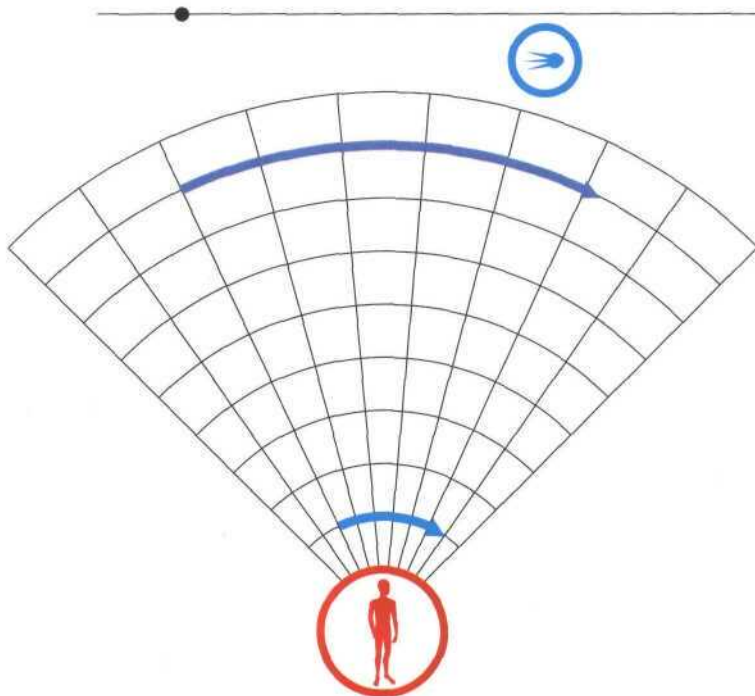




Темпоральные путешествия, предложенные в 1895 году Гербертом Уэллсом в романе "Машина времени", уже более ста лет эксплуатируются писателями-фантастами. Возможно ли подобное в действительности?



Согласно СТО, на движущейся по орбите космической станции время течет медленнее, чем на Земле. Уравнения ОТО немного уменьшают этот эффект

Время и пространство оказались не раздельными и независимыми, а слитыми в едином четырехмерном пространственно-временном континууме

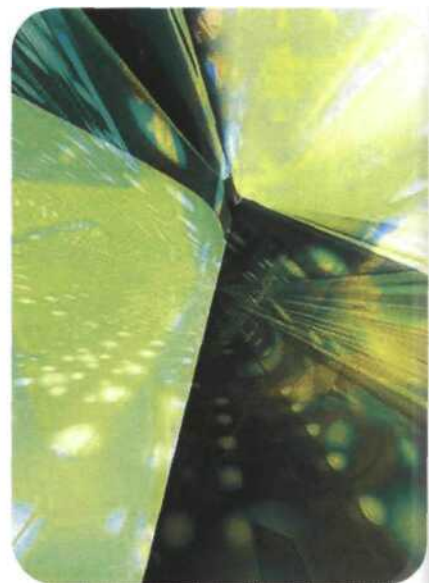
СПОСОБ 1. ПРЫЖОК В БУДУЩЕЕ

В 1905 году мало кому известный служащий патентного бюро Альберт Эйнштейн опубликовал статью "Об электродинамике движущихся тел". Он изложил основы новой модели пространства и времени, которая ныне известна как специальная теория относительности (СТО). Согласно СТО, время в субсветовом (летащем со скоростью, близкой к скорости света) космическом корабле течет значительно медленней, чем на планете, которую он покинул (с точки зрения ее обитателей). Экипаж звездолета может возвратиться назад через тысячи лет и оказаться в далеком будущем. Выводы СТО позднее удалось подтвердить экспериментально (с помощью атомных часов), так что путешествие в будущее - это чисто техническая задача. Кое-кто из нынешних космонавтов его уже совершил: профессор астрофизики Принстонского университета Дж. Ричард Готт вычислил, что Сергей Авдеев, который провел на орбите в общей сложности 747 суток 14 часов и 16 минут, прыгнул в будущее на целых 20 миллисекунд.

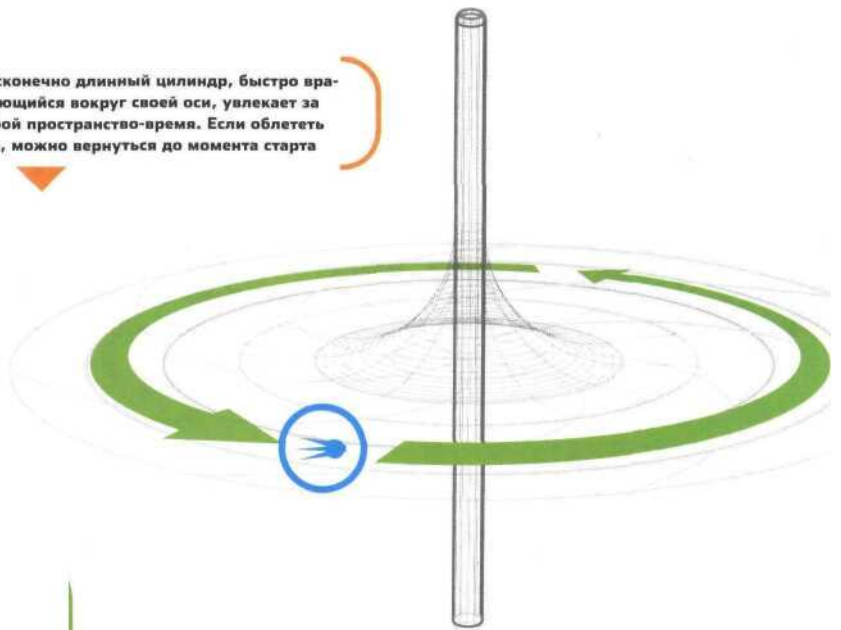
Появление СТО стало лишь первым этапом пересмотра представле-

ний о времени и пространстве, которые раньше полагали раздельными и независимыми. Но они оказались слиты в едином четырехмерном пространственно-временном континууме, и концепция получила дальнейшее развитие в общей теории относительности (ОТО), созданной Эйнштейном в 1915-1916 годах. Согласно ОТО, пространственно-временной континуум - не плоский, а искривленный, причем степень его кривизны в каждой точке определяется гравитационным полем. В част-

ности, уравнения ОТО предписывают часам замедлить ход при увеличении силы тяготения: на поверхности Зем-



Бесконечно длинный цилиндр, быстро вращающийся вокруг своей оси, увлекает за собой пространство-время. Если облететь его, можно вернуться до момента старта



[В Вселенной, избегающей гравитационного коллапса с помощью центробежной силы, можно попасть в собственное прошлое. Однако наша Вселенная не вращается

ли время течет медленнее, чем на МКС (что тоже давно подтверждено). И если бы не этот эффект, "прыжок" Авдеева был бы немножечко длиннее.

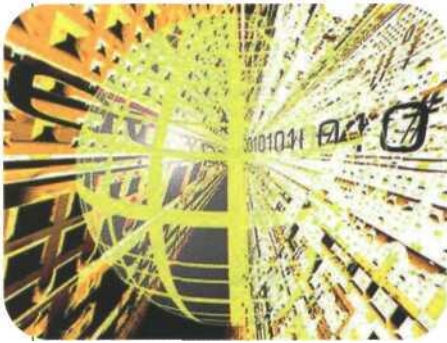
СПОСОБ 2. РАСКРУТИТЬ ВСЕЛЕННУЮ

ОТО разрешает не только замедление времени, но и обратное движение против временного потока. Работавший в Шотландии голландский математик Биллем Ван Стокум (по отцу - родственник Винсента Ван Гога) в 1937 году построил математическую модель пространства-времени в окрестности бесконечно длинного цилиндра, вращающегося вокруг продольной оси. Оказалось, что если скорость вращения достаточно велика, то можно облететь вокруг цилиндра и вернуться в исходную точку до, а не после момента старта (сам Ван Стокум так и не по-

нял, что его решение позволяет передвигаться во времени вспять, это сделал в 1974 году американец Фрэнк Типлер). Это объясняется тем, что цилиндр увлекает за собой пространство-время, и поэтому орбитальная скорость астронавта, измеренная далеким наблюдателем, может оказаться выше скорости света. А из уравнений СТО следует, что отношение "прошлое-будущее" абсолютно лишь для систем отсчета, относительная скорость которых меньше световой. Точнее, если в од-

ной из таких систем 5- событие А предшествует событию В, то оно будет ему предшествовать и по часам любой другой системы S_2 . Если же относительная скорость S_1 и S_2 превышает скорость света, то последовательность событий может поменяться местами (этот факт приводит едва ли не в любой популярной книжке по релятивистской физике). Данный принцип справедлив и для ОТО (там появляются решения с петлями времени).

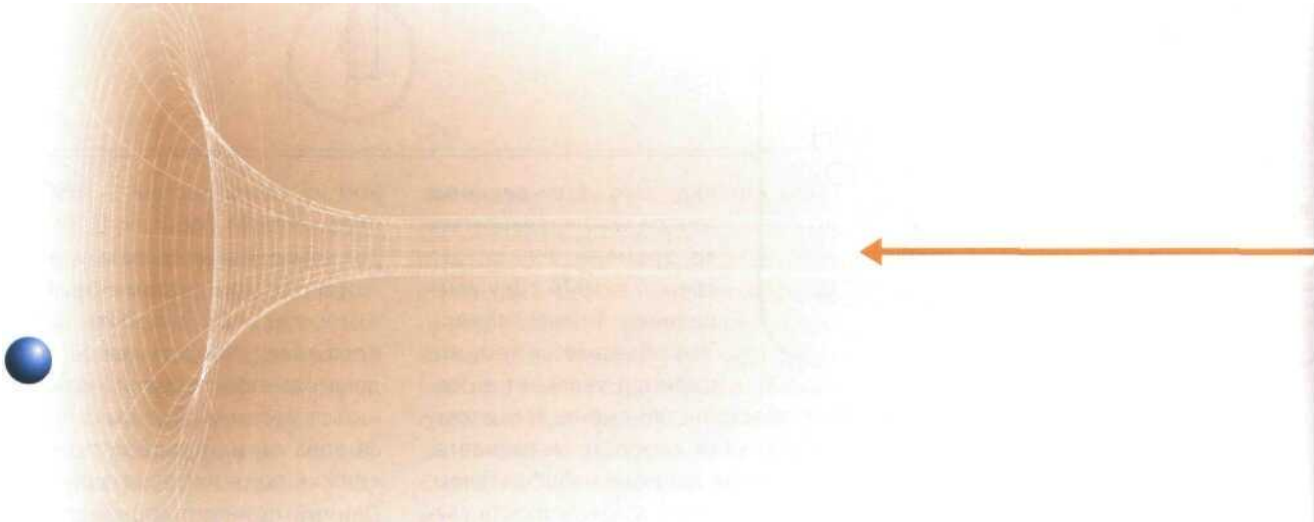
Конечно, модель Стокума очень напоминает чисто математический фокус. Более реальным выглядит ре-



реликтового излучения, не вращается. Одним из первых ознакомился с работой Гёделя Эйнштейн. Он признался, что и раньше догадывался о том, что ОТО допускает возможность путешествий в прошлое, и это его весьма беспокоило в связи с возможностью нарушения причинно-следственных связей.

Впрочем, работы Стокума, Гёделя и Типлера не могут быть положены

уки Карл Саган опубликовал фантастический роман "Контакт" (по нему был снят фильм с Джоди Фостер в главной роли). Поскольку по сюжету требовалось обеспечить связь между Землей и окрестностями Беги, автор соорудил для этого гиперпространственный туннель "длиной" в 26 световых лет. Чтобы "все было по науке", Саган поместил вход в туннель неподалеку от черной дыры. Но, не



Гиперпространственные туннели, называемые "червоточинами", - вариант решения уравнений ОТО. Правда, нужно еще защитить горловину туннеля от схлопывания

шение уравнений ОТО, полученное в 1948 году знаменитым австрийским математиком и логиком Куртом Гёделем. Он рассмотрел вращающуюся вселенную, избегающую гравитационного коллапса с помощью центробежной силы. В этом мире тоже можно попасть в собственное прошлое, как и в модели Стокума-Типлера. Решение Гёделя математически безупречно, однако не имеет прямого отношения к нашей Вселенной, поскольку она, как показал спектральный анализ микроволнового

в основу машины времени. И действительно, где взять массивный вращающийся вал длиной в бесконечность? И как раскрутить свою собственную Вселенную - где тот архимедов рычаг, за который можно взяться? Придется искать иные конструкторские решения.

СПОСОБ 3. СКВОЗЬ ГИПЕРПРОСТРАНСТВО

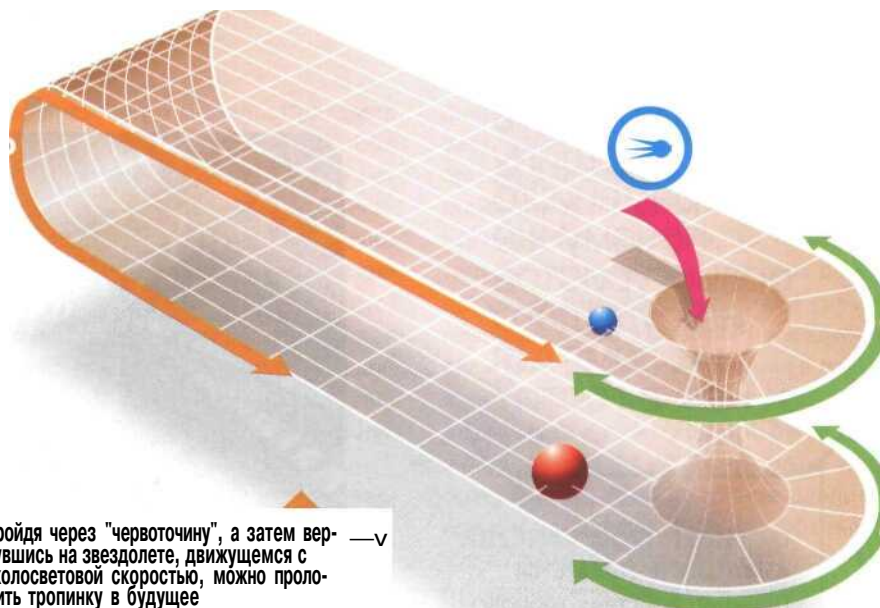
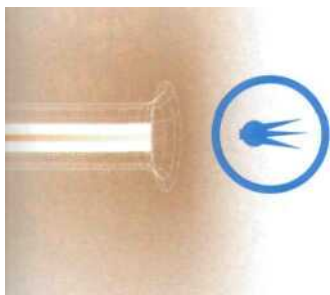
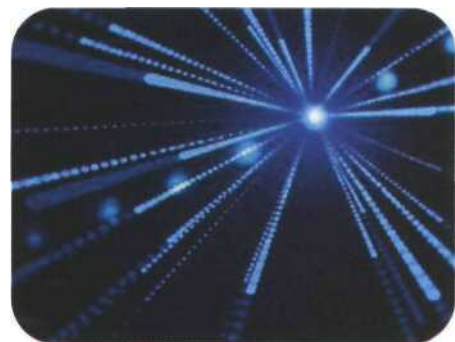
В 1985 году известнейший американский астроном и популяризатор на-

будучи уверен в правомерности такого объяснения, он отправил рукопись Кипу Торну, профессору теоретической физики Калифорнийского технологического института. Торн, признанный специалист по ОТО, прекрасно знал, что "чернодырочный" туннель мгновенно закрылся бы сразу после возникновения. Однако он сообразил, что такой туннель можно стабилизировать с помощью гипотетической субстанции, которая обладает отрицательной плотностью энергии и отталкивает, а не притяги-

вает обычную материю. Подобная экзотическая материя, будь то вещество или поле, способна раскрыть горловину туннеля и удержать ее от схлопывания. Торн и предложил Сагану ввести этот принцип в окончательную редакцию романа.

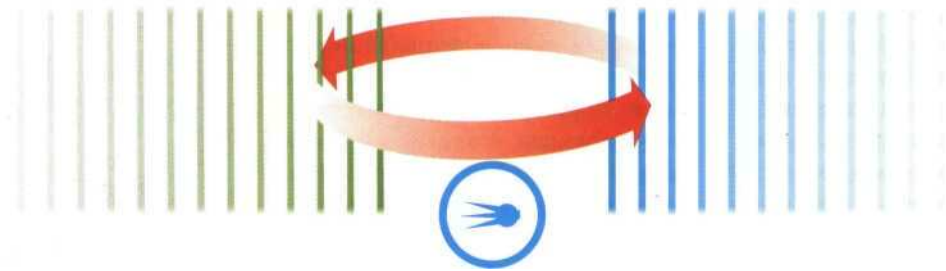
"Туннельные" решения уравнений ОТО изучаются уже давно (правда, без экзотических добавок). Еще в 1956 году американский физик

кованная в 1988 году в American Journal of Physics. В этом же году в престижнейшем журнале Physical Review Letters появилась статья Морриса, Торна и Улви Юртсевера, утверждающая, что такие червоточины делают возможным создание машины времени (эту богатую идею еще в 1986 году Моррису подкинул физик-теоретик Томас Роман, который занимался смежными проблемами).



Джон Уилер окрестил их "червоточинами", wormholes, и это название прочно вошло в профессиональный жаргон (по-русски их также называют кротовыми ходами).

Торн всерьез заинтересовался задачей антигравитационного "упрочнения" гиперпространственных туннелей и привлек к ее решению своего аспиранта Майкла Морриса. Результатом их сотрудничества стала работа "Червоточины в пространстве-времени и их использование для межзвездных путешествий", опубли-



Коль скоро существует теоретическая возможность построить машину времени, то почему же орды туристов из будущего не ломаются к нам в гости?

Облетев две сближающиеся с околосветовой скоростью космические струны на космическом корабле по правильной траектории, можно попасть в прошлое

ОТ ГИПЕРПРОСТРАНСТВА К МАШИНЕ ВРЕМЕНИ

Принцип действия торновской машины времени предельно прост. Допустим, что нам удалось создать стабильную червоточину с воротами А и В. Оставим портал А на Земле, а портал В поместим на звездолет, который разгонится настолько, что возвратится назад через месяц по бортовому времени и через сто лет - по земному. Червоточина "заморозит" этот разрыв и превратится в тропинку во времени. Через портал В обитатель светлого будущего сможет проникнуть в прошлое столетней давности, не исключаются и прогулки в обратном направлении. Но поскольку портал А движется во времени вместе с Землей, с помощью этой машины нельзя уйти во время, предшествующее образованию червоточины. Так что к дино-

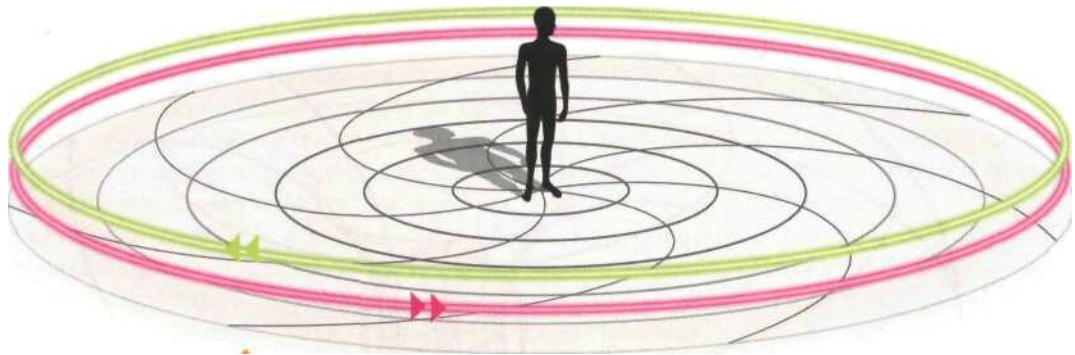


заврам на такой машине не добраться, и ситуация, заложенная в сюжет рассказа Рея Брэдли "И грянул гром", неосуществима даже теоретически.

Это же соображение позволяет ответить на ехидный вопрос: "Коль скоро построить машину времени в принципе возможно, почему потомки не жалуют к нам в гости?" Если эра искусственных червоточин наступит в 3689 году, то даже в 3688 год с их помощью попасть нельзя - физические законы этого не позволяют. Более серьезное возражение было представлено Торну на семинаре в Чикаго, где он обсуждал свою работу еще до ее



публикации. Двое участников заметили, что после возвращения корабля в точку старта электромагнитное излучение станет циркулировать по червоточине между пространственно совмещенными порталами А и В, входя в резонанс и увеличивая с каждым циклом амплитуду. В результате вскоре плотность энергии окажется столь велика, что уничтожит червоточину, какой бы прочной экзотической субстанцией ее ни армировали. Торн поначалу не нашелся, что ответить, но позднее вычислил, что кружащее по червоточине излучение неизбежно расфокусируется и размажется по пространству.



Два пучка лазерного излучения, циркулирующих навстречу друг другу, закручивают пространство-время в спираль. Эффект будет сильнее, если свет замедлить

С аргументами чикагских физиков можно справиться и иным путем. Отправим корабль с порталом В обращаться вокруг нейтронной звезды, где ход времени замедлен из-за чудовищной гравитации. Корабль и его экипаж будут отставать от земного времени, и когда такая задержка станет достаточно ощутимой, посадим хронопутешественников в субсветовой космический бот и возвратим на Землю. Они уйдут в прошлое, причем без помощи червоточины. Аналогичного результата можно добиться с помощью дополнительной червоточины с входным порталом С, расположенным неподалеку от В, и выходным порталом D - поблизости от портала А (вариант, предложенный Томасом Романом).

СПОСОБ 4.

СТРУНЫ НЕ ДЛЯ ГИТАРЫ

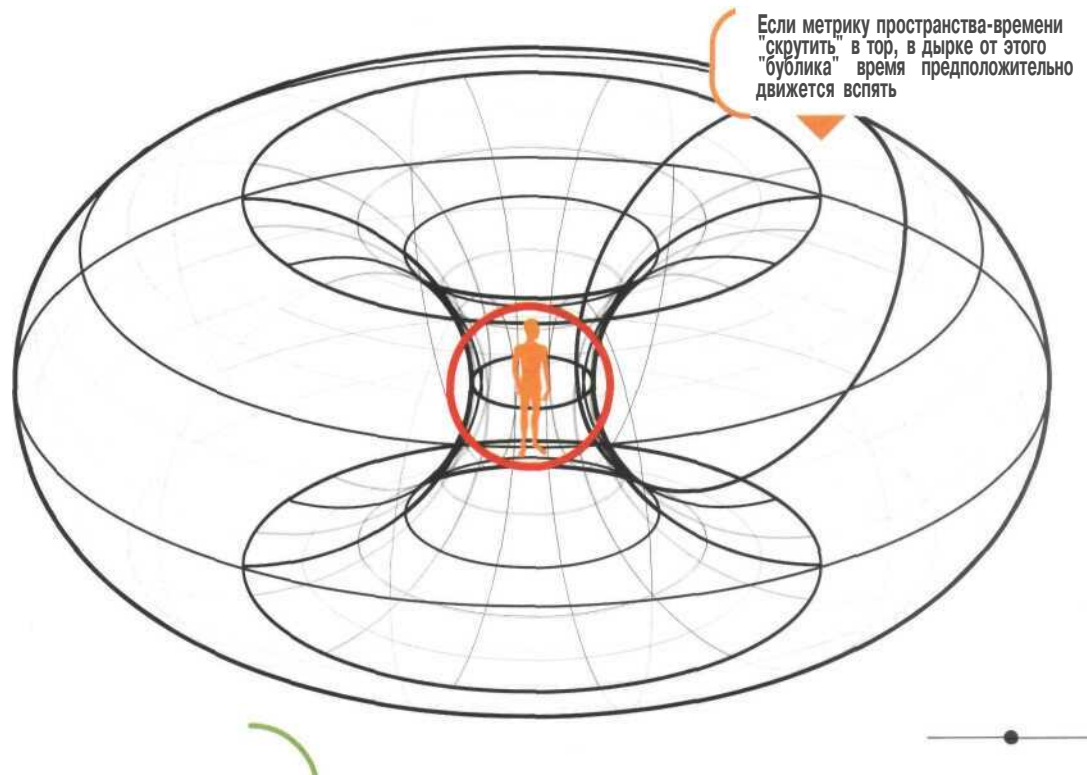
Червоточины - не единственный способ построить машину времени. Дж. Ричард Готт в 1991 году предложил решить эту задачу с применением космических струн. Так называются линейные деформации пространства-времени, предположительно возникшие в первые мгновения после Большого Взрыва (во время инфляционной фазы). В соответствии с некоторыми космологическими гипотезами, чудовищная энергия Большого Взрыва могла стянуться в тончайшие трубки, которые сохранились до на-

ших дней. Эту модель придумал английский космолог Томас Киббл в 1976 году, а спустя несколько лет ее усовершенствовал Яков Борисович Зельдович. Космические струны пока нигде не обнаружены, хотя несколько месяцев назад российско-итальянская и американо-украинская команды астрономов вроде бы нашли свидетельства их существования, правда, не слишком убедившие научное большинство.

Теория приписывает этим объектам весьма причудливые свойства. Космическая струна может замкнуться в кольцо или же вытянуться вдоль всей Вселенной. Толщина струны практически совпадает с радиусом протона, а масса ее полуторакилометрового отрезка приблизительно равна массе Земли. И что еще пара-

доксальной, материя струны испытывает отрицательное давление! Его физический смысл очень прост: если положительное давление препятствует сжатию вещества, то отрицательное - противодействует его расширению. Именно так работают силы поверхностного натяжения в жидкости и силы упругого растяжения в пружине и резиновом шнуре. Однако в отличие от капли жидкости, где натяжение действует исключительно на поверхности, отрицательное давление распределено по всему объему и в отличие от пружины не зависит от направления. Никто и никогда не встречал подобные состояния материи на Земле, но не исключено, что они есть в просторах космоса.

Как ведет себя космоструна по отношению к силам тяготения? Соглас-



Много лет назад Стивен Хокинг сформулировал Гипотезу хронологической защиты, в соответствии с которой законы физики не допускают существования машин времени

но ОТО, давление служит одним из источников гравитационного поля. Положительное давление создает гравитацию, взаимное притяжение, а отрицательное - антигравитацию, отталкивание. Однако струна обладает положительной массой, генерирующей нормальную гравитацию. Расчеты показывают, что вклад этой массы в поле тяготения полностью компенсирует вклад негативного давления, и поэтому струна не притягивается к обыкновенным телам и не отталкивается от них. Тем не менее струны искривляют пространство-время, чем не преминул воспользоваться Готт. В его модели две параллельные струны мчатся навстречу друг другу с околосветовой относительной скоростью. Космический корабль, который обогнет эти струны во время их сближе-

ния по правильно выбранной траектории, по завершении витка может попасть в прошлое. Предоставляем читателю самостоятельно сделать вывод о практическом применении идеи Готта.

СПОСОБ 5 СВЕТОВАЯ КАРУСЕЛЬ

А вот проект четырехлетней давности, принадлежащий профессору теоретической физики Коннектикутского университета Роберту Маллетту. Для его машины времени необходимы два пучка лазерного излучения, циркулирующие в противоположных направлениях по кольцеобразному каналу. Вычисления показывают, что в центре такого кольца имеет место спиралевидное закручивание метрики пространства-времени. Если интенсивность световых потоков достаточно высока, то по этой спирали можно путешествовать вспять во времени. Любопытно, что для улучшения работоспособности подобной машины свет следует замедлить, причем как можно силь-

нее. Это не только возможно, но уже сделано. Например, в 2000 году физики из Массачусеттского технологического института снизили скорость света до 1 м/с, заставив его распространяться в сверххолодном бозе-эйнштейновском конденсате. Поэтому можно считать, что начало положено.

СПОСОБ 6 ВНУТРИ "БУБЛИКА"

Еще один вариант машины времени, не требующей экзотической материи, недавно предложил физик из израильского Техниона Амос Ори. В июльском выпуске Physical Review Letters опубликована его модель сгущения пространственно-временной метрики с топологией тора. Ори полагает, что в дырке от этого "бублика" время движется вспять и отважные путешественники спокойно могут отправиться в прошлое (но опять-таки не глубже момента сооружения "бублика"). Правда, Ори даже не пробует ответить на вопрос о стабильности подобного устройства.

НАДЕЖНЫ ЛИ ЧЕРВОТОЧИНЫ?

Вернемся к экзотической субстанции с отрицательной энергией. Где же ее взять? Воспользуемся эффектом, открытым в 1948 году голландским теоретиком Гендриком Казимиром. Пару идеально плоских полированных параллельных металлических листов (лучше всего серебряных) нужно максимально сблизить и поместить в контейнер при температуре около абсолютного нуля. Согласно гейзенберговскому соотношению неопределенностей, в вакууме постоянно рождаются и исчезают виртуальные кванты электромагнитного излучения. Спектр энергий квантов, которые могут появиться между пластинами, несколько уже энергетического спектра свободного пространства (некоторые состояния квантов в щели запрещены). Энергия виртуальных фотонов вносит вклад в нулевую суммарную энергию физического вакуума. В пространстве между пластинами фотонов будет меньше, нежели снаружи, поэтому плотность вакуумной энергии там окажется отрицательной! Возникнет негативное давление, направленное перпендикулярно пластинам, и они начнут притягиваться (с силой, обратно пропорциональной четвертой степени ширины щели).

Эффект Казимира впервые экспериментально подтвердили еще в 1958 году. А вот воспользоваться этой отрицательной энергией затруднительно: Моррис, Торн и Юртсевер определили, что масса серебра для стабилизации проходимой для человека червотчины в 200 миллионов раз больше массы нашего Солнца.

МОЖНО ЛИ УБИТЬ ДЕДУШКУ?

Оправдает ли ожидания конструкторов столь непомерный расход ценного металла? Все предыдущие проекты машины времени базировались на ОТО, детерминистической теории классического типа. Однако подлинное решение задачи обратного перемещения во времени может дать лишь квантовая теория гравитации, которая автоматически должна слу-

жить и квантовой теорией пространства-времени. Правда, она еще не построена, но, пока ее нет, можно работать на промежуточном, полуклассическом уровне, полагая, что квантовый мир погружен в пространство-время эйнштейновской ОТО.

Из вычислений Романа Баньи и Стивена Хсу из Института теоретической физики Орегонского университета следует, что полуклассические червотчины невозможно стабилизировать даже с помощью самой высококачественной экзотической материи. А вот червотчины в квантованном пространстве-времени вроде бы вполне поддаются укреплению. Но тратить силы на это не стоит: машина на основе таких червотчин окажется бесполезной - она непредсказуема и может зашвырнуть путешественника в неизвестном направлении.

Но даже если времяпроходцу повезет и он попадет в прошлое, причем на Земле, а не где-нибудь в районе Антареса, сможет ли он нарушить закон причинности - к примеру, убить собственного дедушку? В появившейся в июне статье Дэниела Гринберга из Нью-Йоркского университета и его венского коллеги Карла Свозила делается вывод, что такая коллизия не допускается фундаментальными принципами квантовой механики. События, которые уже произошли, нельзя изменить никакими действиями из будущего. Возможно, путешественнику во времени и удастся посмотреть на своих пред-

ков, но вот оказать на них какое-то давление и, тем более, убить их он попросту не сможет - что-нибудь этому помешает. Конечно, как сказал Державин, "река времен в своем стремлении уносит все дела людей", но дела эти в каком-то смысле сохраняются вечно.

ПАТРУЛЬ ВРЕМЕНИ

В конце концов, не исключено (и даже весьма правдоподобно), что движение во времени вспять просто невозможно. Такого мнения придерживается Стивен Хокинг, едва ли не крупнейший физик и космолог нашего времени, преемник Исаака Ньютона на Лукасовской кафедре математики Кембриджского университета. Много лет назад он сформулировал Гипотезу хронологической защиты, в соответствии с которой законы физики не допускают существования машин времени. Хокинг считает это положение столь же фундаментальным, что и принцип неосуществимости вечно-го двигателя.

Но мысленное конструирование темпоральных мостиков настолько увлекательно, что физики, по всей вероятности, не только не бросят эти игры, а наоборот, обогатят их с помощью все более и более абстрактной математики. В конце концов, ведь сам Хокинг написал: "Даже если путешествия во времени действительно невозможны, важно понять, почему они невозможны".

ПМ

Алексей Левин