



БОЛЬШОЕ КОСМИЧЕСКОЕ ПУТЕШЕСТВИЕ ПО «АМЕРИКАНСКИМ ГОРКАМ»

Клифф Берджесс и Фернандо Кеведо

Могла ли космическая инфляция быть знаком того, что наша Вселенная входит составной частью в намного больший мир?

малый объем в ее полной протяженности. Различные типы параллельных вселенных, которые составляют великую Мультиленную (*multiverse*), часто возникают как побочные эффекты космологических теорий

мологов благодаря теории струн — главному кандидату на объяснение основополагающих законов природы. Несмотря на то что сами струны в теории струн чрезвычайно малы, принципы теории указывают на существование новых видов макро-

(см.: Тегмарк М. *Параллельные вселенные* // ВМН, № 8, 2003). У нас мало шансов когда-либо увидеть другие вселенные, и потому что они слишком далеки, и потому что они каким-то образом отделены от нашей Вселенной.

Тем не менее какие-то из параллельных вселенных, отделенные от нашей, все еще способны взаимодействовать с ней, и тогда мы могли бы обнаружить их прямое воздействие. Возможность существования этих миров привлекла внимание кос-

объектов, наподобие мембран, называемых для краткости бранами. В частности, наша Вселенная по своим свойствам может быть трехмерной браной, расположенной в девятимерном мире. Изменение формы многомерного пространства и столкновения между различными типами вселенных, возможно, привело к некоторым из тех особенностей, которые астрономы наблюдают во Вселенной сегодня.

В последнее время теория струн подвергается нападкам со стороны печати. Критика различна и ох-

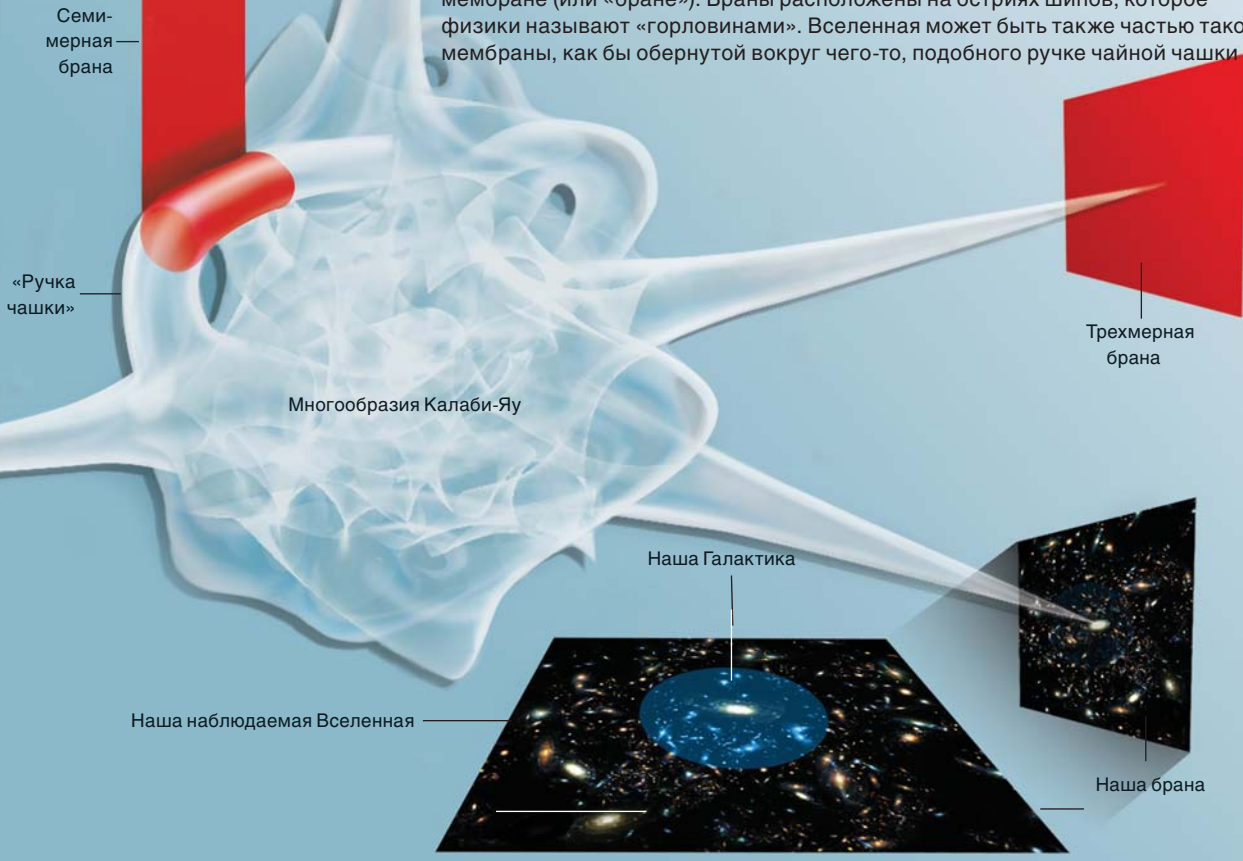
Вряд ли космологи ощущают клаустрофобию во Вселенной, радиус которой достигает 46 млрд световых лет и которая заполнена сикстиллионами звезд. Одна из нарождающихся тем космологии XXI столетия заключается в том, что вся известная нам Вселенная, все то, что мы видим, может на самом деле занимать очень

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Теория струн — главный кандидат на фундаментальную теорию природы, но ей не хватает решающих экспериментальных доказательств. Теория космической инфляции — главное описание первых моментов Вселенной. Но и здесь возникают трудности с объяснением в терминах фундаментальной физики. Могут ли теории струн и инфляции стать решением проблем?
- Поскольку параллельные вселенные, существование которых постулируется теорией струн, врезаются друг в друга, или происходят изменения в размерностях пространства высших порядков, пространство нашей Вселенной может расширяться в ускоренном темпе.

МНОЖЕСТВО ВСЕЛЕННЫХ В ОДНОЙ

Согласно теории струн, наша наблюдаемая Вселенная - всего лишь малая часть огромного мира, у которого больше размерностей, чем три, наблюдаемые нами непосредственно. Другие размерности могут быть микроскопическими (или обладать другими свойствами, которые затрудняют доступ к ним). Эти размерности существуют лишь в свернутом виде, известном как форма Калаби-Яу. Наблюдаемая Вселенная может находиться на мембране (или «бране»). Браны расположены на остриях шипов, которое физики называют «горловинами». Вселенная может быть также частью такой мембраны, как бы обернутой вокруг чего-то, подобного ручке чайной чашки.



ватывает разные темы, в том числе не затрагиваемые в настоящей статье, но главное заключается в том, что выводы теории нуждаются в экспериментальной проверке. Сомнения не лишены смысла. В меньшей степени это критика самой теории струн, скорее это констатация об-

щих трудностей проверки постулатов, относящихся к чрезвычайно малым масштабам явлений. Все предложенные фундаментальные теории сталкиваются с той же самой проблемой, включая предложенную теорию петлевой квантовой гравитации (см.: Смолин Л. *Атомы простран-*

ства и времени // ВМН, № 4, 2004). Теоретики продолжают искать способы проверить теорию струн. Один из перспективных подходов состоит в том, чтобы исследовать, как она могла бы объяснить таинственные аспекты физики нашей Вселенной. Из них главный — тот способ, которым темп космического расширения изменялся во времени.

ОБ АВТОРАХ

Клифф Берджесс (Cliff Burgess) и **Фернандо Кеведо** (Fernando Quevedo) встретились в начале 1980-х гг. как аспиранты известного физика Стивена Вайнберга. С тех пор они работают совместно, занимаясь главным образом проблемой связи теории струн с реальной наблюдательной физикой. Берджесс — исследователь в Канадском институте теории физики Периметр в Уотерлу, Онтарио, и профессор в Университете МакМастер в Гамильтоне. Кеведо — профессор в Кембридже, принимает участие в развитии науки в его родной стране Гватемале.

Собираясь в дорогу

В этом году исполняется 10 лет с тех пор, как было объявлено, что Вселенная расширяется во все ускоряющемся темпе, а расширением управляет некоторый неопознанный фактор под названием «темная энергия». Большинство космоло-

гов считают, что еще более быстрый период ускоренного расширения, известный как инфляция, имел место задолго до образования атомов, не говоря уже о галактиках. Температура Вселенной сразу после этого инфляционного периода была в миллиард раз выше, чем любые температуры, достигнутые на Земле. Космологи и физики, изучающие элементарные частицы, тщательно исследуют фундаментальные законы физики при столь высоких температурах. Такое взаимное оплодотворение идеями стимулирует полный пересмотр прежних представлений о ранней Вселенной с использованием теории струн.

Само понятие инфляции появилось, чтобы объяснить множество простых, но все же озадачивающих наблюдений, многие из которых включают реликтовое, или космическое микроволновое фоновое излучение, оставшееся от горячей ранней Вселенной. Например, реликтовое излучение показывает, что она тогда была почти совершенно однородна, что странно, поскольку ни один из обычных процессов, которые могли бы перемешать материю, сделав ее гомогенной (наподобие потока жидкости), не располагал для этого достаточным временем. В начале 1980-х гг. Алан Гус (Alan H. Guth), работающий в настоящее время в Массачусетском технологическом институте, обнаружил, что чрезвычайно быстрый период расширения мог бы объяснить подобную однородность. Такое ускоряющееся расширение растворяло любую существовавшую до того материю и сглаживало отклонения в плотности.

Тем не менее Вселенная не стала от этого полностью однородной. Плотность энергии космоса в течение инфляционного периода флуктуировала из-за статистических по своей природе квантовых законов, которые действуют на субатомных расстояниях. Подобно гигантской увеличивающей фотокопирующей машине, инфляция расширила малые квантовые флуктуации до астрономических размеров, что позже вызвало появление предсказуемых колебаний плотности.

То, что наблюдается в реликтовом излучении, воспроизводит предсказания инфляционной теории с поразительной точностью. Такой наблюдательный успех сделал инфляцию главным претендентом на описание тех процессов во Вселенной, которые происходили в очень ранние времена. Космические обсерватории ближайшего будущего, такие как спутник «Планк» Европейского космического агентства, будут искать подтверждающие свидетельства.

Но действительно ли благодаря законам физики появляется инфляция? Известно, как трудно заставить Вселенную, наполненную определенными формами материи, расширяться с ускорением, которое требует особого типа энергии с очень необычным набором свойств: ее плотность энергии должна быть положительной и оставаться почти постоянной в ходе гигантского расширения Вселенной. Но затем плотность должна внезапно и резко снизиться, чтобы позволить завершиться инфляции.

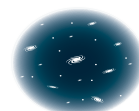
На первый взгляд, в данном случае оставаться постоянной для плотности какой-либо энергии кажется невозможным, потому что расширение пространства должно и ее как бы «растворять». Но особый источник энергии, называемый скалярным полем, позволяет избежать такого растворения. Скалярное поле можно представить себе как чрезвычайно примитивное вещество, которое заполняет пространство. Оно скорее подобно газу (но ведет себя иначе, чем любой газ) и напоминает хорошо известные электромагнитные и гравитационные поля, но проще них. Термин «скалярное поле» означает, что оно описывается одним-единственным числом, величина которого может изменяться в пространстве от места к месту. Напротив, магнитное поле — векторное, имеющее и величину, и направление (к северному магнитному полюсу) в каждой точке пространства. Наглядные примеры обоих типов полей дает метеорология: температура и давление — скаляры, а скорость ветра — вектор.

Скалярное поле, которое создавало инфляцию, поднимало уровень «ин-

МАСШТАБЫ ВСЕЛЕННОЙ

Естественные явления происходят во многих масштабах. Мелкие детали обычно не влияют на крупномасштабные явления, что создает трудности в проверке квантовых теорий гравитации, таких как теория струн. Но космическая инфляция позволяет чему-то ничтожно малому влиять на нечто с астрономическими размерами

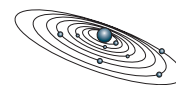
10^{26} м:
наблюдаемая
Вселенная



10^{21} м:
Галактика
Млечный путь



10^{13} м:
Солнечная
система



10^7 м:
Земля



10^{-2} м:
насекомые



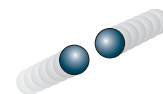
10^{-10} м:
атомы



10^{-15} м:
атомное ядро



10^{-18} м:
минимальное
расстояние



10^{-18} до 10^{-35} м:
типичные размеры
фундаментальных струн
и дополнительных измерений

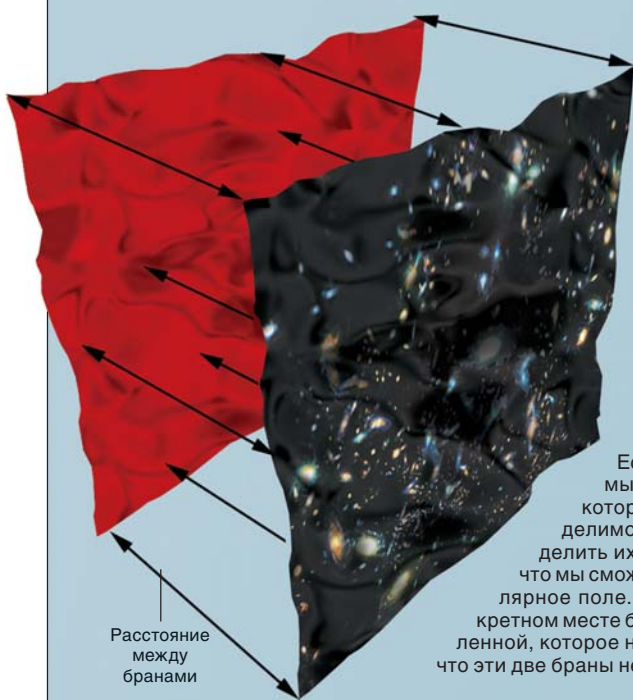


10^{-35} м:
минимальная длина
в природе, имеющая
физический смысл



фляционного» поля, очевидно вызывая ускорение расширения в течение относительно длительного периода, предшествовавшего его резкому выключению. Динамика напоминала первые мгновения поездки по ▶

КАК ДРУГИЕ БРАНЫ ВОЗДЕЙСТВУЮТ НА НАС



Расстояние между бранами

СХЕМА МЕЖБРАНОВЫХ РАССТОЯНИЙ (СКАЛЯРНОЕ ПОЛЕ)



Если другая вселенная приблизится к нашей, мы сможем почувствовать ее влияние. Силы, которые она вызовет, будут приходить с неопределимого направления, поэтому мы сможем определить их как силы, принадлежащие чему-либо. То, что мы сможем обнаружить, будет так называемое скалярное поле. Напряженность этого поля в любом конкретном месте будет зависеть от расстояния до другой вселенной, которое немного изменяется с положением, потому что эти две браны не будут полностью параллельны

Энергия, представленная этим полем, возможно, вызвала инфляцию — гигантское расширение с размерами нашей Вселенной в первые мгновения истории космоса. Инфляция, в свою очередь, должна была увеличить эффекты струн до космических размеров. (Подобный рост в темпе расширения, вызванный темной энергией, возможно, снова недавно начался.)

Для объяснения инфляции необходимо, чтобы плотность энергии скалярного поля оставалась почти постоянной и затем резко упала, подобно «нырку» вагончиков во время катания по «американским горкам»

«американским горкам». Вначале кабинка медленно взбиралась на невысокий подъем. (Применительно к инфляции слово «медленно», конечно, относительно: для человека процесс был невообразимо быстрым.) Затем — захватывающее дух падение, во время которого потенциальная энергия переходит в кинетическую (и, в конечном счете, рассеивается в тепло). Процесс инфляции нелегко моделировать теоретически. За минувшие 25 лет физики предложили много вариантов, но все же ни один из них не оказался совершенным. Успеху препятствует наше невежество в отношении тех явлений, которые могли происходить в условиях невероятно высоких энергий, по-видимому, действительно имевших место.

Надежны ли браны?

В течение 1980-х гг., по мере того как теория инфляции получала признание, независимые исследования позволили получить дополнительные сведения по названной проблеме. Теория струн предполагает, что субатомные частицы на самом деле —

это одномерные объекты, подобные крошечным обрезкам резиновых нитей. Некоторые из этих струн образуют петли (так называемые закрытые струны), другие — короткие отрезки с двумя концами (открытые струны). Согласно теории, все элементарные частицы, как когда-либо обнаруженные, так и еще многие неоткрытые, являются различными видами вибрации этих типов струн. Выигрышная часть теории струн — то, что она органически вбирает в себя гравитацию, которая естественно возникает из самой теории, без принудительного включения в исходные данные.

Если теория правильна, то пространство — это совсем не то, что нам кажется. В частности, размерность пространства составляет точно девять измерений (поэтому пространство-время, включая само время, имеет 10 измерений). К обычным трем (длине, ширине и высоте) добавляются еще шесть. Для нас эти дополнительные измерения невидимы. Возможно, они очень маленькие. Мы можем не обращать на них внимания просто потому, что мы

живем не в их мире. Например, асфальт на стоянке автомобиля может иметь мелкие трещины, глубина которых добавляет третье измерение к свойствам площадки, но если дефекты поверхности незначительны, вы никогда этого не заметите. Самим авторам теории струн тоже трудно представить себе девять измерений. Но если история физики чему-нибудь нас учит, так это тому, что истинная природа мира может лежать за пределами наших способностей представить ее себе зримо.

Несмотря на название, теория относится не только к струнам. Она содержит также другой вид объектов, называемых Дирихле-бранами (*Dirichlet-brans*), или, для краткости, *D*-бранами. *D*-браны — большие, массивные поверхности, которые плавают в пространстве. Они действуют подобно липкой бумаге для насекомых: концы открытых струн скользят по ним, но не могут от них оторваться. Субатомные частицы, как электроны и протоны, могут быть не чем иным, как открытыми струнами, и если это так, то они при-

JENS LANGEN (Burgess); ELISA QUEVEDO (Quevedo); MELISSA THOMAS (graphs)



креплены к бране. Только несколько гипотетических частиц, такие как гравитоны (которые переносят силы гравитации), должны быть закрыты струнами и, таким образом способны двигаться совершенно свободно сквозь дополнительные измерения. Данное различие предполагает вторую причину того, почему дополнительные измерения не видны: возможно, наши инструменты построены из частиц, которые захвачены браной. Если это так, будущие инструменты могли бы использовать гравитоны, чтобы перейти в дополнительные измерения.

D -браны могут иметь любое число измерений, вплоть до девяти. Нульмерная D -брана ($D0$ -брана) — особый вид частиц, $D1$ -брана — особый вид струн (но не тот же самый, что фундаментальная струна), $D2$ -брана — мембрана или перегородка, $D3$ -брана — объем с высотой, глубиной, шириной, и так далее. Вся наша наблюдаемая Вселенная может быть захваченной и находиться на такой бране — так называемом бран-мире. Другие бран-миры могут плавать вокруг

в пространстве, причем каждый из них — это вселенная, захваченная на «борт» браны. Поскольку браны могут двигаться в дополнительных измерениях, они будут вести себя подобно частицам. Они могут перемещаться, сталкиваться, уничтожаться и даже формировать системы бран, вращающихся друг вокруг друга подобно планетам.

Пока все эти концепции можно считать абстрактными. Пробным камнем для теории всегда становится очная ставка с экспериментом. Здесь теория струн обескураживает, потому что возможностей проверить ее экспериментально еще не было, несмотря на более чем 20 лет длительных исследований. Трудно оказалось найти «дымящуюся пушку» — предсказание, что проверка решительно покажет нам, что мир действительно сделан из струн. Даже Большой Адронный Коллайдер (LHC), строительство которого ныне приближается к завершению в $CERN$, европейской лаборатории физики частиц вблизи Женевы, может оказаться недостаточно мощным средством для получения ответа.

Наблюдение невидимых измерений

Если инфляция происходит при высоких энергиях, когда струнная природа частиц становится заметной, это может привести нас к тому самому экспериментальному тесту, который ищут теоретики. В прошедшие несколько лет физики пытались понять, не может ли теория струн объяснить инфляцию. К сожалению, такую цель легче объявить, чем достичь.

Говоря более точно, физики проверяют, предсказывает ли теория струн существование скалярного поля с двумя свойствами. Первое: его потенциальная энергия должна быть большой, положительной и примерно постоянной, чтобы провести инфляцию с большой энергией. Второе: эта потенциальная энергия должна быть способна резко конвертироваться в кинетическую в конце инфляции (волнующее падение с «американских горок»).

СЛОВАРЬ ТЕОРИИ СТРУН

ТЕОРИЯ СТРУН

Теория-кандидат на объединение всех теорий физических сил и частиц

ИНФЛЯЦИЯ

Кратковременный период ускоренного космического расширения в ранней истории Вселенной

НАБЛЮДАЕМАЯ ВСЕЛЕННАЯ

Все, что мы можем видеть во Вселенной, т.е. «Наша Вселенная»

ДРУГАЯ ВСЕЛЕННАЯ

Ненаблюдаемая область пространства-времени, которая, возможно, имеет другие свойства и законы физики

КАЛАБИ-ЯУ

Шестимерная форма скрытых измерений

БРАНА

Сокращение от «мембрана». Это может быть двухмерная плоскость (подобно обычной мембране) или ее более низкоразмерный или высокоразмерный варианты

ПОЛЕ

Форма энергии, которая заполняет пространство, подобно туману

СКАЛЯРНОЕ ПОЛЕ

Поле, описываемое в каждой точке единственным числом. Примеры: температура; инфляционное поле

МОДУЛИ

Скалярные поля, которые описывают размер и форму скрытых пространственных измерений

АННИГИЛЯЦИЯ

Полный переход массы в излучение, как это происходит, когда сталкиваются вещество и антивещество или браны и антибраны

Но есть и хорошие новости — теория струн не предсказывает никакой нехватки скалярных полей. Такие поля — своего рода утешительный приз за свойства существ вроде нас, которые привязаны к трем измерениям. Мы не можем видеть дополнительные измерения, но косвенно ощущаем их как скалярные поля. Ситуация аналогична той, когда при взлете самолета с плотно зашторенными окнами вы не видите треть

ИНФЛЯЦИЯ, ВЫЗЫВАЕМАЯ БРАНАМИ

СТОЛКНОВЕНИЕ БРАНЫ С АНТИБРАНОЙ

Брана и антибрана похожи на вещество и антивещество: они имеют противоположные заряды и притягивают друг друга

Их притяжение раздувает размеры в некоторых из их размерностей

Реагируя на взаимодействие соседних бран, близлежащие браны, наподобие нашей Вселенной, увеличиваются в размерах, уходя от катастрофического уничтожения



измерение (высоту), но можете почувствовать ее влияние, когда ваши уши закладывает. Изменение скалярного поля (давления) — косвенный способ воспринять невидимое измерение.

Давление воздуха представляет собой вес всего воздуха в атмосфере над вашей головой. Что же представляют собой скалярные поля теории струн? Некоторые из них соответствуют размеру или форме в невидимых направлениях и обозначаются математическим термином — геометрические «модульные» поля. Другие представляют расстояние между бран-мирами. Например, если наша D3-брана приблизилась к другой D3-бране, расстояние между ними могло бы немного изменяться с изменением места наблюдения из-за ряби в каждой бране. Физики в Торонто могли измерить величину скалярного поля как 1, а физики в Кембридже как 2. Тогда они могли бы заключить, что соседняя брана в два раза дальше от Кембриджа, чем от Торонто.

Сталкивание двух бран, или искажение дополнительных размерностей пространства требует энергии, которая может быть описана скалярным полем. Такая энергия могла бы заставить браны раздуваться, как впервые это предположили в 1998 г.

Джорджи Двали (Georgi Dvali) из Нью-Йоркского университета и Генри Тай (S.-Н. Туе) из Корнеллского университета. Плохие новости — результаты первых вычислений для различных скалярных полей не были обнадеживающими. Плотность энергии полей оказалась слишком низкой, чтобы шла инфляция. Профиль энергии более соответствовал уровню земли, чем кабине, медленно взбирающейся на «американские горки».

Появляются антибраны

Так выглядела проблема, когда в 2001 г. мы оба, Махбуб Маджумдар (Mahbub Majumdar), а также Говиндан Раджеш (Govindan Rajesh), Жень-Цзе Чжан (Ren-Jie Zhang) и покойный Детлеф Нолте (Detlef Nolte), работавшие тогда в Институте передовых исследований в Принстоне (штат Нью-Джерси), начали размышлять об этом. В то же самое время Двали (Dvali), Святослав Солганик (Sviatoslav Solganik) из Нью-Йоркского университета и Квейзар Шафи (Qaisar Shafi) из Университета Делавэра развивали подобный подход.

Наше новшество заключалось в том, чтобы рассмотреть как браны, так и антибраны, которые связаны с первыми, как антивещество с веществом. Они притягивают друг

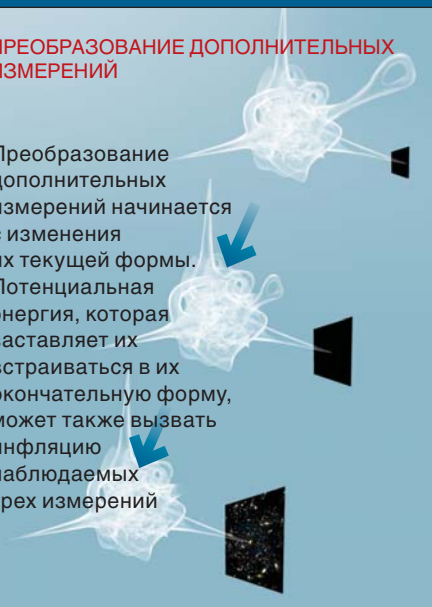
друга, как электроны свои античастицы (позитроны). Внутренняя энергия бран могла бы обеспечить положительную энергию, необходимую для начала инфляции, а их взаимное притяжение могло стать причиной завершения процесса, когда в столкновении брана и антибрана аннигилируют в гигантском взрыве. К счастью, наша Вселенная не должна была быть уничтожена, что было бы положительным результатом этого инфляционного процесса. Когда браны притягиваются и аннигилируют, эффекты распространяются на близлежащие браны.

Когда мы рассчитали силы притяжения в этой модели, выяснилось, что они слишком сильны, чтобы объяснить инфляцию. Но модель была доказательством принципа и показывала, как стабильный процесс мог прерваться внезапно и заполнить нашу Вселенную частицами. Наша гипотеза антибран также пролила свет на давний вопрос о том, почему наша Вселенная трехмерна.

Следующим усовершенствованием стал вопрос о том, что происходит, когда начинает двигаться само пространство, а не только браны в его пределах. В начале нашей работы мы принимали, что сами размер и форма многомерного пространства,

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Преобразование дополнительных измерений начинается с изменения их текущей формы. Потенциальная энергия, которая заставляет их встраиваться в их окончательную форму, может также вызвать инфляцию наблюдаемых трех измерений



в котором перемещаются браны, фиксированы. Это было серьезным упущением, потому что пространство искривляется под действием материи, но упущением понятным, потому что в 2001 г. никто не знал, как рассчитать данный многомерный изгиб, используя теорию струн.

Деформации пространства

За два года ситуация изменилась радикально. В 2003 г. Шамит Качру (Shamit Kachru), Рената Каллош (Renata Kallosh) и Андрей Линде (Andrei Linde) из Стэнфордского университета вместе с Сандип Триведи (Sandip Trivedi) из Института фундаментальных исследований в Мумбаи (Индия) разработали новый теоретический подход, названный *KKLT* по инициалам его создателей. Их система описывает обстоятельства, в которых геометрия дополнительных измерений становится очень жесткой и не слишком сильно изгибается, когда в ее пределах происходит движение. Система предсказывает огромное число возможных конфигураций для дополнительных измерений, причем каждая из них соответствует различным возможным вселенным. Набор таких возможностей назван ландшафтом теории струн. Каждая из этих вероят-

ностей может быть реализована в своей собственной области мультиверса.

В пределах *KKLT*-системы инфляция может происходить по крайней мере двумя способами. Во-первых, она может возникать из гравитационной реакции дополнительных измерений на движение браны и антибраны. Геометрия этих измерений может быть очень специфичной, напоминая осьминога с несколькими удлинениями, или «горловинами». Если брана перемещается вдоль одного из них, ее движение сквозь искривленные измерения ослабляет взаимное притяжение браны и антибраны. Это ослабление инициирует медленно развивающийся процесс, который и приводит к инфляции, что, возможно, решает главную проблему в нашем исходном предположении.

Во-вторых, инфляцию можно было бы осуществить просто изменениями в геометрии дополнительных измерений (без потребности в движении бран). Два года назад мы представили первый инфляционный сценарий этого типа на основе теории струн. Этот общий процесс называют модульной инфляцией, потому что модульные поля, которые описывают геометрию, действуют как инфляторы. Поскольку дополнительные измерения включены в их текущую конфигурацию, три обычных измерения расширяются в ускоренном темпе. В сущности, вселенная создает самое себя. Таким образом, модульная инфляция связывает размеры в тех измерениях, которые мы видим, с размерами и формой тех, которые не подвластны нашему зрению.

Струны в небе

Модели инфляции на основе теории струн, в отличие от многих других аспектов данной теории, могут быть в ближайшем будущем проверены экспериментальными наблюдениями. Космологи считали, что инфляция должна создавать гравитационные волны, своего рода рябь на ткани пространства-времени. Теория струн вмещивается в это предсказание. Существующие модели инфляции теории струн показывают, что гравита-

ционные волны настолько слабы, что они не наблюдаемы. Проблема может быть решена благодаря аппаратуре спутника «Планк», которая более чувствительна к первичным гравитационным волнам, чем существующие инструменты. И если такие волны удастся обнаружить, то все предложенные до сих пор модели инфляции теории струн будут отвергнуты.

Кроме того, некоторые модели инфляции с бранами предсказывают существование больших линейных структур, известных как космические струны, которые естественным путем возникают после аннигиляции браны и антибраны. Эти струны могут быть нескольких типов: *D1*-браны или фундаментальные струны, растянутые до огромных размеров, или комбинации двух струн. Если они существуют, астрономы могли бы обнаружить их по признакам искажения света от галактик.

Несмотря на прогресс в теории, остается много нерешенных проблем. Вопрос о том, происходила ли инфляция на самом деле, полностью не решен. Если усовершенствованные наблюдения поставят ее под сомнение, космологи должны будут обратиться к альтернативным сценариям ранней Вселенной. Теория струн создала несколько таких вариантов, в которых наша Вселенная существовала до Большого взрыва, возможно, как часть бесконечного цикла создания и разрушения (см.: Венециано Г. *Миф о начале времени // ВМН, № 8, 2004*). Трудность в том, чтобы точно описать переход, который отмечает момент Большого взрыва.

В целом, чтобы получить космическую инфляцию, теория струн предлагает два главных механизма: столкновение бран и реформацию дополнительных измерений пространства-времени. Впервые физики смогли получить конкретные модели космической инфляции вместо того, чтобы делать некритичные предположения *ad hoc*. Теория струн, предназначенная для объяснения явлений в мизерных масштабах, может стать законом всего неба. ■

Перевод: Л.В. Ксанфомалити