

## КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ ГРАВИТАЦИИ

*Турейко А.Б., Туровец С.О., студенты гр.378104*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Смирнова Г.Ф. – канд. физ.-мат. наук*

**Аннотация.** Данная работа представляет собой исследование и анализ квантовой теории гравитации, которая стремится объединить квантовую механику с общей теорией относительности. В работе осуществляется обзор различных подходов к квантовой теории гравитации, таких как петлевая квантовая гравитация, струнная теория.

**Ключевые слова.** Квантовая теория гравитации, петлевая теория гравитации, теория струн, гравитация.

Квантовая теория гравитации представляет собой одну из наиболее фундаментальных исследовательских областей в физике, стремящуюся объединить две величественные теории - квантовую механику и общую теорию относительности. Вследствие своей потенциальной способности описывать поведение гравитационных полей на микроскопическом уровне, квантовая теория гравитации может иметь решающее значение для понимания основных принципов и взаимодействий в нашей Вселенной.

Общая теория относительности, разработанная Альбертом Эйнштейном, успешно объясняет гравитацию на макроскопическом уровне, описывая ее как геометрическое свойство пространства-времени. Однако, когда пытаются применить принципы квантовой механики к гравитации, возникают противоречия и несоответствия, что указывает на необходимость развития новой теории - квантовой теории гравитации.

Квантовая теория гравитации представляет собой фундаментальную теорию, которая стремится объединить два ключевых столпа физики - квантовую механику и общую теорию относительности Альберта Эйнштейна. Она направлена на описание гравитационных взаимодействий на микроскопических масштабах и включает в себя квантовые свойства гравитационного поля.

Общая теория относительности успешно описывает гравитацию как геометрию пространства-времени и предсказывает такие феномены, как изгибание света вблизи массивных объектов и расширение Вселенной. С другой стороны, квантовая механика является теорией, описывающей микромир частиц и их взаимодействия в терминах вероятностей и квантовых состояний. Одна из основных проблем при объединении ОТО и квантовой механики заключается в несовместимости их математических формализмов. ОТО описывает гравитацию как кривизну пространства-времени, в то время как квантовая механика оперирует с волновыми функциями и операторами. Попытки простого применения квантового формализма к гравитации приводят к появлению математических расходимостей, бесконечностей и противоречий [1].

Существует несколько причин, почему стоит исследовать и разрабатывать квантовую теорию гравитации. Квантовая теория гравитации пытается объединить гравитацию с другими фундаментальными силами, такими как электромагнитная сила, сильная и слабая ядерные силы. Это единое объединение, известное как "теория всего" или "единственная фундаментальная теория", предполагает существование единого набора принципов и уравнений, которые описывают все физические явления.

Четыре фундаментальные силы управляют нашей Вселенной: гравитационная сила, электромагнитная сила, сильное ядерное взаимодействие и слабое взаимодействие. Гравитация, как и другие фундаментальные силы, должна подчиняться законам квантовой механики и поэтому квантовая теория гравитации пытается описать гравитацию в терминах квантовых состояний, квантовых полей и вероятностей. Квантовая механика описывает поведение частиц и взаимодействия между ними в терминах квантовых пакетов энергии, называемых квантами. Гравитационная сила, описываемая общей теорией относительности, пока не имеет полной квантовой формулировки. Однако существует гипотетическая частица, называемая гравитоном, которая представляет собой гипотетический носитель силы гравитации в квантовом мире. Если гравитон будет обнаружен, это может свидетельствовать о том, что гравитация может быть описана в рамках квантовой механики, что приблизит нас к единой "теории всего".

Таким образом, хотя гравитация остается вызовом для объединения с квантовой механикой, ученые исследуют возможность гравитона в качестве носителя силы гравитации, что позволит включить ее в

единую теорию объединения всех фундаментальных сил.

Общая теория относительности описывает гравитацию, одну из наиболее известных сил во Вселенной. Квантовая механика, с другой стороны, описывает три другие фундаментальные силы: сильное ядерное взаимодействие, которое связывает протоны и нейтроны в атомных ядрах, электромагнетизм и слабое взаимодействие, которое играет роль в радиоактивном распаде. Каждое событие во Вселенной, от ионизации атома до зарождения звезды, объясняется взаимодействиями материи через эти четыре силы.

С использованием сложной математики удалось показать, что электромагнетизм и слабое взаимодействие имеют общую природу и объединяются в единую электрослабую теорию. Позднее к ним было добавлено сильное ядерное взаимодействие, но гравитация не была успешно объединена с остальными силами. Теория струн является одним из наиболее серьезных кандидатов на то, чтобы объединить все четыре силы и создать единую теорию, охватывающую все явления во Вселенной. Именно поэтому ее иногда называют "теорией всего".

Теория струн – это физическая теория, предлагающая объединить все фундаментальные частицы и силы в единую структуру на основе одномерных объектов, называемых струнами. В контексте квантовой гравитации, струнная теория рассматривается как один из потенциальных фреймворков для объединения гравитации и квантовой механики.

В основе теории струн лежит представление о фундаментальных объектах, называемых струнами, которые являются основными строительными блоками всей материи и взаимодействий. В теории струн предполагается, что все элементарные частицы, такие как кварки, электроны и фотоны, не являются точечными частицами, а на самом деле представляют собой маленькие вибрирующие струны. Струны имеют нулевую размерность в одном измерении и распространяются в других дополнительных пространственно-временных измерениях.

Теория струн приводит к поразительному изменению нашего восприятия о структуре космоса. Она предлагает объединение общей теории относительности и квантовой механики, но для этого мы должны пересмотреть наши представления о пространстве и времени. Вместо привычных трех пространственных измерений и одного временного, теория струн требует наличия девяти пространственных и одного временного измерения. В более революционном варианте теории струн, известном как М-теория, для объединения всех фундаментальных взаимодействий требуется наличие десяти пространственных и одного временного измерений - так называемый "космический субстрат" из одиннадцати измерений пространства-времени [2].

Это удивительно, что мы не наблюдаем эти дополнительные измерения в повседневной жизни. Теория струн объясняет это тем, что мы до сих пор ограничены в нашем восприятии и взаимодействии лишь с тонким срезом реальности. Такие дополнительные размерности, которых требует теория струн, называют компактифицированными. Компактифицированные измерения – это дополнительные пространственные измерения в теории струн, которые свернуты или "скрыты" в микроскопических масштабах, которые могут быть сравнимы с масштабом Планка (около  $10^{-35}$  метра), и не наблюдаются в нашем обычном пространстве. В зависимости от выбранного числа компактифицированных измерений, теория струн может быть формулирована в различных размерностях. Струны могут колебаться в различных режимах, и каждый режим колебаний соответствует определенной частице или взаимодействию. Таким образом, теория струн позволяет объединить все фундаментальные взаимодействия, такие как гравитация, электромагнетизм, сильное и слабое ядерные силы, в единую фундаментальную теорию.

Другим подходом к квантовой теории гравитации является петлевая квантовая гравитация. Она стремится объединить наши понимания общей теории относительности и квантовой механики, предлагая новую формулировку гравитации в терминах квантовых состояний петель. Одной из ключевых идей петлевой квантовой гравитации является представление пространства-времени в виде дискретных структурных элементов, называемых "петлями". Вместо того, чтобы рассматривать пространство-время как непрерывное и гладкое, петлевая квантовая гравитация предполагает, что его фундаментальной структурой являются эти квантовые состояния петель, которые связаны между собой.

Чтобы описать эти квантовые состояния петель и их взаимодействия, в петлевой квантовой гравитации используются понятия "петлевых переменных" и "петлевых диаграмм". Петлевые переменные представляют собой математические объекты, которые описывают связи между петлями и определяют геометрические характеристики пространства-времени. Они позволяют описывать эволюцию

квантовых состояний петель со временем. Петлевые диаграммы, в свою очередь, используются для визуализации и анализа этих квантовых состояний и их взаимодействий.

Одной из основных задач петлевой квантовой гравитации является формулировка квантового уравнения, описывающего эволюцию квантовых состояний петель со временем. Это уравнение, известное как квантовое уравнение петлевой квантовой гравитации, аналогично уравнению Шрёдингера в квантовой механике. Оно позволяет предсказывать вероятности и свойства пространства-времени на основе квантовых состояний петель.

Петлевая квантовая гравитация является полностью совместимой с основными представлениями о пространстве-времени, такими как наличие трех пространственных измерений и одного временного измерения. Это означает, что петлевая квантовая гравитация не требует дополнительных размерностей, симметрий или степеней свободы, кроме тех, которые мы наблюдаем. Однако стоит отметить, что существуют различные подходы и варианты петлевой квантовой гравитации. Некоторые из них включают дополнительные элементы, такие как суперсимметрия или рассматривают высшие размерности. Эти расширения предлагаются в попытке получить более полное описание гравитации и объединения ее с другими фундаментальными силами.

Петлевая квантовая гравитация является активной областью исследований в физике. Она предлагает новые инструменты и подходы для понимания природы пространства-времени на самом фундаментальном уровне. К сожалению, на данный момент у нас нет экспериментальных данных, которые однозначно подтверждали бы или опровергали петлевую квантовую гравитацию.

Однако существуют некоторые косвенные подтверждения исследований, которые указывают на возможные следствия петлевой квантовой гравитации. Например, она может предсказывать изменения в поведении гравитации на очень больших или очень малых масштабах, что может быть связано с наблюдаемыми аномалиями в космологических данных или событиях, таких как черные дыры и первые мгновения Вселенной.

Обе теории имеют свои преимущества и ограничения и являются активными областями исследований в физике. Они представляют различные подходы к пониманию фундаментальной структуры Вселенной и поиску единой теории, которая объяснила бы все фундаментальные взаимодействия и частицы. Теория струн и петлевая квантовая теория имеют некоторые сходства, например то, что обе теории стремятся описать физические явления на микроскопических масштабах с помощью квантовой механики, учитывают вероятностные аспекты и квантовые свойства частиц и полей. Они стремятся к объединению всех фундаментальных взаимодействий (гравитации, электромагнетизма, сильного и слабого ядерных сил) в единую фундаментальную теорию.

Конечно, имеется и много различий, таких как то, что теория струн использует понятие фундаментальных объектов - струн, которые вибрируют в многомерном пространстве-времени. Петлевая квантовая теория, с другой стороны, основывается на квантовании геометрии пространства-времени и описывает гравитацию как квантовое поле на этой геометрии. Теория струн требует наличия дополнительных компактифицированных измерений, помимо обычных трех пространственных измерений и одного временного измерения, тогда петлевая квантовая теория не требует дополнительных измерений и может быть сформулирована в трех пространственно-временных измерениях. Теория струн обычно рассматривается на масштабах, близких к масштабу Планка, который является крайне малым, а петлевая квантовая теория, хотя и учитывает квантовые эффекты, может быть применима на более широком диапазоне масштабов, включая макроскопические.

Квантовая теория гравитации является активной исследовательской областью, направленной на объединение общей теории относительности и квантовой механики. В настоящее время гравитация остается несовместимой с квантовой механикой, и разработка полной квантовой теории гравитации остается открытым вопросом. Однако экспериментальное подтверждение гравитона или других предсказанных частиц и явлений квантовой гравитации будет важным шагом в подтверждении или исследовании этой теории.

*Список использованных источников:*

1. Carlo Rovelli. *Quantum Gravity* – Cambridge University Press, 2008 – 458 p.

2. Грин, Брайан. *Ткань космоса. Пространство, время и текстура реальности* – Изд-во Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009 –

608 с.