

КИРИЛЛ БРОННИКОВ, доктор физико-математических наук

Мост между

Мы все привыкли к тому, что прошлого не вернуть, хотя порой очень хочется. Писатели-фантасты уже более века живописуют разного рода казусы, возникающие благодаря возможности путешествовать во времени и влиять на ход истории. Причем тема эта оказалась настолько животрепещущей, что в конце прошлого века даже далекие от сказок физики всерьез занялись поиском таких решений уравнений, описывающих наш мир, которые позволяли бы создавать машины времени и в мгновение ока преодолевать любые пространства и времена.



мирами



Вопросы устойчивости кротовых нор и управления их конфигурацией пока не совсем ясны, поэтому вполне возможно, что для поддержания нормального функционирования пространственно-временных тоннелей понадобится специальное оборудование и немалое количество энергии

В фантастических романах описываются целые транспортные сети, соединяющие звездные системы и исторические эпохи. Шагнул в кабину, стилизованную, скажем, под телефонную будку, и оказался где-то в туманности Андромеды или на Земле, но — в гостях у давно вымерших тиранозавров. Персонажи подобных произведений постоянно используют нуль-транспортровки машины времени, порталы и тому подобные удобные приспособления. Впрочем, любители фантастики воспринимают такие путешествия без особого трепета — мало ли что можно вообразить, относя реализацию придуманного к неопределенному будущему или к озарениям неведомого гения. Гораздо более удивительным представляется то, что машины времени и тоннели в пространстве вполне серьезно как гипотетически возможные активно обсуждаются в статьях по теоретической физике, на страницах самых солидных научных изданий.

Разгадка кроется в том, что согласно эйнштейновской теории тяготения — общей теории относительности (ОТО) четырехмерное пространство-время, в котором мы живем, искривлено, а знакомая всем гравитация и есть проявление такого искривления. Материя «прогибает», искривляет пространство вокруг себя, и — чем она плотнее, тем сильнее искривление. Многочисленные альтернативные теории тяготения, счет которым идет на сотни, отличаясь от ОТО в деталях, сохраняют главное — идею кривизны пространства-времени. И если пространство кривое, то почему бы ему не принять, к примеру, форму трубы, накоротко соединяющей области, разделенные сотнями тысяч световых лет, или, допустим, далекие друг от друга эпохи — ведь речь идет не просто о пространстве, а о пространстве-времени? Помните, у▶



Карл Шварцшильд первым нашел решение ОТО, названное позднее черной дырой

MARVIN KONER/CORBIS/RFK

Стругацких (тоже, кстати, прибегавших к нуль-транспортировке): «Совершенно не вижу, почему бы благородному дону не...» — ну, скажем, не слетать в XXXII век?...

КРОВОТЫЕ НОРЫ ИЛИ ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ?

Мысли о столь сильном искривлении нашего пространства-времени возникли сразу после появления ОТО — уже в 1916 году австрийский физик Л. Фламм обсуждал возможность существования пространственной геометрии в виде некоей норы, соединяющей два мира. В 1935 году А. Эйнштейн и математик Н. Розен обратили внимание на то, что простейшие решения уравнений ОТО, описывающие изолированные, нейтральные или электрически заряженные источники гравитационного поля, имеют пространственную структуру «моста», почти гладким образом соединяющего две вселенные — два одинаковых, почти плоских, пространства-времени.

Такого рода пространственные структуры позднее получили название «кротовые норы» (достаточно вольный перевод английского слова «wormhole» — «червоточина»). Эйнштейн и Розен даже рассматривали возможность применения таких «мостов» для описания элементарных частиц. В самом деле, частица в этом случае — чисто пространственное образование, поэтому нет необходимости специально моделировать источник массы или заряда, а при микроскопических размерах кротовой норы внешний, удаленный наблюдатель, находящийся в одном из пространств, видит лишь точечный источник с определенными массой и зарядом. Электрические силовые линии входят в нору с одной стороны и выходят с другой, нигде не начинаясь и не заканчиваясь. По выражению американского физика Дж. Уилера, получается «масса без массы, заряд без заряда». И в этом случае вовсе не обязательно полагать, что мост соединяет две разные вселенные — ничуть не хуже предположение, что оба «устья» кротовой норы выходят в одну и ту же вселенную, но в разных ее точках и в разные времена — что-то вроде пустотелой «ручки», пришитой к привычному практически плоскому миру. Одно устье, в которое входят силовые линии, можно видеть как отрицательный заряд (к примеру, электрон), другое, из которого они выходят, — как положительный (позитрон), массы же будут одинаковы с обеих сторон.

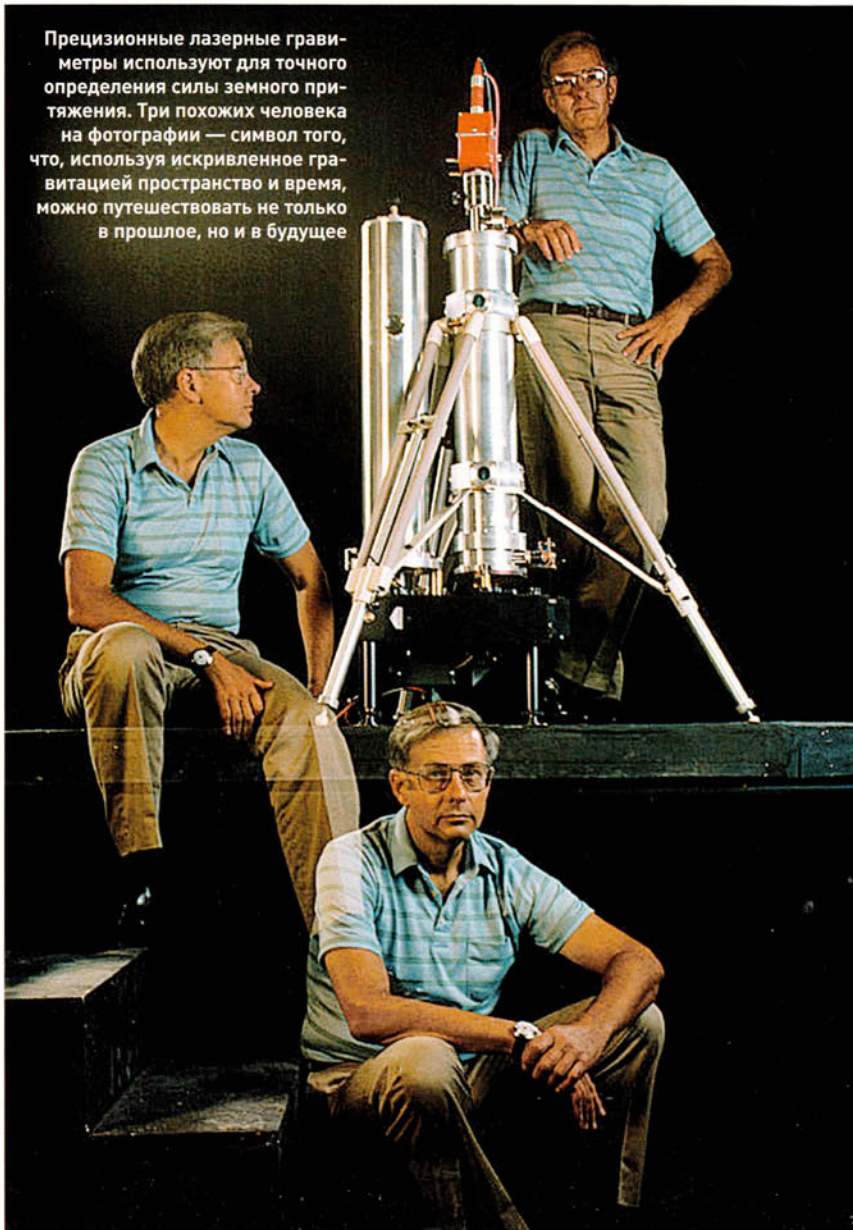
При всей привлекательности такой картины она (по многим причинам) не прижилась в физике элементарных частиц. «Мостам» Эйнштейна — Розена трудно приписать квантовые свой-

ства, а без них в микромире делать нечего. При известных значениях масс и зарядов частиц (электронов или протонов) мост Эйнштейна — Розена вообще не образуется, вместо этого «электрическое» решение предсказывает так называемую «голую» сингулярность — точку, в которой кривизна пространства и электрическое поле становятся бесконечными. Понятие пространства-времени, пусть даже искривленного, в таких точках теряет смысл, поскольку решать уравнения с бесконечными слагаемыми невозможно. Сама ОТО вполне определенно заявляет, где именно она перестает работать. Вспомним сказанные выше слова: «почти гладким образом соединяющего...». Вот это «почти» и относится к основному изъяну «мостов»

Эйнштейна — Розена — нарушению гладкости в самом узком месте «моста», на горловине. И нарушение это, надо сказать, весьма нетривиально: на такой горловине, с точки зрения удаленного наблюдателя, останавливается время... По современным представлениям, то, что Эйнштейн и Розен рассматривали как горловину (то есть самое узкое место «моста»), на самом деле есть не что иное, как горизонт событий черной дыры (нейтральной или заряженной). Более того, с разных сторон «моста» частицы или лучи попадают на разные «участки» горизонта, а между, условно говоря, правой и левой частями горизонта находится особая нестатическая область, не преодолев которую нельзя пройти нору. Для удаленного наблюдателя косми-

По Эйнштейну, пространство и время не просто существуют, но и теснейшим образом взаимодействуют друг с другом. Они могут причудливо искривляться, образуя много путей, соединяющих различные в пространстве и времени точки-события.

Прецизионные лазерные гравиметры используют для точного определения силы земного притяжения. Три похожих человека на фотографии — символ того, что, используя искривленное гравитацией пространство и время, можно путешествовать не только в прошлое, но и в будущее



ческий корабль, приближающийся к горизонту достаточно крупной (по сравнению с кораблем) черной дыры, как бы навеки застывает, а сигналы от него доходят все реже и реже. Напротив, по корабельным часам горизонт достигается за конечное время. Минував горизонт, корабль (частица или луч света) вскоре неотвратно упирается в сингулярность — туда, где кривизна становится бесконечной и где (еще на подходе) любое протяженное тело будет неизбежно раздавлено и разорвано. Такова суровая реальность внутреннего устройства черной дыры. Решения Шварцшильда и Райснера — Нордстрема, описывающие сферически-симметричные нейтральные и электрически заряженные черные дыры, были получены в 1916—1917

годах, однако в непростой геометрии этих пространств физики полностью разобрались лишь на рубеже 1950—1960-х годов. Кстати, именно тогда Джон Арчибальд Уилер, известный своими работами в ядерной физике и теории гравитации, предложил термины «черная дыра» и «кротовая нора». Как оказалось, в пространствах Шварцшильда и Райснера — Нордстрема кротовые норы действительно есть. С точки зрения удаленного наблюдателя, они не видны полностью, как и сами черные дыры, и — так же вечны. А вот для путешественника, отважившегося проникнуть за горизонт, нора настолько быстро схлопывается, что сквозь нее не пролетит ни корабль, ни массивная частица, ни даже луч света. Чтобы, минуя сингуляр-

ность, прорваться «на свет Божий» — к другому устью норы, необходимо двигаться быстрее света. А физики сегодня полагают, что сверхсветовые скорости перемещения материи и энергии невозможны в принципе.

КРОВОТЫЕ НОРЫ И ВРЕМЕННЫЕ ПЕТЛИ

Итак, черную дыру Шварцшильда можно рассматривать как непроходимую кротовую нору. Черная дыра Райснера — Нордстрема устроена сложнее, но тоже непроходима. Однако не так уж сложно придумать и описать проходимые четырехмерные кротовые норы, подбирая нужный вид метрики (метрика, или метрический тензор, — это набор величин, с помощью которых вычисляются четырехмерные расстояния-интерва- ▶

Искаженная двухмерная координатная сетка иллюстрирует искривление пространства вблизи черной дыры. Яркая точка на рисунке соответствует сингулярности, где кривизна пространства-времени обращается в бесконечность. Всякое тело, залетевшее внутрь уходящего в глубину конуса, уже никогда не возвратится назад

Нырря в кротовую нору, можно не только попасть в другую вселенную, но и вернуться назад на Землю, совершив путешествие во времени



лы между точками-событиями, полностью характеризующий и геометрию пространства-времени, и поле тяготения). Проходимые кротовые норы, в общем, геометрически даже проще, чем черные дыры: там не должно быть никаких горизонтов, приводящих к катаклизмам с ходом времени. Время в разных точках может, конечно, идти в разном темпе — но не должно бесконечно ускоряться или останавливаться.

Надо сказать, различные черные дыры и кротовые норы весьма интересные микрообъекты, возникающие сами собой, как квантовые флуктуации гравитационного поля (на длинах порядка 10^{-33} см), где, по существующим оценкам, понятие классического, гладкого пространства-времени уже неприменимо. На таких масштабах должно существовать что-то похожее на водяную или мыльную пену в бурном потоке, постоянно «дышащую» за счет образования и схлопывания мелких пузырьков. Вместо спокойного пустого пространства мы имеем возникающие и исчезающие в бешеном темпе мини-черные дыры и кротовые норы самых причудливых и переплетающихся конфигураций. Их размеры невообразимо малы — они во столько же раз меньше атомного


ядра, во сколько это ядро меньше планеты Земля. Строгого описания пространственно-временной пены пока нет, так как еще не создана последовательная квантовая теория гравитации, но в общих чертах описанная картина следует из основных принципов физической теории и вряд ли изменится.

Однако с точки зрения межзвездных и межвременных путешествий нужны кротовые норы совсем иных размеров: «хотелось» бы, чтобы через горловину без повреждений проходил разумных размеров космический корабль или хотя бы танк (без него среди тиранозавров будет неуютно, не правда ли?). Поэтому для начала нужно получить решения уравнений гравитации в виде проходимых кротовых нор макроскопических размеров. И если предположить, что такая нора уже появилась, а остальное пространство-время осталось почти плоским, то, считайте, есть все — нора может быть и машиной времени, и межгалактическим тоннелем, и даже ускорителем. Независимо от того, где и когда находится одно из устьев кротовой норы, второе может оказаться в любом месте в пространстве и когда угодно — в прошлом или в будущем. К тому же устье может двигаться с любой

скоростью (в пределах световой) по отношению к окружающим телам — это не мешает выходу из норы в (практически) плоское пространство Минковского. Оно, как известно, необычайно симметрично и выглядит одинаково во всех своих точках, во всех направлениях и в любых инерциальных системах, с какими бы скоростями они ни двигались.

Но, с другой стороны, допустив существование машины времени, мы немедленно сталкиваемся со всем «букетом» парадоксов типа — полетел в прошлое и «убил дедушку лопатой» раньше, чем дедушка мог бы стать отцом. Нормальный здравый смысл подсказывает, что такого, скорее всего, быть просто не может. И если физическая теория претендует на описание реальности, она должна содержать механизм, запрещающий образование подобных «временных петель», или, по меньшей мере, до крайности затруднять их образование.

ОТО, вне всякого сомнения, претендует на описание реальности. В ней найдено немало решений, описывающих пространства с замкнутыми временными петлями, но они, как правило, по тем или иным причинам признаются либо нереалистичными, либо, скажем так, «неопасными».



Теоретически возможны самые разнообразные конгломераты кротовых нор, в том числе в виде столь затейливой фрактальной структуры, состоящей из множества похожих друг на друга нор различного пространственно-временного масштаба

SPL/EAST NEWS (x2)

Так, весьма интересное решение уравнений Эйнштейна указал австрийский математик К. Гедель: это однородная стационарная вселенная, вращающаяся как целое. Она содержит замкнутые траектории, путешествуя по которым можно вернуться не только в исходную точку пространства, но и в исходный момент времени. Однако расчет показывает, что минимальная временная протяженность такой петли много больше времени существования Вселенной.

Проходимые кротовые норы, рассматриваемые как «мосты» между разными вселенными, временных петель не содержат, но стоит только (как мы уже говорили) предположить, что оба устья выходят в одну и ту же вселенную, как петли возникают немедленно. Что же тогда с точки зрения ОТО мешает их образованию — по крайней мере, в макроскопических и космических масштабах?

Ответ простой: структура уравнений Эйнштейна. В их левой части стоят величины, характеризующие пространственно-временную геометрию, а в правой — так называемый тензор энергии-импульса, в котором сосредоточены сведения о плотности энергии вещества и различных полей, об их давлении в разных направлениях,

Природа поставила серьезный барьер на пути возникновения кротовых нор. Но так уж устроен человек, и ученые здесь не исключение: если барьер существует, всегда найдутся желающие его преодолеть...

об их распределении в пространстве и о состоянии движения. Можно «читать» уравнения Эйнштейна справа налево, заявляя, что с их помощью материя «говорит» пространству, как ему искривляться. Но можно и — слева направо, тогда интерпретация будет иной: геометрия диктует свойства материи, которая могла бы обеспечить ее, геометрии, существование.

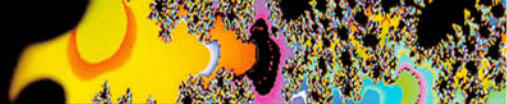
Так вот, если нам нужна геометрия кротовой норы — подставим ее в уравнения Эйнштейна, проанализируем и выясним, какая же требуется материя. Оказывается, весьма странная и невиданная, ее так и называют — «экзотическая материя». Так, для создания самой простой кротовой норы (сферически-симметричной) необходимо, чтобы плотность энергии и давление в радиальном

направлении в сумме давали отрицательную величину. Надо ли говорить, что для обычных видов вещества (как и многих известных физических полей) обе эти величины положительны?..

Природа, как мы видим, в самом деле поставила серьезный барьер на пути возникновения кротовых нор. Но так уж устроен человек, и ученые здесь не исключение: если барьер существует, всегда найдутся желающие его преодолеть...

Работы теоретиков, интересующихся кротовыми норам, можно условно разделить на два дополняющих друг друга направления. Первое, заранее предполагая существование кротовых нор, рассматривает возникающие следствия, второе — пытается определить, как и из чего могут быть построены кротовые норы, при каких условиях они появляются или могут появляться.

В работах первого направления обсуждается, например, такой вопрос. Предположим, в нашем распоряжении кротовая нора, сквозь которую можно пройти за считанные секунды, и пусть два ее воронкообразных устья «А» и «Б» расположены близко друг от друга в пространстве. Можно ли превратить такую нору в машину ▶



времени? Американский физик Кип Торн с сотрудниками показал, как это сделать: идея заключается в том, чтобы одно из устьев, «А», оставить на месте, а другое, «Б» (которое должно вести себя как обычное массивное тело), — разогнать до скорости, сравнимой со скоростью света, а затем вернуть обратно и затормозить рядом с «А». Тогда за счет эффекта СТО (замедления времени на движущемся теле по сравнению с неподвижным) для устья «Б» пройдет меньше времени, чем для устья «А». Причем чем больше была скорость и продолжительность путешествия устья «Б», тем больше будет разница времен между ними. Это, по сути дела, тот же хорошо известный ученым «парадокс близнецов»: близнец, вернувшийся из полета к звездам, оказывается младше своего брата-домоседа... Пусть разница во времени между устьями составляет, к примеру, полгода. Тогда, сидя возле устья «А» посреди зимы, мы увидим сквозь кротовую нору яркую картину прошедшего лета и — реально в это лето и вернемся, пройдя нору насквозь. Затем снова приблизимся к воронке «А» (она, как мы договорились, где-то рядом), еще раз нырнем в нору и — перепрыгнем напрямик в прошлогодний снег. И так сколько угодно раз. Двигаясь же в обратном

направлении — ныряя в воронку «Б», — скакнем на полгода в будущее... Таким образом, совершив единственную манипуляцию с одним из устьев, мы получаем машину времени, которой можно «пользоваться» постоянно (если, конечно, предположить, что нора устойчива или что мы в состоянии поддерживать ее «работоспособность»).

Работы второго направления более многочисленны и, пожалуй, даже более интересны. К этому направлению относится поиск конкретных моделей кротовых нор и исследование их специфических свойств, которые, в общем-то, и определяют, что с этими норами можно делать и как их использовать.

ЭКЗОМАТЕРИЯ И ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ

Экзотические свойства материи, которыми должен обладать строительный материал для кротовых нор, как выясняется, могут быть реализованы за счет так называемой поляризации вакуума квантовых полей. К такому выводу недавно пришли российские физики Аркадий Попов и Сергей Сушков из Казани (совместно с Давидом Хохбергом из Испании) и Сергей Красников из Пулковской обсерватории. И в данном случае вакуум — вовсе не пустота, а квантовое состояние с наименьшей энергией — поле без реаль-

ных частиц. В нем постоянно появляются пары «виртуальных» частиц, которые снова исчезают раньше, чем их можно было бы обнаружить приборами, но оставляя свой вполне реальный след в виде некоторого тензора энергии-импульса с необычными свойствами. И хотя квантовые свойства материи проявляются главным образом в микромире, порождаемые ими кротовые норы (при некоторых условиях) могут достигать весьма приличных размеров. Кстати, одна из статей С. Красникова носит «пугающее» название — «Угроза кротовых нор».

Самым интересным в этой чисто теоретической дискуссии является то, что реальные астрономические наблюдения последних лет, похоже, сильно подрывают позиции противников возможности самого существования кротовых нор. Астрофизики, изучая статистику взрывов сверхновых в галактиках, удаленных от нас на миллиарды световых лет, сделали вывод, что наша Вселенная не просто расширяется, а разлетается со все большей скоростью, то есть с ускорением. Более того, со временем это ускорение даже нарастает. Об этом достаточно уверенно говорят самые последние наблюдения, проведенные на новейших космических телескопах. Ну а теперь — самое время вспомнить о ▶

Может оказаться, что, используя крупные кротовые норы, будет несложно попасть в иные, неведомые миры. Вот только вернуться назад, возможно, окажется гораздо сложнее...



Компьютерная модель показывает, как гравитационное поле черной дыры искажает вид падающей на нее раскаленной материи



Современная компьютерная графика весьма тяготеет к причудливым, все уменьшающимся фрактальным элементам. Хотя не исключено, что в данном случае это уместно, ведь теоретики всерьез говорят об особом состоянии физического вакуума как о строительном материале для кротовых нор



Вблизи черной дыры гравитационное поле так значительно, что световые лучи заметно искривляют свой путь

SPU/EAST NEWS (KZ)

Человеку неискующему путешествия во времени представляются воплощенным абсурдом. Но вот для физиков и математиков процедура обращения времени — совершенно привычный «прием».

связи между материей и геометрией в ОТО: характер расширения Вселенной накрепко связан с уравнением состояния материи, иными словами, с соотношением между ее плотностью и давлением. Если материя — обычная (с положительными плотностью и давлением), то сама плотность со временем падает, а расширение замедляется. Если же давление отрицательно и равно по величине, но противоположно по знаку плотности энергии (тогда их сумма = 0), то такая плотность постоянна во времени и пространстве — это так называемая космологическая постоянная, которая приводит к расширению с постоянным ускорением. Но чтобы ускорение росло со временем, и этого недостаточно — сумма давления и плотности энергии должна быть отрицательной. Такую материю никто и никогда не наблюдал, однако поведение видимой части Вселенной, похоже, сигнализирует о ее присутствии. Расчеты показывают, что такой вот странной, невидимой, материи (названной «темной энергией») в настоящую эпоху должно быть около 70%, и эта доля постоянно увеличивается (в отличие от обычного вещества, которое с увеличением объема теряет плотность, темная энергия ведет себя парадоксально — Вселенная расширяется, а ее плотность растет). Но ведь (и мы об этом уже говорили) именно такая экзотическая материя — самый подходящий «стройматериал» для образования кротовых нор.

Так и тянет фантазировать: рано или поздно темная энергия будет об-



Ученые достаточно свободно говорят о возможности существования множества невидящих друг друга вселенных. Так что структуры типа кротовых нор позволят человечеству не только исследовать свой мир, но и посетить иные миры

наружена, ученые и технологи научатся ее сгущать и строить кротовые норы, а там — недалеко и до «сбычи мечты» — о машинах времени и о туннелях, ведущих к звездам... Правда, несколько расхолаживает оценка плотности темной энергии во Вселенной, обеспечивающей ее ускоренное расширение: если темная энергия распределена равномерно, получается совершенно ничтожная величина — около 10^{-29} г/см³. Для обычного вещества такая плотность соответствует 10 атомам водорода на 1 м³. Даже межзвездный газ в несколько раз плотнее. Так что если этот путь к созданию машины времени и может стать реальным, то очень и очень не скоро.

ТРЕБУЕТСЯ ДЫРКА ОТ БУБЛИКА

До сих пор речь шла о туннелеобразных кротовых норах с гладкими горловинами. Но ведь ОТО предсказывает и другой вид кротовых нор — и они в принципе вообще не требуют никакой распределенной материи. Существует целый класс решений уравнений Эйнштейна, в которых четырехмерное пространство-время, плоское вдали от источника поля, существует как бы в двух экземплярах (или листах), а общими для них обоих являются лишь некое тонкое кольцо (источник поля) и диск, этим кольцом ограниченный. Кольцо это обладает поистине волшебным свойством: можно сколь угодно долго «бродить» вокруг него, оставаясь в «своем» мире, но стоит пройти его насквозь — и попадешь совсем в другой мир, хотя и похожий на «свой». А чтобы вернуться назад, надо еще раз

пройти сквозь кольцо (причем с любой стороны, не обязательно с той, с которой только что вышел). Само кольцо сингулярно — кривизна пространства-времени на нем обращается в бесконечность, но все точки внутри него вполне нормальны, и движущееся там тело не испытывает никаких катастрофических воздействий.

Интересно, что таких решений великое множество — и нейтральных, и с электрическим зарядом, и с вращением, и без него. Таково, в частности, знаменитое решение новозеландца Р. Керра для вращающейся черной дыры. Оно наиболее реалистично описывает черные дыры звездных и галактических масштабов (в существовании которых большинство астрофизиков уже не сомневается), так как едва ли не все небесные тела испытывают вращение, а при сжатии вращение только ускоряется, тем более — при коллапсе в черную дыру.

Итак, получается, что именно вращающиеся черные дыры — «прямые» кандидаты в «машины времени»? Однако черные дыры, образующиеся в звездных системах, окружены и заполнены горячим газом и жесткими смертоносными излучениями. Помимо этого чисто практического возражения есть и принципиальное, связанное со сложностями выхода из-под горизонта событий на новый пространственно-временной «лист». Но на этом не стоит останавливаться подробнее, так как согласно ОТО и многим его обобщениям кротовые норы к сингулярными кольца-

ми могут существовать и без всяких горизонтов.

Так что есть по крайней мере две теоретические возможности для существования кротовых нор, соединяющих разные миры: норы могут быть гладкими и состоять из экзотической материи, а могут возникать за счет сингулярности, оставаясь при этом проходимыми.

КОСМОС И СТРУНЫ

Тонкие сингулярные кольца напоминают другие необычные объекты, предсказываемые современной физикой, — космические струны, образовавшиеся (согласно некоторым теориям) в ранней Вселенной при остывании сверхплотного вещества и смене его состояний. Они действительно напоминают струны, только необычайно тяжелые — многие миллиарды тонн на сантиметр длины при толщине в доли микрона. И, как было показано американцем Ричардом Готтом и французом Жераром Клеманом, из нескольких струн, движущихся друг относительно друга с большими скоростями, можно составить конструкции, содержащие временные петли. То есть, двигаясь определенным образом в гравитационном поле этих струн, можно вернуться в исходную точку раньше, чем из нее вылетел.

Астрономы давно ищут такого рода космические объекты, и на сегодня один «хороший» кандидат уже имеется — объект CSL-1. Это две удивительно похожие галактики, которые в реальности наверняка являются одной, только раздвоившейся из-за эффекта гравитационного линзирования. Причем в данном случае гравитационная линза — не сферическая, а цилиндрическая, напоминающая длинную тонкую тяжелую нить.

ПОМОЖЕТ ЛИ ПЯТОЕ ИЗМЕРЕНИЕ?

В том случае, если пространство-время содержит больше четырех измерений, архитектура кротовых нор обретает новые, неведомые ранее возможности. Так, в последние годы приобрела популярность концепция «мира на бране». Она предполагает, что вся наблюдаемая материя располагается на некоторой четырехмерной поверхности (обозначаемой термином «брана» — урезанным словом «мембрана»), а в окружающем пяти- или шестимерном объеме нет ничего, кроме гравитационного поля. Поле тяготения на самой бране (а только его мы и наблюдаем) подчиняется модифицированным уравнениям Эйнштейна, а в них есть вклад от геометрии окружающего объема. Так вот, этот вклад и способен играть роль экзотической материи, порождающей кротовые норы. Норы могут быть любого размера и при этом не обладать собственным тяготением.

Этим, конечно, не исчерпывается все разнообразие «конструкций» кротовых нор, и общий вывод таков, что при всей необычности их свойств и при всех трудностях принципиально, в том числе и философского, характера, к которым они могут привести, к их возможному существованию стоит отнестись с полной серьезностью и должным вниманием. Нельзя, например, исключить, что норы больших размеров существуют в межзвездном или межгалактическом пространстве — хотя бы по причине концентрации той самой темной энергии, что ускоряет расширение Вселенной. Однозначного ответа на вопросы — как они могут выглядеть для земного наблюдателя и существует ли способ их обнаружения — пока нет. В отличие от

черных дыр у кротовых нор может даже не быть сколько-нибудь заметного поля притяжения (не исключено и отталкивание), а следовательно, в их окрестности не стоит ожидать заметных концентраций звезд или межзвездного газа и пыли. Но полагая, что они могут «закорачивать» далекие друг от друга области или эпохи, пропуская через себя излучение светил, вполне можно ожидать, что какая-то далекая галактика покажется необычайно близкой. За счет расширения Вселенной чем дальше галактика, тем с большим смещением спектра (в красную сторону) приходит к нам ее излучение. Но при взгляде сквозь кротовую нору красного смещения, возможно, и не будет. Или будет, но — другое. Некоторые такие объекты можно будет наблюдать одновременно двумя способами — сквозь нору или «обычным» образом, «мимо нор».

Таким образом, признак космической кротовой норы может быть следующим: наблюдение двух объектов с очень похожими свойствами, но на разных видимых расстояниях и с разными красными смещениями.

Если кротовые норы все-таки обнаружат (или построят), перед той областью философии, что занимается интерпретацией науки, встанут новые и, надо сказать, очень непростые задачи. И при всей кажущейся абсурдности временных петель и сложности проблем, связанных с причинностью, эта область науки, по всей вероятности, рано или поздно со всем этим как-нибудь разберется. Так же, как в свое время «справилась» с концептуальными проблемами квантовой механики и теории относительности Эйнштейна... ●

