**I. Введение.**

Первоначальной основой любой физической теории служат наблюдения, и успех или неудача теории зависит от степени совпадения теоретических выкладок с наблюдениями и экспериментами. Однако по мере продвижения науки в область более фундаментальных явлений, которые невозможно непосредственно наблюдать, значительную роль начинает играть математическая структура теории. Теория, обобщающая то, что известно о мире на сегодняшней день, все равно была бы не совсем общей. Она бы лишь отыскивала наиболее фундаментальные объекты, пытаясь с их помощью объяснить единую природу четырех известных взаимодействий (сильного, слабого, электромагнитного и гравитационного)

Стандартная Модель описывает большинство явлений, которые мы можем наблюдать с использованием современных технических средств, но многие вопросы Природы остаются без ответа. Цель современной теоретической физики состоит в объединении описаний всех процессов 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. Сегодня есть все основания полагать, что все силы в рамках Стандартной Модели в конечном итоге объединяются. Сравнивая сильное и электрослабое взаимодействия, нам придется уйти в область больших энергий, и эти взаимодействия сравняются по силе в районе  ГэВ. Гравитация также сравняется с ними при энергиях порядка ГэВ.

Цель теории струн состоит в объяснении объединения взаимодействий.

**II. Струны.**

Говоря о фундаментальной теории, обычно подразумевают квантовую теорию, описываемую уравнениями квантовой механики. Однако уравнения описывающие гравитационное поле (четвертое взаимодействие) - классические, а не квантовые. Они служат приближением к истинным квантовым уравнениям и перестают работать, если расстояние между объектами очень мало или их энергии слишком велики. Классические гравитационные уравнения (в Общей Теории Относительности) на маленьких расстояниях (~) перестают описывать реально протекающие процессы. Однако с квантованием гравитации у ученых возникли проблемы, решить которые им не удается и по сей день, хотя такое явление как электромагнетизм легко квантуется. Разрабатываемые теории содержали противоречия. Гравитация описывает не свойства пространства-времени, а непосредственно его физическую сущность. Для устранения противоречий, ученые математики и физики сделали предположение о существовании струн, создав новую теорию.

Вместо точечных объектов - частиц – эта теория оперирует протяженными объектами - струнами. Струна не материальна, тем не менее, ее можно представлять себе приближенно в виде некой натянутой нити, веревки, или, например, скрипичной струны, находящейся в десятимерном пространстве-времени. При этом надо помнить что струна - фундаментальный объект, который ни из чего не состоит (ее нельзя разделить на несколько меньших объектов). Струны могут быть замкнутыми или незамкнутыми (открытыми). Колебания струны (как и колебания струн у гитары) могут происходить с разными частотами (гармониками), начиная с некоторой низшей (основной) частоты. Фундаментальность открытия в том, что на достаточно большом расстоянии от струны ее колебания воспринимаются как частицы, и колеблющаяся струна с некоторой комбинацией основных гармоник (как и у реальной струны) порождает множество, целый спектр разных частиц. На большом расстоянии от струны Частицы выглядят как кванты известных полей – гравитационного и электромагнитного. Отсюда возникает представление о том, что частицы в квантовых теориях - не кусочки вещества, а определенные состояния более общей сущности - поля. Масса частиц - полей возрастает по мере увеличения частоты породивших их колебаний.

Но зададимся вопросом - а является ли описание струны последовательно математическим? Для избежания противоречия теория струн должна быть построена особым образом. Итак: теория очень быстро приходит к внутреннему противоречию, если размерность пространства - времени не равна 26.

Распространяясь в 26-мерном пространстве – времени, струна, как объект одномерный, рисует поверхность, называемую мировым листом (по аналогии с мировой линией, которую рисует частица в 4-мерном пространстве - времени). Мировые листы замкнутых и незамкнутых струн различаются. Двумерная поверхность мирового листа служит “ареной”, на которой может происходить какой-либо процесс. Например, на ней могут существовать двумерные (не наблюдаемые непосредственно) поля. Свойства струны в значительной степени зависят от конкретных частиц, находящихся на мировом листе, образованном ей. Пока струна существует в 26-мерном пространстве - времени, на ней ничего нет, но если что-то появится, она, возможно, сможет существовать в пространстве с меньшим количеством измерений. Если рассматривать так называемую простую или бозонную струну, степени свободы возникающих на листе) двумерных полей в определенном смысле играют роль недостающих пространственных размерностей и тем самым в пространствах меньшей размерности восстанавливают 26-мерность.

Существуют и другие условия непротиворечивости струнной теории. Низшие гармоники соответствуют частицам, не имеющим массы. Оказалось, что самая низкая гармоника бозонной струны должна восприниматься как частица мнимой массы - тахион. Эти частицы должны двигаться со скоростью, превышающей скорость света, что не может не вызывать сомнений у ученых. Появление тахионов в физической системе струны приводит к ее нестабильности, а точнее - тахионы очень быстро забирают из системы всю энергию и переносят ее в другие области пространства. При их появлении можно говорить о нестабильности системы и неизбежном распаде на состояния, лишенные тахионов.

Таким образом, теория самых простых (бозонных) струн оказалась несостоятельной и возникла необходимость ее перестройки.

**III. Суперструны.**

Существует теория, базирующаяся на предыдущей и основанная на суперсимметрии. Чтобы понять, в чем она заключается, нужно уяснить смысл термина «измерение». Под измерением понимают некие характеристики системы. Классический пример - кубики разных цветов. Цвет можно принять за дополнительное измерение к общеизвестным трём - высоте, длине и ширине. Симметрия - это инвариантность относительно некоторых преобразований. С повышением температуры системы уровень её симметричности повышается. Иначе говоря, растет хаотичность, неупорядоченность и уменьшается число параметров, пригодных для описания этой системы. Таким образом, теряется информация, которая позволяет различить две любые точки внутри системы. Например, на ранних этапах своей жизни физическая вселенная была очень горячей (ее температура была миллионы миллиардов градусов) и в ней существовала симметрия, но с понижением температуры (сейчас средняя температура вселенной около трёх градусов по Кельвину) симметричность нарушается.

Все «элементарные» частицы делятся на два класса — бозоны и фермионы. Первые, например фотон и гравитон, могут собираться вместе в большие скопления, в отличие от них каждый фермион должен подчиняться принципу Паули. К фермионам относится в частности электрон. Различия физического поведения разных типов частиц требуют различного математического описания.

И бозоны, и фермионы могут сосуществовать в одной физической системе, и такая система может обладать особым видом симметрии — суперсимметрией. Она отображает бозоны в фермионы и обратно. Для этого, естественно, требуется равное количество обоих видов частиц, но этим условия суперсимметрии не ограничиваются. Суперсимметричные системы могут существовать только в так называемом суперпространстве. Оно отличается от обычного пространства-времени наличием называемых фермионных координат и преобразования суперсимметрии в нем похожи на вращения и сдвиги в обычном пространстве. В суперпространстве частицы и поля представляются набором частиц и полей обычного пространства, со строго фиксированным количественным соотношением бозонов и фермионов и их характеристик (спин и т. п.). Входящие в такой набор частицы-поля называют суперпартнёрами.

Суперпартнеры «сглаживают» друг друга. Это явление, наряду с особенностями геометрии суперпространств, значительно затрудняет объяснение процессов, происходящих в суперпространствах, с точки зрения квантовой теории. Струны, существующие в суперпространстве, называются суперструнами. Иными словами, струна в обычном пространстве, на мировом листе которой существует определенный набор фермионных полей, и есть суперструна.

Суперсимметрия накладывает определенные ограничения на поведение суперструн. В суперпространстве не может возникнуть тахионов, так как из-за его свойств у тахиона не может быть суперпартнера. Кроме того, благодаря суперсимметрии, возникает такое состояние, в котором суперструна избавлена от противоречий. Размерность такого пространства оказывается равной 10. Причем фермионы населяют мировой лист суперструны уже в выделенной 10-размерности и именно их присутствие делает струну суперсимметричной.

В 10-мерном пространстве, на достаточном расстоянии от струны возникает суперсимметричный вариант гравитации, названный супергравитацией. Оказалось, что супергравитация возможна только при условии, что размерности пространства-времени находятся в пределах от 2-х до 11-ти. Десятимерные теории супергравитации представляют собой предел, к которому сводится теория суперструн на больших расстояниях, а супергравитации в пространствах меньшей размерности получаются из десятимерных.

Таким образом, известные ранее теории поля оказались пределом теории суперструн, а их симметрии частью симметрии струнной теории. Однако, 11-мерная супергравитация представляется здесь лишней, и поэтому не вполне понятной.

Какое же взаимодействие четырехмерной физики и теории суперструн возможно в десятимерии? Идея взаимного влияния пространств различной размерности называется теорией Калуцы-Клейна. Рассмотрим самый простой случай — приведение пятимерного мира к четырехмерному. Для этого в пятимерии нужно рассматривать не «плоское» пространство, а пространство, представленное в виде «цилиндра», т. е. считать одно из измерений свернутым в кольцо. Скрученный в тонкую полоску лист бумаги больше похож на линию, чем на плоскость, а линия — одномерное пространство. Но все же он остается именно трубкой. Но представим, что по этому листу бумаги движутся какие-то частицы. Пока лист не скручен или радиус трубки не слишком мал, эти частицы движутся во всех направлениях. По мере того, как радиус цилиндра уменьшается, частицы движутся вокруг трубки все быстрее и быстрее, а их движение вдоль трубки остается без изменения и происходит с той же скоростью, что и на плоском листе. Если диаметр трубки приближается к размеру самой частицы, время, за которое частица проходит полный круг настолько мало, что мы не можем его фиксировать, нам кажется, что она движется только вдоль «плоского» направления, вдоль трубки. Таким образом, двумерное пространство свелось к одномерному. В действительности движение по измерениям, закрученным в кольцо, не удаётся заметить, так как действует принцип неопределённости. Чем меньше размеры окружности, тем больше энергии нужно затратить, чтобы частица двигалась по ней. Поэтому, как только измерения сворачиваются в маленькие окружности, не хватает энергии, чтобы заставить частицу двигаться по ней, таким образом, это измерение как бы исчезает.

Мы знаем, что частицы в микромире — это кванты соответствующих полей, и последовательное описание их взаимодействий осуществляется исходя из этого утверждения. Поля могут иметь сотни различных компонент и, как правило, их тем больше, чем выше размерность пространства-времени. Компоненты — это как бы отдельные поля, но они все собраны в единую структуру и не обладают без неё абсолютной самостоятельностью. Например, электромагнитное поле в 4-мерном пространстве имеет четыре компоненты. Две из них ненаблюдаемы, а другие две соответствуют двум направлениям поляризации фотона. Если представить, что поле существует в пространстве, одно или несколько измерений которого свернуты в маленькие окружности (или просто свёрнуты), то есть в эффективном пространстве меньшей размерности, это поле должно будет преобразовать себя так, чтобы число компонент уменьшилось до количества, ожидаемого от него в новом пространстве меньшей размерности. Лишние компоненты поля при этом оказываются полностью независимыми, самостоятельными и выступают как новые поля.

Суть теории Калуцы-Клейна состоит в том, что некоторые наборы вроде бы никак не связанных полей в четырёхмерном пространстве могут оказаться осколками единого поля в пространстве более высокой размерности. У существующих в 10 и 11-мерных пространствах полей достаточно компонентов, чтобы упаковать в них все поля, имеющиеся в четырехмерии. Но как объяснить, почему десятимерие распалось именно на 4 + 6 измерения, а не, например, 3 + 7 или 5 + 5?

На сегодняшний день неизвестно, как осуществляется выбор между разными вариантами скрутки и разбивки. Однако возможности такого выбора встроены в теорию суперструн, поскольку суперструны порождают гравитацию, которая и определяет геометрию пространства-времени. Можно определить, может ли то или иное шестимерное пространство быть отобранным суперструной, чтобы из десятимерия получился наблюдаемый четырехмерный мир. Определяющим критерием для этого служит суперсимметрия — не во всяком пространстве может существовать суперструна, структура шестимерия должна быть согласована со свойствами наблюдаемого мира. Дело в том, что при скручивании лишних измерений в очень маленькие пространства, свойства теории в остающихся измерениях отражают некоторые геометрические характеристики этих пространств.

От наблюдаемых свойств элементарных частиц (при доступных малых энергиях в ускорителях) переходят к теории суперструн, экстраполируя эти свойства на очень высокие энергии (не доступные пока, но существенные для струнного описания). В рамках струнной формулировки теории ученые пытаются понять, каковы механизмы, «переводящие» струнные сущности (иногда непосредственно не наблюдаемые, как и свойства полей, находящихся на мировом листе струны) в термины геометрии скрученных измерений, а затем на язык четырехмерия и существующих в нем элементарных частиц.

Физические процессы описаны уравнениями, как правило с некоторыми начальными условиями. Т. е. теоретически мы можем рассчитать поведение какой-либо системы на длительное время, но практически это можно сделать лишь в некотором приближении. Для наиболее точного вычисления была сознана теория возмущений, т. е. сначала поведение системы рассчитывается в приближении, а затем вносятся коррективы. Однако существуют ситуации, в которых теория возмущений неприменима, например, если необходимо рассчитать движение в системе тройной звезды, массы звезд в которой примерно одинаковые. Такую ситуацию называют «сильная связь» и подобные задачи решаются только с абсолютной точностью, если их решение вообще может быть проведено.

Проблема сильной связи есть и в теории суперструн. Прежде чем приступить к ее рассмотрению, необходимо обратить внимание на один очень важный момент: струнам доступно то, что недоступно частицам. При наличии хотя бы одного скрученного измерения они могут «наматываться» на него, делая один или несколько витков. С точки зрения наблюдателя это выглядит как появление некоторых новых частиц. При определённых соотношения между радиусом свернутого измерения и количеством оборотов струны такие частицы становятся легкими, и их можно сравнивать с теми безмассовыми частицами, появление которых ожидалось с самого начала, как соответствующих низшим гармоникам колебаний струны.

В итоге получается, что при слабом взаимодействии между струнами, в рамках стандартной теории возмущений струна порождает определенные частицы, реализующие некоторые виды симметрии, в частности суперсимметрию. В другом диапазоне интенсивности взаимодействия, вне рамок теории возмущений (в области сильной связи) струна может порождать другие частицы.

Рассмотрим подробнее 5 существующих на сегодняшний день теорий суперструн.

Большинство удачных теорий физики элементарных частиц основываются на калибровочной симметрии. В таких теориях различные поля могут переходить одно в другое. Эти переходы полностью определяются калибровочной группой теории. Если можно провести некое калибровочное преобразование в точке пространства и при этом теория не изменится, то говорят, что теория имеет локальную калибровочную симметрию.

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 случае, конец струны может двигаться только по некоторому многообразию. Это многообразие и называется D-браной или Dp-браной (при использовании второго обозначения 'p' - целое число, характеризующее число пространственных измерений многообразия).

D-браны могут иметь число пространственных измерений от -1 до числа пространственных измерений заданного пространства-времени. Например, в теории суперструн 10 измерений - 9 пространственных и одно временное. Таким образом, для суперструн может существовать D9-брана, но возникновение D10-браны невозможно. Отметим, что в этом случае концы струн фиксированы на многообразии, покрывающем все пространство, поэтому они могут двигаться везде, так что это сводится к наложению условия 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.

Используя минимально-связанную теорию возмущений, можно выделить пять различных согласованных суперструнных теорий, известных как Type I SO(32), Type IIA, Type IIB, SO(32) Гетеротическая (Heterotic) и E8 x E8 Гетеротическая (Heterotic).

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Type IIB | Type IIA | E8 x E8 Гетеротическая | SO(32) Гетеротическая | Type I |
| Тип струн | Замкнутые | Замкнутые | Замкнутые | Замкнутые | Открытые и замкнутые |
| 10d Суперсимметрия | N=2  (киральная) | N=2  (некиральная) | N=1 | N=1 | N=1 |
| 10d Калибровочные группы | нет | нет | E8 x E8 | SO(32) | SO(32) |
| D-браны | -1,1,3,5,7 | 0,2,4,6,8 | нет | нет | 1,5,9 |

•Type I SO(32):

Эта теория касается открытых суперструн. В ней есть только одна (N=1) суперсимметрия в десятимерии. Открытые струны могут переносить на своих концах калибровочные степени свободы, а для того, чтобы избежать аномалий, калибровочная группа должна быть SO(32) (SO(N) - Группа N x N ортогональных матриц с определителем, равным единице. Ортогональность означает, что транспонированная матрица равна обратной). Кроме того, в ней рассмтриваются D-браны с 1,5 и 9 пространственными измерениями.

•Type IIA:

Это теория замкнутых суперструн с двумя (N=2) суперсимметриями в десятимерии. Два гравитино (суперпартнера гравитона) движутся в противоположных направлениях по мировому листу замкнутой струны и имеют противоположные киральности по отношению к 10-мерной группе Лоренца, так что это некиральная теория. Также в ней не рассматривается калибровочной группы, зато есть рассматриваются D-браны с 0,2,4,6 и 8 пространственными измерениями.

•Type IIB:

Это тоже теория замкнутых суперструн с N=2 суперсимметрией. Однако в этом случае гравитино имеют одинаковую киральность по отношению к 10-мерной группе Лоренца, так что это киральная теория (Хиральность - свойство объекта не совпадать, не совмещаться со своим зеркальным отображением (в плоском зеркале) ни при каких перемещениях и вращениях). Снова нет калибровочной группы, но есть D-браны с -1, 1, 3, 5, и 7 пространственными измерениями.

•SO(32) Гетеротическая (Heterotic):

А это струнная теория с суперсимметричными полями на мировом листе, двигающимися в одном направлении, и несуперсимметричными, двигающимися в противоположных. В результате получаем N=1 суперсимметрию в десятимерии. Несуперсимметричные поля делают вклад в спектр как безмассовые бозоны, а сам спектр не аномален только из-за SO(32) калибровочной симметрии.

•E8 x E8 Гетеротическая (Heterotic):

Совершенно идентична SO(32) за тем исключением, что в ней вместо группы SO(32) используется группа E8xE8, что тоже устраняет аномалии в спектре.

Стоит отметить, что E8 x E8 Гетеротические струны исторически рассматривались как самая перспективная теория для описания физики вне Стандартной Модели. Она в течение длительного времени считалась единственной струнной теорией, имеющей хоть какое-то отношение к реальному миру. Связано это с тем, что калибровочная группа Стандартной Модели - SU(3)xSU(2)xU(1) - хорошо соотносится с одной из групп E8. Вторая E8 не взаимодействует с материей кроме как через гравитацию, что может объяснить проблему темной материи в астрофизике. Из-за того, что мы все еще не полностью понимаем струнную теорию, вопросы типа «как происходило нарушение суперсимметрии» или «почему в Стандартной Модели именно три поколения частиц», остаются без ответа. Большинство подобных вопросов имеют отношение к компактификации, которая также называется теорией Калуцы-Клейна. Пока же ясно то, что струнная теория содержит все элементы, чтобы быть теорией объединенных взаимодействий, и можно сказать, что это пока единственная настолько завершенная теория подобного толка. Однако мы не знаем, каким же образом все эти элементы описывают наблюдаемые явления.

Кроме того, теория каждого из пяти типов суперструн говорит о том, что любая суперструна способна порождать наборы частиц, которые выглядят как соответствующие колебания суперструны другого типа. Это происходит в области сильной связи. Например, струна первого типа может в области сильной связи имитировать поведение струны второго типа, и наоборот.

На основе этого был сделан вывод, что имеющиеся описания суперструн, все пять теорий, есть «подтеории», часть одной более общей теории, более глобальной, чем теория суперструн. Причем она выглядит как теория суперструн только в области слабой связи, в области же сильной связи она может обнаружить совершенно новые возможности.

**IV. М-теория.**

Эту, более общую, теорию назвали М-теорией, от английского слова «Mystery» - тайна. Это именно та теория, различные фазы которой может описывать каждая из пяти теорий суперструн из десятимерия. М-теория может перейти в каждую из теорий суперструн, если она существует в пространстве с размерностью более десяти.

Сначала ученые предполагали разработать М-теорию для 11-мерного пространства. В таком случае понятно, каким образом лишние, по сравнению с десятимерием степени свободы теории комбинируются в десятимерный мир, в котором существуют суперструны. Например, одна теория получается, когда 11-е измерение скручивается в очень маленькую окружность — что-то вроде 10-мерного цилиндра. Другая теория возникает, когда М-теория выделяет две десятимерные плоскости на некотором, очень малом, расстоянии друг от друга. Эти плоскости, а точнее гиперплоскости, параллельны друг другу. Тогда 10-мерный мир воспроизводится граничными эффектами чего-то более общего, происходящего во всем объеме 11-мерного пространства.

Оказалось, что при слабой связи и малой энергии, М-теория превращается в 11-мерную теорию супергравитации. Таким образом, последняя теория, до этого стоявшая особняком, включилась в общую картину мира. Однако 11-мерность может породить только две теории суперструн. Остальные три не смогли произойти из первых двух и был сделан шаг к увеличению размерности. Для вывода из одного источника всех теорий суперструн требуется 12-мерное пространство, где наряду с 10-пространственными измерениями имеются два времени. Но в то время как каждая из пяти теорий суперсимметрична, никакой суперсимметрии в 12-мерном пространстве нет.

Пять описанных выше суперструнных теорий сильно различаются с точки зрения слабо-связанной пертурбативной теории (теории возмущений, описанной 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 следует обсудить, - Т-дуальность. Такой тип дуальности связывает теорию, компактифицированную на окружности радиуса R, с теорией, компактифицированной на окружности радиуса 1/R. 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 обеих 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, 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 видим, что ее 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 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 здесь другая), которая становится легкой при сильной связи, но эта D-струна также является другой фундаментальной струной теории Типа IIB.

**V. Заключение.**

Наше современное представление о Вселенной и ее происхождении зависит не только от фундаментальных законов физики, но и от начальных условий во времена Большого взрыва. Например, движение брошенного мяча определяется законами гравитации. Однако, имея лишь законы гравитации, нельзя предсказать, где упадет мяч. Нужно еще знать начальные условия, то есть величину и направление его скорости в момент броска. Для описания начальных условий, существовавших при рождении Вселенной, используется модель Большого взрыва. В стандартной модели Большого взрыва начальные условия задаются бесконечными значениями энергии, плотности и температуры в момент рождения Вселенной. Иногда пытаются представить этот момент истории как взрыв некоей космической бомбы, порождающей материю в уже существующей Вселенной. Однако этот образ несправедлив, так как когда взрывается бомба, она взрывается в определенном месте пространства и в определенный момент времени и ее содержимое просто разлетается в разные стороны. Большой взрыв представляет собой порождение самого пространства. В момент Большого взрыва не было никакого пространства вне области взрыва. Или, если быть более точным, еще не было нашего пространства, возникавшего как раз в процессе взрыва и инфляционного расширения

Теория струн модифицирует стандартную космологическую модель в трех ключевых пунктах. Во-первых, из теории струн следует, что Вселенная в момент рождения имела минимально допустимый размер. Во-вторых, из теории струн следует дуальность малых и больших радиусов. В-третьих, число пространственно-временных измерений в теории струн и М-теории больше четырех, поэтому струнная космология описывает эволюцию всех этих измерений. В начальный момент существования Вселенной все ее пространственные измерения равноправны и свернуты в многомерный клубок планковского размера. И только потом, в ходе инфляции и Большого взрыва часть измерений освобождается из оков суперструн и разворачивается в наше огромное 4-мерное пространство-время.

Из теории струн (дуальности больших и малых размеров) следует, что сокращение радиусов пространств до и ниже планковского размера физически эквивалентно уменьшению размеров пространства до планковских, с последующим их увеличением. Поэтому сжатие Вселенной до размеров, меньших планковских, приведет к прекращению роста температуры и ее последующему снижению, как после Большого взрыва, с точки зрения внутреннего наблюдателя, находящегося в этой Вселенной. Получается достаточно интересная картина, чем-то напоминающая пульсирующую Вселенную, когда одна Вселенная через своеобразный коллапс до клубка планковских размеров разворачивается затем в новую расширяющуюся Вселенную с теми же, по сути, физическими свойствами.

Теория суперструн активно развивается в последнее время, поскольку она может правильно описать всю нашу физику на всех энергетических масштабах. В ней есть все - квантовая физика, фермионы и бозоны, калибровочные группы и гравитация. В последние несколько лет произошел настоящий прорыв в понимании сути теории, включая D-браны и дуальность. Струнная теория успешно применяется к исследованию черных дыр и квантовой гравитации. Хотя, как было упомянуто выше, до полного понимания теории еще далеко.