

Стивен Карлип

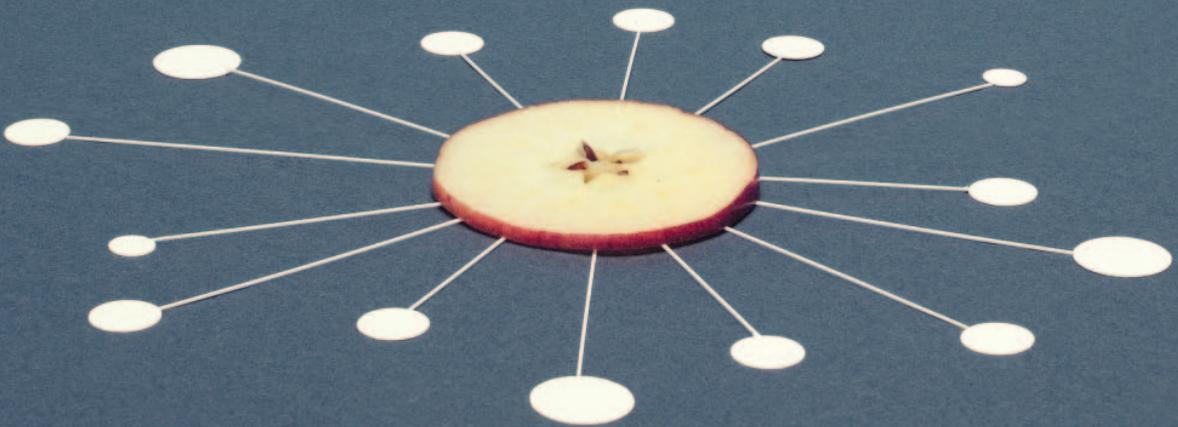
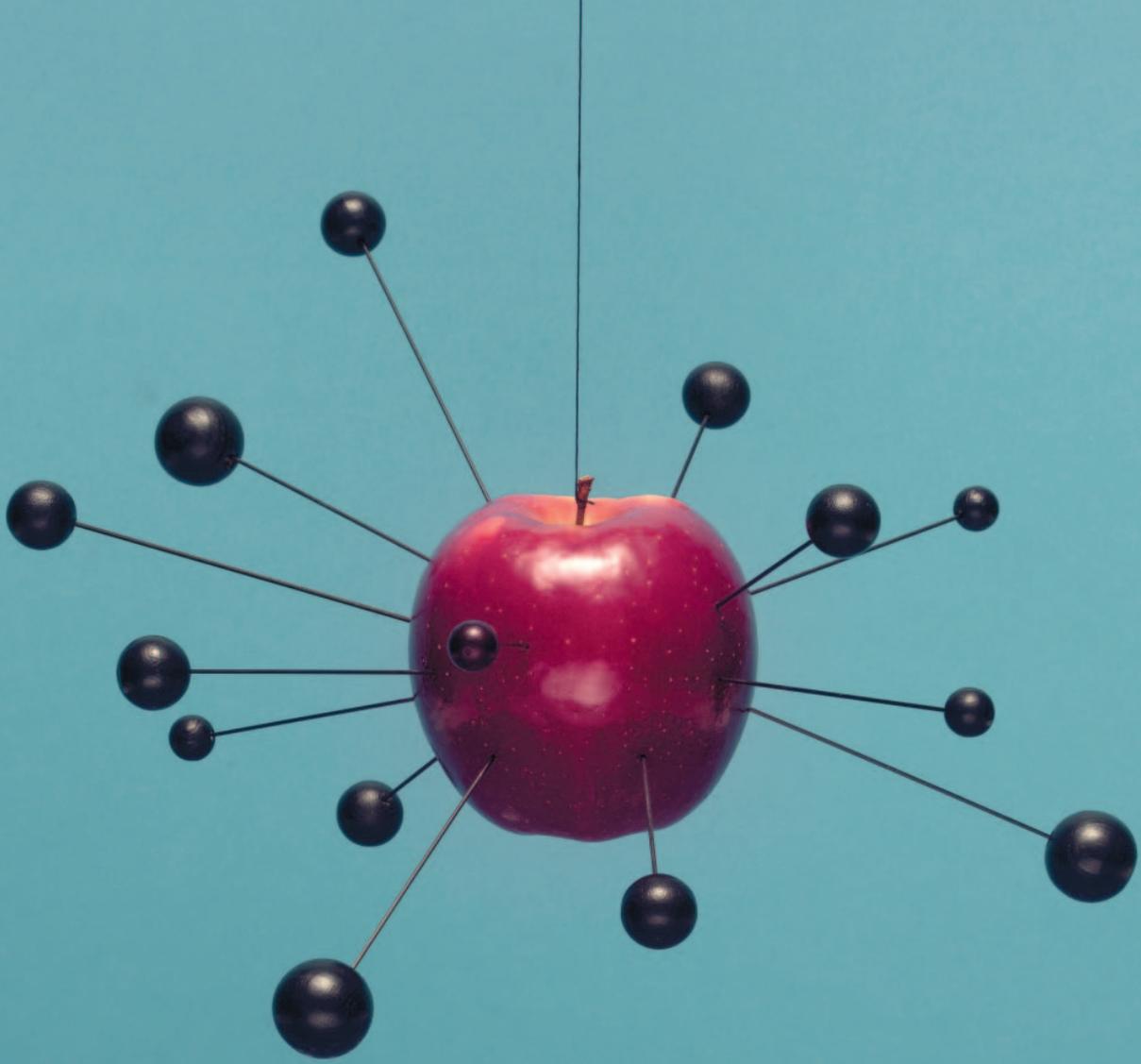
Квантовая гравитация во Флатландии

Представьте себе, что мир не трехмерен, а двумерен.

Какой в этом случае была бы сила гравитации?

Неожиданные ответы на этот вопрос указывают
физикам путь к единой теории природы

Квантовая



ОБ АВТОРЕ

Стивен Карлип (Steven Carlip) сменил несколько занятий: работал печатником, редактором газеты и рабочим на заводе, прежде чем решил стать физиком. Он учился под руководством Брайса Девитта (Bruce DeWitt), одного из основателей квантовой теории гравитации, и сегодня Стивен Карлип — профессор Калифорнийского университета в Дэвисе, член Американского физического общества и его британского аналога — Института физики.



С момента своего становления как науки физика занимается поиском единства в природе. Исаак Ньютон показал, что та же сила, которая заставляет падать яблоко, удерживает планеты на их орбитах. Джеймс Клерк Максвелл объединил теории электричества, магнетизма и оптики в единую теорию электромагнетизма. Спустя столетие физики добавили к ней слабые ядерные силы и создали теорию электрослабого взаимодействия. Альберт Эйнштейн соединил пространство и время в единый континуум пространства-времени.

Сегодня недостающее звено в этом поиске — объединение теории гравитации и квантовой механики. Эйнштейновская теория гравитации, его общая теория относительности, описывает рождение Вселенной, орбиты планет и падение яблока Ньютона. Квантовая механика описывает атомы и молекулы, электроны и кварки, фундаментальные субатомные силы и еще многое другое. Однако теории оказываются несовместимыми, когда необходимо использовать их обе — там, где сильны и гравитационные, и квантовые эффекты, например в черных дырах. Самые успешные попытки физиков объединить их в квантовую теорию гравитации потерпели фиаско. Полученные с ее помощью ответы порой не имели смысла. Или их вообще не было. Несмотря на 80 лет работы нескольких поколений физиков, включая десяток или около того нобелевских лауреатов, квантовая теория гравитации остается неуловимой.

Приприте физика к стенке, задав ему какой-нибудь каверзный вопрос, и в ответ вы получите: «Спросите что-нибудь попроще». Физики продвигаются вперед, выстраивая простые модели, включающие отдельные компоненты сложного реального мира. Ученые работали над множеством таких моделей квантовой гравитации, включая приближения, верные при слабой гравитации, или специальные случаи, такие как черные дыры.

Возможно, самый неординарный подход — пренебречь целым пространственным измерением и посмотреть, как будет работать гравитация в случае двумерной Вселенной. (Формально физики описывают данную ситуацию как «(2+1)-мерное пространство», имея в виду два пространственных измерения и время). Принципы, которые управляют гравитацией в такой упрощенной Вселенной, возможно, применимы и к нашей трехмерной, что дает нам столь необходимый ключ к теории объединения.

Идея отбросить одно измерение имеет интересную историю. В романе Эдвина Эбботта (Edwin Abbott) «Флатландия: небылица о многих измерениях», появившемся в 1884 г. (см.: Эбботт Э., Бюргер Д. *Флатландия. Сферландия. М.: Мир, 1976*), рассказывается о приключениях Квадрата, обитателя двумерного мира треугольников, квадратов и прочих геометрических фигур. Хотя Эбботт написал этот роман как сатирическую пародию на викторианское общество — во Флатландии существует строгая иерархия с линиями-женщинами у основания классовой пирамиды и кругами-жрецами на вершине, — Флатландия вызвала всплеск интереса к геометрии в пространствах с различным числом измерений и по сей день остается популярной у математиков и физиков. Ученые, пытающиеся охватить разумом мир большого числа измерений, начинают с того, что пробуют представить, как выглядел бы наш трехмерный мир глазами Квадрата. Флатландия помимо всего прочего вдохновила физиков, занимающихся изучением таких материалов, как графен, который, собственно, и представляет собой двумерную структуру (см.: Гейм А., Ким Ф. *Углерод — страна чудес // ВМН, № 7, 2008*).

Первые теории гравитации во Флатландии, появившиеся в начале 1960-х гг., стали сплошным разочарованием. В двумерном пространстве для изменений гравитационного поля в буквальном смысле не хватает места.

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Зайдя в тупик при попытке объединить квантовую механику с эйнштейновской общей теорией относительности, физики обратились к упрощенной версии задачи: представили, что пространство имеет лишь два измерения, и задались вопросом, как в этом случае будет вести себя гравитация.
- Сначала они ожидали, что двумерная теория гравитации окажется тривиальной. Втиснутая в пространство с уменьшенным на единицу числом измерений, гравитация должна была бы стать настолько ограниченной, что гравитационные волны не имели бы возможности там распространяться, так что о квантовой гравитации не могло бы идти и речи.
- Физики обнаружили, что на самом деле все не так однозначно. Гравитационные волны не могут бежать по континууму, но Вселенная может трансформироваться как единое целое. Базирующаяся на этих результатах квантовая теория гравитации дает ответы на множество загадок Великого объединения — например, как время может возникнуть из физики без времени.

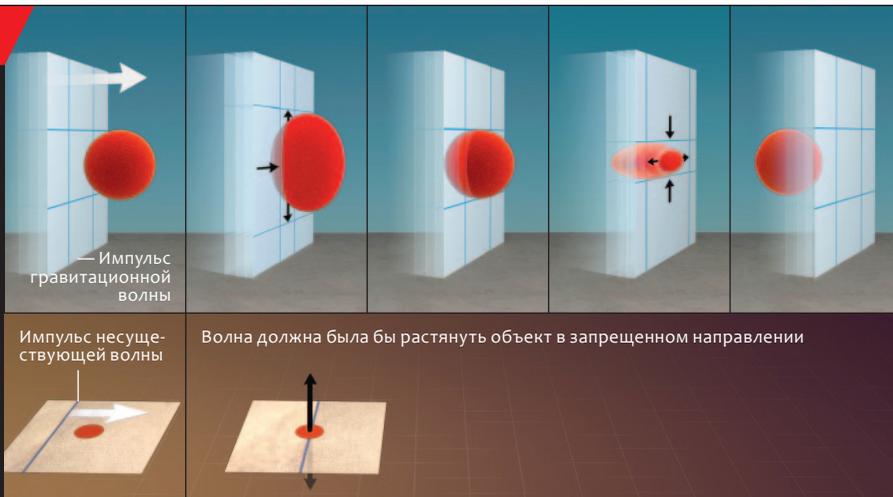
КАК ГРАВИТАЦИЯ ДЕЙСТВУЕТ В ДВУХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Если взять трехмерное пространство и сплющить его до двух измерений, то материя не просто станет намного тоньше. Сила гравитации будет вести себя принципиально иным образом. Изучение гравитации в двумерном пространстве дало

физикам полезный опыт и подсказало, как объединить эйнштейновскую теорию гравитации (общей теории относительности) с квантовой механикой для построения квантовой теории гравитации.

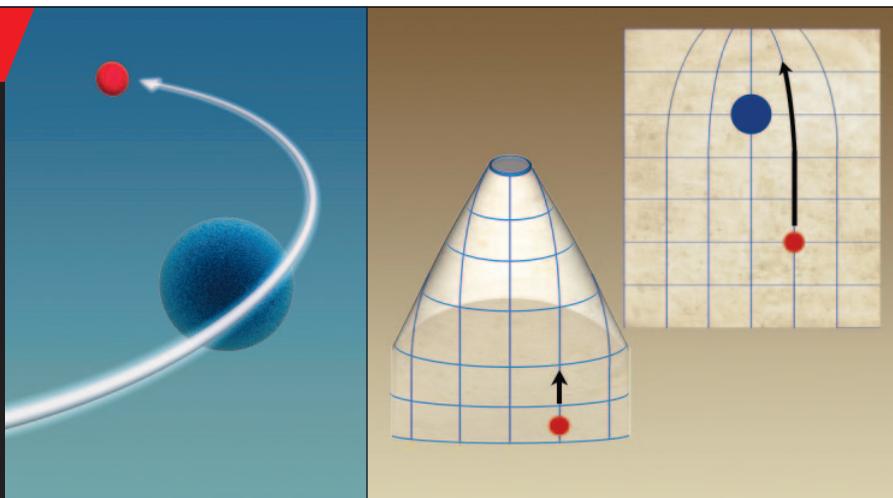
Мертворожденные волны

Согласно общей теории относительности, изменения гравитационного поля распространяются в космосе в виде гравитационных волн, которые принципиально трехмерны и не могут быть сведены к меньшему числу измерений: они распространяются в одном направлении и ритмично растягивают объекты в двух перпендикулярных направлениях (на верхнем рисунке). Они не могут распространяться в двух измерениях (нижний рисунок). Без волн физики оказались в затруднении по поводу того, как квантовать гравитацию.



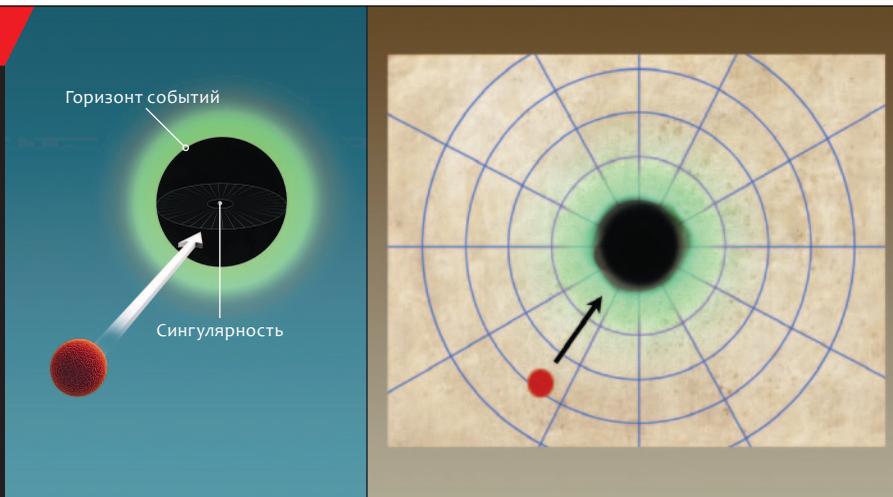
Притяжение имеет другую природу

Массивный объект искривляет пространственно-временной континуум. В трех измерениях это искривление заставляет два таких объекта притягивать друг друга согласно ньютоновскому закону всемирного притяжения. В двух измерениях массивный объект деформирует пространство, придавая ему коническую форму. Закон Ньютона звучит по-другому: орбиты движущихся относительно друг друга объектов изменяются, а покоящиеся объекты остаются в покое.



Форма черных дыр

Гравитация в экстремальных условиях может породить явления, непредсказуемые в рамках физики Ньютона. Прежде всего, это черные дыры — область пространства, в которую объекты могут попасть, но вырваться оттуда — никогда. Одним из наиболее неожиданных открытий двумерной теории гравитации стало то, что черные дыры могут существовать и в двумерном пространстве, если в нем содержится темная энергия. Квантовые эффекты заставляют и трехмерные, и двумерные черные дыры сиять как любой другой горячий объект.



чтобы распространяться. Однако в конце 1980-х гг. эта тема получила второе рождение, когда ученые поняли, что гравитация действует необычным способом. В двумерном пространстве она также выстраивает космос и даже формирует черные дыры. Гравитация во Флатландии стала хрестоматийным примером нестандартного мышления, дающего возможность подвергнуть некоторые из наших умозрительных идей, например так называемый голографический принцип или возникновение времени из безвременья, скрупулезной математической проверке.

Управление временем

Когда физики пытаются создать квантовую теорию некоей силы, в качестве отправной точки они используют соответствующую классическую теорию. В случае гравитации это общая теория относительности. Вот здесь-то и начинаются неприятности. Общая теория относительности описывается сложной системой из десяти уравнений, каждое из которых содержит до тысячи членов. Мы не можем решить эти уравнения в общем виде и поэтому сталкиваемся с невероятно сложной задачей при построении их квантовых версий. Но загадка, почему квантовая теория гравитации столь неуловима, лежит еще глубже.

Вселенная в целом описывается одной-единственной волновой функцией, которая содержит все время — прошедшее, настоящее и будущее. Но каким образом она дала начало динамичному миру, в котором мы живем?

Согласно общей теории относительности, то, что мы называем «гравитацией», в действительности есть проявление формы пространства-времени. Земля вращается вокруг Солнца не потому, что ее притягивает какая-то сила, а потому, что она движется по самому прямому из всех возможных путей в пространстве-времени, которое искривлено массой Солнца. Объединение квантовой механики и теории гравитации означает, что необходимо каким-то образом квантовать структуры самого пространства-времени.

Возможно, сказанное не кажется столь серьезным вызовом. Однако краеугольный камень квантовой механики — принцип неопределенности Гейзенберга, идея того, что физические величины по своей природе размыты, т.е. хаотично флуктуируют и не имеют определенного значения до тех пор, пока их не измерят или не подвергнут аналогичному процессу. В квантовой

теории гравитации флуктуирует само пространство-время, расшатывая тем самым строительные леса, с помощью которых возводится здание всей остальной физики. Проще говоря, мы так и не знаем, что такое квантовое пространство-время.

Эти принципиальные преграды на пути к осмыслению квантованного пространства-времени проявляются несколькими особыми путями. Один из них — хорошо известная «проблема времени». Время — фундаментальная характеристика наблюдаемой нами действительности. Почти каждая физическая теория в конечном итоге сводится к описанию того, как какая-то часть Вселенной меняется во времени. Поэтому нам, физикам, следовало бы лучше знать, что такое «время», но досадная правда состоит в том, что мы этого не знаем.

Для Ньютона время было абсолютно — оно лежит вне природы, оказывает влияние на материю, а материя на него не влияет. Традиционные формулировки квантовой механики принимают эту идею абсолютного времени. Однако теория относительности развенчала абсолютное время. Различные наблюдатели, движущиеся относительно друг друга, по-разному ощущают время и даже разойдутся во мнениях о том, одновременны ли два какие-нибудь события. Часы, так же как все остальное, что меняется во времени, в сильном гравитационном поле идут медленнее. Больше не представляющее собой внешний параметр, время становится активной частью Вселенной. Однако если не существует идеальных часов, расположенных вне Вселенной и определяющих скорость изменений, то время должно возникать из самой внутренней структуры Вселенной (см. *Каллендер К. Время как иллюзия // ВМН, № 9, 2010*). Но каким образом? Трудно даже понять, где искать начало.

У проблемы времени есть менее известный родственник — проблема наблюдаемых. Физика — эмпирическая наука, для любых наблюдаемых величин теория должна давать предсказания, которые можно проверить экспериментально. В традиционной физике эти величины отнесены к конкретным точкам: сила электрического поля «здесь», или вероятность найти электрон «там». Понятия «здесь» и «там» мы характеризуем координатами x , y и z , а наши теории предсказывают, как наблюдаемые зависят от них.

Однако, согласно Эйнштейну, пространственные координаты — всего лишь произвольные, придуманные людьми ярлыки, и Вселенной до них в общем-то нет никакого дела. Но если нельзя объективно идентифицировать точку в пространстве, то нельзя говорить, что знаешь, что там происходит. Чарльз Торпе (Charles Torpe) из Университета штата Юта показал, что квантовая теория гравитации не может иметь чисто локальные наблюдаемые, т.е. наблюдаемые, величина которых зависит только от одной точки пространства-времени. Так что ученые остались с нелокальными наблюдаемыми — величинами, значения которых зависят сразу от многих точек. В общем случае мы даже не знаем, какое определение дать таким объектам, и еще меньше — как использовать их для описания наблюдаемого нами мира.

Третья проблема — как появилась наша Вселенная? Родилась ли она из ничего? Отделилась ли она от родительской Вселенной? Или же произошло нечто совершенно иное? Каждая из возможностей содержит трудности для квантовой теории гравитации. Связанная с этим проблема — неизменный фаворит у авторов научной фантастики: «кротовые норы», образующие туннели между различными точками пространства или даже времени. Физики вполне серьезно размышляют над этой идеей (за прошедшие 20 лет в научных журналах было опубликовано более тысячи статей о «кротовых норах»), не имея при этом ответа на вопрос, а возможны ли такие структуры вообще.

Наконец, последняя группа вопросов затрагивает самые загадочные из известных науке создания: черные дыры. Они, возможно, открывают нам самое широкое окно в сущность пространства и времени. В начале 1970-х гг. Стивен Хокинг (Stephen Hawking) показал, что черные дыры должны сиять как раскаленный уголь — испускать излучение в так называемом спектре абсолютно черного тела. В любой другой физической системе температура отражает внутреннее состояние ее микроскопических составляющих. Когда мы говорим, что в комнате жарко, в действительности мы подразумеваем, что молекулы воздуха в ней двигаются более энергично. В случае черной дыры «молекулы» должны быть квантово-гравитационными. Они вовсе и не молекулы в обычном смысле, а представляют собой некую неизвестную базовую микроскопическую структуру, которая должна иметь возможность изменяться — то, что физики назвали бы «степенями свободы». Что там происходит на самом деле, никто не знает.

Непритягательная модель

На первый взгляд Флатландия кажется не очень подходящим местом для того, чтобы искать ответы на все эти вопросы. Во Флатландии Эбботта есть множество законов, но среди них нет закона гравитации. В 1963 г. польский физик Анджей Старушкевич (Andrzej Staruszkiewicz), применив общую теорию относительности, рассчитал, каким этот закон мог бы быть. Он обнаружил, что массивный объект во Флатландии свернет двумерную плоскость возле себя в коническую поверхность, так же как делают шляпу, скручивая плоский лист бумаги. Небольшой объект, проходя через вершину этого конуса, обнаружит, что его траектория изменилась, наподобие того, как в нашей Вселенной орбиты комет изменяются под воздействием Солнца. В 1984 г. Стэнли Дезер (Stanley Deser) из Университета Брандейса, Роман Якив (Roman Jackiw) из Массачусетского технологического института и Герард Хоофт (Gerard't Hooft) из Утрехтского университета в Нидерландах рассчитали, как квантовые частицы будут двигаться в подобном пространстве.

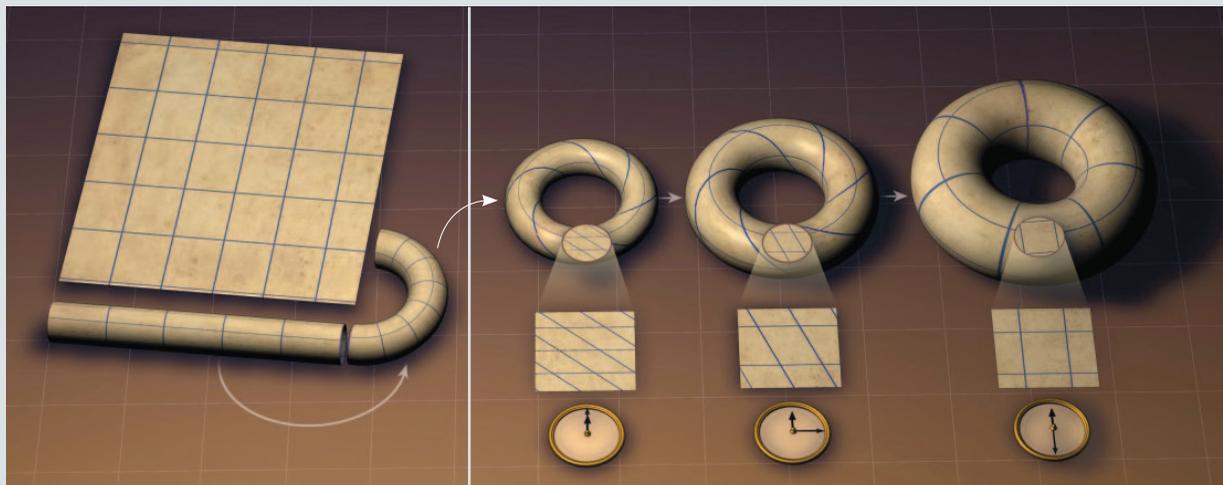
Такая геометрия намного проще сложной картины кривизны, образуемой гравитацией в нашей трехмерной Вселенной. Во Флатландии нет эквивалента закона притяжения Ньютона, вместо этого величина силы зависит от скоростей объектов, и два тела в состоянии покоя не притягиваются друг к другу. Такая простота притягательна. Это означает, что квантовая теория Старушкевича будет проще, чем полномасштабная квантовая общая теория относительности в трехмерном пространстве. К несчастью, теория эта слишком проста: нечего

Квантовая гравитация как всеобъемлющий эффект

КАК КВАНТОВАТЬ ГРАВИТАЦИЮ В ДВУХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Двумерная гравитация открыла физикам новый взгляд на то, что такое гравитация вообще. Это не обязательно сила, которая распространяется через пространство, — более того, в двух измерениях она вообще не может распространяться. Вместо этого гравитация может быть движущей силой изменений формы самого пространства. Физики исследовали

квадратную или параллелограммную Вселенную, которая была свернута в тор. Торы различной формы и размеров соответствуют двумерной Вселенной в разные моменты времени. То, что происходит в любом малом участке пространства, отражается на общем состоянии Вселенной. Микрокосм и макрокосм неразрывно связаны.



квантовать. В двумерном пространстве нет места для одного из важнейших элементов эйнштейновской теории — гравитационных волн.

Рассмотрим более простой пример из электромагнетизма. Электрические и магнитные поля образуются электрическими зарядами и токами. Как показал Максвелл, они могут отделяться от своих источников и свободно перемещаться в виде электромагнитных волн. В квантовой версии теории Максвелла волны превращаются в фотоны, кванты света. Аналогично, гравитационные поля общей теории могут отделяться от своих источников в виде свободно распространяющихся гравитационных волн, и физики предполагают, что квантовая теория гравитации будет содержать частицы, называемые гравитонами, которые и распространяются в пространстве.

Световая волна поляризована: ее электрическое поле колеблется в направлении, перпендикулярном направлению распространения. Гравитационная волна тоже имеет поляризацию, но здесь картина более сложная: поле осциллирует не в одном, а в двух направлениях, перпендикулярных направлению распространения. Во Флатландии для такого поведения просто нет пространства. Поскольку направление распространения фиксировано, остается лишь одно перпендикулярное ему направление. Несмотря на отдельные искры интереса, открытие Старушкевича стали забывать. Но затем в 1989 г. на сцену вышел Эдвард Виттен (Edward Witten) из Института перспективных исследований в Принстоне (штат Нью-Джерси). Виттен, один из ведущих в мире специалистов в области математической физики, работал над специальным классом полей, в которых волны свободно распространяться не могут. Когда ученый понял, что двумерная гравитация входит в их класс, он добавил в теорию критически необходимый ингредиент — топологию.

Бубликоландия

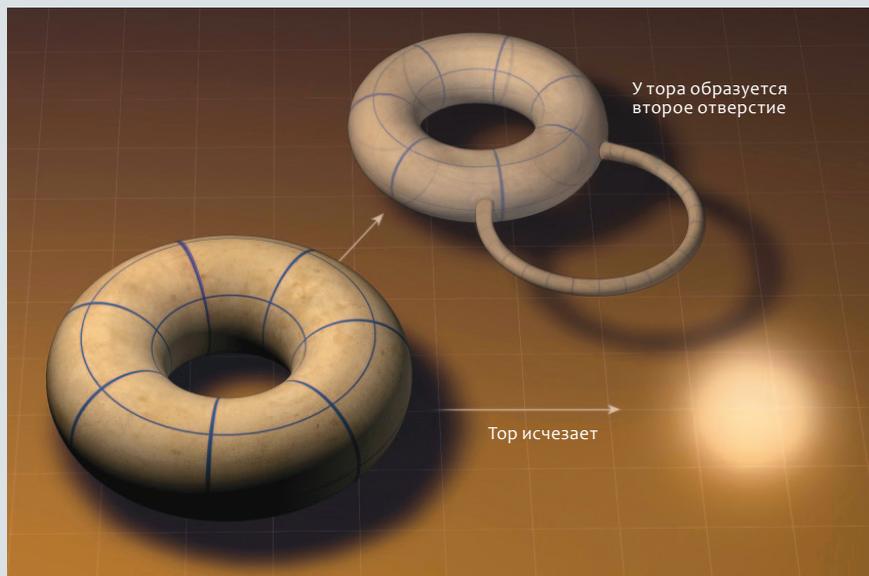
Виттен обратил внимание на то, что даже если гравитация и не может распространяться как волны, она, тем не менее, исключительно сильно влияет на общую форму пространства. Этот эффект не проявляется, когда Флатландия — просто плоскость, он требует более сложной топологии. Когда тают ледяные скульптуры, детали смазываются, но отдельные черты, такие как отверстия, остаются довольно долго. Это описывается топологией. Говорят, что две поверхности имеют одинаковую топологию, если одна может быть гладко деформирована в другую без разрезов, разрывов или склеек. Например, полусфера и диск имеют одинаковую топологию: если растянуть полусферу, приложив силу по ее периметру, то получится диск. У сферы другая топология: чтобы превратить ее в полусферу, необходимо отрезать от нее кусок. Тор — поверхность бублика — пример другой топологии. Поверхность кофейной чашечки имеет такую же топологию, что и тор: ее ручка похожа на тор, а остальную часть можно выровнять без надрезов или разрывов. С этим связана старая шутка математиков о том, что тополог не может отличить пончик от чашки кофе.

Хотя кажется, что торы состоят из кривых, но если вы рассматриваете их внутреннюю геометрию, а не смотрите на них снаружи, то заметите, что на самом деле они могут быть плоскими. С топологической точки зрения тор делает тором тот факт, что вы можете совершить полный обход его в двух различных направлениях: через отверстие или по ободу. Такая черта знакома любому, кто играл в видеоигры эры 1980-х гг., когда персонаж, исчезнувший с правой стороны экрана, вновь появляется на левой. Экран плоский, его свойства подчиняются законам планиметрии, таким как тот, что параллельные линии никогда не пересекаются. Однако топология его тороидальна.

Меняющаяся топология

«КРотовые НОРЫ» И БОЛЬШИЕ ВЗРЫВЫ

В квантовой теории гравитации, в отличие от теории Эйнштейна, топология Вселенной может изменяться, что, вероятно, позволит ответить на некоторые долгое время оставшиеся открытыми вопросы устройства Вселенной. Например, у тора с одним отверстием может появиться второе, что равнозначно образованию «кротовой норы» — потайного прохода из одного участка пространства в другой. Предположительно, «кротовые дыры» можно будет использовать как машины времени. Кроме того, космос может внезапно прекратить существование или родиться из абсолютного ничего.



В действительности существует бесконечное семейство таких торов — все они плоские, но разные, отличающиеся параметром, называемым модуль. Гравитация в тороидальной Вселенной заставляет модуль изменяться во времени. Тор, рождающийся как линия во время большого взрыва, раскрывается, по мере расширения Вселенной ее геометрия становится все более квадратобразной. Начав с результатов, полученных Витте-ном, я показал, что этот процесс можно квантовать, преобразовав классическую теорию гравитации в квантовую. Квантовая гравитация во Флатландии — теория не о гравитонах, а об изменяющих свою форму торах. Такой взгляд отмечает отход от привычного представления о квантовой теории как теории об очень малом. Квантовая гравитация в двух измерениях — это фактически теория, рассматривающая всю Вселенную как единый объект. Такая догадка дает нам достаточно богатую модель для исследования некоторых из фундаментальных концептуальных проблем квантовой теории.

В поисках времени

Например, гравитационная теория Флатландии показывает, как время могло бы возникнуть из фундаментально безвременной реальности. В одной из формулировок этой теории вся Вселенная описывается единственной квантовой волновой функцией, с использованием математического аппарата, обычно применяемого физиками для описания элементарных частиц и атомов. Данная волновая функция не зависит от времени, потому что она уже включает в себя все время — прошлое, настоящее и будущее. Каким-то образом эта «безвременная» волновая функция дает начало изменениям, которые мы наблюдаем в мире. Нелишне вспомнить афоризм Эйнштейна, который любил говорить, что время — это то, что измеряется с помощью часов. Время не обособлено от Вселенной, оно определяется подсистемой, которая взаимосвязана с остальной Вселенной, так же как настенные часы синхронизованы с вращением Земли.

Теория позволяет выбрать один из многих различных вариантов часов, и наш выбор определяет, что именно мы понимаем под термином «время». Квадрат из Флатландии Эбботта может определить время, используя показания атомных часов на спутниках, аналогичных тем, что используются для системы глобального позиционирования. Он может отмечать время длиной кривых, исходящих от Большого Взрыва, размером расширяющейся Вселенной или величиной красного смещения, вызванного ее расширением. Когда он делает свой выбор, все другие физические наблюдаемые изменяются в соответствии со временем, которое показывают его часы. Модуль торообразной Вселенной взаимосвязан, например, с ее размером, и Квадрат воспринимает это как Вселенную, эволюционирующую во времени. Таким образом, теория без посторонней помощи рождает время из лишней времени Вселенной. Эти идеи не новы, но квантовая гравитация в Бубликоландии наконец дала нам исходные данные, которые мы можем использовать в расчетах и проверить то, что общая картина не просто

выглядит привлекательно, но и действительно работает. Некоторые из определений времени имеют интригующие следствия, например предположение, что пространство может сложиться.

Что касается проблемы наблюдаемых, Бубликоландия дает нам множество реально измеримых величин — а именно модулей. Трюк состоит в том, что эти величины нелокальны: они не относятся к конкретным местоположениям, а описывают структуру всего пространства. Все, что измеряет Квадрат, в конечном итоге — замещающая переменная для этих нелокальных величин. В 2008 г. Катерина Мойсбургер (Catherine Meusburger), в настоящее время работающая в Университете Эрлангена — Нюрнберга в Германии, показала, что эти модули соответствуют реальным космологическим величинам, таким как времена запаздывания и красные смещения света. Я показал, как они соотносятся с движением объектов.

Теория гравитации Флатландии сулит хорошие новости для искателей «кротовых нор»: по крайней мере одна из формулировок теории допускает изменение топологии пространства. Квадрат вечером может лечь спать в Сферландии, а назавтра проснуться в Бубликоландии, что эквивалентно образованию туннеля между двумя далеко отстоящими друг от друга уголками Вселенной. В некоторых версиях теории мы можем описать рождение Вселенной из ничего, в результате первичного изменения топологии.

На краю Вселенной

Поскольку гравитация во Флатландии недоразвита, общепризнанным среди специалистов в этой области (включая и меня) фактом считалось, что двумерные черные дыры невозможны. Однако в 1992 г. три физика — Максимо Баньядос (Maximo Banados), который сейчас работает в Папском католическом университете Чили, Клаудио Банстер (Claudio Bunster) и Хорхе Санелли (Jorge Zanelli), оба из Центра научных исследований в Вальдивии, Чили, — потрясли мир, или по крайней мере наш небольшой его уголок, показав, что теория все же допускает существование черных дыр в случае, если Вселенная содержит определенный вид темной энергии.

Так называемые *BTZ*-черные дыры очень похожи на настоящие, из нашей Вселенной. Образованная из вещества, сжимающегося под своим собственным весом, такая дыра окружена горизонтом событий, барьером, пропускающим лишь в одну сторону, из-за которого ничего не может возвратиться. Для наблюдателя, остающегося снаружи, горизонт событий выглядит как край Вселенной: любой объект, прошедший через него, полностью от нас отрезан. Согласно вычислениям Хокинга, Квадрат увидел бы ее сияющей при температуре, зависящей от ее массы и углового момента.

Такой результат являет собой новую загадку. При отсутствии гравитационных волн или гравитонов, у гравитации во Флатландии должны отсутствовать и гравитационные степени свободы, которые объясняли бы температуру черной дыры. Однако они каким-то образом появляются. Причина в том, что сам горизонт событий

добавляет дополнительную структуру, отсутствующую в пустом двумерном пространстве. Горизонт событий существует в определенной части пространства, что математически добавляет в исходную теорию ряд дополнительных величин. Колебания, которые раскачивают горизонт событий, дают дополнительные степени свободы. Удивительно, но мы обнаружили, что они в точности воспроизводят результаты Хокинга.

Поскольку степени свободы — свойства самого горизонта событий, они в некотором смысле находятся на краю Флатландии. Поэтому они — практическое воплощение захватывающей гипотезы о природе квантовой гравитации — голографического принципа. Этот принцип утверждает, что пространственное измерение может быть заменяемым. Многие физики утверждают, что в точности так же, как голограмма запечатлевает трехмерное изображение на плоской пленке, физика d -мерного мира может быть полностью зафиксирована более простой теорией в $d-1$ -измерениях. В теории струн — самой далеко продвинувшейся попытке объединить общую теорию относительности с квантовой механикой — эта идея в конце 1990-х гг. привела к новому подходу: созданию квантовой теории гравитации (см.: Малдасена Х. *Иллюзия гравитации* // *ВМН*, № 2, 2006).

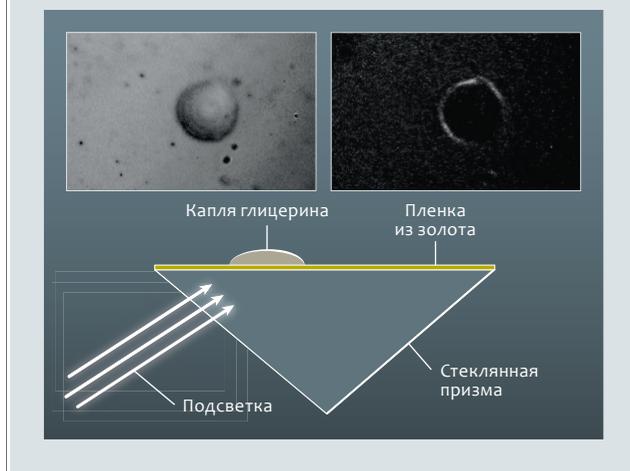
Теория гравитации Флатландии предлагает упрощенный сценарий для проверки данного подхода. Чуть более четырех лет назад Виттен и Александр Мэлоуни (Alexander Maloney), работающий сейчас в Университете Макгилла, вновь изумили физический мир, предположив, что голографические пророчества, похоже, не работают в простейшей форме двумерной теории гравитации. Они обнаружили, что теория, по-видимому, предсказывает невозможные тепловые свойства черных дыр. Этот неожиданный результат предполагает, что гравитация — более тонкое явление, чем мы ожидали, и ответом на это стал свежий всплеск исследований Флатландии. Возможно, гравитация в чистом виде просто не имеет смысла, а проявляется вкупе с другими силами и частицами. Быть может, теорию Эйнштейна следует пересмотреть. Вероятно, нам следует найти способ вернуть некоторые локальные степени свободы. Или голографический принцип не всегда имеет силу. Возможно, пространство, как и время, — не фундаментальные составляющие Вселенной. Каким бы ни был ответ, Флатландия указала нам направление, по которому мы в противном случае могли и не пойти.

Хотя мы не способны сотворить реальную двумерную черную дыру, может быть, мы сумеем проверить некоторые из предсказаний модели Флатландии экспериментально. Несколько лабораторий во всем мире работают над двумерными аналогами черных дыр. Например, жидкость, текущая быстрее скорости звука, образует звуковой горизонт событий, из которого не может вырваться звуковая волна. Экспериментаторы создали также двумерные черные дыры, используя электромагнитные волны, распространяющиеся вдоль поверхности. Такие аналоги должны продемонстрировать квантовое свечение, во многом схожее с сиянием черных дыр.

Экспериментальные аналоги

ФЛАТЛАНДИЯ НАЯВУ

Лабораторная установка, которая моделирует Флатландию, разработана Игорем Смоляниновым из Мэрилендского университета и его коллегами. Это металлическая поверхность, вдоль которой распространяются электромагнитные волны. Такие аналоги света называются поверхностными плазмонами. Капля жидкости захватывает их во многом подобно тому, как трехмерная черная дыра захватывает фотоны. Аналог горизонта событий появляется как белая корона (внизу справа). Если теоретики воспользовались теорией гравитации Флатландии в качестве удобного тренажера для разогрева мышц перед штурмом единой физической теории, то экспериментаторы считают, что двумерная модель найдет практическое применение в оптике.



Квантовая теория гравитации во Флатландии возникла как игровая площадка для физиков, простейшее поле, на котором исследуются идеи, относящиеся к теории квантовой гравитации реального мира. Она уже преподала нам ценный урок, касающийся времени, наблюдаемых и топологии, которые переносятся в реальную трехмерную теорию гравитации. Модель удивила нас своим богатством: неожиданно важной ролью топологии, своими замечательными черными дырами и странными голографическими свойствами. Возможно, вскоре мы полностью поймем, что значит быть Квадратом в плоском мире.

Перевод: А.П. Кузнецов

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

- Quantum Gravity in 2+1 Dimensions. Steven Carlip. Cambridge University Press, 1998.
- The Planiverse: Computer Contact with a Two-Dimensional World. A.K. Dewdney. Springer, 2001.
- Quantum Gravity in 2+1 Dimensions: The Case of a Closed Universe. Steven Carlip in Living Reviews in Relativity, Vol. 8; 2005. www.livingreviews.org/lrr-2005-1
- Глоссарий квантовой гравитации на веб-странице Стивена Карлипа: <http://snurl.com/carlip>
- Патрисия Шварц предлагает путешествие во времени во Флатландии: www.theory.caltech.edu/people/patricia/lctoc.html

Первое разумное телевидение

Одни лишь
задумываются



другие
изобретают!



Такой науку вы еще не видели!

Маркетинг: +7(495) 937-38-92
Дистрибуция: +7(495) 620-98-36
www.naukatv.ru

