

будущее ТЕОРИИ СТРУН

Джордж Массер

Беседа с Брайаном Грини.

Словосочетание «теория струн» приводит людей в замешательство. Даже специалисты досадуют на ее сложность, тогда как другие физики посмеиваются над присущим ей дефицитом экспериментов и наблюдений. Остальная часть человечества относится к этой области науки с полным безразличием. Сначала ученые лишь рассуждали, поможет ли теория струн осуществить мечту Альберта Эйнштейна об окончательной единой теории поля и разобраться, почему существует Вселенная. Но к середине 1990-х гг. теория начала приобретать концептуальную целостность, что позволило сделать некоторые проверяемые (хотя и на пределе современных возможностей) предсказания.

У профессора Колумбийского университета Брайана Грини (Brian Greene) огромный опыт в популяризации теории струн. Его книга «Изящная Вселенная» (*The Elegant Universe*), выпущенная в 1999 г., заняла четвертое место в списке бестселлеров *the New York Times* и вышла в финал конкурса на Пулитцеровскую премию. Недавно Грини закончил работу над книгой о природе пространства и времени и сейчас ведет цикл передач *Nova* на *PBS*. Он любезно согласился побеседовать с редактором *Scientific American* Джорджем Массером за тарелкой похожего на струны спагетти. Здесь мы приводим сокращенную и отредактированную версию их разговора.

Scientific American (далее – **SA**): Когда речь заходит о теории струн и космологии, у многих наших читателей опускаются руки: «Ну, этого нам никогда не понять!» – восклицают они.

Брайан Грини (далее – **Б.Г.**): Я заметил, что люди испытывают некоторый страх перед столь серьезными темами. Однако у большинства моих собеседников интерес к фундаментальным проблемам настолько велик, что они стремятся разобраться в них гораздо глубже, чем в более доступных вещах.

SA: В книге «Изящная Вселенная» вы сначала излагаете общую физическую идею, а затем приводите ее более подробный вариант.

Б.Г.: Мне кажется, что это полезный прием, особенно в наиболее трудных разделах. У читателя появляется выбор: если общая идея – достаточный для вас уровень, то можете спокойно пропускать следующий материал; если нет – разбирайтесь с ним. Я люблю излагать вещи разными способами. Когда дело доходит до абстрактных понятий, желательно рассматривать их в разных аспектах. Ограничиваясь единственным путем, вы ставите под угрозу возможность совершить прорыв. Когда все рассматривают проблему с одной стороны, а вы подходите к ней совсем с другой, то вам непременно открывається нечто совершенно новое.

SA: Например?

Б.Г.: Взять хотя бы крупные достижения Эда Виттена (Ed Witten) из Инсти-

тута перспективных исследований в Принстоне. Образно говоря, он поднялся на гору, осмотрелся и вдруг увидел недостающие связующие элементы, ранее никем не замеченные. В результате ему удалось объединить пять вариантов теории струн, которые до этого считались совершенно различными. Вот и все: стоило посмотреть с другой точки зрения – бах! – и все получилось.

Именно так представляется мне фундаментальное открытие. Вселенная сама ведет нас к своим истинам, ибо именно они лежат в основе всего, что мы воспринимаем. Поэтому мы так или иначе движемся в одном направлении. Таким образом, от крупных достижений нас зачастую отделяет лишь небольшое изменение в реальном или математическом восприятии, соединяющее уже известные вещи иным способом.

SA: Как вы думаете, были бы сделаны подобные открытия без вмешательства гения?

Б.Г.: Трудно сказать. В случае теории струн я думаю, что да, потому что элементы головоломки действительно становились все более и более ясными. Возможно, открытие было бы сделано на 5–10 лет позже, но подозреваю, оно было неизбежно. Насчет общей теории относительности у меня нет однозначного ответа. Это настолько грандиозное, монументальное переосмысление понятий ▶

Часто от совершения грандиозного открытия нас отделяет лишь небольшое изменение восприятия задачи.

пространства, времени и тяготения, что для меня совершенно не ясно, как и когда оно произошло бы, если бы не Эйнштейн.

SA: А в теории струн есть подобные достижения?

Б.Г.: Я думаю, что мы все еще ожидаем великого озарения. Теория струн создавалась на базе многих менее глобальных концепций, которые, постепенно объединяясь, создавали фундамент внушительного теоретического здания. Но мы пока не знаем, в чем состоит идея, которая увенчает его. Когда нам удастся ее понять, она, словно маяк, осветит строение целиком, и тогда, я уверен, мы найдем ответы на до сих пор нерешенные вопросы.

SA: В общей теории относительности таким маяком стали принцип эквивалентности и общая ковариантность, в Стандартной модели – калибровочная инвариантность. В «Изящной Вселенной» вы предположили, что для теории струн им мог бы стать голографический принцип (см. статью Якоба Бекенштейна «Информация в голо-

графической Вселенной», «В мире науки», №11/2003). Что вы думаете об этом сейчас?

Б.Г.: За последние несколько лет голографический принцип был тщательно проработан. Когда он был предложен в середине 90-х гг. XX в., лежащие в его основе соображения были довольно абстрактными, недостаточно определенными и целиком основывались на свойствах сингулярностей: энтропия черной дыры расположена на ее поверхности; поэтому не исключено, что степени свободы также находятся на поверхности, может быть, это верно для всех областей, которые имеют горизонт событий; возможно, то же самое справедливо для космологических горизонтов; вполне вероятно, что мы живем в пределах космологической области, истинные степени свободы которой находятся чрезвычайно далеко. Удивительно странные идеи, свидетельства в пользу которых на тот момент были чрезвычайно скудны.

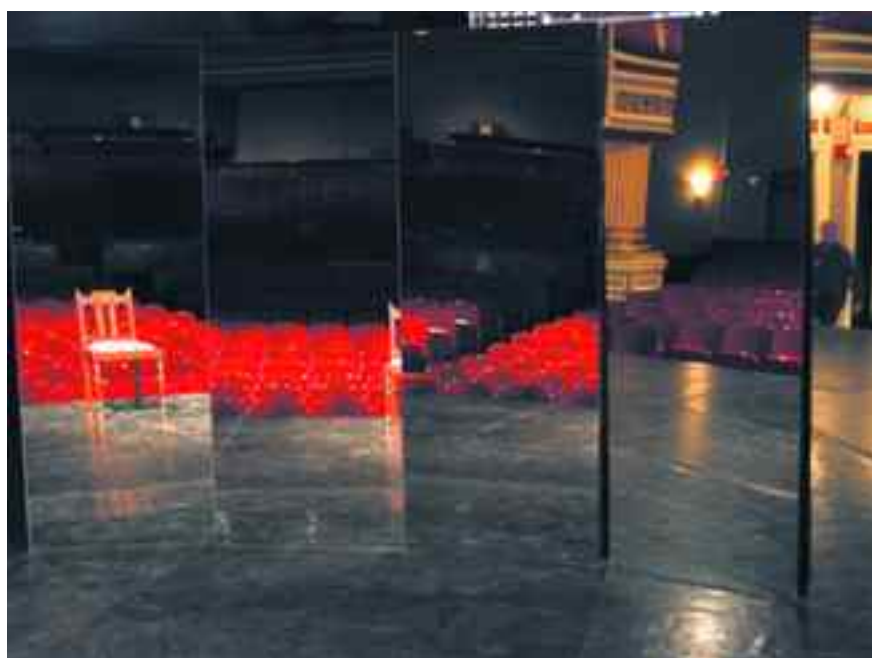
Положение изменилось с появлением работы Хуана Малдасены (Juan

Maldacena) из Института перспективных исследований в Принстоне, где он в пределах теории струн показал, как физику в целом, которую мы рассматриваем как реальность, можно точно отобразить физикой на ограничивающей поверхности. Все эти описания одинаково верно отражают происходящие события, хотя в деталях могут значительно различаться. Одно может быть в пяти измерениях, другое – в четырех. Похоже, даже число измерений нельзя считать точкой опоры, ибо существуют альтернативные описания, так же точно отражающие наблюдаемую физику.

Таким образом, абстрактные идеи стали более конкретными, и это заставляет им доверять. Даже если в теории струн что-то изменится, мне, как и многим другим (хотя и не всем), кажется, что голографический принцип сохранится и будет направлять нас. Лично я сомневаюсь, что он станет тем самым маяком – скорее, важным шагом к нахождению сущности теории. Голографический принцип выходит за ее пределы, он просто несет в себе понятие об очень общей особенности мира, в котором существуют квантовая механика и гравитация.

SA: Давайте немного поговорим о петлевой квантовой гравитации и некоторых других подходах. Когда дело доходило до квантовой гравитации, вы всегда рассматривали теорию струн как единственный оптимальный подход. Вы по-прежнему так считаете?

Б.Г.: Я думаю, что это самый забавный подход! Справедливости ради нужно отметить, что сообщество энтузиастов петлевой квантовой гравитации достигло больших успехов. Разумеется, многие принципиальные вопросы по-прежнему остаются без ответов, которые меня бы удовлетворили. Тем не менее это жизнеспособный метод, и очень здорово, что многие



чрезвычайно талантливые люди работают над ним. Я надеюсь – и в этом меня поддерживает Ли Смолин (Lee Smolin) из Института теоретической физики в Ватерлоо, Канада, – что в конечном счете мы развиваем одну и ту же теорию, но под разными углами зрения. Не исключено, что мы движемся к квантовой гравитации разными путями, но однажды обязательно встретимся. Ведь многие их сильные стороны – это наши слабости, и наоборот.

Одно из слабых мест теории струн – зависимость от среды, в которой она действует. Нам приходится принимать некоторое существующее про-

жизнь, так и не поняв до конца. Однако ученые уже вступили в диалог и даже провели несколько совместных заседаний.

SA: Если имеется такая зависимость от среды, то есть ли надежда действительно понять глубинную сущность пространства и времени?

Б.Г.: Давайте немного упростим задачу. Например, зависимость от среды не помешала нам открыть зеркальную симметрию – могут быть два пространства-времени и одна физика. Мы познакомились с изменчивостью топологии – оказалось, что пространство может преобразовываться такими способами, которые прежде невоз-

геометрии позволяет лучше понять задачу, чем применение другой. И снова речь идет о разных способах рассмотрения одной и той же физической системы: две различные геометрии и одна физика. Выяснилось, что существуют математические вопросы, касающиеся некоторых физических и геометрических систем, на которые невозможно ответить, используя только одну геометрию. Введение зеркальной геометрии, которая прежде не применялась, резко изменило ситуацию: сложные задачи после перевода на новый язык оказались поразительно простыми.

SA: Что же такое некоммутативная геометрия?

Общая теория относительности – это капитальное переосмысление свойств пространства и времени. Нам остается только ждать следующего озарения.

странство-время, в пределах которого движутся струны. Хотелось бы надеяться, что в законченной квантовой теории гравитации свойства пространства-времени будут выводиться из самих фундаментальных уравнений теории. А вот в петлевой квантовой теории гравитации имеется не зависящая от среды формулировка, в которой пространство-время полностью появляется непосредственно из теории. С другой стороны, у нас есть прямой контакт с общей теорией относительности Эйнштейна в случае больших масштабов, что следует из наших уравнений. Зато мы испытываем некоторые трудности при рассмотрении обычной гравитации. Поэтому естественно предположить, что в конечном итоге удастся объединить сильные стороны обоих направлений.

SA: Делались ли такие попытки?

Б.Г.: Пока без особого успеха. Далеко не многие одновременно хорошо разбираются в обеих теориях, на каждую из которых можно потратить целую

можно было даже представить. Выяснилось, что в микромире может править некоммутативная геометрия, в которой результат перемножения координат зависит от порядка следования сомножителей. Таким образом, можно получить отдельные элементы картины происходящего. Но я думаю, что без формальной независимости от среды соединить все части воедино на их собственной основе будет очень трудно.

SA: Смысл зеркальной симметрии чрезвычайно глубок, потому что она разделяет геометрию пространства-времени и физику, которые так стремился объединить Эйнштейн.

Б.Г.: Совершенно верно. Однако теперь она не разделяет их полностью, а просто говорит, что вам недостает половины предмета. Геометрия прочно связана с физикой, но это – отображение «два к одному». Это – не физика и геометрия отдельно. Это – физика и две геометрии, из которых вы можете выбирать. Иногда использование одной

Б.Г.: Со времен Декарта точки обозначают координатами: на поверхности Земли – широтой и долготой, в трехмерном пространстве – тремя декартовыми координатами: x , y и z . Мы всегда считали их обычными числами, результат перемножения которых (операция, которую часто приходится производить в физике) не зависит от порядка следования множителей: 3, умноженное на 5, равно 5, умноженному на 3. Многое говорит о том, что пространственные координаты при очень малых масштабах не похожи на обычные тройки и пятерки, а образуют новый класс чисел, произведение которых зависит от порядка перемножения.

Впрочем, здесь нет ничего нового: нам давно известны матрицы, на результат перемножения которых влияет порядок следования сомножителей: A , умноженное на B , не равно B , умноженному на A , если A и B – матрицы. Теория струн указывает на то, что точки, описываемые отдельными числами, следует заменить геометрическими ▶

Теоретически наша Вселенная может оказаться одной из многих.

объектами, описываемыми матрицами. При больших масштабах матрицы становятся все более диагональными, а на диагональные матрицы распространяется свойство коммутативности при умножении: не имеет значения, в каком порядке вы перемножаете диагональные матрицы. При погружении в микромир недиагональные элементы матриц увеличиваются и начинают играть все большую роль.

Некоммутативная геометрия – новая область геометрии, которая годами развивалась вдалеке от физики. Французский математик Ален Коннес (Alain Connes) написал книгу «Неком-

мутативная геометрия». Евклид, Гаусс, Риман и другие выдающиеся геометры работали в контексте коммутативной геометрии, а теперь Коннес и его соратники развивают совершенно новое направление.

SA: Мне трудно представить, что точки следует обозначать матрицами, а не просто числами.

Б.Г.: Видите ли, не существует никакого понятия точки. Точка – это приближение. Если есть точка, ее можно обозначить числом. Но дело в том, что в условиях малых масштабов язык точек становится плохим приближением, практически непригодным. Говоря

о геометрических точках, мы, по сути, толкуем о том, как что-то может двигаться через них. В конечном счете существенно именно движение объектов, которое на деле оказывается более сложным, чем просто перемещение вперед и назад. Все эти движения охватываются матрицей. Вместо того чтобы отмечать объект точкой, через которую он проходит, необходимо обозначать его движение матрицей степеней свободы.

SA: Что вы думаете об антропной и мультивселенской концепциях? В «Изящной Вселенной» вы писали о них, когда рассуждали о том, имеется ли



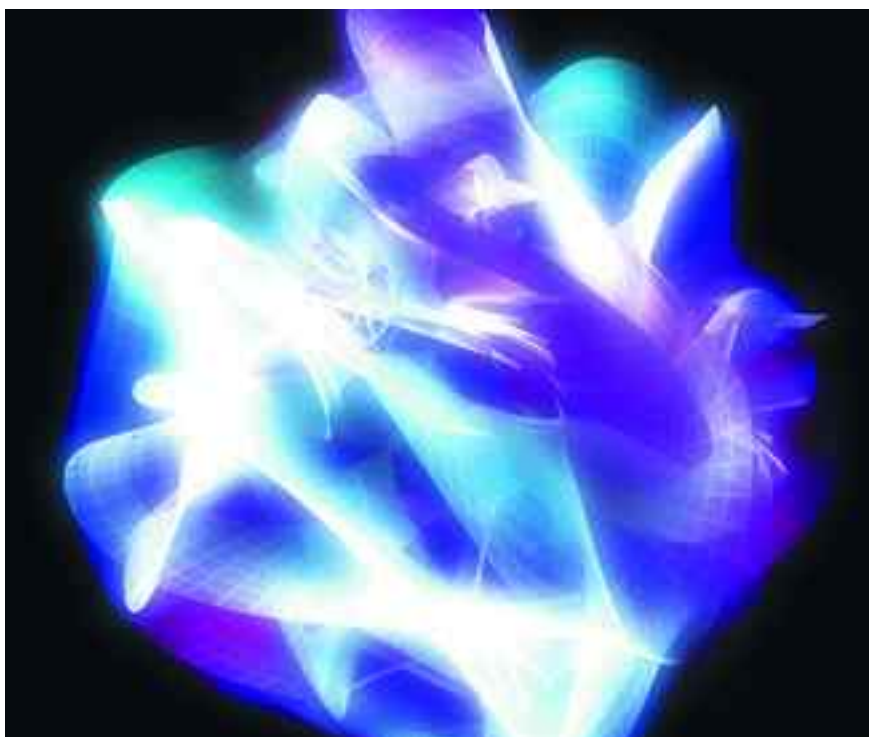
предел для объяснения явлений в теории струн.

Б.Г.: Я, как и многие другие, никогда не относился слишком серьезно ни к одной из антропных идей в основном потому, что, как мне кажется, в любой момент истории науки вы можете сказать: «Мы не можем идти дальше, а ответ на каждый до сих пор нерешенный вопрос таков: все так, как оно есть, потому что если бы это было не так, то не было бы нас, чтобы задать этот вопрос». Это похоже на неоправданную капитуляцию: ведь может оказаться, что от разгадки нас отделяют каких-нибудь пять лет кропотливой работы. Поэтому я считаю, что сдаваться ни в коем случае нельзя, даже несмотря на, казалось бы, проигрышную позицию.

Вместе с тем антропные идеи становятся все более проработанными. Выработаны конкретные предположения насчет того, как могут сосуществовать несколько различных вселенных. Вполне вероятно, что мы находимся в нашей Вселенной просто потому, что ее свойства пригодны для нашего существования. Возможно, в других вселенных мы бы элементарно не жили. Заметьте, это не просто умственное упражнение.

СА: Теория струн и современная физика в целом, по-видимому, приближаются к единой логической структуре, которая должна быть такой, какая она есть; а теория – такой, какова она есть, потому что она не могла бы быть никакой другой. С одной стороны, это серьезный довод против антропного направления. Но с другой стороны, в вашей теории есть определенная гибкость, которая ведет к антропному подходу.

Б.Г.: Гибкость может быть, а может и не быть: возможно, она – лишь артефакт неполного понимания. Теория, вероятно, допускает существование множества различных миров, один из которых – наш, но не обязательно в чем-то очень особенный. Так что на самом деле есть стремление к достижению абсолютной, полной негибкости.



Так выглядело бы для вас пространство-время, если бы вы были струной: шесть дополнительных измерений свернуты в так называемую форму Калаби-Яу (*Calabi-Yau shape*).

СА: Если бы у вас были аспиранты, ожидающие заданий, на что бы вы их направили?

Б.Г.: Главные вопросы – это те, которые мы обсуждали. Можем ли мы понять, откуда берутся пространство и время? Можем ли мы вывести фундаментальные концепции теории струн или М-теории? Можем ли мы показать, что из этих исходных идей следует уникальная теория с единственным решением, которое описывает наш мир? Возможно ли проверить эти теории с помощью астрономических наблюдений или экспериментов на ускорителях? Можем ли мы шагнуть еще дальше и понять, почему квантовая механика должна быть неотъемлемой частью мира? Какие фундаментальные положения – пространство, время, квантовая механика – действительно существенны, а требования скольких из них можно смягчить и все равно получить мир, похожий на наш?

Могла бы физика выбрать иной путь, который был бы экспериментально так же успешен, но полностью отличался от нашего? Я не знаю. Но думаю, что это – действительно интересный вопрос. Сколько из того, чему мы верим, действительно фундаментально и развивается по единственному пути, задаваемому экспериментальными данными и математической согласованностью? А сколько из этого могло бы идти и другим путем, но нам пришлось двигаться по одному из путей лишь потому, что мы открыли именно его? Могли бы существа на другой планете составить совершенно иной набор законов, которые работали бы точно так же, как наши? ■

Полная расшифровка стенограммы этой беседы с подробными комментариями обо всем – от телевидения до стрелы времени – доступна на www.sciam.com.