DOI: 10.17117/na.2015.10.04.370

<http://ucom.ru/doc/na.2015.10.04.370.pdf>

Поступила (Received): 31.10.2015

Горшков В.К., Мансуров Г.Н. Вселенная и мультивселенная

Gorshkov V.K., Mansurov G.N.
Universe and multiverse

Рассмотрены связи, возникающие между вселенными и мультивселенными. Разнообразие форм дополнительных измерений позволяет теории струн объяснить возникновение различных множеств элементарных частиц с разными физическими свойствами. На основании физики дополнительных измерений теория струн позволяет ставить проблему космологической постоянной в надежде на определение связи её значения с условиями возникновения мультивселенной

Ключевые слова: экспоненциальное расширение, теория струн, космологическая постоянная

Considered communications that occur between the universes and the multiverse. The variety of shapes allows the extra dimensions of string theory to explain the emergence of various sets of elementary particles with different physical properties. Based on the physics of the extra dimensions string theory allows to pose the problem of the cosmological constant in the hope on determining the relation of its value with the conditions that occur in the multiverse

Key words: exponential expansion, string theory, cosmological constant

Горшков Виктор Константинович

Кандидат физико-математических наук
Национальный исследовательский университет
г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, 1

Gorshkov Viktor Konstantinovich

Candidate of physico-mathematical Sciences
National research university of electronic technology
Moscow, Zelenograd, Shokin Square sq., 1

Мансуров Герман Николаевич

Доктор химических наук, профессор, старший научный сотрудник
Национальный исследовательский университет
г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, 1

Mansurov German Nikolaevich

Doctor of Chemical Sciences, Professor, Senior Researcher
National research university of electronic technology
Moscow, Zelenograd, Shokin Square sq., 1

Теория инфляции объясняет откуда взялась Вселенная и ее неоднородности, эволюционирующие в наблюдаемые структуры. Возникает вопрос, что она может сказать по поводу других вселенных. Существование огромного числа других вселенных, утверждает антропный принцип, согласно которому должно существовать бесконечное разнообразие вселенных, способное обеспечить выбор необходимых условий для возникновения жизни.

Теория струн дает бесконечное разнообразие вселенных, образующих фундамент для антропного принципа. Мы находимся в одной из 10^{500} реализаций теории струн.

В каждый момент времени в пространстве существует бесконечное множество отдельных миров, объединение которых образует лоскутную мультивселенную, и наша Вселенная лишь одна из многих. Осмысливая эту беско-

нечную коллекцию отдельных миров, мы обнаруживаем, что конфигурации частиц обязательно повторяются бесконечное число раз. Таким образом, реальность в любой наперед заданной вселенной, включая нашу, воспроизводится в бесконечном числе других вселенных этой лоскутной мультивселенной.

Считается, что общее определение мультивселенной не поддается проверке. Есть некоторые мультивселенные, которые допускают взаимодействие между вселенными – членами мультивселенной. Так, во вселенной на бране струнные петельки могут свободно перемещаться с одной браны на другую. В инфляционной вселенной (мультивселенной) пространство между двумя дочерними вселенными, вырастающими из пузырьков, заполнено полем инфлатона, которое может определять их взаимодействие. Связи вселенной и мультивселенной могут быть самые разные. Огромное разнообразие форм дополнительных измерений может приводить к множеству вселенных, населяющих струнную мультивселенную. Подход с точки зрения мультивселенной позволяет четко выделить те физические свойства, которые изменяются от одной вселенной к другой. Космологическая постоянная представляет собой первый пример. Если ее значение варьируется в рамках данной мультивселенной во вполне определенном интервале, тогда то, что было когда-то загадкой, теперь становится весьма обычным. Задача, над которой долго бились поколения ученых, легко может быть разрешена с помощью идеи мультивселенной. Оказалось, что вопрос, кажущийся столь глубоким и непонятным, возникает из-за ошибочного допущения, что космологическая постоянная имеет единственное значение. Но это не так. Стало ясно, что теория мультивселенной может обладать значительной предсказательной силой и имеет потенциальную возможность влиять на ход научных исследований.

Хорошо разработанный подход с мультивселенными даёт возможность выделить те физические свойства, которые изменяются при переходе от одной вселенной к другой. В результате имеем точный контроль над тем, какие нерешённые загадки, характерные для некоторой части вселенной, сохраняются в мультивселенном контексте, а какие нет. Так, космологическая постоянная может варьироваться в определённом интервале для данной мультивселенной. Вопрос о причине разных значений космологической постоянной получает решение с помощью идеи мультивселенной. Инфляционная теория мультивселенной даёт надёжный выход в решении этой проблемы.

Лоскутная мультивселенная возникает в случае бесконечного пространства, а инфляционная мультивселенная обусловлена вечным инфляционным расширением. Вселенные, возникающие благодаря инфляции, порождают вселенные из лоскутной мультивселенной. Важную роль в этом процессе играет время. Течение времени зависит от условий, в которых находится наблюдатель. Инфляционное расширение приводит к огромным областям с однородными, в среднем, свойствами. Однородность на больших масштабах гарантирует, что в среднем изменение *здесь* такое же, как изменение *там*. Две точки пространства находятся в том же времени, если значения поля инфлатона в этих точках одинаковы.

Каждая из дочерних вселенных, выросших из пузырьков, обладает конечной пространственной протяженностью, если на нее смотреть снаружи, но бесконечной, если смотреть изнутри. Осознание этого факта бесподобно! Именно бесконечное пространство необходимо для лоскутных параллельных вселенных. Поэтому теперь мы можем ввести лоскутную мультивселенную в инфляционный сценарий.

Вечная инфляция

Однородная энергия поля и отрицательное давление приводят к гравитационному отталкиванию, – область, заполненная полем инфлатона, расширяется с фантастической скоростью. Значит, эволюция поля инфлатона направляется двумя противоположными процессами. Квантовые флуктуации, стремящиеся сбросить поле с верхнего положения, *уменьшают* область пространства, заполненного большой энергией. Инфляционное расширение путем быстрого увеличения тех областей, где поле удерживается в верхнем положении, *увеличивает* объем пространства, заполненного большой энергией. Какой из процессов преобладает? Оба имеют примерно одинаковую скорость! Дело в том, что поле инфлатона, которое можно слишком быстро сбросить со своей вершины, как правило успевает создать очень небольшое инфляционное расширение для решения проблемы горизонта; таким образом, в космологически успешных вариантах инфляции увеличение превалирует над уменьшением, а значит полный объем пространства с большим полем (энергия поля велика), увеличивается со временем. Учитывая, что подобные полевые конфигурации приводят к дальнейшему инфляционному расширению, мы видим, что, однажды начавшись, *инфляция никогда не заканчивается* [1].

Можно представить вселенную в виде куска швейцарского сыра, в котором дырки соответствуют областям, где величина поля инфлатона мала, ибо в них вселенная прошла стадию сверхбыстрого расширения с преобразованием энергии поля инфлатона в частицы, которые со временем образуют галактики, звезды и планеты. Дырок образуется все больше, поскольку в них квантовые процессы понижают величину поля инфлатона. В то же время сыро-заполненные области быстро растягиваются, ибо в них расширение подстегивается большим значением поля инфлатона. Оба процесса приводят к постоянному расширению этого куска космического сыра, в котором растет количество дырок – дочерние вселенные, каждая из которых на стандартном языке космологии называется пузырьком-вселенной (или ячейкой-вселенной). Инфляционные модели приводят к невыразимо огромному числу дочерних вселенных в вечно расширяющемся пространстве.

Если инфляционная теория верна, то результатом ее является *вечная инфляция, которая определяет существование инфляционной мультивселенной* [2].

Инфляция и однородность

Одной из основных мотиваций развития инфляционной теории является однородность реликтового излучения. Однако быстрое пространственное

расширение не может обеспечить абсолютную однородность излучения. Дело в том, что квантово-механические флуктуации, растянутые инфляционным расширением, нарушают однородность, создавая миниатюрные температурные колебания, подобные ряби на поверхности пруда. Пока инфлатон в нашем пузырьке-вселенной скатывается вниз к точке завершения инфляции, его поле по-прежнему подвержено квантовым флуктуациям. Это приводит к небольшим изменениям в энергии, которой инфлатон заполняет пространство. Квантовые изменения очень малы и происходят на таких микроскопических расстояниях, что на космических масштабах ими, казалось бы, можно пренебречь. Однако расширение пространства происходит настолько быстро, что даже на выходе из инфляционного режима всё *микроскопическое* растягивается настолько, что становится *макроскопическим*. Небольшие изменения энергии, вызванные квантовыми флуктуациями, переходят в температурные изменения, которые отпечатываются на реликтовом излучении [3].

Когда инфляция в нашем пузырьке подходила к границе области с несколько большей энергией, гравитация усиливалась за счёт притяжения частиц из ближайших окрестностей. С усилением гравитации притягивалось еще больше вещества – возникал эффект снежного кома, который приводил к образованию целых *глыб вещества и энергии*, превратившихся за последующие миллиарды лет в галактики и звезды. Таким способом инфляционная теория осуществляет замечательную *связь между самыми большими и самыми маленькими структурами космоса* [4]. Все многообразие космических объектов и жизнь, возникшая на одном из них, являются результатом квантовой неопределённости, подхваченной инфляционным расширением.

Существование лоскутной мультивселенной зависит от того, бесконечен или нет размер пространства. Инфляционное расширение приводит к огромным областям с однородными, в среднем, свойствами. Обусловленное постоянным расширением пространства уменьшение плотности массы в нашем пузырьке-вселенной происходит в течение нашей многомиллиардной истории. Однако однородность сохраняется. Это обеспечивает способ измерения времени во Вселенной. Возраст Вселенной – это возраст нашего пузырька, измеренный по воображаемым космическим синхронизованным часам. Если в каких-то двух точках пространства значения поля инфлатона одинаковы, то по ним мы синхронизируем часы в нашем пузырьке-вселенной.

Связь между лоскутной и инфляционной вселенной

Было установлено, что каждая из дочерних вселенных, выросших из пузырьков, обладает конечной пространственной протяженностью, если на нее смотреть снаружи, но бесконечной, если смотреть изнутри. Бесконечное пространство необходимо для лоскутных параллельных вселенных, именно это позволяет ввести лоскутную мультивселенную в инфляционный сценарий [5].

Каждый пузырек в инфляционной вселенной имеет конечный пространственный размер, если смотреть снаружи, и бесконечный, если смотреть изнутри. Значит, если инфляционная мультивселенная реальна, то население пузырька живет не только в инфляционной, но также и в лоскутной мультивсе-

ленной. Пузырьки-вселенные, возникающие при вечной инфляции, с точки зрения находящихся внутри них наблюдателей являются пространственно бесконечными.

Инфляционные параллельные вселенные порождают лоскутные вселенные.

Поле инфлатона находится в самой верхней точке потенциальной кривой и равномерно заполняет пространство в самые ранние моменты космоса. Представим, что кривая потенциальной энергии выпрямляется и приобретает вид ровного плато, позволяя инфлатону задержаться на самой вершине. Возможны два события:

первое – пока инфлатон находится на плато, он заполняет пространство большой потенциальной энергией и отрицательным давлением, приводя к взрывоподобному расширению;

второе – при скатывании с вершины энергия инфлатона конденсируется в однородную сферу частиц, заполняющих пространство.

Скатывание происходит за кратчайшие доли секунды $\sim 10^{-35}$ с; за это время пространство расширяется в колоссальное число раз $\sim 10^{30}$. Это значит, что породившая наблюдаемую Вселенную часть пространства была настолько мала, что в ней могла установиться одинаковая температура, прежде чем молниеносный взрыв расширил ее до космических масштабов.

Однородность пространства в ранние времена определила однородность в настоящую эпоху. Это решает загадку возникновения однородных условий во Вселенной. При инфляции однородность температуры во всем пространстве неизбежна. Во многих вариантах инфляционной теории взрывоподобное расширение пространства не является одномоментным событием. Процесс, в результате которого образовалась наша область Вселенной, может повторяться неоднократно в космическом пространстве. Если представить космос в целом, он будет изобиловать бесчисленным множеством далеко разбросанных областей, каждая из которых будет результатом произошедшего инфляционного расширения. Наш мир является одним из множества таких областей. Космология приводит нас к очередной вариации на тему параллельных миров [6]. Если учесть квантовый аспект, то поле инфлатона, как и все остальное в нашей квантовой вселенной, подвержено квантовой неопределенности, испытывая случайные флуктуации. Обычно квантовые флуктуации слишком малы, чтобы их заметить. Однако, чем больше энергия инфлатона, тем больше его флуктуации.

Исходно инфлатон находится на самом верху кривой потенциальной энергии в каждой точке некоторой области пространства. Поскольку квантовые флуктуации действуют как подземные толчки, то пространство разделяется на два типа областей: в одних квантовые флуктуации заставляют поле скатиться вниз, а в других – оно остается наверху. Квантовые флуктуации, сбрасывающие поле с верхнего положения, уменьшают область пространства, с большой энергией. Инфляционное расширение путем быстрого увеличения тех областей, где поле удерживается в верхнем положении, увеличивает объем пространства, заполненного большой энергией. Поле инфлатона, которое

можно слишком быстро сбросить с вершины создает очень небольшое инфляционное расширение, поэтому увеличение превалирует над уменьшением и полный объем пространства, в котором энергия поля велика, увеличивается со временем. Из сказанного следует, что инфляционное расширение, однажды начавшись, не заканчивается никогда. Инфляционные модели приводят к огромному числу дочерних вселенных, находящихся в вечно расширяющемся пространстве. Если инфляционная теория верна и приводит к вечной инфляции, то существование инфляционной мультивселенной является неизбежным следствием. Количество наблюдательных данных в пользу инфляции значительно увеличилось благодаря точным измерениям реликтового излучения. Хотя наблюдаемая однородность реликтового излучения является основным аргументом в пользу инфляционной теории, однако быстрое пространственное расширение вызывает сомнения в обеспечении абсолютной однородности излучения. Дело в том, что квантово-механические флуктуации, растянутые инфляционным расширением, нарушают однородность, создавая миниатюрные температурные колебания, подобные ряби на поверхности пруда.

Квантовая неопределенность

Квантовая неопределенность приводит к флуктуациям поля инфлатона. Согласно теории инфляции, большая флуктуация и особо удачливая, сбросила инфлатон с верхней точки в нашей части вселенной. И пока инфлатон скатывается вниз к точке завершения инфляции, его значения подвергаются квантовым флуктуациям. Это вызывает небольшие изменения в энергии, которой инфлатон заполняет пространство. Как правило, эти изменения слишком малы, чтобы их участь на космических масштабах. Однако расширение пространства происходит настолько быстро, что даже на выходе из инфляционного режима всё *микроскопическое* успевает растянуться настолько, что становится *макроскопическим*. Небольшие изменения в энергии, вызванные квантовыми флуктуациями, приводят к температурным отклонениям, которые обеспечиваются на реликтовом излучении. Температурные отклонения могут достигать одной тысячной доли градуса. Если температура в одной области составляет 2,725 К, то в ближайших областях она может быть чуть ниже (2,7245 К) или чуть выше (2,7255 К) [10].

Течение времени зависит от условий, в которых находится наблюдатель, траектория его движения и действующая на него гравитация.

Мы говорим, что нашей Вселенной «14 миллиардов лет», но используем ли мы для измерения этого промежутка времени какие-то конкретные часы? Да, используем. Тщательное изучение этого космического времени вскрывает прямую связь между параллельными вселенными в инфляционной и лоскутной моделях вселенных. Дело в том, что инфляционное расширение приводит к огромным областям с однородными, в среднем, свойствами. Измерение температуры, плотности, давления вещества в двух больших, но удаленных областях одной дочерней вселенной, дает совпадение результатов. Если есть изменения, то они будут *здесь* такие же, как и *там*. Обусловленное постоянным расширением пространства уменьшение плотности массы в нашей пузырьке-

вселенной, происходящее в течение нашей многомиллиардной истории, везде одинаково. Плотность массы как маркер течения времени обеспечивает наш пузырек-вселенную единым стандартом. Две точки пространства находятся в том же времени, если значения поля инфлатона в этих точках одинаковы. Поскольку бесконечное пространство составляет необходимое условие для существования лоскутных параллельных вселенных, то мы можем ввести лоскутную мультивселенную в инфляционный сценарий.

Таким образом, если инфляционная мультивселенная реальна, то население пузырька живет не только в инфляционной, но также и в лоскутной мультивселенной. Инфляционные параллельные мультивселенные порождают лоскутные вселенные.

Теория струн и гравитация

Теория струн обеспечила разрешение проблемы совместимости общей теории относительности и квантовой механики. Стандартная точка зрения, бытовавшая до теории струн, состояла в том, что фундаментальные составляющие являются точечными частицами – точками без внутренней структуры – которые описываются уравнениями квантовой теории поля. Теория струн предлагает вместо точек рассматривать крошечные струноподобные вибрирующие нити. Струны в частицах разного типа неразличимы, но вибрируют они для разных частиц по-разному. Разные свойства частиц в теории струн объясняются разными вибрациями. Теория струн утверждает, что вибрирующие струны не просто порождают свойства данной частицы, но они и есть сама частица. Размер струны порядка планковской длины – 10^{-33} см. Даже самый большой адронный коллайдер не может добраться до расстояний меньше 10^{-19} см. Тем не менее теория струн утверждает, что частицы являются струнами. Если мы поймем теорию настолько хорошо, что определим все типы вибрационного поведения струн, то сможем объяснить все свойства всех частиц. Блестящим достижением стало установление гипотетической частицы – гравитона, – соответствующей квантовому гравитационному полю. Было показано, что гравитон является безмассовым, не имеет заряда и обладает квантовомеханическим свойством, а именно, спином-2. Существование гравитона означает, что *теория струн является давно искомой квантовой теорией гравитации* [8].

Дополнительные измерения

Однако, в первые годы исследований по теории струн физики столкнулись с проблемами, которые тесно связаны с числом пространственных измерений. Вычисления показали, что если бы у Вселенной помимо трех привычных пространственных измерений были еще дополнительные, то уравнения теории струн стали бы непротиворечивыми.

В начале XX столетия была сформулирована теория немецкого математика Теодора Калуцы и шведского физика Оскара Клейна основанная на идее, что кроме привычных пространственных измерений, могут существовать дополнительные измерения, ускользающие от наблюдений. Дело в том, что эти

дополнительные измерения настолько малы и сильно скручены, что их трудно увидеть. Замечательная особенность струнной теории состоит в том, что свойства частиц определяются размером и формой дополнительных измерений. Поскольку струны очень малы, то они вибрируют не только в трех привычных измерениях, но и в малых, свернутых измерениях, которые мы не можем наблюдать.

Поскольку вибрационное поведение струн определяет свойства частиц, такие как масса и электрический заряд, то эти свойства, следовательно, диктуются геометрией дополнительных измерений.

Уравнения теории струн накладывают математические ограничения на геометрию дополнительных измерений и требуют, чтобы они принадлежали частному классу так называемых пространств Калаби-Яу [9]. Нет одной выделенной формы Калаби-Яу. Дополнительные измерения, различающиеся по размерам и форме (а также и по другим параметрам) порождают разные наборы свойств частиц.

Струнные теоретики продолжают поиск математической подсказки, которая позволит выделить из всех возможных пространств то самое *единственное*.

Однако главная задача теории струн – *объединить общую теорию относительности и квантовую механику* – подошла к своему разрешению. Огромное разнообразие форм дополнительных измерений (10^{500}) может приводить к множеству вселенных, населяющих струнную мультивселенную. Цель любой квантовой теории гравитации состоит в том, чтобы свести воедино квантовую механику и гравитацию таким образом, чтобы сингулярности не возникали.

Замечательная особенность струнной теории в том, что свойства частиц определяются размером и формой дополнительных измерений, но оказалось, что для полного описания дополнительных измерений теории струн требуется определить не только их форму и размер, но также и пронизывающие их потоки полей, созданных бранами. Было установлено, что пространство Калаби-Яу содержат, как правило, много пустых полостей, которые могут заполняться потоками полей, создаваемых бранами. Обнаружилось, что пространства Калаби-Яу могут содержать гигантский набор модифицированных пространств дополнительных измерений. Так, если данное пространство Калаби-Яу имеет одну пустую полость, то через нее можно пропустить поток десятью разными способами, что приведет к десяти новым пространствам дополнительных измерений. При наличии двух таких полостей получим $10 \times 10 = 100$ различных способов (для простоты 10 возможных потоков на первую полость и десять на вторую); если три пустые полости – 10^3 различных способов получить поток через пространство. Некоторые пространства Калаби-Яу имеют порядка пяти-сот пустых полостей. Получаем, что число различных форм пространств дополнительных измерений будет порядка 10^{500} .

Точные математические методы установили, что число различных форм пространств дополнительных измерений огромно, оно значительно превышает число частиц в наблюдаемой части Вселенной. Математика не дает способа выбора точного вида дополнительных измерений, математический аппарат

теории струн лишается своей предсказательной силы. Остается надежда, что будет найден фундаментальный принцип, определяющий форму дополнительных измерений, включая конкретный поток.

Высказывать предположение о том, что необходимо рассматривать все возможные формы и потоки, возникающие в математическом аппарате теории струн, возможно, что причина, по которой математика наполнена этими возможностями, в том, что *они все реальны*, и каждая из форм задает дополнительные измерения в *своей отдельной вселенной*. Возможно это путь к решению самого трудного вопроса – *о космологической постоянной*.

Список используемых источников:

1. Линде А. Инфляция, квантовая космология и антропный принцип.
URL: <http://www.astronet.ru/db/msg/1181211>
2. Линде А. Многоликая Вселенная. Всероссийский проект «Открытые публичные лекции». ФИАН.
URL: <http://elementy.ru>
3. Грин Б. Элегантная вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории. Едиториал УРСС, 2004. 288 с.
4. Грин Б. Ткань космоса: пространство, время и текстура реальности. М.: Либроком, 2009. 601 с.
5. Грин Б. Скрытая реальность. Параллельные миры и глубинные законы космоса. М.: Либроком, 2012. 400 с.
6. Susskind L. The anthropic landscape of string theory. 2003.
7. Вайнберг С. Проблема космологической постоянной // Успехи физических наук. 1989. Т. 158. В. 4. С. 639–678.
8. Вайнберг С. Мечты об окончательной теории. М.: Едиториал УРСС, 2004. 256 с.
9. Грин Б. Ткань космоса: пространство, время и текстура реальности. М.: Книжный дом ЛИБРОКОМ, 2009. 526 с.
10. Штерн Б.Е. Прорыв за край мира. М.: Троицкий вариант, 2014. 304 с.