МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ

«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени А.С. Пушкина»

КУРСОВАЯ РАБОТА

по теоретической физике

К вопросу о Единой теории полей и взаимодействий

Брест, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

1. Единая теория полей и взаимодействий в настоящее время

2. Подробнее об объединении взаимодействий

3. Теория всего

4. Мечта Эйнштейна

5. Теория суперструн

Заключение

Литература

ВВЕДЕНИЕ

В своей повседневной жизни человек сталкивается с множеством сил действующих на тела: сила ветра или потока воды, давление воздуха, мускульная сила человека, вес предметов, давление квантов света, притяжение и отталкивание электрических зарядов, сейсмические волны. Вызывающие подчас катастрофические разрушения и т.д. одни силы действуют непосредственно при контакте с телом, другие, например, гравитация, действуют на расстоянии, через пространство. Но, как выяснилось в результате развития естествознания, несмотря на столь большое разнообразие, все действующие в природе силы можно свести к четырём фундаментальным взаимодействиям: сильное, слабое, электромагнитное и гравитационное. Именно эти взаимодействия в конечном счёте отвечают за все изменения в мире, именно они являются источником всех материальных преобразований тел, процессов. Изучение свойств взаимодействий составляет главную задачу современной физики.

Целью курсовой работы является рассмотрение известных типов взаимодействий, изложение главных направлений их объединения, ознакомление с основными положениями и достижениями современной физики.

1. ЕДИНАЯ ТЕОРИЯ ПОЛЕЙ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ

Единая теория поля (ЕТП), физическая теория, задачей которой является единое описание всех элементарных частиц (или хотя бы группы частиц), выведение свойств этих частиц, законов их движения, их взаимных превращений из неких универсальных законов, описывающих единую «первоматерию», различные состояния которой и соответствуют различным частицам.

Термин «Теория поля» имеет многогранное значение. Часто под ним понимают математический аппарат, применяемый для описания физических полей. Нередко под теорией поля подразумевается электромагнетизм Фарадея-Максвелла, а иногда и общая теория относительности, посвященная описанию гравитационных полей. Есть еще термин «единая теория поля», под которым понимается некая единая парадигма, которая позволит объединить описание всех полей и взаимодействий в рамках общей логической платформы.

Понятие «Физическое поле» восходит к основоположникам электромагнетизма Фарадею и Максвеллу. Под этим термином понимают некоторого посредника, благодаря которому действие от одного тела передается к другому на расстоянии.

При этом само понятие поля трансформировалось со временем. Основоположники электромагнетизма скорее понимали под полем некую среду, которая подвержена динамике, может перетекать и вращаться, откуда и появились такие понятия теории поля как дивергенция и ротор. Во многом такие представления о поле привели к появлению понятия эфира. Важно, что именно построение наглядных моделей невидимого поля поспособствовали успешному созданию классической электродинамики.

Другая школа, опирающаяся на математический формализм, была более склонна рассматривать поле как заданную в пространстве и времени математическую функцию. Этот подход не требовал построения умозрительных моделей и казался более строгим с математической точки зрения. Однако он способствовал сведению научного мышления к примитивному перебору математических вариантов, наиболее распространенному в рамках принципа наименьшего действия.

В XX веке на смену классического понятия поля пришло еще две концепции. Первая из них – подмена физического понятия поля математическим пространством. Это так называемый путь геометризации физики, наиболее известным примером которого является общая теория относительности. Вторая – модель обменного взаимодействия, воплощенная в квантовой теории. В этом случае в связи с необходимостью получить дискретные характеристики частиц и процессов вместо непрерывного поля используются виртуальные частицы – переносчики взаимодействия.

В полевой физике во многом происходит возвращение к представлениям о поле в духе Фарадея-Максвелла, только на современном уровне. Для этого используется понятие «Полевая среда». Это созвучная понятию физического поля реальная сущность, подверженная собственной динамике, посредством которой и происходит взаимодействие удаленных объектов. Так взаимодействие частиц в полевой среде описывается полевым уравнением движения, а построенная на основе этой концепции полевая механика в качестве своих следствий содержит классическую механику, электродинамику, частично теорию относительности, квантовую и ядерную физику и немало других следствий.

Понятие «Взаимодействие» или «Физические взаимодействия» является в физике одним из основных. Обычно под ними понимается свойство тел оказывать взаимное влияние друг на друга. В классической механике взаимные действия объектов описывались на языке сил. В теории поля появилось понятие посредника, через которое осуществляется действие на расстоянии. В разные времена этому посреднику присваивались разные имена – физическое поле, эфир, пространство, физический вакуум, виртуальные частицы, полевая среда.

В современной физике (в ХХ веке) развитие идеи посредника пошло по двум принципиально разным путям. В рамках общей теории относительности вместо эфира ролью посредника наделили пространство как таковое, а причина взаимодействия, в частности гравитационного, была приписана искривлению пространства. В рамках квантовой физики роль посредника перешла к особым частицам – переносчикам взаимодействий. Согласно этой концепции, называемой обменное взаимодействие, объекты действуют друг на друга испуская и поглощая виртуальные частицы, а источником для рождения таких частиц служит физический вакуум. Вообще говоря, эти частицы могут быть вполне реальными. Например, переносчиками электромагнитного взаимодействия считаются фотоны, а ученые надеются обнаружить переносчиков и всех других взаимодействий. Однако пока этого не удается сделать, что в общем-то, не мешает развиваться теории, которая вполне может оперировать и виртуальными частицами.

Полевая физика в качестве альтернативы этим двум моделям взаимодействия использует понятие полевой среды, как реальной физической сущности, подверженной внутренней динамике, что во многом является возрождением подходов Фарадея-Максвелла к теории поля, только на более современном уровне. Механизм полевого взаимодействия материальных объектов согласно этой концепции состоит в передаче взаимного влияния через полевую среду.

Современная физика выделяет 4 типа фундаментальных взаимодействий. Два из них – электромагнитное и гравитационное – известны довольно давно, во многом похожи и поддаются классическому описанию (по крайней мере, на элементарном уровне). Два других – сильное (ядерное) и слабое (распад и взаимопревращение элементарных частиц) – являются плодом современной физики, не выражаются в виде элементарной зависимости величины действия от соответствующих зарядов и расстояния и служат во многом лишь как обобщающие понятия двух групп до конца не понятных явлений.

Полевая физика рассматривает в качестве фундаментальных только два типа взаимодействий – гравитационное и электрическое. Причем, на уровне полевой кинематики они полностью похожи и симметричны: – в классических условиях они подчиняются одним и тем же законам обратных квадратов, системе уравнений Максвелла, распространяются со скоростью света, симметричным образом определяют массы тел.

Различие между этими двумя типами взаимодействий лежит на уровне образования у материальных объектов свойств электрического заряда и гравитационного заряда. Другое различие – результат сложившегося распределения материи во Вселенной. Гравитационное поле доминирует в космических масштабах (глобальное поле) и в силу найденных в полевой физике причин возникает эффект маскировки свойства гравитационного отталкивания - антигравитации. Электрическое поле, наоборот, играет большую роль в локальных явлениях и в силу доминирования глобального гравитационного поля приобретает симметричные свойства притяжения и отталкивания.

Сильное и слабое взаимодействия не рассматриваются в полевой физике как фундаментальные. Они и относимые к ним эффекты оказываются результатом совместного действия обычной гравитации и электричества в тех или иных условиях. Например, полевая физика объясняет, почему на очень малых расстояниях между одноименными электрическими зарядами (протонами) вместо отталкивания возникает очень сильное притяжение и даже позволяет получить потенциал ядерных сил. Примечательное, что причиной столь аномального поведения оказывается гравитационное поле, которое незаслуженно считается не грающим никакой роли в ядерных процессах.

А. Эйнштейн высказал идею о возможности и необходимости создания ЕТП еще в 1908—1910 гг. и активно работал в этом направлении с 1920 г. Идея не была принята большинством физиков, более того, сформировалось убеждение, что построение ЕТП в принципе невозможно. Попытки А. Эйнштейна и его немногочисленных сподвижников создать ЕТП осуждались. Даже А.И. Иоффе назвал настойчивое стремление А. Эйнштейна создать ЕТП "маниакальным увлечением" Такое заблуждение разделяло большинство физиков-теоретиков до тех пор, пока в 1979 г. Нобелевской премии были удостоены А. Салам, С. Вейнберг, Ш. Глешоу за создание единой теории электрослабых взаимодействий.

Несмотря на все различия частиц и их взаимодействий, в них можно обнаружить достаточно много общего: общеизвестным примером является объединение электричества и магнетизма в электромагнетизм Максвеллом в 1864 году. Идея описывать различные взаимодействия общим уравнением стала особенно популярной после создания Эйнштейном в 1916 году Общей теории относительности, описавшей гравитацию. Единая теория поля, которая позволила бы описать в рамках единого подхода все элементарные частицы и их взаимодействия, объяснила бы все существующие во Вселенной физические явления — такая гипотетическая теория получила полушутливое название «Теория всего». Задачи перед ней ставятся нешуточные: мало того, что она должна объяснять и предсказывать все существующие элементарные частицы и их взаимодействия, ей еще следует объяснять их массы и время жизни.

Однако шаги по ее построению долгое время были безуспешными: в частности, Эйнштейн работал над созданием такой теории до самой смерти. Легенды гласят, что Эйнштейну удалось это сделать, и для экспериментальной проверки его теоретических выводов американское правительство в 1943 году организовало секретный Филадельфийский эксперимент, в ходе которого якобы произошла телепортация на несколько сотен километров эсминца «Элдридж». Якобы затем Эйнштейн уничтожил все свои изыскания в этой области, поскольку они могли быть использованы в исключительно разрушительном вооружении. Правильные ребята относятся к этой легенде с легким скепсисом: большинство экспериментов, сделавших возможным создание Стандартной модели, объединяющей только 3 из 4 фундаментальных взаимодействий, было произведено уже после смерти Эйнштейна.

Сдвиг в области построения Единой теории поля наметился только после открытия слабого и сильного взаимодействий. Первым шагом стала теория электрослабого взаимодействия, построенная Саламом, Глэшоу и Вайнбергом в 1967 году на основе квантовой электродинамики (за нее они получили Нобелевскую премию в 1979 году, т.е. почти сразу). Затем в 1973 году была построена теория, описывающая сильное взаимодействие — квантовая хромодинамика. На основе этих двух теорий и была создана Стандартная модель, все предсказания которой подтвердились, кроме до сих пор не обнаруженного бозона Хиггса.

2. ПОДРОБНЕЕ ОБ ОБЪЕДИНЕНИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Одной из важных особенностей физики элементарных частиц на начальном этапе было различие между различными типами взаимодействий. Оказалось, что существует всего четыре типа фундаментальных взаимодействий: сильное, электромагнитное, слабое и гравитационное.

Интенсивность различных взаимодействий при энергиях порядка нескольких МэВ характеризуется следующими константами:

константа сильного взаимодействия бs ~ 1,

константа электромагнитного взаимодействия бe ~ 10-2,

константа слабого взаимодействия бw ~ 10-6,

константа гравитационного взаимодействия бG ~ 10-38.

В основе идеи объединения различных взаимодействий лежит зависимость констант, слабого электромагнитного и сильного взаимодействий от расстояния. Из рис.1,3 видно как появляется такая зависимость. На рис. 1 показан механизм экранировки электрического заряда(\*)электрона. Причина экранировки состоит в следующем: электрон может испускать виртуальные фотоны, которые в свою очередь могут превращаться в электрон - позитронные пары e + e - , пару м+м-, пару мезонов р+р-, K+K- и т.д. В результате взаимодействия отрицательно заряженного электрона с виртуально образующимися парами частиц происходит их поляризация (поляризация вакуума). Притяжение между противоположно заряженными частицами приводит к экранировке отрицательного заряда исходного электрона положительно заряженными e+, м+, р+-мезонами, располагающимися преимущественно ближе к электрону. Поэтому, при приближении пробного заряда к электрону, он будет чувствовать распределение поля виртуальных частиц. Т. е. величина измеренного заряда будет зависеть от расстояния между пробной частицей и электроном. Это называется в квантовой электродинамике экранировкой электрического заряда. Теоретические расчеты показывают, что с уменьшением расстояния величина наблюдаемого заряда растет, что и приводит к увеличению константы электромагнитного взаимодействия.

|  |  |
| --- | --- |
|  Рис.1 .Механизм экранировки электрического заряда |  Рис. 2. Экранировка электрического заряда |

Аналогичную ситуацию можно ожидать и в кквантовой хромодинамике (КХД). Цветовой заряд кварка будет экранироваться. При экранировке цветового заряда кварка в хромодинамике вокруг цветного кварка образуется поле виртуальных глюонов и кварк - антикварковых пар (рис. 3). Однако в квантовой хромодинамике в распределении цветового поля имеются существенные отличия. Т.к. глюоны имеют цветовой заряд, они взаимодействуют не только с кварками, но и с друг другом, что существенно меняет распределение цветового заряда вокруг кварка. Цветной кварк оказывается окружен преимущественно зарядами того же цвета. Поэтому, например, при приближении пробного цветового заряда к красному кварку он проникает внутрь облака красного цвета и, следовательно, величина измеренного красного заряда уменьшается - наблюдается эффект антиэкранировки. Т.е. при уменьшении растояния между цветными кварками величина взаимодействия уменьшается. Это явление называется асимптотической свободой кварков в адроне на малых расстояниях. Зависимость константы сильного взаимодействия от расстояния показана на рис.4(\*\*)

Аналогичная ситуация имеет место и для константы слабого взаимодействия, которая также зависит от расстояния.

|  |  |
| --- | --- |
|  Рис. 3. Механизм антиэкранировки цветного заряда |  Рис. 4. Антиэкранировка цветового заряда |

Малость константы слабого взаимодействия при низких энергиях обусловлена тем, что слабые взаимодействия происходят в результате обмена частицами, имеющими большую массу (mW ~ 80 ГэВ, mZ ~ 90 ГэВ). При энергии порядка 100 ГэВ константа слабого взаимодействия возрастает до бw ~ 1/30.

Гипотеза о том, что слабое взаимодействие также обусловлено обменом некоторой заряженной частицей было выдвинута Юкавой еще в тридцатых годах. Завершение эта идея получила в рамках единой теории, связывающей электромагнитные и слабые взаимодействия, развитой в работах С. Вайнберга, А. Салама и Ш. Глэшоу.

В этой теории, которая носит название "стандартная модель", предсказывается существование тяжелых заряженных бозонов W+ и и нейтрального бозона Z0 со спином 1, обмен которыми и обуславливает слабое взаимодействие. В теории возникает также безмассовое векторное поле, отождествляемое с электромагнитным полем.По аналогии с сильным взаимодействием члены одного семейства, порождаемые или -бозоном объединяются в слабые левоспиральные изоспиновые дублеты

и

со слабым изоспином T = 1/2, которым приписываются значения T3 = +1/2 (нe,u) и T3 = -1/2 (e,d). У антифермионов проекции слабого изоспина имеют противоположные знаки.

Слабые взаимодействия с изменением заряда (заряженные токи) описываются состояниями и . Они происходят с испусканием или поглощением или -бозонов. Слабые процессы с участием Z0-бозона были названы процессами с нейтральными слабыми токами.

Таким образом в модели Вайнберга - Салама , , Z0-бозоны и -квант являются квантами единого электрослабого поля. Стандартная модель, объединяющая электромагнитное и слабое взаимодействия, предсказывает связь между константами электромагнитного и слабого взаимодействий и соотношение между массами заряженных и нейтральных бозонов:

,

где иW - угол Вайнберга. Извлеченная из экспериментов величина sin2иW = 0.23.

Обнаружение в 1973 г. слабых нейтральных токов явилось ярким подтверждением правильности стандартной модели, в которой были предсказаны значения масс промежуточных бозонов –m(Z0) ~ 90 ГэВ ; m(W+,) ~ 80 ГэВ

В стандартной модели лептоны и кварки группируются в левоспиральные дублеты - поколения.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1 поколение | 2 поколение | 3 поколение |
|  |  |  |
|  |  |  |

Заряженные токи в лептонных процессах получаются при движении по столбцам. Переходов между поколениями лептонов до сих пор не наблюдалось, что зафиксировано в законе сохранения лептонных зарядов Le, Lм и Lф. Константы этих слабых процессов одинаковы или пока не различимы. Заряженные токи в процессах с кварками возможны не только при движении по столбцам, но и между поколениями, т.е. слабое взаимодействие смешивает кварки. Но слабые константы кварковых процессов

du + и su +

отличаются друг от друга и от констант лептонных процессов. Казалось, что универсальность слабого взаимодействия нарушается. Однако оказалось, что эти константы можно связать между собой. Это уже в 1963 году было сделано Н. Кабиббо, который для связи констант в-распада и распада странных частиц ввел параметр - угол Кабиббо (рис.5).

|  |
| --- |
| Рис. 5. Угол Кабиббо |

Универсальность слабого взаимодействия была сохранена. Но открытие нейтральных слабых токов поставило новую проблему-теория Кабиббо в этом случае предсказывает наличие нейтральных токов с изменением странности, что резко противоречит эксперименту. Для выхода из этого затруднения Глэшоу Илиопулос и Майани ввели 4-ый кварк с тем же зарядом, что и u-кварк .Для четырехкварковой схемы столбцы для кварков записываются следующим образом (Когда Кабибо предложил свою параметризацию, кварковой модели еще не было.)

|  |  |
| --- | --- |
|  | .  |

При этом предсказывается, что основными каналами распада очарованных кварков являются каналы c → seнe и c → sмнм, вероятность этих распадов пропорциональна cos2иc, и подавлены каналы c → deнe и c → dмнм, вероятность которых пропорциональна sin2иc. В 1973 году М. Кобаяши и Т. Маскава обобщили подход Кабиббо на шестикварковую схему. Это минимальная по числу кварков модель, в которой, наряду с тремя углами смешивания и12, и23, и13 можно ввести фазу д13, описывающую нарушение СР-инвариантности. Смешивание трех поколений кварков описывается матрицей Кабиббо-Кобаяши- Маскавы

где cij = cosиij, sij = sinиij – элементы матрицы – комбинации синусов и косинусов углов поворота. Например, первый элемент это - произведение . Современные оценки углов: и12 ~ 130, и23 ~ 20, и13 ~ 0.10. Так как отличается от единицы только в шестом знаке после запятой, результаты, полученные в четырехкварковой схеме, сохраняются.

Для определенных таким образом d', s', b'-кварков константа слабого взаимодействия имеет одинаковое значение для лептонных и кварковых семейств.

Смешивание поколений кварков стимулировало интерес к проблеме осцилляций и смешивания нейтрино. Существует ли смешивание поколений лептонов?

До сих пор говорилось об объединении электромагнитных и слабых взаимодействий. Начав с четырех взаимодействий и создав теорию электрослабых взаимодействий, физики свели их число к трем. Нельзя ли сделать следующий шаг, объединив электрослабое взаимодействие с сильным?

Модели, в которых рассматривается объединение электрослабого и сильного взаимодействий, называются Великим объединением. В основе Великого объединения лежит гипотеза, что сильное и электрослабое взаимодействия являются низкоэнергетичными компонентами одного и того же калибровочного взаимодействия, описываемого единой константой.

В модели Великого Объединения (Grand Unification) показано, что все три константы будут иметь одинаковые значения при E = 1015 Гэв. Константа Великого Объединения EGU = 1/40. При этой энергии возникает единое взаимодействие. Объединение электромагнитного и слабого взаимодействий присходит при гораздо меньших энергиях E ~ 100 Гэв. При энергии Великого Объединения должна наблюдаться симметрия между кварками и лептонами. Кванты поля, переносящие взаимодействие между кварками и лептонами, называются X и Y-бозонами. X и Y-бозоны имеют спин J = 1 и дробный электрический заряд Q(X) = +4/3 Q(Y) = +1/3.

На рис. 6 приведены примеры диаграмм с участием X и Y-бозонов.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рис. 6. Диаграммы с участием X и Y-бозонов |

 |

Под действием X и Y - бозонов кварки превращаются в лептоны. Диаграммы приведенные на рис. 6 показывают, что модель Великого Объединения может быть экспериментально проверена при энергиях гораздо ниже 1015 Гэв. В частности диаграммы на рис. 5 должны приводить к распаду протона и нейтрона

p → e+ + р0, n → e + р0.

Т.е. наблюдается одновременное нарушение закона сохранения барионного и лептонного чисел. Многочисленные попытки обнаружить распад протона пока не дали положительных результата. Время жизни протона по современным оценкам tp > 1032 лет.

Переносчиком гравитационного взаимодействия в квантовой теории гравитации считается - гравитон - безмассовая частица со спином 2. Гравитационное взаимодействие универсально. В нем участвуют все частицы.

Предпринимаются попытки объединенного описания всех четырех фундаментальных взаимодействий, основанные на концепции суперсимметрии. Подобные схемы называются расширенной супергравитацией.

Константа Великого Объединения сравнивается с константой гравитационного взаимодействия при E = 1019 Гэв. Энергия, при которой происходит объединение всех черырех взаимодействий называется планковской энергией. Ее величина получается комбинацией трех мировых констант

EPl = (с5/G)1/2 1019 Гэв,

где - приведенная постоянная Планка, с - скорость света, G - гравитационная постоянная.

Планковская энергия соответствует Планковской длине

lPl = (G/с3)1/2 = 1.6161·10-33 см.

Величина

mPl = (с/G)1/2 2.17665·10-5 г

носит название массы Планка.

Планковское время

tPl = (G/с5)1/2 = 5.29072·10-44 с.

Условия для объединения взаимодействий могли существовать в самом начале образования Вселенной, сразу после Большого взрыва. Реликтами эпохи Большого взрыва являются микроволновое излучение, отвечающее температуре 2.7 K, и, возможно, монополи Дирака - гипотетические магнитные заряды.

При объединении всех взаимодействий, которое, как предполагается происходит при 1019 ГэВ, бозоны и фермионы объединяются в один мультиплет. В теории предполагается, что к наблюдаемым частицам добавляются суперпартнеры, спины которых отличаются на +1/2 или -1/2. Например, к электрону добавляется суперпартнер со спином 0.

В этих теориях фермионы имеют суперпартнеров, которые должны быть бозонами, а бозоны - суперпартнеров, которые должны быть фермионами. В суперсимметричных теориях постулируется существование операторов , которые переводят бозоны |b> в фермионы |f>

|b> = |f>.

Сопряженные операторы превращают фермионы в бозоны. Оператор оставляет неизменными все квантовые числа частицы, за исключением спина. На поиск суперсимметричных партнеров направлен целый ряд экспериментов на действующих и строящихся коллайдерах.

\*Из соотношения неопределенности следует, что если неопределенность в энергии больше удвоенной массы электрона, то может возникнуть виртуальная электрон-позитронная пара, которая будет существовать в течение времени t = /2mec2. Виртуальные электрон-позитронные пары играют существенную роль в структуре электрона. Электрон окружен облаком виртуальных электрон-позитронных пар, причем положительные заряды распологаются ближе к электрону (поляризация вакуума). Такой "голый" электрон, окруженный облаком вакуумной поляризации называют физическим электроном. На больших расстояниях эффекты поляризации вакуума не заметны. Характерные размеры, в которых проявляются эффекты поляризации вакуума порядка комптоновской длины волны электрона ~10-11 см. Закон Кулона перестает выполняться, если электроны сближаются на расстояние меньше 10-11 см. Силы взаимодействия между электронами оказываются несколько больше, чем следует из закона Кулона. Экспериментальные доказательства эффекта поляризации вакуума были получены в результате сравнения прецизионных измерений энергий уровней атома водорода (Лэмб)и магнитного момента электрона (Каш) с расчетами в рамках квантовой электродинамики (КЭД), которые учитывают виртуальные процессы.

\*\*На малых расстояниях кварки ведут себя как квазисвободные частицы. С увеличением расстояния между кварками сила взаимодействия между ними растет и одиночный кварк не может вылететь из адрона (асимтотическая свобода). Асимптотическая свобода проявляется на расстояниях <10-13 см.

Зависимость силы взаимодействия кварков от расстояния между ними позволяет ответить на вопрос о ядерных силах, то есть силах, которые связывают нуклоны в атомном ядре. Имеется некоторая аналогия с атомом. Атом электрически нейтрален. Когда атомы находятся на больших расстояниях (>10-8 см) друг от друга, они не взаимодействуют. Но когда они сближаются на расстояния сравнимые с их размерами, между их электронными оболочками возникают силы отталкивания. Это причина того, почему обычное вещество довольно трудно сжать. Конечность размеров атомов и распределение в них электрического заряда приводит к силам Ван-дер-Ваальса.

Адроны являются цветовыми синглетами. Сильное взаимодействие происходит только между кварками и глюонами. Поэтому, когда два адрона сбижаются на расстояние сравнимое с их размерами (~10-13 см), между ними начинают действовать силы аналогичные силам Ван-дер-Ваальса. С увеличением расстояния взаимодействие между нуклонами быстро уменьшается. Т. е. ядерные силы не являются элементарными, а столь же вторичны по отношению к сильному взаимодействию, как и силы Ван-дер\_Ваальса по отношению к электромагнитному взаимодействию.

Экспериментально давно было установлено подобие электромагнитного и слабого взаимодействий в том смысле, что оба они могут быть поняты в рамках теории с векторными частицами в качестве квантов поля - фотоном и слабыми промежуточными бозонами. Соответственно, и токи частиц имеют векторный характер для электромагнитного и векторный и аксиально-векторный - для слабого взаимодействий (в слабых взаимодействиях нарушается четность). Электромагнитный ток для электронов:

Кварковые электромагнитные токи имеют, понятно, аналогичный вид:

Различие связано только с различиями в электрических зарядах. В то же время слабые токи, связанные с распадами частиц, заряжены. Так, распад мюона, содержит произведение двух заряженных токов:

.

Значок L означает, что из 4-спинора выделено левоспиральное состояние посредством матрицы (1 – г5). В феноменологической теории гамильтониан этого распада выбирался в виде произведения ток x ток (эффективное 4-фермионное взаимодействие):

где GF10-5Mp2 - знаменитая константа Ферми. В теории с обменом слабым промежуточным бозоном первичным является лагранжиан взаимодействия вида



|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

который, кстати сказать, описывает распад W-бозона по 3 лептонным каналам (cюда еще добавлен заряженный ток тау-лептона и его нейтрино), причем

(h.c. - оператор эрмитового сопряжения, определяется как a+ = a\*T, где \* - комплексное сопряжение, T - транспонирование. Сгруппируем теперь лептоны по левоспиральным слабым изодублетам

поскольку именно в таких комбинациях они участвуют в слабых взаимодействиях. Правоспиральные лептоны в рамках модели Вайнберга-Салама в заряженных слабых переходах не участвуют и по определению являются слабыми изосинглетами. Сравнивая теперь слабые левоспиральные заряженные токи с сильными нуклонными изовекторными токами в соотношении видим, что разумно ввести понятие слабого изоспина, при этом появится и нейтральный ток вида связанный с нейтральным бозоном W3.

где (м) и (ф) - нейтральные токи дублетов (м-,нм) и (ф-,нф) получаются очевидным преобразованием из первого члена (нейтрального тока дублета (нe,e-)). Поскольку нейтральный слабый ток - линейная комбинация векторного и аксиально-векторного токов, возникает искушение включить в такую теоретическую модель и электромагнитное взаимодействие. Но мы не можем прямо добавить к нейтральному слабому току электромагнитный ток, поскольку он не обладает слабым изоспином. Зато можно добавить еще один ток, взаимодействующий со слабым векторным нейтральным бозоном Yм, приписав последнему свойства слабого изосинглета. Лагранжиан, описывающий взаимодействие нейтральных слабых токов с бозонами W3м,Y, запишется в виде (ограничимся сектором лептонов e, e-):



|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

От двух бозонных полей W3м надо перейти к двум другим бозонным полям ,, причем в связи лептонов с полем уже заложен правильный электромагнитный ток. По смыслу преобразование должно быть ортогональным, и давайте выберем его в виде



Подставляя эти выражения в формулу для токов, получим в левой части равенства для электромагнитного тока выражение

откуда a = -1/2, b = -1/2 , c = 1,

Тогда для нейтрального тока получаем

Введем обозначения

Теперь нейтральные векторные поля связаны между собой формулами

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

При этом e = gWsinиW. Окончательно слабый нейтральный ток в секторе лептонов запишется в виде

Измеряя на опыте соотношение между вкладами векторных и аксиально-векторных токов в процессах, идущих через нейтральные слабые токи, например, в процессе упругого расеяния мюонных нейтрино на электронах нм + е- → нм + е-,

или в процессе глубоко-неупругого рассеяния мюонного нейтрино на нуклоне нм + N → нм + X где X - адроны в конечном состоянии,

можно определить экспериментальное значение угла Вайнберга: sin2W0.230+0.003. Электромагнитный ток в секторе лептонов ee- имеет правильный вид

Итак, слабое и электромагнитное взаимодействия объединены в единое электрослабое взаимодействие в достаточно простой модели для лептонов ee-. Она немедленно обобщается на весь лептонный и кварковый секторы. Перейти от феноменологической модели к теории электрослабых взаимодействий оказывается возможным в рамках теории калибровочных полей.

В физике элементарных частиц электрослабое взаимодействие является общим описанием двух из четырех фундаментальных взаимодействий: слабого взаимодействия и электромагнитного взаимодействия. Хотя эти два взаимодействия очень различаются на обычных низких энергиях, в теории они представляются как два разных проявления одного взаимодействия. При энергиях, выше энергии объединения (порядка 102 ГэВ), они соединяются в единое электрослабое взаимодействие.

Теория электрослабого взаимодействия представляет собой созданную в конце 60-х годов 20-го века С. Вайнбергом, Ш. Глэшоу, А. Саламом единую (объединенную) теорию слабого и электромагнитного взаимодействий кварков и лептонов, осуществляемых посредством обмена четырьмя частицами — безмассовыми фотонами (электромагнитное взаимодействие) и тяжелыми промежуточными векторными бозонами (слабое взаимодействие).

Математически объединение осуществляется при помощи калибровочной группы SU(2) × U(1). Соответствующие калибровочные бозоны - фотон (электромагнитное взаимодействие) и W и Z бозоны (слабое взаимодействие). В Стандартной модели калибровочные бозоны слабого взаимодействия получают массу из-за спонтанного нарушения электрослабой симметрии от SU(2) × U(1)Y к U(1)em, вызванного механизмом Хиггса . Нижние индексы используются, чтобы показать, что существуют различные варианты U(1); генератор U(1)em дается выражением Q = Y/2 + I3, где Y - генератор U(1)Y (названный гиперзаряд), а I3 - один из генераторов SU(2) (компонент изоспина). Различие между электромагнетизмом и слабым взаимодействием появляется вследствие (нетривиальной) линейной комбинации Y и I3, которая исчезает для бозона Хиггса (это собственное состояние как Y, так и I3, так что можно взять коэффициенты −I3 и Y): U(1)em определяется как группа, генерируемая именно этой линейной комбинацией и не подвергается спонтанному нарушению симметрии, поскольку не взаимодействует с бозоном Хиггса.

За вклад в объединение слабого и электромагнитного взаимодействий элементарных частиц Шелдону Глэшоу, Стивену Вайнбергу и Абдусу Саламу была присуждена Нобелевская премия по физике в 1979. Существование электрослабых взаимодействий было экспериментально установлено в две стадии: сначала были открыты нейтральные токи в совместном эксперименте Гаргамелла по рассеиванию http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/7227 нейтрино в 1973 г., а затем совместные эксперименты UA1 и UA2 в 1983 г. доказали существование W и Z калибровочных бозонов при помощи протон-антипротонных столкновений на ускорителе SPS (Super Proton Synchrotron, протонный суперсинхротрон).

3. «ТЕОРИЯ ВСЕГО»

Тео́рия всего́ (англ. Theory of everything, TOE) — гипотетическая объединённая физико-математическая теория, описывающая все известные фундаментальные взаимодействия. Первоначально данный термин использовался в ироническом ключе для обозначения разнообразных обобщённых теорий. Со временем термин закрепился в популяризациях квантовой физики для обозначения теории, которая бы объединила все четыре фундаментальные взаимодействия в природе. В научной литературе вместо термина «теория всего» используется термин «единая теория поля», тем не менее следует иметь в виду, что теория всего может быть построена и без использования полей, несмотря на то, что научный статус таких теорий может быть спорным.

В течение двадцатого века было предложено множество «теорий всего», но ни одна из них не смогла пройти экспериментальную проверку, или существуют значительные затруднения в организации экспериментальной проверки для некоторых из кандидатов. Основная проблема построения научной «теории всего» состоит в том, что квантовая механика и общая теория относительности (ОТО) имеют разные области применения. Квантовая механика в основном используется для описания микромира, а общая теория относительности применима к макромиру. СТО (Специальная теория относительности) описывает явления при больших скоростях, а ОТО является обобщением ньютоновской теории гравитации, объединяющей ее со СТО и распространяющей на случай больших расстояний и больших масс. Непосредственное совмещение квантовой механики и специальной теории относительности в едином формализме (квантовой релятивистской теории поля) приводит к проблеме расходимости — отсутствия конечных результатов для экспериментально проверяемых величин. Для решения этой проблемы используется идея перенормировки величин. Для некоторых моделей механизм перенормировок позволяет построить очень хорошо работающие теории, но добавление гравитации (то есть включение в теорию ОТО как предельного случая для малых полей и больших расстояний) приводит к расходимостям, которые убрать пока не удаётся. Хотя из этого вовсе не следует, что такая теория не может быть построена.

После построения в конце XIX века электродинамики, объединившей на основе уравнений Максвелла в единой теоретической схеме явления электричества, магнетизма и оптики, в физике возникла идея объяснения на основе электромагнетизма всех известных физических явлений. Однако создание общей теории относительности привело физиков к мысли, что для описания на единой основе всех явлений необходимо объединение теорий электромагнетизма и гравитации.

Первые варианты единых теорий поля были созданы Давидом Гильбертом и Германом Вейлем. В дальнейшем большое внимание «теории всего» уделил Альберт Эйнштейн. Он посвятил попыткам её создания большую часть своей жизни. Гильберт, Вейль и, в дальнейшем, Эйнштейн полагали, что достаточно объединить общую теорию относительности и электромагнетизм, к тому же вначале не имелось в виду, что они должны быть квантовыми, так как сама квантовая механика еще не была достаточно развитой. В значительной мере, если не полностью, минимальная программа — объединение ОТО и электродинамики была решена в рамках теории Калуцы — Клейна (возможно, и еще некоторых теорий), но почти уже ко времени ее создания стало актуальным включение в теорию других полей и предсказание существования многих частиц, что было не совсем тривиальным, а в дальнейшем прояснились и новые трудности, а квантовый вариант теории Калуцы-Клейна хоть и был мыслим, однако квантование наталкивалось на трудности конкретной разработки, как и квантование самой общей теории относительности отдельно.

Современная физика требует от «теории всего» объединения четырёх известных в настоящее время фундаментальных взаимодействий:

* гравитационное взаимодействие,
* электромагнитное взаимодействие,
* сильное ядерное взаимодействие,
* слабое ядерное взаимодействие.

Кроме того, она должна объяснять существование всех элементарных частиц. Первым шагом на пути к этому стало объединение электромагнитного и слабого взаимодействий в теории электрослабого взаимодействия, созданной в 1967 году Стивеном Вайнбергом, Шелдоном Глэшоу и Абдусом Саламом. В 1973 году была предложена теория сильного взаимодействия. После чего появилось несколько вариантов теорий Великого объединения (наиболее известная из них — теория Пати — Салама, 1974 год), в рамках которых удалось объединить все типы взаимодействий, кроме гравитационного. Правда, ни одна из теорий Великого объединения пока не нашла подтверждения, а некоторые уже опровергнуты экспериментально на основе данных по отсутствию распада протона. Недостающим звеном в «теории всего» остается подтверждение какой-либо из теорий Великого объединения и построение квантовой теории гравитации на основе квантовой механики и общей теории относительности.

В настоящее время основными кандидатами в качестве «теории всего» являются теория струн, петлевая теория и теория Калуцы — Клейна. О последней подробней. В начале двадцатого века появились предположения, что Вселенная имеет больше измерений, чем наблюдаемые три пространственных и одно временно́е. Толчком к этому стала теория Калуцы — Клейна, которая позволяет увидеть, что введение в общую теорию относительности дополнительного измерения приводит к получению уравнений Максвелла. Благодаря идеям Калуцы и Клейна стало возможным создание теорий, оперирующих большими размерностями. Использование дополнительных измерений подсказало ответ на вопрос о том, почему действие гравитации проявляется значительно слабее, чем другие виды взаимодействий. Общепринятый ответ состоит в том, что гравитация существует в дополнительных измерениях, поэтому её влияние на наблюдаемые измерения ослабевает.

В конце 2007 года Гаррет Лиси предложил «Исключительно простую теорию всего», основанную на свойствах алгебр Ли. Несмотря на обнаруженные недостатки теории Лиси она может открыть новое направление работ в области единых теорий поля.

В конце 1990-х стало ясно, что общей проблемой предлагаемых вариантов «теории всего» является то, что они не строго определяют характеристики наблюдаемой Вселенной. Так, многие теории квантовой гравитации допускают существование вселенных с произвольным числом измерений или произвольным значением космологической постоянной. Некоторые физики придерживаются мнения, что на самом деле существует множество вселенных, но лишь небольшое их количество обитаемы, а значит, фундаментальные константы вселенной определяются антропным принципом. Макс Тегмарк (англ.) довёл этот принцип до логического завершения, постулирующего, что «все математически непротиворечивые структуры существуют физически». Это означает, что достаточно сложные математические структуры могут содержать «самоосознающую структуру», которая будет субъективно воспринимать себя «живущей в реальном мире».

В 2007 году американский учёный Энтони Гаррет Лиси предложил свой вариант Единой теории. Теория была опубликована в 31-страничном препринте. Как пишет газета The Telegraph, она вызвала фурор в научном мире. Данная теория объясняет взаимосвязь четырёх фундаментальных сил во Вселенной — сильного взаимодействия, слабого взаимодействия, электромагнитной силы и силы притяжения. Она также объединяет две глобальные теории — квантовую механику и общую теорию относительности. Решение, найденное Лиси, одни ученые называют «исключительно простым» и «красивым», а другие уверены, что теоретик ошибся. Если же он не ошибся, то ученому удалось выполнить научное завещание Эйнштейна, считают его коллеги. Самое важное — теория предсказывает существование еще 20-ти элементарных частиц, пока неизвестных науке.

Великое объединение – объединение при сверхвысоких энергиях трёх фундаментальных взаимодействий – сильного, электромагнитного и слабого. Предпосылкой к объединению трёх упомянутых взаимодействий является то, что силы (интенсивности) этих взаимодействий, кардинально различающиеся при обычных (низких) энергиях, с ростом энергии и, соответственно, уменьшением расстояния между частицами, сближаются и по оценкам сходятся при энергии 1015–1016 ГэВ (10-29 см), называемой точкой Великого объединения.

По мере роста энергии (начиная от самых низких) сильное, электромагнитное и слабое взаимодействия сливаются в единое в два этапа. При энергии 102 ГэВ (расстоянии 10-16 см) электромагнитное взаимодействие сливается со слабым в электрослабое. Образование электрослабого взаимодействия является установленным фактом и его теория создана (электрослабая модель). В точке Великого объединения электрослабое взаимодействие сливается с сильным. Это слияние является гипотезой. Переносчиками сил Великого объединения считаются гипотетические бозоны X и Y, имеющие огромные массы 1015 – 1016 ГэВ/с2.

Несмотря на то, что невозможно искусственно создать условия для Великого объединения из-за фантастических энергий, требуемых для этого, существует ряд качественно новых эффектов, предсказываемых этим объединением, которые можно проверить в лабораторных условиях. Так теории Великого объединения (ТВО) предсказывают распад протона на позитрон и нейтральный пион. В этом распаде не сохраняется ни барионное, ни лептонное квантовое число (во всех наблюдавшихся процессах эти числа сохранялись), причём время такого распада в простейших ТВО около 1030 лет. Такие распады не обнаружены и нижняя граница времени такого распада 1032 лет.

Условия для Великого объединения могли существовать во Вселенной в краткий период сразу после Большого взрыва, т.е. около 13-14 млрд лет назад, когда её возраст составлял 10–43-10–36 с.

Еще более удивительные частицы предсказывает теория«великого объединения», в которой электрослабое поле объединяется с сильным, ядерным. Эта теория—дальнейшее развитие идей Янга и Миллса, следующий шаг в построении единой теории поля. Хотя теория«великого объединения»еще весьма неопределенна, у нее много различных вариантов и плохо изученных возможностей, предсказание цунами-монополей получается почти в любом ее варианте.Заглянуть в эту самую интригующую область нашей истории, вплоть до фантастически малых величин порядка 10~35 секунд, позволяет теперь теория«великого объединения». Это был мир первозданной плазмы, где еще не существовало элементарных частиц, а были только их составные части—первичные«кубики»-кварки и связывающее их поле сильного взаимодействия. Некоторые частички, находившиеся в этом огненном сиропе, возможно, несли магнитный заряд. Впрочем, какой это был заряд, сказать трудно. Температура была еще так велика, что в первые мгновения после своего рождения раскаленный мир оставался совершенно симметричным, любые его свойства проявлялись с равной вероятностью. Расщепление единого симметричного взаимодействия на электромагнитное, слабое, сильное—на те виды взаимодействий, которые действуют в современном мире,—произошло позднее, приблизительно через 10~14—10~13 секунд после начала расширения. Расчеты показывают, что от тех давних«горячих денечков»нам в наследство должно было остаться довольно много тяжелых монополей. Сначала даже получалось, что монополей во Вселенной должно быть столько же,«сколько протонов. Затем, при более детальном рассмотрении реакций в первичном огненном шаре, массу магнитного вещества пришлось уменьшить, но все равно она очень велика—на много порядков больше того, что следует из анализа экспериментальных данных.

4. МЕЧТА ЭНШТЕЙНА

Альберт Эйнштейн умер около сорока лет назад, так и не осуществив свою мечту — построить единую теорию, описывающую Вселенную в целом. Последние десятилетия жизни он посвятил поискам такой теории, которая объясняла бы всё — от элементарных частиц и их взаимодействий до глобальной структуры Вселенной. Несмотря на огромные усилия, Эйнштейна постигла неудача, потому что для решения этой задачи ещё не пришло время. Тогда ещё практически ничего не было известно ни о чёрных и белых дырах, ни о сингулярностях, Большом взрыве и ранней Вселенной, ни о кварках, калибровочной инвариантности, слабых и сильных взаимодействиях. Теперь ясно, что все эти явления имеют отношение к единой теории, что такая теория должна объять и объяснить их. В каком-то отношении сегодня наша задача гораздо сложней, чем та, которую поставил перед собой Эйнштейн. Но учёные — упорные люди, и сейчас им удалось подойти почти вплотную к желанной и манящей цели, сделать важные открытия.

Квантовая теория и теория относительности — столпы современной физики. Одна описывает микрокосм, другая (общая теория относительности) — макрокосм, и обе они прекрасно справляются со своими функциями в соответствующих областях. Когда отказывает классическая (ньютонова) теория, когда она больше не может давать ответ на наши вопросы, на сцену выходят две теории, дающие правильные ответы. Правда, расплачиваться приходится потерей наглядности. Если в классической (ньютоновой) теории всегда можно было представить себе, что происходит, в новых теориях это не так. Пользуясь ими, мы вынуждены отказываться от мира ощущений и принимать новые, странные понятия.

Но раз классическая теория не годится для описания микро- и макрокосма, возникает естественный вопрос — не отказывают ли при каких-то условиях квантовая теория и теория относительности? Мы уже видели, что при больших скоростях ньютонову теорию приходится дополнять теорией относительности. Точно так же для больших скоростей пришлось видоизменить и квантовую теорию. Автором этой новой теории, получившей название релятивистской квантовой механики, стал английский физик Поль Дирак.

Квантовая теория и общая теория относительности — совершенно разные теории, характеризующиеся различными «языками». Кажется даже, что между ними нет никакой связи, ничего общего. Но почему две теории, почему нет одной, которая описывала бы и микро- и макрокосм? Более того, если вспомнить о четырёх фундаментальных взаимодействиях, то проявится новый аспект проблемы — гравитационные взаимодействия описываются общей теорией относительности, а остальные три (электромагнитные, сильные и слабые) рассматриваются в квантовой теории. Ни одна теория не охватывает всех четырёх полей. Кроме того, остаются трудности с элементарными частицами — непонятно, например, какая связь между двумя фундаментальными семействами, лептонов и кварков.

Эйнштейн мечтал об одной теории, которая охватывала бы все явления, он мечтал о единой теории поля. Сначала его намерения были весьма скромны — он собирался лишь объединить гравитационное и электромагнитное поля, т.е. построить одну теорию, которая описывала бы оба эти поля. Он рассчитывал с помощью такой теории объяснить и природу элементарных частиц. К сожалению, ему это не удалось. Грандиозной цели — создания теории, объединяющей все физические явления и преодолевающей разрыв между общей теорией относительности и квантовой теорией, дающей простое и единое толкование всех полей и их взаимодействий с элементарными частицами — Эйнштейн так и не достиг. Последние 30 лет своей жизни он отдал поискам такой теории; другие крупные учёные — Гейзенберг, Эддингтон и Паули — также посвятили остаток дней достижению этой, по-видимому, недосягаемой цели.

А вдруг мы просто гонимся за жар-птицей? Да и существует ли она вообще? И что будет, когда мы её поймаем? Ведь тогда во всей Вселенной не останется ничего неизведанного, что вряд ли придётся по нраву большинству физиков. Как тут не вспомнить роман Хеллера «Уловка-22» — с одной стороны, мы бьёмся над созданием единой теории, потому что такова природа человека, а с другой стороны, если нам это удастся, пострадает физика, ведь не к чему будет стремиться.

Попробуем разобраться в ситуации. Должна ли такая теория объяснять всё на свете? Как далеко вообще простирается знание? Многие физики считают такие «глобальные вопросы» наивными. На первый взгляд вопрос «Что такое свет?» не относится к их числу, однако ответить на него пока не удаётся. Мы знаем, как ведёт себя свет, и можем описать его поведение со значительной степенью точности, но что такое свет нам точно не известно. Неясно даже, что такое электрон, как, впрочем, и любая другая частица. Можно только описать их поведение с помощью вероятностных функций.

Может сложиться впечатление, что существует бесконечная вереница теорий, каждая последующая в которой совершеннее предыдущей. Но разве в действительности существует такой бесконечный ряд теорий? Видимо, нет, поскольку квантовой механикой постулируется противоречащий этому принцип неопределённости. По мере того, как мы пытаемся разглядеть всё более мелкие объекты, увеличивается «размытость».

Означает ли это, что теперешние теории — предел, который нам не перешагнуть? Конечно, нет, ведь мы видели раньше, что осталось множество вопросов, на которые пока нет ответа: взаимосвязь четырёх фундаментальных полей, связь между квантовой теорией и общей теорией относительности, взаимосвязь лептонов и кварков, дальнейшая судьба Вселенной... И это лишь некоторые из нерешённых проблем. Известно, что современные теории прекрасно описывают природу, но они тоже несовершенны, как и их предшественницы — они тоже откажут, если попытаться распространить их на слишком широкий круг явлений. Впрочем, условия, при которых они могут отказать, достаточно далеки от сферы нашего опыта и от того, что мы привыкли считать микро- и макрокосмосом.

5. ТЕОРИЯ СУПЕРСТРУН

В начале 20 века старые научные положения были низвергнуты - Альберт Эйнштейн опубликовал общую теорию относительности, в которой предложил новые трактовки пространства, времени и гравитации.

Работы Эйнштейна дали новое направление научному поиску, и многие физики задались вопросом - а может быть гравитация и электромагнетизм связаны?

В 1919 году малоизвестный польский математик Теодор Калуца дал очень странный ответ на этот вопрос.

Он ввел в математическое уравнение Эйнштейна дополнительное измерение и получил очень неожиданный результат.

Оказалось, что при добавлении еще одного измерения в уравнении Эйнштейна появляется новый дополнительный член.

И этот дополнительный член представляет собой ни что иное, как уравнение Максвелла, полученное в 1860-х годах и описывающее электромагнитное взаимодействие.

Таким образом, Калуца обнаружил, что гравитация и электричество глубоко связаны между собой и вытекают одно из другого. Но при одном условии - в нашем трехмерном пространстве существуют еще одно какое-то дополнительное пространство.

Калуца предположил, что это пространство свернуто, поэтому мы его не видим.

Когда Калуца отослал свою статью с расчетами Альберту Эйнштейну, но мысль о том, что в нашем трехмерном мире могут существовать еще какие-то дополнительные пространства, оказалась чрезмерной даже для Эйнштейна.

Только через два года после получения статьи, все хорошенько пересчитав и обдумав, Эйнштейн согласился с Калуцей.

Но, несмотря на то, что идея была прекрасной, последующий анализ гипотезы Калуцы показал, что она находится в противоречии с экспериментальными данными.

Простейшее попытки включить в эту теорию электрон приводили к предсказанию такого отношения массыэлектрона к его заряду, которое существенно отличалось от реально измеренных значений.

Т.к. в то время способов разрешить эту проблему не было, то большинство физиков потеряли интерес к гипотезе многопространнственной Вселенной, предложенной Калуцей.

Действительно, в то время и так хватало новых задач - шло становление квантовой механики, и большинство физиков было поглощено изучением основных законов микромира.

Теория направляла эксперимент, а эксперимент подправлял теорию - бурное развитие физики элементарных частиц продолжалось около полувека и вылилось в ядерную бомбу, атомные электростанции и атомные подводные лодки.

Но к началу 1970-ых были в основном закончены разработки стандартной модели физики элементарных частиц, к началу 1980-ых - многие предсказания получили экспериментальное подтверждение.

Было доказано родство трех из четырех известных видов взаимодействий (сильное, слабое, электромагнитное, гравитационное).

Как показали расчеты, сильное, слабое и электромагнитное взаимодействия в некоторый момент существования Вселенной были одним видом и только позже, по мере остывания вещества Вселенной, по родственному разошлись.

У физиков появилось чувство, что все в основном уже открыто, ответы на большинство важных вопросов уже получены и осталось доработать только некоторые детали и мелочи.

Однако, как это обычно и бывает, впереди замаячила неожиданная проблема. Оказалось, что две важнейшие физические теории (теория относительности и квантовая механика), многократно доказавшие свою состоятельность на практике, никак между собой не состыковываются. Попытки вывести общие уравнения для этих теорий приводили к бессмысленному результату.

Долгое время физики старались не замечать противоречия этих двух современных фундаментальных теорий.

Действительно, физики, изучавшие микроскопические объекты, атомы и ядерные процессы, использовали только уравнения квантовой механики.

Физики, работавшие с гигантскими и массивными объектами Вселенной, изучавшие движение планет и светил, процессы, происходящие в звездах и т.п. - использовали уравнения теории относительности.

Но единой теории, объединяющей законы микромира и макромира, не было. Всегда применялась либо одна теория, либо другая.

Однако со временем стали появляться задачи, требующие объединения этих подходов, например, при исследовании процессов в черных дырах или в момент Большого Взрыва, когда огромные массы сжаты до микроскопических размеров.

Это экстремальные объекты - они и чудовищно массивны, и крошечно малы.

Физики приняли этот вызов и начали искать то, что можно назвать "всеобщая теория всего".

Первым на эту непроторенную дорогу ступил Альберт Эйнштейн в далекие 1930-ые годы. Он отдал 30 лет своей жизни попытке разработать Единую Теорию Поля, в рамках которой пытался объединить электричество и гравитацию и показаться, что эти два вида взаимодействий представляют собой проявление одного и того же фундаментального принципа.

Эйнштейн опередил свое время. В то время, когда он жил, еще не было известно сильное и слабое взаимодействие, поэтому он так и не смог выстроить Единую Теорию Поля.

Больше того, его поиски в то время были мало понятны большинству физиков - почти все из них были озабочены разработкой новой дисциплины - квантовой механикой.

Эйнштейн отдал на создание единой теории поля не только половину своей жизни, но и политическую карьеру - его, как одного из самых активных поборников создания государства Израиль, приглашали стать первым президентом Израиля. Он отказался от этого предложения только для того, чтобы продолжить заниматься физикой. Очень не многие люди способны во имя своего любимого дела отказаться от поста президента страны. Однако, несмотря на то, что одинокий поход Эйнштейна на единую теорию не завершился успехом, он дал мощный импульс научному поиску в этом направлении.

Сейчас, спустя полвека, можно с уверенностью сказать, что мечта Эйнштейна об универсальной физической теории сбылась.

В середине 1980-ых годов центральная проблема современной физики - конфликт между общей теорией относительности и квантовой механикой - был разрешен в новой физической теории - теории суперструн.

Больше того, теория суперструн показала, что общая теория относительности и квантовая механика необходимы друг другу для того, чтобы теоретические построения приобрели смысл. Оказалось, что союз макромира и микромира не только возможен, но и неизбежен.

Теория суперструн обосновала, что все удивительные события Вселенной - от неистовой пляски субатомных кварков, до величественного кружения двойных звезд, от микроскопического огненного шара Большого взрыва, до гигантских по размерам спиралей галактик - все это может являться отражением одного великого физического принципа, одного главного физического закона. И этот закон переворачивает наши представления о мире, в котором мы живем.

Начнем с основной идеи теории суперструн. Из школьного курса физики мы знаем, что все материальные тела состоят из атомов.

Большинство из нас помнит модель строения атома, похожую на солнечную систему, модель, где вокруг атомного ядра (состоящего из протонов и нейтронов) по орбитам роем кружатся электроны.

В течение некоторого времени многие физики считали, что протоны, нейтроны и электроны являются конечными, неделимыми элементами вещества. Однако эксперименты, проведенные в 1968 году, продемонстрировали, что протоны и нейтроны состоят из частиц еще меньшего размера - кварков.

В итоге современная физика считает, что все вещество Вселенной состоит из кварков и электронов.

Теория суперструн идет дальше и предполагает следующее.

Если бы могли с высокой точностью, намного порядков превышающей наши современные технические возможности, исследовать частицы, из которых состоит Вселенная (кварки и электроны), то мы бы обнаружили, что каждая частица является не крошечным точечным объектом, а вибрирующей петлей.

Каждая элементарная частица, согласно теории суперструн, состоит из колеблющегося и тонкого (бесконечно тонкого) волокна, которое физики и назвали струной.

Итак, допустим, что мир состоит не из точечных объектов, а из пляшущих волокон - струн.

В этом случае струны имеют разные периоды колебаний: электрон представляет собой один вид колебаний, u-кварк - другой тип, нейтрино - третий тип и т.п. Тогда мир оказывается чем-то на подобии звучащей симфонии - каждая частица звучит на своей "ноте".

Рисунок 1 Вибрирующие суперструны составляют все частицы

Такая, вроде бы, небольшая замена точечных частиц на вибрирующие струны позволила устранить основное противоречие современной теоретической физики - противоречие между квантовой механикой и общей теорией относительности.

Теория суперструн не вносит никаких радикальных изменений в существующие законы физики, и это большой плюс, потому что эти законы проверены экспериментально. Однако теория суперструн вносит существенные дополнения в наше понимание реальности. Так известно, что у каждого взаимодействия есть своя частица с помощью которого это взаимодействие переносится. Электромагнитное взаимодействие переносится фотонами, сильное взаимодействие - глюонами, слабое - бозонами. Однако чем переносится гравитация? Почему наши ноги твердо стоят на земле? Почему планеты не улетают от Солнца? Может быть гравитационное взаимодействие тоже переносится частицами? Физики предположили, что такая частица существует, и назвали ее гравитоном. Каково же было удивление ведущих теоретиков, когда в молодой теории суперструн была теоретически получена частица, обладающая нулевой массой и двойным спином (именно такими характеристиками и должен был обладать гравитон). С этого момента и началось широкое признание теории суперструн.

На сегодняшний день у теории суперструн есть следующие теоретические достижения:

* она открыла путь к построению теории гравитации;
* она позволила объединение в единой математической структуре всех четырех фундаментальных взаимодействий (сильное, слабое, электромагнитное и гравитационное) и показала, что это разные проявления одного и того же физического принципа;
* она дала возможность разрешить большинство парадоксов, возникающих при конструировании квантовых моделей черных дыр;
* она дала новый взгляд на происхождение Вселенной и теорию Большого Взрыва.

Однако, все не так просто. Уравнения теории суперструн дают правильные решения только при одном условии - если наше пространство является 11-мерным! Т.е. в дополнение к привычному для нас 4-ех мерному пространству-времени (3 - протяженных пространства и 1 - временное), одновременно должны существовать еще 7 протяженных пространств. Но если наши привычные 4 измерения являются развернутыми, то остальные 7 измерений являются свернутыми и поэтому мы их не видим. Хотя они и существуют в каждой точке нашего пространства. Больше того, дополнительные пространственные измерения не могут быть свернуты произвольным образом: уравнения теории струн существенно ограничивают геометрическую форму, которую они могут принимать. Условиям уравнений удовлетворяет один конкретный класс многомерных геометрических объектов - пространство Калаби-Яу (или многообразие Калаби-Яу). Конечно, изобразить на рисунке это многомерное пространство достаточно сложно, но передать общие черты возможно. На рисунке 2 изображен один из вариантов этого многообразия.

Основной парадокс квантовой гравитации — несовместимость квантового подхода к описанию полевых величин и требования дифференцируемости пространственно-временной метрики (гравитационного поля), кажется, начинает находить свое решение в одной из новейших физических теорий — теории суперструн.

В этой теории элементарные частицы представляются в виде одномерного объекта, похожего на струну. Протяженный объект может колебаться подобно гитарной струне, звуки, которые издает струна при возбуждении (скажем, щипке), определяются ее натяжением и размерами. Частота колебаний определяет высоту звука. Так же и в суперструнах. Существуют моды колебаний суперструн, частота каждой моды определяет частицу и ее энергию. Известные частицы интерпретируются как различные моды колебаний единой струны.

Теория суперструн обладает также суперсимметрией — симметрией, объединяющей частицы с целым спином (к примеру, фотоны) и полуцелым спином (например, электроны) в единую схему. Вообще говоря, с точки зрения физиков, которые занимаются теорией суперструн, она обладает массой достоинств и практически лишена недостатков. С точки зрения других специалистов, у этой теории есть существенный недостаток — ее невозможно (по крайней мере пока) проверить экспериментально в лаборатории. Нельзя в лаборатории — может быть можно проверить, наблюдая Вселенную? Одно из активно развиваемых сейчас приложений теории суперструн — это исследование (теоретическое) их возможных проявлений в ранней Вселенной и в предельных черных дырах — объектах с максимальным гравитационным полем.

Размер (продольный) у одной суперструны мал, он порядка планковского размера 10-33 см. Поэтому с точки зрения современной экспериментальной физики суперструны представляют из себя точечные объекты. Гравитация включается в теорию суперструн естественным образом, как одна из степеней свободы. Поскольку для нашего изложения важно, как именно получается гравитационное взаимодействие из теории суперструн, остановимся на этом специально.

Общая теория относительности, которая в теории суперструн является всего лишь одним из взаимодействий, допускаемых этой теорией, описывает гравитационное поле как искривленный четырехмерный пространственно-временной континуум. Наличие масс определяет кривизну пространства, сами массы движутся в таком пространстве по линиям минимальной длины — геодезическим. Гравитационные уравнения определяют не только структуру пространства, но и движение материи в нем.

В теории суперструн взаимодействия действуют в мире, расширенном до большего числа измерений, например, до девяти пространственных измерений и одного временного. Ясно, что шесть пространственных измерений должны быть «скрыты» от наблюдателя. В обычных условиях мы не должны замечать присутствия дополнительных измерений. Они являются "свернутыми".

Представим себе бублик. В геометрии такая фигура называется тором. У тора есть два радиуса. Первый — «большой», это радиус окружности А. Второй радиуc меньшего размера, это радиус окружности В. Пусть отношение этих радиусов велико, скажем 1060; радиус окружности А составляет 1030 см, а радиус окружности В составляет 10-30 см. Тогда существу, обладающему достаточно большими размерами, скажем, порядка 1 м, и живущему на поверхности тора, будет казаться, что тор одномерен. Это существо не сможет «протиснуться» в дополнительное измерение.

Так же и в мире, который описывается теорией суперструн, дополнительные шесть измерений "маленькие" и "свернутые". Три измерения большие, заведомо больше чем 1028 см, а шесть имеют радиус кривизны не больше чем 10-17 см, а скорее 10-33 см.

В таком мире взаимодействий гораздо больше, чем в привычном нам четырехмерном мире. Многие из них можно отождествить с привычными нам частицами и полями.

Теория суперструн еше очень далека от завершения. Может быть, после построения этой теории физики, наконец, получат теорию, которая является универсальной. Имя для такой теории уже придумали: «Теория всего на свете»; английская аббревиатура этого выражения есть TOE (Theory of Everything).

Основной вопрос к теории суперструн — структура космологической сингулярности (по крайней мере в рамках этой, пусть еше и не доказанной теории) — не решен. Существует ли стационарное образование, которое можно ассоциировать с вакуумным состоянием в этой теории? Ответ на этот вопрос пытаются дать некоторые исследователи. С периодом в несколько лет ответ меняется на противоположный. Происходит так не потому, конечно, что исследователи не слишком старательны, а потому, что проблема является исключительно трудной для решения.

Почему многие космологи считают, что сингулярности необходимо избегать? В сингулярности не применимы любые физические законы и уравнения. По мнению известного российского космолога А. А. Старобинского, в некотором смысле, сингулярность - это отсутствие предсказуемости и конец физических методов в описании нашей Вселенной. Ответ на этот вопрос связан в большей степени с общечеовеческими, а не физическими соображениями. Если наша Вселенная родилась из сингулярности, есть момент творения, значит, существовал творец. Если Вселенная может может находиться в стационарном состоянии (которое описывается, например, теорией суперструн) как угодно долго, а начало процесса расширения - распад из сверхплотного состояния (с плотностью, давлением и температурой порядка планковской или даже выше), аналогичный альфа-распаду ядра, то гипотеза творца является излишней. Однако, повторю, эта проблема остается нерешенной.

По современным представлениям пространство-время в планковских масштабах представляет из себя фантастическую фигуру, больше напоминающую монстра из фильмов ужасов, чем объект физических исследований. Является ли эта картина правильной, покажут будущие исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение курсовой работы хочется подчеркнуть всю неизвестность этого мира, необходимость познания и дальнейшего исследования.

Построение единой теория полей и взаимодействий является задачей фундаментальной физики. Независимо от успехов калибровочных полей в физике остаётся ещё огромное количество нерешённых проблем. Как показывает опыт развития науки, природа часто оказывается сложнее и богаче наших представлений о ней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бояркин О.М. Физика элементарных частиц. - Мн.:БГПУ, 2005 г.

2. Кувшинов В.И., Стражев В.И. От научной гипотезы к научному факту. – Мн., «Наука и техника», 1997 г.

3. Стражев В.И. К тайнам Вселенной. – Мн.:РИВШ, 2006

4. Грин Б., Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории. Пер. с англ./общ.ред. В.О. Малышенко.-М.: Едиториал УРСС, 2004 г.

5. окунь Л.Б. Физика элементарных частиц. – М., 1984 г.

6. Паркер Б., Мечта Эйнштейна. В поисках единой теории строения Вселенной. Пер с англ. В.И. и О.И. Мацарских/ под ред. Я.А. Смородинского). - М.: «Наука 1991 г.