**Доклад** на тему: Теория суперструн

2011 г.

**Содержание**

Введение……………………………………………………………….…….……3

## 1. Основы струнной теории……………………………….....……..............5

## 2. D-браны……………………………………………………………………8

## 3. Дополнительные измерения…………………………………….…..….10

## 4. Дуальность…………………………………………………………….…13

## 5. М-теория……………………………………………………………….…15

## 6. Чёрные дыры………………………………………………………….….18

Заключение………………………………………………………………….……21

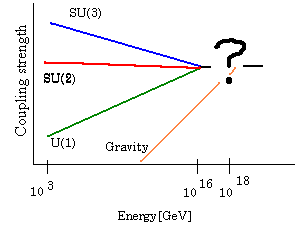
Список использованной литературы………………………………….………..24

## Введение

Струнная теория - одна из наиболее восхитительных и глубоких теорий в современной теоретической физике. К сожалению, это все же достаточно тяжелая для понимания вещь, понять которую можно лишь с позиций квантовой теории поля. Не повредит пониманию и знание математики типа теории групп, дифференциальной геометрии и т.д. Таким образом, для большинства она остается "вещью в себе".

Я выбрала эту тему, потому что струнная теория - динамично развивающаяся область знаний и по сей день; каждый день приносит что-нибудь новое о ней. Эта область знаний достаточно интересна, поскольку мы не сталкиваемся с ней в обыденные дни. Целью данного доклада является проявить интерес слушателей к вопросам, приведенным ниже. Пока мы не знаем точно, описывает ли струнная теория нашу Вселенную, и в каких пределах. Но она вполне может ее описывать, что можно увидеть в данном докладе.

Хотя Стандартная Модель и описывает большинство явлений, которые мы можем наблюдать с использованием современных ускорителей, все же многие вопросы, касающиеся Природы, остаются без ответа. Цель современной теоретической физики состоит как раз в объединении описаний Вселенной. Исторически, этот путь довольно удачен. Например, Специальная Теория Относительности Эйнштейна объединила электричество и магнетизм в электромагнитную силу. В работе Глэшоу, Вайнберга и Салама, получившей Нобелевскую премию 1979 года, показано, что электромагнитное и слабое взаимодействия могут быть объединены в электрослабое. Далее, есть все основания полагать, что все силы в рамках Стандартной Модели в конечном итоге объединяются. Если мы начнем сравнивать сильное и электрослабое взаимодействия, то нам придется уходить в области все больших энергий, пока они не сравняются по силе в районе ГэВ. Гравитация же присоединится при энергиях порядка .



Цель теории струн состоит как раз в объяснении знака "**?**" на диаграмме выше.

Характерный энергетический масштаб для квантовой гравитации называется Планковской массой и выражается через постоянную Планка, скорость света и гравитационную постоянную следующим образом:

Можно предположить, что в своем окончательном виде струнная теория даст ответы на следующие вопросы:



* Каково происхождение известных нам 4-х сил Природы ?
* Почему массы и заряды частиц именно такие, какие они есть ?
* Почему мы живем в пространстве с 4-мя пространственными измерениями ?
* Какова природа пространства-времени и гравитации ?

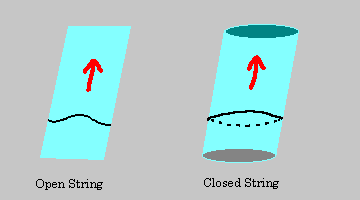
Как раз на эти вопросы я и попытаюсь ответить в своей работе.

## 1.Основы струнной теории

Мы привыкли думать об элементарных частицах (типа электрона) как о точечных 0-мерных объектах. Несколько более общим является понятие фундаментальных струн как 1-мерных объектов. Они бесконечно тонкие, а длина их порядка . Но это просто ничтожно мало по сравнению с длинами, с которыми мы обычно имеем дело, так что можно считать, что они практически точечные. Но, как мы увидим, их струнная природа довольно важна.

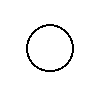


Струны бывают открытыми и замкнутыми. Двигаясь в пространстве-времени, они покрывают поверхность, называемую мировым листом.



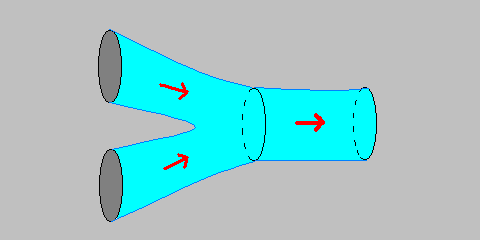
Эти струны имеют определенные колебательные моды, которые определяют присущие частице квантовые числа, такие, как масса, спин, и т.д.. Основная идея состоит в том, что каждая мода несет в себе набор квантовых чисел, отвечающих определенному типу частиц. Это и есть окончательное объединение - все частицы могут быть описаны через один объект - струну !

В качестве примера рассмотрим замкнутую струну, которая выглядит так:

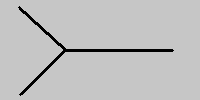


Такая струна отвечает безмассовому гравитону со спином 2 - частице, переносящей гравитационное взаимодействие. Кстати, это одна из особенностей струнной теории - она естественно и неизбежно включает в себя гравитацию как одно из фундаментальных взаимодействий.

Струны взаимодействуют путем деления и слияния. Например, аннигиляция двух замкнутых струн в одну замкнутую выглядит следующим образом:



Отметим, что поверхность мирового листа - гладкая поверхность. Из этого следует еще одно "хорошее" свойство струнной теории - в ней нет ряда расходимостей, присущих квантовой теории поля с точечными частицами. Фейнмановская диаграмма для такого же процесса

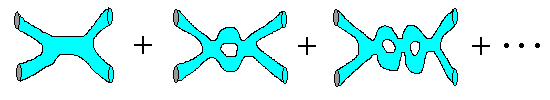


содержит топологическую сингулярность в точке взаимодействия.

Если мы "склеим" два простейших струнных взаимодействия между собой, то получим процесс, в котором две замкнутые струны взаимодействуют через объединение в промежуточную замкнутую струну, которая потом опять распадается на две:



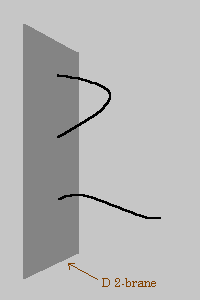
Этот основной вклад в процесс взаимодействия называется *древесным приближением*. Для того, чтобы вычислить квантовомеханические амплитуды процессов используя теорию возмущений, добавляют вклады от квантовых процессов высших порядков. Теория возмущений дает хорошие результаты, так как вклады становятся все меньше и меньше, когда мы используем все более высшие порядки. Даже если вычислить лишь первые несколько диаграмм, то можно получить достаточно точные результаты. В струнной теории высшие порядки отвечают большему числу дыр (или "ручек") на мировых листах.



Хорошо в этом подходе то, что каждому порядку теории возмущения соответствует только одна диаграмма (например, в теории поля с точечными частицами число диаграмм растет экспоненциально в высших порядках). Плохо же то, что точные расчеты диаграмм с более чем двумя дырами очень сложны по причине сложности математического аппарата, используемого при работе с подобными поверхностями. Теория возмущений очень полезна при исследовании процессов со слабой связью, и большая часть открытий в области физики элементарных частиц и струнной теории связана именно с ней. Однако, все это еще далеко от завершения. Ответы на самые глубокие вопросы теории можно будет получить лишь после того, как будет завершено точное описание этой теории.

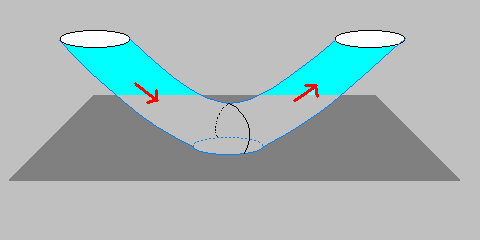
## 2.D-браны

У струн могут быть совершенно произвольные условия на границе. Например, замкнутая струна имеет периодичные граничные условия (струна "переходит сама в себя"). У открытых же струн могут быть два типа граничных условий - условия Неймана и условия Дирихле. В первом случае конец струны может свободно двигаться, правда, не унося при этом импульса. Во втором же случае конец струны может двигаться по некоторому многообразию. Это многообразие и называется D-браной или Dp-браной (при использовании второго обозначения 'p' - целое число, характеризующее число пространственных измерений многообразия). Пример - две струны, у которых один или оба конца закреплены на 2-мерной D-бране или D2-бране:



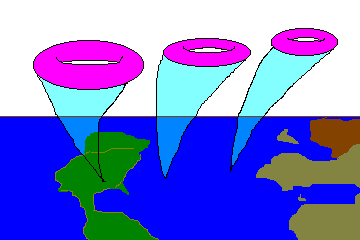
D-браны могут иметь число пространственных измерений от -1 до числа пространственных измерений нашего пространства-времени. Например, в теории суперструн 10 измерений - 9 пространственных и одно временное. Таким образом, в суперструнах максимум что может существовать, это D9-брана. Отметим, что в этом случае концы струн фиксированы на многообразии, покрывающем все пространство, поэтому они могут двигаться везде, так что на самом-то деле наложено условие Неймана ! В случае p=-1 все пространственные и временные координаты фиксированы, и такая конфигурация называется инстантоном или D-инстантоном. Если p=0, то все пространственные координаты фиксированы, и конец струны может существовать лишь в одной единственной точке в пространстве, так что D0-браны зачастую называют D-частицами. Совершенно аналогично D1-браны называют D-струнами. Кстати, само слово 'брана' произошло от слова 'мембрана', которым называют 2-мерные браны, или 2-браны.

В действительности D-браны динамичны, они могут флуктуировать и двигаться. Например, они взаимодействуют гравитационно. На диаграмме ниже можно видеть, как одна замкнутая струна (в нашем случае гравитон) взаимодействует с D2-браной. Особо стоит отметить тот факт, что при взаимодействии замкнутая струна становится открытой с обоими концами на D-бране.   
  
Так что, струнная теория это нечто большее, чем просто теория струн.



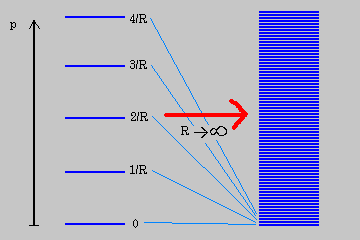
## 3.Дополнительные измерения

Суперструны существуют в 10-мерном пространстве-времени, в то время как мы живем в 4-мерном. И если суперструны описывают нашу Вселенную, нам необходимо как-то связать между собой два эти пространства. Для этого свернем 6 измерений до очень маленького размера. Если при этом размер компактного измерения окажется порядка размера струн (), то мы из-за малости этого измерения попросту не сможем никак его напрямую увидеть. В конечном итоге мы получим наше (3+1)-мерное пространство, в котором каждой точке нашей 4-мерной Вселенной отвечает крохотное 6-мерное пространство. Очень схематично это представлено на картинке снизу:



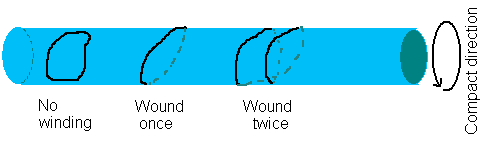
На самом деле это довольно старая идея, которая восходит к работам Калуцы (Kaluza) и Клейна (Klein) 1920-х годов. При этом описанный выше механизм называют теорией Калуцы-Клейна или компактификацией. В самой работе Калуцы показано, что если мы возьмем теорию относительности в 5-мерном пространстве-времени, затем свернем одно измерение в окружность, то получим 4-мерное пространство-время с теорией относительности плюс электромагнетизм ! А так получается из-за того, что электромагнетизм это U(1) калибровочная теория. U(1) это группа вращений вокруг точки на плоскости. Механизм Калуцы-Клейна дает простую геометрическую интерпретацию этой окружности - это то самое свернутое пятое измерение. Хотя свернутые измерения и малы для прямого детектирования, тем не менее они могут иметь глубокий физический смысл. [Совершенно случайно просочившись в прессу, работа Калуцы и Клейна вызвала много разговоров по поводу пятого измерения.]

Как мы сможем узнать, есть ли на самом деле дополнительные измерения и как мы сможем их "почуствовать", имея ускорители с достаточно высокими энергиями ? Из квантовой механики известно, что если пространство периодично, то импульс квантован: , тогда как если пространство неограниченно, то спектр значений импульса непрерывен. Если уменьшать радиус компактификации (размер дополнительных измерений), то диапазон дозволенных значений импульса будет увеличиваться. Так получают башню состояний импульса - башню Калуцы Клейна.



А если радиус окружности взять очень большим ("декомпактифицируем" измерение), то диапазон возможных значений импульса будет довольно узким, но будет "почти-непрерывным". Такой спектр будет похож на спектр масс мира без компактификаций. Например, безмассовые в большем числе измерений состояния в меньшем числе измерений будут выглядеть именно как описанная выше башня состояний. Тогда должен наблюдаться "набор" частиц с массами, равноотстоящими друг от друга. Правда, для того, чтобы "увидеть" самые массивные частицы, необходимы ускорители, значительно лучшие тех, которыми мы сейчас располагаем.

У струн есть еще одно замечательное свойство - они могут "наматываться" на компактифицированное измерение, что приводит к появлению оборотных мод в спектре масс. Замкнутая струна может обернуться вокруг компактифицированного измерения целое число раз. Аналогично случаю Калуцы-Клейна они дают вклад в импульс как . Существенная разница состоит как раз в другой связи с радиусом компактификации . В этом случае для малых размеров дополнительных измерений оборотные моды становятся очень легкими !



Теперь нам необходимо перейти к нашему 4-мерному пространству. Для этого нам нужна 10-мерная суперструнная теория на 6-мерном компактном многообразии. Естественно, что при этом описанная выше картина становится более сложной. Проще всего положить, что все эти 6 измерений - 6 окружностей, таким образом все они представляют собой 6-мерный тор. Более того, такая схема позволяет сохранить суперсимметрию. Считается, что некоторая суперсимметрия существует и в нашем 4-мерном пространстве на энергетических масштабах порядка 1 ТэВ (именно на этих энергиях последнее время и ищут суперсимметрию на современных ускорителях). Для того, чтобы сохранить минимальную суперсимметрию, N=1 в 4-мерии, компактифицировать надо на специальном 6-мерном многообразии, именуемом многообразием Калаби-Йо (Calabi-Yau manifold).

Свойства многообразий Калаби-Йо могут иметь важные приложения к физике низких энергий - к частицам, которые мы наблюдаем, их массам и квантовым числам, а также к числу поколений частиц. Проблемой тут является то, что, вообще говоря, существует огромное множество многообразий Калаби-Йо, и мы не знаем, какое из них надо использовать. В этом смысле, имея фактически одну 10-мерную струнную теорию мы получаем, что 4-мерная теория становится совсем не единственно возможной, по крайней мере, на нашем (еще неполном) уровне понимания. "Струнные люди" (ученые, работающие в области струнных теорий) возлагают надежды на то, что обладая полной непертурбативной теорией струн (теорией, НЕ построенной на возмущениях, описанных несколько выше), мы сможем объяснить, как Вселенная перешла от 10-мерной физики, которая, возможно, имела место в течении высокоэнергетического периода сразу после Большого Взрыва, к 4-мерной, с которой мы имеем дело сейчас. [Иными словами, что мы найдем единственное многообразие Калаби-Йо.] Андрей Стромингер (Andrew Strominger) показал, что многообразия Калаби-Йо можно непрерывно связать друг с другом посредством конических преобразований (conifold transitions) и, таким образом, можно двигаться между различными многообразиями Калаби-Йо, меняя параметры теории. Но это предполагает возможность того, что различные 4-мерные теории, возникающие от различных многообразий Калаби-Йо, являются различными фазами одной теории.

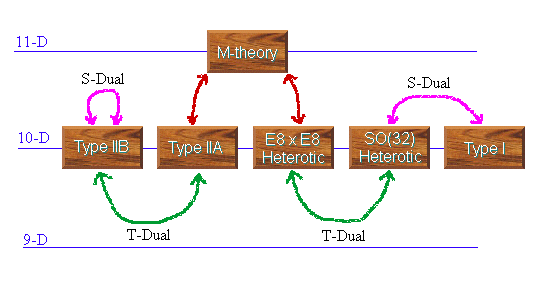
## 4.Дуальность

Пять описанных выше суперструнных теорий оказываются очень различными с точки зрения слабо-связанной пертурбативной теории (теории возмущений, развитой выше). Но на самом деле, как выяснилось в последние несколько лет, они все связаны между собой различными струнными дуальностями. Назовем теории дуальными, если они описывают одну и ту же физику.

Первый тип дуальности, которую мы тут обсудим, - Т-дуальность (T-duality). Такой тип дуальности связывает теорию, компактифицированную на окружности радиуса , с теорией, компактифицированной на окружности радиуса . Таким образом, если в одной теории пространство свернуто в окружность малого радиуса, то в другой оно будет свернуто в окружность большого радиуса, но обе они будут описывать одну и ту же физику ! Суперструнные теории типа IIA и типа IIB связаны через Т-дуальность, SO(32) и E8 x E8 гетеротические теории также связаны через нее.



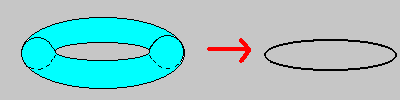
Еще одна дуальность, которую мы рассмотрим - S-дуальность. Проще говоря, эта дуальность связывает предел сильной связи одной теории с пределом слабой связи другой теории. (Отметим, что при этом слабо связанные описания обоих теорий могут очень сильно различаться.) Например, SO(32) Гетеротическая струнная теория и теория Типа I S-дуальны в 10-мерии. Это означает, что в пределе сильной связи SO(32) Гетеротическая теория переходит в теорию Типа I в пределе слабой связи и наоборот. Найти же свидетельства дуальности между сильным и слабым пределами можно, сравнив спектры легких состояний в каждой из картин и обнаружив, что они согласуются между собой. Например, в струнной теории Типа I есть D-струна, которая тяжелая при слабой связи и легкая при сильной. Эта D-струна переносит те же легкие поля, что и мировой лист SO(32) Гетеротической струны, так что когда теория Типа I очень сильно связана, D-струна становится очень легкой и мы попросту увидим, что описание становится таким же, как и через слабо связанную Гетеротическую струну. Другой S-дуальностью в 10-мерии является самодуальность IIB струн: сильно связанный предел IIB струны это попросту другая IIB теория, но слабо связанная. В IIB теории тоже есть D-струна (правда, более суперсимметричная, нежели D-струны теории Типа I, так что и физика тут другая), которая становится легкой при сильной связи, но эта D-струна также является другой фундаментальной струной теории Типа IIB.



Дуальности между различными струнными теориями являются свидетельством того, что все они попросту различные пределы одной теории. Каждый из пределов имеет свою применимость, и различные пределы разных описаний пересекаются.

## 5.М-теория

При низких энергиях М-теория описывается теорией, называемой 11-мерной супергравитацией. В этой теории есть мембрана и пятьбрана в качестве солитонов, но нет струн. Как же нам можно тут получить уже полюбившиеся нам струны ? Можно компактифицировать 11-мерную М-теорию на окружности малого радиуса для получения 10-мерной теории. Тогда если наша мембрана имела топологию тора, то сворачивая одну из этих окружностей, мы получим замкнутую струну ! В пределе, когда радиус очень мал, мы получаем суперструну Типа IIA.

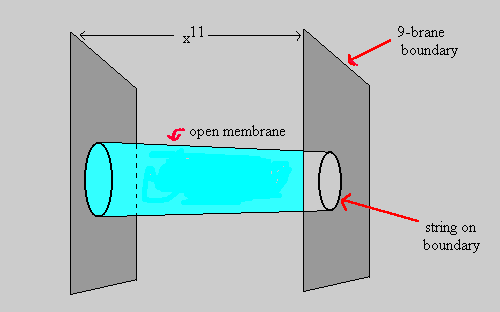


Но как мы узнаем, что М-теория на окружности даст именно суперструну Типа IIA, а не IIB или гетеротические суперструны ? Ответ на этот вопрос можно получить после тщательного анализа безмассовых полей, которые мы получаем в результате компактификации 11-мерной супергравитации на окружности. Другой простой проверкой может быть обнаружение того, что D-брана из М-теории уникальна для IIA теории. Вспомним, что IIA теория содержит D0, D2, D4, D6, D8-браны и NS пятьбрану. Следующая таблица обобщает все вышесказанное:

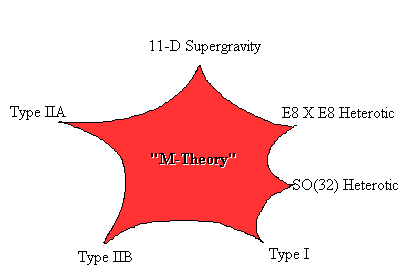
|  |  |
| --- | --- |
| **M-теория на окружности** | **IIA в 10-мерии** |
| Мембрана, свернутая на окружности | IIA суперструна |
| Мембрана, уменьшенная до нулевого размера | D0-брана |
| развернутая мембрана | D2-брана |
| Свернутая на окружности пятьбрана | D4-брана |
| развернутая пятьбрана | NS пятьбрана |

Тут опущены D6 и D8-браны. D6-брану можно проинтерпретировать как "монополь Калуцы-Клейна", который представляет собой специальное решение 11-мерной супергравитации при компактификации на окружность. D8-брана не имеет ясной интерпретации в терминах М-теории, это все еще открытый вопрос.

Другой путь для получения согласованной 10-мерной теории - компактификация М-теории на маленький отрезок. Это означает, что мы предполагаем, что одно из измерений (11-е) имеет конечную длину. При этом концы отрезка определяют границы 9 пространственных измерений. На этих границах можно построить открытую мембрану. Так как пересечение мембраны с границей - струна, то можно видеть, что (9+1)-мерный "мировой объем" (worldvolume) может содержать струны, "торчащие" из мембраны. После всего этого, чтобы избежать аномалий, необходимо, чтобы каждая из границ несла на себе E8 калибровочную группу. Следовательно, если сделаем пространство между границами очень маленьким, мы получим 10-мерную теорию со струнами и E8 x E8 калибровочной группой. А это и есть E8 x E8 гетеротическая струна !

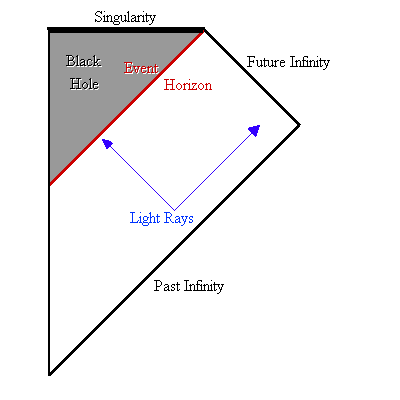


Таким образом, рассматривая разные условия и разные дуальности между струнными теориями, мы придем к тому, что в основе всего этого лежит одна теория - **М-теория**. При этом пять суперструнных теорий и 11-мерная супергравитация являются ее классическими пределами. Первоначально мы пытались получить соответственные квантовые теории, "расширяя" классические пределы, используя пертурбативную теорию (теорию возмущений). Однако пертурбативная теория имеет свои пределы применимости, так что, изучая непертурбативные аспекты этих теорий, используя дуальности, суперсимметрию, и т.д. мы приходим к заключению, что все они объединены одной единственной квантовой теорией. Эта единственность очень привлекательна, так что работа над построением полной квантовой М-теории идет полным ходом.



## 6.Черные дыры

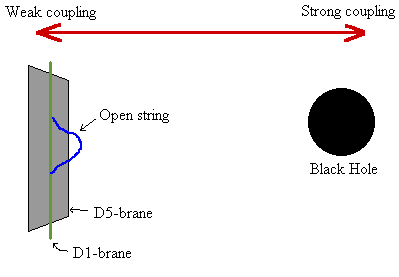
Классическое описание гравитации - Общая Теория Относительности (ОТО) - содержит решения, называемые "черные дыры" (ЧД). Существует довольно много типов черных дыр, но все они показывают сходные общие свойства. Горизонт событий это поверхность в пространстве-времени, которая, проще говоря, отделяет область внутри ЧД от области вне ее. Гравитационное притяжение ЧД настолько велико, что ничто, даже свет, проникнув под горизонт, не может вырваться назад. Таким образом, классические ЧД могут быть описаны лишь используя такие параметры как масса, заряд и угловой момент.



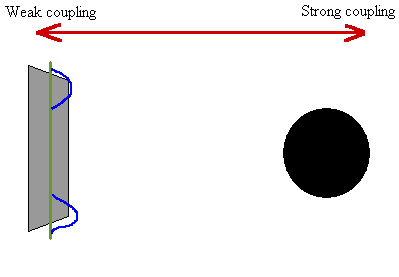
(объяснение диаграммы Пенроуза)

Черные дыры - хорошие лаборатории по изучению струнных теорий, поскольку эффекты квантовой гравитации важны даже для достаточно больших черных дыр. Черные дыры на самом деле не "черные", поскольку они излучают ! Используя полуклассические аргументы, Стивен Хокинг показал, что ЧД излучают тепловое излучение со своего горизонта. Так как струнная теория, помимо всего прочего еще и теория квантовой гравитации, она в состоянии согласованно описать ЧД. А еще есть ЧД, удовлетворяющие уравнению движения для струн. Эти уравнения схожи с уравнениями из ОТО, но в них есть некоторые дополнительные поля, пришедшие туда из струн. В суперструнных теориях есть специальные решения типа ЧД, которые сами по себе еще и суперсимметричны.

Одним из самых драматичных результатов в струнной теории был вывод формулы для энтропии Бекенштейна-Хокинга ЧД, полученный из рассмотрения микроскопических струнных состояний, формирующих ЧД. Бекенштейн отметил, что ЧД подчиняются "закону площадей", dM = K dA, где 'A' - площадь горизонта а 'K' - константа пропорциональности. Так как полная масса ЧД это ее энергия покоя, то ситуация очень похожа на термодинамику: dE = T dS, что показал Бекенштейн. Хокинг позднее в полуклассическом приближении показал, что температура ЧД равна T = 4k, где 'k' - константа, именуемая "поверхностной гравитацией". Таким образом, энтропия ЧД может быть переписана как . Более того, не так давно Стромингер (Strominger) и Вафа (Vafa) показали, что эта формула для энтропии может быть получена микроскопически (вплоть до фактора 1/4), используя вырождение квантовых состояний струн и D-бран, соответствующих определенным суперсимметричным ЧД в струнной теории. К слову, D-браны дают на малых расстояниях описание как при слабой связи. Например, ЧД, рассмотренные Стромингером и Вафой, описываются 5-бранами, 1-бранами и открытыми струнами, "живущими" на 1-бране, все свернутые в 5-мерный тор, что эффективно дает 1-мерный объект - ЧД.



При этом хокинговское излучение можно описать в рамках этой же структуры, но если открытые струны могут "путешествовать" в обоих направлениях. Открытые струны взаимодействуют между собой и излучение испускается в форме замкнутых струн.



Точные вычисления показывают, что для одних и тех же типов ЧД струнная теория дает те же предсказания, что и полуклассическая супергравитация, включая нетривиальную поправку, зависящую от частоты и называемую "параметром серости" (greybody factor).

## Заключение

Различные версии теории струн сегодня рассматриваются в качестве главных претендентов на звание всеобъемлющей универсальной теории, объясняющей природу всего сущего. А это — своего рода Священный Грааль физиков-теоретиков, занимающихся теорией элементарных частиц и космологии. Универсальная теория (она же *теория всего сущего*) содержит всего несколько уравнений, которые объединяют в себе всю совокупность человеческих знаний о характере взаимодействий и свойствах фундаментальных элементов материи, из которых построена Вселенная. Сегодня теорию струн удалось объединить с концепцией *суперсимметрии*, в результате чего родилась *теория суперструн*, и на сегодняшний день это максимум того, что удалось добиться в плане объединения теории всех четырех основных взаимодействий (действующих в природе сил). Сама по себе теория суперсимметрии уже построена на основе априорной современной концепции, согласно которой любое дистанционное (полевое) взаимодействие обусловлено обменом частицами-носителями взаимодействия соответствующего рода между взаимодействующими частицами (Стандартная модель). Для наглядности взаимодействующие частицы можно считать «кирпичиками» мироздания, а частицы-носители — цементом.

В рамках стандартной модели в роли кирпичиков выступают кварки, а в роли носителей взаимодействия — *калибровочные бозоны*, которыми эти кварки обмениваются между собой. Теория же суперсимметрии идет еще дальше и утверждает, что и сами кварки и лептоны не фундаментальны: все они состоят из еще более тяжелых и не открытых экспериментально структур (кирпичиков) материи, скрепленных еще более прочным «цементом» сверхэнергетичных частиц-носителей взаимодействий, нежели кварки в составе адронов и бозонов. Естественно, в лабораторных условиях ни одно из предсказаний теории суперсимметрии до сих пор не проверено, однако гипотетические скрытые компоненты материального мира уже имеют названия — например, сэлектрон (суперсимметричный напарник электрона), скварк и т. д. Существование этих частиц, однако, теориями такого рода предсказывается однозначно.

Картину Вселенной, предлагаемую этими теориями, однако, достаточно легко представить себе наглядно. В масштабах порядка 10–35 м, то есть на 20 порядков меньше диаметра того же протона, в состав которого входят три связанных кварка, структура материи отличается от привычной нам даже на уровне элементарных частиц. На столь малых расстояниях (и при столь высоких энергиях взаимодействий, что это и представить немыслимо) материя превращается в серию полевых стоячих волн, подобных тем, что возбуждаются в струнах музыкальных инструментов. Подобно гитарной струне, в такой струне могут возбуждаться, помимо основного тона, множество обертонов или гармоник. Каждой гармонике соответствует собственное энергетическое состояние. Согласно принципу относительности (Теория относительности), энергия и масса эквивалентны, а значит, чем выше частота гармонической волновой вибрации струны, тем выше его энергия, и тем выше масса наблюдаемой частицы.

Однако, если стоячую волну в гитарной струне представить себе наглядно достаточно просто, стоячие волны, предлагаемые теорией суперструн наглядному представлению поддаются с трудом — дело в том, что колебания суперструн происходят в пространстве, имеющем 11 измерений. Мы привыкли к четырехмерному пространству, которое содержит три пространственных и одно временное измерение (влево-вправо, вверх-вниз, вперед-назад, прошлое-будущее). В пространстве суперструн всё обстоит гораздо сложнее. Физики-теоретики обходят скользкую проблему «лишних» пространственных измерений, утверждая, что они «скрадываются» (или, научным языком выражаясь, «компактифицируются») и потому не наблюдаются при обычных энергиях.

Совсем уже недавно теория струн получила дальнейшее развитие в виде теории многомерных мембран — по сути, это те же струны, но плоские. Как походя пошутил кто-то из ее авторов, мембраны отличаются от струн примерно тем же, чем лапша отличается от вермишели.

Вот, пожалуй, и всё, что можно вкратце рассказать об одной из теорий, не без основания претендующих на сегодняшний день на звание универсальной теории Великого объединения всех силовых взаимодействий. Увы, и эта теория небезгрешна. Прежде всего, она до сих пор не приведена к строгому математическому виду по причине недостаточности математического аппарата для ее приведения в строгое внутреннее соответствие. Прошло уже 20 лет, как эта теория появилась на свет, а непротиворечиво согласовать одни ее аспекты и версии с другими так никому и не удалось. Еще неприятнее то, что никто из теоретиков, предлагающих теорию струн (и, тем более суперструн) до сих пор не предложил ни одного опыта, на котором эти теории можно было бы проверить лабораторно. Увы, боюсь, что до тех пор, пока они этого не сделают, вся их работа так и останется причудливой игрой фантазии и упражнениями в постижении эзотерических знаний за пределами основного русла естествознания.

**Список использованной литературы**.

1. Бринк Л., Энно М. Принципы теории струн. М., 1991.
2. В Рубаков В. Большие и бесконечные дополнительные измерения // Успехи физических наук. 2001. № 171.
3. М. Сажин. Загадки космических струн // Наука и жизнь №4 1997