скоростью движется корабль и не стоит ли он. Эйнштейн добавил в эту кабину опыты с конечной скоростью света. Если не смотреть в окно, узнать скорость корабля нельзя. Но если посмотреть на берег, то можно.

3.3 Далёкие звёзды*

Разумно выделить такую систему отсчёта, относительно которой люди могли бы формулировать результаты своих опытов, независимо от того, где они находятся. За такую универсальную систему отсчёта уже давно принимают систему, в которой неподвижны далёкие звёзды. А сравнительно недавно (половека тому назад) были открыты ещё более далёкие квазары и выяснилось , что в этой системе должен быть изотропен реликтовый микроволновой фон.

3.4 В поисках универсальной системы отсчёта*

По существу вся история астрономии это продвижение ко всЁ более универсальной системе отсчёта. От эгоцентрической, где в центре человек, к геоцентрической, где в центре покоящаяся Земля (Птолемей (87-165)), к гелиоцентрической, где в центре покоится Солнце (Коперник (1473-1543)), к галацентрической, где покоится центр нашей Галактики, к небулярной, где покоится система галактических скоплений (туманностей), к фоновой, где изотропен космический микроволновой фон. Существенно, однако, что разности скоростей всех этих систем отсчёта малы по сравнению со скоростью света.

3.5 Коперник, Кеплер, Галилей, Ньютона*

В книге Николая Коперника „О вращениях небесных сфер“, вышедшей в 1543 году, говорится:

„Все замечаемые у Солнца движения не свойственны ему, но принадлежат Земле и нашей сфере, вместе с которой мы вращаемся вокруг Солнца, как и всякая другая планета; таким образом, Земля имеет несколько движений. Кажущиеся прямые и обратные движения планет принадлежат не им, но Земле. Таким образом, одно это её движение достаточно для объяснения большого числа видимых в небе неравномерностей.“

Коперник и Кеплер (1571-1630) дали простое феноменологическое описание кинематики этих движений. Галилей (1564-1642) и Ньютон (1643-1727) объяснили их динамику.

3.6 Универсальные пространство и время*

Пространственные координаты и время, отнесённые к универсальной системе отсчёта, можно назвать универсальными или абсолютными в полнейшей гармонии с теорией относительности. Важно подчеркнуть только, что выбор этой системы производится и согласовывается локальными наблюдателями. Любая система отсчёта, поступательно движущаяся относительно универсальной системы, является инерциальной: в ней свободное движение равномерно и прямолинейно.

3.7 “Теория инвариантности”*

Заметим, что и Альберт Эйнштейн (1879-1955), и Макс Планк (1858-1947), (который ввёл в 1907 году термин „теория относительности“, назвав им теорию, выдвинутую Эйнштейном в 1905 году), считали, что термин „теория инвариантности“ мог бы более точно отражать её суть. Но, по-видимому, в начале XX века важней было подчеркнуть относительность таких понятий, как время и одновременность в равноправных инерциальных системах отсчёта, чем выделять одну из этих систем. Важней было, что при занавешенных окнах кабины Галилея выяснить скорость корабля нельзя. Но сейчас пришла пора раздвинуть шторы и посмотреть на берег. При этом, разумеется, все закономерности, установленные при закрытых шторах, останутся незыблемыми.

3.8 Письмо Чиммеру*

В 1921 году Эйнштейн в письме Э. Чиммеру - автору книги „Философские письма“ написал: „Что касается термина „теория относительности“, то я признаю, что он неудачен и приводит к философским недоразумениям“. Но менять его, по мнению Эйнштейна, уже поздно, в частности, потому, что он широко распространён. Это письмо опубликовано в вышедшем этой осенью 12 томе 25ти-томного „Собрания трудов Эйнштейном“, издаваемого в Принстоне.

3.9 Максимальная скорость в природе

Ключевой константой теории относительности является скорость света $c = 300000 \text{ км/с} = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$ (Более точно, $c = 299\ 792\ 458 \text{ м/с.}$) И это число служит определением метра.) Эта скорость является максимальной скоростью распространения любых сигналов в природе. Она на много порядков величин превышает скорости массивных объектов, с которыми мы имеем дело каждодневно. Именно её непривычно большая величина мешает пониманию основного содержания теории относительности. Частицы, движущиеся со скоростями порядка скорости света называют релятивистскими.

3.10 Энергия, импульс и скорость

Свободное движение частицы характеризуется энергией частицы E и её импульсом \mathbf{p} . Согласно теории относительности, скорость частицы \mathbf{v} определяется формулой

$$\mathbf{v} = \mathbf{p}c^2/E, \quad (1)$$

Одна из основных причин существующей путаницы заключается в том, что при создании теории относительности пытались сохранить ньютоновскую связь между импульсом и скоростью $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$, что противоречит теории относительности.

3.11 Масса

Масса частицы m определяется формулой

$$m^2 = (E/c^2)^2 - (\mathbf{p}/c)^2. \quad (2)$$

В то время как энергия и импульс частицы зависят от системы отсчёта, величина её массы m от системы отсчёта не зависит. Она является инвариантом. Формулы (1) и (2) являются основными в теории относительности.

Как ни странно, первая монография по теории относительности, в которой появилась формула (2), вышла только в 1941 году. Это была „Теории поля“ Л. Ландау (1908 - 1968) и Е.Лифшица (1915 - 1985). Ни в одном из трудов Эйнштейна я её не нашёл. Нет её и в замечательной книге „Теория относительности“ В. Паули (1900-1958), вышедшей в 1921 году. Но релятивистское волновое уравнение, содержащее эту формулу, было в вышедшей в 1930 году книге „Принципы квантовой механики“ П. Дирака (1902 -1984).

3.12 Безмассовый фотон

Если масса частицы равна нулю, т.е. частица является безмассовой, то из формул (1) и (2) следует что в любой системе отсчёта её скорость равна c . Поскольку масса частицы света - фотона - настолько мала, что её не удается обнаружить, то принято считать, что она равна нулю и что c – это скорость света.

3.13 Энергия покоя

Если же масса частицы отлична от нуля, то рассмотрим систему отсчёта, в которой свободная частица покойится и у неё $\mathbf{v} = \mathbf{0}$, $\mathbf{p}=0$. Такую систему отсчёта называют системой покоя частицы, а энергию частицы в этой системе называют энергией покоя и обозначают E_0 . Из формулы (2) следует, что

$$E_0 = mc^2. \quad (3)$$

Эта формула выражает соотношение между энергией покоя массивной частицы и её массой, открытое Эйнштейном в 1905 году.

3.14 „Самая знаменитая формула“

К сожалению, очень часто формулу Эйнштейна записывают в виде „самой знаменитой формулы $E = mc^2$ “, опуская нулевой индекс у энергии покоя, что приводит к многочисленным недоразумениям и путанице. Ведь эта „занеменитая формула“ отождествляет энергию и массу, что противоречит теории относительности вообще и формуле (2) в частности. Из неё вытекает широко распространённое заблуждение, что масса тела, согласно теории относительности, якобы растёт с ростом его скорости. В последние годы Российская Академия Образования много сделала для того, чтобы рассеять это заблуждение.

3.15 Единица скорости*

В теории относительности, имеющей дело со скоростями, сравнимыми со скоростью света, естественно выбрать c в качестве единицы скорости. Такой выбор упрощает все формулы, поскольку $c/c = 1$ и в них следует положить $c = 1$. При этом скорость становится безразмерной величиной, расстояние имеет размерность времени, а масса имеет размерность энергии.

В физике элементарных частиц массы частиц обычно измеряют в электрон-Вольтах – эВ и их производных. Масса электрона порядка 0.5 МэВ, масса протона порядка 1ГэВ, масса самого тяжёлого кварка порядка 170 ГэВ, а массы нейтрино порядка долей эВ.

3.16 Астрономические расстояния*

В астрономии расстояния измеряют световыми годами. Размеры видимой части Вселенной порядка 14 миллиардов световых лет. Это число производит ещё более сильное впечатление, если сравнить его со временем 10^{-24} секунды, за которое свет проходит расстояние порядка размера протона. И во всём этом колоссальном диапазоне работает теория относительности.

3.17 Мир Минковского

В 1908 году за несколько месяцев до своей безвременной смерти Герман Минковский (1864-1909) пророчески сказал: „Воззрения на пространство и время, которые я намерен перед вами развить, возникли на экспериментально-физической основе. В этом их сила. Их тенденция радикальна. Отныне пространство само по себе и время само по себе должны обратиться в фикции, и лишь некоторый вид соединения обоих должен ещё сохранить самостоятельность.“

Спустя столетие мы знаем, что время и пространство не превратились в фикции, но идея Минковского позволила очень просто сформулировать движения и взаимодействия частиц материи.

3.18 Четырёхмерный мир*

В единицах, в которых $c=1$, особенно красиво выглядит представление о мире Минковского, который объединяет время и трёхмерное пространство в единый четырёхмерный мир. Энергия и импульс объединяются при этом в единый четырёхмерный вектор, а масса в соответствии с уравнением (2) служит псевдоевклидовой длиной этого 4-вектора энергии-импульса $\rho = E, \mathbf{p}$:

$$m^2 = E^2 - \mathbf{p}^2 \equiv \rho^2. \quad (4)$$

Четырёхмерную траекторию в мире Минковского называют мировой линией, а отдельные точки – мировыми точками.

3.19 Зависимость хода часов от их скорости**

Многочисленные наблюдения указывают на то, что часы идут быстрее всего, когда они покоятся относительно инерциальной системы. Финитное движение в инерциальной системе отсчёта замедляет их ход. Чем быстрей они перемещаются в пространстве, тем медленнее идут во времени. Замедление это абсолютное в универсальной системе отсчёта (см. разделы 3.1 - 3.8). Его мерой является отношение E/m , которое часто обозначают буквой γ .

3.20 Мюоны в кольцевом ускорителе и в покое**

В существовании этого замедления нагляднее всего можно убедиться, сравнивая времена жизни покоящегося мюона и мюона, вращающегося в кольцевом ускорителе. То обстоятельство, что в ускорителе мюон движется не вполне свободно, а имеет центростремительное ускорение $\omega^2 R$, где ω - радиальная частота обращения, а R - радиус орбиты, даёт лишь пренебрежимо малую поправку, поскольку $E/\omega^2 R = ER \gg 1$. Движение по окружности, а не по прямой абсолютно существенно для непосредственного сопоставления вращающегося мюона с покоящимся. Но в том, что касается темпа старения движущегося мюона, дуга окружности достаточно большого радиуса неотличима от прямой. Этот темп определяется отношением E/m . (Подчеркну, что согласно специальной теории относительности, система отсчёта, в которой покоится вращающийся мюон, не инерциальна.)

3.21 Дуга и хорда**

С точки зрения наблюдателя, покоящегося в инерциальной системе отсчёта, дуга окружности достаточно большого радиуса и её хорда практически неотличимы: движение по дуге почти инерциально. С точки же зрения наблюдателя, покоящегося относительно мюона, летящего по окружности, его движение существенно не инерциально. Ведь его скорость меняет знак за пол-оборота. (Для движущегося наблюдателя далёкие звёзды отнюдь не неподвижны. Вся вселенная для него асимметрична: звёзды впереди синие, а позади красные. В то время как для нас все они одинаковые - золотистые, потому что скорость солнечной системы мала.) А неинерциальность этого наблюдателя проявляется в том, что созвездия впереди и сзади меняются по мере движения мюона в кольцевом ускорителе. Мы не можем считать покоящегося и движущегося наблюдателей эквивалентными, поскольку первый не испытывает никакого ускорения, а второй, чтобы вернуться к месту встречи, должен испытывать его.

3.22 ОТО**

Физики-теоретики, привыкшие к языку Общей теории относительности ОТО, настаивают на том, что все системы отсчёта равноправны. Не только инерциальные, но и ускоренные. Что пространство-время само по себе - кривое. При этом гравитационное взаимодействие перестаёт быть таким же физическим взаимодействием, как электромагнитное, слабое и сильное, а становится исключительным проявлением кривого пространства. В результате вся физика для них оказывается как бы расколотой на две части. Если же исходить из того, что ускорение всегда обусловлено взаимодействием, что оно не относительно, а абсолютно, то физика становится единой и простой.

3.23 „Ленком“

Употребление слов „относительность“ и „релятивизм“ в отношении скорости света напоминает название „Ленком“ у театра или „Московский комсомолец“ у газеты, лишь генеалогически связанных с комсомолом. Таковы языковые парадоксы. Скорость света в пустоте не относительна. Она абсолютна. Просто физикам нужна помощь лингвистов.

4. О КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ

- 4.1 Константа Планка
- 4.2 Спин
- 4.3 Бозоны и фермионы
- 4.4 Соотношения неопределённости
- 4.5 Квантовая механика
- 4.6 „Квантовые кентавры“
- 4.7 Квантовые числа электронов*
- 4.8 Единицы, в которых $c, \hbar = 1^*$
- 4.9 Эйнштейн и квантовая механика*
- 4.10 Причинность и случай*

4.1 Константа Планка

Если в теории относительности ключевой константой является скорость света c , то в квантовой механике ключевой является константа

$$h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж сек},$$

открытая Максом Планком в 1900 году.

Большой частью в формулах квантовой механики фигурирует так называемая приведённая константа Планка

$$\hbar = h/2\pi = 1.05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж сек} = 6.58 \cdot 10^{-22} \text{ МэВ сек.}$$

Во многих явлениях важную роль играет величина

$$\hbar c = 1.97 \cdot 10^{-11} \text{ МэВ см.}$$

4.2 Спин

Важнейшую роль в фундаментальной физике играет угловой импульс (его часто и не вполне правильно называют угловым моментом) вращения частицы вокруг её собственной оси симметрии, называемый спином. Оказалось, что спин может быть либо целым, либо полуцелым в единицах \hbar . Так, спин электрона равен $1/2$, спин фотона равен 1 . Спин гравитона равен 2 . Спин бозона Хиггса, поиск которого является одной из основных задач Большого Адронного Коллайдера, равен нулю.

Для сравнения отметим, что „спин“ Земли равен $6 \cdot 10^{33} \text{ м}^2 \text{ кг/сек} = 6 \cdot 10^{67} \hbar$. Заметьте, что спин **S** и орбитальный угловой импульс **L** векторно складываются и дают полный угловой импульс частицы **J**. Так что классический аналог есть не только у **L**, но и у **S**.

4.3 Бозоны и фермионы

Частицы с целым спином получили название бозонов. Частицы с полуцелым спином называют фермионами. Бозоны – коллективисты: „они стремятся все жить в одной комнате“, находиться в одном квантовом состоянии. На этом свойстве фотонов основан лазер: все光子ы в лазерном пучке имеют строго одинаковые импульсы. Фермионы же индивидуалисты: „каждому из них нужна отдельная квартира“. Это свойство электронов определяет закономерности заполнения электронных оболочек атомов.

4.4 Соотношения неопределённости

Константа \hbar определяет особенности не только вращательного, но и поступательного движения элементарных частиц.

Неопределённости положения и импульса частицы должны удовлетворять так называемым соотношениям неопределённости Гейзенберга, типа

$$\Delta p_x \Delta x \geq \hbar/2. \quad (5)$$

Аналогичное соотношение существует для энергии и времени:

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar/2. \quad (6)$$

4.5 Квантовая механика

И квантование спина, и соотношения неопределённости являются частными проявлениями общих закономерностей квантовой механики, созданной в 1920х годах XX века.

Согласно квантовой механике, любая элементарная частица, например, электрон, это одновременно и элементарная частица, и элементарная волна. Причём, в отличие от обычной волны, которая является периодическим движением колоссального числа частиц, элементарная волна - это новый, неизвестный ранее вид движения индивидуальной частицы.

Элементарная длина волны λ электрона с импульсом \mathbf{p} равна $\lambda = h/|\mathbf{p}|$, а элементарная частота ω , отвечающая энергии E , равна $\omega = E/\hbar$. Покоящейся частице с массой m отвечает т.н. комптоновская длина волны $\lambda_C = h/mc$.

4.6 „Квантовые кентавры“

Элементарные частицы это как бы квантовые кентавры: полу частицы - полу волны. Благодаря своим волновым свойствам квантовые кентавры, в отличие от классических частиц, могут проходить сразу через две щели, создавая в результате интерференционную картину на стоящем позади экране. Все попытки уложить квантовых кентавров в прокрустово ложе понятий классической физики оказались бесплодными.

4.7 Квантовые числа электронов*

Без учёта спина движение электронов в атомах характеризуют двумя квантовыми числами: главным квантовым числом n и орбитальным квантовым числом l , причём $n \geq l$. Если $l = 0$, то электрон представляет собой сферически симметричное облако. Чем больше n , тем больше размер этого облака. Чем больше l , тем больше движение электрона похоже на движение классической частицы по орбите. Энергия связи электрона, находящегося в атоме водорода на орбите с квантовым числом n , равна

$$\epsilon_n = mc^2\alpha^2/2n^2, \quad (7)$$

где $\alpha = e^2/\hbar c \approx 1/137$, а e - заряд электрона

4.8 Единицы, в которых $c, \hbar = 1^*$

В дальнейшем мы, как правило, будем пользоваться такими единицами, в которых за единицу скорости принята c , а за единицу углового импульса \hbar . В этих единицах все формулы существенно упрощаются. В них, в частности, размерности энергии, массы и частоты одинаковы. Эти единицы приняты в физике высоких энергий, поскольку в ней существенны квантовые и релятивистские явления.

4.9 Эйнштейн и квантовая механика*

Эйнштейн, в известном смысле породив квантовую механику, не примирился с ней. И до конца жизни пытался построить „единую теорию всего“ на основе классической теории поля, игнорируя \hbar .

4.10 Причинность и случай*

Эйнштейн верил в классический детерминизм и в недопустимость случайности. Он повторял о Боге „Он не играет в кости“. И не мог примириться с тем, что мгновение распада индивидуальной частицы в принципе предсказать нельзя, хотя среднее время жизни того или иного типа частиц предсказывается в рамках квантовой механики с беспрецедентной точностью. К сожалению, его пристрастия определили взгляды очень многих людей.

5. ДИАГРАММЫ ФЕЙНМАНА

- 5.1 Простейшая диаграмма
- 5.2 Реальные частицы
- 5.3 Виртуальные частицы
- 5.4 Вершины
- 5.5 Античастицы
- 5.6 Швингер и диаграммы Фейнмана
- 5.7 Фейнман и диаграммы Фейнмана
- 5.8 Виртуальные частицы вместо физических силовых полей
- 5.9 Элементарные взаимодействия*

5.1 Простейшая диаграмма

Взаимодействия частиц удобно рассматривать с помощью диаграмм, предложенных Ричардом Фейнманом (1918 - 1988) в 1949 году. На Рис.1 приведена простейшая диаграмма Фейнмана, описывающая взаимодействие электрона и протона путём обмена фотоном:

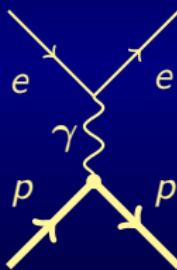


Рис. 1.

Стрелки на рисунке указывают направление течения времени.

5.2 Реальные частицы

Каждому процессу отвечает одна или несколько диаграмм Фейнмана. Внешним линиям на диаграмме соответствуют входящие (до взаимодействия) и выходящие (после взаимодействия) частицы, которые свободны. Их 4-импульсы p удовлетворяют уравнению

$$p^2 = m^2. \quad (8)$$

Их называют реальными частицами и говорят, что они находятся на массовой поверхности.

5.3 Виртуальные частицы

Внутренние линии диаграмм соответствуют частицам, находящимся в виртуальном состоянии. Для них

$$p^2 \neq m^2. \quad (9)$$

Их называют виртуальными частицами и говорят, что они находятся вне массовой поверхности. Эта общепринятая терминология может натолкнуть новичка на мысль, что виртуальные частицы менее материальны, чем реальные частицы. В действительности же они в равной степени материальны, но реальные частицы мы воспринимаем как вещество и излучение, а виртуальные – в основном как силовые поля, хотя это различие в значительной степени условно. Важно, что одна и та же частица, например, фотон или электрон, может быть реальной в одних условиях и виртуальной – в других.

5.4 Вершины

Вершины диаграммы описывают локальные акты элементарных взаимодействий между частицами. В каждой вершине 4-импульс сохраняется. Легко видеть, что если в одной вершине встречаются три линии, то по крайней мере одна из них должна быть виртуальной, то-есть должна находиться вне массовой поверхности: „Боливар троих не вынесет“. (Например, свободный электрон не может испустить свободный фотон и остаться при этом свободным электроном.) Две реальные частицы взаимодействуют на расстоянии, обмениваясь одной или несколькими виртуальными частицами.

5.5 Античастицы

Замечательным свойством фейнмановских диаграмм является то, что они единым образом описывают как частицы, так и соответствующие античастицы. При этом античастица выглядит, как частица, движущаяся вспять по времени. На Рис.2 приведена диаграмма, изображающая рождение протона и антiproтона при аннигиляции электрона и позитрона:

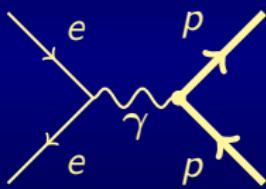


Рис. 2.

Движение вспять по времени в равной мере применимо и к фермионам, и к бозонам. Оно делает ненужной интерпретацию позитронов как незаполненных состояний в дираковском море электронов с отрицательной энергией.

5.6 Швингер и диаграммы Фейнмана

Швингер (1918 - 1994), которому вычислительные трудности были нипочём, диаграмм Фейнмана не любил и несколько свысока писал о них: „Как компьютерный чип в более недавние годы, диаграмма Фейнмана несла вычисления в массы“. К сожалению, до самых широких масс, в отличие от чипа, диаграммы Фейнмана не дошли.

5.7 Фейнман и диаграммы Фейнмана

По непонятным причинам диаграммы Фейнмана не дошли даже до знаменитых „Фейнмановских лекций по физике“. Я убеждён в том, что их необходимо довести до учеников средней школы, объясняя им основные идеи физики элементарных частиц. Это самый простой взгляд на микромир и на мир в целом.

5.8 Виртуальные частицы вместо физических силовых полей

Фейнмановские диаграммы - это наиболее адекватный язык квантовой теории поля.(По крайней мере в тех случаях, когда взаимодействие не очень сильное и можно пользоваться теорией возмущений.) Так разрешается вековой спор о том, что первичней - поля или частицы. Первичны элементарные частицы, которые обладают и корпускулярными, и волновыми свойствами. Причём в реальном состоянии они являются частицами материи, а в виртуальном состоянии они же являются переносчиками сил между материальными объектами. После введения виртуальных частиц понятия сил и полей становятся ненужными.

5.9 Элементарные взаимодействия*

Элементарные акты испускания и поглощения виртуальных частиц характеризуются такими константами взаимодействия, как электрический заряд e в случае фотона, слабые заряды $e/\sin\theta_W$ в случае W -бозона и $e/\sin\theta_W \cos\theta_W$ в случае Z -бозона, (где θ_W угол Вайнберга), цветовой заряд g в случае глюонов, и величина \sqrt{G} в случае гравитона, где G - константа Ньютона. (См. главы 5 - 9.) Электромагнитное взаимодействие рассмотрено ниже в главе 6. Слабое взаимодействие - в главе 7. Сильное - в главе 8. А начнём мы в следующей главе 5 с гравитационного взаимодействия

6. ГРАВИТАЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

- 6.1 Гравитоны
- 6.2 Обмен гравитонами
- 6.3 Атом водорода в гравитационном поле Земли
- 6.4 Коэффициент усиления*
- 6.5 Яблоко Ньютона в гравитационном поле Земли
- 6.6 Число диаграмм*
- 6.7 Фейнмановская амплитуда и её Фурье-образ***
- 6.8 Потенциал Ньютона*
- 6.9 Потенциал типа потенциала Юкавы**
- 6.10 О потенциальной энергии**
- 6.11 Универсальность гравитации
- 6.12 Спин гравитона и универсальность гравитации**
- 6.13 Взаимодействие гравитона с фотоном **
- 6.14 Взаимодействие фотона с Землёй**
- 6.15 Взаимодействие гравитона с гравитоном***
- 6.16 Вековая прецессия Меркурия**
- 6.17 Коэффициент усиления для Меркурия**
- 6.18 Орбита Меркурия**
- 6.19 Гравитационный лэмбовский сдвиг**
- 6.20 Классический или квантовый эффект? **

6.1 Гравитоны

Я начну с частиц, которые пока не открыты и вряд ли будут открыты в обозримом будущем. Это частицы гравитационного поля - гравитоны. Не открыты пока не только гравитоны, но и гравитационные волны (и это в то время, как электромагнитные волны буквально пронизывают нашу жизнь). Это обусловлено тем, что при низких энергиях гравитационное взаимодействие очень слабо.

6.2 Обмен гравитонами

На языке диаграмм Фейнмана гравитационное взаимодействие двух тел осуществляется обменом виртуальными гравитонами между составляющими эти тела элементарными частицами. На Рис.3 гравитон испускается частицей с 4-импульсом p_1 и поглощается другой частицей с 4-импульсом p_2 . В силу сохранения 4-импульса, $q = p_1 - p'_1 = p'_2 - p_2$, где q – 4-импульс гравитона.

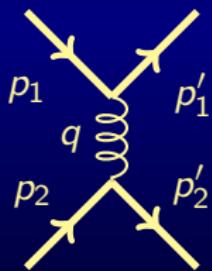


Рис. 3.

Распространение виртуального гравитона (его пропагатор) изображено на рисунке пружинкой.

6.3 Атом водорода в гравитационном поле Земли

На Рис. 4 изображена сумма диаграмм, на которых атом водорода с 4-импульсом p_1 обменивается гравитонами со всеми атомами Земли, обладающими суммарным 4-импульсом p_2 . И в этом случае $q = p_1 - p'_1 = p'_2 - p_2$, где q – суммарный 4-импульс виртуальных гравитонов.

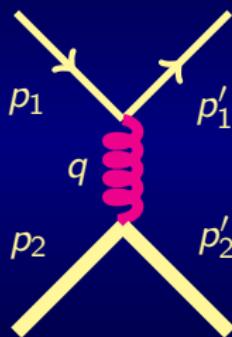


Рис. 4.

В дальнейшем мы будем пренебречь массой электрона по сравнению с массой протона, пренебречь разностью масс протона и нейтрана и энергией связи нуклонов в атомных ядрах. Так что масса атома это примерно сумма масс нуклонов.

6.4 Коэффициент усиления*

Масса атома примерно равна массе содержащихся в нём нуклонов. Число нуклонов Земли $N_E \approx 3.6 \cdot 10^{51}$ равно произведению числа нуклонов в одном грамме земного вещества, т.е. числа Авогадро $N_A \approx 6 \cdot 10^{23}$, на массу Земли в граммах $\approx 6 \cdot 10^{27}$. Поэтому диаграмма Рис.4 представляет собой сумму $3.6 \cdot 10^{51}$ диаграмм Рис.3, что отмечено утолщением линий Земли и виртуальных гравитонов на Рис.4. Кроме того, „гравитонная пружина“, в отличие от пропагатора одного гравитона, покрашена на Рис.4 в розовый цвет. Она как бы содержит $3.6 \cdot 10^{51}$ гравитонов.

6.5 Яблоко Ньютона в гравитационном поле Земли

На Рис. 5 все атомы яблока, обладающие суммарным 4-импульсом p_1 взаимодействуют со всеми атомами Земли, обладающими суммарным 4-импульсом p_2 .

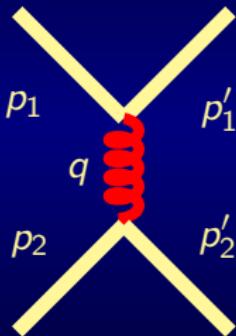


Рис. 5.

6.6 Число диаграмм*

Напомню, что один грамм обычного вещества содержит $N_A = 6 \cdot 10^{23}$ нуклонов. Число нуклонов в 100-граммовом яблоке $N_a = 100N_A = 6 \cdot 10^{25}$. Масса Земли $6 \cdot 10^{27}$ грамм, и следовательно, число нуклонов Земли $N_E = 3.6 \cdot 10^{51}$.

Разумеется, утолщение линий на Рис.5 ни в какой мере не отвечает огромному числу нуклонов яблока N_a , нуклонов Земли N_E и гораздо большему, просто фантастическому числу фейнмановских диаграмм $N_d = N_a N_E = 2.2 \cdot 10^{77}$. Ведь каждый нуклон яблока взаимодействует с каждым нуклоном Земли. Чтобы подчеркнуть колоссальное число диаграмм, пружина на Рис.5 сделана красной.

Хотя взаимодействие гравитона с отдельной элементарной частицей очень мало, сумма диаграмм для всех нуклонов Земли создаёт значительное притяжение, которое мы ощущаем. Универсальная гравитация притягивает Луну к Земле, их обеих к Солнцу, все звёзды в нашей Галактике и все галактики друг к другу.

6.7 Фейнмановская амплитуда и её Фурье-образ***

Фейнмановской диаграмме гравитационного взаимодействия двух медленных тел с массами m_1 и m_2 соответствует фейнмановская амплитуда

$$A(q) = -(2\pi)^4 G m_1 m_2 / q^2, \quad (10)$$

где G константа Ньютона, а q – 4-импульс, переносимый виртуальными гравитонами. Величина $1/q^2$ называется гравитонным пропагатором.

Чтобы перейти от импульсного пространства к конфигурационному (координатному), надо взять Фурье-образ амплитуды $A(q)$

$$A(r) = \int e^{iqr} A(q) d^4 q / (2\pi)^4, \quad (11)$$

Величина $A(r)$ даёт потенциальную энергию гравитационного взаимодействия.

6.8 Потенциал Ньютона*

Потенциальная энергия двух тел с массой m_1 и m_2 равна

$$U = -Gm_1m_2/r, \quad (12)$$

где G константа Ньютона, а r расстояние между телами. Эта энергия заключена в „пружине“ виртуальных гравитонов на Рис.5. Взаимодействие, потенциал которого спадает как $1/r$, называется дальнодействующим. Используя Фурье-преобразование, можно увидеть, что гравитация – дальнодействующая, потому что гравитон безмассов.

6.9 Потенциал типа потенциала Юкавы**

Действительно, если бы гравитон имел ненулевую массу m , то фейнмановская амплитуда для обмена им имела бы вид

$$A(q) = -(2\pi)^4 G m_1 m_2 / (q^2 - m^2), \quad (13)$$

и ей отвечал бы потенциал типа потенциала Юкавы с радиусом действия $r \approx 1/m$:

$$U = -G m_1 m_2 e^{-mr} / r, \quad (14)$$

6.10 О потенциальной энергии**

В нерелятивистской механике Ньютона кинетическая энергия частицы зависит от её скорости (импульса), а потенциальная только от её координат, т.е. от положения в пространстве. В релятивистской механике сохранить такое требование нельзя, поскольку само взаимодействие частиц зачастую зависит от их скоростей (импульсов). Однако для достаточно слабых гравитационных полей изменение кинетической энергии частиц мало по сравнению с полной энергией каждой из них, и поэтому этим изменением можно пренебречь.

И введение потенциальной энергии вполне осмысленно. Полная энергия по-прежнему равна $\mathcal{E} = E_{kin} + E_0 + U$.

6.11 Универсальность гравитации

В отличие от всех других взаимодействий гравитация обладает замечательным свойством универсальности. Взаимодействие гравитона с любой частицей не зависит от свойств этой частицы, а зависит только от величины энергии, которой частица обладает. Если эта частица медленная, то её энергия покоя $E_0 = mc^2$, заключённая в её массе, намного превышает её кинетическую энергию. И потому её гравитационное взаимодействие пропорционально её массе. Но для достаточно быстрой частицы её кинетическая энергия намного больше её массы. В этом случае её гравитационное взаимодействие от массы практически не зависит и пропорционально её кинетической энергии.

6.12 Спин гравитона и универсальность гравитации**

Более точно, испускание гравитона пропорционально не просто энергии, а тензору энергии-импульса частицы. А это, в свою очередь, обусловлено тем, что спин гравитона равен двум.

Пусть 4-импульс частицы до испускания гравитона был p_1 , а после испускания p_2 . Тогда импульс гравитона равен $q = p_1 - p_2$. Если ввести обозначение $p = p_1 + p_2$, то вершина испускания гравитона будет иметь вид

$$(2\pi)^2 \sqrt{G} p_\alpha p_\beta h_{\alpha\beta}, \quad (15)$$

где $h_{\alpha\beta}$ – волновая функция гравитона.

6.13 Взаимодействие гравитона с фотоном **

Особенно наглядно это видно на примере фотона, масса которого равна нулю. Экспериментально доказано, что когда фотон летит с нижнего этажа здания на верхний этаж, его кинетическая энергия уменьшается под действием притяжения Земли. Доказано также, что луч света далёкой звезды отклоняется гравитационным притяжением Солнца.

6.14 Взаимодействие фотона с Землёй**

На Рис.6 показан обмен гравитонами между Землёй и фотоном. Этот рисунок условно представляет собой сумму рисунков гравитонных обменов фотона со всеми нуклонами Земли. На нём земная вершина получается из нуклонной умножением на число нуклонов в Земле N_E с соответствующей заменой 4-импульса нуклона на 4-импульс Земли (см. Рис.3).

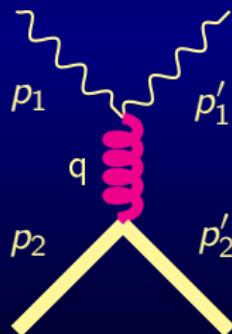


Рис. 6.

6.15 Взаимодействие гравитона с гравитоном***

Поскольку гравитоны несут энергию, они сами должны испускать и поглощать гравитоны. Отдельных реальных гравитонов мы пока не видели и вряд ли увидим их. Но взаимодействие виртуальных гравитонов наблюдали. На первый взгляд вклад трёх виртуальных гравитонов в гравитационное взаимодействие двух нуклонов слишком мал, чтобы его можно было обнаружить (см. Рис.7):

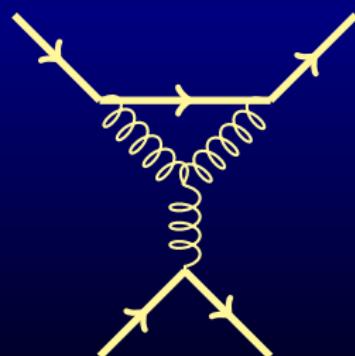


Рис. 7.

6.16 Вековая прецессия Меркурия**

Однако этот вклад проявляется в прецессии перигелия орбиты Меркурия. Вековая прецессия Меркурия описывается суммой однопетлевых гравитонных диаграмм притяжения Меркурия к Солнцу (Рис.8):

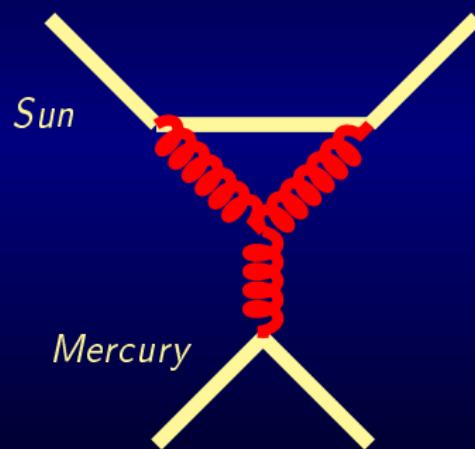


Рис. 8.

6.17 Коэффициент усиления для Меркурия**

Отношение масс Меркурия и Земли равно 0.055. Так что число нуклонов в Меркурии $N_M = 0.055N_E = 2 \cdot 10^{50}$. Масса Солнца $M_S = 2 \cdot 10^{33}$ грамма. Так что число нуклонов в Солнце $N_S = N_A M_S = 1.2 \cdot 10^{57}$. А число диаграмм, описывающих гравитационное взаимодействие нуклонов Меркурия и Солнца, $N_{dM} = 2.4 \cdot 10^{107}$.

Если потенциальная энергия притяжения Меркурия к Солнцу равна $U = GM_S M_M / r$, то после учёта обсуждаемой поправки на взаимодействие виртуальных гравитонов друг с другом она умножается на коэффициент $1 - 3GM_S / r$. Мы видим, что поправка к потенциальной энергии составляет $-3G^2 M_S^2 M_M / r^2$.

6.18 Орбита Меркурия**

Радиус орбиты Меркурия $a = 58 \cdot 10^6$ км. Период обращения 88 земных суток. Эксцентриситет орбиты $e = 0.21$. Из-за обсуждаемой поправки за один оборот большая полуось орбиты поворачивается на угол $6\pi GM_S/a(1 - e^2)$, т.е. порядка одной десятой угловой секунды, а за 100 земных лет поворачивается на $43''$.

6.19 Гравитационный лэмбовский сдвиг**

Всякий, кто изучал квантовую электродинамику, сразу увидит, что диаграмма Рис.7 удивительно похожа на треугольную диаграмму, описывающую сдвиг частоты (энергии) уровня $2S_{1/2}$ относительно уровня $2P_{1/2}$ в атоме водорода (там треугольник состоит из одной фотонной и двух электронных линий). Этот сдвиг измерили в 1947 году Лэмб и Ризерфорд и установили, что он равен 1060 МГц (1.06 ГигаГерц). Это измерение положило начало цепной реакции теоретических и экспериментальных работ, приведших к созданию квантовой электродинамики и фейнмановских диаграмм. Частота прецессии Меркурия на 17 порядков меньше: 43 угловых секунды за столетие или 14 наноГерц.

6.20 Классический или квантовый эффект? **

Хорошо известно, что лэмбовский сдвиг энергии уровня - это чисто квантовый эффект, в то время как прецессия Меркурия - чисто классический эффект. Каким образом могут они описываться одной и той же фейнмановской диаграммой?

Ответ на этот вопрос содержится в соотношении $E = \hbar\omega$. Если разность энергии уровней это эффект квантовый, то соответствующая частота перехода это уже эффект классический, т.к. её величина \hbar не содержит. В этом проявляется мощь квантовой теории поля в методе фейнмановских диаграмм, позволяющих просто понимать и рассчитывать широкий круг явлений, как квантовых, так и классических.

7. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

- 7.1 Электрическое взаимодействие
- 7.2 Положительные и отрицательные заряды
- 7.3 Нейтральные частицы
- 7.4 Кулоновский потенциал
- 7.5 Магнитное взаимодействие
- 7.6 Взаимодействие магнитных стрелок**
- 7.7 Электромагнитное взаимодействие
- 7.8 Объединение теории относительности и квантовой механики

7.1 Электрическое взаимодействие

Электрическое взаимодействие частиц осуществляется обменом виртуальными фотонами, как на рисунке 9:

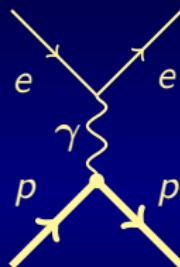


Рис. 9.

Фотоны, как и гравитоны, тоже безмассовые частицы. Так что электрическое взаимодействие тоже дальнодействующее. Почему же оно не столь универсально, как гравитация?

7.2 Положительные и отрицательные заряды

Во-первых, потому, что существуют электрические заряды двух знаков. И во-вторых, потому, что существуют элементарные частицы, которые вообще не имеют электрического заряда (нейтрон, нейтрино, фотон...). Частицы с зарядами противоположных знаков, как электрон и протон, притягиваются друг к другу. Частицы с одинаковыми зарядами отталкиваются. В результате атомы и состоящие из них тела в основном электронейтральны.

7.3 Нейтральные частицы

Нейтрон содержит u -кварк с зарядом $+2e/3$ и два d -кварка с зарядом $-e/3$. Так что суммарный заряд нейтрона равен нулю. (Напомним, что протон содержит два u -кварка и один d -кварк.) Истинно элементарными частицами, не имеющими электрического заряда, являются фотон, гравитон, нейтрино, Z -бозон и бозон Хиггса.

7.4 Кулоновский потенциал

Потенциальная энергия притяжения электрона и протона равна

$$U = -e^2/r. \quad (16)$$

7.5 Магнитное взаимодействие

Магнитное взаимодействие является не столь дальнодействующим, как электрическое. Оно спадает как $1/r^3$. Оно зависит не только от расстояния между двумя магнитами, но и от их взаимной ориентации. Хорошо известный пример – взаимодействие стрелки компаса с полем магнитного диполя Земли. Потенциальная энергия взаимодействия двух магнитных диполей μ_1 и μ_2 равна

$$U = [\mu_1 \mu_2 - 3(\mathbf{n} \mu_1)(\mathbf{n} \mu_2)]/r^3, \quad (17)$$

где $\mathbf{n} = \mathbf{r}/r$.

7.6 Взаимодействие магнитных стрелок**

Что отталкивает одноимённые полюса магнита и притягивает разноимённые? Это делают виртуальные фотоны, которыми обмениваются магниты. См. Рис. 10, который иллюстрирует это на примере двух магнитных стрелок. Чтобы не загромождать рисунок, на нём показаны только фотоны, идущие из S полюса верхнего магнита, и не показаны фотоны, идущие из его N полюса. Фотонная линия SS сопровождается буквой r (repel), а фотонная линия SN – буквой a (attract).

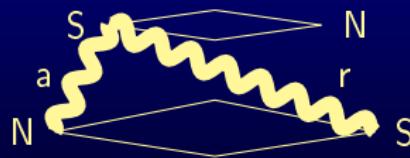


Рис. 10.

7.7 Электромагнитное взаимодействие

Величайшим достижением XIX столетия было открытие того, что электрические и магнитные силы – это два различных проявления одной и той же электромагнитной силы. В 1821 году М. Фарадей (1791 - 1867) исследовал взаимодействие магнита и проводника с током. Спустя десятилетие он установил законы электромагнитной индукции при взаимодействии двух проводников. В последующие годы он ввёл понятие электромагнитного поля и высказал идею об электромагнитной природе света. В 1870х Дж. Максвелл (1831 - 1879) осознал, что электромагнитное взаимодействие ответственно за широкий класс оптических явлений: испускание, преобразование и поглощение света и написал уравнения, описывающие электромагнитное поле. Вскоре Г. Герц (1857 - 1894) открыл радиоволны, а В. Рентген (1845 - 1923) – X-лучи. Вся наша цивилизация основана на проявлениях электромагнитных взаимодействий.

7.8 Объединение теории относительности и квантовой механики

Важнейшим этапом в развитии физики был 1928 год, когда появилась статья П. Дирака (1902 -1984), в которой он предложил квантовое и релятивистское уравнение для электрона. Это уравнение содержало магнитный момент электрона и указывало на существование античастицы электрона - позитрона, открытого через несколько лет. После этого квантовая механика и теория относительности объединились в квантовую теорию поля.

То, что электромагнитные взаимодействия вызваны испусканием и поглощением виртуальных фотонов, стало полностью ясно лишь в середине XX века с появлением диаграмм Фейнмана, т.е. после того, как чётко сформировалось понятие виртуальной частицы.

8. СЛАБОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

- 8.1 Ядерные взаимодействия
- 8.2 Заряженные токи*
- 8.3 Нейтральные токи*
- 8.4 Нарушение Р- и СР- чётности*
- 8.5 Осцилляции нейтрино*
- 8.6 Электрослабое взаимодействие
- 8.7 Нарушение электрослабой симметрии
- 8.8 Что надо узнать о хиггсе
- 8.9 А если хиггса нет?
- 8.10 Лептонные коллайдеры будущего
- 8.11 Линейные электрон-позитронные коллайдеры
- 8.12 Мюонный коллайдер

8.1 Ядерные взаимодействия

В начале XX века были открыты атом и его ядро и α -, β -, и γ -лучи, испускаемые радиоактивными ядрами. Как оказалось, γ -лучи – это фотонны очень высокой энергии, β -лучи – это высокоэнергичные электроны, а α -лучи – ядра гелия. Это привело к открытию двух новых типов взаимодействий – сильного и слабого. В отличие от гравитационного и электромагнитного взаимодействий, сильное и слабое взаимодействия являются короткодействующими.

В дальнейшем было установлено, что они ответственны за преобразование водорода в гелий в нашем Солнце и других звёздах.

8.2 Заряженные токи*

Слабое взаимодействие ответственно за превращение нейтрона в протон с испусканием электрона и электронного антинейтрино. В основе большого класса процессов слабого взаимодействия лежат превращения夸克ов одного типа в夸克 другого типа с испусканием (или поглощением) виртуальных W -бозонов: $u, c, t \leftrightarrow d, s, b$. Аналогично при испускании и поглощении W -бозонов происходят переходы между заряженными лептонами и соответствующими нейтрино: $e \leftrightarrow \nu_e, \mu \leftrightarrow \nu_\mu, \tau \leftrightarrow \nu_\tau$. В равной степени происходят и переходы типа $d\bar{u} \leftrightarrow W$ и $e\bar{\nu}_e \leftrightarrow W$. Во всех этих переходах с участием W -бозонов участвуют так называемые заряженные токи, меняющие на единицу заряды лептонов и夸克ов.

Слабое взаимодействие заряженных токов короткодействующее, оно описывается потенциалом Юкавы $e^{-m_W r}/r$, так что эффективный радиус у него $r \approx 1/m_W$.

8.3 Нейтральные токи*

В 1970х годах были открыты процессы слабого взаимодействия нейтрино, электронов и нуклонов, обусловленные так называемыми нейтральными токами. В 1980х годах было экспериментально установлено, что взаимодействия заряженных токов происходят путём обмена W -бозонами, а взаимодействия нейтральных токов – путём обмена Z -бозонами.

8.4 Нарушение Р- и СР- чётности*

Во второй половине 1950х годов было открыто нарушение пространственной чётности P и зарядовой чётности C в слабых взаимодействиях. В 1964 году были открыты слабые распады, нарушающие сохранение CP -симметрии. В настоящее время механизм нарушения CP -симметрии изучается в распадах мезонов, содержащих b -кварки.

8.5 Осцилляции нейтрино*

Последние два десятилетия внимание физиков приковано к измерениям, проводимых на подземных килотонных детекторах Kamioka (Япония) и Садбери (Канада). Эти измерения показали, что между тремя сортами нейтрино ν_e , ν_μ , ν_τ происходят в вакууме взаимные переходы (осцилляции). Природа этих осцилляций выясняется.

8.6 Электрослабое взаимодействие

В 1960х годах была сформулирована теория, согласно которой электромагнитное и слабое взаимодействия являются различными проявлениями единого электрослабого взаимодействия. Если бы имела место строгая электрослабая симметрия, то массы W - и Z -бозонов были бы равны нулю подобно массе фотона.

8.7 Нарушение электрослабой симметрии

В рамках Стандартной модели бозон Хиггса нарушает электрослабую симметрию и объясняет таким образом почему фотон безмассов, а слабые бозоны массивны. Он же даёт массы лептонам, кваркам и самому себе.

8.8 Что надо узнать о хиггсе

Одной из основных задач Большого Адронного Коллайдера LHC является открытие бозона Хиггса (который называют просто хиггс и обозначают h или H) и последующее установление его свойств. В первую очередь измерение его взаимодействий с W - и Z -бозонами, с фотонами, а также его самовзаимодействия, т.е. изучение вершин, содержащих три и четыре хиггса: h^3 и h^4 , и его взаимодействия с лептонами и кварками, особенно с топ-кварком. В рамках Стандартной Модели для всех этих взаимодействий существуют чёткие предсказания. Их экспериментальная проверка представляет очень большой интерес с точки зрения поисков „новой физики“ за пределами Стандартной Модели.

8.9 А если хиггса нет?

Если же окажется, что в интервале масс порядка нескольких сот ГэВ хиггс не существует, то это будет означать, что при энергиях выше ТэВ лежит новая абсолютно неизведанная область, где взаимодействия W - и Z -бозонов становятся непертурбативно сильными, т.е. не могут описываться теорией возмущений. Исследования этой области принесут много сюрпризов.

8.10 Лептонные коллайдеры будущего

Для выполнения всей этой программы исследований в дополнение к LHC возможно придётся построить лептонные коллайдеры:

ILC (International Linear Collider) с энергией столкновения 0.5 ТэВ,

или CLIC (Compact Linear Collider) с энергией столкновения 1 ТэВ,

или MC (Muon Collider) с энергией столкновения 3 ТэВ.

8.11 Линейные электрон-позитронные коллайдеры

ILC - Международный Линейный Коллайдер, в котором должны сталкиваться электроны с позитронами, а также фотоны с фотонами. Решение о его строительстве может быть принято только после того, как станет ясно, существует ли хиггс и какова его масса. Одно из предлагаемых мест строительства ILC - окрестности Дубны.

CLIC - Компактный Линейный Коллайдер электронов и позитронов. Проект разрабатывается в ЦЕРН.

8.12 Мюонный коллайдер

МС - Мюонный коллайдер был впервые задуман Г. И. Будкером (1918-1977). В 1999 году в Сан Франциско состоялась пятая Международная конференция „Физический потенциал и развитие мюонных коллайдеров и нейтринных фабрик“. В настоящее время проект МС разрабатывается в Фермиевской национальной лаборатории и может быть осуществлён лет через 20.

9. СИЛЬНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

9.1 Глюоны и кварки

9.2 Конфайнмент и асимптотическая свобода

9.3 Массы адронов

9.1 Глюоны и кварки

Сильное взаимодействие держит нуклоны (протоны и нейтроны) внутри ядра. В его основе взаимодействие глюонов с кварками и взаимодействие глюонов с глюонами. Именно самодействие глюонов приводит к тому, что несмотря на то, что масса глюона равна нулю, так же, как равны нулю массы фотона и гравитона, обмен глюонами не приводит к глюонному дальнодействию. Более того, оно приводит к отсутствию свободных глюонов и кварков. Это невылетание цветных частиц обусловлено тем, что сумма одноглюонных обменов заменяется глюонной трубкой или нитью. Взаимодействие нуклонов в ядре подобно силам Ван-дер-Ваальса между нейтральными атомами.

9.2 Конфайнмент и асимптотическая свобода

Явление невылетания цветных частиц из адронов называют словом конфайнмент. Обратной стороной динамики, приводящей к конфайнменту является то, что на очень малых расстояниях глубоко внутри адронов взаимодействие между цветными частицами постепенно спадает, они как бы становятся свободными. Это явление называют термином асимптотическая свобода.

9.3 Массы адронов

Массы адронов вообще и нуклонов в частности обусловлены глюонным самодействием. Таким образом, масса всего видимого вещества, составляющего 4-5% массы вселенной, обусловлена именно самодействием глюонов.

10. СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ И ЗА ЕЁ ПРЕДЕЛАМИ

- 10.1 18 частиц Стандартной Модели
- 10.2 За пределами Стандартной Модели
- 10.3 Великое объединение
- 10.4 Суперсимметричные частицы
- 10.5 Суперструны
- 10.6 Зеркальные частицы
- 10.7 Тёмная материя
- 10.8 Тёмная энергия

10.1 18 частиц Стандартной Модели

Все известные фундаментальные частицы естественно распадаются на три группы:

6 лептонов (спин 1/2):

3 нейтрино: ν_e , ν_μ , ν_τ ,

3 заряженных лептона: e , μ , τ ,

6 кварков (спин 1/2):

u , c , t ,

d , s , b ,

6 бозонов:

gr -гравитон (спин 2),

γ - фотон, W -бозон, Z - бозон, g - глюоны (спин 1),

h - хиггс (спин 0).

10.2 За пределами Стандартной Модели

96% энергии вселенной находится за пределами Стандартной Модели и ждёт своего открытия и изучения. Есть несколько основных предположений о том, как может выглядеть новая физика (см. ниже пункты 9.3 - 9.6).

10.3 Великое объединение

Объединению сильного и электрослабого взаимодействия посвящено огромное число работ, в основном теоретических. В большинстве из них предполагается, что оно происходит при энергиях порядка 10^{16} ГэВ. Такое объединение должно приводить к распаду протона.

10.4 Суперсимметричные частицы

Согласно идее суперсимметрии, впервые зародившейся в ФИАН, у каждой „нашой“ частицы есть суперпартнер, спин которого отличается на $1/2$: 6 скварков и 6 слептонов со спином 0, хиггсино, фотино, вино и зино со спином $1/2$, гравитино со спином $3/2$. Массы этих суперпартнёров должны быть существенно больше, чем у наших частиц. Иначе их давно бы открыли. Некоторые из суперпартнёров, возможно, будут открыты, когда заработает Большой Адронный Коллайдер.

10.5 Суперструны

Развивает гипотезу о суперсимметрии гипотеза о существовании суперструн, которые живут на очень малых расстояниях порядка 10^{-33} см и отвечающих им энергиях 10^{19} ГэВ.

10.6 Зеркальные частицы

Согласно идее о зеркальной материи, впервые зародившейся в ИТЭФ, у каждой нашей частицы есть зеркальный двойник, и существует зеркальный мир, который только очень слабо связан с нашим миром.

10.7 Тёмная материя

Только 4% всей энергии во вселенной существует в виде массы обычного вещества. Порядка 20% энергии вселенной заключено в так называемой тёмной материи, состоящей, как думают, из суперчастиц или зеркальных частиц.

10.8 Тёмная энергия

Но подавляющая часть энергии вселенной (порядка 75%), обусловлена так называемой тёмной энергией, расталкивающей скопления галактик. Её природа пока непонятна.

11. ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ В РОССИИ И МИРЕ

11.1 Указ Президента РФ

11.2 Слушания в Конгрессе США 1

11.3 Слушания в Конгрессе США 2

11.1 Указ Президента РФ

30 сентября 2009 года был издан Указ Президента РФ „О дополнительных мерах по реализации pilotного проекта по созданию Национального исследовательского центра „Курчатовский институт“. Указ предусматривает участие в проекте следующих организаций: Петербургского института ядерной физики, Института физики высоких энергий и Института теоретической и экспериментальной физики. Указ предусматривает также „включение указанного учреждения, как наиболее значимого учреждения науки, в ведомственную структуру расходов федерального бюджета в качестве главного распорядителя бюджетных средств“. Этот Указ может способствовать возвращению физики элементарных частиц в число приоритетных направлений развития науки в нашей стране.

11.2 Слушания в Конгрессе США 1

1 октября 2009 года состоялись слушания в подкомитете по энергии и окружающей среде комитета по науке и технологии палаты представителей США по теме „Исследования природы материи, энергии, пространства и времени“. Профессор Гарвардского университета Лиза Рендалл изложила взгляды на материю, энергию и происхождение вселенной с точки зрения будущей теории струн. Директор Фермиевской Национальной лаборатории (Батавия) Пьер Оддоне рассказал о состоянии физики частиц в США, и в частности, о предстоящем завершении работы Тэватрона и начале работы ФНАЛ и подземной лаборатории DUSEL по изучению свойств нейтрино и редких процессов. Он рассмотрел 4 сценария развития работ при финансировании DOE (в миллионах долларов): 1) \$ 688M, 2) \$ 752M, 3) \$1500M, 4) дополнительном финансировании. Он подчеркнул важность участия американских физиков в проектах по физике высоких энергий в Европе (LHC), Японии (JPARC), Китае (BEPC) и международном проекте GLAST.

11.3 Слушания в Конгрессе США 2

Директор Национальной Лаборатории имени Джонсона Хью Монтгомери говорил о вкладе этой Лаборатории в ядерную физику, в ускорительные технологии и в образовательные программы. Директор Научного отдела по физике высоких энергий Департамента Энергии Деннис Ковар рассказал о трёх основных направлениях по физике высоких энергий:

- 1) ускорительные исследования при максимальных энергиях,
 - 2) ускорительные исследования при максимальных интенсивностях,
 - 3) наземные и спутниковые исследования космоса с целью выяснения природы тёмной материи и тёмной энергии,
- и трёх основных направлениях по ядерной физике:
- 1) изучение сильных взаимодействий夸克ов и глюонов,
 - 2) изучение того, как из протонов и нейтронов образовались атомные ядра,
 - 3) изучение слабых взаимодействий с участием нейтрино.

12. О ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУКЕ

12.1 Что такое фундаментальная наука

12.2 Корни и плоды

12.3 А. И. Герцен о науке

12.4 Заключение

12.1 Что такое фундаментальная наука

Из изложенного выше текста ясно, что я, как и большинство научных работников, называю фундаментальной наукой ту часть науки, которая устанавливает наиболее фундаментальные законы природы. Эти законы лежат в фундаменте пирамиды науки или отдельных её этажей. Они определяют долговременное развитие цивилизации. Существуют, однако, люди, которые фундаментальной наукой называют те разделы науки, которые оказывают наибольшее непосредственное влияние на сиюминутные достижения в развитии цивилизации. Мне лично кажется, что эти разделы и направления лучше называть прикладной наукой.

12.2 Корни и плоды

Если фундаментальную науку можно сравнить с корнями дерева, то прикладную можно сравнить с его плодами. Такие важнейшие технологические прорывы, как создание мобильных телефонов или оптоволоконной связи, это плоды науки.

12.3 А. И. Герцен о науке

В 1845 году Александр Иванович Герцен (1812-1870) опубликовал в журнале „Отечественные записки“ замечательные „Письма об изучении природы“. В конце первого письма он написал:

„Наука кажется трудною не потому, чтоб она была в самом деле трудна, а потому, что иначе не дойдёшь до её простоты, как пробившись сквозь тьму тем готовых понятий, мешающих прямо видеть. Пусть входящие вперёд знают, что весь арсенал ржавых и негодных орудий, доставшихся нам по наследству от схоластики, негоден, что надобно пожертвовать вне науки составленными воззрениями, что, не отбросив все полуулжи, которыми для понятности облекают полуистины, нельзя войти в науку, нельзя дойти до целой истины.“

12.4 Заключение

Было бы правильно, чтобы Президиум РАН отметил важность раннего приобщения молодёжи к мировоззрению, основанному на достижениях теории относительности и квантовой механики, и поручил Комиссиям Президиума РАН по учебникам (председатель - вице-президент В.В. Козлов) и по образованию (председатель - вице-президент В.А. Садовничий) подготовить предложения по совершенствованию преподавания современной фундаментальной физики в средней и высшей школе.