

# В мире науки

SCIENTIFIC  
AMERICAN

По страницам  
журнала

# Космос

Часть 1

# СОДЕРЖАНИЕ

## Космос / Часть 1

### КОСМОС

#### **А все-таки есть ли жизнь на Марсе?**

*Наталья Лескова*

Интервью с академиком РАН **Львом Зеленым** об амбициозной программе «ЭкзоМарс»

#### **В космос — бизнес-классом?**

*Ксения Чернявская*

Герой России, космонавт **Сергей Крикалев** и заслуженный конструктор России **Александр Чернявский** отвечают на извечный вопрос — зачем тратить деньги на полеты в космос?

#### **В поисках планеты X**

*Майкл Лемоник*

Несколько далеких объектов за пределами орбиты Плутона, наводят астрономов на мысль, что существует одна или даже несколько планет в десять раз массивнее, чем Земля

#### **Граждане космоса**

*Кэмерон Смит*

Как будущие поколения начнут осваивать другие миры, и чем это обернется для человека

#### **Плутон и то, что за ним**

*Майкл Лемоник*

Изучение состава пояса Койпера этими двумя космическими экспедициями, возможно, даст нам ключ к загадке возникновения Солнечной системы

### КОСМОНАВТИКА

#### **К Альфа Центавра почти со скоростью света**

*Энн Финкбайнер*

Миллиардер финансирует проект полета к ближайшему соседу нашего Солнца

### КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

#### **К загадкам Марса**

*Ашвин Васавида и Джон Гротцингер*

Первые шаги аппарата Curiosity на поверхности Марса

#### **2 Проводник в космос 62**

*Наталья Веденева*

Летчик-космонавт, член-корреспондент РАН **Владимир Соловьев** о космической науке

#### **8 Путь на Марс 70**

*Дамон Ландау и Натан Стрэндж*

Будущее космических полетов — ионные двигатели. А использование методы исследования планет автоматическими зондами можно сделать полеты астронавтов к астероидам и Марсу более быстрыми и менее затратными

#### **18**

### АСТРОФИЗИКА

#### **Что можно добыть из черной дыры? 80**

*Адам Браун*

Зная, что время жизни нашего Солнца ограничено несколькими миллиардами лет, человечество должно отыскать другие источники энергии. На первый взгляд, очень хорошим кандидатом представляется черная дыра, наполненная энергией, поглощаемой ею из окружающего пространства

#### **36**

### КОСМОЛОГИЯ

#### **Черная дыра в начале времен 88**

*Нияйеш Афшорди, Роберт Мани и Рази Пурхасан*

Главная загадка космологии — природа Большого взрыва, сингулярной точки бесконечной плотности, в которой нарушаются законы физики

#### **Черные дыры — «среднячки» 98**

*Дженни Грин*

Изучение черных дыр среднего размера подскажут, как образовались их более крупные собратья и галактики

#### **Энергия — дело темное? 108**

*Валерий Чумаков*

Академик РАН Валерий Рубаков о загадочной темной энергии.

#### **58**

#### **Эхо большого взрыва 116**

*Росс Андерсон*

Будущее космических исследований — гравитационно-волновая астрономия

Всё, всем, всегда

# ДОСТУПНО



Номера журнала за все годы  
читайте в **любом удобном** для вас формате

## ЦИФРОВЫЕ РЕСУРСЫ

Мгновенный доступ к текущему номеру и архиву с января 2012 г. с вашего iPad

[www.sciam.ru](http://www.sciam.ru)



Google play



**В мире  
науки**

SCIENTIFIC  
AMERICAN

Ежемесячный  
научно-информационный  
журнал

# А все-таки – есть ли **ЖИЗНЬ** на Марсе?

У Марса нет ни магнитного поля, ни атмосферы. Эти два «одеяла» спасают Землю от смертельной жесткой радиации.



**Х**орошо помню, как после катастрофы грандиозного российского проекта «Фобос-Грунт» выглядел директор Института космических исследований РАН академик **Лев Матвеевич Зеленый**. Так выглядят люди, пережившие личную трагедию. И говорить он мог тогда только об этом. О чем бы ни шла речь, возвращался к «Фобосу». До сих пор Лев Матвеевич не может и не хочет обходить эту тему стороной. И в этом его сила: да, у нас не получилось, но мы не опустим руки — и у нас обязательно получится. Последовательное осуществление этого тезиса не дает сбыться самым пессимистичным прогнозам судьбы отечественной космонавтики. Пусть мы пока не впереди планеты всей, но и позади быть не собираемся, доказывает своей работой Л.М. Зеленый. Нынешний амбициозный проект института вновь связан с упрямым, будто не желающим покоряться Марсом.

— **Лев Матвеевич, мы разговариваем в дни, когда стартует грандиозный космический проект «Экзомарс». Когда и как он начинался?**

— «Экзомарс» начался в те дни, когда мы пережили потерю «Фобоса». Надо сказать, пережили мы это с трудом. Пепел «Фобоса» и сейчас стучит в мое сердце... Но тогдашний руководитель «Роскосмоса» Владимир Александрович Поповкин правильно понял ситуацию. Надо сказать, с Марсом нам исторически не везло. Это же не первая потеря. Похожим образом был потерян «Марс-96» в еще более сложной экспедиции 1996 г. И когда европейские коллеги обратились к Поповкину с предложением о сотрудничестве по «Экзомарсу», он активно принял идею. Чем и раньше была сильна, и сейчас сильна Россия? Ракетами-носителями, способными доставлять космические аппараты на околоземные и межпланетные орбиты. Иногда это называют космическим извозом, но это наше бесспорное конкурентное преимущество.

Так вот, В.А. Поповкин чувствовал, что российским ученым нужна возможность продолжить исследования Марса не через 20 лет, а завтра или в крайнем случае послезавтра. Он пообещал европейским коллегам два носителя, но четко обусловил, что российские приборы составят примерно 50% полезной нагрузки. Так и получилось: аппарат, который летит сейчас, состоит из четырех больших приборных комплексов, два из которых — российские.



— **Почему же два носителя?**

— «Экзомарс» состоит из двух этапов: первый космический аппарат (КА) стартовал с космолета Байконур 14 марта, а второй, более сложный, отправится в путь позднее.

— **Насколько я знаю, одна из главных задач проекта — исследование марсианского метана?**

— Проект так и называется — *TGO (Trace Gas Orbiter)*. *Trace* — это характеристические газы и в частности метан, который действительно присутствует на Красной планете. Это одна из основных на сегодня загадок исследования Марса.

— **А первой загадкой была вода?**

— Да, поиски воды были первой научной задачей исследования Марса. Чисто внешне планета выглядит очень сухой, и сначала воду находили лишь в полярных шапках. Но в конце концов на Марсе открыли воду, причем даже в жидком состоянии, и в этом тоже участвовали российские приборы. Сегодня мы точно знаем, что на Марсе есть  $H_2O$ , хотя пока достоверно не знаем сколько. Но радарные измерения показывают, что довольно много. Конечно, когда-то воды было много больше. В начале своего существования, когда планета была теплой и влажной, сверху ее покрывал толстый слой океана. А потом Марс потерял свою атмосферу, и вода испарилась, но, как мы теперь понимаем, далеко не вся. И тут всплыла новая загадка — метан.

— **Ведь наличие метана на Марсе открыли с помощью наземных телескопов?**

— Да, характерные линии поглощения метана впервые заметил бывший сотрудник нашего института Владимир Краснополяский (сейчас, кстати, заведующий одной из «мегагрантных» лабораторий МФТИ). Потом было еще несколько экспериментов, которые показали: метан есть, но появляется он нерегулярно. Например, на марсоходах *Curiosity* его почти не видят. Нельзя сказать, что он заполняет атмосферу и существует там миллиарды лет. Нет, он постоянно выбрасывается в виде сгустков, или, как мы говорим, клампов. Дело в том, что метан достаточно легко

разлагается под действием ультрафиолетового излучения Солнца, а на Марсе атмосфера разреженная и от этого излучения его не защищает. На Земле, как мы знаем, есть озоновый слой, на Марсе же его нет. Поэтому метан, по идее, должен быстро разложиться. Однако этого не происходит. То есть атмосфера постоянно пополняется за счет каких-то пока не совсем понятных процессов.

— **За счет чего же?**

— Вот в этом и загадка! Вообще метан — это гниение, брожение. Если вы когда-нибудь оказывались вблизи болота, то знаете этот характерный не слишком приятный запах. Все запасы природного газа возникли как результат этого процесса.

— **Но разве на Марсе есть болота?**

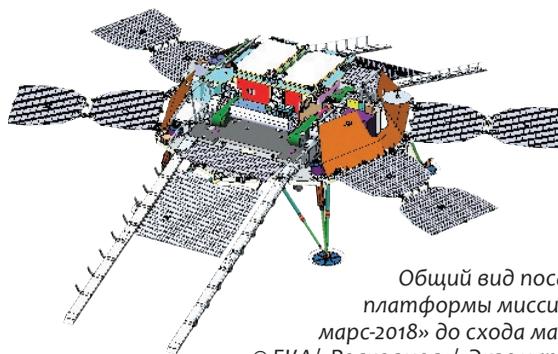
— Нет, болот там нет, но под поверхностью есть вода и возможно существование каких-то органических субстанций.

— **Выходит, мы недалеко от ответа на сакральный вопрос, есть ли жизнь на Марсе?**

— Жизнь на Марсе очень давно ищут, и иногда даже кажется, что находят. Но проходит время, и выясняется, что сенсация не состоялась. «Экзомарс» нацелен в том числе и на то, чтобы пролить свет на этот вопрос. Но знаете, как в науке часто бывает: ищешь Индию, а найдешь Америку. Поэтому не будем забегать вперед.



Запуск РН «Протон-М» с РБ «Бриз-М», миссия «Экзомарс-2016» © ESA – Stéphane Corvaja, 2016



Общий вид посадочной платформы миссии «Экзомарс-2018» до схода марсохода © ЕКА/«Роскосмос»/«Экзомарс»/НПОЛ

Кроме того, на этих аппаратах большие приборные комплексы для изучения химического и, по возможности, изотопного состава атмосферы Марса, наличия там редких и благородных газов. Это поможет нам понять, как происходила эволюция Марса и его атмосферы.

— **Какие отечественные приборы помогут это выяснить?**

— Это большой комплекс масс-спектрометров, сделанный у нас в институте, которые будут проводить измерения в ближнем и среднем спектрах инфракрасного диапазона. Комплекс включает в себя и фурье-спектрометр, также изучающий основные линии в инфракрасной области. Похожие приборы есть у европейских коллег. Очень хорошая, надежная оптическая система разработана коллегами из Швейцарии.

Плюс нейтронные измерения. С их помощью будут продолжены исследования марсианской воды в подповерхностном слое Марса. Прибор этот сильно усовершенствован по сравнению с российским же прибором *HEND*, с 2001 г. успешно работающим на американском КА *Mars Odyssey*. Сейчас дополнительно установлен коллиматор, благодаря чему пространственное разрешение измерений стало на полтора-два порядка выше, чем раньше. В результате мы сможем построить гораздо более точную картину распределения воды.

— **Есть несколько гипотез, что произошло с Марсом, и одна из самых популярных — грандиозный космический катаклизм. Как вы к этому относитесь?**

— Пожалуйста, я расскажу, как было дело. Планеты, как и люди, рождаются разными. Марс родился маленьким. У него были атмосфера, вода, как на всех планетах. Но это было миллиарды лет назад, в период, когда формировалась вся Солнечная система. А потом у всех планет все пошло по-разному. Ну, Земля, слава богу, в основном все сохранила, даже сумела из своего вещества и Луну родить. Марсу повезло меньше. Атмосфера удерживается гравитацией, которая у него из-за малой массы оказалась недостаточной. Второй эффект — высокие слои атмосферы ионизируются ультрафиолетовым излучением Солнца. У Земли ничего



Общий вид космического аппарата Trace Gas Orbiter на космодроме Байконур (слева); М.И. Мокроусов (ИКИ РАН), ведущий разработчик прибора FREND, начинает процедуру установки второго летного образца прибора FREND на борт космического аппарата Trace Gas Orbiter (справа) © ЕКА/«Роскосмос»/FREND/ИКИ

страшного не происходит, потому что магнитное поле удерживает солнечный ветер очень далеко от этой области. А Марс сначала потерял магнитное поле, а потом его верхние слои его атмосферы, ионизируемые УФ-излучением Солнца, стали непосредственно взаимодействовать с солнечным ветром. Ионизованные атомы атмосферы, которые подхватываются солнечным ветром, необратимо уносятся в космическое пространство. Этот процесс неплохо нами изучен и называется эрозией атмосферы. Так Марс остался без атмосферы и магнитного поля.

— **Иначе говоря, это был совершенно естественный для него процесс, и никакой космической катастрофы, удара гигантского метеорита не было?**

— Нет-нет, это естественный процесс, и он был предопределен. Судьба такая у Марса. У Венеры все пошло по-другому. Она, наоборот, перегрелась, ее океаны испарились и создали суперпарниковый эффект. А парниковый эффект — очень важная часть нашей жизни. Это захват отраженного от Земли солнечного излучения облачным слоем, дающий определенную прибавку к температуре на поверхности планеты. На Марсе он составляет всего один-два градуса, это очень мало. А на Венере этот эффект прибавляет 500 градусов. На Земле — примерно 40 градусов. Если бы не парниковый эффект, мы с вами сейчас стучали зубами. Тоже ничего хорошего, согласитесь. Но и радоваться рано. Парниковый эффект имеет тенденцию к самораскачиванию. Это своеобразная климатическая неустойчивость: чем становится горячее, тем больше испаряется воды. И планета теряет океаны, перегревается. Что будет с Землей, тоже пока непонятно. Земля где-то посередине

между двумя этими крайностями ледяного Марса и раскаленной Венеры. Поэтому когда мы объясняем, зачем нужно изучать планеты, ответ прост: в первую очередь, чтобы понять самих себя. Великие фантасты (Стругацкие, Лем, Брэдбери) признавались: говоря о космосе, мы всегда смотрим вверх, но имеем в виду то, что у нас под ногами, — нашу Землю и нас, человечество.

— **А что вы думаете по поводу того, что на Марсе могла быть жизнь и, вероятно, все мы оттуда родом?**

— Вообще, это хороший вопрос. Мы знаем, что удары метеоритов, столкновения крупных астероидов с Марсом выбивали из него вещество, оно разлеталось в космосе и часть попадала на Землю. В Антарктиде находили фрагменты таких метеоритов. В нескольких институтах в мире есть коллекции марсианских метеоритов. Никаких особых биологических вкраплений там не нашли, но этого и не должно быть, потому что они пережили сильнейший удар и мощный нагрев при пролете через атмосферу Земли. Однако если вернуться к вопросу о том, каким образом зарождалась жизнь на Земле, то можно предположить, что именно так. Есть теория панспермии, гласящая, что споры жизни переносятся по Вселенной. И есть другие теории, предполагающие что на каждой планете жизнь может зародиться самостоятельно. Был ли такой обмен спорами жизни между Землей и Марсом, пока неизвестно. Но, может быть, скоро мы это узнаем. Когда увидим хотя бы простейшие биологические образования — на Марсе или где-то еще, выясним, какой у них генетический код, тогда нам станет ясно, совпадает он с нашим или нет. Потому что если это самоорганизация, то она может развиваться совершенно независимо от подобных



Директор Института космических исследований РАН академик Лев Матвеевич Зеленый

процессов в других частях Вселенной. Теория панспермии, наоборот, предполагает существование какого-то общего источника. И это, конечно, великая задача.

Здесь, кстати, стоит упомянуть о так называемом планетном карантине, требовании жесткой стерилизации всех КА, летящих к Марсу, а тем более предназначенных для посадки на его поверхности. Иначе мы найдем там жизнь, которую могла занести туда земная техника.

**— Невероятно интересно. А есть ли у ваших исследований долгосрочная задача освоения Марса? Как в фильме «Марсианин», где вместо яблона цветет картошка.**

— Там проблема не в картошке. Как раз вырастить что-то на Марсе возможно. Но, если помните, Мэтт Дэймон там гуляет, ездит на какой-то тележке, путешествует по поверхности. Так вот, это совершенно невероятно. То есть он, конечно, может это сделать, но смертельный диагноз за такое долгое время его путешествий ему гарантирован. Возможно, не сразу, но довольно скоро. Я говорил, что у Марса нет ни магнитного поля, ни атмосферы, — это два «одеяла», которые нас спасают от смертельной жесткой радиации.

**— Как я понимаю, важны еще сроки перелета: пока люди долетят до Марса, космическая радиация успеет превратить их в глубоких инвалидов.**

— Именно так. С Луной проще, там лететь два-три дня, а тут — несколько месяцев. Поэтому скажу так: колонизация Марса возможна, но вряд ли она будет выглядеть так, как в том кино. Скорее всего, это будут глубокие бункеры, какая-то подземная жизнь.

**— Лев Матвеевич, значит, шанс встретить марсиан у нас все-таки остается? Думаю, этот вопрос будет волновать человечество всегда.**

— Конечно, Аэлиту всем хочется найти. Где-то под землей какая-то микробная Аэлита, вероятно,

и существует. Как ни крути, Марс — безопасная планета для человечества. Это правда. Другого нет. Марс — плохой, невыносимый, там радиация, холод, разреженная атмосфера, но альтернатива все равно отсутствует. Только на Марсе существует какая-никакая атмосфера, а значит, можно ее сгущать, конденсировать, еще что-то придумывать. Придумаем обязательно.

**— Лев Матвеевич, помню, как тяжело вы переживали неудачу «Фобоса». Можно ли сказать, что неудачи позади?**

— Надеюсь на это. И вот что тут важно. Мы к этому дню запуска «Экзомарса» были готовы. Да, были аварии, мы очень переживали, но не сидели в глубокой тоске, а работали и готовились, анализировали, делали новые приборы.

Причем я уверен, что наши приборы во всех этих аварийных проектах повели бы себя нормально, долети они до Марса. Просто до них не дошла очередь. Аппараты погибали раньше. У меня есть любимое стихотворение Бориса Слуцкого, которое он написал на смерть своего друга. «Я не жалею, что его убили. Жалею, что его убили рано. Не в Третьей мировой, а во Второй». «Фобос» тоже так погиб. Хотя бы долетел до Марса — было бы не так трагично. Но, тем не менее, приборы, которые делались в ИКИ РАН, оказались надежными, на пяти космических аппаратах ЕКА и NASA летают наши приборы, и работают они успешно уже по десять и больше лет. Этот опыт очень пригодился и при работе над приборами для «Экзомарса».

**— Насколько я знаю, речь не только об изучении Красной планеты?**

— Не только. Буквально в эти дни у нас идут российско-американские переговоры о совместной экспедиции на Венеру. Это отдельный очень интересный разговор. А главное в нашей программе на следующие десять лет — это Луна. У нас там несколько посадочных миссий, большая международная программа, и Европейское космическое агентство в ней тоже участвует. Причем если к марсианской программе мы присоединились, то лунная программа — российская, а европейцы присоединились к нам. Общая концепция определена Советом РАН по космосу совместно с «Роскосмосом». Хотя и с «Экзомарсом» мы играем вполне полноправную роль, и сравнивать, чей вклад важнее, было бы неправильно. Но самое главное, что я хочу сказать: Марс — это замечательно, но есть у нас много других, не менее интересных и амбициозных планов. Так что списывать Россию со счетов, заменив нас китайцами, как это сделали создатели фильма «Марсианин», не стоит. Мы еще летаем. ■

Беседовала Наталья Лескова

Пилотируемая  
космонавтика ближе  
к фундаментальной  
науке, которая не дает  
сиюминутную отдачу,  
но без которой  
следующие шаги  
невозможны

# В КОСМОС — **БИЗНЕС-** КЛАССОМ?



# Ну выйдет человечество в космос — и что? На что ему космос, когда не дано вечности?

Сальвадор Дали

Эта мысль — не единственное творение выдающегося мастера концепций, с которым можно было бы поспорить. С другой стороны, именно в самых спорных из них заложен повод для размышлений и интересного разговора. А тут редкий случай, когда сам Сальвадор Дали — и вдруг не оригинален! Похожие вопросы в отношении космонавтики звучат часто. В чем смысл полетов в космос? Зачем государство тратит на это средства? К чему программы и эксперименты, которые не окупаются? Может быть, правильнее летать в космос на деньги частного бизнеса?

За ответами на эти вопросы мы обратились к Герою Советского Союза, Герою России, космонавту **Сергею Константиновичу Крикалеву** и заслуженному конструктору Российской Федерации, без малого 40 лет проработавшему в РКК «Энергия», **Александрю Григорьевичу Чернявскому**.

## Такая странная наука

— Вы никогда не обращали внимания на одну из любопытных особенностей космонавтики: наука существует, но нет ученого?

**С.К.:** Ученого-космонавта?

— Физики есть, математики есть, а космос всегда идет как приставка. Почему?

**С.К.:** Думаю, потому, что космонавтика — интегральная наука. Она объединяет очень много разных направлений. Поэтому многие люди приходят в нее, имея определенную специализацию, и у нас нигде не учат или мало где учат специалистов, готовых работать в космонавтике в широком смысле слова. Все доучиваются. Физик или материаловед, получив базовые знания в университете, приходит на работу и доучивается. Мало того, с течением времени появляются новые материалы, понятия, технологии, люди учатся всю жизнь. Космонавтика очень обширна, поэтому никто и не ставит задачи научить космонавтике как базовой науке.

**А.Г.:** Я сейчас приехал с научно-методического совета по образованию как раз по специальности, которая называется «Ракетно-космические комплексы и космонавтика». И у меня был вопрос...

**С.К.:** ...что такое космонавтика?

**А.Г.:** Да. Все технические вузы присутствовали на этом методическом совете. На сегодня в образовательной программе науки под названием «космонавтика» нет.

**С.К.:** Наверное, «нет» сказать нельзя, просто понятия не очень четко определены.

**А.Г.:** Не определены — значит и нет изучения, нет научных исследований в области космонавтики как таковой.

— В этом году мы отмечаем 55-летний юбилей со дня полета в космос первого космонавта планеты — Юрия Алексеевича Гагарина. Одно из мнений, сложившихся к настоящему моменту, — что пилотируемая космонавтика не должна существовать за счет государства, поскольку уже доказала свою низкую экономическую и практическую отдачу. Как вы на это смотрите?

**С.К.:** Спорный вопрос. Это все равно что сказать: «Испытательные полеты экономически нецелесообразны, потому что экономически целесообразными становятся пассажирские полеты». Пилотируемая космонавтика ближе к фундаментальной науке, которая не дает сиюминутную отдачу, но без которой следующие шаги невозможны.

**А.Г.:** Я тоже не согласен. В любой ситуации раньше или позже люди захотят полететь на Марс, захотят исследовать Венеру — и дальше, в другие галактики, потому что человеку свойственно исследовать неведомое. Авиация появилась благодаря этому свойству, а не подсчетам экономической выгоды. Человек просто хотел летать.

## ПЕРВЫЙ ПОЛЕТ

12 апреля 2016 г. исполняется 55 лет с того дня, как летчик-космонавт Юрий Алексеевич Гагарин на корабле «Восток-1» совершил первый космический полет вокруг земного шара. Продолжительность полета составила 108 минут, скорость — 28 тыс. км/ч, высота — 302 км. Покорение космоса — единственный случай, когда одной из самых значительных вех истории человечества во всем мире была признана не война и не революция.

## БЛИЦВОПРОСЫ

**Сергей Крикалев**

— **Помните ли вы, как и когда впервые услышали о Юрии Гагарине?**

— Мои первые воспоминания — рассказы воспитателей в детском саду. Представление о дне, когда Гагарин полетел в космос, сложилось у меня позднее — по картинкам, из услышанного от разных людей. Ощущение общего стихийного ликования. Но это скорее не о Гагарине, а о стране. Не представляю, какое событие сейчас могло бы так ее объединить.

— **Какая первая ассоциация возникает у вас в памяти в связи с полетом Юрия Гагарина?**

— Что это был «симметричный» год — если перевернуть цифры 1961 вверх ногами, получится то же самое число задом наперед.

— **Что вы поняли о Гагарине, когда впервые полетели в космос?**

— Понял величие поступка. Осознал, до какой степени полет Гагарина был шагом в неизвестное. Даже когда имеешь за спиной опыт Юрия Алексеевича и других космонавтов, собственный первый полет так или иначе остается таковым. А до Гагарина никто не испытывал того, что предстояло ему, и ничего не было известно наверняка...

— **Ваше самое яркое личное впечатление, связанное с Гагариным?**

— В 2011 г. я присутствовал на выступлении советского ученого-конструктора Бориса Евсеевича Чертока, который в свое время работал с Сергеем Павловичем Королевым. Черток говорил о нюансах полета Юрия Гагарина. Для меня стало открытием, как много существенного мы до сих пор не знаем о том полете, сколько по сей день осталось непознанным...

**Александр Чернявский**

— **Помните ли вы, как и когда впервые услышали о Юрии Гагарине?**

— Я учился в младших классах киевской школы. На перемене мы выбежали во двор, а в это время над городом с самолета разбрасывали листовки с портретом Гагарина. Потом было сообщение ТАСС, что первый человек полетел в космос.

— **Какая первая ассоциация возникает у вас в памяти в связи с полетом Юрия Гагарина?**

— Празднование в стране. Как по телевизору показывали встречу Гагарина в Москве, приветствие на Красной площади.

— **Ваше самое яркое личное впечатление, связанное с Гагариным?**

— Когда я узнал, что мой папа связан с космонавтикой и лично знаком с Гагариным.

С другой стороны, кто на сегодня посчитал экономикой по спутникам связи, по дистанционному зондированию Земли? Это приносит колоссальные прибыли.

**С.К.:** Это очень большой бизнес — многомиллиардный.

— **Да, но мой вопрос был о пилотируемой космонавтике.**

**С.К.:** Приведу аналогию. Создается новый автомобиль. Прежде чем начать штамповать его на конвейере, проводятся испытания, делаются деревянные макеты, продувается что-то в аэродинамической трубе, работают дизайнеры, делается концепт, потом собирается опытная версия, которая испытывается на полигоне. Существует много вещей, которые сами по себе выхода не дают, а только в комбинации с тем, что потом будет сделано на конвейере. Если сравнивать космонавтику в целом и пилотируемую космонавтику, последняя как раз играет роль такого испытательно-исследовательского отдела.

Похожие рассуждения уже были: «Зачем нам другие автомобили, когда есть “Жигули”? Народ их покупает. Зачем создавать новые модели? Это же затратно!» Перестали заниматься разработкой нового. В результате на протяжении 20–30 лет делали старые автомобили, отстали от всех и в конце концов экономически рухнули. Это оправданно или нет? Подобная позиция очень близорука

и абсолютно невыгодна. Так же можно сказать: у нас есть спутники, которые делают фотографии, — пусть и дальше делают. Пройдет десять лет, и потом повторится ситуация, как с «Жигулями».

**А.Г.:** С другой стороны, к вопросу о пилотируемой космонавтике. Сейчас постоянно говорят о разогреве Земли, о том, что она столкнется с какими-то другими планетами, метеоритами и пр. Кто прав, кто нет — спорить бессмысленно. Один из проектов, который в разных вариантах предлагали и предлагают мне до сегодня, — переселение землян на другие планеты. Вполне возможная ситуация.

**С.К.:** Она не сегодняшняя и не завтрашняя.

**А.Г.:** Да, но двигаться, искать решение нужно, раз существует такой риск. Есть проекты, где по 20 млн человек перелетают целыми колониями. Во время пилотируемых полетов проводятся исследования. И еще это отработка технологий для тех же спутников мониторинга, телекоммуникационных спутников, спутников дистанционного зондирования Земли и т.д. Руками того же Сергея Константиновича проведена масса научных экспериментов. Много может только космонавт.

**С.К.:** Приведу пример из нашей отрасли. Любая экономическая эффективность — это отношение полученного результата к затратам. Результат может быть не очень большим, но если затрат почти нет — это эффективно. Если ты много потратил,

## КОСМИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ

Космический эксперимент «Краб» был осуществлен советскими специалистами в 1989 г. Две кольцевые рамочные крупногабаритные конструкции диаметром 20 м каждая должны были раскрыться в открытом космосе по команде с Земли. Их звенья приводили в действие приводы из никелида титана — сплава с эффектом памяти формы.

Конструкции были установлены на космическом транспортном грузовом корабле «Прогресс-40». Это был первый подобный эксперимент в мировой практике. Он продемонстрировал возможность разворачивания крупногабаритных космических конструкций с использованием приводов из материалов с памятью формы в космосе.

но получил гораздо более важный результат, это тоже эффективно. Например, всем известный телескоп «Хаббл», на который было потрачено много денег. Сразу после его выведения на орбиту стало понятно, что ошиблись с оптикой, — она у него не сфокусирована. Хорошо, что с самого начала делали этот телескоп обслуживаемым, т.е. таким, чтобы человек с ним мог работать. Несмотря на то что каждый полет к «Хабблу» стоил очень дорого, затраты на эту миссию позволили привести телескоп в рабочее состояние, отремонтировать его на протяжении многих лет, что дало огромный результат, о котором мы все сейчас знаем. Это говорит еще и о том, что попытка создать полностью роботизированную миссию имеет право на жизнь, но чтобы сделать робота очень надежным, придется его дублировать, троировать, делать пятикратное резервирование. Стоимость увеличится, и не факт, что результат будет большим. Поэтому на деле экономически более эффективна разумная комбинация человека и автомата.

— **Человек стоит дешевле робота?**



А.Г. Чернявский

**С.К.:** В некоторых случаях — да, как ни странно. В сложных задачах. Можно сделать универсального робота, но он выйдет непомерно дорогим и не таким надежным, как человек.

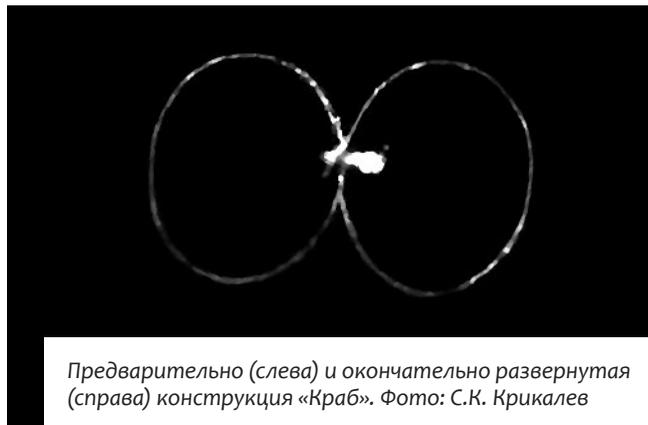
**А.Г.:** Еще один пример — эксперимент «Краб», который осуществлялся при непосредственном участии Сергея Константиновича, под его контролем. От него пришло в ЦУП первое сообщение о том, что полностью раскрылись две двадцатиметровые большие конструкции.

**С.К.:** Если вспоминать этот эксперимент, то он пошел не совсем так, как планировалось. Корабль отстыковался. Вблизи станции разворачивание конструкции «Краб» произошло не полностью. Если бы не пилотируемая часть этого полета, не удалось бы зафиксировать окончание эксперимента. Корабль стал удаляться. Но мы с борта станции «Мир» продолжали наблюдения далеко за пределами того диапазона времени, который был изначально отведен. Нам удалось подтвердить, что конструкция раскрылась, хотя и не в то время, в которое предусмотрено, а гораздо позже.

**А.Г.:** Со своей стороны могу рассказать: ночь мы проработали в Центре управления полетами и пытались, управляя кораблем «Прогресс», раскатать конструкцию, предполагая, что там что-то зацепилось. Ближе к утру мне пришла мысль, что не хватило электричества для повышения температуры приводов до достаточного уровня, поскольку раскрытие происходило в теневой зоне. Поэтому при выходе корабля на солнечную часть орбиты у нас суммируются температура от Солнца и от поданного электричества. Сработало!

## БЕЗ КОММЕНТАРИЕВ

В 1970 г. специалисты NASA подсчитали, что средний американец с годовым доходом в \$10 тыс. платит около \$30 налога в пользу космических программ. Поскольку процент бюджета, выделяемый правительством США на исследования космоса, по-прежнему составляет 1,6, а средний подоходный налог для граждан не менялся с 1950-х гг., цифра верна и сегодня. Средний россиянин, конечно же, не зарабатывает десятки тысяч долларов в год. Но и на космонавтику в нашей стране выделяется куда меньше средств — около 0,2% государственного бюджета. То есть человек, получающий зарплату 10 тыс. рублей в месяц, из которой вычитается налог 13%, отдает на космические исследования 31 руб. 2 коп. в год.



Предварительно (слева) и окончательно развернутая (справа) конструкция «Краб». Фото: С.К. Крикалев

**С.К.:** Мы на станции тоже не спали.

**А.Г.:** И от Сергея Константиновича сразу пришло известие: «Ребята, раскрылось!»

— В фильме «Девять дней одного года» герои сообщают о неудаче с экспериментом, а он отвечает: «Зато из ста возможных путей к истине один испытан и отпал».

— **С.К.:** И это уже успех. Да, совершенно верно.

— **Насколько призрачна в космонавтике эта грань между удачей и неудачей?**

**С.К.:** В одном фильме говорилось, что в науке отрицательного результата не бывает, потому что если ты ожидал получить одно, а получил другое, то результат все равно положительный. Конечно, бывают ситуации, когда гибнут люди, разрушается техника. Во всех других случаях, как правило, если мы получаем неожиданный или не тот, который хотели, результат эксперимента, эта информация тоже позволяет приблизиться к ответам на наши вопросы.

— **Возвращаясь к тому, что может случиться через миллиарды лет: зачем все это налогоплательщику, особенно в кризис?**

**С.К.:** То есть мы согласились с тем, что развиваться надо и что часть космонавтики должна быть пилотируемой. Дальше вопрос: почему мы это делаем сейчас, а можно было бы отложить, подождать, пока кризис закончится?

— **Исходя из чего среднестатистический налогоплательщик, который вряд ли проживет больше сотни лет, должен согласиться, что вложения в судьбу планеты Земля через миллиарды лет для него целесообразны?**

**С.К.:** Философский вопрос. Тут многое зависит от образования, от информирования общественности. Свою роль могут сыграть и журналисты. Могу сказать, что, когда люди начинали плавать на бревнах через реки или на примитивных судах через моря, была масса тех, которые говорили: «Зачем это надо? Сидишь здесь и сиди». Но цивилизации, которые сидели на берегу, потихоньку вымерли, а те, кто расширяли свой ареал обитания, продвигались дальше и существовали дольше.

**Что нам стоит дом построить**

— **В этом году исполняется 25 лет эксперименту «Софора», непосредственными участниками которого вы были. В чем он состоял?**

**А.Ч.:** Был проведен очень хороший, важный для космической техники, для технологии и даже для науки эксперимент. В открытом космосе Сергей Крикалев вместе с командиром экипажа космонавтом Анатолием Арцебарским вручную собрал крупногабаритную космическую конструкцию «Софора» длиной 14,5 м, состоявшую из 20 секций, в каждой из которых было шесть конструктивных элементов. Впоследствии на нее была установлена выносная двигательная установка массой 800 кг. И то и другое — серьезное научно-техническое достижение.

**С.К.:** Ферменная конструкция «Софора» — по сути, рычаг.

**А.Г.:** Рычаг для управления по каналу крена станцией «Мир», благодаря которому была сэкономлена масса топлива, сэкономлены грузовики, которые должны были его доставлять. Мало того, станция «Мир» при затоплении до последнего момента управлялась по каналу крена с помощью этой выносной двигательной установки.

**С.К.:** Есть разные технологии сборки конструкций. Можно сваривать, можно свинчивать, можно соединять. Для сборки «Софоры» была создана новая технология — соединение элементов конструкции с помощью узлов из материалов с памятью формы. На Земле провели массу экспериментов, отработок, тренировок. Кстати, похожий эксперимент по сборке фермы делали американцы. Они собрали только одно, правда, большое звено и пришли к выводу, что данная технология слишком трудоемка, чтобы использовать ее в дальнейшем.

**А.Г.:** Нам один американский астронавт на выставке в Ошкоше рассказывал про эту сборку. Когда мы обсуждали его опыт, он показал свои руки с оставшимися следами от кровавых мозолей, которые у него появились за время того эксперимента.

**С.К.:** У нашего эксперимента был другой результат. Нам удалось собрать ферменную конструкцию полностью. Еще одна задача была — поставить на нее двигательную установку. Конечный результат мерился килограммами топлива, каждый из которых в свою очередь меряется десятками тысяч долларов. Мы сделали задел на будущее, показывающий, что так можно решать сложные задачи.

**А.Г.:** Технологии, о которых Сергей Константинович говорит, начинались с исследований применяемых материалов. Необходимо было проверить, какие деформационные характеристики, какие температуры мартенситных превращений и т.п. Все эти данные нужно было совместить с требованиями к конструкциям, работающим в космическом пространстве. Были созданы и отлажены специальные приборы и устройства для сборки. Для этого была подключена большая кооперация научных организаций и вузов. Мы рассчитывали жесткости, все превращения, управление динамикой, чтобы космонавт мог надежно работать.

— **Я читала, что результаты эксперимента «Софора» будут применены при создании элементов корабля для полета на Марс.**

**С.К.:** Не обязательно на Марс, они могут быть применены в разворачивании новых конструкций, при строительстве новых полей солнечных батарей, модулей на орбите или на поверхности Луны — где угодно.

— **А в связи с чем «Софора» попала в Книгу рекордов Гиннеса?**

#### ВОЗВРАЩАЯ ФОРМУ

Мартенсит — внутренняя структура некоторых металлов и металлических сплавов. Их кристаллическая решетка при внешнем воздействии перестраивается, но большинство связей между ее атомами сохраняются, т.е. из старых положений в новые они перемещаются практически одновременно. Подобный способ перестроения кристаллической решетки был назван мартенситным превращением. Впервые его обнаружили при изучении процессов, происходящих при закалке стали. Позднее выяснилось, что он свойствен многим чистым металлам, сплавам цветных металлов, полупроводникам и полимерам. Некоторые из них обладают памятью исходной формы. В отдельных сплавах (их единицы) этот эффект проявляется настолько сильно, что может иметь практическое значение. При нагреве в деформированных частях таких сплавов возникает внутреннее напряжение. Оно заставляет атомы, связи между которыми, как уже говорилось, при мартенситном превращении не разрушаются, стремиться в их исходное положение. Соответственно, материал принимает исходную форму.

**С.К.:** По тем временам это была и, наверное, остается самая большая собранная в космосе конструкция. То есть какие-то объекты собирались на Земле, запускались, были больше, были меньше, а вот так, чтобы собрать не на Земле...

— **А чем вам больше всего запомнилась станция «Мир»? Может быть, есть какой-то случай, связанный с ней?**

**С.К.:** Для меня это мой первый полет, первый вход в станцию. Одно дело, когда ты лазаешь по тренажерам, другое — когда прилетаешь на объект, который реально находится в полете. Для меня станция — это еще и люди, с которыми я работал. Мы прилетели, там заканчивала полет третья экспедиция, куда входили Володя Титов, Муса Манаров и недавно к ним прилетевший Валерий Поляков. Были довольно интересные работы по французской программе. В мой второй полет тоже было много интересных исследований: «Софора», эксперименты с большой центрифугой, технологические эксперименты. С самого начала своего существования «Мир» был международной станцией. Первый полет был с французом Жаном-Луи Кретьеном, второй полет — мы стартовали с англичанкой Хелен Шарман, а в конце его должен был прилететь австриец Франц Фибек, но это оказался не конец, а середина моей экспедиции. Австриец прилетел вместе с казаком Токтаром Аубакировым, потом мы еще работали с немцем Клаусом-Дитрихом Фладе. Это была красивая международная программа. «Мир» стал для нас вторым домом, к которому начинаешь относиться более лично.

— **Если говорить о первом полете, о моменте старта, можно ли в полной мере быть внутренне к нему готовым?**

**С.К.:** Абсолютно готовым нельзя быть никогда и ни к чему. Система подготовки делает нас готовыми в той мере, которая достаточна для выполнения программы. Все равно какие-то вещи для нас были сюрпризом. Много я знал теоретически, но ощущал впервые. Многие вещи я сейчас переоцениваю. Вспоминаю свое первое впечатление: ракета толкается сильнее в конце работы, а отделение гораздо более динамично, чем я ожидал...

— **Как вы восприняли затопление станции «Мир»?**

**С.К.:** С печалью.

**А.Г.:** Правильное определение, по-другому даже трудно сказать, когда затапливается труд сотен тысяч людей — техника, находящаяся в абсолютно здоровом состоянии.

**С.К.:** Вы видите, как сносят дом. Кому-то интересно посмотреть, кто-то сочувствует, кто-то думает об архитектурном облике района. Может быть, и правильно дом сносят, потому что у него закончился срок эксплуатации, но если ты прожил в нем какую-то часть своей жизни, у тебя

Ферменные конструкции «Софора» и «Рапана». Фото: А.А. Серебров



устанавливаются личные отношения с этим неодушевленным объектом. Затопление станции «Мир» происходило, когда заканчивалась первая экспедиция на МКС. И мы, наверное, были одними из последних, кто видел «Мир» в полете. Наши баллистики предупредили, что станция «Мир» сейчас будет пролетать недалеко от нас, может быть, будет шанс ее увидеть. Мы смотрели в разные иллюминаторы, стараясь охватить как можно больше пространства. Вроде бы Юрий Гидзенко (*космонавт-испытатель. — Примеч. ред.*) видел мелькнувшую точку в иллюминаторе... Когда мы вернулись на Землю и только-только начали ходить (в специальных штанах, которые, как каркас, помогали нам преодолевать земную силу тяжести), мы пришли к нашим друзьям, коллегам, работавшим в американском Центре управления полетами. Многие из них тоже отдали месяцы, а то и годы жизни работе на станции «Мир». Это все выглядело как поминки.

### От общего к частному

**— У нас часто говорят о науке, о космонавтике, что они должны сами себя окупать. Как вы относитесь к таким утверждениям?**

**С.К.:** Есть наука фундаментальная, есть прикладная. Говорить, что каждая составная часть научных поисков должна быть самоокупаемой, — глупость.

**А.Г.:** Особенно для космонавтики.

**С.К.:** Физик-теоретик сидит и что-то пишет на листке бумаги. Листок бумаги с цифрами сам по себе никогда не будет окупаемым. Он окупится только тогда, когда все выкладки и расчеты, сделанные на нем, превратятся в атомную электростанцию, которая будет давать ток на 2% больше, чем без этих линий, которые там нарисованы.

Это важная тема: что должно делать государство, а что частный бизнес. Такие вещи, как фундаментальная наука, частный бизнес никогда

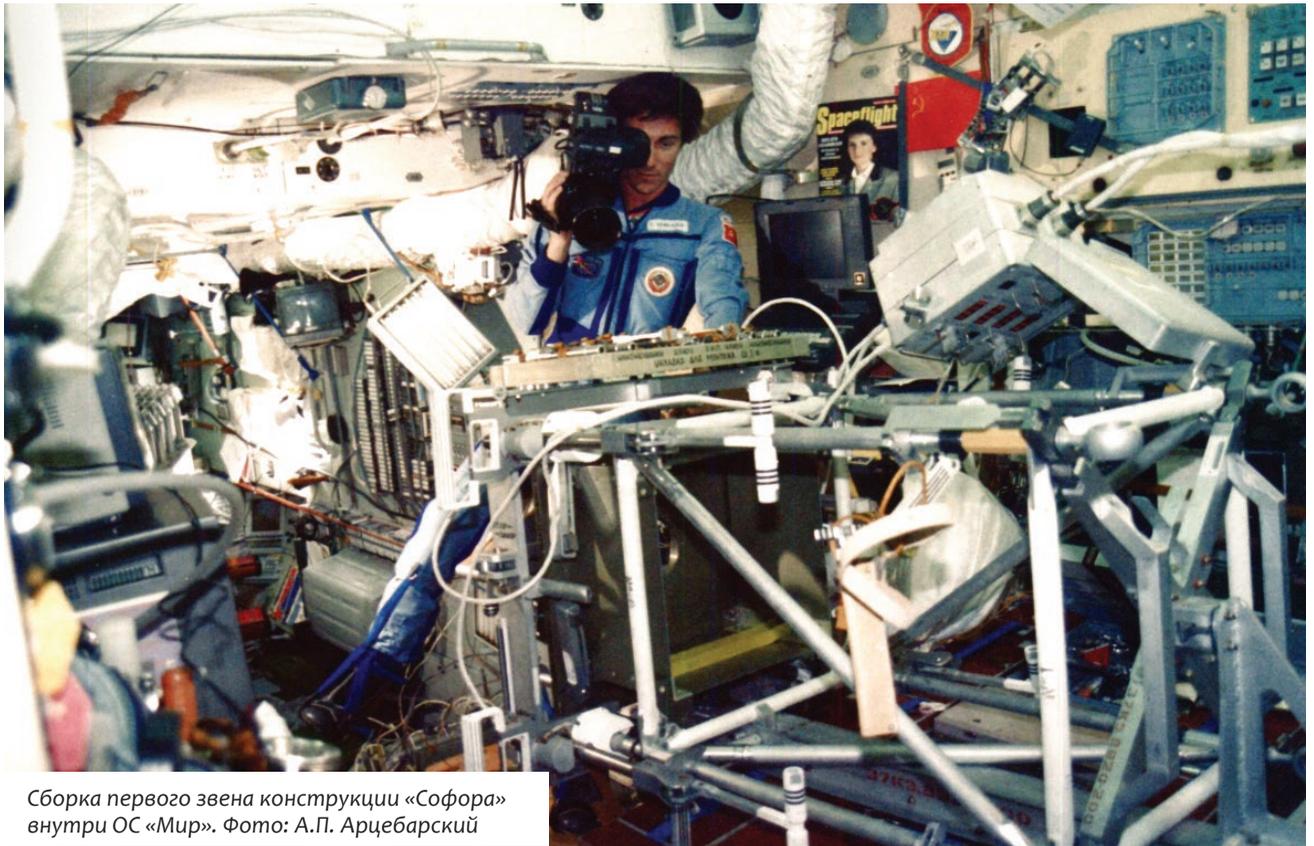


С.К. Крикалев

развивать не будет. Ни один бизнес не будет строить, например, сверхзвуковые аэродинамические трубы. В космонавтику сейчас приходят коммерческие компании, и это целесообразно. Рискованные вещи государство берет и должно брать на себя. А вот полученные результаты исследований, когда дальше можно просчитать бизнес-проект и измерить риски, может уже брать на себя коммерция. На Западе государство платит крупным авиационно-космическим компаниям деньги и поручает некую матчасть. Для фирм, получивших такой заказ, это чистой воды бизнес: выполнил работу — получил денег больше, чем потратил. Что касается глобальных вещей — определение направлений, стратегии, проведение научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ, — это государство должно оставлять за собой. Оно должно иметь контроль над тем, что делают частные компании в высокотехнологичных областях.

**А.Ч.:** Я, например, не знаю ни одного предприятия космической промышленности в Соединенных Штатах и в Западной Европе, которое было бы государственным.

**— А что вы скажете о примере Илона Маска? Его компания построила коммерческий космический корабль, долетевший до МКС и успешно пристыковавшийся к ней.**



Сборка первого звена конструкции «Софора» внутри ОС «Мир». Фото: А.П. Арцебарский

**С.К.:** Результаты сложнейших расчетов, многочисленных испытаний, которые осуществило государство, взяв деньги налогоплательщиков, были предоставлены не только Илону Маску, но и всем, кто захотел попробовать поиграть в этой зоне. И, кстати, Илон Маск не единственный, кто сейчас решает подобную задачу. Вот исследования по поведению высокотемпературной плазмы. Вы думаете, они сами проводили эти исследования? Они их получили от NASA.

— **Теперь Илон Маск утверждает, что его летательные аппараты в десять раз снижают затраты на космические полеты по сравнению с теми, что разрабатывались NASA.**

**С.К.:** Правильно. Придумать автомобиль — сложная задача. А когда уже автомобили сделаны и все результаты отданы очередной фирме, которая производит автомобили, конечно, затраты будут

меньше. С самолетами то же самое. Создание и испытание самолетов — очень дорогостоящее занятие. Изготовление тоже недешевое, но оно в разы дешевле, чем создание первых образцов.

**А.Ч.:** У меня вопрос: вот Илон Маск, будучи частным предпринимателем, работает на пилотируемую космонавтику, создает на своем SpaceX пилотируемый корабль — на какие средства? Он вытащил из другого своего бизнеса и вложил? Это не совсем так — большую часть ему выдало NASA.

**С.К.:** Государство.

— **Еще одно имя — профессор Сассекского университета Мариана Маццукато. Она консультирует NASA по вопросам распределения ответственности между государственным и частным секторами. Она считает: раз частный бизнес зарабатывает на государственных вложениях, то должен отдавать государственную часть своих доходов. Как вы к этому относитесь?**

**С.К.:** Ровно это и происходит. Государство, потратив деньги на те или иные исследования, отдает результаты промышленности. Промышленность развивается, начинает создавать что-то новое, появляются новые рабочие места. Деньги возвращаются государству в виде налогов. Часть этих средств снова вкладываются в науку, которая создает новые идеи.

#### СКОЛЬКО СТОИТ РАКЕТА

Илон Маск — канадско-американский бизнесмен, миллиардер. Его компания SpaceX занимается частными разработками ракет-носителей, кроме того, она выступает коммерческим оператором космических систем. Согласно подсчетам Los Angeles Times, объем государственных субсидий, которые Илон Маск получил для реализации своих проектов, составляет \$4,9 млрд.

— **Речь идет о дополнительном возмещении в виде процента акций и других подобных решениях.**

**С.К.:** Вопрос в том, как это делать. Есть несколько вариантов. Например, если Илон Маск сделал что-то более дешевое, может, это и есть способ возврата вложений государства. Ему предоставляют исходные данные и результаты испытаний, таким образом, он избегает необходимости проверять пять вариантов решения задачи, чтобы выбрать один. Значит, он экономит, идя по уже проторенной дорожке. Кстати, в этом смысле Илон Маск, может быть, в какой-то мере исключение, поскольку его бизнес достаточно крупный, он мог себе позволить играть в более масштабные проекты, опираясь как на знания NASA, так и на собственные ресурсы.

— **Профессор Мацзукато сказала: «Мы живем в эпоху, когда космос приватизируется». Согласны ли вы с этим?**

**С.К.:** Если под космосом подразумевается космическая деятельность — да. Если космос как пространство — нет. Вопрос в масштабах. «Винтики» и «гаечки» уже давно делает частный бизнес. Затем ему доверили не только отдельные элементы, а какие-то части сборки. Позже бизнес стал принимать участие в более крупных сегментах. Я был свидетелем больших дебатов в Америке, когда крупный заказ на подготовку «Шаттла» к очередному полету был отдан частной компании. Правда, она была соизмерима с нашими крупными государственными предприятиями. Но государство все равно взяло на себя более масштабную задачу. А если государство начинает решать сиюминутные вопросы, закрывая сегодняшнее, тактическое, можно потерять в стратегии. Мы шарахались из государственного в полностью частное, а истина где-то посередине.

### Высокие сферы для реалистов

— **Часто создается впечатление, что работа в сфере космонавтики — исключительно для мечтателей.**

**С.К.:** Не исключительно, но для мечтателей — это, наверное, правда. Поскольку русский язык очень богат, слово «мечтатель» может иметь как положительный, так и отрицательный оттенок. Когда мы говорим о человеке, который мечтает и ничего не делает, в этом смысле я начинаю с какого-то момента понять, что настало время действовать. Хотя в положительном смысле этого слова мы все равно мечтаем. Сергей Королев был тоже мечтателем, но он реализовывал свои мечты.

— **Что вас сейчас вдохновляет?**

**С.К.:** Мне часто задавали вопрос: «Почему ты пошел в эту профессию?» Я сам долго пытался понять, что послужило толчком. Любопытство, наверное. Оно и сейчас остается. Хотелось бы

сделать что-то новое, посмотреть, как будет лететь корабль к Марсу. Хорошо бы слетать на Марс. Интересно то, что мы делаем. И очень хочется увидеть результат.

**А.Г.:** Я бы сказал то же самое, что и Сергей, но кое-что добавил. Меня окружают хорошие люди, их вполне достаточно — тех, кто толкает меня к тому, чтобы все время совершенствоваться и себя, и технику. Не согласен со словом «мечтатели». Мне больше нравится «реалист», который хочет результата. Понимаю, что получу интересный для всех — предприятия, отрасли, людей, науки — очередной результат. Это меня побуждает к работе. Есть масса проектов, которые я хочу реализовать, — и они обязательно будут реализованы. ■

Беседовала Ксения Чернявская

### СПРАВКА

#### Сергей Константинович Крикалев

- Летчик-космонавт, заместитель директора ЦНИИ машиностроения по пилотируемым программам, действительный член Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, кандидат психологических наук.
- Окончил Ленинградский механический институт.
- В 1985 г. вошел в отряд космонавтов.
- 1988–2005 гг. — совершил шесть космических полетов: три длительных экспедиции на станцию «Мир» и три — на МКС.
- 2007–2009 гг. — заместитель генерального конструктора РКК «Энергия»
- 2009–2014 гг. — начальник Центра подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина
- С марта 2014 г. — заместитель генерального директора ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» по пилотируемым программам.
- Герой Российской Федерации (звезда Героя РФ № 1), Герой Советского Союза.

#### Александр Григорьевич Чернявский

- Заслуженный конструктор РФ, советник РКК «Энергия».
- Окончил Московский авиационный институт.
- С 1976 г. по настоящее время — сотрудник РКК «Энергия».
- Прошел путь от инженера-конструктора до заместителя генерального конструктора — руководителя научно-технического центра «Конструкция космических кораблей, орбитальных комплексов, автоматических космических аппаратов и средств выведения».
- С 2016 г. — советник РКК «Энергия».
- Опубликовал более 55 научных статей, имеет 48 авторских свидетельств и пять патентов РФ.

Несколько странных объектов в поясе Койпера, за орбитой Нептуна, наводят на мысль о существовании массивной невидимой планеты, у которой, возможно, даже есть спутник, подобный нашей Луне

# В ПОИСКАХ

A space-themed background featuring a view of Earth from space, showing the curvature of the planet and the atmosphere. A large, dark, textured planet is visible in the upper left corner. The sky is filled with stars.

КОСМОС

# ПЛАНЕТЫ

На окраине Солнечной системы  
может находиться планета,  
размерами превышающая Землю

Майкл Лемоник

## ОБ АВТОРЕ

**Майкл Лемоник** (Michael Lemonick) — автор книги «Зеркало для Земли: в поисках близнеца нашей планеты» (*Mirror Earth: The Search for Our Planet's Twin*, 2012). В течение 21 года писал статьи на научные темы в журнале *Time*. В настоящее время — редактор журнала *Scientific American*.



**Ч**то-то странное происходит за пределами орбиты Плутона. Уже более 20 лет назад астрономы установили, что эта крошечная планета (которую, впрочем, лишили данного статуса) на краю Солнечной системы не одинока: она входит в состав обширного облака ледяных глыб, известного под названием пояса Койпера. Но в отличие от большинства своих попутчиков, а также планет и астероидов, которые обращаются вокруг Солнца между Марсом и Юпитером, небольшая часть объектов пояса Койпера (ОПК) имеет чрезвычайно странные орбиты. Так, по сравнению с практически круговыми орбитами большинства планетных тел их траектории сильно вытянуты.

Эти необычные объекты числом от четырех до дюжины — в зависимости от того, кто их считает, — отличаются еще одной особенностью. Подобно большинству ОПК, они движутся по орбитам, сильно наклоненным по отношению к плоскости эклиптики, в пределах которой «живут» планеты, на какое-то время поднимаясь над ней, а затем «проваливаясь» глубоко вниз. Но в отличие от своих замороженных собратьев все эти объекты пересекают плоскость эклиптики в наименее удаленной от Солнца области своей орбиты, т.е. в области перигелия.

Если использовать термин, не очень понятный даже многим астрономам, у них на удивление близки аргументы перигелия. «Принято считать, — говорит Скотт Шеппард (Scott Sheppard), планетолог из Института науки Карнеги, — что аргументы перигелия рандомизируются, (т.е. хаотически перемешиваются) за время существования

Солнечной системы». Возможно, у всех этих немногочисленных тел аргументы перигелия одинаковы лишь по случайному стечению обстоятельств; но такое могло произойти с вероятностью менее нескольких процентов за все это время, что сопоставимо с вероятностью выпадения орла десять раз подряд при подбрасывании монеты: трудно вообразить, но все же возможно.

Однако такое выпадение орла может означать также, что монета неоднородна по массе, и, возможно, некая неоднородность имеет место в случае ОПК. Аналогом неоднородности может служить гравитационное воздействие со стороны неизвестного космического объекта — скажем, огромной планеты, значительно превосходящей Землю по массе и обитающей на «задворках» Солнечной системы: настоящей суперземли (т.е. планеты примерно в десять раз массивнее Земли). Если такой таинственный объект — иногда его

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Несколько далеких льдистых объектов, обращающихся вокруг Солнца по странным орбитам, наводят некоторых астрономов на мысль, что в Солнечной системе может быть больше планет, чем нам известно.
- По мнению сторонников этой гипотезы, за пределами орбиты Нептуна находится одна или даже несколько суперземель — планет, почти в десять раз более массивных, чем Земля.
- Вероятно, эти космические тела слишком далеки и тусклы, чтобы их можно было увидеть в современные телескопы; возможно, их удастся обнаружить в ходе будущих наблюдений.

называют планетой X — существует, он должен обращаться вокруг Солнца по крайней мере на десятикратно большем расстоянии от него, чем Нептун. Это слишком далекий и слишком тусклый объект, чтобы его можно было заметить в современный телескоп, и, тем не менее, благодаря своей огромной массе он должен оказывать ощутимое воздействие на всю Солнечную систему, в частности на ОПК, чьи необычные орбиты вызывают большой интерес у астрономов.

«Пока у нас нет беспоспных свидетельств существования на краю Солнечной системы тела, сравнимого по массе с какой-нибудь из планет, — говорит Нейтан Кэйб (Nathan Kaib), занимающейся теорией формирования планет и, как Шеппард, работающий в Институте науки Карнеги. — Но там определенно происходит нечто странное, чего мы пока не понимаем». Все больше астрономов склоняются к мысли о справедливости некогда осмеянной идеи о существовании в Солнечной системе суперземли — планеты X.

Сам Кэйб считает, что полученные свидетельства о наличии такой планеты отнюдь не бесспорны, да и многие астрономы с ним согласны. И даже те, кто высказываются в ее пользу, не уверены в этой идее полностью. История астрономии полна случаев «обнаружения» таинственных объектов, на мысль о существовании которых наводили необычные орбиты других небесных тел. Некоторые из таких объектов стали реальностью, большинство же оказались ложной тревогой. Вполне возможно, что мы знаем о Солнечной системе гораздо меньше, чем нам кажется. Если планета X — не мираж, это неизбежно повлечет за собой переосмысление некоторых ключевых периодов истории Солнечной системы.

### По следам скрытых миров

Первые попытки обнаружить еще одну планету в Солнечной системе были предприняты в начале XIX в., когда астрономы начали склоняться к мнению, что Уран, случайно открытый в 1781 г. английским астрономом и музыкантом немецкого происхождения Уильямом Гершелем (William Herschel), движется по орбите, не вполне соответствующей закону всемирного тяготения Ньютона. Находились такие, которые утверждали, что причиной этого служит притяжение со стороны крупной неизвестной пока планеты, — и в 1846 г. немецкий астроном Иоганн Галле (Johann Galle), основываясь на расчетах французского математика Урбена Леверье (Urbain Le Verrier), открыл газовый гигант Нептун. (Существуют достоверные данные, что Галилей наблюдал Нептун гораздо раньше, в 1612 г., используя свой примитивный несовершенный телескоп, но принял его за звезду.)

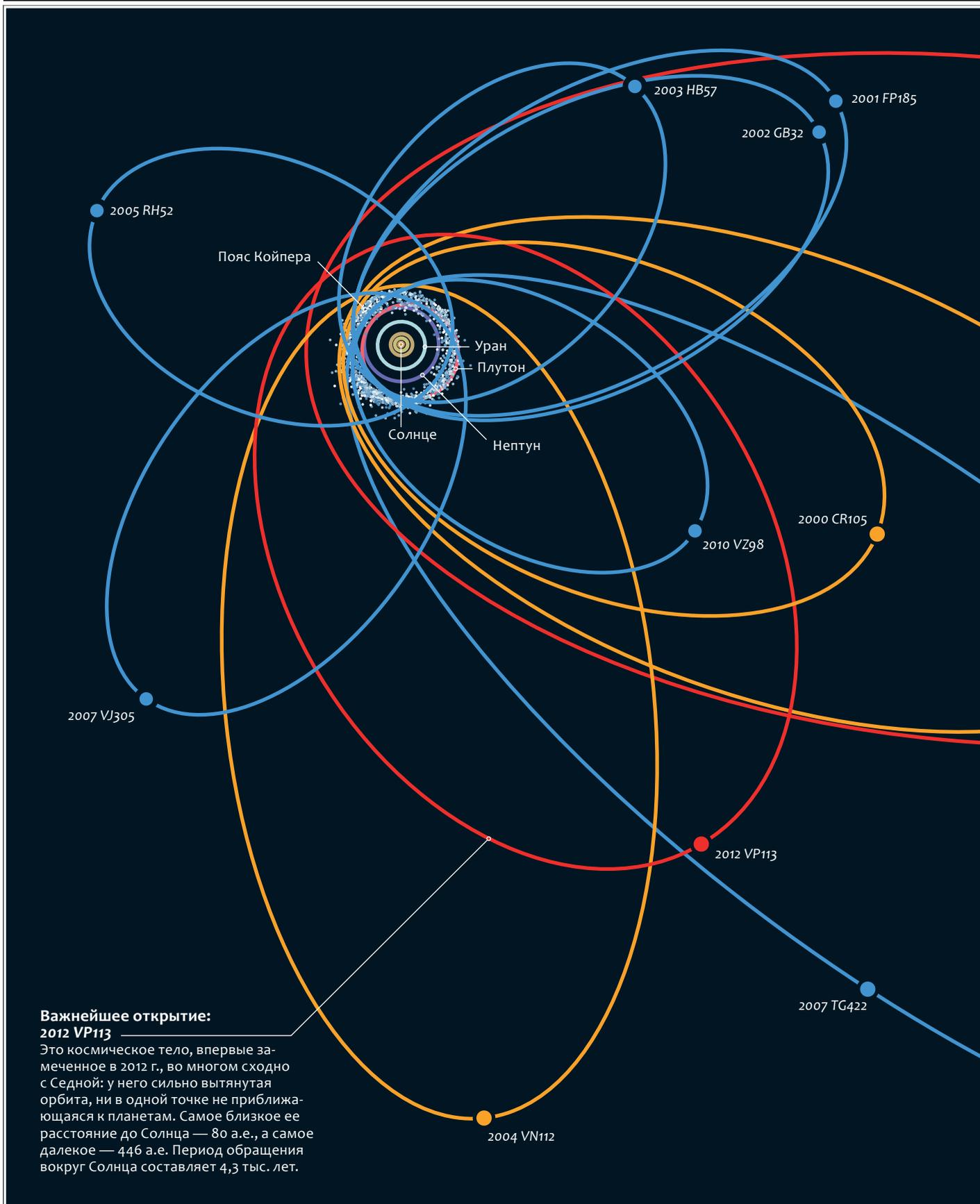
В начале 1900-х гг. бизнесмен, дипломат, астроном и математик из Бостона Персиваль Лоуэлл (Percival Lowell), построивший собственную обсерваторию вблизи Флагстаффа, штат Аризона, занялся поисками другой неизвестной пока планеты. В то время появились свидетельства аномалий орбит как Урана, так и Нептуна, указывающие на существование еще одной планеты-гиганта. В 1930 г. молодой сотрудник обсерватории Лоуэлла Клайд Томбо (Clyde Tombaugh) обнаружил планету, расположение которой более или менее соответствовало расчетам, повторив историю открытия Нептуна. 14 марта 1930 г. газета *New York Times* возвестила: «Обнаружено сферическое тело, о существовании которого давно догадывались, воз-

## История астрономии полна загадочных невидимых планет, на мысль о существовании которых наводили необычные орбиты других небесных тел

можно, превышающее по размерам Юпитер и находящееся от нас на расстоянии в 4 млрд миль».

Однако не все здесь соответствовало действительности. Спустя несколько десятилетий выяснилось, что новому объекту, Плутону, далеко до размеров Юпитера: на самом деле он меньше спутника Земли. Его гравитация настолько мала, что ни о каком отклонении под ее действием орбит Нептуна и Урана не может быть и речи. Да и сами отклонения, как выяснилось позже, были не так уж велики. В этом смысле Плутон оказался отчасти ложной тревогой.

Но само по себе это открытие было чрезвычайно важным. В 1980-е гг. планетологи начали склоняться к мнению, что Плутон — вовсе не маленькая планета, движущаяся в одиночестве где-то на ледяных окраинах Солнечной системы, а самый яркий представитель обширной и густонаселенной области, известной под названием пояса Койпера. В 1992 г. с помощью расположенного на острове Гавайи телескопа был обнаружен первый (помимо Плутона) ОПК, и с тех пор этих объектов насчитывается уже около 1,5 тыс. Открытие в 2005 г. карликовой планеты Эриды, которая близка к Плутону по размеру и значительно превосходит его по массе, предвещало добавление нескольких новых планет к уже существовавшему списку из девяти. Это побудило Международный астрономический союз в 2006 г. перевести Плутон в разряд карликовых планет.



**Важнейшее открытие:**  
**2012 VP113**

Это космическое тело, впервые замеченное в 2012 г., во многом сходно с Седной: у него сильно вытянутая орбита, ни в одной точке не приближающаяся к планетам. Самое близкое ее расстояние до Солнца — 80 а.е., а самое далекое — 446 а.е. Период обращения вокруг Солнца составляет 4,3 тыс. лет.

## Самые отдаленные объекты

Далеко за пределами орбит восьми планет, пояса астероидов и даже пояса Койпера, располагающегося за орбитой Нептуна, астрономы обнаружили около дюжины объектов, движущихся по необычным траекториям. Все эти льдистые тела обращаются вокруг Солнца по вытянутым орбитам и имеют одну странную особенность — они максимально приближаются к Солнцу в то время, когда пересекают плоскость планетных орбит — эклиптику. Одной из причин этого может быть наличие на окраинах Солнечной системы крупной неизвестной нам планеты — суперземли. Возможно, ее гравитация синхронизирует поведение этих объектов.

### Десять других примечательных удаленных объектов

Астрономы обнаружили по меньшей мере десять других космических тел, сходных по некоторым параметрам с Седной и 2012 VP113; для всех них характерны вытянутая орбита и максимальное приближение к Солнцу во время пересечения плоскости эклиптики. Их среднее удаление от Солнца — не менее 150 а.е. Все их можно разделить на три группы в зависимости от значения перигелия (ближайшего расстояния от Солнца): те, которые никогда не приближаются к светилу на расстояние менее 50 а.е. («внутреннее облако Оорта»); те, которые приближаются на расстояние от 40 до 50 а.е. («периферия обособленного диска»); и те, которые приближаются на расстояние от 430 до 40 а.е. («периферия рассеянного диска»).

### Самые отдаленные известные объекты окраин Солнечной системы

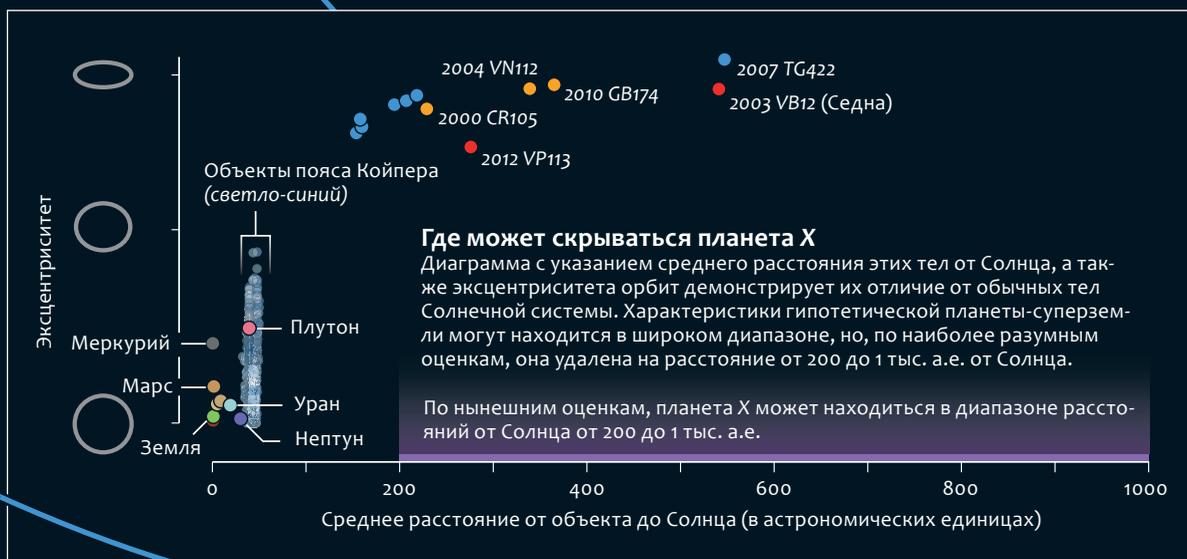
- Внутреннее облако Оорта
- Периферия обособленного диска
- Периферия рассеянного диска

2003 VB12 (Седна)

### Важнейшее открытие: Седна

Открытая в 2003 г. Седна — один из самых удаленных известных объектов Солнечной системы, возможно, имеющий самую необычную из когда-либо наблюдаемых орбиту. Это льдистое тело примерно 2,25 тыс. км в поперечнике; совершая один оборот вокруг Солнца за 11,4 тыс. лет, оно максимально удаляется от центра Солнечной системы на расстояние 930 а.е. и не приближается к нему менее чем на 76 а.е. (1 а.е. — расстояние от Земли до Солнца)

2010 GB174



SOURCES: INTERNATIONAL ASTRONOMICAL UNION MINOR PLANET CENTER'S LIST OF TRANSNEPTUNIAN OBJECTS (Kuiper belt object data); SCOTT S. SHEPPARD, Carnegie Institution for Science (extreme outer solar system object data); Graphic by Jan Willem Tulp

### Перетасовка в Солнечной системе

Открытие пояса Койпера (первое прямое доказательство его существования было получено только в 1992 г.) вселяет уверенность, что ведущиеся в последнее время поиски планеты X не напрасны. Это открытие помогает объяснить, каким образом подобные объекты могут находиться так далеко от Солнца, что мы до сих пор их не видели. Компьютерные модели наводят на мысль, что льдистые космические тела, принадлежащие поясу Койпера, скорее всего сформировались где-то в окрестностях сегодняшнего местоположения Нептуна, а затем что-то отбросило их очень далеко — туда, где они находятся сейчас. По одной из гипотез, рассеяние происходило в период хаоса, воцарившегося вскоре после зарождения планет из сгустков протопланетного диска, состоящего из газа и пыли, которые кружились вокруг новорожденного Солнца. Скорее всего, в этот период нестабильности Юпитер, Сатурн, Уран и Не-

## «Никому не приходила в голову мысль о существовании подобного объекта, — говорит Чад Трухильо, — и никто не может объяснить, как он там оказался»

птун сместились на сотни миллионов километров со своих изначальных орбит, а под действием их гравитации ОПК были отброшены еще дальше. Некоторые модели даже указывают на возможность существования пятого газового гиганта, который был вытолкнут за пределы Солнечной системы, в то время как расположение других лишь немного скорректировалось.

Можно предположить, что во время вселенских пертурбаций гипотетическая суперземля тоже была отброшена на периферию Солнечной системы. А поскольку суперземли весьма широко распространены среди примерно 2 тыс. экзопланет, обнаруженных вокруг других звезд за последние два десятилетия, также резонно предположить, что когда-то одна такая экзопланета могла обращаться вокруг Солнца. «Основываясь на этих допущениях, — говорит Бен Бромли (Ben Bromley) из Университета Юты, работающий совместно со Скоттом Кеньоном (Scott Kenyon) из Гарвард-Смитсоновского астрофизического центра, — мы разработали несколько сценариев того, что могло произойти с суперземлей, вытолкнутой из окрестностей нынешних орбит Юпитера и Сатурна». Вероятнее всего, она двигалась бы по сильно вытянутой эллиптической орбите, постепенно

растягивающейся еще больше, пока наконец не вышла за пределы Солнечной системы. «Но если рассеяние произошло достаточно рано — в пределах около 10 млн лет после образования планет, до диссипации протопланетного газа, — продолжает Бромли, — то суперземля могла, гравитационно взаимодействуя с газом, обосноваться на задворках Солнечной системы и двигаться по более или менее круговой орбите».

Этот сценарий — один из возможных способов образования такого рода планеты X, которую в начале 1900-х гг. намеревался отыскать Лоуэлл и которую Галле и Леверье обнаружили 50 годами ранее во время совместной работы, посвященной поискам Нептуна. Не исключено, впрочем, как считают Кеньон и Бромли, что суперземля сформировалась на расстоянии 200 астрономических единиц (а.е.) от Солнца; это в 200 раз больше расстояния от Земли до Солнца, равного 149,6 млн км (Нептун обращается вокруг Солнца на расстоянии 30 а.е.). Такое могло произойти, только если там было достаточно много «строительного материала» (кусков горной породы и льда размером с гальку), который обращался вокруг Солнца на столь удаленной орбите.

Никаких более или менее достоверных свидетельств того, что подобное могло когда-либо случиться в Солнечной системе, не существует, но есть указание на то, что так оно и было в других планетных системах, чьи звезды очень похожи на Солнце. «Если вы посмотрите на ближайšie к нам звезды того же типа, что и Солнце, — говорит Кеньон, — то увидите, что некоторые из них окружены дисками из обломков горных пород, простирающимися на расстояние до 200 а.е. от самой звезды. Поэтому наши предположения не беспочвенны. И хотя никаких прямых доказательств формирования суперземли на таком расстоянии от ближайших к нам звезд не существует, по крайней мере у нас есть разумные предположения на этот счет». Все эти модели были умозрительными, когда около десяти лет назад Кеньон и Бромли начали их строить. Не было даже намека на то, что суперземля действительно там есть.

### Обнаружение Седны

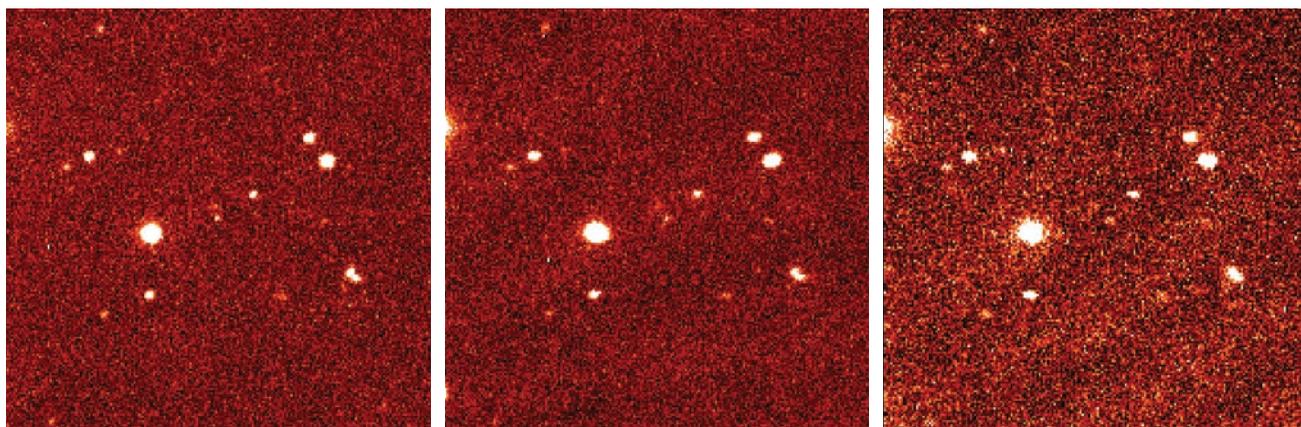
Ситуация сдвинулась с мертвой точки с открытием Седны. В 2003 г. Майк Браун (Mike Brown) из Калифорнийского технологического института вместе с двумя коллегами зафиксировали некий объект, который мог оказаться самым странным в Солнечной системе из всех известных до сих пор. Это было ледяное тело размером около 2,25 тыс. км в поперечнике, во многом похожее на Плутон, Эриду и другие ОПК. Однако такой орбиты, как у Седны, до сих пор никто не видел. Седна никогда не приближается к Солнцу

ближе 76 а.е. (перигелий), что в два раза дальше, чем для Нептуна. У нее самый большой период обращения среди крупных объектов Солнечной системы: 11,4 тыс. лет. Максимальное удаление Седны от Солнца — более 930 а.е., что в 31 раз больше, чем у Нептуна.

«Седна — это действительно нечто странное, — говорит Чад Трухильо (Chad Trujillo), соавтор открытия, работающий сегодня в Обсерватории Джемми на острове Гавайи. — Все, что мы о ней знаем, не поддается объяснению». Ее сильно вытянутая орбита сходна с орбитами долгопериодических комет, но, в отличие от Седны, один конец их орбит зафиксирован гравитацией планет-гигантов. Седну ничто не держит «на якоре». «Никому не приходило в голову, что может существовать такой объект, — говорит Трухильо, — и никто не может объяснить, как он там оказался».

Трухильо, — и обнаружили некое таинственное существо, то вы почти уверены, что существуют и другие подобные ему создания. Так же и в астрономии. Конечно, если это первое существо не было абсолютной случайностью». И продолжает: «Может быть, наш уникальный космический объект был заброшен на такую орбиту по причине, о которой мы не догадаемся, пока не обнаружим еще один подобный объект». И вот теперь он найден.

Этот транснептуновый объект, получивший временное обозначение  $2012 VP_{113}$ , движется по эксцентрической орбите с периодом 4,3 тыс. лет, перигелием в 80 а.е. и афелием — наибольшим удалением от Солнца — в 446 а.е. Как и Седна,  $2012 VP_{113}$  гравитационно полностью независим от Нептуна. И, что очень важно, его аргумент перигелия почти совпадает с таковым у Седны, так же как и у других немногочисленных менее похожих на Седну



На трех снимках, сделанных с промежутками около полутора часов телескопом Паломарской обсерватории в Калифорнии, виден тусклый объект, который астрономы назвали Седной. Странные орбиты Седны и некоторых других подобных объектов наводят на мысль о существовании массивной планеты за орбитой Плутона.

За последующие десять с небольшим лет были обнаружены еще десять объектов меньшего размера, которые тоже движутся по сильно вытянутым орбитам и никогда не подходят близко к Нептуну. В общем-то, в этом нет ничего особенно удивительного: ни один из них не имеет такой экстремальной орбиты и такого дальнего относительно Нептуна перигелия, как Седна. Но у всех них, в том числе и у Седны, сходны аргументы перигелия, важный параметр орбиты, который характеризует, насколько выше или ниже плоскости Солнечной системы находится объект, когда он достигает перигелия. И это обстоятельство представляется по меньшей мере странным.

Все стало еще более удивительным в 2014 г., когда Трухильо и Шеппард в результате десятилетних поисков чего-то подобного сообщили на страницах журнала *Nature* об открытии еще одного похожего на Седну объекта, примерно вдвое уступающего ей по размеру. «Если вы биолог, — говорит

ОПК. Это стало последним шагом на пути к дерзкой гипотезе, аккуратно сформулированной в статье, опубликованной в журнале *Nature*. «Можно предположить, — писали Трухильо и Шеппард, — что на периферии Солнечной системы существует массивный "возмутитель спокойствия" (объект-пастух), по нашим представлениям — суперземля, обращающаяся вокруг Солнца на расстоянии до 250 а.е.». Его гравитация может синхронизировать аргументы перигелия небольших объектов. «Я не думаю, что кто-либо прежде всерьез задумывался о существовании подобной массивной планеты, — заявляет Мэг Швамб (Meg Schwamb) из Йельского университета. — но статья Трухильо и Шеппарда сделала эту мысль рабочей гипотезой».

Масла в огонь подлила опубликованная в сентябре 2014 г. в *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Letters* статья двух не очень известных испанских астрономов, братьев Рауля и Карлоса

де ла Фуэнте Маркос (Raúl & Carlos de la Fuente Marcos) из Мадридского университета Комплутенсе. Основываясь на характеристиках орбит Седны,  $2012 VP_{113}$  и тел меньшего размера, они пришли к выводу, что существует не одна суперземля. Результаты их анализа «однозначно указывали» на то, что за орбитой Нептуна могут находиться по крайней мере две планеты. «Согласно нашим необнародованным расчетам, — говорит Рауль, — этих предполагаемых сравнимых по массе с Землей планет должно быть как минимум две, а может быть, их более 15».

Как и Трухильо и Шеппард, братья де ла Фуэнте Маркос не делают однозначных выводов. Обе группы говорят лишь о том, что существование суперземли вполне вероятно. Но если это окажется реальностью, уверенность астрономов в том, что они понимают, как устроена Солнечная система, будет поколеблена.

## **Строящийся на севере Чили Большой обзорный телескоп (LSST) не будет больше самого крупного работающего ныне, но его поле зрения будет значительно шире. Это позволит охватывать гораздо более обширные области неба и сделает LSST незаменимым для поисков тусклых далеких объектов**

### **Сомнения остаются**

Существование планеты *X* — весьма заманчивое объяснение странностей Седны и подобных ей объектов, но оно не единственное. По мнению планетолога-теоретика Хэла Левисона (Hal Levison) из Юго-Западного исследовательского центра, Седна и другие аналогичные ей тела могли попасть на удаленные орбиты в то время, когда Солнце еще входило в состав исходного скопления тысяч звезд, которые образовались из сгустков единого газового облака. Перед рассеянием звезды в скоплении находились так близко друг к другу, что искажали орбиты тел на окраинах Солнечной системы, сильно удлиняя и вытягивая их. «Другой причиной удлинения орбит могли стать галактические приливы — более сильное притяжение с одной стороны, чем с другой, во время прохождения Солнца вблизи более плотных областей своей орбиты вокруг центра Млечного Пути. «Мы построили несколько компьютерных моделей этого сценария, — говорит Шеппард, — но они ничего

не прояснили. По-видимому, такое развитие событий маловероятно, однако существует множество других».

Вытянуть орбиты могло любое из таких воздействий, но сблизить аргументы перигелия — только суперземля. Или же чистая случайность. Может показаться, что 12 объектов, о которых говорят Шеппард и Трухильо в своей статье, — это слишком много, но если учитывать, что тел в поясе Койпера миллионы, статистически это почти ничто.

Если согласиться со Швамб и ее коллегой Рамоном Брассером (Ramon Brassier) из Токийского технологического института, то гипотеза существования планеты *X*, таким странным образом искажившей орбиты Седны и ей подобных, станет еще более маргинальной. «Согласно результатам недавно проведенного нами исследования, — говорит Швамб, — существуют всего четыре похожих

на Седну объекта». Остальные из 12 не приближаются к Нептуну настолько близко, но все же ощущают его гравитацию. Поэтому планетой *X* может оказаться сам Нептун, чем и объясняется такая близость их аргументов перигелия. И если 12 объектов считать статистически маргинальными, то четыре из них маргинальны в еще большей степени (стоит отметить, что слово «маргинальный» в науке имеет несколько другой смысл, чем в обиходной речи). «Все четыре оставшихся объекта могут оказаться синхронизированными случайным образом

за все время их существования с вероятностью не более 1%», — говорит Брассер. Однако большие шансы — вовсе не гарантия успеха. «Тот факт, что у вас есть основания думать, что планета существует, — говорит Швамб, которая согласна с такой возможностью, — вовсе не означает, что она там окажется».

Планетологи проходили через это неоднократно. В 1980-х гг. Ричард Мюллер (Richard Muller), профессор физики Калифорнийского университета в Беркли, счел, что причиной имевшего место в далеком прошлом массового вымирания биологических видов на Земле была тусклая звезда или коричневый карлик — объект с массой, меньшей чем у звезды, но большей, чем у планеты — обращающаяся вокруг Солнца на расстоянии примерно 10 тыс. а.е., или около 1,5 светового года. Согласно его предположению, один раз примерно в 26 млн лет гипотетическая звезда, которую он назвал Немезида, приближается к Солнечной системе и врежется в облако Оорта (гипотетическая сфера

вокруг Солнца, содержащая льдистые тела и служащая источником долгопериодических комет), окружающее Солнечную систему далеко за орбитами Седны и других известных нам объектов. Некоторые из комет направляются во внутреннюю область Солнечной системы, а единицы обрушиваются на Землю, что и приводит к исчезновению на ней многих видов животных.

Но, как и сегодняшняя история с планетой X, та давняя ситуация была лишь похожа на правду: поиски Немезиды ничем не закончились. Немного позже Джон Мэйтис (John Matese) и Дэниел Уитмайр (Daniel Whitmire), оба из Луизианского университета в Лафайетте, высказали предположение, что многочисленность долгопериодических комет, прилетающих с одной стороны небосклона, связана с наличием соизмеримой с Юпитером планеты, обитающей на дальних окраинах Солнечной системы. Наблюдения с помощью высокочувствительных датчиков принадлежащего NASA инфракрасного телескопа WISE ничего не дали. «Мы непременно увидели бы объект размером с Юпитер, находящийся на расстоянии порядка 30–40 тыс. а.е. от Солнца, — говорит Кевин Лахман (Kevin Luhman) из Университета штата Пенсильвания, который руководит поисками. — Точно так же мы рассмотрели бы объект размером с Сатурн, удаленный от Солнца на расстояние 10–15 тыс. а.е.». Но они не обнаружили ничего. Возможно, сопоставимая по размерам с Землей планета X находится гораздо ближе, но она настолько тусклая, что остается незамеченной.

### Так есть ли там что-нибудь?

Ориентируясь лишь на 12 необычных объектов, планетологи не могут ответить на вопрос, существует ли в Солнечной системе суперземля. Они лишь могут утверждать, что эта гипотеза не противоречит наблюдениям. Очень важно обнаружить как можно больше объектов с подобными орбитальными параметрами, вот почему астрономы с таким интересом отнеслись к известию об открытии в ноябре прошлого года нового объекта. Обозначенный как V774104, он имеет еще больший перигелий, чем Седна. «Пока рано говорить, какова его орбита и повысятся ли шансы на существование планеты-гиганта, когда это станет известно», — говорит Шеппард, руководитель команды исследователей. Так же рано всерьез говорить о наличии 40 или около того удаленных объектов, «обнаруженных» коллективом Шеппарда, хотя сам он называет эти изыскания «самым глубокими и обширными в истории исследований внешних областей Солнечной системы». Так или иначе, чем больше новых объектов будет открыто, тем с большей уверенностью можно будет утверждать, что на окраинах Солнечной системы находится нечто массивное.

Надеясь еще больше упрочить свои позиции, планетологи с нетерпением ждут введения в строй в 2018 г. на севере Чили Большого обзорного телескопа (LSST). Он не будет больше самого крупного работающего ныне, но его поле зрения будет значительно шире, что позволит охватывать гораздо более обширные области неба. «Сегодня, — говорит Трухильо, — в поисках тусклых далеких объектов мы обследовали площадь в десять квадратных градусов (для сравнения: полная Луна покрывает четверть квадратного градуса), а с помощью LSST можно будет обозревать десятки тысяч».

В случае если суперземля действительно существует и если она достаточно большая и яркая, LSST непременно ее обнаружит. А может быть, кто-то другой сделает это раньше. В декабре прошлого года астрономы заявили, что с помощью расположенного в Чили комплекса радиотелескопов «Атакамская большая миллиметровая решетка» (ALMA) получены прямые изображения объектов, которые могут оказаться суперземлями. Большинство их коллег отнеслись к этому заявлению крайне скептически; кто прав — покажут дальнейшие наблюдения. А может быть, какой-нибудь другой телескоп случайно уже сфотографировал нашу местную суперземлю. «Возможно, это фото находится у кого-то на жестком диске, и его владелец просто не обратил внимания на изображение, поскольку не занимается поисками подобных объектов, — говорит Трухильо. — Люди вообще склонны видеть только то, что их интересует».

Перевод: С.Э. Шафрановский

20 января 2016 г. в *Astronomical Journal* (т. 151, вып. 2) появилась статья американских астрономов Майкла Брауна (Michael Brown) и Константины Батыгина, в которой сообщалось о возможности существования с вероятностью более 99,9% суперземли, находящейся от нас на расстоянии 600 а.е. — Примеч. пер.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

■ A Sedna-like Body with a Perihelion of 80 Astronomical Units. Chadwick A. Trujillo and Scott S. Sheppard in *Nature*, Vol. 507, pages 471–474; March 27, 2014.

■ Extreme Trans-Neptunian Objects and the Kozai Mechanism: Signalling the Presence of Trans-Plutonian Planets. C. de la Fuente Marcos and R. de la Fuente Marcos in *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Letters*, Vol. 443, No. 1; pages L59–L63; September 1, 2014.



Кэмерон Смит

# ГРАЖДАНЕ КОСМОСА

*Как будущие поколения начнут осваивать другие миры  
и чем это обернется для человека как вида*

150

В 2011 г. космический челнок «Атлантис» совершил свой последний

полет, но это вовсе не означало, что эра исследования космоса с помощью пилотируемых кораблей закончилась. Напротив: аналогично тому, как исчезновение динозавров способствовало процветанию млекопитающих, уход в прошлое космических челноков послужит стимулом к началу освоения пространств Вселенной. С появлением частных компаний с их амбициозными планами человечество вступило на путь заселения далеких миров и адаптации к совершенно новым условиям. Официально заявленной целью Элона Маска (Elon Musk), американского инженера, миллиардера, соучредителя корпорации *SpaceX*, стал Марс; полярные исследователи Том и Тина Сьегрен (Tom & Tina Sjogren) планируют организовать экспедицию на Марс на собственные средства; в рамках частного европейского проекта *Mars One* предполагается основать к 2023 г. колонию на Марсе. Колонизация космоса начинается на наших глазах.

Однако технической стороной дело не ограничивается. Если освоение космоса пойдет успешно, обязательно придется решать проблемы биологического и культурологического свойства. Колонизация — не одни только ракеты и роботы, это люди, семьи, сообщества и разные культуры. Чтобы справиться с запутанной, противоречивой, динамичной проблемой биосоциокультурной адаптации, нужно начать с построения антропологической системы колонизации космоса. При этом необходимо отдавать себе отчет, что все живые существа изменчивы, они эволюционируют.

В представлениях о путях колонизации господствуют три концепции. Первая связана с освоением Марса. По мнению энергичного, полного идей космического

инженера-конструктора и президента *Mars Society* Роберта Зубрина (Robert Zubrin), марсианские поселения должны находиться на самообеспечении, т.е. использовать местные ресурсы для получения воды и кислорода, а также строительных материалов. Вторая концепция основана на идее создания свободно перемещающихся колоний — многочисленных обитаемых космических станций, построенных из металлов, добытых на Луне или извлеченных из астероидов. Такая идея была высказана и широко обсуждалась еще в 1970-х гг. Ее автор, физик Герард О'Нил (Gerard O'Neill), предполагал, что станции с тысячами обитателей смогут вращаться вокруг своей оси, чтобы создать ощущение земного притяжения (как в фильме 1968 г. «2001: космическая Одиссея»), а также обращаться вокруг Земли или неподвижно висеть в так называемых точках Лагранжа, где гравитационные силы со стороны Земли и Солнца, действующие на малое тело (корабль), уравновешиваются центробежной силой. И, наконец, существует идея строительства гигантского корабля *Space Ark* с тысячами переселенцев, которые навсегда покидают Землю в надежде, что их потомки достигнут далеких уголков Солнечной системы, а возможно, и Вселенной. Я работал с создателями именно такого проекта, который реализует некоммерческий фонд *Icarus Interstellar*.

Следует различать колонизацию космоса и его покорение. Мир за пределами нашей планеты огромен, так было и так будет. Если человечество решится создавать для себя новый космический дом, изменяться придется ему, а не новому местообитанию.

### Первопроходцы

Что же это за люди — космические переселенцы? Забудьте о решительных суперменах, изображенных в фильме 1980-х гг. «Парни что надо», — словно высеченных из камня, с квадратными подбородками, с легкостью проходящих изощренные тесты на выносливость, ловкость, сообразительность и прочее. Наши герои будут обычными людьми, которым предстоит провести всю жизнь вне Земли. Возможно,



### ОБ АВТОРЕ

**Кэмерон Смит** (Cameron M. Smith) преподает историю эволюции в Портлендском университете. Автор книг «Факт эволюции» (*The Fact of Evolution, 2011*) и «Переселение с Земли» (*Emigrating Beyond Earth, 2012*).

для выполнения задачи понадобится несколько капитанов кораблей в духе Жан-Люка Пикара (персонажа телесериала «Звездный путь»), но первые колонисты в большинстве своем будут фермерами и строителями.

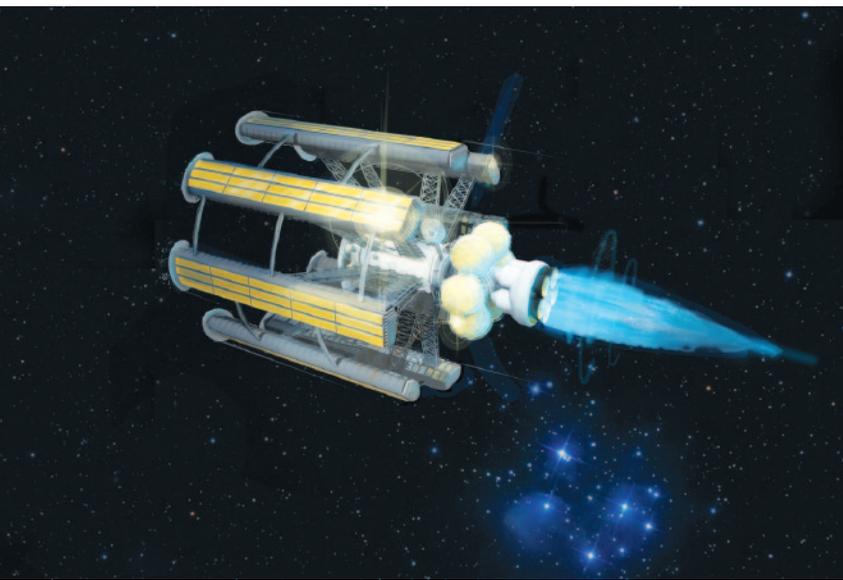
При этом одно условие должно выполняться непременно: отменное здоровье, в первую очередь — безупречная генетика. В небольших популяциях высока вероятность распространения «плохих» генов в следующих поколениях, влекущая за собой крах всей миссии. В проекте *Space Ark* биологическая судьба колонии однозначно определяется генетическим статусом популяции-основателя: если всего у нескольких первопроходцев есть ген, детерминирующий развитие наследственного заболевания, то он очень быстро распространится по всему сообществу.

Сегодня нам известны сотни генов, связанных с различными патологиями — от рака до глухоты. (Недавно появилось сообщение, что молекулярные генетики могут выявлять более 3,5 тыс. абберантных генов у плода, находящегося в утробе матери.) Процедура генетического скрининга кажется довольно простой: если вы носитель определенных генов, то остаетесь на Земле. Но реальность гораздо сложнее. Многие заболевания имеют полигенную форму, т.е. возникают в результате совместного эффекта множества генов. Как они себя проявят в течение жизни носителя, во многом зависит от окружающей среды.

Например, ген *ATRX* у человека участвует в регуляции транспорта кислорода. Но его активность зависит от самых разных факторов, таких как характер питания или психический статус. Если функционирование *ATRX*-гена существенным образом изменяется и это сказывается на транспорте кислорода, то у носителя могут возникнуть серьезные расстройства — замедление роста, эпилепсия, психические отклонения. Таким образом, одного скрининга на наличие дефектного *ATRX*-гена недостаточно. Как же в таком случае отбирать кандидатов на роль колонистов? *ATRX*-ген есть у каждого, но вот вопрос: что с ним может произойти на протяжении жизни человека?

### ! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Космическая миссия, подразумевающая долговременное пребывание человеческой популяции вне Земли — на Марсе или на космическом корабле, направляющемся к далеким мирам, — неизбежно будет сопровождаться появлением новых физиологических адаптаций и изменением культурных традиций.
- Такие полеты сопряжены с множеством опасностей: высоким уровнем радиации, низким давлением и многими другими. Особую угрозу они представляют для плода, находящегося в утробе матери, и для новорожденного.
- Организаторы космических миссий должны тщательно отбирать их участников. Это должны быть здоровые во всех отношениях люди с безупречной генетикой, в то же время различающиеся в достаточной степени, чтобы в случае пандемии популяция не вымерла.



И это далеко не все. При отборе необходимо позаботиться о генетическом разнообразии популяции. Если все ее члены окажутся идентичными, то любое наследственное заболевание может затронуть каждого. (Здесь приходит на ум фантастический фильм 1997 г. «Гаттака», в котором идет речь о создании методами генной инженерии суперрасы, предназначенной для участия в космическом путешествии к далеким мирам.)

Предположим, что оптимальный способ отбора найден. Какой будет популяция колонистов? Если цель миссии — освоение Марса, то она должна быть способна к быстрому росту и расселению по всей территории планеты. Другое дело — экспедиция на *Space Ark*. В данном случае исходная популяция может быть относительно немногочисленной, но способной к воспроизводству и пополнению. Так, наблюдения за живущими замкнуто популяциями амишей, индейцев племени юта и другими показали, что смертность среди детей от браков между двоюродными братьями и сестрами примерно вдвое выше, чем от браков между людьми, не связанными друг с другом родственными отношениями.

Для того чтобы избежать подобных проблем, нужно понять, какой должна быть минимальная численность популяции, чтобы в ней поддерживался полноценный пул генов. Этот вопрос пока не решен, хотя, по мнению некоторых антропологов, речь должна идти о величине порядка 500. Но поскольку для малочисленных популяций всегда велик риск исчезновения, я бы предпочел остановиться на величине, вчетверо большей: 2 тыс. Выживаемость популяций, покинувших Землю, —

**Задачи космического масштаба.** Межзвездный корабль должен быть достаточно вместительным, чтобы стать домом для тысяч людей, животных и растений

это в большой степени вопрос их численности. Даже путешествия в пределах нашей Галактики имеют целью достижение других планетных систем, подобных Солнечной, и освоение их пространств.

Необходимо тщательно проанализировать и демографическую структуру популяции — соотношение полов и возрастов. Модельные построения, выполненные моим коллегой Уильямом Гарднером-О'Керни (William Gardner-O'Keane), показывают, что для популяции-основательницы есть оптимальное соотношение между молодыми и пожилыми, а также между мужчинами и женщинами.

Таким образом, каждый член популяции должен быть здоров во всех отношениях, а популяция в целом — генетически разнообразна, и тогда будущие поколения получат шанс достичь цели и адаптироваться к новым условиям. Но контролировать все невозможно. В какой-то момент придется прекратить заниматься генетическими изысками — что и делают многие из нас, когда решаются завести ребенка, — и покинуть Землю, «колыбель человечества».

### Космический естественный отбор

Независимо от качества отобранного «человеческого материала» жизнь пионеров-переселенцев вне Земли будет полна опасностей и, возможно, ее продолжительность уменьшится. В космосе действуют факторы естественного отбора, которые на Земле люди научились устранять. Совсем немногие из них имеют что-либо общее с тем, что показывают нам создатели фантастических фильмов: ведь их герои — взрослые люди, а самый уязвимый период нашей жизни — пребывание в утробе матери и младенчество.

Рассмотрим один пример. Человечество на протяжении нескольких миллионов лет эволюционировало в условиях, при которых атмосферное давление находилось на уровне 101 кПа, а во вдыхаемом воздухе было около 80% азота и более 20% кислорода. Любой космический корабль — это замкнутое пространство, давление в котором поддерживается искусственно. Стоимость его постройки и сложность конструкции тем выше, чем большее давление нужно создавать. Чтобы облегчить решение инженерных проблем, придется ограничиться давлением меньшим, чем на Земле.

Астронавты — участники полетов на *Apollo* чувствовали себя нормально при давлении 35 кПа, но понижение давления должно сопровождаться повышением содержания кислорода. (Заметим, что те же астронавты во время лунного вояжа дышали чистым кислородом.)

И понижение атмосферного давления, и повышение концентрации кислорода во вдыхаемом воздухе несомненно скажутся на развитии эмбриона. Частота спонтанных аборт и детская смертность возрастут — по крайней мере на какое-то время. Отбор будет благоприятствовать индивидам, чьи гены обеспечивают им устойчивость к неблагоприятным условиям, и элиминировать «слабаков».

Повышение давления отбора связано также с ускоренным распространением инфекций в небольших популяциях, которые живут в ограниченном пространстве. Несмотря на прививки и карантинные меры, болезни затронут большую часть популяции, чем если бы все происходило на Земле. И вновь отбор будет благоприятствовать более устойчивым индивидам и устранять слабых.

И, наконец, нужно учитывать, что в космос отправятся не только люди, но и тысячи домашних животных, а также всевозможные растения, и естественный отбор будет действовать на них тоже. Вспомним и о миллионах микроорганизмов, населяющих наше тело, невидимых генетических попутчиках, влияющих на состояние здоровья человека (см.: Аккерман Д. *Древнейшая социальная сеть // ВМН*, № 8, 2012).

Проведя некоторые вычисления, я пришел к выводу, что через пять поколений (примерно 150 лет) в организме космического жителя проявятся все те изменения, о которых мы говорим.

Какие именно адаптивные механизмы сформируются, зависит прежде всего от атмосферных и химических особенностей среды обитания, заложенных конструкторами космического дома. Их в значительной мере можно регулировать. Но два других важных фактора регуляции не поддаются — это гравитация и разного рода излучения.

Так, на Марсе гравитация втрое меньше, чем на Земле, и давление отбора будет благоприятствовать индивидам с более гибким телом и меньшей массой, которым в местных условиях будет легче двигаться, чем крупным, мускулистым землянам. В кораблях типа *Space Ark* тяготение можно поддерживать на уровне, близком к земному, так что и телосложение путешественников не изменится.

В генетическом материале живых существ возникают мутации под действием радиации, и вряд ли космическим колонистам удастся создать от нее такую защиту, которую обеспечивают атмосфера Земли и ее магнитное поле. Приведут ли мутации к физическим отклонениям — скажем, появлению лишних пальцев

или недоразвитию каких-то органов? Вполне возможно, но каким именно — мы, конечно, не знаем. Утверждать можно одно: отбор будет благоприятствовать индивидам с более высокой устойчивостью к разного рода воздействиям; таким, например, у кого более эффективный механизм репарации ДНК.

Будет ли повышенная эффективность восстановления ДНК коррелировать с каким-то четко различимым признаком, например цветом глаз? Мы этого опять-таки не знаем. Но, может быть, для распространения благоприятных генов лучше, чтобы подобной корреляции вовсе не было? Рассмотрим такой пример: у гуттеритов, членов протестантской секты, проживающих довольно замкнуто в Южной Дакоте, при выборе супруга большую роль играет запах тела, и чем выше у человека иммунитет, тем, как это ни удивительно, приятнее (для местных жителей) запах. В результате благоприятные гены концентрируются в пределах небольшой группы.

За период времени, соответствующий смене пяти поколений (каждое — 30 лет), физические параметры тела человека вряд ли изменятся. На это указывают, в частности, наблюдения за коренными жителями высокогорных регионов Анд и Тибета. У них развилась более эффективная, чем у живущих на равнине, система транспорта кислорода, что сопровождалось появлением таких внешних признаков, как широкая грудная клетка. Но каждая адаптация требует жертв. В этих популяциях крайне высока детская смертность при родах, если они проходят в горах. Поэтому беременные женщины заблаговременно спускаются вниз — и это стало частью культурной традиции. Подобные «биокультурные» изменения возможны и вне Земли, и наиболее вероятные из них необходимо предусмотреть. Так, с Марса будущих матерей, возможно, придется транспортировать на одну из орбитальных станций, где осевым вращением обеспечивается земная сила тяжести и искусственно поддерживаются близкие к земным атмосферные условия. Но мне кажется, что «марсианки» в конце концов адаптируются к новым условиям и перестанут совершать небезопасные перелеты.

### Космическая культура

На Марсе изменения будут проявляться самыми разнообразными путями. В условиях пониженного давления и повышенной концентрации кислорода внутри возведенных на планете сооружений звук будет распространяться слегка по-другому, чем в земной атмосфере, что повлияет на артикуляцию. В результате появятся



новые диалекты. Уменьшение гравитации может сказаться на языке жестов, важном элементе общения, и на постановочных видах искусства. Подобные нюансы, накапливаясь, приведут к заметным трансформациям.

Еще более значительными они будут у популяций, направляющихся в глубины космоса на кораблях типа *Space Ark*: обитатели будут связаны с Землей все меньше по мере удаления от родного дома, куда они вряд ли вернуться. Такие базовые понятия, как пространство и время, в полете быстро изменяются, и тогда возникает вопрос: как долго астронавты смогут пользоваться земным временем? В отсутствие привычной смены дней, ночей и годов космическая цивилизация, возможно, введет новую, десятибалльную временную шкалу — или начнет обратный отсчет времени, оставшегося до достижения какой-то другой планетной системы.

### Долгосрочные генетические изменения

О серьезных генетических изменениях можно говорить только тогда, когда новые гены распространяются по всей популяции. В качестве примера из истории человечества приведем появление генов толерантности к лактозе у взрослых особей независимо в Африке и Европе вскоре после одомашнивания крупного рогатого скота. Такая генетическая адаптация очень быстро стала почти повсеместной.

Сегодня мы не можем сказать, какие мутации появятся у людей, долгое время находящихся в космосе, но популяционная генетика позволяет оценить, сколько времени потребуется для закрепления их в популяции. По моим подсчетам, основанным на моделировании судьбы 2 тыс. поселенцев с заданной

### Жизнь в космосе.

*Как изменятся культурные традиции космических жителей за сотни лет, мы не знаем, но то, что это произойдет, не вызывает сомнений*

возрастной и половой структурой, для этого понадобится несколько поколений, но определенно меньше 300 лет. К этому времени можно ожидать появления у космических жителей существенно иных физических характеристик. По порядку величины они вряд ли превысят те вариации, которые отличают друг от друга жителей разных широт: различия в конституции, цвете кожи, текстуре волос и т.д.

На Марсе, где может произойти разделение по образу жизни (одни предпочтут обосноваться под поверхностью планеты, другие не побоятся радиации и останутся жить на поверхности, не утрачивая тем самым свободы передвижения), в будущем не исключена внутренняя дивергенция. В условиях замкнутой системы *Space Ark* фиксация новых генов произойдет значительно быстрее, а популяция будет более однородной, чем на Марсе.

На фоне подобных генетических адаптаций быстрее будет происходить и процесс долговременных культурных изменений, и они станут более глубокими. Посмотрите, как изменился английский язык с начала 1600-х гг. по начало 1900-х гг. Сегодня литературу XVII в. можно читать, только хорошенько подготовившись. Точно так же за три столетия может измениться язык обитателей *Space Ark*.

Вполне ожидаемы и более глубокие сдвиги в культурных традициях. Чем именно будет отличаться одна космическая культура от другой — вопрос, бурно обсуждаемый антропологами. По моему мнению, наибольшую ясность внес в него Рой Рапппорт (Roy Rappaport): у разных культур разные изначальные духовные ценности — концепции, обычно не подвергаемые сомнению, закрепленные в традициях и ритуалах, то, что составляет философскую и моральную основу нации. Для христианства, например, незыблем постулат, согласно которому «в начале сотворил Бог небо и Землю». Сколько времени потребуется, чтобы эти утверждения уступили место другим, и какими они будут, сказать невозможно, но, безусловно, понадобится несколько столетий.

### Появление *Homo extraterrestrials*

Когда же можно ожидать фундаментальных изменений — по сути, появления нового вида *Homo*? Небольшие по численности популяции могут изменяться довольно быстро, свидетельство тому — распространение по всей территории Фарерских островов необычайно крупных мышей спустя 1,2 тыс. лет после прибытия туда викингов. Вместе с людьми на острова попали обычные домовые мыши, которые за тысячелетие с небольшим превратились в монстров.

Современный человек с его характерными анатомическими признаками сформировался более 100 тыс. лет назад и мигрировал с Африканского континента в регионы с самыми разными климатическими условиями, почти не видоизменяясь. (Наши ближайшие родственники-гоминины, неандертальцы, приспособившиеся к низким температурам, и карликовые обитатели острова Флорес (*Homo floresiensis*) в западной части Тихого океана, отделились от нашего общего предка гораздо раньше.) Медленное изменение *Homo sapiens* связано с тем, что адаптация подразумевала действие не столько биологических, сколько культурных и технологических факторов. Для такой трансформации космического жителя, при котором его спаривание с землянином становится невозможным, необходим жесткий естественный и культурный отбор.

Все это так, если только человек не придумает собственные инструменты видообразования. Почти наверняка он попытается реализовать для адаптации к новым условиям весь потенциал своей ДНК. Может быть, «марсиане», используя методы биоинженерии, создадут что-то вроде жабр для извлечения кислорода из атмосферного диоксида углерода или придумают, как изменить свойства кожных покровов, чтобы приспособиться к низкому давлению. Так по собственному желанию *Homo sapiens* может превратиться в *Homo extraterrestialis*.

### С чего начать?

Расселение человечества по просторам Вселенной требует тщательной инженерной и технологической подготовки и невозможно без инноваций в этих и других областях. Необходимо также глубже разобраться в том, как человек с его биологическими особенностями и культурными традициями будет адаптироваться к новым условиям и использовать полученные знания на пользу делу. Я предлагаю приступить к этому немедленно и начать с трех вещей.

Во-первых, мы должны отказаться от сугубо технократического подхода к человеческому обществу и попробовать осуществить процесс продолжения рода вне Земли, с тем чтобы выявить уязвимые места в репродукции, развитии и росте человека в условиях повышенной радиации, низких давления и гравитации. Нам будут вновь и вновь говорить о больших рисках, но страхи рассеются по мере обживания космоса. Несомненно, временами адаптация будет проходить болезненно — но какие роды обходятся без боли?

Во-вторых, нужно начать проводить эксперименты с выращиванием в космосе здоровых во всех отношениях домашних животных. И нам никак не обойтись без привычных микроорганизмов, растений, рыб, птиц и т.д.

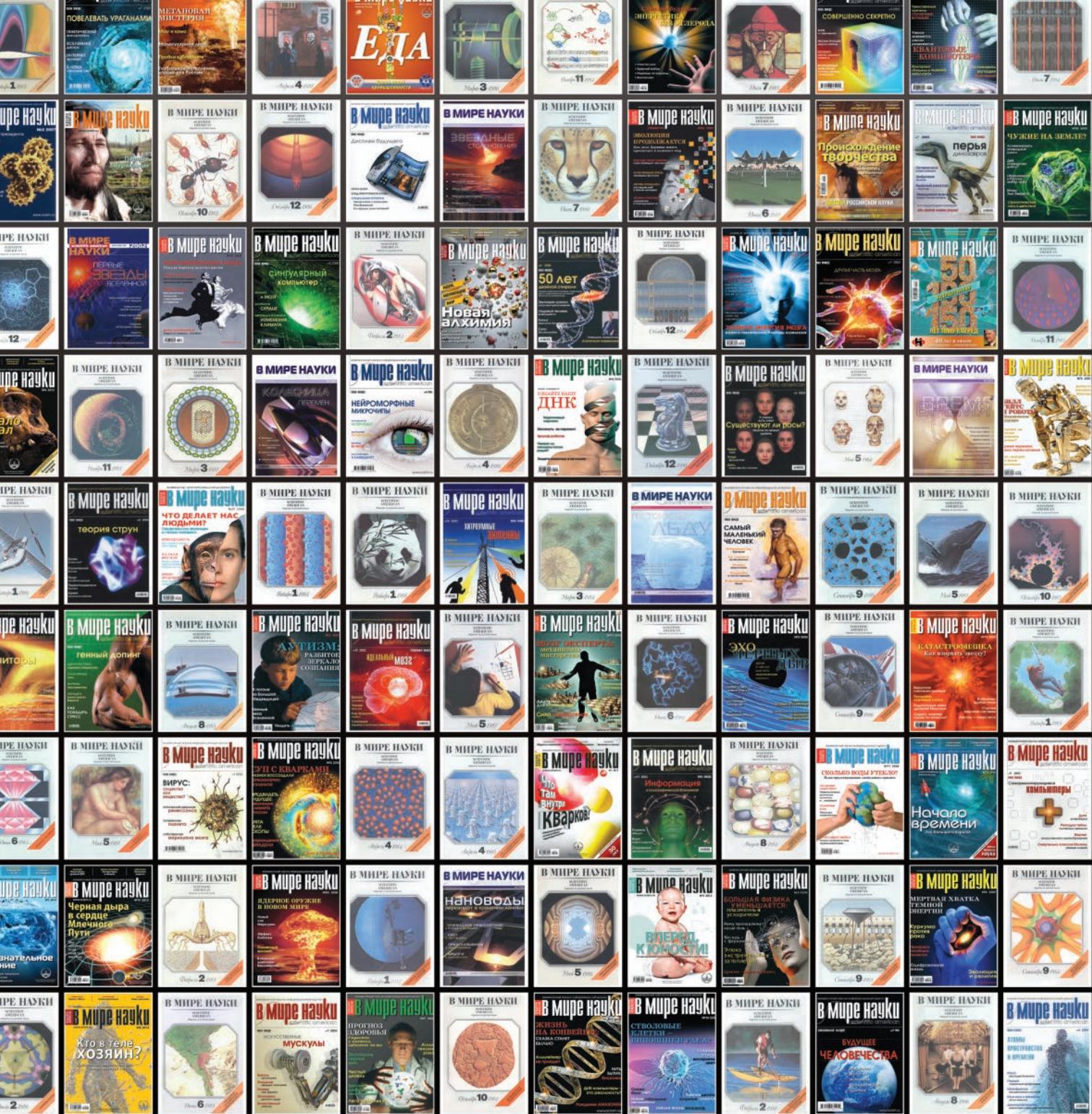
Для того чтобы решить эти две задачи, придется, видимо, учредить особую премию за создание первого функционального, пригодного для жизни человека обиталища вне Земли: не какой-то стерильной орбитальной лаборатории (что тоже важно), а огромной конструкции, где можно было бы выращивать деревья, содержать животных и заводить детей. От подобных перспектив многих бросает в дрожь, но я уверен — в добровольцах недостатка не будет.

И, наконец, нужно реанимировать те механизмы, которые позволили человеку как виду сохраняться так долго, и использовать наш эволюционный потенциал для адаптации к условиям, существующим в других мирах. Мы должны быть несравнимо более решительными, чем наши оппоненты, иначе в конце концов человек исчезнет с лица Земли, как это уже было со многими другими живыми существами. «Или вся Вселенная, или ничего», — заявил еще в 1936 г. писатель-фантаст Герберт Уэллс. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Паркер Ю. Защита космических путешественников // ВМН, № 6, 2006.
- Leaving Earth: Space Stations, Rival Superpowers, and the Quest for Interplanetary Travel. Robert Zimmerman. Joseph Henry Press, 2003.
- How to Live on Mars: A Trusty Guidebook to Surviving and Thriving on the Red Planet. Robert Zubrin. Three Rivers Press, 2008.
- Emigrating Beyond Earth: Human Adaptation and Space Colonization. Cameron M. Smith and Evan T. Davies. Springer Praxis Books, 2012.



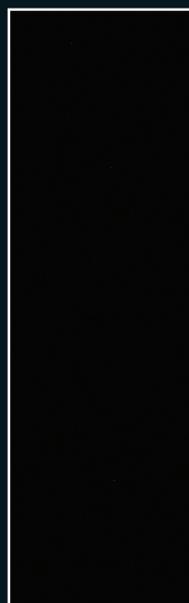
## Хотите знать о науке больше?

Полный архив выпусков журнала  
«В мире науки» — на сайте издания  
по адресу: [www.sciam.ru](http://www.sciam.ru)

**В мире науки**  
SCIENTIFIC AMERICAN

Теперь можно купить  
и отдельные статьи





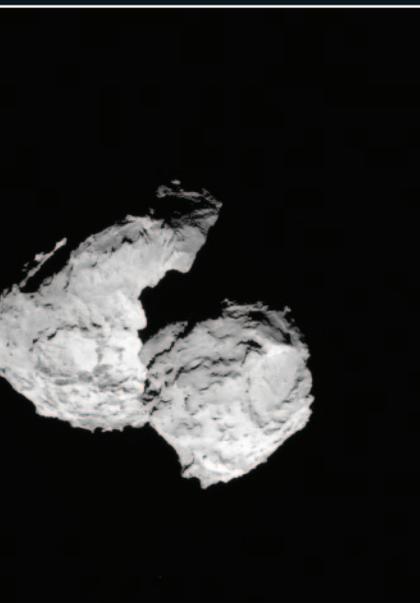
**По мере приближения** к комете 67P / Чурюмова — Герасименко космический зонд «Розетта» сделал серию снимков исследуемого объекта с прогрессирующей детализацией



Майкл Лемоник



# ПЛУТОН И ТО, ЧТО ЗА НИМ



*Впервые космический аппарат с близкого расстояния рассмотрит кометы, астероиды и карликовые планеты далекого пояса Койпера. Два зонда должны поведать нам о том, как зародилась Солнечная система*

## ОБ АВТОРЕ

**Майкл Лемоник** (Michael D. Lemonick) — автор статей для некоммерческого новостного сайта «Центральное климатическое бюро» (*Climate Central*). Не так давно вышла его книга «Земля в зеркале: поиски близнеца нашей планеты» (*Mirror Earth: The Search for Our Planet's Twin*, 2012). В течение 21 года он писал о науке для журнала *Time*.



**Д**ень 20 января 2014 г. должен был стать либо очень удачным, либо черным для всех, кто работал с космическим зондом «Розетта». 3000-килограммовый космический робот был запущен Европейским космическим агентством почти за десять лет до этого и находился в пути к августовскому рандеву с плохо различимой кометой, носящей труднопроизносимое для американцев имя *67P / Чурюмова — Герасименко* (в дальнейшем *67P*). Если бы все пошло по плану, «Розетта» сделала бы то, чего не удавалось ранее никому: орбита зонда должна была замкнуться в очень близкое к комете кольцо, его спускаемый аппарат под названием «Филы» (в честь острова Филы (Филэ) посреди Нила, центра культа Исиды, жены и сестры Осириса. — Примеч. пер.) должен был спуститься на ее поверхность, а тень от него должна была заслонить часть замерзшего тела кометы, когда та начнет оживать, согреваемая солнечным теплом.

Но прежде «Розетта» должна была проснуться. Более чем за два года ее ввели в энергосберегающее состояние «летаргического сна». Ее внутренний будильник должен был прозвенеть 20 января в 11 часов утра по центральноевропейскому времени. Ученые и инженеры, ожидавшие этого события в зале управления Европейского центра управления космическими полетами в Дармштадте (Германия), были уверены, что сообщение об этом придет,

целую вечность, хотя прошло всего минут 15 — и вот, наконец, первый радиосигнал из области, расположенной за Юпитером, достиг Дармштадта. «Он сообщил: "А вот и снова я", — говорит Зиркс, — и это стало для нас огромным облегчением».

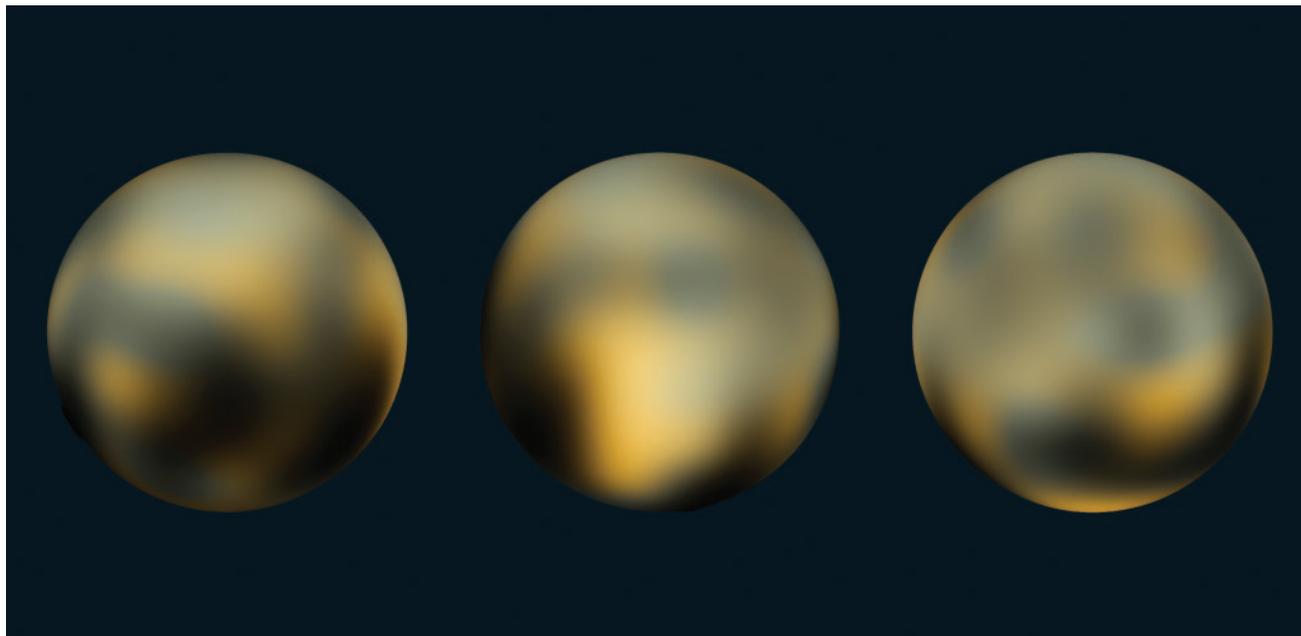
В последующие недели стало ясно, что «Розетта» не просто проснулась, а полностью функциональна и готова ответить на ключевые вопросы о структуре,

как и было запланировано. Но они не забывали историю с зондом «Марсианский наблюдатель» (*Mars Observer*), радиокontakt с которым полностью прервался в 1993 г. В течение нескольких минут казалось, что это может вновь повториться.

«Я видел в зале множество бледных от волнения лиц», — вспоминает Хольгер Зиркс (Holger Sierks) из Института исследований Солнечной системы Общества им. Макса Планка (Геттинген, Германия), который управляет оптическими и инфракрасными камерами космического аппарата. Казалось, это длится

## ! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Пояс Койпера — это лента из миллиардов ледяных астероидов за орбитой Нептуна, которые представляют собой практически нетронутые образцы исходных компонентов Солнечной системы.
- Два космических аппарата направляются туда с задачей раскрыть секреты пояса. Один, получивший имя «Розетта», вышел на орбиту вокруг кометы, которая зародилась в поясе Койпера. Другой, «Новые горизонты», находится на пути к Плутону, самому крупному обитателю этой области.
- Изучение состава пояса Койпера этими двумя космическими экспедициями, возможно, даст нам ключ к загадке возникновения Солнечной системы.



**Размытый взгляд.** Поверхность Плутона, запечатленная космическим телескопом «Хаббл», изменяется очень сильно: на центральном фото появляется загадочное яркое пятно. Зонд «Новые горизонты», когда он приблизится к карликовой планете в следующем году, должен сфотографировать Плутон с гораздо большим разрешением.

составе, свойствах и происхождении комет — ледяных космических тел, которые остались практически в неизменном виде с момента образования Солнечной системы около 4,6 млрд лет. В конце текущего месяца «Розетта» освободит свой посадочный модуль, который пробурит породу, лежащую под поверхностью кометы, чтобы извлечь оттуда саму историю Солнечной системы.

Однако же «Розетта» там не одинока. В июле 2015 г. после девятилетнего путешествия зонд NASA «Новые горизонты» (*New Horizons*) выполнит еще одну пионерскую работу: совершит близкий облет Плутона и пяти его спутников. «Космический аппарат находится в удивительно хорошем состоянии», — сообщает научный руководитель программы Алан Стерн (Alan Stern) из Юго-Западного научно-исследовательского института в Боулдере (штат Колорадо). И хотя две эти космические экспедиции независимы, нельзя сказать, что они не связаны друг с другом. На сегодня астрономы пришли к пониманию, что Плутон и 67P — это члены пояса Койпера, огромного роя из миллиардов большей частью неучтенных небесных тел размером от нескольких метров до более чем 2 тыс. км в поперечнике, расположенных за орбитой Нептуна.

Эти экспедиции станут завершением серии открытий последних двух десятилетий, которые, по словам Стерна, «распахнули настежь двери и в буквальном смысле переписали заново все, что, как нам казалось, мы знали об архитектуре Солнечной системы». Немногим более 20 лет назад фактически никто даже не подозревал о существовании пояса Койпера. С тех пор планетологи обнаружили несколько ледяных планет, по размерам приближающихся к Плутону и даже соперничающих с ним в этом. Они нашли свидетельства, указывающие на случившуюся давным-давно перегруппировку орбит

Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна — а может быть, даже на существование утраченной пятой гигантской планеты. Они проанализировали размеры и орбиты примерно 1,5 тыс. известных объектов пояса Койпера (ОПК), чтобы подобрать ключ к загадке, как сам пояс получил нынешние очертания, и высказать предположение: а не мог ли ужасный ледопад с зарождающегося пояса Койпера даровать когда-то молодой, измученной жадой Земле океаны?

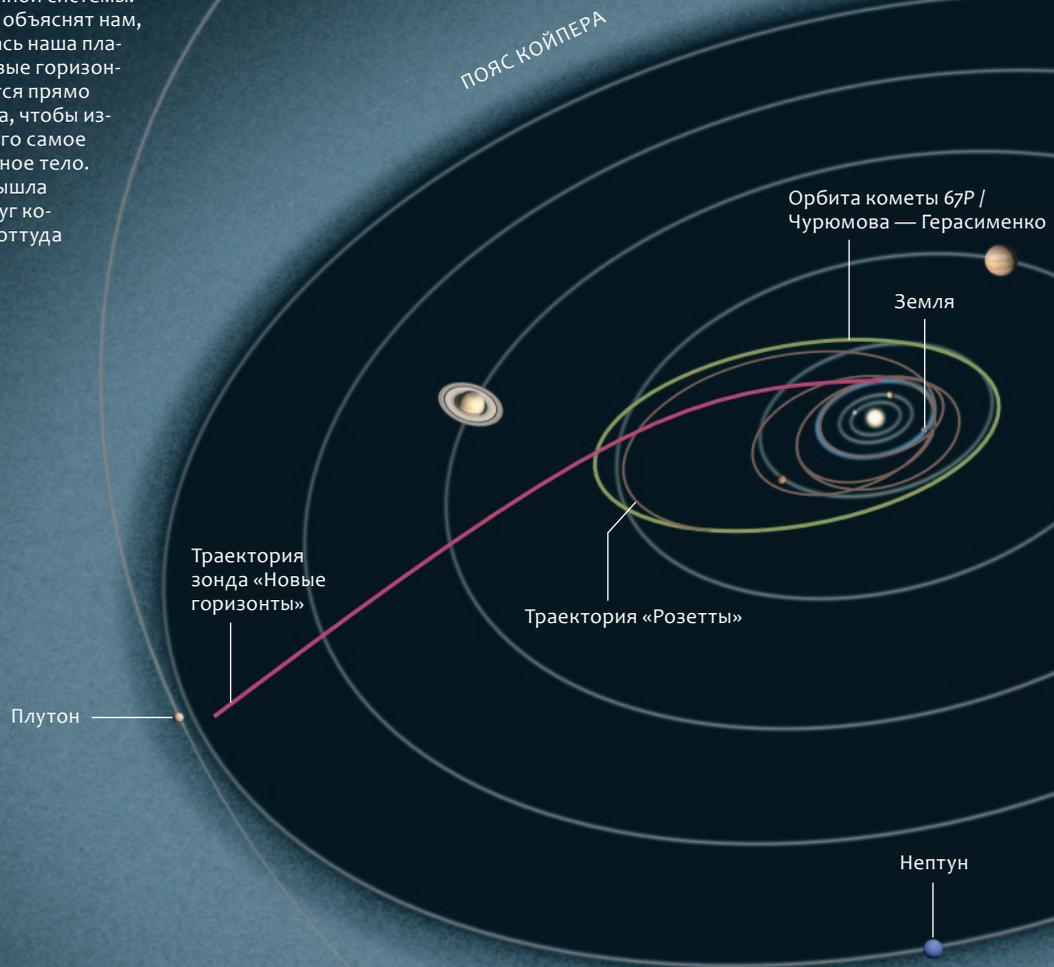
Каждое из этих наблюдений послужило узкой щелью, проливающей свет на происхождение и эволюцию пояса Койпера. Однако же вместе, как в притче о слепцах и слоне, они начали рисовать более полную картину его структуры, состава и эволюции. И с двумя космическими аппаратами, впервые в истории готовящимися к встрече с двумя сильно отличающимися друг от друга ОПК, эта картина вот-вот должна стать существенно четче.

### Заново открытый

Когда в 1930 г. молодой астроном Клайд Томбо (Clyde Tombaugh) разглядел новое небесное тело за орбитой Нептуна, ни у него, ни у остальных астрономов не было никаких сомнений в том, что обнаружена «планета X», давно разыскиваемая девятая планета Солнечной системы. Первоначально масса нового объекта, названного по предложению 11-летней британской школьницы Венеции Берни (Venetia Burney) Плутоном, была оценена как примерно равная массе Земли. Однако к 1970-х гг. стало ясно, что размерами Плутон намного скромнее и имеет даже меньшую массу, чем наша Луна. То, что на самом деле обнаружил Томбо, было самым ярким небесным телом из пояса Койпера.

## ДВЕ ЭКСПЕДИЦИИ НАЦЕЛЕНЫ НА ПОЯС КОЙПЕРА

Два космических аппарата — «Новые горизонты» и «Розетта» — выбрали различные методы, чтобы исследовать гигантское кольцо ледяных астероидов, названное поясом Койпера. Миллиарды небольших небесных тел, которые, как полагают, роятся за пределами орбиты Нептуна, — это побочный продукт формирования Солнечной системы. Возможно, они объяснят нам, как образовалась наша планета. Зонд «Новые горизонты» направляется прямо к поясу Койпера, чтобы изучить Плутон, его самое большое небесное тело. «Розетта» же вышла на орбиту вокруг кометы, которая оттуда родом.



### Направляемся к поясу Койпера: космическая экспедиция «Новые горизонты»

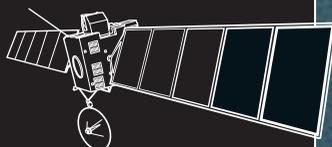
Зонд NASA «Новые горизонты» стартовал в 2006 г. и с тех пор путешествовал по направлению к Плутону. Космический аппарат пересек орбиту Нептуна в августе и должен пролететь мимо Плутона в 2015 г. Во время близкой встречи зонд «Новые горизонты» проведет анализ состава поверхности карликовой планеты, обладающей чрезвычайно большой отражающей способностью, а также исследует, как и с какой скоростью планета непрерывно теряет компоненты своей тонкой атмосферы. Аналогичный процесс утраты компонентов атмосферы, возможно, объясняет, каким образом атмосфера Земли утратила большую часть своего водорода в то время, когда наша планета была молодой. Зонд также займется поиском на поверхности Плутона органических компонентов, таких как замерзший метан. Не исключено, что объекты пояса Койпера доставили на Землю подобные соединения, необходимые для существования жизни, когда давным-давно сблизись с пути и залетели во внутреннюю область Солнечной системы.



«Новые горизонты»

### Пояс Койпера идет к нам: «Розетта» рассматривает комету 67P

После десяти лет полета космический аппарат Европейского космического агентства «Розетта» прибыл к комете 67P / Чурюмова — Герасименко в августе. Считается, что комета 67P, как и большинство комет этой области, образовалась в поясе Койпера. Когда-то давным-давно столкновение или гравитационное притяжение со стороны другого небесного тела, вероятно, отбросило ее во внутреннюю область Солнечной системы. «Розетта» будет совершать орбитальный облет кометы 67P, когда та приблизится на минимальное расстояние к Солнцу и ее замерзшая поверхность начнет таять, образуя сияющий хвост. В ноябре 2014 г. «Розетта» выпустит свой посадочный модуль «Филы», который опустится на поверхность кометы, сделает фотографии с ее поверхности и проведет анализ ее компонентов непосредственно на месте.



«Розетта»



Посадочный модуль «Филы»

Объекты не в масштабе

Однако до 1980-х гг. никто даже не предполагал существования такого объекта, как пояс Койпера, в том числе и сам Джерард Койпер (Gerard P. Kuiper), американский астроном голландского происхождения, чье имя носит пояс. В 1950-х гг. Койпер выдвинул идею, что область, расположенная сразу же за Нептуном, когда-то, возможно, была усеяна ледяными глыбами. Но он полагал, что гравитация «массивного» Плутона разбросала их в глубины космоса. Эта часть Солнечной системы, писал он, в основном, должно быть, пуста. «Это, по сути, было антипредсказанием», — замечает астроном Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе Дэвид Джуит (David C. Jewitt), пионер в наблюдении внешней области Солнечной системы.

Примерно в то же самое время соотечественник Койпера Ян Оорт (Jan Oort) высказал гипотезу, что эти широко разбросанные объекты, вероятно, образовали сферическое облако протокомет, обращающихся по орбитам, уходящим на расстояние почти в световой год от Солнца. Время от времени, предположил он, одна из них освобождается и падает во внутреннюю область Солнечной системы, где получает новую жизнь как комета. Такой сценарий элегантно объясняет существование комет с большим периодом обращения, которые летят к нам по всем направлениям и чей полный виток по орбите занимает не менее 200 лет.

Но это никак не объясняет кометы с коротким периодом обращения, орбиты которых стремятся сосредоточиться близко к плоскости, где расположены планеты. Оорт полагал, что они — просто те же бывшие кометы с большим периодом, орбиты которых изменились в результате близкой встречи с планетами-гигантами, и ни у кого не возникло идеи получше. Или почти ни у кого: еще в 1940-х гг. ирландский астроном Кеннет Эджворт (Kenneth Edgeworth) предположил, что кометы с коротким периодом обращения образовались из скопления небольших тел, чей дом расположен гораздо ближе. Но его предположение было сделано между делом и имело весьма общий характер. «Если вы считаете, что это тянет на предсказание, оставайтесь при своем мнении», — говорит Майкл Браун (Michael E. Brown), астроном из Калифорнийского технологического института, чье открытие в 2005 г. Эриды, ОПК размером с Плутон, привело на следующий год к понижению Плутона в табели о рангах до статуса «карликовой планеты». Браун, очевидно, так не считает, и как бы то ни было, никто в то время не придавал идее Эджворта должного значения.

Первое подлинное предсказание существования пояса Койпера, с чем согласны сегодня большинство планетологов, было сделано уругвайским астрономом Хулио Фернандесом (Julio Fernández). Его статья 1980 г. «О существовании пояса комет за орбитой Нептуна» утверждала то же самое, что некогда предположил Эджворт, но в гораздо более подробных деталях. В 1988 г. Скот Тремейн (Scott Tremaine), работавший в то время в Университете Торонто, вместе со своими коллегами Мартином Дунканом (Martin Duncan) и Томасом Куином (Thomas Quinn) показал, что существование роя небесных тел, который предсказал Фернандес, фактически позволяет

объяснить частоту и траектории комет с коротким периодом обращения. Они первыми использовали термин «пояс Койпера», хотя, по мнению Тремейна, в настоящее время работающего в Институте передовых исследований в Принстоне (штат Нью-Джерси), «вероятно, это неправильный термин. По правде говоря, нам следовало бы назвать его именем Фернандеса».

В то время как Тремейн, Дункан и Куин сколачивали теоретический каркас пояса Койпера, Джуит и Джейн Лу (Jane X. Luu), в то время студентка Массачусетского технологического института, занялись поиском убедительных доказательств. Их исследование шло независимо от предсказания: Джуит и Лу не знали о статье Фернандеса и начали свою работу в 1986 г., за два года до публикации Тремейном и его коллегами своих результатов. «Нас поддерживала и побуждала к работе, — рассказывает Джуит, — простая идея, что было бы очень странно, если бы внешняя область Солнечной системы оказалась настолько пустой».

Конечно же, она не пустая. В августе 1992 г., используя 2,2-метровый телескоп, расположенный на вершине потухшего вулкана Мауна-Кеа на острове Гавайи, Джуит и Лу в рамках работы, названной ими «Обзор медленно движущихся объектов» обнаружили первый объект пояса Койпера, 1992 QB<sub>1</sub>. Второй ОПК они отследили спустя шесть месяцев, и, несмотря на то что Джуит и Лу были практически единственными, кто занимался тогда их поиском, «астрономическое сообщество быстро сообразило, что к чему», — замечает Джуит. К настоящему времени астрономы выявили около 1,5 тыс. ОПК; на основании этих данных они оценили, что пояс Койпера дал прибежище 100 тыс. объектам более 100 км в поперечнике и до 10 млрд размером более 2 км. «Для каждого астероида в главном поясе астероидов, — утверждает Джуит, — существует 1 тыс. объектов в поясе Койпера, и это поразительно».

Однако многие астрономы еще в большей степени были шокированы тем, чего нет в поясе Койпера. Согласно их лучшим моделям формирования планет, он должен буквально кишеть объектами размером с Землю и даже больше. И в то время как к Плутону присоединились небесные тела, равные ему по размерам, такие объекты, как Макемаке, Хаумея, Квавар и Эрида, не было еще найдено ничего, что приближалось бы по размерам к любой из планет. «Там огромное число небесных тел, — говорит Джуит, — но в общей сложности они составляют лишь одну десятую массы Земли. Фактически это ничтожное количество».

Должно быть, в ранней истории Солнечной системы произошло нечто, разрушившее самые большие небесные тела пояса Койпера. В течение многих лет планетологи спорили о том, чем бы это могло быть. С помощью зондов «Розетта» и «Новые горизонты» они должны, наконец, начать получать ответы.

### Модель пращи

К тому времени, когда был открыт пояс Койпера, физики уже выяснили, как сформировалась Солнечная система.

Она родилась из гигантского межзвездного газово-пылевого облака, которое сжалось, образовав вращающийся диск. В его ядре гравитация стянула диск в плотный узел материи, настолько плотный и горячий, что он вспыхнул термоядерным пламенем, и так возникло Солнце.

Солнечное тепло и излучение отодвинули большую часть газов и какую-то долю пыли на периферию; чуть ближе пыль сгустилась в булыжники, затем в валуны, затем в тела размером с астероид, называемые планетезималиями. Наконец, на последней стадии формирования планет сотни объектов, вероятно, размером с Марс летали, сталкиваясь и круша друг друга, и в конце концов образовали восемь планет, которые мы и наблюдаем сегодня: не только планеты с каменной поверхностью внутренней части Солнечной системы, но также Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун, в основании которых каменные глыбы, обладающие достаточным притяжением, чтобы удержать при себе огромные массы окружающего их газа.

За орбитой Нептуна «пыль», по всей видимости, большей частью состояла из частиц льда, которые, должно быть в результате такого же процесса, сформировали объекты размерами с планету. Но с этим сценарием связаны две проблемы. Первая заключается в том, что астрономы просто не находят объекты размером с планету (хотя Браун утверждает, что в далеком облаке Оорта могли бы находиться несколько объектов величиной с Марс, которые невозможно обнаружить с помощью существующей техники). Другая проблема в том, что в поясе Койпера недостаточно вещества, чтобы объяснить существование любых объектов любого размера. Если бы вещество всех существующих ОПК изначально пребывало в виде первичного облака ледяной пыли, это облако имело бы слишком малую плотность, чтобы в нем могло что-либо сформироваться.

Поэтому само существование пояса Койпера, очевидно, противоречит картине, описывающей то, каким образом, по мнению теоретиков, он должен был сформироваться. «Выработанное общими усилиями решение этой проблемы, — говорит Джуит, — состоит в том, что первоначально вещества [в поясе Койпера] было гораздо больше — 30, 40 или даже 50 масс Земли». Именно из этого строительного материала сформировался гигантский рой объектов, но это скопище небесных тел каким-то образом сошло на нет.

Наиболее вероятный механизм этого «каким-то образом», впервые предложенный Рену Мальхотрой (Renu Malhotra), физиком из Аризонского университета, заключается в том, что четыре гигантские планеты Солнечной системы — Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун — когда-то располагались гораздо ближе друг к другу, чем теперь.

Мальхотра и несколько его коллег утверждают, что гравитационное взаимодействие между этими плотно сбитыми планетами и первородной стаей объектов пояса Койпера вытолкнуло Сатурн, Уран и Нептун наружу. В то же время Юпитер, взаимодействуя с объектами пояса Койпера и с астероидами, переместился внутрь, ближе к Солнцу.



**Посадочный модуль «Филы»** высадится на поверхность кометы 67P и прикрепится к ней с помощью гарпуна и шурупов; там он пробурит шурф внутрь тела кометы и извлечет керн, а затем проанализирует его состав в своей бортовой лаборатории

Эти гравитационные стычки, вероятно, не только сместили планеты, но и разбросали множество объектов пояса Койпера в далекие области, где гравитационное воздействие Солнца почти не ощущается, образовав далекое облако Оорта и швырнув множество астероидов во внутреннюю область Солнечной системы. Более того, во время этой миграции Юпитер и Сатурн должны были в течение какого-то времени находиться в резонансе друг с другом, когда Сатурн совершал ровно один оборот за каждые два оборота Юпитера.

Получив дополнительный гравитационный толчок за счет того, что две планеты и Солнце выстроились строго по прямой, ОПК рассеялись с такой силой, что 99% их были сметены напроочь. Часть из них оказались в облаке Оорта. Другие столкнулись с планетами внутренней Солнечной системы, вызвав катаклизм, известный как «последняя метеоритная бомбардировка». «Солнечная система получила жесткую трепку», — замечает Джуит.

По крайней мере один физик, Дэвид Несворны (David Nesvorný) из Юго-Западного научно-исследовательского института, продвинул эту идею на шаг вперед. В Солнечной системе, утверждает он, по всей видимости, была когда-то пятая планета — газовый гигант, которая оказалась выброшенной в межзвездное пространство во время этой яростной перетасовки.

Если такая перетасовка планет-гигантов действительно имела место, это может объяснить, почему в поясе Койпера нет по-настоящему больших небесных тел: материал, из которого они должны формироваться, был преждевременно выметен прочь. Небесные тела, которые все же сформировались, выглядели как планетезимали — небольшие протопланеты, впоследствии объединившиеся в более крупные планеты. При таком взгляде пояс Койпера — это что-то вроде фотографии, застывшего во времени отпечатка того, как каменная внутренняя часть

Солнечной системы выглядела спустя всего несколько миллионов лет после того, как начался процесс формирования планет.

«Самая большая неопределенность в процессе формирования существующих планет, — говорит планетолог из Массачусетского технологического института Хильке Шлихтинг (Hilke Schlichting), — это формирование планетезималей: как они появились и насколько большими они были». Информация об этом из внутренней части Солнечной системы давно исчезла, но, используя комбинацию наблюдений и моделей, она и ее коллеги показали, что распределение по размерам небесных тел пояса Койпера можно объяснить, если типичный размер ледяных планетезималей, из которых они сложились, был около километра

в поперечнике, — догадка, которая, возможно, применима также и к планетам внутренней Солнечной системы. «После десятилетий умозрительных построений, — говорит Шлихтинг, — мы наконец начинаем понимать начальные условия формирования планет».

### Плутон крупным планом

Компьютерные модели и наблюдения с большого расстояния рассказали планетологам очень много о структуре и вероятной истории пояса Койпера. Однако наблюдений с близкого расстояния ничем не заменить, как это показали множество зондов, отправленных ко всем планетам и десяткам их спутников и астероидов. «Фотография Плутона, сделанная "Хабблом", — это классно, — говорит Стерн, — но он на ней размером всего в несколько пикселей. К следующему июню, — добавляет он, — Плутон должен открыться нам как настоящая планета».

Когда в январе 2006 г. зонд «Новые горизонты» был запущен, Плутон считался планетой: его перевод в категорию карликовых планет произошел лишь летом того же года. Но как бы Плутон ни называли, Стерн и его коллеги попытаются получить максимум сведений, когда аппарат устремится к нему и пролетит возле него и его спутника Харона со скоростью почти 40 тыс. км/ч, пройдя на расстоянии всего лишь 10 тыс. км от его замерзшей поверхности.

Одна из целей экспедиции — сосчитать кратеры, которыми почти наверняка, как оспинами, отмечена ледяная поверхность Плутона, фиксируя не просто их суммарное количество, но и то, сколько их того или иного размера. Это даст астрономам независимый параметр, позволяющий измерить размеры самих объектов пояса Койпера, которые падали на Плутон, пропорционально их количеству в поясе.

«Но и это еще не все», — продолжает Стерн. С течением времени кратеры Плутона размываются в результате

того же процесса, который создает его тонкую атмосферу: постоянно повторяющихся нагревов и охлаждений поверхности карликовой планеты по мере того, как она движется вдоль своей вытянутой орбиты. Однако у Харона нет атмосферы, а это означает, что все следы столкновений сохранились в неизменном виде. «Вы можете сравнить эти два небесных тела, — говорит Стерн, — и выяснить, как изменилась история столкновений, каков диапазон размеров бомбардирующих их снарядов сегодня и как он отличается от того, какой был в поясе Койпера в древности».

Зонд «Новые горизонты» займется также поиском признаков лежащих под поверхностью планет океанов. Планетологи уже обнаружили океаны под толстыми ледяными панцирями спутников Юпитера и Сатурна: на Европе, Ганимеде, Энцеладе и Титане. Если на Плутоне есть ледяные гейзеры или вулканы, это будет свидетельством того, что внутри него тепло и влажно, — возможно, в результате радиоактивного распада, идущего в его каменистом ядре. Но даже если наружных признаков тепла нет, инфракрасные камеры зонда смогут выявить теплые пятна на его поверхности. Идея, что жизнь может существовать внутри Плутона, крайне спекулятивна — но поскольку вода в жидком состоянии считается необходимой составляющей всего живого, каким мы его знаем, ее открытие по крайней мере сделает такое предположение разумным.

Космический аппарат проделает все это и кое-что еще всего за пять месяцев, причем самая напряженная работа придется на день или что-то около того времени, в течение которого он промчится мимо карликовой планеты. Но потребуются около 16 месяцев, чтобы передать бит за битом данные на Землю, на расстояние почти 5 млрд км.

### Танец с кометой

«Розетта» проведет почти столько же времени, летая по орбите практически над самой поверхностью 67P. В отличие от зонда «Новые горизонты», который пронесется мимо Плутона с большой скоростью, «Розетта» будет летать в тесном строю со своей целью в течение 15 месяцев, позволив ответить на все возможные вопросы о точном химическом составе 67P и его внутренней структуре — ценные ключи к пониманию природы газа и пыли, из которых первоначально состоял пояс Койпера, и того, каким образом в нем сформировались объекты. Нынешние представления ученых на этот счет настолько рудиментарны, что не существует «неопровержимых улики», которые правдоподобно подтвердили бы одну из теорий и развенчали бы ее соперниц. Однако то, что разведают «Розетта», вероятно, поможет ученым впервые сформулировать убедительную теорию.

Это путешествие также позволит «Розетте» и ее спускаемому модулю «Филы» занять место в первом ряду зрителей, когда комета проснет, подойдя ближе к Солнцу. «Мы окажемся поблизости от кометы в течение всего лета 2015 г., когда ее активность будет на самом пике и ядро будет извергать 1 тыс. кг вещества в минуту», — объясняет Мэтт Тейлор (Matt Taylor) из Европейского

космического агентства, научный руководитель программы в целом. Ученые все еще не знают, будет ли испускать это вещество вся поверхность кометы или же оно будет распыляться из небольших горячих зон. Уже через год ответ на этот вопрос будет получен, что поможет ученым понять, как и почему кометы в конечном итоге теряют свои льды и бесследно сгорают.

«Розетта», по всей видимости, сможет также ответить на вопросы о нас самих. В частности, откуда взялась вода на Земле? Многие планетологи полагают, что на раннем этапе истории Солнечной системы поток комет первым доставил воду на Землю. «Розетта» проверит эту гипотезу, измерив, насколько состав  $H_2O$ , скованной во льдах 67P, химически идентичен  $H_2O$  Земли. Уже существуют свидетельства, полученные космической обсерваторией «Гершель», что по крайней мере некоторые кометы несут в себе воду, в которой отношение содержания водорода к его более тяжелому изотопу, дейтерию, такое же, как и в воде океанов Земли. Но приборы «Розетты» позволят гораздо тщательнее и более неспешно изучить воду кометы и другие ее ингредиенты, включая богатые углеродом органические соединения, которые, не исключено, сыграли важную роль в возникновении жизни.

«Филы» и «Розетта» также будут работать совместно, чтобы решить вопрос, действительно ли кометы — просто большие глыбы грязного льда, или же это группы более мелких обломков, которые относительно неплотно держатся вместе благодаря собственной гравитации. Когда орбитальный модуль «Розетта» будет располагаться над стороной кометы, противоположной той, на которую прикрепится посадочный модуль «Филы», он направит радиосигнал прямо сквозь тело кометы на «Филы», от корпуса которого сигнал отразится назад. Это аналогично сканированию при компьютерной томографии и впервые покажет ученым внутреннюю структуру кометы.

К сожалению, никому из нас никогда не удастся увидеть 67P невооруженным глазом. Как и в случае с Плутоном и другими ОПК, требуются громадные телескопы, чтобы узреть эти маленькие и далекие тела. Неудивительно поэтому, что астрономы лишь недавно поняли, что пояс Койпера вообще существует, и осознали его, вероятно, решающую роль в истории и нынешней архитектуре Солнечной системы.

К концу следующего года благодаря двум зондам, посланным в космическое путешествие почти десятилетие назад, мы будем знать несравнимо больше. ■

Перевод: А.П. Кузнецов

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Discovery of a Planetary-Sized Object in the Scattered Kuiper Belt. M.E. Brown et al. in *Astrophysical Journal Letters*, Vol. 635, No. 1, pages L97–L100; December 10, 2005.
- The Pluto Files: The Rise and Fall of America's Favorite Planet. Neil de Grasse Tyson. W.W. Norton, 2009.



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

# Научная Россия



КОСМОНАВТИКА

# К АЛЬФЕ ЦЕНТАВРА ПОЧТИ СО СКОРОСТЬЮ СВЕТА

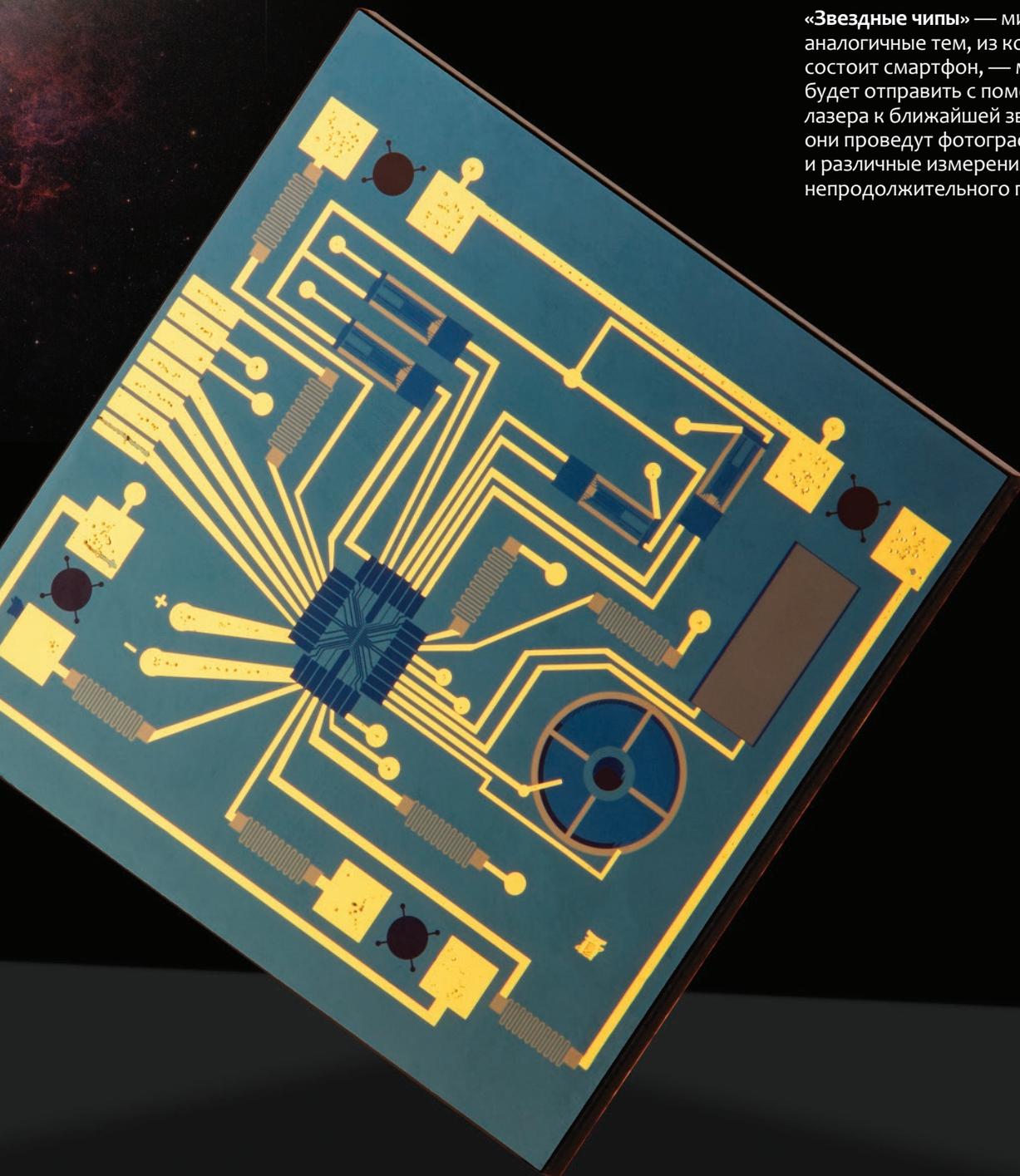
Проект, спонсируемый миллиардером, имеет целью послать космический зонд к другой звезде.

**Возможно ли это?**

*Энн Финкбайнер*

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Миллиардер из Кремниевой долины финансирует дерзкий проект — послать комический зонд к одному из ближайших соседей нашего Солнца.
- В экспедиции, получившей название «Прорывной бросок к звезде», лазеры будут использованы для разгона до огромной скорости световых парусов с прикрепленными к ним микросхемами вроде тех, что находятся внутри смартфона, которые смогут сделать фотографии, провести измерения и с помощью светового пучка отослать полученные данные назад, на Землю.
- Эксперты говорят, что проект слишком рискованный, дорогой и, возможно, закончится неудачей, но тем не менее захватывающий и дающий шанс послать рукотворный объект к другой звезде.



«Звездные чипы» — микросхемы, аналогичные тем, из которых состоит смартфон, — можно будет отправить с помощью лазера к ближайшей звезде, где они проведут фотографирование и различные измерения во время непродолжительного пролета

## ОБ АВТОРЕ

**Энн Финкбайнер** (Ann Finkbeiner) живет в Балтиморе и пишет о науке, специализируется на астрономии, космологии и области на пересечении науки и национальной безопасности, а также любит технические проекты, граничащие с фантастикой. Ее последняя книга «Нечто грандиозное и смелое» (*A Grand and Bold Thing*, 2010) рассказывает о проекте «Слоуновский цифровой небесный обзор», цель которого — запечатлеть в цифровом виде карту всего ночного неба.



# В

весной 2016 г. я была на одном из приемов, на котором присутствовал также и Фримен Дайсон (Freeman Dyson), блестящий физик и математик, почетный профессор Института перспективных исследований в Принстоне, штат Нью-Джерси. В то время ему было 92 года. От него никогда не услышишь то, что ожидаешь услышать, поэтому я спросила его: «Что новенького?» Он улыбнулся своей загадочной улыбкой и ответил: «По всей видимости, мы летим к Альфе Центавра». Эта звезда — одна из ближайших соседей нашего Солнца, и один из миллиардеров Кремниевой долины объявил недавно, что выделил средства для проекта, названного им «Прорывной бросок к звезде» (*Breakthrough Starshot*), с целью послать туда космический аппарат специального вида. «На ваш взгляд, это хорошая идея?», — спросила я. Улыбка на лице Дайсона стала еще шире: «Нет, это глупость». А затем он добавил: «Но сам космический зонд заслуживает внимания».

Космический зонд действительно интересен. Вместо традиционной ракеты, движимой за счет химических реакций и достаточно большой, чтобы нести космонавтов или тяжелые научные приборы, «Бросок к звезде» — это облако крошечных многофункциональных микросхем, названных «Звездные чипы», каждая из которых прикреплена к так называемому солнечному парусу. Парус планируется настолько легким, что, будучи освещен лучом лазера, он разгонится до скорости 20% от скорости света. Чтобы достичь находящуюся от нас на расстоянии 4,37 световых лет Альфу Центавра с помощью самой быстрой из ракет, потребовалось бы 30 тыс. лет. «Звездный чип» смог бы добраться туда лет за 20. По прибытии к звезде микросхемы, не останавливаясь, за несколько минут промчатся мимо нее и ее планет, если таковые имеются, передавая домой картинку, которым, чтобы добраться до Земли, потребуется еще 4,37 года.

«Глупость», по мнению Дайсона, заключается в том, что экспедиция «Бросок к звезде» имеет не совсем научный характер. То, что астрономы хотят узнать, — вовсе не то, что можно выудить при быстром пролете мимо, никто даже не знает,

есть ли у Альфы Центавра хотя бы одна планета, поэтому «Бросок к звезде» не в состоянии даже пообещать взглянуть на иные миры с близкого расстояния. «Мы не уделяли столь же пристальное внимание научным проблемам, — говорит астрофизик Эд Тернер (Ed Turner) из Принстонского университета, член консультативного комитета проекта «Бросок к звезде». — Мы считали само собой разумеющимся, что научная сторона будет интересна». Но в августе 2016 г. команде проекта «Бросок к звезде» повезло: никоим образом не связанный с ними консорциум европейских астрономов обнаружил планету около расположенной рядом с ней звезды, Проксимы Центавра, находящуюся к нам на десятую часть светового года ближе, чем Альфа Центавра. Неожиданно проект «Бросок к звезде» стал единственным сколько-нибудь реальным в обозримом будущем способом достичь планеты, обращающейся вокруг другого солнца. Но даже если и так, проект «Бросок к звезде» выглядит скорее как мечта тех любителей научной фантастики и межзвездных путешествий, которые серьезно и постоянно рассуждают об отправлении людей за пределы Солнечной системы с помощью

техники, которая наверняка появится, если будет выделено достаточно денег и родится много новых технических чудес.

Однако для проекта «Бросок к звезде» чудес не требуется. Необходимая для этого техника, хотя сегодня пока не существует, основана на уже имеющейся в нашем распоряжении технологической базе и не противоречит ни одному из законов физики. К тому же проект подкреплен деньгами. Юрий Мильнер, предприниматель, который финансирует также и другую научно-исследовательскую программу, «Прорывные инициативы», а также учредил ежегодную Премию за прорыв в науке, дает импульс проекту «Бросок к звезде», выделив на его первоначальное развитие \$100 млн. Более того, Мильнер организовал консультативный комитет, достаточно впечатляющий, чтобы убедить скептиков в том, что проект «Бросок к звезде» работоспособен. В него вошли специалисты мирового уровня по лазерам, парусам, интегральным схемам, экзопланетам, аэронавтике и управлению большими проектами плюс два нобелевских лауреата, директор одной из британских королевских астрономических обсерваторий, видные астрофизики, штат толковых опытных инженеров — и Дайсон. Хотя он и считает экспедицию «Бросок к звезде» глупостью, но кроме того говорит, что концепция солнечного паруса, толкаемого лазерным лучом, вполне разумна и заслуживает серьезного рассмотрения. В целом мало кто отважился бы заключить на долгий срок пари против организации с таким количеством денег, штатом первоклассных советников и толковых инженеров.

Каковыми бы ни были шансы на успех, этот проект абсолютно непохож на любую из прошлых космических экспедиций. «В проекте "Бросок к звезде" необычно все», — утверждает Джоан Джонсон-Фриз (Joan Johnson-Freese), эксперт в области политики космических исследований из Военно-морского колледжа США. Цели проекта, способ финансирования и структура — иные, нежели у всех прочих участников космической гонки. Коммерческие аэрокосмические компании основное внимание уделяют получению прибыли и пилотируемым полетам, которые не выходят за пределы Солнечной системы. NASA, у которого нет планов межзвездных полетов, слишком стремится избежать риска, чтобы принять участие в чем-нибудь столь неопределенном; их бюрократические процедуры зачастую слишком неповоротливы и чрезмерны, а их космические экспедиции целиком во власти непоследовательной финансовой



*Прототип «Звездного чипа», сфотографированный в лаборатории в Маунтин-Вью, штат Калифорния, имеет размер 15 мм в длину*

прихоти Конгресса США. «NASA вынуждено ожидать, а миллиардеры могут сделать это немедленно, — говорит Лерой Чиао (Leroy Chiao), бывший астронавт и командир Международной космической станции. — Вы просто подбираете команду — и вперед».

### План игры

Человека, который стоит за проектом «Бросок к звезде», всегда вдохновляли далекие экспедиции. Юрий Мильнер родился в Москве в 1961 г., том самом, когда Юрий Гагарин стал первым человеком, полетевшим в космос. «Мои родители послали мне сообщение, назвав меня Юрием», — говорит он, подразумевая, что они хотели, чтобы он пошел непроторенным путем. Так Юрий пришел в физику. «Это было моей первой любовью», — признается он. Мильнер учился десять лет, а затем занимался квантовой хромодинамикой. «К сожалению, у меня получалось не очень». Тогда он занялся бизнесом, стал одним из первых инвесторов *Facebook* и *Twitter* и скопил состояние, как утверждают,

## Как отправиться к звезде

Проект «Прорывной бросок к звезде» — это амбициозный план послать крошечные зонды к одной из соседних звезд, чтобы получить фотографии и провести измерения во время непродолжительного пролета. Эта экспедиция, возможно, станет первым межзвездным путешествием в истории человечества. Финансируемый в рамках «Прорывных инициатив», этот проект предполагает использовать давление лазерного пучка, посылаемого с Земли, для разгона сверхтонких листов, называемых световыми парусами, прикрепленных к крошечным зондам, получившим название «Звездные чипы» (все вместе называется нанозондом), которые затем отправят свои сообщения в виде лазерного пучка к нам домой.

- 1 Ракета выведет «корабль-матку» на орбиту вокруг Земли, откуда в течение более трех лет она будет выпускать по одному нанозонду в сутки, а они начнут полет к своей цели.

- 2 Сто миллионов небольших лазеров, расположенные в виде матрицы, на площадке размером примерно километр на километр, будут работать как фазированная решетка, объединяя сто миллионов лучей в один когерентный пучок. Будучи нацеленным на почти невесомый парус «Звездного чипа», лазерный пучок всего за несколько минут разгонит его до скорости почти в 20% от скорости света.



Фазированная решетка лазеров

3

«Звездные чипы» будут передавать информацию на Землю, посылая сигнал на ту же самую решетку лазеров, которая использовалась для их разгона. На межзвездных расстояниях «Звездные чипы» должны быть нацелены с исключительной точностью, чтобы фотографии и научные данные смогли достичь Земли.

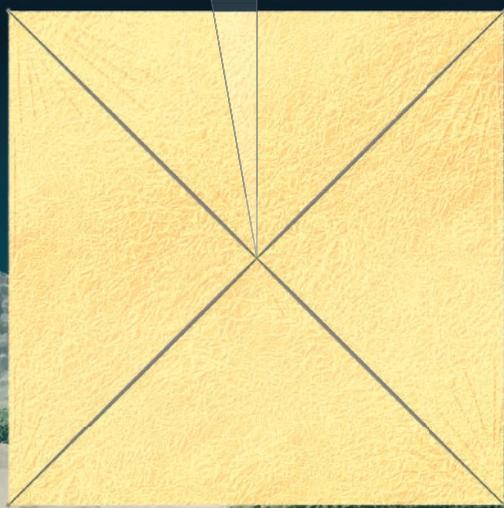
### «Звездный чип»

Космический зонд, совершающий это путешествие, будет походить на небольшие интегральные схемы внутри наших смартфонов и весить около 1 г каждый. На кристалле со стороной 15 мм разместятся компьютер, фотокамеры, батареи, устройства связи, а также, возможно, спектрографы, чтобы изучать химию звезд и планет, и магнетометры, чтобы измерить магнитное поле.



### Световой парус

Световые паруса со стороной примерно в 4 м для проекта «Бросок к звезде» будут ускоряться за счет отдачи при отражении от них лазерного пучка; они должны быть чрезвычайно легкими, прочными и иметь коэффициент отражения 99,999%, чтобы разогнать «Звездные чипы» до скорости 20% от скорости света. Ученые еще не решили, прикреплять ли микросхему к парусу кабелями или же смонтировать парус прямо на микросхеме.



4 м

около \$3 млрд. «И вот, вероятно, года четыре назад, — продолжает Мильнер, — я вновь вспомнил о своей первой любви».

В 2013 г. он учредил прорывные премии, по одной в области биологии, математики и физики, а в 2015 г. дал старт тому, что называет своим хобби, «Прорывным инициативам». Это что-то вроде пропагандистской кампании по привлечению внимания к космосу: премия номиналом в \$1 млн за лучшее послание внеземным цивилизациям; \$100 млн на программу более тщательных поисков внеземного разума; и вот теперь — \$100 млн на проект «Бросок к звезде».

В начале 2015 г. Мильнер рекрутировал основу своей команды для программы «Бросок к звезде» из людей, которых встречал на различных заседаниях «Прорывных инициатив». Председателем правления программы «Бросок к звезде» стал Абрахам Лоеб (Abraham Loeb), декан факультета астрономии Гарвардского университета, а исполнительным директором консультативного комитета — Пит Уорден (Pete Worden), который руководил Исследовательским центром Эймса NASA и участвовал в работе над совместной программой Управления перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США (DARPA) и NASA по межзвездному кораблю, который предполагалось запустить через 100 лет. Уорден пригласил Пита Клупара (Pete Klupar), инженера, который то работал в аэрокосмической отрасли, то уходил из нее — и когда-то служил вместе с ним в Исследовательском центре Эймса в качестве технического директора. Они, в свою очередь, сформировали впечатляющий комитет, куда входят специалисты из профильных отраслей, которые, по всей видимости, желают участвовать в программе почти или вовсе бесплатно, а также такие известные персоны, как Марк Цукербергер и Стивен Хокинг. Политика руководства проекта «Бросок к звезде», очевидно, представляет собой нечто среднее между строгостью иерархического дерева принятия решений NASA и принятой в Кремниевой долине традиции собрать в одной комнате группу толковых специалистов, представить им перспективную цель и наблюдать за ними со стороны. Один из членов комитета, Джеймс Бенфорд (James Benford), президент компании *Microwave Sciences*, говорит, что задача — «дать нам ближайшую неделю и срок в пять лет, а мы будем думать, как соединить эти даты».

Собравшиеся члены команды сразу же согласились с тем, что, по всей видимости, следует решительно отвести мысль об отправке к Альфе Центавра людей как слишком призрачную перспективу и сфокусировать внимание на беспилотной экспедиции, которую, по их оценкам, можно было бы отправить приблизительно лет через 20. Затем они согласились с тем, что серьезной проблемой

будет силовая установка космического аппарата. Поэтому в середине 2015 г. аспиранты и сотрудники Лоеба начали сортировать предложения на невозможные, невероятные и возможные. В декабре того же года они получили статью Филипа Лубина (Philip Lubin), физика Калифорнийского университета в Санта-Барбаре, названную «Концепция межзвездного полета». В качестве силовой установки Лубин предложил использовать фазированную решетку из лазеров — то есть большое число небольших лазеров, синхронизированных между собой таким образом, что их излучение объединяется в один когерентный пучок. Этот лазерный пучок будет толкать интегральную схему, снабженную парусом, которой, чтобы достичь далекой звезды за десятилетия-другое, необходимо лететь со скоростью, сравнимой со скоростью света. (Похожая идея была опубликована 30 годами ранее физиком и писателем-фантастом по имени Роберт Форвард (Robert Forward); он назвал ее «Звездный пучок».) Хотя в то время такая техника была скорее научной фантастикой, нежели фактом, «по существу, я превратил "Звездный пучок" из научно-фантастической идеи в научную концепцию», — признается Лубин; он также был принят в проект.

В январе 2016 г. Мильнер, Уорден, Клупар, Лоеб и Лубин встретились в доме Мильнера в Кремниевой долине и выработали стратегию. «Входит Юрий, держа в руках бумагу с прикрепленными к ней клейкими листами для заметок, — рассказывает Лубин, — и начинает задавать правильные вопросы из области науки и экономики». Вся прелесть необычного подхода в работе над проектом заключалась в том, что в отличие от длительного процесса затребования и рассмотрения предложений, как в NASA, или постоянной заботы о возможности получения прибыли, как в коммерческой компании, команда проекта «Бросок к звезде» свободна строить фундамент плана, целиком базируясь лишь на том, что представляется ей наилучшим решением.

Единственный действительно дорогостоящий элемент проекта «Бросок к звезде» — это лазер. Паруса и микросхемы стоят недорого, и они одноразовые. Они будут загружены на ракету-носитель, выведены за пределы атмосферы и выпущены, как летающие рыбки, одна за одной — сотни или даже тысячи, настолько много, чтобы, как в стратегии размножения рептилии, потеря нескольких из них

не отразилась на конечном результате. Каждая из микросхем будет освещена лазером и ускорится до 20% от скорости света за несколько минут. Затем лазеры выключат и микросхемы вместе с парусами отправятся в свободный полет. Когда они достигнут звезды, то отправят домой сообщения. «Еще десять лет назад мы не могли бы сколь-нибудь серьезно обсуждать все это», — говорит Мильнер. Но сейчас, когда прогресс в области совершенствования лазеров и микросхем растет экспоненциально, а ученые проектируют и создают новые материалы, путь «до нашей цели — не столетия, а несколько десятилетий».

Руководство проектом «Бросок к звезде» направило свою идею для обсуждения и попросило ученых выявить имеющиеся в ней камни преткновения. Никто ничего непреодолимого не нашел. «Я могу объяснить вам, почему это трудно и почему дорого, — говорит Лубин, — но не могу привести ни одного аргумента, почему это неосуществимо». К апрелю 2016 г. команда проекта пришла к согласию относительно системы, и 12 апреля Мильнер созвал пресс-конференцию на верхнем этаже Башни Свободы в Нью-Йорке, на которой были продемонстрированы видеоматериалы, мультипликация и выступили несколько членов консультативного комитета. Он представил «межзвездный парусник», несомый световым ветром. Все последующее лето ученые занимались расстановкой ориентиров для дальнейших шагов.

### Звездные чипы и световые паруса

Вскоре команда проекта «Бросок к звезде» обнаружила, что, хотя он технически и осуществим, реализация его потребует огромного напряжения сил и долгого времени. Даже самое простое в нем — «Звездный чип» — кроет в себе множество проблем. Он должен быть крошечным, весом не более нескольких граммов, и в то же время иметь возможность собирать и отсылать домой данные, нести собственный источник питания и выдержать многолетнее путешествие. Несколько лет назад инженер группы Мэйсона Пека (Mason Peck) в Корнеллском университете создал то, что они назвали «Эльфами» (Sprites): несколько микросхем вроде тех, что используются в смартфонах, в которые были встроены датчики света, солнечные батареи и радиоприемник с передатчиком, и каждая из них была весом в 4 г.



**Миллиардер-предприниматель** Юрий Мильнер, финансирующий «Прорывной бросок к звезде», держит в руке прототип «Звездного чипа» во время пресс-конференции в Нью-Йорке 12 апреля 2016 г., объявляя о старте проекта. Известные ученые Стивен Хокинг и Фримен Дайсон выступили в роли консультантов проекта.

Интегральные схемы для проекта «Бросок к звезде» будут базироваться на технологии, использовавшейся в «Эльфах», но весить они будут еще меньше, примерно 1 г, и при этом каждая будет нести по четыре камеры. Один из рассматриваемых вариантов вместо того, чтобы использовать тяжелые линзы, — сформировать над фотоэлементом крошечную дифракционную решетку, называемую плоским фильтром Фурье, чтобы разложить входящее излучение в спектральный образ, из которого изображение можно будет затем восстановить с любой глубиной фокуса с помощью компьютера. Другие устройства, предложенные для формирования на микросхеме, включают спектрометр для изучения химического состава атмосферы планеты и магнитометр для измерения магнитного поля звезды.

Микросхеме потребуется также возможность посылать полученные ею изображения на Землю с межзвездных расстояний. В настоящее время, чтобы пересылать информацию, на спутниках используются одноваттные лазерные диоды, но передача идет на гораздо более короткие расстояния. До сих пор, по словам Пека, самым большим расстоянием, с которого была осуществлена передача таким образом, была отправка сообщения с Луны, расположенной более чем в 100 млн раз ближе, чем Альфа Центавра. Чтобы нацелиться на Землю со звезды, лазерный прицел должен быть чрезвычайно точным. Однако в течение своего четырехлетнего путешествия луч света, несущий сигнал, расширится, а сам он ослабнет настолько, что к нам доберется в виде нескольких сот фотонов. Возможное решение — послать фотографии с одного «Звездного чипа» домой через несколько других, летящих на заданных расстояниях позади, которые будут выступать в качестве ретрансляторов. Получение информации со звездных зондов, по словам члена консультативного комитета проекта «Бросок к звезде» Зака Манчестера (Zac Manchester) из Гарвардского университета, «все еще представляет действительно серьезную проблему».

К тому же микросхемам, чтобы снабжать электричеством камеры и бортовые компьютеры для посылки данных на Землю в течение всего двадцатилетнего путешествия, требуется необычайно емкий источник питания. Принимая во внимание масштаб расстояний от Альфы или Проксимы Центавра до Земли и то, что для питания небольшой микросхемы в распоряжении будет всего лишь несколько ватт, понятно, что сигнал на Землю придет очень слабый, но «фотонов будет достаточно, чтобы приемник проекта "Бросок к звезде" смог бы его принять», — утверждает Пек. До настоящего времени не существует такого источника питания, который одновременно мог бы работать в холоде и темноте, весил бы меньше грамма и имел

бы достаточную мощность. «Мощность — самая большая проблема для микросхемы», — продолжает Пек. Одно из возможных решений, которое он предлагает, — адаптировать для проекта крошечные ядерные батарейки, используемые в медицинских имплантатах. Другой путь — преобразовать в электричество энергию, которую парус получает, проносясь через заполненное газом и пылью межзвездное пространство и нагреваясь за счет трения.

Та же самая межзвездная среда, вероятно, создаст для микросхем и серьезную угрозу. Среда эта похожа на разжиженный дым от сигареты, говорит Брюс Дрэйн (Bruce Draine), астроном из Принстонского университета, тоже член консультативного комитета. Никто не знает точно, насколько плотна эта среда или каковы размеры пылинок, поэтому ее разрушительный потенциал оценить достаточно сложно. Столкновения «Звездных чипов» с пылинками любого размера со скоростью, близкой к скорости света, могут вызвать повреждения — от небольших воронок до полного их разрушения. Если размер «Звездного чипа» —  $1 \text{ см}^2$ , говорит Дрэйн, «они столкнутся со множеством таких частиц». Одной из защитных мер от частиц меньшего размера могло быть покрытие толщиной в 1–2 мм из бериллиевой бронзы, хотя все же крупинки пыли, скорее всего, вызовут катастрофические повреждения. «Микросхема либо выживет, либо нет», — говорит Пек, но при удачном стечении обстоятельств из отпущенного в путь роя микросхем численностью в несколько сотен или тысяч несколькими выполнить миссию все же удастся.

Следующая по сложности задача — парус. «Звездные чипы» будут разгоняться за счет отдачи света, отраженного от их парусов, так же как при отскоке теннисного мяча от ракетки он толкает ее назад. Чем больше отразится света, тем больше будет сила тяги и тем быстрее парус наберет скорость; чтобы достичь 20% от скорости света, световой парус для проекта «Бросок к звезде» должен отражать 99,999% падающего на него света. «Весь тот свет, который не отразится, уйдет на нагрев паруса», — объясняет Джеффри Лэндис (Geoffrey Landis), ученый из Исследовательского центра им. Гленна NASA и член консультативного комитета, а если учитывать исключительно высокую температуру лазерного пучка (*в пучке лазера неравновесное состояние фотонов, поэтому говорить о его температуре бессмысленно, температуру луча можно считать равной  $0 \text{ K}^\circ$  или бесконечно большой; правильно было бы говорить о необычайно большой мощности пучка. — Примеч. пер.*), «даже небольшая доля мощности лазера, идущая на нагрев паруса, вызвала бы катастрофические последствия». По сравнению с нынешними солнечными парусами, которые для отправки нескольких экспериментальных космических аппаратов в полет

по Солнечной системе использовали свет от Солнца, они должны быть намного легче и толщиной в несколько атомов, «не толще стенки мыльного пузыря», — продолжает Лэндис. В 2000 г. в эксперименте, продемонстрировавшем наилучшее приближение к требуемым характеристикам, Бенфорд использовал пучок СВЧ-излучения, чтобы разогнать парус из тончайшей углеродной микросетки. В своем эксперименте он достиг ускорения  $13g$  (в 13 раз больше ускорения свободного падения на поверхности Земли), тогда как парус для проекта «Бросок к звезде» должен выдерживать ускорение до 60 тыс.  $g$ . Парус так же, как и «Звездный чип», должен противостоять пыли межзвездной среды, которая может его изрешетить. Пока нет такого материала, который был бы настолько легкий, прочен, термостоек, имел бы высокую отражательную способность и стоил бы не многие миллионы долларов. «Одно из нескольких чудес, которые мы должны продемонстрировать, — это изобрести материал для паруса», — говорит Клупар.

Но в отношении конструкции паруса остаются и другие вопросы, требующие решения. Его можно прикрепить к микросхеме с помощью кабелей, или же саму микросхему можно смонтировать непосредственно на нем. Парус можно сделать вращающимся, дав ему возможность ориентироваться в направлении лазерного луча. После первоначального ускорения парус можно будет сложить как зонтик, сделав его менее уязвимым во время путешествия. А когда «Звездный чип» приблизится к Альфе Центавра, то можно будет его раскрыть и настроить его кривизну так, чтобы использовать в качестве зеркала телескопа или антенны для отправки сообщений на Землю. «Это кажется труднопреодолимой проблемой, — продолжает Лэндис, — но мы и раньше решали такие».

Однако все перечисленные трудности покажутся детскими игрушками по сравнению с проблемой постройки лазерного излучателя, который должен толкать парус. Единственное условие, при котором проект «Бросок к звезде» сможет достичь скорости достаточно близкой к скорости света, — это невиданной мощности 100-гигаваттный лазер. В Министерстве обороны США есть лазеры даже мощнее, рассказывает Роберт Петеркин (Robert Peterkin), главный научный сотрудник Управления направленной энергии Научно-исследовательской лаборатории ВВС США, но они светят в течение лишь одной миллиардной или триллионной доли секунды. Источник лазерного излучения для проекта «Бросок к звезде» должен будет светить на каждый парус в течение нескольких минут. Чтобы достичь такой мощности в течение долгого времени, небольшие волоконные лазеры можно сгруппировать в решетку и согласовать их фазы так, чтобы излучение от каждого из них объединилось в один когерентный луч. В Министерстве обороны США уже

строили фазированные решетки из лазеров, но их решетка состояла всего из 21 лазера, была не более 30 см в сечении, продолжает Петеркин, и давала суммарную мощность, не превышающую несколько десятков киловатт. Источник излучения для проекта «Бросок к звезде» должен будет состоять из 100 млн таких киловаттных лазеров, а решетка будет размещена на площадке размером километр на километр. «Насколько все это опережает современный уровень техники в данной области?» — вопрошает Петеркин.

«Но это еще не самое скверное», — добавляет он. Луч каждого из 100 млн небольших лазеров будет отклоняться под действием обычных турбулентных процессов в атмосфере, причем каждый по-своему. И, наконец, все их нужно направить и сфокусировать на парус размером  $4\text{ м}^2$  с расстояния 60 тыс. км. «На сегодня, — сухо говорит Роберт Фугейт (Robert Fugate), ученый, работавший в Управлении направленной энергии, а ныне в отставке, который также состоит в членах консультативного комитета, — меня привлекла задача направить излучение 100 млн лазеров сквозь атмосферную турбулентность на мишень размером 1 м, удаленную на 60 тыс. км». Свет может вообще не попасть на парус или, что более вероятно, осветить его неравномерно, так, что на различные части паруса будут действовать силы разной величины, заставляя его беспорядочно кувыркаться, вращаться или вообще выскользнуть из луча.

И снова команда проекта «Бросок к звезде» предложила возможное решение, но такое, которое тянет за собой новый клубок проблем. В технике, получившей название «адаптивная оптика» и уже используемой на крупных телескопах для устранения искажений, вызванных атмосферной турбулентностью, применяются зеркала изменяемой формы, которые создают равное атмосферному искажение волнового фронта, но противоположного знака. Однако для того чтобы использоваться в проекте «Бросок к звезде», эта техника потребует значительной адаптации. В случае лазерного излучателя, чтобы корректировать влияние атмосферы, вместо настраиваемых зеркал ученым потребуется точно настраивать каждое из волокон лазера. Современная адаптивная оптика, используемая в телескопах, позволяет в лучшем случае добиться разрешения точки размером 30 тысячных долей угловой секунды в поперечнике. Для проекта «Бросок к звезде» потребуется фокусировать луч с точностью до 0,3 тысячных угловой секунды по обеим координатам — ничего подобного получить еще никому не удавалось.

Но даже если всю эту разрозненную и требующую для своего создания гигантских усилий технику удастся построить, она должна будет работать совместно, как единый механизм, что для руководства проекта «Бросок к звезде» выглядит как

складывание пазла из фигур, форма которых постоянно претерпевает изменения или которых вообще пока еще не существует. Уорден называет этот процесс «искусством [построения] долговременной программы исследований на грани возможного». У системы «пока нет единой конструкции», говорит Кевин Паркин (Kevin Parkin) из компании *Parkin Research*, системный инженер, также входящий в комитет. План на первую пятилетку, говорит Клулар, — это «собрать урожай имеющейся уже сейчас техники», то есть под руководством экспертов в соответствующих областях из числа членов комитета участники команды проведут эксперименты в небольших масштабах и построят математические модели. Они начали работу зимой 2015–2016 гг. с анализа существующей техники и рассмотрения предложений по технике, которой пока еще не существует; весной 2017 г. они намерены заключить небольшие контракты на суммы от нескольких сот тысяч

до полутора миллионов долларов каждый. Затем пойдут прототипы, и при условии их успешного завершения конструирование лазера и паруса начнется приблизительно в начале 2030-х гг. с запуском зондов в середине 2040-х гг. К этому времени проект «Бросок к звезде» будет, вероятно, стоить несколько миллиардов долларов и, если повезет, вовлечет в работу над ним людей из правительств, лабораторий и космических агентств США, Европы и Азии. «Я изложу все доводы в пользу и надеюсь, что к нам присоединятся новые участники, — говорит Мильнер. — Проект должен стать глобальным», — добавляет он, не забывая упомянуть об обоснованной озабоченности по поводу национальной безопасности в связи со строительством гигантской лазерной установки. «Если вы затеваете что-то вроде этого в тайне, появится гораздо больше вопросов. Важно открыто заявить о своих намерениях!»

### На звезды равняйся!

С учетом всех этих препятствий каковы шансы на успех? Технически продвинутые люди, не связанные с проектом «Бросок к звезде», оценивают их как небольшие; несколько человек сказали мне откровенно: «Они не полетят к Альфе Центавра». Давид Шарбонно (David Charbonneau) из Гарвард-Смитсоновского центра астрофизики утверждает, что в конечном итоге проект станет настолько

затратным, что дело «может дойти до того, что придется убеждать население США отдать на его выполнение 5% национального дохода — такую же долю, как на программу "Аполлон"».

Те, кто непосредственно связан с проектом «Бросок к звезде», полагают, что шансы несколько выше, но при этом остаются прагматиками. «Мы определенно можем использовать лазеры, чтобы послать летательный аппарат к Альфе Центавра, — уверен Грег Мэтлофф (Greg Matloff) из Нью-Йоркского технического колледжа, член комитета. — Сможем ли мы иметь их в своем распоряжении через 20 лет, я не знаю». Зак Манчестер из Гарварда говорит: «В течение ближайших 50 лет шансы весьма высокие; через 100 лет — стопроцентные». Уорден полагает, что их подход определяется целью и «возможно, через пять лет мы выясним, что мы не сможем его реализовать». Свою задачу в проекте «Бросок к звезде» Мильнер, помимо финансирования, видит в том, чтобы не дать ему выйти за рамки осуществимого в область научной фантастики. «Если для его осуществления потребуются больше, чем одно поколение, — заявил он, — мы не будем работать над этим проектом».

До конца августа прошлого года я считала, что Дайсон был прав; технические решения проекта «Бросок к звезде» действительно интригующие, но Альфа Центавра — глупость. На самом деле эта звезда — двойная система (Альфа Центавра A и B) и обе ее звезды принадлежат к солнечному типу, словом, ничего необычного. Астрономы, по словам Шарбонно, очень хорошо изучили такие звезды, и, хотя было бы полезным сравнить их сияние и магнитные поля с нашим Солнцем, «то, что мы узнали бы о физике звезд, отправившись туда, не стоит затрат».

Теперь, когда астрономы знают, что у соседки Альфы Центавра есть планеты, научные доводы стали более обстоятельными. Расположенная чуть ближе к Земле, эта звезда, Проксима Центавра, — красный карлик, самый распространенный тип звезд. Планета, Проксима Центавра b, расположена на таком расстоянии от звезды, что это, вероятно, делает ее пригодной для жизни. Когда об этом открытии было объявлено, команда проекта «Бросок к звезде» отметила событие обедом. Будут ли члены проекта рассматривать возможность смены цели экспедиции? «Безусловно, — говорит

## Даже если проект «Бросок к звезде» провалится, космические экспедиции, основанные на технике, которая будет разработана в его ходе, смогут достичь каких-нибудь важных объектов как внутри, так и вне нашей Солнечной системы

Мильнер. — У нас в распоряжении много времени, чтобы принять решение». Решетка лазеров должна будет иметь достаточную гибкость для нацеливания, чтобы «компенсировать разницу примерно в два градуса», — говорит Фугейт.

В конечном итоге общая задача «Прорывных инициатив» — найти все планеты в окрестности нашего Солнца, говорит Клулар, и Проксима Центавра *b*, по-видимому, будет лишь первой из многих. «Я чувствую себя как энтомолог, который, подняв камень, находит под ним жука и считает, что после этого под каждым камнем тоже найдет что-нибудь», — продолжает он. — Это не так, но все же в какой-то степени вдохновляет».

Конечно, даже обнаружение Проксима Центавра *b* еще не превращает проект «Бросок к звезде» в стопроцентную науку. Микросхема, вероятно, сделает снимки, возможно, оценит магнитное поле планеты, может быть, даже определит состав атмосферы — но все это она должна будет осуществить на лету, за считанные минуты. Если учесть, сколько лет еще пройдет до запуска, а также окончательную стоимость проекта, говорит астрофизик из Принстонского университета Дэвид Шпергель (David Spergel), «не лучше ли построить 12–15-метровый космический телескоп, разглядывать планету месяцами и получить значительно больше информации о ней, нежели при быстром пролете?»

Но миллиардеры свободны вкладывать деньги туда, куда они хотят, а родственные души свободны присоединиться к ним в этом их желании. Более того, даже те, кто ставит под сомнение научную ценность проекта «Бросок к звезде», тем не менее зачастую поддерживают его, поскольку, разрабатывая новую технику, занятые в проекте инженеры почти наверняка придумают что-нибудь интересное. «Они не решают всех проблем, но одну-две все-таки решают», — уверен Шпергель. А изобретательное решение даже лишь одной трудной проблемы «будет огромным успехом». К тому же если даже проект «Бросок к звезде» провалится, космические экспедиции, основанные на технике, которая будет разработана в его ходе, смогут достичь каких-нибудь важных объектов как внутри, так и вне нашей Солнечной системы.

Собственная любовь Мильнера к этому проекту произрастает из его надежды, что он сможет объединить всех людей осознанием того, что все они — жителей одной планеты и представители одного биологического вида. «За последние шесть лет я провел 50% своего времени в дороге, много времени в Азии и Европе, — говорит он. — Я пришел к выводу, что добиться глобального консенсуса трудно, но не невозможно». Эта тема хорошо согласуется с другими «Прорывными инициативами», задача которых заключается главным образом в том, чтобы найти инопланетян и поговорить с ними

по душам, а также со значительными инвестициями Мильнера в интернет и социальные медиа, которые изменили природу общения и коммуникаций. Но в конце концов даже он признается, что желание человека полететь к звезде ничем нельзя объяснить. «Если вы будете постоянно спрашивать меня почему, я в конце концов отвечу вам, что сам не знаю. Я просто считаю, что это важно».

Почти все, кого я расспрашивала, говорят одно и то же: они не могут объяснить это никому, кто сам не понял, — они просто хотят лететь. Джеймс Ганн (James Gunn), почетный профессор факультета астрофизики Принстонского университета, который считает, что шансы на успех у проекта «Бросок к звезде» невелики, и который не желает обсуждать его научную мотивацию, все же говорит: «В отношении большинства проблем я мыслю рационально, но я становлюсь иррациональным, когда речь заходит о том, как далеко во Вселенную сможет проникнуть человечество. С детских пор я мечтал полететь к звездам». Многие из консультативного комитета заявляли то же самое. «Это просто классно!», — восклицает Лэндис, как эхо, слово в слово повторяя сказанное другими.

Противоречия, свойственные таким мечтам, вероятно, лучше всего выразил Фримен Дайсон. Увлекательный излучением лазера парус проекта «Бросок к звезде» с его чипом имеет смысл, говорит он, и всем, кто участвует в проекте, не откажешь в уме и здравомыслии. Но, по его мнению, им следует прекратить попытки отправиться на Альфу или Проксиму Центавра и сфокусировать свои усилия на исследовании Солнечной системы, где «Звездные чипы» можно будет разгонять с помощью более реальных, не таких мощных лазеров, и лететь они смогут с меньшими скоростями. «Исследования — это именно то, для чего созданы люди, — продолжает он свою мысль. — Именно в этом мы сильны». Он полагает, что исследовать Вселенную должны автоматические аппараты, нет никакого научного обоснования, требующего посылать туда людей. А затем, будучи непредсказуемым по натуре Дайсоном, он добавляет: «С другой стороны, я все же очень хотел бы слетать».

**Перевод: А.П. Кузнецов**

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Смит К. Граждане космоса // В мире науки, № 3, 2013.
- A Roadmap to Interstellar Flight. Philip Lubin in Journal of the British Interplanetary Society, Vol. 69, pages 40–72; 2016.
- Alpha Centauri or Bust. Mark Alpert in Guest Blog, ScientificAmerican.com. Опубликовано онлайн 13.04.2016: <https://blogs.scientificamerican.com/guest-blog/alpha-centauri-or-bust>
- Сайт проекта «Прорывной бросок к звезде»: <http://breakthroughinitiatives.org/Initiative/3>

Цикл телепрограмм

# ИДЕИ, МЕНЯЮЩИЕ МИР



Автор и ведущая —  
**Эвелина Закамская**

**РОССИЯ 24**

очевидное  
невероятное **Н**

**Н<sup>Р</sup>** ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ  
**Научная Россия**



**Дирк Хельбинг:**

как выжить  
в информаци-  
онной лавине

**Виктор Матвеев:**

увидеть миг  
рождения материи

**Джек Ма:**

«бесплатно» —  
очень дорогое слово

**Джон Перкинс:**

исповедь  
раскаявшегося шпиона

**Майкл Газзанига:**

автор концепции  
«криминального мозга»



**Джин Шарп:**

человек,  
взорвавший мир

**Ноам Хомский:**

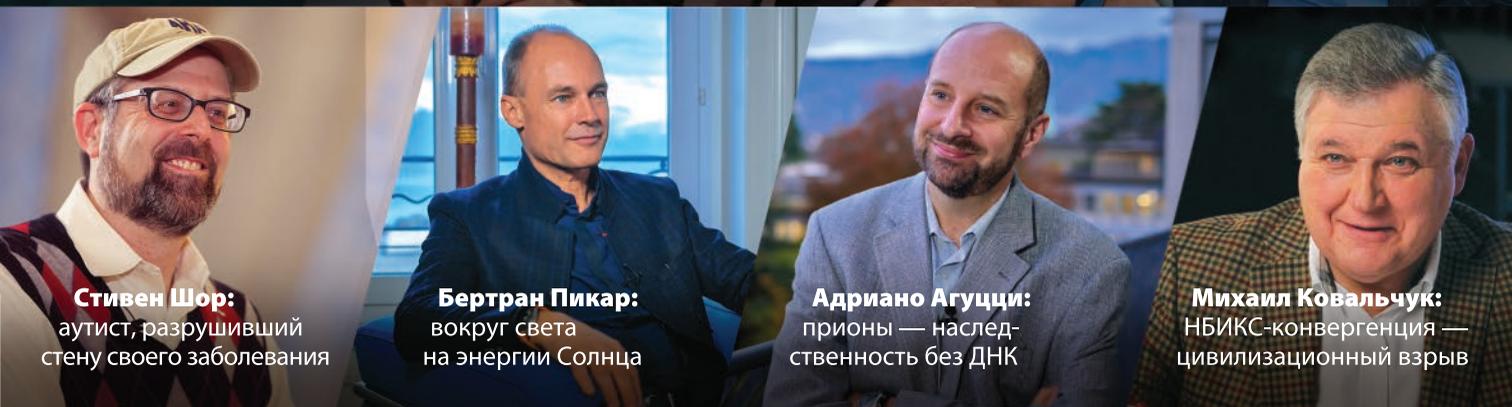
интеллектуал  
Западного полушария

**Дэвид Гросс:**

физика — это приключение

**Рольф-Дитер Хойер:**

человек, объявивший  
о «поимке» бозона Хиггса



**Стивен Шор:**

аутист, разрушивший  
стену своего заболевания

**Бертран Пикар:**

вокруг света  
на энергии Солнца

**Адриано Агуцци:**

прионы — наслед-  
ственность без ДНК

**Михаил Ковальчук:**

НБИКС-конвергенция —  
цивилизационный взрыв



## ОБ АВТОРАХ

**Ашвин Васаванда** (Ashwin Vasavada) — заместитель руководителя научной группы проекта *Mars Science Laboratory* («Марсианская научная лаборатория»). Он в восторге от мысли, что когда-нибудь люди смогут пешком взойти на марсианскую гору Шарп, повторив путь марсохода *Curiosity*. Работая в Лаборатории реактивного движения (JPL NASA), он также участвует в проектах *Galileo*, *Cassini* и *Lunar Reconnaissance Orbiter*.



**Джон Гротцингер** (John P. Grotzinger) — руководитель научной группы проекта *MSL* и геолог Калифорнийского технологического института. Он изучает условия на поверхности Земли и Марса. Член Национальной академии наук США.

## Ашвин Васаванда и Джон Гротцингер

# К ЗАГАДКАМ МАРСА

5 августа в 10:31 вечера по тихоокеанскому времени марсоход *Curiosity* (NASA) начнет поиски условий для жизни на Марсе

Любое научное исследование начинается как в фильме «Звездный путь»: нужно проникнуть туда, где еще никто не бывал, и открыть то новое, о чем никто и не подозревал. Когда же этап первичного обзора завершен и накоплен длинный список вопросов, ученые начинают действовать в стиле Шерлока Холмса: формулируют конкретные гипотезы и думают, как их проверить. Исследователи Марса сейчас близки к этому переходу. С орбиты получены глобальные карты с деталями географии и состава поверхности, а спускаемые аппараты собрали данные, в общих чертах рассказавшие о геологической истории планеты. Настало время перейти к более тонким исследованиям.

Для проверки гипотезы, что Марс когда-то был пригоден для жизни, наша команда создала аппарат *Mars Science Laboratory*, более известный как марсоход *Curiosity* («Любознательность»). Он снабжен аналитической лабораторией для проверки нашей идеи о том, что в прошлом климат Марса был значительно мягче. Важнейшие условия для жизни — это вода, энергия и углерод. Усилия прошлых экспедиций были сконцентрированы на первом условии и подтвердили, что на Марсе в прошлом была и до сих пор еще иногда наблюдается жидкая вода (см.: Белл Д. *Водное прошлое Красной планеты* // ВМН, № 4, 2007). Были замечены также намеки

на геохимические градиенты, способные дать энергию для обмена веществ. Но никто пока не видел углерода в форме, потенциально пригодной для жизни.

Как и аппараты-близнецы *Viking* в середине 1970-х гг., *Curiosity* имеет газовый хроматограф/масс-спектрометр, способный обнаруживать органические соединения как биологического, так и абиогенного происхождения. Но, в отличие от «Викингов», *Curiosity* мобилен и направлен в гораздо более перспективное место. Однако его задача — не просто найти углерод, а понять, как нужно вести эти поиски. Даже на Земле мы не всегда знаем, где добыть геологические образцы, сохранившие следы жизни. Парадоксально, но именно то, что необходимо для поддержания жизни (вода, окислители, химический и температурный градиенты), способствует также и разрушению органических соединений. Однако палеонтологи знают, где искать благоприятные для консервации следов жизни места, например — какие геохимические условия способствуют быстрой минерализации. Как известно, кремнезем, фосфаты, глина, сульфаты и реже карбонаты хорошо сохраняют органические осадки. По наблюдениям с орбиты составлены карты некоторых из этих минералов в районе посадки *Curiosity*, которые помогут вести разведку. ■

Перевод: В.Г. Сурдин

## ! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- После нескольких десятилетий изучения геологии и гидрологии Марса ученые сейчас планируют более конкретно искать признаки того, что на планете когда-либо были условия для жизни.
- Марсоход *Curiosity* в поисках органических соединений будет обследовать кратер Гейл, чтобы решить давний спор о том, могут ли эти соединения сохраниться на поверхности Марса.
- Марсоход установит несколько рекордов: крупнейший аппарат, вошедший в атмосферу планеты; первое использование зависающей реактивной платформы для доставки зонда на поверхность; самая совершенная химическая лаборатория-робот, посланная на другую планету.

### Этапы посадки

#### ИЗ КОСМОСА НА ГРУНТ ЗА СЕМЬ МИНУТ

«Продвинутый марсоход» означает большой и тяжелый. *Curiosity* размером с *Mini Cooper* и весит около тонны. Капсула, несущая его через межпланетное пространство, больше той, которая доставляла астронавтов «Аполлона» на Луну. Соответственно, и способ посадки марсохода на поверхность совершенно новый и смелый.

Упакованный в капсулу, марсоход первым делом освобождается от двигателей коррекции и системы питания **1**. Капсула сбрасывает балласт (куски вольфрама), чтобы сместить центр масс и превратиться в крыло для управляемого полета. Она сталкивается с верхней атмосферой Марса на гиперзвуковой скорости около 6 км/с. Тепловой экран поглощает огромную энергию, выделяющуюся при торможении **2**. Затем аппарат летит горизонтально, гася скорость, а ракетные двигатели направляют его к месту посадки **3**.

На высоте 10 км открывается парашют диаметром 21,5 м и длиной 50 м **4**. К этому моменту скорость полета еще сверхзвуковая. Разработка парашюта стала особенно сложной частью проекта. Как на этой скорости парашют раскроется (или не раскроется, или станет трепетать), было не очень понятно и с трудом поддавалось моделированию.

Вскоре после разворачивания парашюта будет сброшен теплозащитный экран и включится посадочный радар. На высоте 2 км аппарат снижается со скоростью около 100 м/с; сильнее атмосфера уже не может его затормозить, но это слишком быстро для мягкой посадки. На этой высоте марсоход освобождается от парашюта вместе со своим ракетным «ранцем», двигатели которого запускаются для дальнейшего контроля посадки **5**.

Примерно в 20 м над поверхностью марсоход спускается на трех тросах: эту систему называют *Sky Crane* («небесный кран»). Марсоход касается поверхности полностью развернутыми колесами со скоростью около 0,75 м/с **6**. Он ждет две секунды, чтобы убедиться, что находится на твердой почве, а затем пиропатронами обрезает тросы и кабель данных.

Ракетный «ранец» улетает в сторону на полкилометра и падает **7**. Примерно через час мы должны получить первые снимки с поверхности, а к концу второго месяца бортовая лаборатория проделает первые анализы почвы и образцов горных пород.



7



5



6



Приборы

**НЕ ПРОПУСКАЯ НИ КАМНЯ**

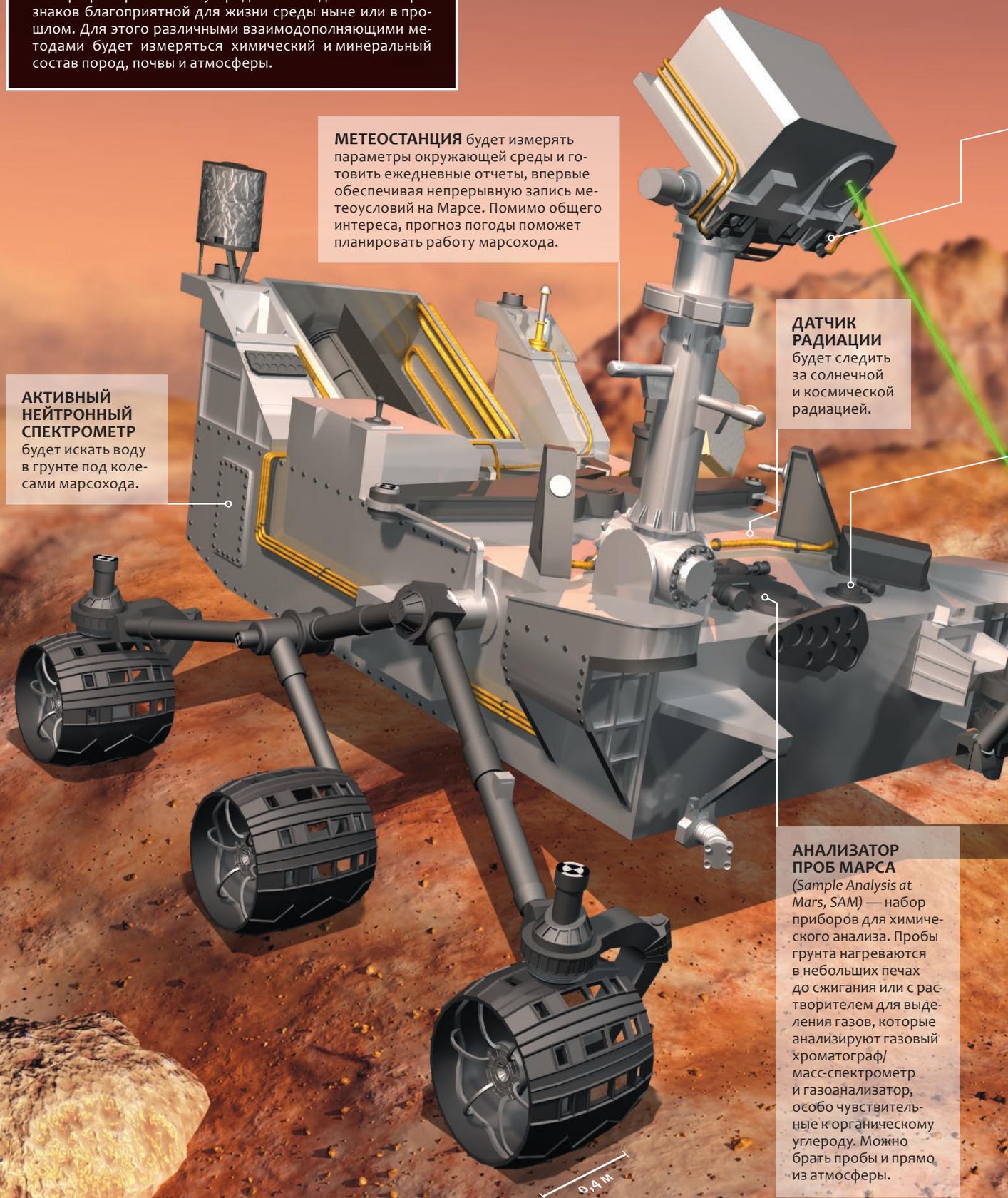
Набор приборов *Curiosity* предназначен для поиска признаков благоприятной для жизни среды ныне или в прошлом. Для этого различными взаимодополняющими методами будет измеряться химический и минеральный состав пород, почвы и атмосферы.

**МЕТЕОСТАНЦИЯ** будет измерять параметры окружающей среды и готовить ежедневные отчеты, впервые обеспечивая непрерывную запись метеословий на Марсе. Помимо общего интереса, прогноз погоды поможет планировать работу марсохода.

**АКТИВНЫЙ НЕЙТРОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР** будет искать воду в грунте под колесами марсохода.

**ДАТЧИК РАДИАЦИИ** будет следить за солнечной и космической радиацией.

**АНАЛИЗАТОР ПРОБ МАРСА** (*Sample Analysis at Mars, SAM*) — набор приборов для химического анализа. Пробы грунта нагреваются в небольших печах до сжигания или с растворителем для выделения газов, которые анализируют газовый хроматограф/масс-спектрометр и газоанализатор, особо чувствительные к органическому углероду. Можно брать пробы и прямо из атмосферы.



**ЦВЕТНЫЕ КАМЕРЫ** могут показать как ландшафт, так и тонкую структуру поверхности с высокой четкостью. Это поможет ученым воссоздать процессы, сформировавшие горные породы и почву, возможно, при участии жидкой воды. А камера, установленная на днище марсохода и направленная вниз, покажет спуск и посадку.

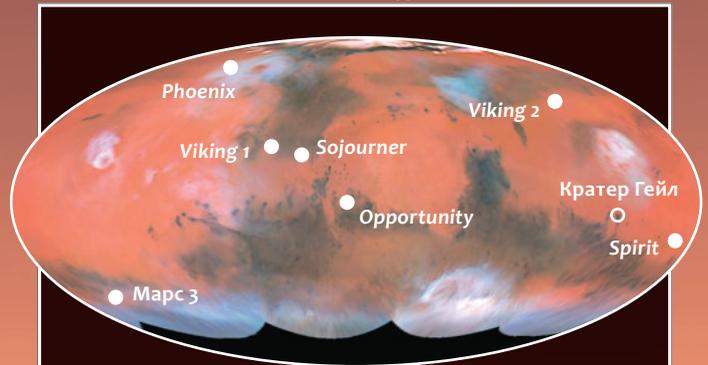
**ПРИБОР CheMin**, просвечивая рентгеновскими лучами порошок, создает дифракционную картину, по которой определяются минералы всех типов. Спектрометры на прежних аппаратах с трудом определяли, например, железосодержащие минералы.

**МАНИПУЛЯТОР** вытягивается на 2 м и несет 30 кг инструментов для бурения и размельчения пород. Набор сит сортирует порошок для приборов марсохода.

**ЛАЗЕРНО-ИСКРОВОЙ СПЕКТРОМЕТР** будет испарять частицы горных пород и почвы на расстоянии до 7 м для дистанционного анализа их химического состава.

**РЕНТГЕНОВСКИЙ и АЛЬФА-СПЕКТРОМЕТР** будет на месте определять химический состав пород и почвы.

Места посадок



### КРАТЕР ГЕЙЛ

После пяти лет изучения списка, в котором сначала было более 50 кандидатов, специалисты NASA выбрали для посадки *Curiosity* кратер Гейл. В этом древнем ударном кратере под действием длительной ветровой и метеоритной эрозии обнажились осадочные породы, древние речные отложения (следы протекавшей по поверхности воды) и богатые минералами трещиноватые местности, подобные тем, которые на Земле лежат выше подземных водоносных горизонтов.

В этом кратере диаметром 150 км доминирует центральная гора Шарп (англ. *sharp* — «крутая»), возвышающаяся более чем на 5 км над равнинами. Большинство мест на этой горе марсоход сможет достичь по нескольким путям, ведущим из района посадки. Он начнет вождение через полгода или год после приземления. Гора сложена слоями осадочных пород, которые можно читать как книгу — снизу вверх, расшифровывая хронологию древней истории планеты. Марсоход *Opportunity* изучил 15–20 м таких слоев за восемь лет работы: не так много, чтобы разгадать эволюцию марсианского климата, но достаточно, чтобы возбудить любопытство к тому, что увидит *Curiosity*.

Формирующиеся в воде осадочные породы особенно важны, поскольку могут сохранять следы жизни, если она была. Углубляясь в историю Марса, *Curiosity* сможет косвенно осветить и тот период в истории Земли, который почти полностью потерян в нашей геологической летописи: время, когда обе планеты, возможно, еще не были столь различны, т.е. когда на Марсе только началось стремительное угасание жизни, а на Земле — ее расцвет. В конце концов, высшая цель планетологии — лучше понять наш собственный дом.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Mars 3-D: A Rover's-Eye View of the Red Planet. Jim Bell. Sterling, 2008.
- Beyond Water on Mars. John Grotzinger in *Nature Geoscience*, Vol. 2, pages 231–233; April 2009.
- Paleoclimate of Mars as Captured by the Stratigraphic Record in Gale Crater. R.E. Milliken, J.P. Grotzinger and B.J. Thomson in *Geophysical Research Letters*, Vol. 37, Article No. L04201; February 19, 2010.
- Mars Science Laboratory Web site: <http://marsprogram.jpl.nasa.gov/msl>
- Интерактивные иллюстрации см. по адресу: [ScientificAmerican.com/jul2012/mars-rover](http://ScientificAmerican.com/jul2012/mars-rover)



КОСМИЧЕСКИЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ

# ПРО ВОДОНИК В КОСМОС

Факультет космических исследований МГУ им. М.В. Ломоносова впервые откроет двери студентам уже в сентябре этого года. Космонавтике очень не хватает научных кадров. Что включает в себя космическая наука? Ждут ли на орбите и в космических научно-исследовательских центрах химиков, биологов, других ученых? Об этом и многом другом мы побеседовали с научным руководителем нового факультета, первым заместителем генерального конструктора РКК «Энергия» им. С.П. Королева, летчиком-космонавтом, заведующим кафедрой «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов» МГТУ им. Н.Э. Баумана членом-корреспондентом РАН **Владимиром Алексеевичем Соловьевым**.



Член-корреспондент РАН В.А. Соловьев

**Нестандартные решения из восьмидесятих — Владимир Алексеевич, давайте заглянем в 1980-е гг., в которые вам посчастливилось дважды слетать на орбиту. Многие наши современники считают их золотым веком отечественной космонавтики: строилась станция «Мир», создавались самая мощная ракета-носитель «Энергия», которой до сих пор нет равных, многоразовый космический корабль «Буран»...**

— У нас было много проектов в то время, работали долговременные орбитальные станции «Салют», им на смену вывели «Мир»... Много получалось, но были и ошибки, аварии, правда, тогда не принято было их афишировать. И знаете, такое бережное отношение к создателям новой техники давало свою пользу — после исправления ошибок они вновь смело брались за дело.

Никогда не забуду одну очень показательную встречу с генеральным конструктором НПО «Энергия» В.П. Глушко, известным академиком, создателем ракетных двигателей, которые до сих считаются лучшими в мире. Возвращаюсь я после своего первого полета в 1984 г., и меня вызывают к нему в кабинет на доклад. Предварительно мой начальник А.С. Елисеев предупредил меня, чтобы я говорил всю правду, не скрывая даже самые неприглядные детали, мол, Глушко не потерпит никакой утайки. Ну, я все честно рассказал: о том, что



В.А. Соловьев в иллюминаторе станции «Салют-7», 1984 г.

станция «Салют-7», на которую мы летали, оказалась не слишком удачной — в жилых отсеках было довольно прохладно, плохо работала система двигательных установок и дозаправки топливом. За один полет из восьми выходов в открытый космос шесть нам пришлось выполнить только для ее ремонта. Понятно, это было не то, что хотелось услышать генконструктору, который постепенно становился суровым. Елисеев толкает меня ногой под столом, мол, хватит, достаточно, перебрал с правдой. А Глушко вдруг говорит фразу, которую я запомнил на всю жизнь: «Вот что, молодые люди, когда мы в начале войны работали в шарашке, мы верили, что скоро закончится война и мы полетим на Марс... Идите работайте, я вас понял». Космической романтикой было пропитано все в те годы. Например, в отделе, которым в начале 1970-х гг. руководил М.К. Тихонравов, тоже известный ученый, создатель первой ракеты ГИРД-10, висел лозунг: «Тем, кто не верит, что мы через три года полетим на Марс, не место в нашем отделе!»

— **Во время своего полета на орбиту с Л.Д. Кизимом вы выполнили задачу, подобную которой до сих пор не повторил ни один другой экипаж, — перелет с одной орбитальной станции к другой и обратно. Как это произошло?**

— Вот еще один пример того, как неприятности, как это ни парадоксально, могут стимулировать развитие космонавтики, заставляя инженерную мысль находить нестандартные решения. Перед тем нашим полетом в 1983 г. на Байконуре

произошел серьезный отказ техники: ракета-носитель «Союз-У» (11А511У) с кораблем «Союз Т-10А», в котором находились Володя Титов и Гена Стрекалов, взорвалась прямо на старте. К счастью, система аварийного спасения сработала четко и капсула с людьми была вовремя отстрелена. Но возникла проблема с нехваткой пилотируемых кораблей для доставки космонавтов на «Салют-7» (к ней как раз собирались лететь Титов со Стрекаловым). Нас с Кизимом готовили ко второму полету на новую станцию «Мир», которую нам предстояло первыми обжить и доукомплектовать. «Мир» без людей в автоматическом режиме долго летать не мог. А на «Салюте-7», также летавшем на тот момент без космонавтов, был набор дорогостоящей аппаратуры, на которой надо было провести как можно больше рабочих сеансов, а часть приборов перевезти на станцию «Мир». Возникла задача: как, имея один корабль, посетить две станции? Так и родилось решение, что мы с Леонидом облетим сразу два объекта — сначала «распечатаем» «Мир», а потом, вернувшись в корабль «Союз», перелетим на «Салют-7», выполним там все необходимое и вернемся обратно.

— **Это, наверное, было очень сложно и рискованно?**

— Этот метод требует серьезных запасов топлива, хорошей умственной работы на Земле и в космосе, чтобы просчитать правильную траекторию сближения. Корабль и обе станции прежде всего должны быть в одной орбитальной плоскости. А дальше, давая определенные, весьма ограниченные импульсы двигателям, вы оказываетесь либо выше, либо ниже цели. Законы баллистики весьма своеобразны: чем ниже вы находитесь, тем быстрее приближаетесь к тому объекту, который выше вас. Это будет понятней, когда вы вспомните атлетов, бегущих по стадиону: тот, кто бежит ближе к центру, опережает того, кто бежит по внешней дорожке. Что-то похожее происходит и в космосе. Чтобы оказаться на более низкой орбите, вам надо затормозиться. Вы тормозите, а скорость становится больше. Парадокс? Ровно наоборот происходит, когда вы разгоняетесь: перемещаетесь на более высокую позицию, но относительно станции, которую догоняете, ваша скорость становится меньше. Совсем не обязательно, чтобы станция эта была где-то близко. Иногда по баллистическим законам оказывается более эффективным догонять ту, которая находится на обратной стороне Земли, чем ту, которая

#### СПРАВКА

**Владимир Алексеевич Соловьев** — летчик-космонавт СССР, совершил два полета в космос на станциях «Салют-7» и «Мир» в 1984 и 1986 гг.; ученый и конструктор, специалист в области управления полетом пилотируемых космических аппаратов и комплексов. Дважды Герой Советского Союза, доктор наук, профессор, член-корреспондент РАН, первый заместитель генерального конструктора «Ракетно-космической корпорации «Энергия» им С.П. Королева, руководитель российского сегмента МКС, заведующий кафедрой «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов» МГТУ им. Н.Э. Баумана, научный руководитель факультета космических исследований МГУ им. М.В. Ломоносова.

находится близко. Наши перелеты до «Салюта-7» и обратно составили около трех суток. Методика оказалась очень удачной — мы выбрали экономный с точки зрения расхода топлива баллистический профиль и успешно вернулись назад на «Мир», перевезя с «Салюта» много полезного груза.

**— Как вы думаете, ваш опыт межорбитального перелета пригодится космонавтам в будущем?**

— Конечно, за этим будущее. Когда у нас орбите будет две-пять, а может и 25 станций (а я верю, что такое время наступит), такие транспортные операции будут очень актуальны. Например, для того чтобы на женскую станцию к 8 марта перевезти букеты с цветами. *(Смеется.)*

### Управлять МКС — сложная наука

**— Вы руководили полетом станции «Мир», вы руководитель российского сегмента МКС. Что это такое — современное управление станцией?**

— Руководитель полета отвечает за многое: безопасность пилотируемых полетов, выполнение всей программы исследований, качественную эксплуатацию и сохранность космической техники.

В зале, в котором мы с вами сейчас находимся (*главный зал Центра управления полетами. — Н. В.*), никогда не гаснут экраны, не выключается свет. Здесь всегда, независимо от выходных и праздников, находятся люди — одна из четырех рабочих смен. Это команда, включающая в себя группы инженерной поддержки, которые размещаются не только в этом зале, но и в смежных комнатах. Сутки для одной команды делятся у нас не 24 часа, как у всех, а 25: дополнительный час требуется для передачи смены. Это напоминает работу диспетчерских служб атомных станций или аэропортов.

Я как руководитель обязан присутствовать при всех сложных операциях: стыковках, выходах в открытый космос, сложных динамических операциях, которые мы впервые проводим с нашими или иностранными кораблями.

**— Как часты нештатные ситуации на борту МКС?**

— Серьезные, к счастью, случаются редко, но более мелких проблем много: бывает, что-то ломается на станции у нас или у наших коллег, но объединив усилия, мы стремимся все нештатные ситуации разбирать, находить выходы.

**— В случае непредвиденных событий вам приходится каждое действие согласовывать с центрами управления полетами других стран?**

— Поскольку станция у нас единая для всех, даже неприятности партнеров всегда воспринимаются как свои собственные. При возникновении нештатных ситуаций с помощью телеконференций организуется объединенный виртуальный центр управления полетом, который совместными

усилиями старается преодолеть проблему. У нас существует так называемое распределенное управление сложным космическим объектом: есть ЦУП в Японии, два ЦУПа в Европе — в германском Оберпфаффенхофене и во французской Тулузе, есть небольшой ЦУП в Испании, два в США — Хьюстоне и Центре космических полетов им. Маршалла. И все они должны работать единым организмованным механизмом вместе с нами.

**— А как же пословица про семерых нянек, у которых дитя без глаза?**

— По межгосударственному соглашению у нас всегда руководящим считается тот ЦУП, чьи наиболее активные работы происходят в космосе. Это так называемый центр-мастер (по аналогии с компьютерной техникой, где есть машина-мастер — центральная, которая обеспечивает все диспетчерское управление, и машина-раб, осуществляющая вспомогательные функции). Таким образом, у нас периодически мастером становится тот или иной ЦУП. Летит к станции корабль «Союз», мы — центр-мастер, выходит в открытый космос наш экипаж, мы — центр-мастер. А если летит американский корабль *Dragon* или японский *HTV*, тогда их ЦУПы на время становятся мастерами.

### Космос вносит свои коррективы

**— Расскажите о недавних научных экспериментах, которые потребовали вашего присутствия в ЦУПе.**

— Есть группа экспериментов, которые мы проводим в открытом космосе. Их сопровождает довольно много служб, и всегда есть риск, что где-то что-то пойдет не так. Такая неприятность произошла у нас с приборами для дистанционного зондирования Земли, которые космонавты в конце 2015 г. устанавливали на внешней поверхности станции. Они должны были включаться в определенное время и фотографировать подстилающую поверхность планеты с очень хорошим разрешением в разных диапазонах длин волн. Космонавты вынесли и установили в открытом космосе много блоков таких приборов, но в результате некоторых отказов внутри станции (как мы это позже выяснили) наружная аппаратура не запустилась. В результате пришлось дать команду космонавтам, которые уже были довольно уставшими после нескольких часов работы в открытом космосе, отстыковать оборудование и возвращать все внутрь до выяснения причин. Выяснением мы занимались в течение всех новогодних праздников. Сейчас эта система переустановлена заново и работает исправно.

**— Помню, с системой автоматического причаливания «Курс» были проблемы. С ней тоже разобрались?**

— С системами радиолокационного сближения космических аппаратов мы работаем очень давно, еще с 1969 г., когда первую такую стыковку

осуществили Владимир Шаталов, Алексей Елисе-ев, Борис Воинов и Евгений Хрунов. Взаимное нахождение в космосе двух аппаратов, летящих со скоростью 8 км/с, с шестью степенями свободы — непростая задача. Наверное, сейчас можно говорить о том, что система работает надежно. Но, как вы заметили, бывают сбои. Помимо отказов это бывает связано, как у нас иногда говорят, с «божественными силами». В основном сбой связан с тем, что МКС постоянно меняет свою архитектуру. Это живой организм, в котором периодически появляются новые программы, новая аппаратура, совершенствуется интеллект. Эти изменения очень существенны для радиолокационных систем, поскольку все панели солнечных батарей, антенны, радиаторы отражают радиоволны. Мы иногда видим незапланированные волновые переотражения и всегда готовы перейти на ручные режимы стыковки. В этом случае также обязательно мое присутствие в ЦУПе, я напрямую руковожу этим процессом.

### Ученые будущего

#### — Как пришла идея создать на базе МГУ новый факультет космических исследований?

— Это идея ректора университета В.А. Садовниченко, который в течение года ее вынашивал. Мы несколько раз беседовали на эту тему. Несмотря на то что моя альма-матер — МГУ им. Н.Э. Баумана, где я руковожу кафедрой, я уже лет семь читаю и в МГУ на мехмате лекции по баллистике, теории космического полета и небесной механике. В университете также преподается курс «Космонавтика для всех», который посещают до 100 студентов с разных факультетов: юридического, журналистики, мехмата — и я стараюсь простым языком рассказывать им, что такое космические аппараты, в чем отличия одного от другого, их достоинства. Объясняю, как проводятся некоторые научные эксперименты. И вот как-то раз В.А. Садовничий говорит: «МГУ уже запустил несколько своих спутников, а специалистов высшего класса по исследовательской космической тематике не хватает. Надо создавать отдельный факультет». С этого момента начали думать, разрабатывать учебную программу, подыскивать преподавателей.

#### — Кто сможет стать студентом нового факультета?

— Претендовать на поступление смогут выпускники бакалавриата почти всех естественно-научных факультетов, интересующихся космическими исследованиями и их проведением на борту, внедрением результатов в нашу земную жизнь. Факультет космических исследований станет для молодежи, болеющей космосом, следующей образовательной ступенькой — магистратурой, где они смогут раскрыть свои таланты в полной мере. В конце марта факультет проведет для всех желающих день открытых дверей, а 1 сентября «космическая»

магистратура МГУ примет первых учащихся. Уже определено, что одним из вступительных экзаменов будет экзамен по математике с элементами математической физики. Кстати, набор осуществляется не только из выпускников бакалавриата МГУ — мы приглашаем студентов из разных вузов.

#### — Сколько лет будете обучать космических специалистов и будете ли готовить их к полетам?

— Не исключено, что кто-то из студентов в будущем станет космонавтом. Но это не прямая цель обучения на факультете. Через два года (столько будет длиться обучение) они будут подготовлены для работы в организациях космической отрасли, которые занимаются экспериментами в космосе, или в академических институтах, например таких как Институт космических исследований или Институт медико-биологических проблем РАН. Мы намерены серьезно сотрудничать с такими организациями, чтобы в процессе обучения нашим студентам предоставлялась возможность попробовать свои силы на их современных научных стендах, в настоящих лабораториях, — по-другому нельзя. Кстати, мы заинтересованы и в подготовке талантливых преподавателей — ученых из тех



Иммерсионные ванны

же институтов, которые должны уметь объяснить, заинтересовать наших студентов своими исследованиями, ведь им потом вместе работать.

#### — Расскажите об основных направлениях космических исследований, с которыми придется столкнуться в будущем вашим выпускникам.

— Мы ведем в космосе исследования по нескольким основным направлениям. Сегодня очень развито направление космической медицины, которая познает человека в условиях космоса, помогает ему приспособиться. После первых полетов Юрия Гагарина и Германа Титова была эйфория — они возвращались с хорошим самочувствием. Беспечность закончилась в конце 1970-х гг., после 18-суточного полета Виталия Севастьянова и Андрияна Николаева, которые вернулись в очень плохом состоянии и практически не могли

себя обслуживать. И вот в Институте медико-биологических проблем РАН, который возглавлял тогда О.Г. Газенко, задумались над системой профилактики неблагоприятного воздействия длительной невесомости на человеческий организм. Была создана целая система с набором методик предполетных, орбитальных и послеполетных тренировок, которая теперь позволяет космонавтам возвращаться на родную планету в хорошем состоянии не только по истечении 18 суток, но и после годовых и полугодовых полетов. Как вы знаете, рекорд нашего Валерия Полякова, который прожил на орбите 437 суток и 18 часов, до сих пор никем не побит. И даже после того космического марафона Валерий сразу после приземления мог передвигаться на своих ногах. Сейчас направление космической медицины возглавляет в нашей стране академик А.И. Григорьев.

Следующим очень востребованным научным направлением я бы назвал космическую биологию. Уже сегодня в невесомости создано множество белков, выведены штаммы, которые обладают удивительными свойствами для фармакологии и экологии. Например, есть белки, которые больше всего на свете любят нефть, ею питаются. Мы проверяли это их свойство, «расселяя» в местах бывших бензоколонок с нефтяными разводами. Через год их было не узнать — там росла зеленая трава. А ведь эти же белки с таким же стопроцентным успехом можно использовать и в море, в местах разливов топлива.

#### — Почему именно в космосе удалось создать такие белки?

— Это объясняется многими особыми условиями, например микрогравитацией. Есть кристаллы, в том числе и белковые кристаллы, которые в космосе развиваются и растут не так, как на Земле. Это удивительное свойство, которым было бы грех не воспользоваться. Еще среди важных направлений исследований я бы выделил дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ). Безусловно, для решения ряда задач можно было бы ограничиться и аэрофотосъемкой с высоты 10 тыс. м. Но леса постепенно растут, меняется природный ландшафт, увидеть подобные, более глобальные изменения можно только при помощи более панорамной съемки из космоса. Она требует расшифровки, а для этого нужны высококлассные специалисты. Недавно я разговаривал с коллегами — из Европейского космического агентства. Они рассказали мне, что для обработки спутниковой информации им пришлось создать сложную дорогостоящую наземную аппаратуру, сопоставимую с той, что отправили в космос.

Кроме всех ранее названных еще есть проблемы, связанные с астрофизикой, с космической погодой, от скачков которой страдают не только метеозависимые люди, но и животные, выходят из строя

линии электропередач и газопроводы. Можно остаться без энергообеспечения только от одной вспышки на Солнце!

Не менее важно и космическое материаловедение, позволяющее получать исходные материалы для современной микроэлектронной промышленности. Благодаря отсутствию в космосе гравитации там удается смешивать несмешиваемые на Земле вещества. Взять, например, металл с большим удельным весом, такой как золото, и более легкий алюминий, сплав которых в земных условиях получить невозможно, а в космосе, где их удельный вес исчезает, гораздо легче. Такой сплав обладает новыми физическими и электрическими свойствами — всеми качествами золота,



Лунный корабль (находится в музее РКК «Энергия»)

но при этом весит гораздо меньше, что очень ценно для многих отраслей промышленности, в первую очередь ракетостроительной. Актуальны сейчас и многослойные конструкции (из них делают, например, легкие бронжилеты). Суть их создания заключается в наиболее равномерном распылении материалов для создания идеального «пирога». И опять же в этом нам помогают невесомость и настоящий вакуум, который на Земле создать очень сложно, а на станции открыл заглушку специального резервуара, выпустил весь воздух наружу — вот тебе и идеальный вакуум.

Ученых, области интересов которых пересекались бы на стыках естественных наук и космонавтики, сейчас не хватает — не все пока почувствовали ветер новых технологических перемен, связанных с более активными работами



Слева направо: Л.Д. Кизим, В.П. Глушко, В.А. Соловьев

в космическом пространстве. Но в будущем, я уверен, это направление получит очень широкое развитие. И те немногие, которых мы сегодня обучим, будут дорогого стоить.

### Лунное притяжение

**— Вы, когда только начинали работать в РКК «Энергия», проектировали двигательную установку системы управления лунными модулями. Сейчас эту систему можно использовать для современной разрабатываемой техники?**

— Мы так и делаем, правда, с определенной ее модернизацией и улучшением. В 1970-х гг. я принимал участие в создании системы ориентации для так называемой лунной кабины, чем-то отдаленно напоминающей спускаемый аппарат. Двигатели ориентировали кабину в полете и при заходе на посадку, эти же доработанные двигатели и другие компоненты были уже использованы на станциях «Салют», а потом и в созданной нами новой системе дозаправки топливом в космосе. Система успешно работает у нас с 1978 г., и ее до сих пор покупают у нас западные партнеры.

**— Сейчас многие страны вновь направили взоры к Луне, и у нас тоже заговорили о создании станции и даже поиске ископаемых на нашем спутнике. Думаете ли вы о подготовке кадров для этой экзотической отрасли?**

— Я бы так далеко не загадывал. Сейчас, спустя 55 лет после полета Юрия Гагарина, мы освоили только полеты на земную орбиту. Если двигаться вперед последовательно, то ближайшая актуальная задача — освоение транспортной системы, на которой мы могли бы уверенно добираться до орбиты Луны, существовать на ее орбитальных станциях, спускаться на поверхность и возвращаться обратно.

**— Американцы, которые уже летали на Луну, наверняка находятся сейчас немного впереди в деле ее освоения?**

— Я был знаком со многими ветеранами американской астронавтики, например с руководителем полета программы «Аполлон» Джинном Кранцем, который говорил, что тот проект был очень рискованным. Несмотря на то что они его успешно провели, долго еще вспоминали о неудаче, постигшей участников миссии «Аполлон-13», которые так и не смогли прилуниться и с большим трудом вернулись на Землю. Так что и они, и мы понимаем сегодня, что Луна по-настоящему еще не освоена никем.

**— Какой из предлагаемых сейчас транспортных лунных проектов вам кажется более жизнеспособным: многоступенчатая сборка лунной транспортной системы на орбите и последующий ее запуск на спутник или подъем и вывод всего комплекса на супертяжелой ракете-носителе типа «Энергия»?**

— Тут нет однозначного ответа. Многоступенчатость, увы, не предполагает особой надежности. Всегда есть опасность, что одна из ступенек подломится. Суперракету можно создать, но на это потребуется на порядок больше средств. Я сторонник следующей схемы: у нас есть базовая орбитальная станция, на которую могут отдельно доставляться элементы будущих космических аппаратов, их можно там собирать, заправлять, испытывать все системы и лишь после этого отправлять в пилотируемом или беспилотном варианте к Луне. Ведь для всех космических аппаратов большой риск отказов существует лишь на активном участке выведения с серьезными перегрузками и сильной вибрацией.

**— В завершение нашего разговора хотелось бы задать вопрос о российской новой орбитальной станции, которая должна появиться после 2024 г. Какой вы ее себе представляете?**

— Любая техническая задача может быть успешно решена, если она базируется на предшествующем позитивном опыте. У нас есть целый набор станций, от которых мы должны взять лучшее. Мы сейчас конструируем новые модули для МКС таким образом, чтобы они взяли на себя потом основные функции новой станции. Главные принципы, которые должны учитываться, поняли все: конструкция обязательно должна быть модульной, сделанной по принципу подводной лодки, все бортовые системы должны управляться бортовыми вычислительными машинами с многократным дублированием. Сейчас на МКС более сотни таких машин обеспечивают работу искусственного интеллекта с элементами нейросетей, которые которые максимально снижают риск ситуации полного выхода станции из строя. Можно сказать, что хороший задел для нового российского космического форпоста уже создан. ■

Беседовала Наталья Веденева



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

# Научная Россия



Взгляд на науку  
с пристрастием

**Актуальная информация** о науке и технике в России и в мире  
**Открытия** в разных областях фундаментальной и прикладной науки  
**Новости** из научных центров и вузов страны и мира

[scientificrussia.ru](http://scientificrussia.ru)

Дамон Ландау и Натан Стрэндж

# Путь на Марс

*Используя методы исследования планет автоматическими зондами, можно сделать полеты астронавтов к астероидам и Марсу более быстрыми и менее затратными*



Illustration by Patrick Leger



**Мы уже там.** Предполагаемый путь космических путешественников пролегает через астероиды и спутник Марса Фобос на поверхность Красной планеты. Так художник представляет себе эти этапы.

## ОБ АВТОРАХ

**Дамон Ландау** (Damon Landau) — аналитик по исследованию дальних планет Лаборатории реактивного движения NASA. Он участвовал в разработке траектории полета недавно запущенного зонда «Юнона» к Юпитеру и анализировал возможность полета астронавтов к околоземным астероидам.



**Натан Стрэндж** (Nathan J. Strange) — конструктор Лаборатории реактивного движения NASA. Он был в группе навигации зонда «Кассини-Гюйгенс», исследующего Сатурн, и участвовал в подготовке облета спутников Сатурна с помощью гравитационных маневров. Он также готовил техническую документацию для будущих пилотируемых полетов.

**В** октябре 2009 г. небольшая группа исследователей космоса с помощью автоматических зондов решила отвлечься от любимой работы и устроить мозговой штурм для поиска новых способов полета человека в космос. Подтолкнуло нас к этому то, что комиссия Августина — группа экспертов под руководством Нормана Августина (Norman Ralph Augustin), созданная в том же году Бараком Обамой для изучения вопроса о космическом шаттле и его вероятном преемнике, доложила, что «программа США космических полетов человека, по-видимому, несостоятельна». Имея впечатляющую программу космических зондов, позволившую исследовать Солнечную систему от Меркурия «до самых до окраин», мы попытались найти технический подход для решения политических и бюджетных проблем NASA.

Вот некоторые наши идеи: использовать ионные двигатели для доставки компонентов лунной базы; лучом передавать энергию роверам на спутнике Марса — Фобосе; снабдить Международную космическую станцию (МКС) мощными ионными двигателями на эффекте Холла и перевести ее на орбиту вокруг Марса; распределить ракеты с химическим топливом вдоль межпланетной траектории, чтобы астронавты по пути могли воспользоваться ими; вместо скафандров использовать индивидуальные капсулы, как в фильме «2001 год: космическая одиссея»; не посылать астронавтов к астероиду, а доставлять астероид (очень маленький) к астронавтам

на космическую станцию. Подсчитав, мы увидели, что электрический реактивный двигатель — ионный или ему подобный — может значительно уменьшить стартовую массу, необходимую для посылки человека к Марсу или астероидам.

Это было похоже на возврат в NASA 1960-х гг., разве что без сигаретного дыма. Стремясь не заикливаться на критике, мы обсуждали, что и как можно сделать. После предварительного анализа мы устроили семинар с коллегами из Лаборатории реактивного движения NASA, на котором обобщили все выводы и расчеты. Затем всю весну и лето мы встречались с инженерами и учеными, заинтересовавшимися нашими разработками и предлагавшими разные идеи для их улучшения. Мы познакомились с результатами экспериментов, проведенных в NASA и других организациях: от испытаний мощных электрических двигателей до конструкций легких и высокоэффективных солнечных батарей. Наши дискуссии переросли в широкий инженерный поиск на многих уровнях — от космического агентства до аэрокосмической промышленности.

Сейчас мы собрали все наиболее удачные предложения с проверенной и надежной технологией для разработки плана посылки астронавтов к околоземному астероиду 2008 EV5 в 2024 г. В качестве подготовки полета на Марс. Этот проект разработан в рамках нынешнего бюджета NASA, причем — что важно — разбит на ряд последовательных задач, что позволит форсировать или

## ! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Политика США в области космонавтики резко меняется. NASA отказалось от шаттлов, приостановило программу Constellation, которая должна была их заменить, и решило поручить запуски на орбиту внешним организациям. NASA хочет вернуться к тому, что у него лучше всего получается двинуться туда, где еще никто не бывал. Но как?
- Авторы считают: инженерам нужно учитывать в своих планах, что политика и впредь будет меняться предсказуемо. Поэтому нужно конструировать космические системы, которые можно наращивать или сокращать при изменении обстоятельств.
- Межпланетные аппараты с ионными двигателями со временем смогут обеспечивать все более сложные экспедиции: на окололунную орбиту, к околоземным астероидам и, наконец, к Марсу.

## Гибкая стратегия

## МНОЖЕСТВО СПОСОБОВ ПУТЕШЕСТВОВАТЬ В КОСМОСЕ

В прошлом пилотируемая космонавтика США развивалась по принципу «все яйца в одну корзину»: намечалась одна цель и одна система для ее достижения. Но теперь все изменилось. Намечен широкий набор целей в межпланетном пространстве, требующий все более сложных экспедиций. Мы предлагаем свою программу (зеленые стрелки) и ее варианты

(синие стрелки). Объекты показаны здесь в порядке нарастания сложности. Транспортные средства можно использовать многократно для разных экспедиций в разной последовательности, применяя разные технологии, если возникают технические проблемы или политики не могут найти требуемое финансирование.



замедлять темп работы в зависимости от финансирования. Коротко говоря, наша цель — использовать разработки беспилотных исследований для обновления техники пилотируемых полетов.

### Малыми шагами к гигантскому скачку

Доклад комиссии Августина вызвал мощное политическое противостояние, которое привело к решению передать большую часть задач по запуску астронавтов на орбиту частным компаниям (см.: Фридман Д. *Старт орбитальной экономики* // *ВМН*, № 2, 2011). Теперь NASA может заняться новыми технологиями и продвигать человечество к новым рубежам. Но как это агентство будет двигаться вперед без политической поддержки и ресурсов, имевшихся у него в счастливые дни лунной программы «Аполлон»?

Возможности космических роботов постоянно растут: появляются новые технологии, позволяющие ставить все более сложные задачи. Вместо того чтобы детально разрабатывать стратегию достижения одной цели, программа беспилотных исследований использует новейшие технологии для достижения разнообразных целей. Разумеется, все в мире несовершенно, и эта программа тоже имеет свои проблемы и недостатки. Но она по крайней мере не сворачивается при смене политического ветра или задержке с развитием технологий. Похожую стратегию можно использовать и для пилотируемых полетов. Нет необходимости начинать с «гигантского скачка», как это было в случае «Аполлона». Лучше продвигаться небольшими шагами с опорой каждого следующего на предыдущий.

Некоторые считают, что для исследований нужны роботы, а человека вообще не нужно использовать. Если бы единственной целью NASA были научные открытия, то зонды-роботы были бы предпочтительны из-за их дешевизны и отсутствия риска для людей. Но цель NASA — не только наука. Наука — всего лишь одна из причин тяги людей к исследованиям. Изучение космоса привлекательно не только для ученых, но и для обычных людей, которые хотят когда-нибудь сами соприкоснуться с ним. Зонды-роботы делают лишь первый шаг в исследовании Солнечной системы. Вторым шагом будут экспедиции астронавтов, финансируемые правительством, а третьим станет поиск своей судьбы и приключений в космосе самими гражданами. Прежние инвестиции NASA пошли на развитие технологий, ставших основой для конкурирующих теперь коммерческих проектов по созданию капсул для полетов к космической станции и ракетопланов, взлетающих над пустыней Мохаве (см.: Хорват Д. *Космический туризм* // *ВМН*, № 7, 2004). Теперь NASA может разрабатывать новые технологии, которые нужны для более глубокого проникновения в космос.

### Наш лозунг — гибкость!

В основе наших рекомендаций лежат три принципа. Первый из них — «гибкий подход», одобренный комиссией Августина и принятый президентом Обамой и Конгрессом. Этот подход заменяет устаревшее требование четкого плана «Земля — Луна — Марс» на широкий выбор возможных направлений. Нам следует начинать с ближайших целей, таких как точки Лагранжа (области

пространства, где объект движется синхронно с планетами под действием их гравитации) и близких к Земле астероидов.

Гибкий план предусматривает использование новых технологий, особенно электрореактивных двигателей. Мы предлагаем применять двигатели на эффекте Холла (тип ионного двигателя), питаемые от солнечных батарей. Такой системой оснащен зонд «Рассвет» (*Dawn*), запущенный к астероиду Веста, после чего он направится к карликовой планете Церера и должен прибыть к ней в 2015 г. (см.: Чуэйри Э. *Новый рассвет электрических ракет* // *ВМН* № 5, 2009). Традиционные ракеты на химическом топливе дают мощный, но кратковременный поток газа, а электрический двигатель испускает слабый, но длительный поток частиц. Такой двигатель эффективен, поскольку он потребляет меньше топлива (фактически — космический вариант гибридного автомобиля *Toyota Prius*). Но ценой этой эффективности стала слабая тяга, так что некоторые экспедиции могут затянуться. Считается, что электрические двигатели слишком медленны для полетов с экипажем, но эту проблему можно решить. Идея, возникшая при нашем первом мозговом штурме, состоит в том, чтобы использовать электрореак-

## Для полета к астероиду NASA не придется создавать абсолютно новые системы, как это было в 1960-е гг.

тивный двигатель для беспилотной доставки ракет с химическим топливом в ключевые точки траектории, создавая что-то вроде тропинки из хлебных крошек. Когда тропинка сформирована, астронавты смогут переходить из своего корабля в следующий, и так по всему пути: получается экономия топлива за счет электрического двигателя и сохраняется скорость химической ракеты.

Электрический двигатель экономит деньги. Раз кораблю не нужно заправляться большим количеством топлива, его масса уменьшается на 40–60%. Стоимость космической экспедиции находится почти в прямой зависимости от стартовой массы корабля. Таким образом, уменьшение массы вдвое в столько же раз снижает расходы.

Многие энтузиасты космонавтики спрашивают, почему мы хлопочем о путешествии к астероидам, тогда как все мечтают о полетах на Марс? Но ведь астероиды — действительно идеальная цель при подготовке экспедиций к Марсу. Тысячи из них движутся в пространстве между Землей и Марсом, образуя удобные «ступеньки» на пути в дальний космос. У астероидов очень слабая гравитация, поэтому посадка на них требует гораздо меньше энергии, чем на Луну или Марс. Весьма трудно организовать длительную межпланетную экспедицию, — от шести до 18 месяцев, — без создания сложных кораблей, способных садиться и взлетать. А полеты к астероидам позволят сосредоточиться на том, что

мы считаем самой сложной проблемой дальних экспедиций: на защите астронавтов от вредного влияния невесомости и космической радиации (см.: *Паркер Ю. Защита космических путешественников* // *ВМН*, № 6, 2006). Когда NASA накопит опыт в преодолении этих проблем, настанет время создавать корабли для полетов на Марс.

Астронавты смогут посетить несколько интересных с научной точки зрения астероидов за время полета, который займет от полугода до полутора лет. Для этого можно использовать электрический двигатель мощностью 200 кВт, более совершенный, чем применялись до сих пор. Уже сейчас на МКС панели солнечных батарей дают суммарную мощность 260 кВт. Такой полет должен открыть путь к далеким космическим путешествиям. Он станет первым шагом к двух- и трехгодичным путешествиям с двигателем мощностью 600 кВт, который нужен для полета на Марс.

Второй важный принцип нашего плана состоит в том, что NASA не придется создавать все абсолютно новые системы, как это было в 1960-е гг. Некоторые системы, особенно для борьбы с невесомостью и защиты от радиации, потребуют новых подходов. Но для всего остального уже есть готовые решения. Корабль для межпланетных полетов можно собрать из нескольких специализированных блоков. Например, корпус, солнечные батареи и системы жизнеобеспечения, используемые на МКС, могут быть адаптированы. Многие частные компании и космические агентства других стран накопили в этой области большой опыт, и NASA сможет им воспользоваться.

Третий принцип заключается в создании программы, обеспечивающей продвижение вперед даже в том случае, если один из ее компонентов столкнется с проблемами или вообще не реализуется. Этот принцип нужно применить и в отношении самого важного компонента космической политики, обсуждаемой в Конгрессе: в отношении ракеты-носителя для доставки астронавтов и научных зондов с поверхности Земли на орбиту. Конгресс предписал NASA построить новую мощную ракету *Space Launch System* (SLS, система взлета в космос). Как объявили в прошлом сентябре, NASA планирует разрабатывать этот корабль поэтапно, начав примерно с половины грузоподъемности аполлоновского «Сатурна-5» и затем совершенствовать его. Сейчас работают над первым носителем систем SLS и капсулой «Орион», на которых астронавты смогут отправиться в трехнедельное путешествие к лунной орбите и точкам Лагранжа. Но для более далеких путешествий следует совершенствовать систему.

К счастью, для межпланетных путешествий не нужно ждать, пока будет создана SLS. Уже сейчас можно заняться усовершенствованием систем жизнеобеспечения и электрореактивных двигателей, которые понадобятся для путешествий за орбиту Луны. Создавая такие системы еще на этапе разработки новых ракет, NASA сможет оптимизировать под них конструкцию SLS и сделать ее более пригодной для межпланетных путешествий. Эти компоненты нужно сконструировать даже так, чтобы они сопрягались с коммерческими

и иностранными носителями, а затем собирать из них конструкции на орбите, как это было с МКС и станцией «Мир». Использование уже существующих ракет могло бы придать импульс изучению межпланетного пространства. Имея на вооружении набор гибких решений, NASA сможет проводить больше исследований даже при ограниченном бюджете.

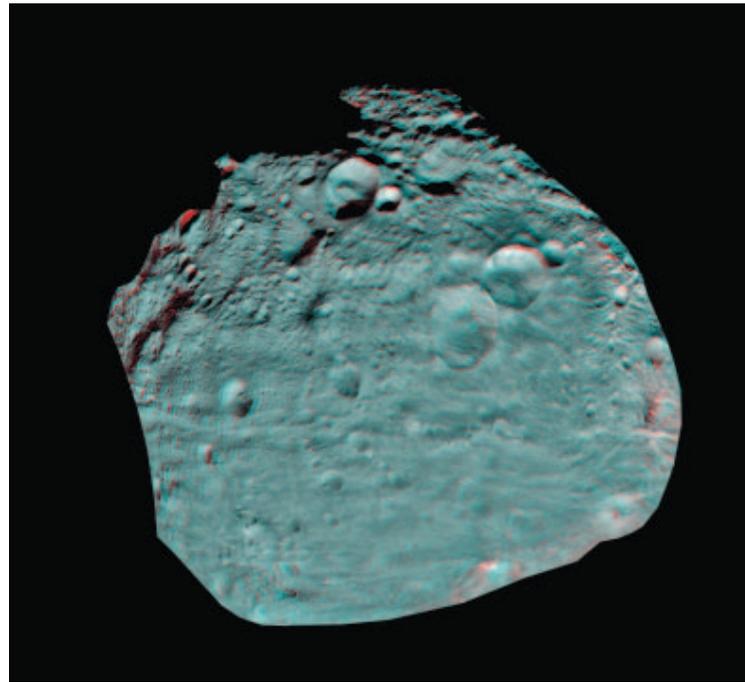
### Экспедиция к астероиду 2008 EV5

По нашему плану возрождение NASA начнется с создания межпланетного корабля. Ионный двигатель на солнечных батареях обеспечит полет, а новый жилой блок станет надежным убежищем вдали от дома. Типичный межпланетный корабль должен состоять из двух модулей, которые сможет доставить на низкую околоземную орбиту самая малая из новых ракет SLS. Но можно использовать и три коммерческие ракеты: две для компонентов корабля и одну для припасов в путешествии.

Как ни странно, первый рейс окажется самым скучным. В течение двух лет управляемый с Земли беспилотный корабль будет подниматься по спирали с низкой околоземной орбиты сквозь радиационные пояса на высокую околоземную орбиту. Это экономное, но слишком долгое с точки зрения радиационной безопасности астронавтов путешествие. Когда корабль достигнет внешней границы области гравитационного контроля Земли, легкий толчок сможет послать его в орбиту Луны, чтобы совершить маневр для изменения орбиты и успешного полета дальше. Вот тогда астронавты и подсядут на корабль, взлетев с Земли на обычной химической ракете.

В испытательном полете астронавты выведут корабль на окололунную орбиту, которая позволит им большую часть времени оставаться над южным полюсом Луны, откуда они смогут управлять роботами, исследующими древние отложения льда в вечно темных кратерах бассейна Эйткен. Такая экспедиция позволит сочетать длительные исследования с высоким уровнем безопасности всего в нескольких днях полета от Земли. После возвращения экипажа на Землю межпланетный корабль останется на высокой околоземной орбите, ожидая дозаправки и профилактики для своего первого полета к астероидам.

Мы обдумали разные варианты таких экспедиций. В некоторых из них астронавты должны встретиться с малыми объектами (диаметром менее 100 м) недалеко от Луны и вернуться обратно менее чем через полгода. В других они должны лететь почти до Марса к объектам крупнее километра и вернуться обратно в течение двух лет. Если ограничиться самыми легкими вариантами, то исследования могут затормозиться, и мы окажемся в технологическом тупике. С другой стороны, стремление к самым сложным вариантам может постоянно приводить к отказу от важных экспедиций, поскольку намеченная цель слишком далека и труднодоступна. Между этими крайностями мы ищем золотую середину. Например, это может быть годовое путешествие в 2024 г. к астероиду 2008 EV5 с проведением его исследований



**Астероид Веста**, вокруг которого сейчас летает зонд NASA Dawn. На зонде установлен высокоэффективный ионный двигатель, который в будущем смогут использовать для межпланетных полетов астронавты. (Это стереоизображение можно рассматривать в красно-синих очках.)

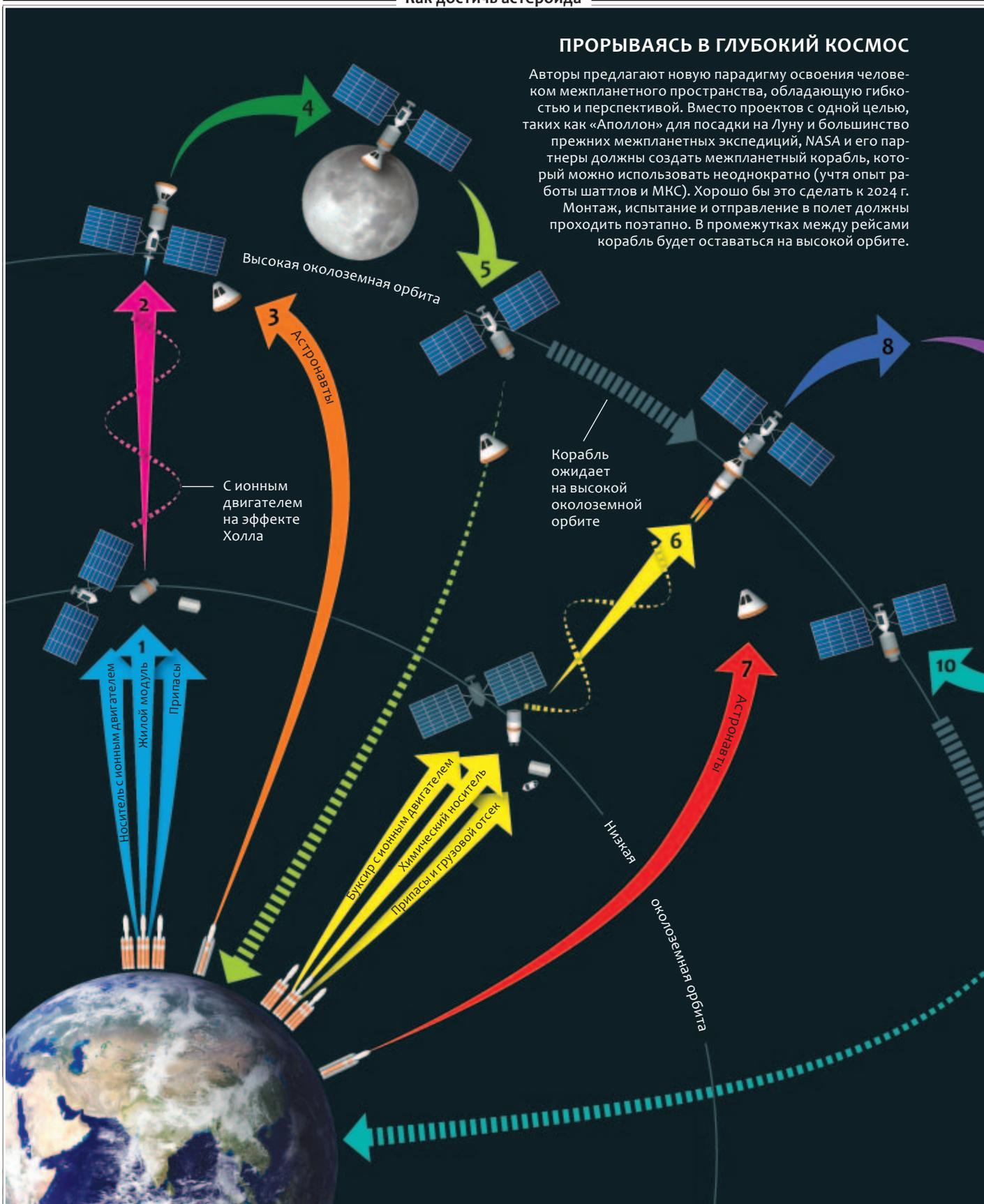
в течение 30 суток. Этот астероид диаметром около 400 м относится к тому типу, который интересен многим планетологам, — углеродистые астероиды типа С, вероятные остатки формирования Солнечной системы и возможный первоисточник органического вещества на Земле.

Простейший способ отправиться к астероиду — использовать притяжение Земли для маневра, известного как эффект Оберта. Это способ обратный тому, который обычно применяют для перевода межпланетных зондов на околопланетную орбиту. Для подготовки к нему межпланетный корабль дополняют ступенью с химическим двигателем высокой тяги; ее доставит с Земли буксир с ионным двигателем. После того как ступень пристыкуют и экипаж взойдет на борт, межпланетный корабль начнет падать из окрестностей лунной орбиты почти до атмосферы Земли, чтобы набрать большую скорость. Затем в определенный момент двигатель высокой тяги запускают, и корабль за минуту преодолевает притяжение Земли. Этот маневр лучше всего работает в тот момент, когда корабль с максимальной скоростью движется вблизи Земли, т.к. прирост энергии корабля пропорционален его скорости. Эффект Оберта — исключение из правила, гласящего, что ионный двигатель эффективнее химического. Чтобы полностью использовать преимущество такого маневра, нужна большая тяга, и только мощная ракета на химическом топливе может его обеспечить. Сочетание ионного двигателя и эффекта Оберта (с применением химического двигателя) сокращает количество топлива для преодоления земного притяжения на 40% по сравнению с чисто химической ракетой.

Как достичь астероида

ПРОРЫВАЯСЬ В ГЛУБОКИЙ КОСМОС

Авторы предлагают новую парадигму освоения человеком межпланетного пространства, обладающую гибкостью и перспективой. Вместо проектов с одной целью, таких как «Аполлон» для посадки на Луну и большинство прежних межпланетных экспедиций, NASA и его партнеры должны создать межпланетный корабль, который можно использовать неоднократно (учтя опыт работы шаттлов и МКС). Хорошо бы это сделать к 2024 г. Монтаж, испытание и отправление в полет должны проходить поэтапно. В промежутках между рейсами корабль будет оставаться на высокой орбите.



NASA (Earth and moon); illustration by Pitch Interactive

**1** Два модуля — ионный двигатель на солнечных батареях и жилой модуль — запускаются отдельно на низкую околоземную орбиту с помощью существующих государственных или коммерческих ракет типа «Дельта» (*Delta IV Heavy*). Под управлением с Земли они стыкуются в нечто вроде маленькой орбитальной станции. Третьим запущенным к ней подвозят припасы для путешествия.

**2** Ионный двигатель слишком слаб, чтобы сразу рвануть от Земли, но постоянно толкает корабль вперед, он поднимет его, как автомобиль по серпантину на вершину горы. Чтобы избежать радиации и скучного двухлетнего перелета, астронавтам пока не нужно быть на борту.

**3** Когда корабль выйдет на очень высокую орбиту, с которой он легко может преодолеть гравитацию Земли, астронавты взлетают на малой быстрой ракете.

**4** Астронавты переводят корабль на окололунную орбиту. Хотя главная цель экспедиции — испытание техники, астронавты могут выполнить и научную работу, например, управляя по радио луноходами.

**5** После полугодовых испытаний астронавты возвращаются в корабль на высокую околоземную орбиту и далее на Землю в спускаемом аппарате как у «Аполлона».

**6** Для подготовки к дальнему полету автоматический межорбитальный буксир с ионным двигателем доставляет на корабль припасы и малую химическую ракету.

**7** Когда все готово, астронавты, как и раньше, прибывают на корабль в обычной ракете.

**8** Корабль переходит на высокоэллиптическую орбиту и в момент наибольшего сближения с Землей включает ускоритель, совершая в обратном направлении маневр по выходу межпланетного аппарата на околопланетную орбиту. Поехали!

**9** Ионный двигатель нежно толкает корабль к его первой цели, возможно, к астероиду 2008 EV5. Полет занимает шесть месяцев. Экипаж в индивидуальных капсулах, как в фильме «2001 год: космическая одиссея», в течение месяца изучает астероид.

**10** Включив ионный двигатель, корабль направляется домой. Через шесть месяцев экипаж в спускаемом аппарате приземляется, а корабль, используя гравитационные маневры, переходит на высокую околоземную орбиту.

Астероид 2008 EV5

Земля, Низкая околоземная орбита, Высокая околоземная орбита, Траектория космического аппарата

Земля, Луна, Низкая околоземная орбита, Высокая околоземная орбита, Траектория космического аппарата

Отлет, Прибытие к 2008 EV5, Тяга, Возвращение, Отлет с Земли, Траектория космического аппарата

Преодолев притяжение Земли, астронавты включают двигатель на эффекте Холла и устремляются к цели. Поскольку ионный двигатель дает постоянную тягу, он обеспечивает выбор вариантов. В ходе экспедиции есть возможность в любой момент изменить траекторию для возвращения в случае нештатной ситуации. Например, японский астероидный зонд *Hayabusa* смог восстановиться после нескольких неудач именно благодаря своему ионному двигателю. Если технические или финансовые проблемы помешают нам создать к сроку межпланетный корабль для полета к астероиду 2008 EV5, можно выбрать другую цель. Столкнувшись с техническими трудностями, мы сможем импровизировать. Например, если высокоэффективное рабочее тело для ионного двигателя трудно хранить в межпланетном пространстве, то мы можем перейти на менее эффективное и соответственно изменить планы. Возможны любые варианты.

### Выгоды индивидуальных капсул

По нашему плану у астронавтов будет месяц для изучения астероида. Они смогут применять опыт подводных исследований в автономных аппаратах, т.е. вместо скафандров использовать индивидуальные капсулы. Космический скафандр — это туго надутый баллон, и астронавту при каждом движении приходится бороться с давлением воздуха, что затрудняет космическую прогулку и ограничивает действия. Капсула с автоматической рукой-манипулятором не только решает эту проблему, но и служит помещением для еды и отдыха. В капсуле астронавт может работать несколько дней. NASA сейчас создает Исследовательский космический аппарат (*Space Exploration Vehicle, SEV*), который можно будет использовать как капсулу для изучения астероидов. Эту же конструкцию позже можно переделать в луноход и марсоход.

Астронавты проведут полный обзор в поисках необычных минералов и перспективных мест для добычи образцов, возможно, очень древних, относящихся к эпохе формирования Солнечной системы. NASA должна послать команду, сочетающую в себе качества Индианы Джонса и мистера Скотта: астронавты должны обладать научными знаниями, чтобы найти зарытые в пыли нужные образцы, и быть инженерами, способными справиться с любой поломкой.

В конце месяца ионный двигатель отталкивает корабль от астероида, и спустя шесть месяцев он возвращается домой. За несколько дней до приземления команда переходит в спускаемый аппарат, отделяется от основного корабля и берет курс к Земле. Пустой межпланетный корабль остается на орбите вокруг Солнца. Он пролетает мимо Земли и продолжает торможение ионным двигателем для уменьшения энергии относительно системы Земля-Луна. Поэтому через год, когда он вернется к Земле, сможет использовать гравитационный маневр вблизи Луны для перехода на высокую околоземную орбиту, где будет ждать следующей экспедиции. Ионный двигатель и жилой модуль можно будет использовать многократно.

После нескольких полетов к астероидам протяженностью в год и модернизации систем жизнеобеспечения и радиационной защиты можно проложить дорогу к Марсу. В первой экспедиции не обязательно опускаться на поверхность планеты. Лучше сначала изучить спутники — Фобос и Деймос. По сути, это будет экспедиция к астероидам, растянутая на полтора года. На первый взгляд может показаться глупым — пройти весь путь до Марса и не опуститься на его поверхность. Но посадка может сильно осложнить дело. Полет к спутникам Марса позволит астронавтам получить опыт дальних космических путешествий до того, как решиться сесть на Марс.

**Когда-нибудь топливо будут производить на самом Марсе: либо диссоциацией атмосферной двуокиси углерода и смешиванием с доставленным с Земли водородом для производства метана и кислорода, либо же путем электролиза воды из вечной мерзлоты для производства жидкого водорода и кислорода**

Инженеры работают над увеличением гибкости и снижения стоимости программы посещения поверхности Марса. Самая рациональная тактика предполагает предварительную доставку на поверхность планеты жилых блоков и научного оборудования, так, чтобы астронавты по прибытии уже имели готовую базу. Все это можно доставить на Марс медленным (ионным) буксиром. Когда-нибудь топливо будут производить на самом Марсе: либо диссоциацией атмосферной двуокиси углерода и смешиванием с доставленным с Земли водородом для производства метана и кислорода, либо же путем электролиза воды из вечной мерзлоты для производства жидкого водорода и кислорода. Посылая на Марс пустую взлетную ступень, которую можно будет запустить на месте, организаторы полета смогут заметно снизить вес космического корабля.

Относительное движение Земли и Марса позволяет астронавтам полтора земных года работать на поверхности планеты. Так что времени для разведки будет достаточно к моменту, когда планеты вернутся к удобной для возвращения конфигурации. Окончив работу на поверхности, астронавты загружаются во взлетную ступень, запущенную произведенным на месте топливом,

взлетают на околомарсианскую орбиту, встречаются с межпланетным кораблем, уже использованным в экспедициях к астероидам, и возвращаются на Землю. Этот корабль вообще может совершать челночные полеты между Землей и Марсом, используя гравитационные маневры и почти не затрачивая топливо.

Даже с предварительной доставкой на планету оборудования аппарат для посадки и взлета с Марса будет очень тяжелым, и понадобятся самые мощные носители системы SLS для его запуска. Но первые межпланетные корабли можно собрать из небольших частей, запущенных легкими ракетами SLS или уже существующими. Рекомендуемый нами поэтапный подход должен сделать программу максимально гибкой и позволить NASA сконцентрироваться на решении действительно сложных проблем, таких как защита от радиации.

Сейчас у NASA есть отличная возможность переориентироваться на новый тип космических кораблей для межпланетных путешествий. Главная проблема состоит не в технических вопросах, а в том, как добиться наилучших результатов при минимальных финансовых затратах. Если NASA планирует непрерывно развивать технологии и осуществлять все более амбициозные проекты, то пилотируемые корабли смогут вырваться с низкой околоземной орбиты уже через 40 лет. А гибкое планирование позволит NASA проложить путь к далеким мирам. ■

**Перевод: В.Г. Сурдин**

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Plymouth Rock: An Early Human Mission to Near Earth Asteroids Using Orion Spacecraft. J. Hopkins et al. Presented at the AIAA Space 2010 Conference & Exposition, August 30 — September 2, 2010. <http://tinyurl.com/PlymouthRockNEO>
- Target NEO: Open Global Community NEO Workshop Report. Report of a workshop held at George Washington University, February 22, 2011. Edited by Brent W. Barbee. July 28, 2011. [www.targetneo.org](http://www.targetneo.org)
- Near-Earth Asteroids Accessible to Human Exploration with High-Power Electric Propulsion. Damon Landau and Nathan Strange. Presented at the AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, Girdwood, Alaska, July 21 — August 4, 2011. <http://tinyurl.com/ElectricPath>
- 300-kW Solar Electric Propulsion System Configuration for Human Exploration of Near-Earth Asteroids. J. R. Brophy et al. Presented at the 47th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, San Diego, July 31 — August 3, 2011. <http://tinyurl.com/300kWSEP>
- Космонавтика XXI века. Попытка прогноза развития до 2101 г/ Под ред. академика РАН Б.Е. Чертока. М.: РТСОфт, 2010.
- О новых идеях инженеров NASA и о том, как в эпоху «Аполлонов» планировался облет Венеры: [ScientificAmerican.com/dec2011/mars](http://ScientificAmerican.com/dec2011/mars)

# Остановить камни-убийцы

Спасением человечества от вымирания могли бы заняться NASA и другие организации

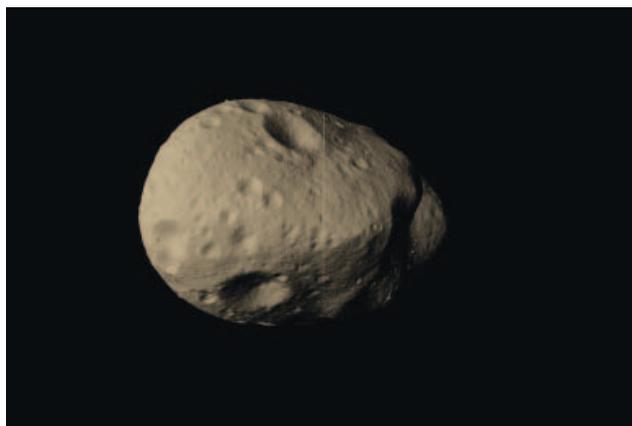
Эдвард Лу

**В** последние годы космическая программа США испытала коренную перестройку, но цели государства в космосе так и остались неопределенными. У меня есть предложение: NASA, сотрудничая с подобными агентствами других стран и частными организациями, должно заняться спасением человечества от разрушительных ударов астероидов. Что еще может быть более полезным в долгосрочной перспективе или более волнующим сейчас, чем защита человечества от гибели?

На первый взгляд, астероиды могут показаться очень далекой угрозой. Но их опасность хорошо обоснована, и последствия могут быть весьма печальными. История жизни на Земле сопровождалась падениями астероидов. По некоторым оценкам, вокруг Солнца вблизи нас обращается 1 млн астероидов диаметром более 40 м. Астероид такого размера упал на Землю в 1908 г. в Сибири и опустошил область в 150 раз большую, чем это сделала атомная бомба, сброшенная на Хиросиму. Шанс повторения такого события в нынешнем веке составляет 50%. А падение астероида диаметром более 1 км вообще может привести к гибели человечества.

Первым шагом для предотвращения опасности служит прогноз. Мы должны найти, отследить и предсказать траектории всех околоземных объектов. Астрономы уже создали каталог орбит большинства километровых объектов, и расчеты показывают, что ни один из них за ближайшие 100 лет не врежется в Землю. Но большинство более мелких объектов, способных разрушить огромную территорию или вызвать цунами, которое сметет прибрежные города, пока не обнаружены. Необходимо заполнить этот пробел и взять такие астероиды под наблюдение.

Астероиды теплее, чем фон неба, и поэтому они заметны в инфракрасном свете. Но у телескопов есть «слепое пятно»: они не могут наблюдать в направлениях, близких к Солнцу, чем сильно ограничена эффективность телескопов, размещенных на Земле или рядом с ней. Национальный исследовательский совет в 2009 г. рекомендовал NASA разместить вблизи околосолнечной орбиты Венеры спутник для инфракрасного обзора неба. Повернувшись «спиной» к Солнцу, эта обсерватория сможет обнаруживать астероиды, невидимые с Земли. Сделав такой обзор, его можно будет использовать в течение 100 лет — срок, за который орбиты астероидов меняются из-за гравитационного взаимодействия с планетами. Затем понадобится новый обзор. Цена такого проекта — несколько сотен миллионов долларов. Конечно, это дорого (хотя



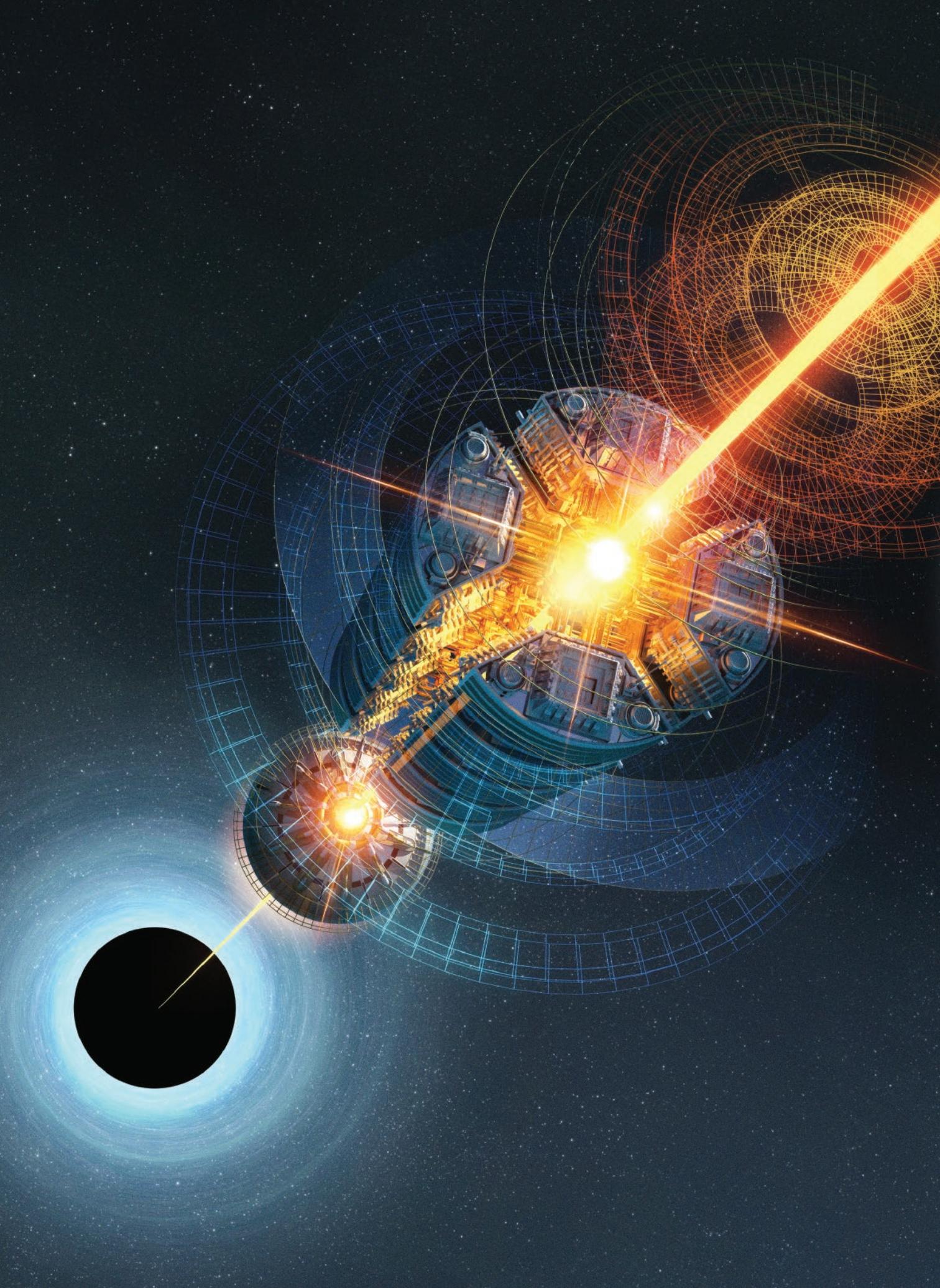
и укладывается в бюджет NASA), но оно того стоит, если представить себе ущерб от удара астероида.

Если астрономы найдут астероид, летящий к Земле, нужно будет изменить его орбиту, чтобы предотвратить удар. Если обнаружить такой астероид достаточно рано — за несколько десятилетий до его падения, — то можно будет использовать уже имеющиеся технологии: отбуксировать его, протаранить, взорвать ядерным оружием или использовать комбинацию этих методов. Мы с коллегами отстаивали идею отталкивания астероида с помощью ракеты (см.: Швейкарт Р., Лу Э., Хат П., Чапман К. *Космический буксир // ВМН, № 2, 2004*), но последние данные об особенностях астероидов и их орбитах изменили наше мнение.

Пока никто не знает, будут ли наши методы работать. Поэтому следует проверить их до того, как они понадобятся. NASA и другие организации должны создать системы отклонения орбит и испытать на уже известных, не угрожающих нам астероидах. Учитывая, что у астрономов еще нет полного обзора астероидов, существует опасность, что они обнаружат подлетающий астероид слишком поздно. Так что эту работу нужно начать прямо сейчас. Это не потребует от NASA больших финансовых затрат.

Все цивилизации во всех планетных системах должны заниматься астероидной безопасностью, если не хотят повторить судьбу динозавров. Мы должны предвидеть, когда может упасть астероид, и постараться изменить его орбиту. В сущности, мы должны управлять эволюцией Солнечной системы. ■

Перевод: В.Г. Сурдин



АСТРОФИЗИКА

# ЧТО МОЖНО ДОБЫТЬ ИЗ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ?

Адам Браун

*Представим себе, что цивилизация будущего задастся целью добыть энергию из черной дыры. Первым шагом будет постройка космического лифта, существование которого может противоречить известным физическим законам*

## ОБ АВТОРЕ

**Адам Браун** (Adam Brown) — физик-теоретик Стэнфордского университета, занимается теорией черных дыр и Большого взрыва.



**О**днажды наше Солнце погаснет. Исчерпается топливо, ведущее ядерные реакции. От неба будет веять только холодом. Если Земля и сможет пережить такой космический катаклизм, то человечество будет обречено на жизнь в вечной зиме. Для существования в таких сложных условиях станут необходимы альтернативные источники энергии. Логичным (с точки зрения научно-фантастической литературы. — Примеч. пер.) решением представляется последовательное использование сначала ресурсов самой Земли, потом Солнечной системы и, наконец, всех звезд в галактиках в видимой части Вселенной. А когда уже не останется ничего, чтобы сжечь, человечество, очевидно, обратит внимание на одни из последних запасов энергии, заключенные в черных дырах. Но есть ли возможность добыть энергию из таких объектов и спасти человечество?

Похоже, план не сработает. Рассмотрим вопрос добычи энергии из этих экзотических объектов в свете теории квантовых струн совместно со старой идеей космического лифта.

### Напрасная надежда

На первый взгляд, извлечение чего-либо из черной дыры, в том числе энергии, кажется совершенно невозможным. Черные

дыры окутаны горизонтом событий — воображаемой сферической поверхностью со свойствами мембраны, из-под которой не может вырваться даже свет. Все, что попадает внутрь этой сферы, обречено. Таким образом, все приспособления, которые могли бы попытаться разрушить черную дыру и извлечь из нее энергию, должны быть сами разрушены, падая под горизонт событий.

Например, бомба, брошенная в черную дыру, не приблизит ее уничтожения, а даже наоборот, приведет к увеличению массы черной дыры на массу, равную массе бомбы. То, что попадает внутрь черной дыры, никогда не выходит наружу: ни астероиды, ни космические корабли, ни даже свет. По крайней мере, мы



привыкли так думать. Однако в 1974 г. Стивен Хокинг (Stephen Hawking) теоретически доказал, что такое понимание черной дыры не совсем верно. Основываясь на более ранних идеях Яакова Бекенштейна (Jacob Bekenstein), Хокинг показал, что черная дыра может испускать небольшое количество излучения. Так, несмотря на то что попав внутрь черной дыры, любое тело будет уничтожено, частичка его энергии все же сможет уйти наружу из-под горизонта событий.

### ! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Зная, что время жизни нашего Солнца ограничено несколькими миллиардами лет, человечество должно отыскать другие источники энергии. На первый взгляд, очень хорошим кандидатом представляется черная дыра, наполненная энергией, поглощаемой ею из окружающего пространства.
- Для добычи энергии из черной дыры можно поставить мысленный эксперимент космического лифта (идея которого принадлежит инженеру из Санкт-Петербурга Ю.Н. Арцутанову (1960). — Примеч. пер.). Он ярко описан Артуром Кларком в научно-фантастическом романе «Фонтаны рая». Применительно к черной дыре это будет означать возможность черпать энергию ее теплового излучения.
- Лифт представляет собой трос с коробкой, которая опускается почти к горизонту событий черной дыры и добывает ее фотоны, излученные согласно механизму Хокинга. Однако даже самый прочный материал, который теоретически можно использовать для такого троса (фундаментальные струны), оказывается недостаточно крепким, чтобы извлечь что-то энергетически значимое из областей вблизи горизонта событий черной дыры.

Дело в том, что уходящая от черной дыры энергия подчиняется законам квантовой теории. Один из знаковых феноменов этой теории заключается в том, что частицы иногда способны преодолевать запрещенный для них энергетический барьер, «туннелировать». Иногда частица, расположенная по одну сторону барьера, может вдруг оказаться по другую его сторону. Никогда не пробуйте проверить такой трюк на себе: бросившись на стену, вы вряд ли окажетесь по другую ее сторону. А вот микроскопические частицы частенько такое проделывают.

Квантовое туннелирование — это процесс, который позволяет альфа-частице (ядро гелия) покинуть ядро радиоактивного урана, и еще это процесс, обеспечивающий «излучение Хокинга» для черной дыры. Применяя квантовую теорию к искривленному пространству-времени, математически можно показать, что частица преодолевает горизонт событий, туннелируя сквозь него наружу.

Казалось бы, поскольку черная дыра теряет энергию, есть надежда как-то ее заполучить. Однако вне зависимости от того, как именно будет извлекаться энергия, при детальном рассмотрении этой задачи все оказывается не так просто.

Самое очевидное решение — подождать достаточно долго. Спустя какое-то время черная дыра должна «испарить» почти всю свою энергию, отдавая в окружающее пространство фотон за фотоном. С каждой частичкой потерянной энергии черная дыра становится все меньше и меньше. (*Вопрос о финальной стадии испарения черной дыры остается открытым, поскольку ее полное исчезновение может приводить к ряду квантовых парадоксов, в том числе парадоксу потерянной информации.* — Примеч. пер.) Можно привести аналогию с чашкой кофе, которую вам очень хочется

выпить, но поверхности налитого кофе касаться категорически нельзя: остается только подождать, пока кофе испарится, а потом подышать его парами.

Выловить энергию таким образом можно, но вопрос в том, как долго придется ждать. Черная дыра невероятно тусклая: обладая солнечной массой, она светится с температурой около 60 нК. До 80-х гг. прошлого века не было известно, как получить нечто настолько холодное в лаборатории. Чтобы испариться полностью, черной дыре с массой, равной массе Солнца, понадобилось бы время, на 57 порядков больше возраста нашей Вселенной. Вообще говоря, время жизни черной дыры пропорционально кубу ее массы. Хотелось бы как-то ускорить процесс добычи энергии из черной дыры, чтобы суметь ею воспользоваться в разумные промежутки времени.

Во-первых, вовсе не обязательно ожидать, когда ушедшая от черной дыры частица достигнет бесконечности. Более того, фактически ни одна частица на бесконечность и не уйдет — она все равно будет захвачена черной дырой. Если бы удалось собрать, «отнять» у черной дыры частицы, которые туннелировали сквозь горизонт, но еще не были захвачены этой черной дырой снова, то процесс извлечения энергии протекал бы гораздо быстрее.

Для того чтобы понять, как можно «отвоевать» фотоны, нужно подробно рассмотреть силы, действующие вблизи черной дыры. Важно отметить, что фотоны движутся не по прямым линиям. Представьте лазерный луч, испущенный в непосредственной близости от горизонта событий. Для того чтобы уйти от черной дыры, луч должен быть направлен строго вертикально — даже при малейшем отклонении луч света начнет путь вокруг черной дыры и спустя какое-то время будет неизбежно поглощен.



Может показаться странным, что вращение нарушает планы по «эвакуации» частицы. Орбитальная скорость как раз удерживает тела — например, спутники — на орбите, предотвращая их падение. Однако вблизи горизонта событий черной дыры ситуация ровно обратная: орбитальная скорость не дает телу уйти на бесконечность. Этот



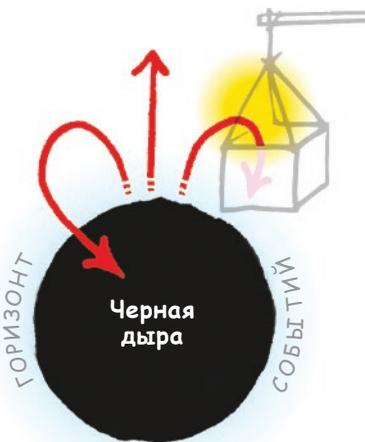
эффект — следствие общей теории относительности (ОТО). И масса, и энергия тела подчиняются гравитационным силам, т.е. не только масса покоя, но и его орбитальная кинетическая энергия. Чем ближе к черной дыре (более точно — с расстояния в полтора радиуса черной дыры), тем гравитационное притяжение орбитальной кинетической энергии будет сильнее центробежного отталкивания. С еще более короткого расстояния увеличение угловой скорости приведет только к более быстрому падению в черную дыру.

## Чем ближе вы оказываетесь к черной дыре, тем горячее становится, и это тепло переносит энергию



Вышесказанное означает, что если вы медленно приближаетесь к горизонту черной дыры, то вам будет становиться все жарче. Вы будете не только погружены в фотоны, испущенные согласно механизму Хокинга, но и испытывать воздействие тех фотонов, которые так и не смогут уйти на бесконечность. Таким образом, черная дыра окутана некоей тепловой атмосферой, которая способна переносить энергию. Тот факт, что некоторая энергия оказывается снаружи от горизонта событий, наводит на мысль о возможности соорудить «шахту» по добыче энергии из этой атмосферы: опустить некую емкость к черной дыре (но не под горизонт), собрать горячий газ и поднять его «наверх». Часть фотонов, согласно механизму Хокинга, ушла бы от черной дыры самостоятельно, но оставшаяся часть попала бы со временем в черную дыру, если бы не вмешалось наше устройство по захвату и поднятию их подалеже от горизонта. После того как емкость с горячим фотонным газом будет отведена на достаточное расстояние от черной дыры, не составит труда транспортировать его

на Землю: просто взять на борту ракеты или преобразовать в лазерный луч и направить в желаемом направлении.



В качестве аналогии вернемся к примеру с чашкой кофе. Описываемая процедура похожа на сдувание с чашки горячего пара. Большая часть этого водяного пара без должного управления снова окажется в чашке, но равномерное сдувание со всей поверхности приведет к тому, что пар не вернется в чашку. Как



следствие получаем, что, лишая черную дыру тепловой атмосферы, мы сможем довольно быстрее ее исчерпать за промежуток времени, пропорциональный массе дыры, а не ее кубу, как в случае испарения.

Однако, несмотря на кажущуюся простоту, идея такого лифта нереализуема. Проблема таится не в сложных рассуждениях в рамках квантовой теории или квантовой гравитации. Для того чтобы изъять атмосферу от черной дыры с помощью космического лифта, необходимо опустить трос почти к горизонту событий, однако технологически невозможно создать достаточно крепкий трос для такого подъема.

### Лифт в небо

Космический лифт — это сооружение будущего, описанное в научно-фантастическом произведении Артура Кларка «Фонтаны рая» (1979). Оно представляет собой кабину с тросом, опущенные из космоса к поверхности Земли. В отличие от небоскреба, устойчивость верхних этажей которого обеспечивают нижние этажи, каждый последующий сегмент космического лифта служит опорой тем, которые расположены ниже. Верхний конец троса приделан к огромной массе, медленно движущейся по орбите выше геостационарной. Орбитальная масса тянет трос «вверх», придавая устойчивость всей конструкции. Нижний конец троса опущен почти к самой поверхности — плавает возле нее, как будто подчиняясь магии, хотя на самом деле просто под воздействием компенсирующих друг друга сил. Как замечал сам Кларк, достижения высокотехнологической цивилизации на первый взгляд неотличимы от волшебства.

Технологическая суть заключается в существенном упрощении подъема грузов с поверхности планеты на орбиту. Отпадает необходимость в использовании опасной, малоэффективной и выбрасывающей большое количество отходов ракеты, которая вынуждена поднимать прежде всего топливо для себя самой. Вместо этого можно было бы приделать к тросу электрический

лифт. Стоимость поднятия груза на низкую орбиту вместо десятков тысяч долларов будет равняться цене только электрической энергии, т.е. составлять всего несколько долларов. Путешествия в космос будут стоить как поездки в метро.



Технологические трудности при построении космического лифта огромны. Одна из самых важных проблем — подбор материала для троса. Идеальный трос должен быть одновременно и прочным, и легким — настолько прочным, чтобы не растягиваться и не рваться при транспортировке грузов, и настолько легким, чтобы не давить верхними сегментами на нижние. Сталь далеко не так прочна, как требуется. Чем выше, тем каждый сегмент стального троса должен становиться все толще и толще, чтобы удерживать как собственный вес, так и вес той части троса, которая находится ниже этого сегмента. Вблизи поверхности Земли трос должен удваивать свою толщину каждые несколько километров, в итоге задолго до того, как трос достигнет геостационарной орбиты, он станет непрактично толстым.



Строительство космического лифта вокруг Земли с имеющимися материалами технологического уровня XIX в. невозможно. Однако материалы века XXI обнадёживают. Углеродные нити, длинные соединения углерода, расположенные в гексагональной сотовой решетке, которые в тысячу раз прочнее стали, — вот кандидаты для построения космического лифта. Такой проект, безусловно, обошелся бы во многие миллиарды долларов, потребовал бы умения «прясть» углеродные нити длиной в десятки тысяч километров, однако с точки зрения теоретической физики в такой структуре нет ничего принципиально невозможного: физические законы разрешают такую структуру, остальное же, как говорится, дело техники и финансирования. Точно так же теоретически решена и задача создания термоядерной электростанции, хотя до сих пор мы не видели ни одной — кроме нашего Солнца.

### Лифт для черной дыры

Возвращаясь теперь к исходной задаче построения космического лифта у черной дыры, отметим, что эта задача гораздо более сложна, чем то, о чем говорилось у Артура Кларка. Из-за большого напряжения гравитационного поля то, что пригодно для Земли, становится совсем не пригодным для черной дыры.

Даже при использовании в качестве троса сверхпрочной и сверхлегкой углеродной нити гипотетический космический лифт должен обладать невозможными даже с теоретической точки зрения свойствами. Так,

опустившись в окрестность горизонта событий черной дыры, трос должен быть настолько тонок, что даже один излученный фотон его разрушит. Вдали же от черной дыры трос должен быть настолько толст, что сожмется под воздействием собственной гравитации и станет черной дырой.

Такой результат, полученный математическим расчетом для углеродной нити, очевидно, исключает этот материал. С одной стороны, подобно тому, как за бронзовым веком последовал железный, так и за эпохой использования стали должно последовать время сверхпрочных углеродных соединений. Таким образом, человечество вправе рассчитывать на изобретение все более прочных и легких материалов. С другой стороны, прогресс не может продолжаться вечно. Существует конечный, устанавливаемый законами природы предел технологических возможностей — в частности, на отношение прочности растяжения тела к его весу. Этот предел — следствие широко известной формулы Альберта Эйнштейна  $E = mc^2$ .

Величина натяжения троса характеризует, сколько энергии нужно затратить, чтобы его растянуть. Чем больше натяжение, тем больше энергии нужно, чтобы растягивать его. Например, эластичная резинка обладает натяжением потому, что для того, чтобы ее растянуть, нужно затратить энергию по перестановке ее молекул. Если молекулы легко (т.е. с небольшими затратами энергии) поддаются перегруппировке, то натяжение мало. Если для перегруппировки молекул требуется много энергии, то натяжение велико. Вместо того чтобы менять местами структурные элементы (молекулы) троса, мы можем просто прикрепить к его концу уже готовый сегмент, обладающий нужными свойствами. Энергетические затраты для такой процедуры

эквивалентны энергии, содержащейся в массе нового сегмента троса согласно формуле Эйнштейна: энергия равна массе нового сегмента троса, умноженной на квадрат скорости света.

Рассмотренный способ удлинить трос энергетически очень затратен, но зато безотказен. Этот способ позволяет определить максимально возможное количество энергии для растяжения троса и, таким образом, максимально возможное натяжение самого троса. Натяжение никогда не может быть больше массы на единицу длины, умноженной на квадрат скорости света. Два троса, скрепленные в один, окажутся в два раза прочнее, но и в два раза тяжелее — следовательно, отношение прочности к весу не изменится.

Фундаментальный предел на натяжение материалов оставляет, тем не менее, много свободного пространства для разнообразных технологических решений. Дело в том, что этот предел в сотни миллиардов раз выше, чем та прочность, которой обладает сталь, и в сотни миллионов раз сильнее, чем возможности углеродных нитей. Но все же до бесконечности улучшать технологические свойства материалов нельзя. Подобно тому как невозможно разогнать обладающее массой тело до сверхсветовой скорости, усилия человечества по созданию сверхпрочных материалов ограничены формулой  $E = mc^2$ .

Однако существует гипотетический объект, который в точности достигает предела, — и это самый прочный материал из всех возможных. Этот материал никогда не был получен в лабораториях. Одни физики сомневаются, существует ли он вообще, а другие посвящают его изучению всю жизнь. Самый прочный природный трос называется струной. Изучают ее специалисты теории струн, полагая этот объект фундаментальным кирпичиком всей материи. В применении к задаче

космического лифта нас интересует не фундаментальность струны, а ее натяжение.

Струны прочны. Секция троса, сделанная из струн таких же длины и веса, как у шнурка ботинка, может выдержать Эверест. Жесткие технологические вызовы требуют столь же жестких материалов, поэтому если человечество захочет построить космический лифт вблизи черной дыры, то кандидатов лучших, чем струны, не найти. Если такой лифт можно реализовать в принципе, то только с помощью струн, а если и струны не помогут, то можно считать, что черные дыры в полной безопасности: никто никогда не сможет у них ничего отнять.

Однако оказывается, что, несмотря на феноменальную прочность струн, их прочности все-таки недостаточно. Скорее всего, струны всего лишь очень близки к желаемым характеристикам. Окажись их прочность чуть-чуть больше расчетной, и космический лифт даже вблизи черной дыры стал бы теоретически возможен. Окажись прочность чуть меньше — и проект стал бы безнадежен, потому что струна сломалась бы под действием собственного веса. Свойства струн таковы, что сделанный из них трос может быть опущен к черной дыре и не разорвется, но вот ничего поднять он уже не сможет.

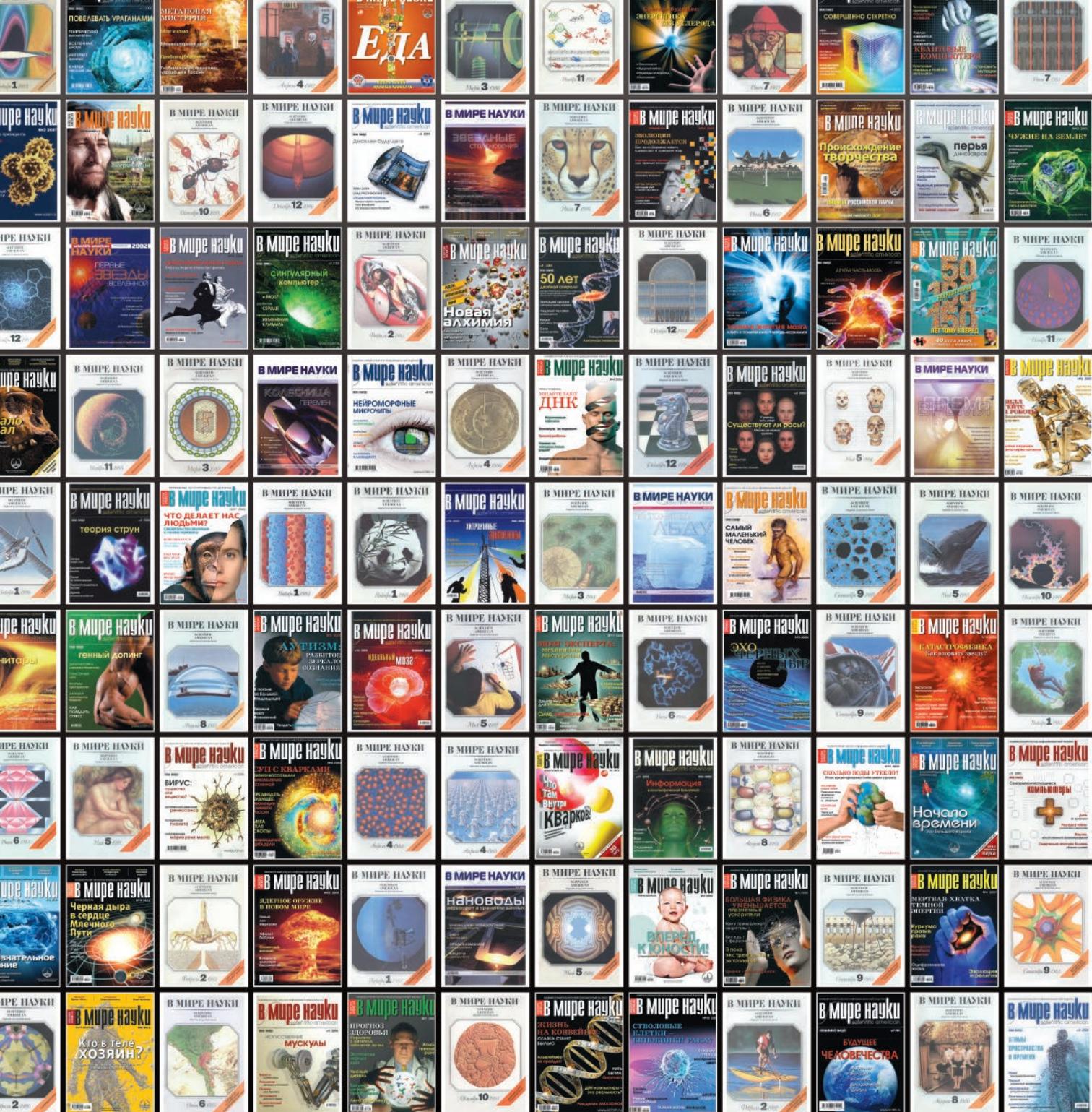
Таким образом, получается, что законы природы защищают черную дыру от изъятия из нее энергии. Человечество ограничено в технологических возможностях, в характеристиках строительных материалов. Хотя космический лифт и может достичь тепловой атмосферы черной дыры, но ничего взять он уже не способен. Поскольку прочность струн ограничена, единственное, на что можно скромно рассчитывать с их помощью, — это на извлечение ограниченного количества энергии из разреженной верхней тепловой атмосферы черной дыры, уменьшив длину троса.

Такая скромная фотонная «дита» оказывается немногим лучше описываемого ранее решения просто подождать испарения черной дыры. Время жизни черной дыры пропорционально массе в третьей степени, так же как и время испарения. «Утаскивая» по фотону из верхней разреженной тепловой атмосферы черной дыры, мы совсем чуть-чуть сократим время ее жизни, а промышленной добычи энергии добиться не сможем. Голодной цивилизации, жаждущей мощных энергетических запасов за разумное время, несколько фотонов ничем не смогут помочь.

Тот факт, что скорость постоянна и не превышает строго определенного предела, губит на корню замыслы человечества по освоению дальнего космоса. Действительно, во-первых, мы не можем путешествовать быстрее света; во-вторых, невозможно извлекать энергии больше, чем масса, умноженная на квадрат скорости света; и, наконец, попытавшись обратиться за дополнительными энергетическими ресурсами к черным дырам, мы снова наталкиваемся на непреодолимое ограничение. Поскольку трос невозможно сделать прочнее, чем квадрат скорости света, умноженный на массу единицы длины троса, то нам не суждено попить за счет энергии черной дыры.

Когда наше Солнце погаснет, человечество погрузится в вечную зиму. Исполненное отчаяния, оно может обратиться к великому энергетическому кладу, который содержится в тепловой атмосфере черной дыры, цепляясь на свой страх и риск за эту последнюю надежду. Слишком рьяно и слишком глубоко прорываясь к ее недрам, человечество, возможно, только ускорит катастрофу. Не мы зачерпнем энергию черной дыры, но черная дыра поглотит всех нас без остатка. Зима будет очень холодной. ■

Перевод: О.С. Сажина



## Хотите знать о науке больше?

Полный архив выпусков журнала «В мире науки» — на сайте издания по адресу:  
[www.sciam.ru/projects/dvd-electronic-catalogue](http://www.sciam.ru/projects/dvd-electronic-catalogue)

ежемесячный научно-информационный журнал  
**SCIENTIFIC AMERICAN**  
**В мире науки**

**АРХИВ**





Могут ли Большой взрыв  
и вся порожденная им Вселенная  
оказаться голографическим миражом,  
пришедшим из другого измерения?



Нияеш Афшорди,  
Роберт Манн и Рази Пурхасан

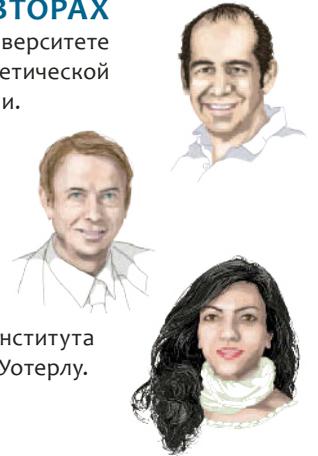
# Черная дыра в начале времен

## ОБ АВТОРАХ

**Нияеш Афшорди** (Niayesh Afshordi) — доцент кафедры физики и астрономии в Университете Уотерлу и адъюнкт-преподаватель по космологии и гравитации в Институте теоретической физики Периметр, исследователь в области астрофизики, космологии и гравитации.

**Роберт Манн** (Robert B. Mann) — профессор и бывший руководитель физики и астрономии в Университете Уотерлу, постоянный сотрудник Института теоретической физики Периметр, бывший президент Канадской ассоциации физиков. Область научных интересов: черные дыры, квантовая информация.

**Рази Пурхасан** (Razieh Pourhasan) — студентка Института теоретической физики Периметр и Университета Уотерлу.



# В

известной аллегории о пещере великий греческий философ Платон говорил об узниках, на всю жизнь прикованных к стене темной пещеры. Позади несчастных вечно горело пламя, а между ними и пламенем двигались объекты, отбрасывая тени на стену, там, где заключенные могли их видеть. Плоские тени — единственная реальность, доступная тем людям. Их кандалы мешали воспринимать истинный мир — царство еще одного измерения, дарящего объем.

Познай узники законы трехмерного мира — и они разом смогли бы объяснить происхождение и смысл смутных теней, мелькающих перед ними на стене. Мысль Платона была поразительно глубока.

Быть может, мы все тоже живем в гигантской космической пещере, появившейся в первые минуты существования Вселенной. В рамках общепризнанной теории наш мир родился в результате Большого взрыва из точки бесконечной плотности. Однако, согласно последним достижениям в области теоретической космологии, удастся «отодвинуть» рождение Вселенной за момент Большого взрыва, в ту эру, когда могли существовать дополнительные измерения пространства-времени. Эта многомерная протовселенная могла оставить следы в нашем мире, которые астрономы в принципе могут обнаружить.

Наша Вселенная трехмерна в пространстве и одномерна во времени — это называется «трехмерная Вселенная». Как и в притче великого философа, наблюдаемая Вселенная может оказаться всего лишь тенью — проекцией — мира четырех пространственных измерений. Так, вся наша Вселенная могла бы родиться в результате имплозии (взрыва, направленного внутрь) какой-нибудь звезды из четырехмерной протовселенной. Такой взрыв мог бы породить трехмерную оболочку вокруг четырехмерной черной дыры. Наша Вселенная и есть эта трехмерная оболочка.

## ! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Космология может дать точное описание всех этапов эволюции нашей Вселенной, начиная от нескольких минут после рождения и заканчивая современным моментом. Однако остается ряд фундаментальных вопросов, требующих ответов.
- Одна из таких загадок — природа Большого взрыва, сингулярной точки бесконечной плотности, в которой нарушаются законы физики.
- Существует возможность объяснить происхождение Большого взрыва с помощью многомерных пространств: четырехмерная звезда, коллапсируя в черную дыру, могла бы породить наш трехмерный мир. Такая теория позволяет ответить на некоторые неразрешенные космологические вопросы не только теоретически, но, возможно, и с привлечением методов наблюдательной астрономии.



**БОЛЬШОЙ ВЗРЫВ:** сверхмощный взрыв звезды может породить черную дыру и облако газа и пыли, называемые остатками взрыва сверхновой (отмечено слева красным цветом). Во Вселенной, обладающей более высокой размерностью пространства, подобный взрыв может породить наш трехмерный мир.

Что дает ученым право выдвигать такую, казалось бы, абсурдную гипотезу? На то есть две причины. Во-первых, такой вывод с необходимостью следует из математических расчетов. А математика — единственная наука, точно описывающая пространство и время.

За последние несколько десятилетий получила развитие так называемая голографическая теория, которая позволяет сводить описание событий в одном измерении к процессам, происходящим в пространствах более высоких размерностей. Например, ученые могут найти решение относительно несложных уравнений динамики жидкости в двух измерениях, а потом использовать эти решения для понимания аналогичных процессов в более сложных системах — например, для описания трехмерной черной дыры. С точки зрения математики обе системы эквивалентны, жидкость служит точным аналогом модели черной дыры.

Успех голографического подхода убедил многих ученых в том, что он не есть всего лишь некое математическое преобразование. Для многих задач этот подход обладает физическим смыслом. Возможно, границы между пространственными измерениями не так устойчивы, как это полагали до сих пор. Возможно, физические законы справедливы для миров других размерностей и переведены в наш трехмерный мир. Вероятно, как и у платоновских узников, наши чувства обманули нас, в то время как понимание истинной природы вещей содержится в недосягнутом нам четвертом пространственном измерении.

Вторая причина полагать, что наша Вселенная может оказаться четырехмерной, заключается в том, что в рамках этой гипотезы можно объяснить причину рождения и расширения нашего мира. Началом Вселенной был Большой взрыв, после которого — согласно представлениям современной космологии — почти мгновенно последовала стадия инфляции. Инфляция — это экспоненциальное расширение пространства, в результате чего ранняя Вселенная увеличила свой объем на многие сотни порядков. Однако до сих пор не ясно, что послужило причиной самого Большого взрыва и каков источник инфляционного поля. В модели четырехмерной Вселенной можно получить ответ на эти вопросы и понять, откуда взялась наша Вселенная.

### Знакомый и незнакомый космос

Попытки начать изучение свойств четырехмерной Вселенной родились из-за трудностей, с которыми пришлось столкнуться при работе с трехмерной моделью. Современная космология поразительно успешна, но ее достижения таят глубочайшие загадки, которые, возможно, найдут свое объяснение с помощью голографического принципа.

Уравнения Фридмана и небольшое число независимых параметров дают описание всей истории Вселенной — от современного момента времени до одной секунды с момента Большого взрыва, последовательно, детально и шаг за шагом. Эти параметры включают плотность

Космическая предыстория

### ДО БОЛЬШОГО ВЗРЫВА

Согласно стандартным представлениям, Большой взрыв начался с сингулярности, точки бесконечно большой плотности, которая породила всю Вселенную. Сингулярности непредсказуемы, поскольку в них нарушаются физические законы. Нет никаких причин предполагать, что из сингулярности обязательно должен сформироваться именно тот мир, который мы наблюдаем. Можно предложить теорию, в которой сингулярность Большого взрыва не окажет своего непредсказуемого воздействия на рождающуюся Вселенную, она будет скрытой многомерным аналогом горизонта событий. Наш мир родился, когда четырехмерная звезда в объемлющем четырехмерном пространстве сжалась в черную дыру. На рисунке показан процесс коллапса (в трех измерениях, поскольку трудно себе представить такой процесс в четырех пространственных измерениях).



обычной (барионной) материи, плотности темной материи и темной энергии, а также амплитуду и характерные особенности квантовых флуктуаций ранней Вселенной. Такая модель, называемая стандартной космологической моделью с темной энергией в форме «лямбда-члена», описывает сотни, если не тысячи точек, полученных по результатам наблюдений, покрывая шкалы от 1 млн до 10 млрд световых лет, что соответствует возрасту нашей Вселенной. Однако такой успех наблюдательной космологии не означает, что изучение космоса полностью завершено. В нашем понимании истории Вселенной есть пробелы. Ученые вплотную подошли к проблеме возникновения нашего мира, и пока эта задача оказалась не по силам.

**Проблема 1:** мы не понимаем, почему космологические параметры именно такие, какие они есть. Рассмотрим плотность вещества и энергии во Вселенной. Всего несколько десятилетий назад астрономы полагали, что обычная материя (элементы, составляющие таблицу Менделеева) — преобладающая форма

массы и энергии. Космологические наблюдения заставили радикально пересмотреть эту концепцию. Сейчас ученым известно, что плотность обычной материи составляет примерно 5% от общей плотности Вселенной, 25% приходится на темную материю неизвестного состава, которая проявляет себя только в гравитационных взаимодействиях. Наконец, почти 70% полной массы Вселенной заключено в темной энергии, неизвестном поле, которое заставляет нашу Вселенную расширяться ускоренно (а не замедленно, как это ожидалось бы при наличии только гравитационного притяжения). Почему во Вселенной существуют темная материя и темная энергия и почему их соотношение именно таково? «Это науке не известно, наука еще пока не в курсе дела».

Возможно, понимание появится, если будут лучше известны детали Большого взрыва. Трудно вообразить, как наполненный излучением и частицами плазменный шар ранней Вселенной при температурах выше  $10^{27}$  градусов смог, расширяясь, породить то, что мы наблюдаем



Представление на двумерной поверхности (одно измерение для наглядности редуцировано) нашей трехмерной Вселенной

подтвердили, что наша Вселенная трехмерно плоская и однородная с большой точностью, что и предсказывает инфляционная модель. Кроме того, наблюдаемые характеристики первичных флуктуаций плотности таковы, что инфляционное расширение с необходимостью приводит к современной картине космоса.

**Проблема 2: мы не понимаем, что такое инфляция.** Вы можете спросить, что управляет инфляцией, которая обладает огромной энергией. Ученые полагают, что вскоре после Большого взрыва Вселенная была наполнена полем гипотетической частицы инфлатона. Бозон Хиггса, частица, недавно обнаруженная на Большом адронном коллайдере в *CERN*, обладает свойствами, во многом схожими с инфлатоном, и может даже играть его роль. Инфлатон должен быть ответственным как за ускоренное расширение ранней Вселенной, так и за формирование крупномасштабной структуры Вселенной, потому что единственная причина контраста плотности в ранней Вселенной — это квантовые флуктуации инфлатонного поля.

Инфляция до сих пор не решила некоторые проблемы — она всего лишь отодвинула их. Мы не знаем свойств инфлатона и откуда он взялся. Не знаем, как его обнаружить. И не уверены, что он вообще существует.

Кроме того, физики не понимают, каким образом инфляционная ста-

сегодня, — практически однородный и пространственно плоский космос с постоянной температурой всего в несколько градусов.

Космологическая инфляция — одна из лучших теорий, объясняющих однородную структуру Вселенной на сверхбольших масштабах. Стремительное инфляционное расширение ранней Вселенной «разгладило» пространство и привело почти к постоянной температуре повсюду в космосе. Как своеобразная космическая лупа, инфляция растянула крохотные квантовые флуктуации плотности энергии до космологических масштабов. Эти флуктуации послужили основой формирования структур в космосе: галактик, звезд, планет, а последнее помогло зарождению живых организмов.

Инфляция признана успешной парадигмой. Десятилетиями космологи находили все новые наблюдательные подтверждения теории инфляции — наблюдательные данные микроволнового реликтового излучения, «запись» флуктуаций плотности ранней Вселенной. Последние наблюдения космического радиотелескопа *Planck*

завершилась, т.е. каким образом наша Вселенная вышла из этой стадии. Если некоторое поле, обладающее энергией, управляло экспоненциальным расширением Вселенной, то что же принудило его вдруг «выключиться»? У нас нет и удовлетворительного объяснения происхождения основных параметров стандартной космологической модели, отдельные из которых должны быть поразительно точно выверены, чтобы удовлетворять наблюдательным данным. И, наконец, нет описания Вселенной до инфляционной стадии — первых миллиардных от миллиардных долей секунды после Большого взрыва.

**Проблема 3: мы не понимаем, как все началось.** Большая проблема космологии — понимание Большого взрыва как внезапного вынужденного появления пространства и времени из обладающей бесконечной плотностью точки, называемой сингулярностью. Сингулярность — очень странный объект. Фактически это математическая точка, где пространство и время искривлены настолько сильно, что становится

## ПЕРВЫЕ СИГНАЛЫ ОТ СОТВОРЕНИЯ

Недавно полученные указания на существование космологических гравитационных волн смогут приблизить нас к моменту Большого взрыва



**ТЕМНЫЙ ПОЛЮС:** телескопы, установленные на Южном полюсе, ищут первые сигналы новорожденной Вселенной

Зима выдалась необычайно холодной, погода стояла ужасная, вторая неделя марта не предвещала ничего нового. Но именно тогда среди космологов появились слухи о готовящемся важнейшем сообщении Гарвард-Смитсоновского астрофизического центра. Слухи распространялись и в интернет-сообществах. Стали появляться первые подробности. Произошедшее не было рядовым отчетом — это было событие, которое, в случае успешного подтверждения, происходит один раз в жизни. Это событие было долгожданной мечтой космологов, и даже по самым оптимистичным прогнозам оно ожидалось только в ближайшие десятилетия.

В понедельник 17 марта 2014 г. астрофизическая лаборатория BICEP-Кеск, которая состоит из нескольких микроволновых телескопов, размещенных на географическом Южном полюсе, сообщила об открытии следов поляризации особого вида в космическом микроволновом фоне. Если интерпре-

тация этих наблюдений верна, то это открытие может подтвердить важное предсказание теории космологической инфляции. Более 30 лет назад в рамках этой теории было предсказано существование космологических гравитационных волн. В простейшей модели инфляции генерируются гравитационные волны, влияние которых на анизотропию реликтового излучения сравнимо с влиянием флуктуаций плотности. Это открытие могло бы стать первым прямым доказательством квантовой природы гравитации, проблема которой — головоломка теоретической физики прошлого столетия.

В науке, как и в жизни, все устроено далеко не так просто, как кажется на первый взгляд. Например, в простых моделях инфляции, которые предсказывают доступные наблюдениям космологические гравитационные волны, получается, что следы гравитационных волн должны быть видимы в данных космического радиотелескопа *Planck*. Но этого

не происходит! Кроме того, полученные в эксперименте BICEP специфические сигналы поляризации могут, в принципе, быть объяснены и другими причинами — например, наличием пыли в нашей Галактике.

А что может означать открытие космологических гравитационных волн для модели голографического Большого взрыва? В наблюдениях ранней Вселенной ученые ограничены набором данных, иногда даже противоречащих друг другу. Новые — уже полученные, но еще не опубликованные — данные аппарата *Planck* будут представлены в октябре 2014 г., и другие группы, занимающиеся исследованием анизотропии реликтового излучения, также представят результаты обработки своих данных. Воссоздание самых первых мгновений жизни нашей Вселенной — трудная задача. Только время — и, возможно, немного удачи, — позволят нам все-таки понять, как родился наш мир.

невозможным отличить будущее от прошлого. В этой точке нарушаются законы физики. В сингулярной Вселенной нет ни порядка, ни законов. Из сингулярности может зародиться все, что только может логически существовать в дальнейшем. Нет никаких оснований полагать, что сингулярность породила такой упорядоченный мир, какой мы наблюдаем (антропный принцип — один из существующих доводов).

Следовало ожидать, что появление Вселенной из сингулярности было бы невообразимо хаотично и сопровождалось бы огромными перепадами температуры от точки к точке. Кроме того, инфляционная стадия могла бы и не сгладить пространство. В самом деле, если бы начальные возмущения были бы слишком большими, то инфляция могла бы вообще не начаться. Проблема сингулярности не может быть решена одной только теорией инфляции.

Сингулярности — объекты странные, но все же не полностью незнакомые. Они образуются, например, в центрах черных дыр, сверхсжатых остатках гигантских звезд. Все звезды — атомные печи, в которых легкие химические элементы (в основном водород) превращаются в тяжелые элементы. Процесс ядерного синтеза — основа жизни звезды. Когда все топливо в звезде выгорает, ее дальнейшей эволюцией начинает управлять только гравитация. Звезда по крайней мере в десять раз массивнее нашего Солнца должна сжиматься, порождая взрыв сверхновой. Если звезда еще массивнее (15–20 солнечных масс), то после взрыва сверхновой останется плотное ядро, которое продолжит сжиматься, превратившись в сингулярность нулевого размера — черную дыру.

Черную дыру можно представить как некоторую область пространства, из которой не может вырваться даже свет. Скорость света — максимальная скорость, с которой может распространяться любая форма материи. Таким образом, граница черной дыры — двумерная поверхность, называемая горизонтом событий, — это «точка невозврата». Вещество, однажды попавшее за горизонт событий, навсегда становится недоступным в остальной части Вселенной и неотвратимо движется к сингулярности в центре черной дыры.

Так же как и в точке Большого взрыва, в центре черной дыры законы физики нарушаются. Однако имеется важное отличие: сингулярность черной дыры скрыта горизонтом событий, а сингулярность Большого взрыва — нет. Горизонт событий черной дыры играет роль мембраны, позволяющей веществу и излучению проникать под горизонт, но препятствующей их выходу наружу. Эта поверхность служит своеобразным щитом для внешнего наблюдателя, защитой от катастрофических непредсказуемостей сингулярности черной дыры.

Завернутая в горизонт событий, сингулярность бесцельно нарушить физические законы в наблюдаемом космосе. Издалека черная дыра выглядит просто — это гладкая и однородная структура, параметры которой однозначно задаются только ее массой и угловым моментом (и электрическим зарядом, если он есть). Известно выражение о таком объекте: «черная дыра не имеет волос». Это означает, что у черной дыры нет никаких отличительных черт, кроме массы, углового момента и заряда.

В противоположность описанной картине сингулярность Большого взрыва (в наиболее общепринятом ее понимании) ничем не прикрыта. Про такую сингулярность говорят, что она «голая». У Большого взрыва нет горизонта событий. Хотелось бы иметь способ оградиться от такой сингулярности — возможно, чем-то похожим на горизонт событий.

Можно предложить аналог горизонта — и это превратит Большой взрыв в космический мираж. В теории, основанной на многомерности пространства, сингулярность Большого взрыва удастся скрыть.

### Многомерный коллапс

Выполняя сходную функцию, «покрывало» для сингулярности Большого взрыва должно, тем не менее,

существенно отличаться от горизонта событий черной дыры. Поверхность, скрывающая сингулярность Большого взрыва, должна быть не двумерна, а трехмерна, потому что порожденная Большим взрывом Вселенная также трехмерна. Если мы допустим, что эта граница — тоже горизонт событий, образовавшийся в результате коллапса (подобно тому, как двумерный горизонт события черной дыры сформировался в результате коллапса трехмерной звезды), то коллапс должен был происходить в четырехмерном пространстве.

Многомерный сценарий, когда количество пространственных измерений превосходит известные нам на единицу, так же стар, как и сама теория относительности. Впервые эта идея была предложена Теодором Калуцей (Theodor Kaluza) в 1919 г. и расширена Оскаром Клейном (Oskar Klein) в 1920 г. Идея была надолго забыта, почти на полвека, пока вдруг не стала востребованной в струнной теории в 1980-х гг. Недавно старая идея пригодилась снова — для создания космологических моделей «миров на бране».

*Все известные формы вещества и энергии сосредоточены в нашем трехмерном мире и, как в мире кино, не могут выйти за пределы плоского экрана. Исключение составляет гравитация, которая может распространяться во всем многомерном балке*

Основная идея мира на бране заключается в том, что наша трехмерная Вселенная погружена в пространство большего числа измерений. Тогда трехмерный мир называется «браной», а объемлющее пространство — «балк». Все известные формы вещества и энергии сосредоточены в нашем трехмерном мире и, как в мире кино, не могут выйти за пределы плоского экрана (подобно уже упомянутым теням на стене из притчи Платона). Исключение составляет гравитация, которая может распространяться во всем многомерном балке.

Рассмотрим четырехмерную объемлющую Вселенную, которая могла существовать до Большого взрыва. В ней, как и в нашей Вселенной, могли бы быть звезды и галактики — только уже четырехмерные. И звезды, сжигая топливо, могли бы также обращаться в черные дыры.

На что похожа четырехмерная черная дыра? У нее есть горизонт событий, поверхность «невозвращения», из-под которой не может уйти свет. Но вместо двумерной поверхности, которая образует горизонт событий в трехмерной черной дыре, этот горизонт был бы пространственно трехмерным.

В самом деле, моделируя коллапс четырехмерной черной дыры, при определенных условиях можно получить, что сбрасываемая звездой оболочка образует расширяющуюся трехмерную поверхность, которая содержит внутри себя трехмерный горизонт событий. Наша Вселенная и есть эта трехмерная оболочка, «трибрана» — голограмма коллапса четырехмерной звезды в черную дыру. Сингулярность Большого взрыва оказывается навсегда скрытой от нас трехмерным горизонтом событий.

**Несмотря на то что модель голографического Большого взрыва решает ряд фундаментальных космологических проблем, в частности проблему происхождения нашей Вселенной, она порождает ряд своих собственных загадок. Например, откуда взялась прародительница нашей Вселенной?**

### Насколько это реально?

Рассмотренная выше модель обладает рядом особенностей, в том числе отсутствием голой сингулярности, породившей нашу Вселенную. Решаются ли в этой модели важнейшие проблемы космологии: плоскостность и однородность? Поскольку четырехмерная объемлющая Вселенная могла бы существовать сколь угодно долго в прошлом, то в ней давным-давно должно было установиться температурное равновесие. Балк должен быть достаточно гладким и мог бы передать это свойство и нашей трехмерной Вселенной. Гладкость нашего мира могла бы определяться и «теоремой об отсутствии волос» у четырехмерной черной дыры. Чем больше масса четырехмерной черной дыры, тем более плоской окажется трибрана. Таким образом, плоскостность нашей Вселенной — следствие коллапса очень массивной четырехмерной звезды.

Рассмотренная модель голографического Большого взрыва решает не только основные космологические задачи (плоскостность и однородность Вселенной в стандартной космологической модели) без введения понятия «инфляция», но и проблему начальной космологической сингулярности, делая ее скрытой.

Озвученная идея на первый взгляд звучит нереалистично. Однако, возможно, найдутся способы проверить ее методами наблюдательной космологии. Один

из способов — изучение микроволнового реликтового излучения. Вне нашей трибраны мы можем ожидать существования материи, лежащей в объемлющем четырехмерном балке. Эта материя гравитационно связана с черной дырой. Флуктуации температуры в такой материи могли бы создавать флуктуации уже в обычной, трехмерной материи, которые, в свою очередь, могли бы создать неоднородности в реликтовом излучении. Последнее же — непосредственный объект наблюдений астрономическими приборами, и подобную рябь хоть и очень трудно, но в принципе можно обнаружить.

Еще один способ проверить существование многомерности — следующий. Четырехмерная черная дыра может вращаться (довольно обычное утверждение для трехмерных черных дыр). В этом случае наш трехмерный мир на бране должен обладать слегка нарушенной симметрией, т.е. крупномасштабная структура нашей Вселенной должна различаться в разных направлениях. Такое различие тоже можно попытаться найти в данных по микроволновому реликтовому излучению.

Несмотря на то что модель голографического Большого взрыва решает ряд фундаментальных космологических проблем, в частности проблему происхождения нашей Вселенной, она порождает ряд своих собственных загадок. Например, откуда взялась прародительница нашей Вселенной?

Для ответа на этот вопрос мы можем снова обратиться к притче Платона. Когда узники вышли из пещеры, то солнечный свет выжег им глаза. Чтобы привыкнуть к яркому свету, нужно время. В начале пути познания мира узники пещеры могли изучать тени на ее стенах. Потом они смогут увидеть звезды и Луну. Позже они познают солнечный свет и сделают правильный вывод о том, что Солнце не только порождает все тени, что они видят на стенах пещеры, но дает и день, и ночь, а также смену времен года. Люди из притчи Платона никогда не постигнут того, что находится за пределами возможностей Солнца, точно так же как мы не понимаем устройства многомерного мира. Но, по крайней мере, мы с ними знаем, где можно искать ответы на вопросы о строении мироздания. ■

Перевод: О.С. Сажина

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Двали Г. Кто нарушил закон тяготения? // ВМН, № 5, 2004.
- Малдасена Х. Иллюзия гравитации // ВМН, № 2, 2006.
- Тернер М. Происхождение Вселенной // ВМН, № 11, 2009.
- Out of the White Hole: A Holographic Origin for the Big Bang. Raziq Pourhasan, Niayesh Afshordi and Robert B. Mann in Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, Vol. 2014, Article No. JCAP04(2014)005; April 2014.

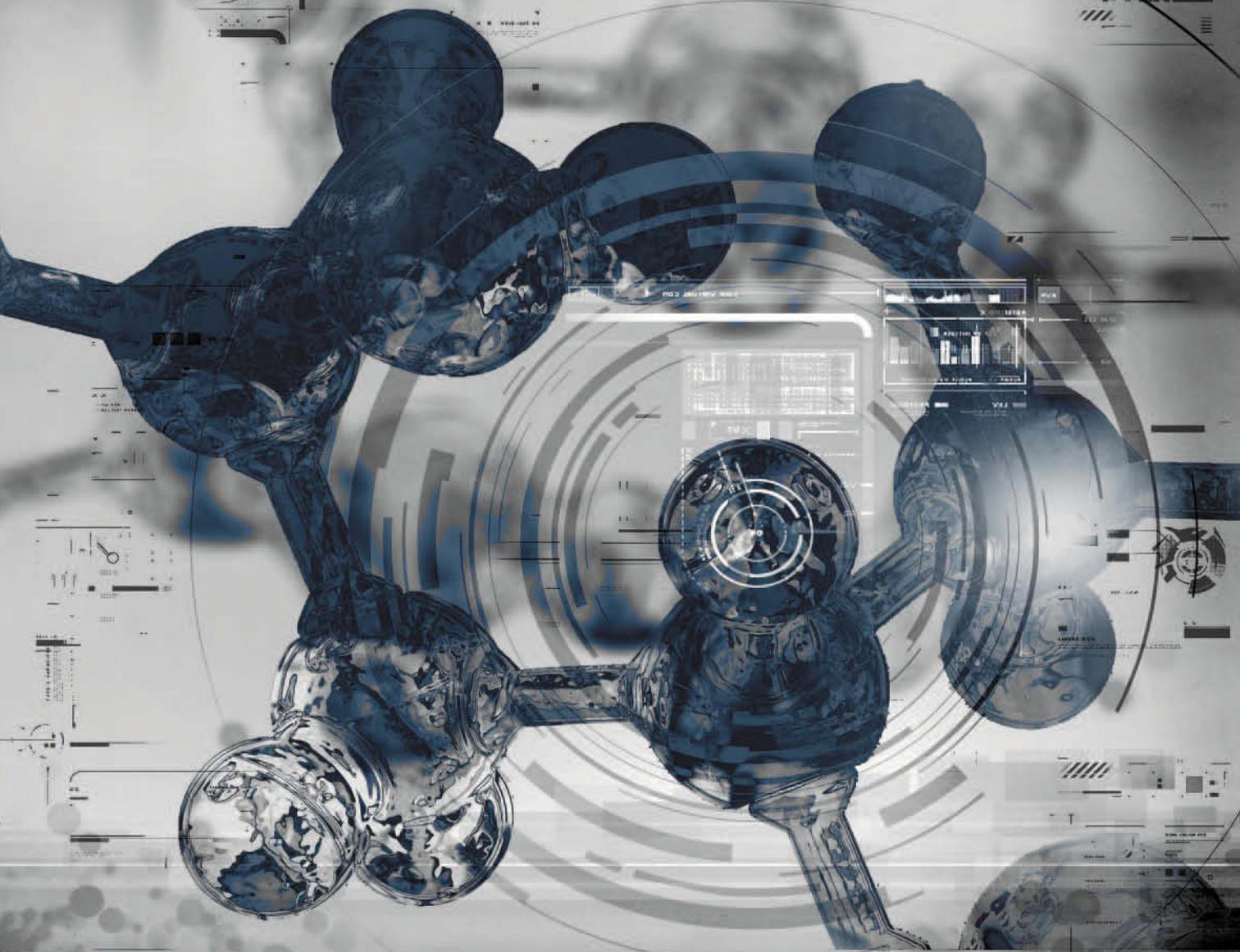
16+



[www.naukatv.ru](http://www.naukatv.ru)



[www.facebook.com/nauka20](https://www.facebook.com/nauka20)



2.0

ПРОСТО О  
СЛОЖНОМ



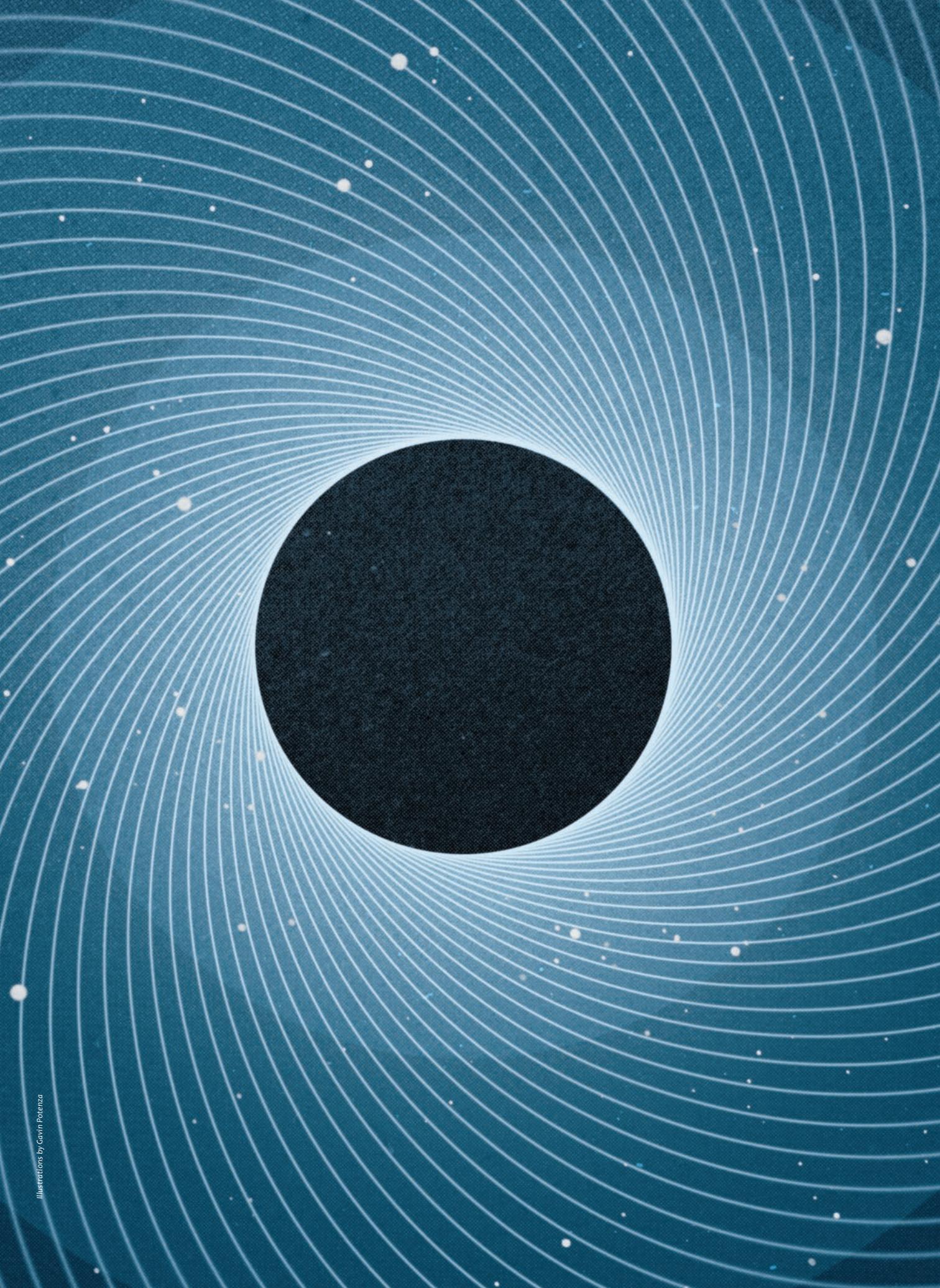
НАУКА 2.0  
ТЕЛЕКАНАЛ

РЕКЛАМА

Дженни Грин

# ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ – «СЕРЕДНЯЧКИ»

*Изучение черных дыр среднего размера, массой чуть меньше миллиона солнечных масс, возможно, даст ключ к пониманию того, как образовались их более крупные собратья и галактики*



## ОБ АВТОРЕ

**Дженни Грин** (Jenny E. Greene) была пионером в изучении черных дыр небольшой массы, расположенных в центрах галактик, что стало частью ее диссертации в Гарвардском университете. Сейчас она доцент астрономии в Принстонском университете и исследует общие вопросы эволюции галактик. Она также преподает алгебру заключенным в тюрьмах штата Нью-Джерси.



**У**же десять лет как астрономы выяснили, что в центре почти всех крупных галактик расположены огромные черные дыры — космические объекты с таким сильным гравитационным полем, что даже свет не в силах из них вырваться. Находясь в финальной стадии своей эволюции, звезды могут превращаться в небольшие черные дыры с массой, превышающей массу нашего Солнца в 3–100 раз, но такие черные дыры с массой, сравнимой с массой звезд, — просто лилипуты по сравнению с чудовищными великанами, расположенными в центрах галактик, масса которых измеряется миллионами и миллиардами Солнц.

Изучение сверхмассивных черных дыр представляет собой сложную головоломку. Почему они так широко распространены в галактиках? Что возникло сначала — галактика или черная дыра? И прежде всего: как они образовались?

Еще более загадочно то, что черные дыры появились уже тогда, когда Вселенная была еще очень молода. Так, в июне прошлого года астрономы сообщили, что самый ранний экземпляр из обнаруженных до сих пор, черная дыра массой примерно 2 млрд солнечных масс, существовала еще 13 млрд лет назад, спустя всего каких-то 770 млн лет после Большого взрыва. Как черным дырам удалось набрать подобную массу так быстро?

Столь большая скорость роста ставит в тупик, ведь хотя черные дыры имеют репутацию мощнейших «пылесосов», они могут вести себя как огромные пневмомашинны для очистки канав от листьев. Газ, устремляющийся к черной дыре, в конце концов закручивается вокруг нее в виде гигантского так называемого аккреционного диска. Вещество нагревается и начинает излучать,

особенно когда оно приближается к точке невозврата у внутренней кромки диска. Это излучение отталкивает падающее на черную дыру вещество, уменьшая тем самым скорость ее роста. Физики вычислили, что масса черной дыры, «засасывающей» окружающее ее вещество непрерывно и с максимально возможной скоростью, будет удваиваться каждые 50 млн лет. Такая скорость слишком мала для того, чтобы «зародышевая» черная дыра звездной массы смогла вырасти в чудовище размером с миллиард Солнц за время менее миллиарда лет.

Астрофизики предложили два возможных сценария образования черных дыр. Первый, обсуждаемый уже в течение многих лет, предполагает, что на первом этапе гигантские черные дыры действительно были остатками звезд. Самые первые звезды, образовавшиеся во Вселенной, вероятно, были необычайно массивными по сравнению с появившимися позже, такими как наше Солнце. Это связано с тем, что в первичных газовых облаках не было тяжелых элементов, которые способствовали бы охлаждению газа и образованию небольших сгустков. Такие огромные звезды должны были быстро выгореть и превратиться в черные дыры с массой примерно в 100 раз большей, чем у нашего Солнца. Но тогда какие-то процессы должны были вызвать ускоренный рост таких объектов — быстрее, чем при обычной аккреции. Например, если бы большая черная дыра образовалась в плотном звездном кластере, она должна была бы в конце концов оказаться вблизи его центра вместе с другими массивными звездами и черными дырами. В этом случае она имела бы шанс быстро вырасти до размера в 10 тыс. солнечных масс, поглощая другие черные дыры, и таким образом превысить предел нормальной скорости роста.



## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Черные дыры массой в миллиард раз большей нашего Солнца существовали уже на ранних этапах жизни Вселенной. Как эти монстры выросли такими огромными настолько быстро? В результате каких процессов сформировались зародышевые черные дыры, из которых они потом выросли?
- Действительно ли в результате смертельной агонии первых звезд появились многочисленные зародыши черных дыр, которые затем слились воедино, или же в результате коллапса гигантские первичные газовые облака, минуя стадию звезд, сформировали зародышей гораздо большего размера?
- Астрономы пытаются разгадать эту загадку путем поиска и анализа сохранившихся зародышей — черных дыр — «середняков». Уже первые результаты дают основание полагать, что черные дыры промежуточной массы образовались путем прямого коллапса.

Дальнейший рост до масштаба сверхмассивной мог бы продолжиться за счет обычной аккреции, при этом, конечно, отнюдь не исключается и возможность поглощения ею других достаточно больших черных дыр.

Когда астрономы выяснили, что большие сверхмассивные черные дыры появились очень давно, они заинтересовались, может ли сколлапсированная массивная звезда достаточно быстро нарастить такую массу, даже пройдя в начале жизни стадию сверхбыстрого роста. Начались поиски альтернативных путей образования зародышевых черных дыр и механизмов, формирующих более массивные черные дыры, чем те, которые могли образоваться в результате смертельной агонии звезд.

Ученые предложили модели образования более крупных зародышей черных дыр, не требующие наличия звезд-посредников. Так, достаточно большое газовое облако могло бы непосредственно сжаться до состояния черной дыры масштабнее тех, что рождаются в результате смерти звезды. Формируя зародыши массой от 10 тыс. до 100 тыс. Солнц, этот процесс несколько уменьшает время образования сверхмассивных черных дыр на ранних этапах. Такой непосредственный коллапс сегодня во Вселенной уже не происходит, но когда Вселенная была молодой, условия были совершенно иными.

К сожалению, пока не ясно, какой из этих двух сценариев реализовался в действительности — образовались ли небольшие зародышевые черные дыры в результате смерти звезд, или же они появились на свет уже большими как продукт имплозии газового облака. Хотя астрономы могут заглядывать далеко назад во времени, всматриваясь в удаленные уголки космоса с помощью телескопов, пока нельзя даже надеяться зафиксировать акт формирования зародышевых черных дыр. Даже самые большие зародыши слишком малы, чтобы их можно было бы увидеть на таком расстоянии. (Космический телескоп им. Джеймса Уэбба мог бы их обнаружить, но он будет запущен не ранее 2018 г., да и то если выживет в политических баталиях вокруг финансирования его постройки.) Поэтому мои коллеги и я выбрали другую стратегию: искать зародышевые черные дыры, по той или иной причине не ставшие сверхмассивными, но сохранившиеся до настоящего времени в своих изначальных размерах.

Если зародыши образовались в результате эволюции звезд, то можно ожидать найти их достаточно много как в центре, так и на периферии галактик, потому что звезды, из которых они образовались, могли умереть в любой точке галактики. Следовало также ожидать обнаружения непрерывного диапазона масс черных дыр от 100 до 100 тыс. масс Солнца, поскольку рост черной дыры мог прерваться из-за отсутствия «пищи» на любой стадии ее превращения в сверхмассивную. И наоборот, если бы зародышевые черные дыры образовывались главным образом путем непосредственного коллапса газового облака, то такие «недоразвитые» черные дыры были бы очень редки. Процесс непосредственного коллапса, если бы он и происходил, случался бы гораздо реже, нежели смерть обычной звезды. И вместо

## Основополагающий вопрос

### ЧТО БЫЛО ЗАРОДЫШАМИ СВЕРХМАССИВНЫХ ЧЕРНЫХ ДЫР?

Огромные черные дыры массой более миллиарда Солнц появились уже на очень ранней стадии существования Вселенной. Классический взгляд на процесс формирования черных дыр предполагает, что эти гиганты возникли как зародышевые черные дыры, образовавшиеся в результате коллапса первобытных звезд. Но такие небольшие черные дыры не могли бы набрать массу обычным путем достаточно быстро, чтобы превратиться в сверхмассивные столь рано (вверху). Ключевой вопрос поэтому таков: каким образом могли сформироваться более крупные черные дыры — зародыши (в центре и внизу)?



Одно из объяснений состоит в том, что большая черная дыра звездной массы в звездном кластере могла бы быстро вырасти до 10 тыс. солнечных масс, поглощая другие черные дыры. Такая зародышевая черная дыра промежуточной массы затем могла бы превратиться в сверхмассивную, «заглатывая» газ.



Альтернативный вариант: первичное газовое облако в результате коллапса могло сформировать непосредственно зародышевую черную дыру промежуточной массы. Эта черная дыра, затем тоже могла расти «заглатывая» газ.



Поиск черных дыр промежуточной массы преследует цель определить, какой из сценариев реализуется

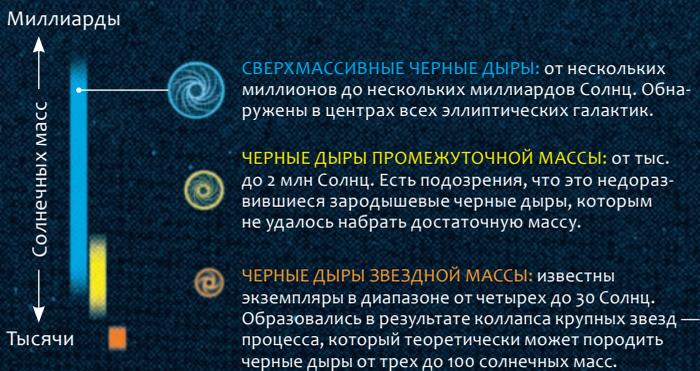
## ГДЕ НАХОДЯТСЯ ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

Галактики бывают различных типов, и некоторые из них обычно содержат сверхмассивные черные дыры. Наша галактика, Млечный Путь (слева), — дисковая или спиральная галактика с балджем (большим плотным скоплением звезд), в центре которой расположена сверхмассивная черная дыра массой в 4 млн солнечных масс (голубая). Множество черных дыр звездной массы (оранжевые) были обнаружены и в самом Млечном Пути.

В ядре всех галактик с балджем и больших эллиптических галактик (в центре), по-видимому, располагаются сверхмассивные черные дыры. Наоборот, черные дыры промежуточной массы (справа, желтые) больше распространены в галактиках, в которых нет больших балджей, таких как дисковые галактики без балджей. Черные дыры звездной массы встречаются повсеместно в галактиках всех типов.

### Классы черных дыр

Известные черные дыры делятся на три класса, в зависимости от их массы, которая обычно измеряется в солнечных массах или «Солнцах».



Черные дыры нарисованы не в масштабе



широкого диапазона масс мы бы обнаружили, что большинство недоразвитых черных дыр будут «тяжелее», чем 100 тыс. Солнц (теоретические модели говорят, что это скорее всего и есть типичная масса зародыша, образовавшегося путем прямого коллапса).

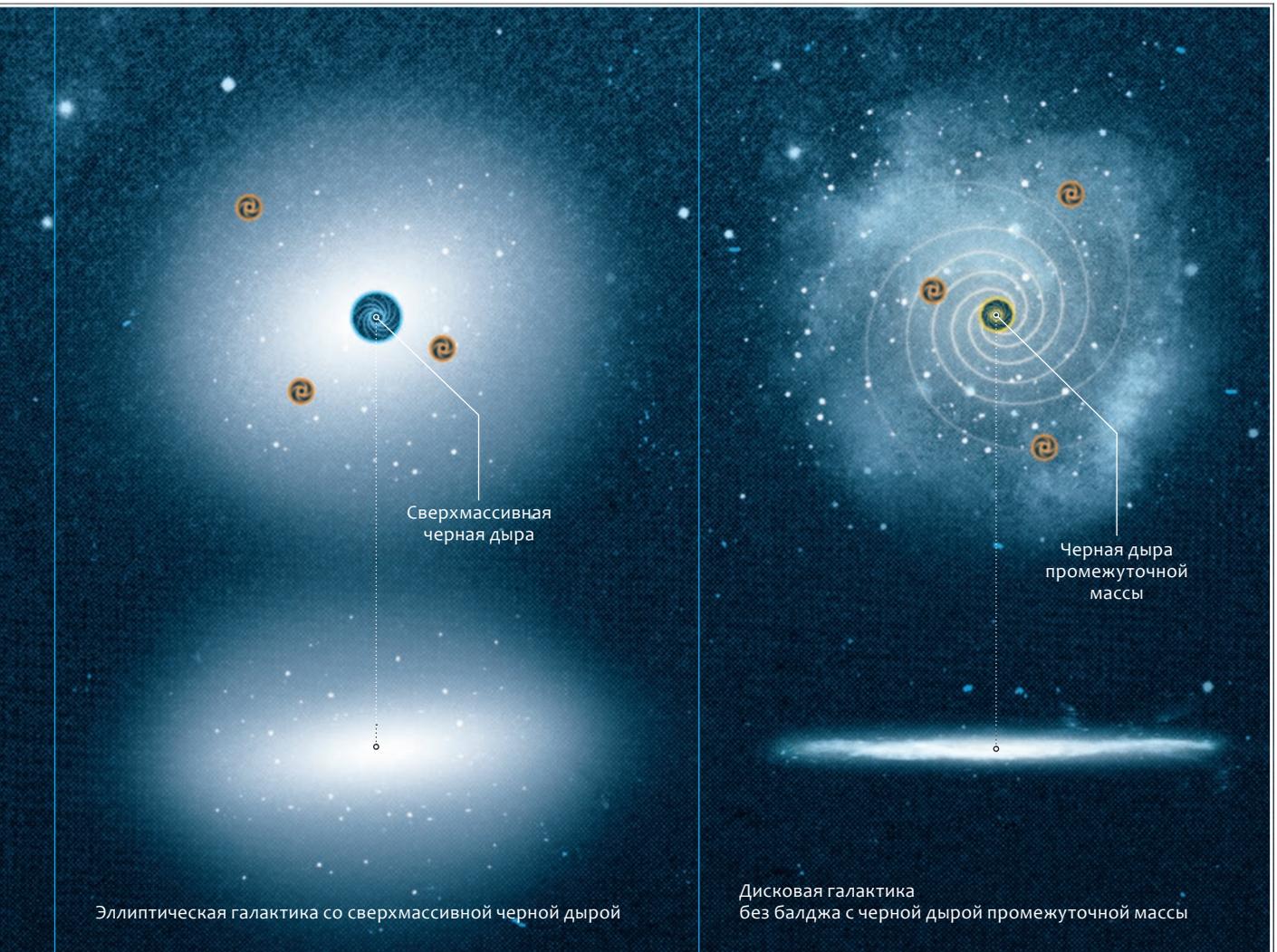
Поэтому я, как и другие астрономы, исследовала небо в поисках нового типа черных дыр, массой больше, чем звездная, но и не сверхмассивных, а где-то посередине — так называемых черных дыр промежуточной массы или «средней весовой категории». Мы стремились посмотреть, чему больше соответствует диапазон их размеров и распространенность, — модели звездного коллапса или коллапса газового облака. Когда примерно десять лет назад мы начали эту работу, она не выглядела многообещающей. Астрономы знали лишь одну черную дыру средней весовой категории и считали ее исключением из общего правила. С тех пор, однако, мы нашли их сотни.

Что считать средней весовой категорией? В данной статье под этим термином я буду подразумевать черную дыру с массой ориентировочно между 1 тыс. и 2 млн масс Солнца. Верхний предел до некоторой степени произволен, но это позволяет исключить самые малые

сверхмассивные черные дыры, такие хорошо известные, как черная дыра в 4 млн солнечных масс, расположившаяся в центре нашей Галактики. В любом случае в силу самой своей природы эти границы расплывчаты. На практике первые измерения масс таких объектов часто дают очень неопределенные результаты — так, массы черных дыр — «среднячков», полученные в первой серии наших измерений, как оказалось, были завышены вдвое. Это было обнаружено после того, как мы усовершенствовали технику наших измерений. Точные границы диапазона не играют особой роли до тех пор, пока мы изучаем все семейство черных дыр по нисходящей, начиная с диапазона легких сверхмассивных. Но даже то, что нам удалось выяснить до сих пор, позволило по-новому взглянуть на взаимодействие черных дыр и галактик, в которых они расположены.

### Неуловимые середнячки

Черные дыры могут проявить себя множеством способов. Например, звезды, сгрудившиеся на орбитах вокруг самого центра галактики, — явный признак затаившейся в ней сверхмассивной черной дыры. Однако объекты



Эллиптическая галактика со сверхмассивной черной дырой

Дисковая галактика без балджа с черной дырой промежуточной массы

«среднячки» слишком малы, чтобы с помощью гравитации выдать свое присутствие подобным образом. Поэтому мы фокусируем свое внимание на «активных» черных дырах — тех, которые «пожирают» материю, — поскольку падающее на них горячее вещество излучает свет колоссальной яркости.

За несколько десятилетий наблюдений астрономы обнаружили, что активные черные дыры, как правило, обитают в галактиках вполне определенного типа. Галактики, особенно массивные, бывают двух основных типов. Некоторые, такие как наша, представляют собой большой вращающийся звездный диск. Такие дисковые галактики, если посмотреть на них сбоку, похожи на неглубокие тарелки. Другие, так называемые эллиптические галактики, в большинстве своем выглядят как шары из звезд. В центре некоторых дисковых галактик расположены эллиптические галактики, которые называются выпуклостями или звездными балджами. Активные черные дыры чаще всего находят в больших эллиптических галактиках и в дисковых галактиках с большими балджами. Почти каждый балдж, расположенный достаточно близко, чтобы можно было исследовать его

детали, оказывается пристанищем для черной дыры массой от нескольких миллионов до нескольких миллиардов солнечных масс. Более того, чем больше балдж, тем больше черная дыра: масса черной дыры обычно составляет одну тысячную массы балджа. Такая поразительная корреляция — что само по себе загадка — дает основания полагать, что галактики и сверхмассивные черные дыры эволюционировали совместно, путем, который астрофизики пока еще не выяснили. Проще говоря, эта модель подсказывает, где искать черные дыры «среднячки»: в самых маленьких галактиках. Но в каких именно?

Идею подсказала одна небольшая загадочная галактика. Руководитель моей диссертационной работы, Луис Хо (Luis C. Ho) из Обсерваторий института Карнеги в Пасадене, еще в 1995 г., работая над диссертацией, изучил более 500 ближайших ярких галактик. Он обнаружил, что большинство галактик с большими балджами содержат активные черные дыры, а галактики без балджей — нет, за единственным интересным исключением. Галактика NGC 4395 — это дисковая галактика с активной черной дырой, у которой совсем нет балджа. Научный

руководитель самого Хо отметил эту странность еще в 1989 г., но большинство ученых сошлись на том, что это скорее аномалия. Обзор Хо подтвердил общее правило: черные дыры не обнаруживаются в галактиках без балджей, за исключением NGC 4395.

Точная оценка массы черной дыры NGC 4395 — задача, потребовавшая значительных усилий. Большинство астрономических методов непосредственного измерения предполагают измерение параметров орбитального движения. Например, скорость планеты и размер орбиты, по которой она вращается вокруг своего солнца, позволяют нам вычислить массу солнца. Аналогично, зная параметры орбиты звезд в галактике, можно оценить массу черной дыры, но только в том случае, если она достаточно велика, чтобы эффекты ее гравитации были различимы в астрономических наблюдениях движения звезд. Объект NGC 4395 слишком мал.

В таких случаях астрономы пользуются косвенными методами. Например, мощность рентгеновского излучения, исходящего от черной дыры, изменяется во времени, и чем больше излучающий объект, тем медленнее скорость таких изменений. В 2003 г. Дэвид Ши (David C. Shih) с коллегами, работавший в то время в Кембриджском университете, обнаружил, что мощность рентгеновского излучения, приходящего от NGC 4395, изменяется достаточно быстро, и поэтому черная дыра должна быть относительно небольшой — вероятнее всего, от 10 тыс. до 100 тыс. солнечных масс. В том же 2003 г. Хо другим методом получил оценку ее массы, лежащую в этом же диапазоне.

Измерение ее массы другим методом было проведено в 2005 г. Брэдли Питерсоном (Bradley M. Peterson) с коллегами из Университета штата Огайо. Они воспользовались космическим телескопом «Хаббл» и методом, получившим название «эхокартирование» (*Соответствующий русскоязычный термин еще не устоялся. Иногда его переводят как «реверберационное картографирование».* — Прим. пер.), в основе которого лежит измерение орбитального движения газовых облаков вокруг черной дыры, аналогично тому, как для вычисления массы Солнца измеряют параметры орбитального движения планет. Измерение времени светового эха от облаков позволяет вычислить диаметр орбит. Питерсон с коллегами обнаружили, что черная дыра имеет массу в 360 тыс. солнечных масс. Но даже такой метод дает большую неопределенность в массе: ошибка может быть в три раза — из-за исходных допущений, которые используются при расчетах.

Оказывается, галактика без балджа NGC 4395 «приютила» как раз такую черную дыру промежуточной массы, которую мы и искали. Из всех 500 галактик, которые изучал Хо, она оказалась единственной без балджа и с явным свидетельством присутствия активной черной дыры. Вторая была обнаружена в 2002 г. Аарон Барт (Aaron J. Barth), в то время работавший в Калифорнийском технологическом институте, воспользовался телескопом «Кек II» на Гавайях, чтобы получить спектр необычной малоизученной галактики POX 52.

Как и NGC 4395, эта галактика демонстрировала ряд признаков существования активной черной дыры, хотя и не была в списке основных подозреваемых обладателей сверхмассивной черной дыры (это редкий тип галактики, известный как сфероидальная галактика, которая отличается и от дисковых с балджем, и от эллиптических галактик).

Барт послал только что полученный спектр галактики POX 52 Хо, который, лишь взглянув на него, сразу же спросил Барта: «Где ты нашел такой замечательный спектр NGC 4395?» Спектры двух разных космических объектов выглядели настолько одинаково, что Хо не смог их различить. (Именно характерные признаки в спектре указывают на присутствие черной дыры.)

Поскольку POX 52 находится на расстоянии 300 млн световых лет (в 20 раз дальше, чем NGC 4395), оценки массы ее черной дыры астрономы выполнили еще более хитроумными методами. Тем не менее большое количество данных свидетельствует, что эта галактика «укрыла» черную дыру массой примерно в 100 тыс. Солнц. Черные дыры «средней весовой категории» в галактиках без балджей теперь образуют класс из двух объектов.

Конечно, чтобы решить более сложную проблему, как сформировались зародыши сверхмассивных черных дыр, требуется большее количество таких «середняков». Иначе трудно ответить на множество элементарных вопросов. Насколько типичны черные дыры промежуточной массы? Всякая ли галактика без балджа содержит такой объект, или в большинстве из них они все же отсутствуют? Есть ли такие черные дыры промежуточной массы где-либо еще? И ожидает ли нас в будущем находка образцов еще меньших, чем эти две? Только ответив на них, мы, возможно, сумеем понять, как сформировались зародыши и какую роль они играли в ранней Вселенной.

### Охота на черные дыры

К сожалению, стандартные астрономические методы плохо приспособлены к поиску черных дыр промежуточной массы. Чем большими размерами обладает такой объект, тем больше он может «залотить» и тем ярче светиться. Небольшие черные дыры более тусклы, и поэтому их трудно обнаружить. Но дело осложняется еще вот чем. Эллиптические галактики, в которых имеют обыкновение находиться большие черные дыры, ведут себя необычайно хорошо. В таких галактиках не очень много газа и не образуются новые звезды, а значит, мы имеем ясный и ничем не затуманенный вид на центр галактики. Наоборот, в галактиках с преобладанием дисковой структуры (таких, в которых, по нашему подозрению, возможно, обычно и скрываются черные дыры промежуточной массы) часто рождаются звезды, и свет этих молодых звезд, а также связанные с ними газ и пыль могут спрятать активную черную дыру.

Чтобы преодолеть подобного рода препятствия, в 2004 г. Хо и я обратились к бесценной библиотеке данных, предназначенной для поиска иголок в космическом стоге сена, — к Слоуновскому цифровому обзору неба (Sloan

*Digital Sky Survey, SDSS*). С 2000 г. телескоп в штате Нью-Мексико, используемый в этом проекте, отснял изображения более чем четверти небесной сферы и запечатлел спектры миллионов отдельных звезд и галактик.

Мы изучили 200 тыс. спектров галактик и обнаружили 19 новых кандидатов, похожих на NGC 4395, — небольших галактик, содержащих активные черные дыры с массами, по нашей оценке, менее 1 млн солнечных масс. Аналогичные исследования в течение последних нескольких лет, в которых были использованы более свежие данные Слоуновского обзора, позволили расширить круг «подозреваемых» до примерно трех десятков черных дыр с массами менее миллиона солнечных масс и более 100 с массами, чуть превышающими этот порог.

Метод, использованный для оценки масс, — косвенный. Слоуновские спектры показывают нам величину скорости горячего газа, обращающегося вокруг черной дыры. Но это лишь часть информации, необходимой для расчета непосредственно массы этого объекта (вторая половина — диаметр орбиты). Тем не менее астрономы из наблюдений активных черных дыр с массами в диапазоне от миллиона до миллиарда солнечных масс знают, как скорость газа обычно соотносится с массой черной дыры (чем меньше масса, тем медленнее движется газ). Экстраполяция на черные дыры меньшей массы дает нам возможность отыскать наших маленьких приятелей в данных SDSS.

Эти поиски подтвердили наши догадки, основанные на исследовании объектов NGC 4395 и POX 52: существует более обширная популяция черных дыр промежуточной массы. Ожидаемым результатом было бы нахождение этих объектов в галактиках без балджей. Тем не менее такие черные дыры, по-видимому, все-таки очень редки. Лишь одна из каждых 2 тыс. галактик достаточно ярких, чтобы попасть в Слоуновский обзор, демонстрирует свидетельства присутствия активной черной дыры промежуточной массы.

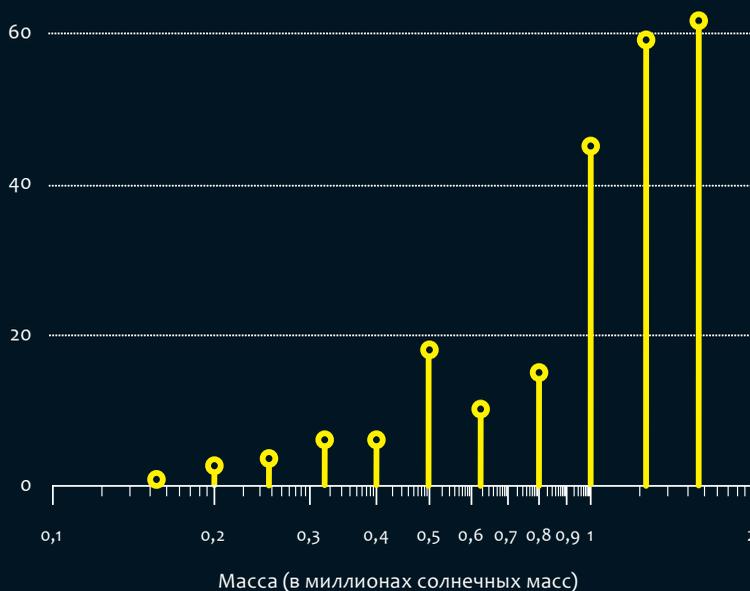
Однако исследования в рамках программы SDSS, возможно, позволяют фиксировать далеко не все черные дыры. Исследования проводятся исключительно в оптическом диапазоне (диапазон длин волн, который видит наш глаз), и не исключено, что пылевые облака надежно укрывают множество черных дыр от нашего взгляда. Чтобы обойти это препятствие, астрономы исследуют излучение галактик в диапазонах таких длин волн, которые могут почти беспрепятственно пройти

## Уже обнаруженные «среднячки»

### ПЕРВЫЕ ФАКТЫ, СВИДЕТЕЛЬСТВУЮЩИЕ В ПОЛЬЗУ КОЛЛАПСА, А НЕ СЛИЯНИЯ ЗВЕЗД

Анализ 500 тыс. изображений галактик в оптическом диапазоне выявил более 100 черных дыр с массами, оцениваемыми менее двух миллионов солнечных масс (диаграмма). Другие исследования — в среднем инфракрасном, рентгеновском и радиодиапазонах — выявили еще несколько кандидатов. Пока что есть основания полагать, что большая часть галактик без балджей не содержат в своих ядрах черных дыр промежуточной массы. Эти наблюдения говорят в пользу сценария формирования зародышевых черных дыр путем прямого коллапса. Если бы зародыши образовались в результате коллапса звезд, то можно было бы ожидать нахождения гораздо большего количества некрупных черных дыр в диапазоне от 10 тыс. до 1 млн солнечных масс.

Число черных дыр промежуточной массы, обнаруженных с помощью анализа оптических изображений



через пыль — рентгеновское излучение, радиоволны и инфракрасное излучение средневолновой области. Шобита Сатьяпал (Shobita Satyapal) из Университета Джорджа Мейсона и ее сотрудники использовали средневолновое инфракрасное излучение в поисках признаков скрытых активных черных дыр в галактиках без балджей. Экстремальное ультрафиолетовое излучение, исходящее от вещества, устремляющегося к черной дыре, вызывает ионизацию молекул в газовом облаке, порождая необычные химические соединения, такие как возбужденные состояния высокоионизированных атомов неона. Излучение этих ионов оставляет характерные «отпечатки пальцев» в спектрах средневолнового инфракрасного излучения. Такого рода поиски удаются в относительно небольшом числе галактик — группа Сатьяпал обнаружила всего несколько новых активных черных дыр — «среднячков». Астрономы нашли признаки черной дыры промежуточной массы или сверхмассивной черной дыры, исследуя галактики

в рентгеновском и радиодиапазонах, и дополнительные наблюдения для подтверждения этих кандидатов сегодня продолжают.

Эти результаты говорят, что ведя поиск лишь в оптическом диапазоне, мы можем упустить множество галактик без балджей, которые скрывают свои черные дыры — «середнячки» пылевыми облаками, но все же не так уж и много, чтобы такие черные дыры промежуточной массы стали обычным явлением. Вердикт еще не вынесен, но, вероятно, лишь от 5 до 25% галактик без балджей дали прибежище черным дырам промежуточной массы, достаточно большим, чтобы их можно было бы обнаружить.

## Растущие галактики и черные дыры

Наблюдения черных дыр промежуточной массы в галактиках, не имеющих балджей, могут пролить свет на связь между более крупными черными дырами и большими балджами. Как я уже отмечала, сверхмассивные черные дыры в массивных галактиках с балджами обычно имеют массу примерно в одну тысячную массы балджа. Рост сверхмассивных черных дыр, очевидно,

тесно связан с ростом окружающего его балджа. Если связь между черными дырами и галактиками во время формирования балджа и существует, то корреляции между свойствами галактик, не имеющих балджей, и находящимися в них черными дырами — «середнячками» быть не должно.

Наиболее правдоподобная теория, объясняющая корреляцию, наблюдающуюся в галактиках с балджами, утверждает следующее: эллиптические галактики и большие балджи образуются, когда сливаются две дисковые галактики. Во время слияния гравитационные силы расшатывают их, и звезды движутся уже не в плоскости диска, а по орбитам, расположенным случайным образом внутри шара (форма в виде эллипса или выпуклости). Газовые облака во время слияния соударяются и в форме воронки устремляются к центру балджа, запуская основной механизм формирования звезды, который увеличивает суммарную массу звезд в балдже. Одновременно черные дыры каждой из галактик сливаются и засасывают часть газа, находящегося в центре галактики. Так за счет подобного рода крупномасштабных процессов, идущих при слиянии галактик,



**Галактика NGC 4395**, дисковая галактика без балджа, была первой, показавшей признаки наличия черной дыры промежуточной массы в своем ядре

## Преимущественное количество небольших галактик, у которых балдж отсутствует, по-видимому, не имеют черной дыры в своем центре

могут происходить совместный рост и эволюция крупных балджей и сверхмассивных черных дыр. К моменту, когда масса черной дыры достигнет тысячной массы балджа, на первый план выходят явления, выталкивающие газ из центра галактики и прекращающие ее бурный рост.

Черным дырам промежуточной массы в галактиках без балджей, вроде NGC 4395, так и не пришлось испытать радость подобного галактического пиршества. Вместо этого они остались недоразвитыми зародышами, которые немного подросли, лишь случайно «лакомясь» газом в центре галактики: закуска, которая не связана непосредственно с событиями, сформировавшими эволюционные процессы в галактике. В некоторых галактиках, не имеющих балджей, возможно, черные дыры так и не смогли подрасти. Такая ситуация сложилась в чисто дисковой галактике M33 (по физическим характеристикам во многом схожей с NGC 4395), которая, очевидно, не содержит черной дыры более массивной, чем 1,5 тыс. Солнц. Число доказательств в пользу картины, связывающей рост черной дыры с формированием балджа, увеличивается, но множество деталей еще требуют проработки, и дело пока закрыто не полностью.

Что касается вопроса, как образуются черные дыры-зародыши, то редкость черных дыр промежуточной массы свидетельствует в пользу теории непосредственного коллапса газовых облаков в ранней Вселенной. Если бы зародыши возникли в результате звездного коллапса, то следовало бы ожидать, что почти в центре каждой из этих галактик расположена черная дыра массой по крайней мере в 10 тыс. Солнц. Но преимущественное количество небольших галактик, у которых балдж отсутствует, по-видимому, не имеют такой черной дыры в своем центре.

В пользу сценария непосредственного коллапса свидетельствуют и другие факты. В частности, слабая корреляция масс черных дыр — «сердечков» с массами галактик, в которых они расположены, хорошо укладывается в его предсказания. А сотворить черную дыру массой в миллиард Солнц намного легче, если сами зародыши уже достаточно массивны.

Конечно, по мере поступления новых данных, выводы, сделанные в настоящее время, вероятно, претерпят изменения. Например, если бы астрономы вглядывались в галактики слегка более тусклые, чем те, спектры которых изучались в Слоуновском обзоре, то доля галактик с черными дырами промежуточной массы, возмож-

но, и выросла бы. Или, наоборот, упала. Возможно и то, что в некоторых галактиках черные дыры — «сердечки» расположены не в центрах. Поиск черных дыр промежуточной массы сегодня продолжается по многим фронтам. Детально это описано на сайте *Scientific American*: [www.ScientificAmerican.com/jan2012/black-holes](http://www.ScientificAmerican.com/jan2012/black-holes).

Пока же много критических вопросов относительно черных дыр промежуточной массы остаются открытыми. Действительно ли такие черные дыры чаще встречаются в небольших галактиках специального типа? (Подобная связь могла бы стать основанием для гипотезы, что имеют место другие способы взаимодействия черных дыр и содержащих их галактик даже на стадиях, предшествующих слиянию, в результате которого образовались балджи и сверхмассивные черные дыры). Действительно ли в большинстве галактик, в которых нет балджей, нет и черных дыр промежуточного размера, или же черные дыры там все же есть, но им слегка недостает массы, чтобы мы могли их обнаружить? Это действительно так, если их масса составляет примерно 1 тыс. солнечных масс. (Такие черные дыры, несомненно, выросли из остатков умерших звезд, а не сформировались путем непосредственного коллапса.) Или же все без исключения галактики, не имеющие балджей, содержат массивные, от 10 тыс. до 100 тыс. солнечных масс, черные дыры, но большинство из них не имеют возможности питаться и поэтому не проявляют себя ни рентгеновским излучением, ни светом? (Это заставило бы отказаться от вывода, что черные дыры — «сердечки» редки.) в зависимости от того, какие ответы на эти вопросы будут получены, астрофизические теории формирования галактик и зародышей черных дыр могут продвинуться в совершенно разных направлениях. ■

Перевод: А.П. Кузнецов

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- A Low-Mass Central Black Hole in the Bulgeless Seyfert 1 Galaxy NGC 4395. Alexei V. Filippenko and Luis C. Ho in *Astrophysical Journal*, Vol. 588, No. 1, pages L13–L16; May 1, 2003.
- Active Galactic Nuclei with Candidate Intermediate-Mass Black Holes. Jenny E. Greene and Luis C. Ho in *Astrophysical Journal*, Vol. 610, No. 2, pages 722–736; August 1, 2004.
- Nuclear Activity in Nearby Galaxies. Luis C. Ho in *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, Vol. 46, pages 475–539; September 2008. <http://arxiv.org/abs/0803.2268>
- Formation of Supermassive Black Holes. Marta Volonteri in *Astronomy and Astrophysics Review*, Vol. 18, No. 3, pages 279–315; July 2010. <http://arxiv.org/abs/1003.4404>
- Supermassive Black Holes Do Not Correlate with Galaxy Disks or Pseudobulges. John Kormendy, R. Bender and M. E. Cornell in *Nature*, Vol. 469, pages 374–376; January 20, 2011.
- Big Black Hole Found in Tiny Galaxy. Jenny E. Greene in *Nature*, Vol. 470, pages 45–46; February 3, 2011.

A vibrant cosmic background featuring a large, glowing galaxy with blue and purple hues on the left, and several planets of various colors (green, blue, yellow) on the right. The overall scene is set against a dark starry space.

# ЭНЕРГИЯ – ДЕЛО ТЕМНОЕ?

*Одна из самых увлекательных тем в сегодняшней космологии — вопрос о темной материи и темной энергии, особенно о последней. Что знает об этих загадочных сущностях современная наука, нам рассказал один из ведущих мировых специалистов в области квантовой теории поля, физики элементарных частиц и космологии, доктор физико-математических наук, академик РАН Валерий Анатольевич Рубаков*

**Академик РАН**  
**Валерий**  
**Анатольевич**  
**Рубаков**



— Валерий Анатольевич, темой вашей кандидатской диссертации была отнюдь не темная энергия, о которой в начале 1980-х гг. еще никто не слышал. Она звучала так: «Структура вакуума в калибровочных моделях квантовой теории поля». Что сегодня, спустя три десятилетия, мы знаем о вакууме?

— Вакуум — довольно сложная сущность. В обыденном представлении это пустая, неинтересная, не имеющая никаких особенных свойств вещь. На самом деле все гораздо хитрее, и то, как устроен вакуум, фактически определяет то, как устроена природа вообще: какие есть в ней частицы, какие у них массы, какие электрические заряды; какие силы есть в природе, как взаимодействуют частицы. Надо сказать, что и тогда, в 1981 г., о вакууме уже было известно довольно много. Мы знали, что вакуум — непростая система. Это представление развивалось, и сейчас становится все более понятно, что разных вакуумов в теории может быть очень много. Когда-то раньше мы думали, что вакуум один-единственный. Теоретически. И это — то главное, что с тех пор изменилось.

— Если взять примитивное представление, что вакуум есть пустота, то разве может пустота быть разной?

— Это не просто пустота, даже совсем не пустота. Вакуум — это низшее по энергии состояние материи, а точнее квантовых полей. Энергетически — самое выгодное. Раньше думали, что оно всего одно. Действительно, если у вас есть «теория всего на свете», то низшее по энергии состояние для нее, казалось бы, единственное. Создав

такую теорию и выяснив, каков в ней вакуум, мы в конце концов смогли бы предсказать все. Сегодня выясняется, что вакуумов в одной и той же «теории всего» (а на эту роль претендует, и небезосновательно, теория суперструн) очень много. В каком именно мы живем, в каком находится наша часть Вселенной, очень интересный вопрос, который можно сформулировать и так: почему мы оказались в том или ином вакууме?

— Здесь может работать знаменитый антропный принцип: наш вакуум именно такой не потому, что только он возможен, а потому, что в нем можем существовать мы?

— Я предпочитаю не торопиться привлекать антропный принцип. Для теоретика это беда. Приняв этот принцип, вы начинаете говорить: «Нет, ребята, я отказываюсь объяснять, почему тот или иной параметр именно таков, потому что антропный принцип мне это объясняет». Хотелось бы все-таки найти физическое объяснение. Хотя, возможно, антропный принцип действительно работает, нравится нам это или нет.



## Вакуумный армагеддон

— Часто приходится слышать страшилку про идеальный вакуум: что какой-то физический процесс или явление может вызвать в локальном масштабе переход физического вакуума на более низкий, а значит, на энергетически более выгодный уровень, и это должно запустить цепную реакцию перехода, подобную эффекту домино. В этом случае Вселенная полностью изменится. Меняются все константы, законы. Это будет новый мир, в котором мы с высокой степенью вероятности существовать не сможем. То есть это будет тот самый конец света, о котором время от времени все вспоминают. Насколько это реально?

— Такое пока не исключено. Другое дело, что временной масштаб здесь гигантский. Раз мы уже прожили 14 млрд лет в этом вакууме, значит это состояние достаточно стабильно, значит еще столько же лет мы наверняка проживем. Но нельзя исключить, что действительно есть более низкое по энергии состояние — настоящий вакуум, что мы живем в вакууме чуть более высокой энергии и когда-нибудь перейдем в более низкое состояние. Такое пока ничему не противоречит, хотя предположений, указаний, что так оно и будет, тоже нет. Сегодня этот вопрос открыт.

— Но то, что за 14 млрд лет не смогла сделать природа, может совершить сам человек. У нас есть мегаустановки наподобие Большого адронного коллайдера, на которых достигаются колоссальные энергии и вершатся великие открытия. Что если одна из таких установок случайно «пробьет» наш вакуум и заставит его «приспуститься»?

— Можно не беспокоиться, такого не произойдет. Это мы знаем экспериментально. Земля, любые космические тела (планеты, звезды) все время облучаются интенсивным космическим излучением, происходят соударения с частицами, летящими из космоса с почти световыми скоростями. Энергии этих столкновений на несколько порядков выше, чем те, что достигнуты в CERN. Космические лучи сверхвысоких энергий безостановочно бомбардируют нашу планету, ее атмосферу.

Столкновений, подобных тем, что сейчас происходят на Большом адронном коллайдере, по подсчетам ученых, за 14 млрд лет уже произошло в 50 млн раз больше, чем всех столкновений, которые когда-нибудь в будущем произойдут на БАК: т.е. 50 млн «больших адронных коллайдеров» уже работали весь свой срок и на них ничего такого не произошло. Отсюда есть уверенность, что ничего такого не случилось и на этом коллайдере.

— Все, что могло произойти, уже произошло.

— Именно. На самом деле не произошло ничего. По крайней мере переходов между разными вакуумами не было. Переход из вакуума в вакуум — это взрывной процесс, распространяющийся от эпицентра со скоростью света, сопровождающийся гигантским выделением энергии. Ничего подобного во Вселенной не было. Это мы тоже достаточно хорошо знаем. Поэтому страшилок бояться не надо.

## Темные силы светлого мира

— В начале XXI в. произошла действительно революция в науке, когда мы узнали, что наши материя и энергия — это далеко не все содержание Вселенной и даже не большая его часть, что есть еще таинственная темная материя и совершенно непонятная темная энергия. Вы до того времени уже довольно долго занимались космологией. Чувствовалась ли в теории и эксперименте нехватка этих компонентов?

— С темной материей было несколько проще, чем с темной энергией. Это история очень давняя — с 30-х гг. XX в. Американский астроном Фриц Цвигки еще в то время заметил, что движение галактик в скоплениях происходит так, как будто бы масса внутри этих скоплений была гораздо больше, чем то, что мы видим в телескопы. Массу светящегося вещества можно было посчитать по количеству звезд в этих скоплениях, и в результате оказывалось, что массы не хватает для того, чтобы движение было именно таким, какое оно есть. Это наблюдение развивалось дальше, и уже к концу 1980-х гг., а может и раньше, стало совершенно ясно, что нам не хватает вещества и в скоплениях галактик, и в самих галактиках. Сильно не хватает массы. Тогда еще можно было спорить, существовали различные теории, предположения, но к началу 1990-х гг. уже стало очевидным, что это вещество — необычное. Эта масса, эта материя — не такая, какая нас окружает. Протоны, нейтроны и т.д. — барионная материя, обычное, нормальное вещество; но нам уже было понятно, что масса, которую мы ищем, в основном не барионного типа. Это какая-то материя, которая умеет притягивать гравитационно, как обычное вещество, но прочие взаимодействия с нашим обычным веществом у нее очень слабые. Когда ее существование было доказано, особого ажиотажа не было.

А темная энергия — история действительно неожиданная. У физиков были подозрения, что с балансом энергий нашей Вселенной что-то не так. Был примерно известен темп расширения Вселенной, а он прямо связан с тем, сколько есть энергии, какова ее плотность во Вселенной. И было видно, что темп этот великоват. Значит, полной энергии в среднем во Вселенной должно было быть больше, чем можно было посчитать.

— Так ведь была еще темная материя...

— Энергии должно было быть больше, даже учитывая темную материю. Тогда существовали две школы. Представители первой полагали, что все дело в неизвестной темной энергии, а последователи второй старались доказать, что дело в кривизне пространства.



# Разлет во тьму

Во Вселенной преобладает загадочная темная энергия, сохраняющая постоянную плотность и действующая как антигравитация — сила взаимного отталкивания материи. Пространство расширяется все быстрее. Так будет продолжаться целую вечность. Но в конце концов все материальные структуры распадутся.

## ЧЕРЕЗ $10^{40}$ ЛЕТ

Происходит распад протонов — «строительных кирпичиков» ядер атомов. В космосе остаются лишь черные дыры. За счет квантовых эффектов они же испускают энергию в процессе вращения и медленно «испаряются».

## ЧЕРЕЗ $10^{14}$ ЛЕТ

Вселенная наполнена только черными дырами и «останками» звезд: нейтронными звездами, коричневыми и белыми карликами. Время от времени при столкновении двух коричневых карликов темное пространство озаряет вспышка нового светила.

## ЧЕРЕЗ $10^{11}$ ЛЕТ

Разгоняемые темной энергией скопления галактик разделяются за пределы видимости.

## 14 МЛРД ЛЕТ

Наше время. Пик новой эры.

Во Вселенной начинает превалировать темная энергия, которая распирает космическую материю изнутри и вызывает ее ускоряющийся разлет.

## 7 МЛРД ЛЕТ

Формируются первые галактики

## 400 МЛН ЛЕТ

Зажигаются первые звезды

Реликтовое излучение

**БОЛЬШОЙ ВЗРЫВ** — рождение Вселенной

- ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ
- ВЕЩЕСТВО
- ИЗЛУЧЕНИЕ

Плотность энергии

↑ Возраст Вселенной

Доминирование темной энергии

Доминирование вещества

Излучение

7 млрд лет

300 тыс. лет

**— Какая связь между дефицитом энергии и кривизной пространства?**

— Дело не в дефиците, а в темпе расширения Вселенной: если пространство искривлено, то оно другое.

Эти две точки зрения существовали параллельно. Наконец к исходу прошлого века было установлено ускоренное расширение Вселенной. За это открытие в 2011 г. была вручена Нобелевская премия. Ускоренное расширение Вселенной подтверждало наличие темной энергии. Что это такое — вопрос непростой и на данный момент непонятный. Может быть, это как раз и есть энергия вакуума, а может — что-то совсем другое.

**— Мы можем исследовать темную энергию?**

— Пока мы можем делать это косвенно, измеряя темп расширения Вселенной: какой он сегодня, какой он был вчера или позавчера. Это делается астрономическими методами.

**— Ученые уже больше десятилетия проявляют пристальный интерес к темной энергии. Что мы можем о ней сказать сейчас?**

— Сегодня она выглядит очень похоже на плотность энергии вакуума. Вакуум всегда один и тот же. Вселенная растянулась, а вакуум у нас в комнате остался тем же самым, мы этого не заметили. Значит, плотность его энергии постоянна во времени. Так же ведет себя и темная энергия, хотя, как и любой экспериментальный результат, это утверждение справедливо в пределах точности наблюдений.

**— Позвольте, но это противоречит закону сохранения энергии. Если Вселенная все время расширяется, а плотность этой темной энергии со временем не меняется, значит ее количество постоянно растет.**

— Закона сохранения энергии в космологии нет. Вселенная растягивается, а плотность энергии постоянна.

Объем увеличивается — и энергия в этом объеме увеличивается.

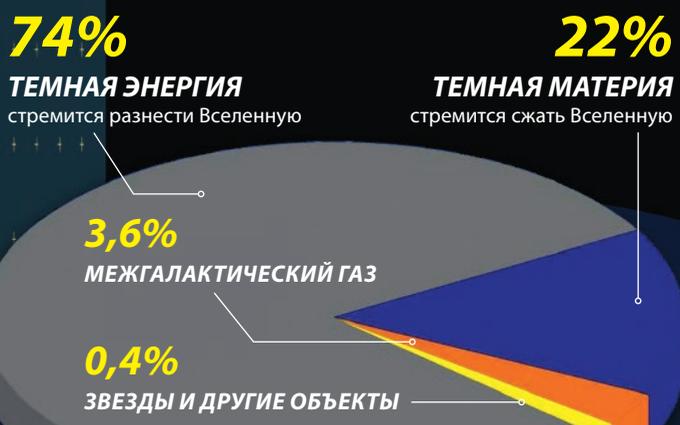
**— Откуда она берется?**

— Ниоткуда, нет закона сохранения энергии. Есть некое его обобщение, но простого закона о том, что энергия постоянна, нет. Она постоянно растет. Энергия вакуума постоянна — это главная характеристика. Если есть зависимость плотности темной энергии от времени, то это точно не вакуум, а какое-то новое поле или что-то подобное.

Но сегодня пока все данные говорят о том, что плотность энергии держится постоянной, поэтому темная энергия выглядит как энергия вакуума. Если так, то это довольно скучно, потому что это просто еще одно число, константа, которая характеризует нашу физику. Конечно, было бы гораздо интереснее, если бы это была новая сущность — какое-то новое поле, которое как-то себя ведет, эволюционирует, живет своей жизнью. Пока этого нет. Правда, точности измерений пока не очень высокие, поэтому все еще может измениться. Есть предложения, как можно заметно более точно измерить темп расширения, а стало быть и то, как ведет себя темная энергия.

**— Как это собираются сделать?**

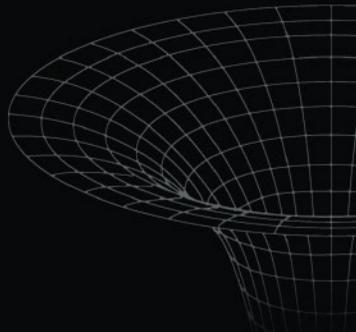
— Во Вселенной есть светящиеся яркие объекты, которые с определенной степенью точности можно считать стандартными «свечами». Мы знаем абсолютную яркость такой «свечки», сколько она выделяет энергии за единицу времени. Независимо от того, где она находится, она светит одинаково. Мы ее видим в зависимости от расстояния более или менее яркой. Одновременно мы можем узнать, с какой скоростью относительно нас этот объект движется. Условно говоря, можно измерить, как быстро он от нас удаляется из-за расширения

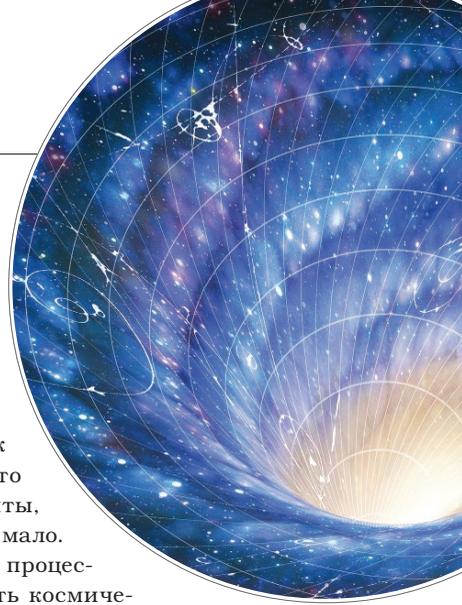


✓ С самого момента феноменального успеха закона всемирного тяготения Исаака Ньютона, в 1687 г. объяснившего движение планет и динамику, невидимая материя привлекалась для объяснения загадочных явлений, наблюдаемых в космических телах.

✓ Результаты наблюдения астрономов за сверхновыми типа Ia показали, что расширение Вселенной идет с ускорением, причиной которого выступает темная энергия.

Два крупнейших элемента Вселенной — темная материя и темная энергия — это те два элемента, о которых мы знаем меньше всего. При этом именно они определяют судьбу нашей Вселенной — ни много ни мало.





Вселенной. Тем самым можно измерить одновременно и расстояние, на котором находится этот объект, и его скорость относительно нас. Расстояние связано с тем, сколько времени прошло, свет движется с конечной скоростью. Соответственно, вы можете измерять темп расширения Вселенной в разные времена — более ранние, менее ранние. Так это открытие и было сделано. В качестве стандартных «свеч» использовались сверхновые первого типа *a (Ia)*. Считается, что они все почти одинаковы, что это стандартные «свечки».

Используя эти сверхновые, сегодня можно сделать более точные измерения. Прогресс идет, и то, что делается на телескопах на Земле, уже можно осуществлять и на спутниках в космосе. А там совершенно другие точности. Есть проекты космического телескопа специально для этой цели: измерить, как расширялась Вселенная, используя стандартные «свечки».

**— По-вашему, мы сможем когда-то ощутить в экспериментах или воссоздать темную энергию и темную материю?**

— С темной материей проще, потому что это обычные частицы. Конечно, это не известные нам, а новые частицы, нейтральные по отношению к электромагнитным взаимодействиям, поэтому они не светят и не поглощают свет. Именно поэтому состоящая из них материя — «темная», т.е. невидимая. Можно надеяться на то, что эти частицы будут рождаться на ускорителях. У них, наверное, есть какие-то партнеры. По сути, должен быть целый набор новых частиц, новый сектор, где есть частицы темной материи. Этот сектор, надо надеяться, можно будет изучать на ускорителях. Летающие вокруг нас частицы темной материи можно пытаться регистрировать, и люди это делают, можно фиксировать их взаимодействие с ядром. В этом случае они с ним сталкиваются,

и ядро отлетает. Можно зарегистрировать, что в детекторе произошел процесс, при котором ядро вдруг начало двигаться.

**— «Здравствуйте, мы встретились».**

— Именно. Такой поиск сейчас и происходит. Это тончайшие эксперименты, т.к. энергии выделяется мало. У нас же буквально море процессов подобного типа. Есть космические лучи, которые постоянно обстреливают нашу материю, есть постоянная радиоактивность. Когда у вас что-то из этого происходит, ядро отскакивает, выделяется энергия, таких процессов даже в этой комнате огромное количество. В таких условиях «поймать» именно темную материю нереально, поэтому нужно уходить глубоко под землю, где нет космических лучей, использовать сверхчистые материалы, очень тонкие детекторы, которые умеют измерять крайне слабые выделения энергии. Это кропотливая работа.

**— Как нейтрино ловили.**

— Это даже сложнее, чем ловить нейтрино. Нейтрино сейчас научились ловить, хотя они тоже очень слабо и редко взаимодействуют. А с темной материей — еще более трудное и тонкое дело.

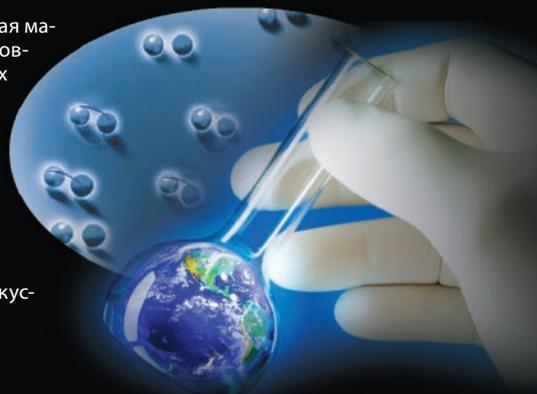
**— Значит, можно ждать того, что темную материю мы поймаем?**

— Все ждут. Уже в течение многих лет проходят все более масштабные эксперименты. Пока этим частицам удается от нас ускользнуть. Хотя, возможно, мы просто

✓ Данные наблюдений показывают, что масса темной материи в галактиках, в скоплениях галактик и во Вселенной в целом примерно в пять или шесть раз превышает массу обычной барионной материи — такой как протоны и нейтроны.

✓ Считается, что темная материя состоит в основном из экзотических частиц, сформировавшихся в возрасте Вселенной, равном доле секунды.

✓ Некоторые физики предлагают создать темную материю искусственно.



✓ Вопрос существования темной материи или необходимости внесения поправок в закон всемирного тяготения вряд ли будет разрешен, пока частицы темной материи не выявлены и не исключены невозможностью выявления.

✓ Две основные модели темной энергии заключаются в том, что либо она представляет собой энергию, связанную с пустым пространством (вакуумную энергию), и постоянна в пространстве и времени, либо это энергетическое поле, которое изменяется в пространстве и времени.

✓ Если это вакуумная энергия, то примерно через 100 млрд лет любая галактика за пределами нашей собственной станет невидимой.

✓ Если это энергетическое поле, то в зависимости от его природы либо расширение может остановиться и перейти в сжатие, либо ускорение может бесконечно возрастать.

✓ Если темной энергии не существует, космическое ускорение может быть признаком того, что закон всемирного тяготения требует поправки для очень больших расстояний.



не туда смотрим. Может быть, они обладают совсем другими свойствами.

### **Понять и спастись**

**— Многих людей вводит в заблуждение схожесть названий: темная материя и темная энергия.**

— Это совершенно разные вещи. Темная материя — это обычное в гравитационном плане частицы.

Они собираются в сгустки, они есть в галактиках, есть в скоплениях галактик. Они очень важны с точки зрения формирования скоплений галактик и самих галактик. Для нас с вами темная материя важна, потому что процесс формирования галактик именно так и происходил: сначала сгущалась темная материя, а потом она притягивала на себя обычное вещество, образовывались галактики. Темная материя в гравитационном отношении очень похожа на обычное вещество.

Темная энергия ни в какие сгустки не собирается, в галактиках ее столько же, сколько между галактиками, сколько вдалеке от всех скоплений. Она всюду разлита равномерно. Гравитационно она устроена по-другому. Если темная материя притягивает, обладает гравитацией, то темной энергии в определенном смысле присуща антигравитация. Она заставляет Вселенную расширяться ускоренно.

**— Со временем это ускорение увеличивается?**

— Не беспредельно. Условно говоря, через 50 млрд лет, когда обычное вещество уже будет совсем разрежено, во Вселенной останется в основном темная энергия и это ускорение станет постоянным.

**— Что тогда будет с нашей материей? Останутся ли звезды, планеты или это уже будет конец света, когда все разлетится и разорвется?**

— Разорвется вряд ли, хотя такое тоже нельзя исключить. Сценарии так называемого Большого разрыва обсуждаются. Отдаленное будущее нашей Вселенной зависит от свойств темной энергии. Именно она скоро станет главной. Сейчас она доминирует во Вселенной на 70%, а когда-нибудь будет и на все 99%. Дальше уже все будет определяться тем, как она себя ведет. Если ее плотность упадет до нуля, то Вселенная перестанет расширяться и начнет сжиматься. Произойдет обратный процесс коллапса Вселенной с разогревом и т.д. Если она постоянна, как плотность энергии вакуума, то Вселенная будет бесконечно расширяться с постоянным темпом расширения.

**— И мы дойдем до «холодной смерти»?**

— Да, постепенно все галактики разлетятся, будут затухать звезды, и... Посмотрим. Если плотность темной энергии растет, она может в далеком будущем расти неограниченно, тогда возможно ускоренное расширение. В конечном итоге может быть такой большой разрыв,

когда все во Вселенной начнет разлетаться с бесконечной скоростью. Тогда и атомы развалятся, и ядра, и все на свете. Электроны улетят от атомов, протоны — от нейтронов. Но это будет не скоро. К тому времени человечество должно придумать, как изменить законы природы и сделать свою жизнь более комфортной.

**— Быть может, создать новую Вселенную?**

— Создать новую Вселенную или научиться влиять на законы природы. Через 20 млрд лет, возможно, человечество к этому придет. Если доживет, конечно.

**— Антигравитация уже сама по себе интересна. Ведь человек всегда мечтал изобрести ковер-самолет. Может ли быть такое, что мы научимся управлять этой темной энергией?**

— Сегодня такой возможности не видно. Вам для этого нужно собрать такую энергию в сгусток, но пока непонятно, как это сделать. Однако никогда не говори «никогда». Мы сейчас слишком мало знаем про темную энергию, чтобы решать, как мы ею можем (и можем ли в принципе) манипулировать, собирать ее, аккумулировать, использовать, генерировать. Сегодня кажется, что это безнадежно. Но надо сказать, что про многие вещи люди так думали. Когда Генрих Рудольф Герц обнаружил радиоволны, он был уверен (и говорил об этом в открытую), что это такая игрушка, которая никогда не будет использоваться. А сегодня кругом сплошные радиоволны.

### **Космологическое хулиганство**

**— Вы помните свои ощущения, когда точно стало известно, что существует темная энергия?**

— Когда появились данные о том, что Вселенная расширяется ускоренно, что есть темная энергия, это было некомфортно. И до сих пор так остается.

**— Почему?**

— Плотность энергии — это число. Есть числа той же размерности в физике фундаментальных взаимодействий, т.е. характерные для этих взаимодействий плотности энергии. Слабые взаимодействия, сильные взаимодействия, гравитационные — они все характеризуются некоторой размерной величиной, которая имеет ту же самую размерность — плотность энергии. Если думать, что существует какая-то плотность темной энергии, то нужно сравнивать эти два значения — то, что вы можете построить из величин, характеризующих фундаментальные взаимодействия, и реальную плотность энергии во Вселенной. Оказывается, что в лучшем случае, если брать самые низкоэнергетические фундаментальные взаимодействия и плотность темной энергии, то различие составляет 44 порядка, т.е. число с 44 нулями после запятой. Реальная плотность энергии на 44 порядка меньше, чем то, что вы предсказали бы, если бы ничего не знали про расширяющуюся Вселенную и про доминирование темной энергии. Если бы меня посадили в башню из слоновой кости и сказали: «Ты знаешь только то, как устроены фундаментальные взаимодействия, и не знаешь ничего про реальную Вселенную; какой плотности темной энергии ты ожидаешь?», я назвал бы цифру — и ошибся бы на 44 порядка.

Это заставляет чувствовать себя крайне неуютно. И не видно, как и чем можно было бы объяснить такую фантастическую разницу в числах. Поэтому до того, как темная энергия и ускоренное расширение стали реальностью, мне лично казалось, что по каким-то глубоким и непонятным причинам эта плотность темной энергии или плотность энергии вакуума должна быть точно равна нулю. Она настолько маленькая, что есть какие-то глубинные причины, по которым она должна быть точно равной нулю. Когда оказалось, что она нулю не равна, а это какое-то такое мизерное с точки зрения фундаментальной физики число, это было дискомфортно. Я никак не мог к этому привыкнуть. Но деваться некуда.

— **Сейчас уже привыкли?**

— До сих пор не очень, и не только я. Не должно быть так в природе, что у вас два числа одной и той же размерности, одной и той же природы различаются на 44 порядка. Как это так, кто такое придумал?

— **Поймем ли мы когда-нибудь сущность темной энергии, и если поймем, то в какой приблизительно временной промежутке?**

— Я думаю, что речь идет о временных промежутках масштабов десятилетия или двух. Если это энергия

вакуума, то плотность энергии должна быть константой, постоянной во времени величиной. Если это что-то другое, то есть зависимость от времени. Если рассмотреть модели, которые пытаются объяснить темную энергию не энергией вакуума, а чем-то другим, какими-то новыми полями, то становится очевидно, что естественным образом плотность этих полей и их энергии не очень сильно зависит от времени. Но за последние 7 млрд лет она должна была бы измениться. Какие-то модели дают 10%, какие-то 20%, какие-то — 7%, 5%. Когда ответ будет известен с процентной точностью (а речь идет о десятке, может быть, двух десятках лет), тогда будет понятно, какая из моделей ближе к истине. Безусловно, останутся различные возможности, появятся новые вопросы, но уже станет более или менее ясно, что на самом деле происходит, что это — новое поле или энергия вакуума. Я думаю, что через 20 лет темная энергия немного «посветлеет». Однако давать прогнозы — всегда трудное дело. ■

*Беседовал Валерий Чумаков*

## ! Справка

### Валерий Анатольевич Рубаков

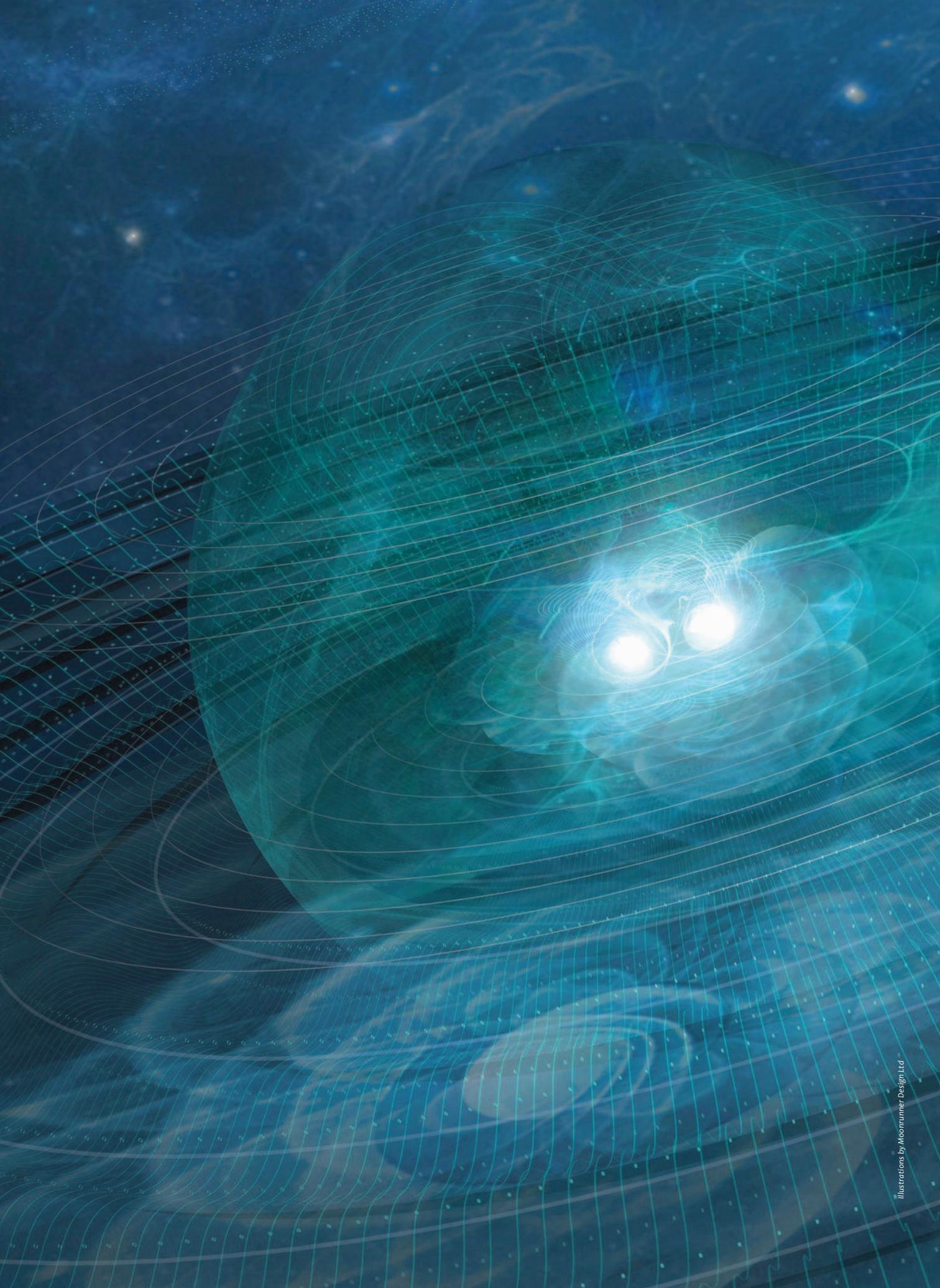
Российский физик-теоретик, участвовал в становлении современной инфляционной теории, одним из первых осознал, что, изучая Вселенную сегодня и поняв историю ее развития, можно узнать новое о физике частиц высоких энергий, пока недоступных прямому экспериментальному наблюдению.

✓ Родился в Москве. Окончил физический факультет МГУ (1978). С 1981 г. работает в Институте ядерных исследований РАН (главный научный сотрудник отдела теоретической физики). Заместитель директора ИЯИ РАН (1987–1994). Профессор, заведующий кафедрой физики частиц и космологии физического факультета МГУ. Академик РАН (1997). Заслуженный профессор Московского университета (1999).

✓ Область научных интересов: калибровочные теории элементарных частиц, проявления свойств вакуума в физике

частиц и космологии, несохранение барионного и лептонного чисел в экстремальных условиях, теории космологических фазовых переходов, инфляционной Вселенной и альтернатив инфляции, топологические переходы и их связь с проблемой темной энергии.

✓ Награжден золотой медалью с премией для молодых ученых Академии наук СССР (1985, совместно с Н.В. Красниковым и В.Ф. Токаревым). Лауреат премии им. А.А. Фридмана (РАН, 1999, совместно с В.А. Кузьминым), премии им. И.Я. Померанчука (2003), премии им. М.А. Маркова (2005, совместно с М.Е. Шапошниковым), премии им. Б.М. Понткорво (2008), премии им. Й.Х.Д. Йенсена Хайдельбергского университета (2009), премии им. Юлиуса Весса Технологического института Карлсруэ (2010), премии им. М.В. Ломоносова за научную деятельность I степени (2012, совместно с М.В. Сажиним).



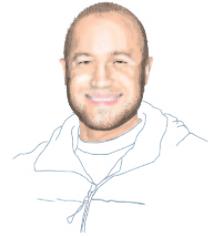
Росс Андерсен

# Эхо Большого Взрыва

Ученые охотятся на гравитационные волны, готовясь впервые их поймать. Тем временем внимание научной общественности привлекают устройства, которые могут позволить астрономам лучше понять физические процессы, происходящие в черных дырах, и наблюдать раннюю, скрытую, историю пространства и времени

## ОБ АВТОРЕ

**Росс Андерсен** (Ross D. Andersen) — главный редактор интернет-журнала *Aeon*, автор многих популярных статей о науке и философии в различных изданиях, включая *Atlantic* и *Economist*.



**П**редставьте, что вам захотелось хоть одним глазком взглянуть на начало времен, на первые мгновения после зарождения нашей Вселенной.

Сначала вы построите превосходный телескоп, инструмент такой мощности, что он сумел бы различить самые окраины наблюдаемого космоса. Затем отыщете холодную высокогорную вершину, далекую от цивилизации, своими огнями заставляющей меркнуть звездное небо. Вы могли бы водрузить на вершине идеальную обсерваторию, оснастить ее самым большим зеркалом на свете, больше того, которое можно поднять в космос, и самыми продвинутыми детекторами. Потратив годы и миллиарды на это мероприятие, вы смогли бы поймать каждый фотон, идущий к нам из глубин Вселенной. Но какую информацию вы получите в итоге от этих фотонов? Представьте, что выдалась редкая ночь, одна из тысячи, когда Луна скрылась за горизонтом и небо распахнуло перед вами бархат чистейшего мрака. Какие сокровища заблестят на нем?

Их окажется совсем немного. Несколько планет, чьи орбиты вьются сквозь неизменный круговорот созвездий. За ними — близкие звезды, которые ярко светились бы на фоне тусклой россыпи слабых светлых точек. Темные уголки небесного свода озаряли бы галактики, некоторые из них — из невообразимой дали в сотни миллионов световых лет. Направив телескоп в нужную точку, вы смогли бы детальнее различить глубины космоса. Вы увидели бы первые звезды — гигантские пылающие шары водорода и гелия, освещающие юную Вселенную.

Но свет имеет границы. Он не способен показать нам всю Вселенную целиком. Вы можете не отрываться от телескопа все ночи напролет, но все равно никогда не увидите процессы слияния черных дыр, и вам никогда не откроется начало времени. В первые несколько сотен тысяч лет после Большого взрыва фотоны ранней Вселенной не могли распространяться свободно, а были связаны в сверхплотной среде с другими частицами, как

увязшие в грязи светлячки. Когда Вселенной исполнилось примерно 380 тыс. лет, ситуация изменилась: расширяясь все это время, Вселенная остыла настолько, что стала прозрачной для фотонов, а значит, стала доступной нашему телескопу. В этот момент рождения видимой нам Вселенной образуется так называемая поверхность последнего рассеяния — сферическая поверхность, с которой к нам со всех сторон приходит космическое микроволновое фоновое излучение (КМФИ). Изучение КМФИ — основная и важнейшая задача современной космологии. Поверхность последнего рассеяния — это своего рода временной барьер, отделяющий доступную нашим наблюдениям Вселенную от непроглядного мрака неизвестности.

На протяжении многих веков регистрация фотонов, идущих к нам из прошлого Вселенной, была основным способом ее изучения. Данные телескопов играли ключевую роль в решении задач космологии. Но свету не проникнуть в начало времен, какими бы гигантскими и сложными ни были наши телескопы. Для того чтобы заглянуть за поверхность последнего рассеяния, нужно обратиться к гравитации. Ее «следы» заполняют собой все пространство-время — это космологические гравитационные волны, вездесущее эхо гравитационных полей. Чтобы обнаружить гравитационные волны, необходимы принципиально новые инструменты, отличающиеся от обычных телескопов.

### Первые детекторы

История постройки гравитационно-волновых детекторов насчитывает несколько десятилетий. Однако все усилия по регистрации «гравитационного эха» оказались безрезультатными. На момент написания этой статьи наиболее технологичным и перспективным прибором можно назвать *LIGO* (*Laser Interferometry Gravitational Wave Observatory*), обошедшийся в \$570 млн. Детектор состоит из трех инструментов, два в штате Вашингтон и один в штате Луизиана. Каждое из устройств представляет

### ! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Астрономы стоят на пороге новой эры. Вскоре Вселенную можно будет наблюдать не только с помощью электромагнитных волн, но и методами гравитационно-волновой астрономии.
- Гравитационные волны позволяют заглянуть в самые дальние уголки Вселенной, скрытые от телескопов, — например, за поверхность последнего рассеяния.
- В ближайшие годы гравитационно-волновые телескопы, работающие на земной поверхности, могут получить интересные данные. Кроме того, идет жесткая конкурентная борьба за то, какие именно технологии по реализации космических гравитационно-волновых детекторов будут использованы.

собой своего рода лазерную линейку, способную измерять длины порядка атомного радиуса. Принцип работы *LIGO* — это принцип работы лазерного интерферометра: два лазерных пучка выстреливаются по направлению двух перпендикулярных «плеч» интерферометра, а затем измеряется различие в пройденном пути (сдвиг фаз). В случае прихода достаточно низкочастотной гравитационной волны относительные длины плеч интерферометра будут меняться. Будут происходить продольные колебания плеч: сжатия и растяжения. По сути, *LIGO* — это небесный динамик, гигантский микрофон, способный уловить слабейший из сигналов — тихую симфонию новорожденной, скрытой от глаз Вселенной.

Первоначально, подобно многим далеко не очевидным феноменам в физике, гравитационные волны возникли из теоретических построений, как решения уравнений, а не как результаты наблюдений. Альберт Эйнштейн был первым, кто указал на необходимость существования гравитационных волн в рамках общей теории относительности. Он понял, что некоторые объекты во Вселенной настолько массивны и так быстро вращаются, что они могут разрывать ткань пространства-времени, порождая слабую рябь вокруг себя.

Насколько слабую? Эйнштейн полагал, что рябь столь малой интенсивности никогда не будет обнаружена. Однако в 1974 г. два астронома, Рассел Халс (Russell Hulse) и Джозеф Тейлор (Joseph Taylor), предположили существование гравитационных волн в оригинальном эксперименте, изучая некий астрономический объект, называемый двойным пульсаром. Пульсары представляют собой вращающиеся ядра давно взорвавшихся звезд, обладающие переменным блеском. Высокая регулярность периодов вращения и переменности пульсаров позволила астрономам использовать эти объекты как часы. В системе двойного пульсара сам пульсар и другой объект пары (в случае описываемого эксперимента — сверхплотная нейтронная звезда) вращаются относительно общего центра масс. Халс и Тейлор догадались, что если теория относительности верна, то вращающаяся пара должна порождать гравитационные волны, которые, распространяясь, должны были бы уносить часть энергии из двойной системы, что привело бы к уменьшению радиусов орбит вращения и к его ускорению. Ученые вычертили теоретическую траекторию возможного движения пульсара и в течение нескольких лет следили за ним, чтобы понять, действительно ли сжимается орбита или нет. Было не только обнаружено искомое сжатие, но и в целом теоретически рассчитанное движение пульсара полностью подтвердилось, что еще раз послужило блестящим доказательством теории Эйнштейна, а в 1993 г. привело к награждению Халса и Тейлора Нобелевской премией по физике.

Проблема детектирования идущих от пульсаров гравитационных волн состоит в том, что *LIGO* может распознать их только на последних этапах эволюции двойной системы, когда их орбиты значимо деформируются, в результате чего и происходит испускание наиболее мощных гравитационных волн, идущих через пространство

точно звуки гигантской невидимой погремушки, провозглашающей смерть двойного пульсара. Наша Вселенная велика и заполнена звездами, но слияние звезд в двойных системах — довольно редкое событие. Чтобы «слышать» такие сигналы регулярно, нужно, чтобы «ухо» охватывало гигантские области космического пространства. До недавнего времени *LIGO* был способен осуществлять поиск только в очень небольшой области, где искомого события нужно было бы дожидаться веками.

Однако первая сборка *LIGO* была своего рода «работой холостого хода» — это режим работы, при котором прибор работает не по инженерному заданию, без учета специфики поиска. Теперь же проектировщики *LIGO* знают, каким образом спланировать работу детектора. Чувствительность прибора повышена до такой степени, что в скором времени он окажется способным обнаруживать слияние в двойных системах на расстояниях в 500 млн световых лет, что позволит «услышать» сотни таких событий в год. Ученые надеются, что наблюдательное открытие гравитационных волн могло бы произойти уже в 2016 г., когда исполнится ровно столетие с момента их предсказания Эйнштейном.

### Атомные волны

Несмотря на немалую стоимость, амбиции проекта *LIGO* ограничены. В некотором роде это всего лишь доказательство того, что сама концепция поиска гравитационных волн жизнеспособна, это необходимый первый шаг на пути выведения гравитационно-волновых инструментов в космическое пространство. Земля — очень неподходящее место для таких сверхчувствительных телескопов: земная кора подвержена сейсмическим бурям, вызванным активными процессами внутри нашей планеты, а также движениями океанических масс. Все это нещадно сотрясается и дрожит, заглушая слабые вибрации гравитационных волн. Для того чтобы различить разнообразие гравитационных колебаний, необходимо вынести регистрирующий прибор в более спокойные условия, за пределы земной атмосферы.

В Центре космических полетов им. Годдарда *NASA* две группы инженеров высказались о возможности создания нужной установки в космосе. Одна из групп предложила усовершенствовать в течение десятилетий проект *LISA* (*Laser Interferometer Space Antenna*). *LISA* — дерзкий новаторский проект, по сравнению с которым *LIGO* выглядит не более чем детской игрушкой-конструктором. Для функционирования *LISA* требуется запуск на солнечную орбиту трех космических аппаратов: их положения на орбите зададут вершины треугольника со сторонами порядка миллионов километров. Расстояния между космическими аппаратами будут измеряться с помощью лазеров. При проходе гравитационной волны через плоскость этого гигантского треугольника положения аппаратов будут меняться, искажая соотношения сторон, что и выявят лазерные лучи.

Основной каркас *LISA* не принципиально отличается от того, что было предложено три десятилетия назад на фуршете одной конференции по физике в *NASA*:

родоначальники концепции свернули нужную фигурку из салфетки. Конечно, проекты этого космического инструмента были усовершенствованы и доработаны к тому моменту, когда дело дошло до его практического воплощения. В конце 1990-х гг. — начале 2000-х гг. проект *LISA* был заявлен как флагманский проект *NASA* после Космического телескопа им. Уэбба (*JWST*). Однако за прошедшие годы проект *JWST* поглотил большую часть бюджета *NASA*; кроме того, *LIGO* все не давал результата. Таким образом, стало затруднительным тратить миллиардные средства на гравитационно-волновые детекторы, подобные *LIGO* и *LISA*, и теперь им придется не один год дожидаться «зеленого света».

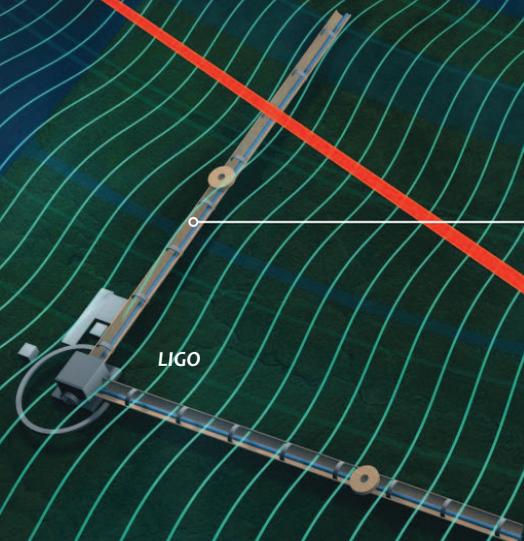
Эти задержки привели к тому, что стали предлагаться принципиально новые идеи того, как детектировать гравитационные волны. Небольшая группа ученых из отдела передовых исследований *NASA* недавно начала разработку нового типа гравитационно-волновых детекторов, основанных на технологии атомной интерферометрии. Работа велась в самой начальной стадии. Надо сказать, что руководители группы — Бабак Саиф (Babak Saif), инженер-специалист по интерферометрам, участвовавший в работе над *JWST*, а также Марк Касевич (Mark Kasevich), профессор прикладной физики в Стэнфордском университете, — были вовлечены и в другие проекты. Таким образом, размышления об атомной интерферометрии были для них чем-то вроде приятной формы интеллектуального досуга.

В феврале этого года автор настоящей статьи навестил Саифа в одной из лазерных лабораторий центра им. Годдарда, где он вел неспешное проектирование атомного интерферометра, по мнению Саифа, могущего улучшить чувствительность гравитационно-волнового детектора. В качестве одной из самых престижных научно-исследовательских космических лабораторий центр Годдарда наилучшим образом подходит для длительных и трудоемких академических проектов. Работа же Саифа была только в самом начале. Семья Саифа иммигрировала из Ирана в США, когда юноше было 17 лет. Они поселились на юге Виргинии, где Саиф начал посещать занятия по точным наукам в небольшом местном колледже. Молодой человек подрабатывал по ночам на автозаправке, а в школе проявил себя успешным учеником. В 1981 г. он перевелся в Американский католический университет с полной стипендией и получил там две ученые степени. Прежде чем Саиф оказался в центре Годдарда, он проработал десять лет в Научном институте космических телескопов, где разработал интерферометр для тестирования зеркал *JWST*. Интерферометр был необходим для проверки формы изгиба зеркала с точностью до нанометра, чтобы избежать ошибки телескопа «Хаббл», у которого зеркало оказалось чуть искривленным (что привело к абберации).

Идея Саифа и Касевича близка к концепции *LISA*: необходимо измерять расстояние между орбитальными космическими аппаратами. Однако в то время как *LISA* измеряет изменения расстояния путем совмещения

## ГРАВИТАЦИОННО-ВОЛНОВОЙ ВЗГЛЯД НА ВСЕЛЕННУЮ

Альберт Эйнштейн учил нас, что материя и энергия могут влиять на пространство и время. Движения достаточно массивных объектов порождают пространственно-временную рябь, которая волнами расходится по всей Вселенной. Гравитационные волны дают нам единственную возможность увидеть события, недоступные электромагнитным лучам: взаимодействия черных дыр или даже первые мгновения жизни нашей Вселенной, бурлившей квантовыми флуктуациями. Это Большое взрыва чрезвычайно трудно обнаружить. И, по-видимому, только космические гравитационно-волновые обсерватории смогут справиться с этой задачей. Существуют по крайней мере два основных проекта создания таких приборов.



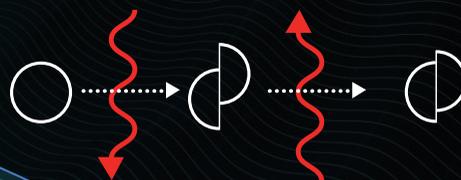
## Атомный интерферометр

Новый подход к поиску гравитационных волн будет заключаться в использовании облаков сверххолодных атомов, которые расположены вне двух космических аппаратов, разделенных расстоянием 1 тыс. км. Вначале лазерные лучи создают суперпозицию из двух частей в каждом облаке, и каждая из двух частей облака обладает своей собственной скоростью. Потом, спустя 10 с, другой лазер производит обратный процесс, и обе части облака снова становятся единым целым. Когда атомные облака вновь перекрываются, их измеряет большее количество лазеров. Если в течение 20 с, которые требуются для выполнения процесса, между космическими аппаратами пройдет гравитационная волна, то это приведет к изменению расстояния между парами облаков на небольшую величину, придавая измеримое изменение конечного состояния системы атомов.

### Обычный режим работы



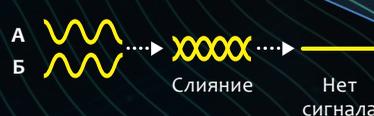
### Гравитационно-волновые искажения



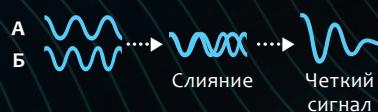
## Лазерный интерферометр

Стандартные гравитационно-волновые обсерватории, такие как наземный LIGO, технологически улучшенный для поиска гравитационных волн, а также LISA, будущий космический проект, работают по схожей схеме — сведением лазерных лучей в один. LIGO разделяет лучи на два пучка (А и Б), смещает фазу одного из них, а затем посылает лучи туда и обратно по перпендикулярно расположенным плечам интерферометра. LISA работает похоже, только использует равносторонний треугольник вместо двух перпендикулярных плеч. Когда лучи снова объединяются (желтый), то получается интерференционная картина, чередование темных и светлых полос. Если же гравитационная волна меняет относительную длину одного из плеч (голубой), то интерференционная картина изменится. Эффект очень слабый: процесс слияния бы неподалеку от нас, породил бы изменение четырехкилометрового плеча LIGO на величину менее диаметра протона. LISA, обладая плечами длиной в 5 млн км, могла бы легко обнаружить такой, и даже более слабый сигнал.

### Обычный режим работы



### Гравитационно-волновые искажения



LISA

Лазерный импульс 1 Лазерный импульс 2

Облако сверххолодных атомов

Измерение

Суперпозиция

Гравитационно-волновые искажения

А Б Слияние Нет сигнала

А Б Слияние Четкий сигнал

Луч А Луч Б Зеркало

лазерных пучков, эти двое ученых предложили использовать атомы, находясь вне космических аппаратов. Поскольку атомный интерферометр измеряет расстояния между атомными облаками, а не космическими аппаратами, он должен быть гораздо меньших размеров. В текущей конфигурации плечи такого интерферометра в 5 тыс. раз короче плеч *LISA*.

Выгода такого технологического решения — в точности. Падающая гравитационная волна может менять расстояние между космическими аппаратами на триллионную часть миллиметра, и только атомный интерферометр почувствует разницу.

Не все ученые оптимистично настроены относительно этого прибора. Из-за ограниченности бюджета космических программ новый интерферометр встречает жесткую конкуренцию со стороны разработчиков *LISA*, поскольку концепции схожи: обе требуют точной координации движения космических аппаратов и обе используют интерферометры для выполнения высокоточных экспериментов. Саиф считает, что замена обычного интерферометра на атомный даст выигрыш в общей стоимости проекта, а также позволит уменьшить расстояния между космическими станциями (главный аргумент противников *LISA*) и увеличить чувствительность всей системы.

Команда *LISA* отвечает на эти выпады своими доводами. Они указывают на то, что сторонники внедрения новейших технологий часто недооценивают итоговую реальную стоимость. Цена проекта становится окончательно ясной только тогда, когда приборы начинают работу. Новые технологии непременно потребуют изменений и в смежных технологических проектах.

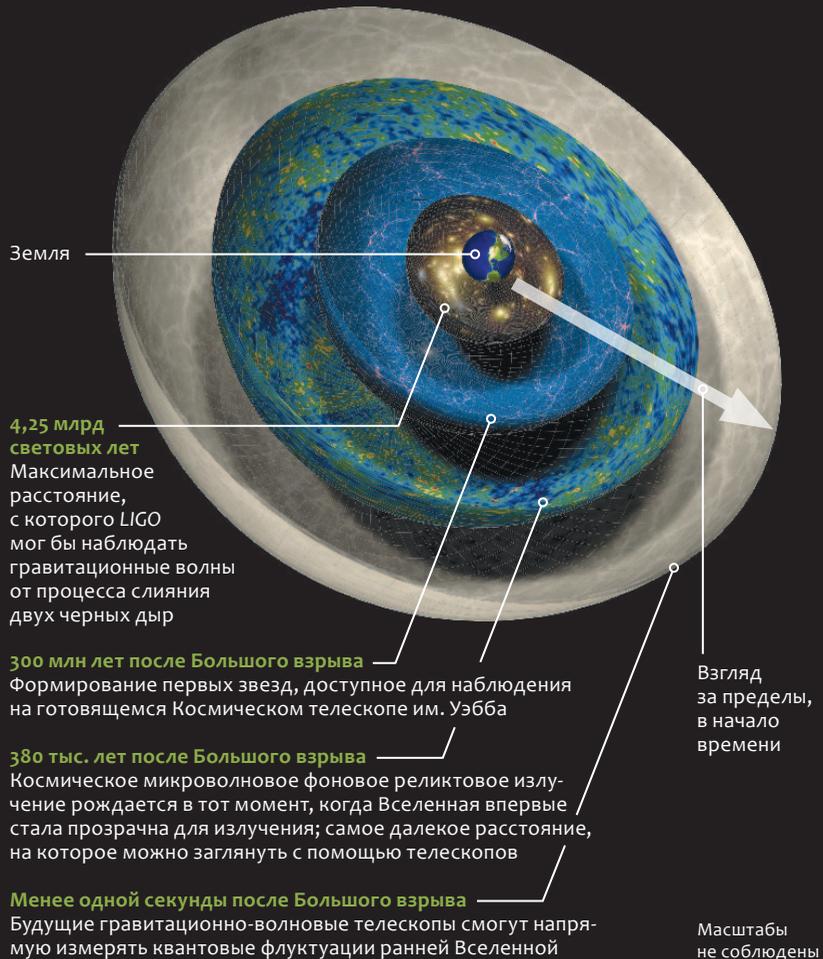
### Хлопоты со светом

В центре Годдарда я спросил Саифа, что заставляет его тратить свое свободное время на весьма спекулятивный проект, которому не суждено летать. Он ответил, что его очаровывает возможное существование новой физики. И еще он сказал, что уже в недалеком будущем он ожидает перехода от традиционной астрономии к гравитационно-волновой, другими словами, смены инструмент-фотона на инструмент-гравитон.

## Космические горизонты

### ЧТО МЫ НАДЕЕМСЯ УВИДЕТЬ «ЗА ПРЕДЕЛАМИ»

Гравитационные волны способны проникать в те области Вселенной, которые не доступны электромагнитным лучам. Они могут доставлять информацию о черных дырах и способны даже проникнуть сквозь микроволновый фон реликтового излучения, который представляет собой барьер для световых лучей. Таким образом, гравитационно-волновая астрономия может помочь нам узнать то, что было раньше 380 тыс. лет от рождения Вселенной.



Действительно, гравитационные волны помогают свету «выполнять свои научные обязательства» — и не только в вопросе проникновения к «началу времен». Свет как переносчик информации обладает и другими ограничениями. Начать с того, что свет есть результат взаимодействия разных частиц. Приходящие к наблюдателю фотоны рассказывают о том, что во Вселенной происходят некоторые события, например превращение водорода в гелий внутри звезд. Но если мы захотим узнать, скажем, какого размера объект движется в космическом пространстве, нам следует объединить множество наблюдений отдельных событий по испусканию фотонов и собрать мозаику поверхностного слоя объекта.

Еще хуже то, что свет искажает наше представление о космосе в целом, потому что приходит преимущественно из термодинамически активных его областей.

Мощные, астрономически значимые источники света — это очень яркие события, такие как взрывы сверхновых. Та структура Вселенной, что мы видим, отражает именно такие энергетически мощные события, а потому страдает однобокостью.

Кроме того, световые сигналы недолговечны. Путешествуя по Вселенной, они часто ослабевают или даже вообще исчезают. Одни фотоны поглощаются гигантскими газовыми облаками, встречающимися на их пути, другие рассеиваются или навсегда пропадают в глубоких гравитационных ямах, самые глубокие из которых — сверхмассивные черные дыры, столпы космологической структуры, образующие многих галактик. Физика черных дыр особенно интересует астрономов — например, такие вопросы, как слияние двух черных дыр в одну. Однако процессы в подобных экзотических объектах надежно отгорожены от ученых горизонтом событий — воображаемой сферической поверхностью, характеризующейся тем, что даже свет не может вырваться с нее, а вынужденно движется к центральной сингулярности черной дыры.

Космологам приходится довольствоваться фотонами, которые черная дыра не успела поглотить, т.е. теми, которые находятся на некотором расстоянии от горизонта событий черной дыры. Эти фотоны излучает «пойманное» вещество, стремительно закручивающееся вокруг черной дыры и сильно искажающее пространство-время в ее окрестностях. К счастью, гравитационно-волновые сигналы не столь деликатны, как световые, — они не рассеиваются, не исчезают (вообще говоря, и рассеиваются, и исчезают, но из-за чрезвычайной слабости взаимодействия с окружающим веществом значительно менее интенсивно, чем фотоны. — Примеч. пер.) и слабоспособны к гигантским астрономическим объектам.

### Первичное эхо

Через несколько недель после моей поездки в Центр космических полетов им. Годдарда я навесил Дэвида Шпергеля (David Spergel), известного космолога, главу факультета астрофизики Принстонского университета, председателя Национального научно-исследовательского совета по космологии и фундаментальной физике, доклады которого играют важную роль в формировании долгосрочных приоритетных проектов по этим наукам в США. Рекомендации совета значимы для NASA; другими словами, Шпергель во многом отвечает и за планирование и реализацию научных космических миссий США.

В ходе нашей беседы Шпергель особо отмечал достоинства гравитационно-волновой астрономии. Он пояснил, что, в отличие от фотонов, для гравитационных волн Вселенная почти прозрачна. Не было такого периода в ранней Вселенной, который был бы скрыт от гравитационных волн какими-либо особенными условиями. Но как можно узнать, существовала ли «рябь пространства-времени» так далеко в прошлом?

По словам Шпергеля, «для того чтобы породить гравитационные волны, необходимо быстро закружить

большие массы, и один из способов это сделать — использовать механизм фазовых переходов». Фазовые переходы происходят в том случае, когда физическая система меняет свое состояние. Классический пример фазового перехода — замерзание воды, образование льда (т.е. кристаллических структур, обладающих меньшей симметрией, чем исходное «жидкое» состояние. — Примеч. пер.). Существуют и космологические фазовые переходы, которые могли происходить во Вселенной вскоре после Большого взрыва. Рассмотрим для примера кварки. В современной Вселенной кварки связаны в ядрах атомов, однако в первые микросекунды жизни Вселенной они составляли свободную кварк-глюонную плазму. С остыванием Вселенной произошел фазовый переход и образовались протоны и нейтроны.

**Если удастся обнаружить стохастические гравитационные волны, это откроет нам тайны фундаментальной физики. Мы сможем увидеть, на что был похож наш мир при энергиях на 13 порядков выше тех, что доступны на Большом адронном коллайдере**

По мнению Шпергеля, «если у вас фазовый переход первого рода, то в плазме будут формироваться пузыри, приводя к тому, что вокруг них вещество начинает быстро вращаться». (Для генерации гравитационных волн в кварк-глюонной плазме необходимо наличие квадрупольного момента, который, в принципе, может быть при фазовых переходах, однако такой механизм образования гравитационных волн вносит незначительный вклад. Спорно также и появление момента вращения при фазовых переходах. — Примеч. пер.) Фазовые переходы первого рода возникают внезапно, когда пузыри новой фазы формируются в областях старой фазы. Эти пузыри расширяются и сливаются, что приводит к полному исчезновению старой фазы, что и завершает фазовый переход. В результате процесса перехода от прежней фазы к новой могут рождаться гравитационные волны, существующие и до настоящего момента. Обнаружение гравитационных волн помогло бы понять физические процессы, происходившие в ранней Вселенной при их образовании.

Могут существовать и более «старые» гравитационные волны. В некоторых моделях инфляционных вселенных начало экспоненциального расширения совпадает с квантовыми флуктуациями пространственно-

временных пузырей, заставляющими некоторые области расширяться быстрее остальных. Эти флуктуации могли бы породить гравитационные волны, называемые стохастическими, которые могли бы образоваться, когда нашей Вселенной было меньше одной триллионной от одной триллионной от одной триллионной секунды от рода.

По словам Шпергеля, «рождение стохастических гравитационных волн в ранней Вселенной предсказываются многими инфляционными теориями». Если удастся их обнаружить, это откроет нам тайны фундаментальной физики. Мы сможем увидеть, на что был похож наш мир при энергиях на 13 порядков выше тех, что доступны на Большом адронном коллайдере.

Продвижение наших знаний на уровень детектирования стохастических гравитационных волн требует высоких ставок. Их обнаружение будет чрезвычайно сложно. Подобные исследования потребуют особенно чувствительных приборов и кропотливого анализа данных для того, чтобы отсеять «драгоценные» первичные

**Если бы удалось собрать сигнал из каждого уголка неба, тщательно отделить его от всевозможных шумов, то можно было бы получить полную гравитационно-волновую карту неба — основу будущих космологических тестов и главную цель для космологического анализа**

гравитационные волны от огромного количества гравитационно-волновых сигналов, бомбардирующих космический детектор. Если бы удалось собрать сигнал из каждого уголка неба, тщательно отделить его от всевозможных шумов, то можно было бы получить полную гравитационно-волновую карту неба — основу будущих космологических тестов и главную цель для космологического анализа.

Концепции миссии *LISA* и атомного интерферометра Саифа направлены на выявление не стохастических гравитационных волн, а «теоретически общепризнанных», например от слияния черных дыр. В дни расцвета проекта *LISA* его основатели мечтали о создании Обсерватории Большого взрыва, предназначенной как раз для поиска стохастических гравитационных волн. Однако такой идее нужны были десятилетия для практической реализации. По словам Саифа, он хотел бы изменить порядок задуманных *LISA* проектов и начать именно с поиска стохастических гравитационных волн. В научном

астрофизическом сообществе, заинтересованном в гравитационно-волновой астрономии, постоянно ведутся споры о том, какие из миссий важнее и реалистичнее. Большинство склоняется к исследованию единичных объектов.

«Слияние сверхмассивных черных дыр — это на сегодняшний момент реальный кусок хлеба с маслом для исследователей в области гравитационно-волновой астрономии, — говорит Шпергел. — Если мы не "слышим" слияния больших черных дыр, значит в нашем представлении о гравитации есть какой-то серьезный пробел. Но все-таки основополагающим должен быть космологический тест по выявлению стохастических гравитационных волн».

Таким образом, возглавляемый Шперелем комитет может оказаться на распутье: что выбрать — черные дыры или космологию? И чему отдать предпочтение — световому интерферометру или атомному? С запуском телескопа им. Уэбба, возможно, удастся высвободить часть средств для будущего амбициозного научного проекта, и к этому времени нужно четко определиться с выбором цели исследования и методов ее реализации.

Напоследок я спросил Шпергеля, как бы он поступил, окажись проект атомного интерферометра перспективнее *LISA*. Он ответил, что не уверен в победе концепции атомного интерферометра, которая, конечно, предоставляет широкое поле для размышлений. И еще Шпергел рассказал мне одну историю: «Я разговаривал со Стивеном Чу (Steven Chu) много лет назад, еще до получения им Нобелевской премии, о том, как делать большую науку, на что он мне ответил: необходимо ставить такие эксперименты, которые могли бы оказаться важными. Оба эксперимента по поиску гравитационных волн могут оказаться таковыми». ■

Перевод: О.С. Сажина

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Einstein's Unfinished Symphony: Listening to the Sounds of Space-Time. Marcia Bartusiak. Berkley Books, Penguin Putnam, 2000.
- Gravitational Wave Detection with Atom Interferometry. Savas Dimopoulos et al. in Physics Letters B, Vol. 678, No. 1, pages 37–40; July 6, 2009.
- Проект *LISA*: <http://lisa.nasa.gov>
- Видео о том, как атомный интерферометр детектирует гравитационные волны, см. по адресу: [ScientificAmerican.com/oct2013/gravity](http://ScientificAmerican.com/oct2013/gravity)
- Горбунов Д.С., Рубаков В.А. Введение в теорию ранней Вселенной: в 2 т. М.: УРСС, 2008, 2010.
- Сажин М.В. Современная космология в популярном изложении. М.: УРСС, 2002.



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

# Научная Россия

<http://scientificrussia.ru>



[www.sciam.ru](http://www.sciam.ru)