

# В мире науки

SCIENTIFIC  
AMERICAN

По страницам  
журнала

# Космос

Часть 3

# СОДЕРЖАНИЕ

## Космос / Часть 3

### КОСМИЧЕСКИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

#### Атомоплан, Атомолет, Атомосат

*Валерий Чумаков*

Ядерная энергетика для самолетов и космических ракет

#### Воплощая мечту

*Валерий Чумаков*

Будущее космонавтики — энергоустановки на базе ядерного реактора

### КОСМИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

#### В поисках точки опоры

*Елена Кокурина*

Открытие у человека второй гравитационной системы — системы опорной чувствительности стало серьезным вкладом в мировую фундаментальную науку и медицину

### КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

#### Земля в иллюминаторе

*Валерий Чумаков*

О космических научных исследованиях в Институте физики прочности и материаловедения СО РАН

### КОСМОС

#### Запутанные пространством-временем

*Клара Московиц*

Построение теории квантовой гравитации способно примирить гравитацию и квантовый мир

#### Зонтик для космического великана

*Наталья Лескова*

Директор конструкторско-технологического института научного приборостроения СО РАН **Юрий Чугуй** о высокотехнологичной аппаратуре, разработанной в институте

#### От Ломоносова до «Ломоносова»

*Владимир Губарев*

Ректор МГУ, академик **Виктор Садовничий** о создании нового космического научного комплекса в МГУ

#### 2 Тайны первичных метеоритов 48

*Алан Рубин*

Анализ древних камней Солнечной системы показал окрестности космоса на этапе формирования планет

#### 8 Четыре звездные ночи 56

*Анна Фребел*

Как астрономы пытаются разгадать загадку эволюции Вселенной

### 14 АСТРОФИЗИКА

#### Жизнь в космическом порядке 62

*Марина Лев, Екатерина Боровикова, Мария Молина, Алексей Паевский*

О самой авторитетной неправительственной космической организации — COSPAR

#### 22 Мы стоим на пороге удивительных открытий в астрономии 76

*Наталья Лескова*

Астрокосмический центр Физического института Российской академии наук (АКЦ ФИАН) пять лет назад запустил грандиозный космический проект «Радиоастрон», который и сегодня успешно работает на орбите

### ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМОСА

#### Недорогие билеты в космос 82

*Алан Стери*

Новые частные космические компании возвещают эру гораздо более дешевых и, соответственно, намного более частых космических полетов

### КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

#### Нацеленный на Луну 88

*Майкл Белфьор*

Сегодня, когда космические челноки NASA списываются, для осуществления полетов в космос ученые могут обратиться к использованию частных ресурсов

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



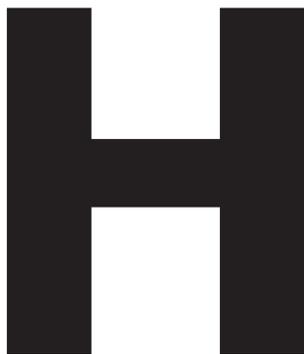
A composite image showing a space station on the left and a satellite on the right, both orbiting Earth. The Earth's surface is visible as a blue and white pattern of clouds and continents. A bright light source, likely the sun, is visible in the upper left, creating a lens flare effect across the scene.

## Дальность полета обычного самолета

ограничена эффективностью  
работы двигателя и запасом  
топлива

# Атомоплан, атомолет, атомосат...

Самолет с ядерным двигателем мог бы барражировать в воздухе месяцами, а дальность его полета исчислялась бы десятками, а то и сотнями оборотов вокруг планеты, но использование ядерной энергии на высотах, близких к Земле, — это нерациональное, опасное направление



аучный консультант генерального директора концерна «Росэнергоатом», академик РАН, в 1990-е гг. — вице-президент Российского научного центра «Курчатовский институт», профессор, лауреат Ленинской и Государственной премий **Николай Николаевич Пономарев-Степной** стоял у самых истоков ядерной энергетики для авиации, ракет и космоса.

— **Николай Николаевич, еще в 60-е гг. прошлого века вопрос создания ядерных космических систем активно разрабатывался, причем не только в СССР, но и в США. Затем он был практически закрыт. С чем это было связано?**

— Работы по использованию атомной энергии в космосе фактически стартовали в начале 1950-х гг. На заре развития и освоения атомной энергии первоочередной была задача создания атомной бомбы. Но создать атомную бомбу и держать ее у себя в стране нет смысла. Нужно было решать вопрос доставки ее на большое расстояние.

### **Атомoplan**

— Основную ставку сделали на атомный подводный флот. Но рассчитывать только на него было опроретчиво. Поэтому началась разработка ядерных установок для авиации. Дальность полета обычного самолета ограничена эффективностью работы двигателя и запасом топлива. Самолет с ядерным двигателем мог бы барражировать в воздухе месяцами, а дальность его полета исчислялась бы десятками, а то и сотнями оборотов вокруг планеты. Будучи еще студентом, я начал одну из таких разработок.

— **Вы работали над проектом ядерного бомбардировщика?**

— Ядерный бомбардировщик — это просто продолжение линии обычных бомбардировщиков, которыми занимались и А.Н. Туполев, и В.М. Мясищев. Разрабатывались новые самолеты дальней авиации, которые должны были бы обеспечить доставку заряда в любую точку земного шара. Помимо этого рассматривались и беспилотные варианты. В атомном исполнении их называли «летающая атомная ракета».

— **Движение предполагалось за счет реактивной струи? Или это была энергетическая ядерная бортовая установка, питавшая электродвигатели?**

— Ядерная энергия может обеспечить практически любую температуру. Энергия реализуется в виде кинетической энергии осколков деления атомного ядра. А их скорость — колоссальная. Скорость — это температура, поэтому ограничений

в температуре практически нет. Рассматривались даже экзотические варианты с непосредственным использованием энергии этих осколков.

— **С управляемым ядерным взрывом в качестве источника движущей силы?**

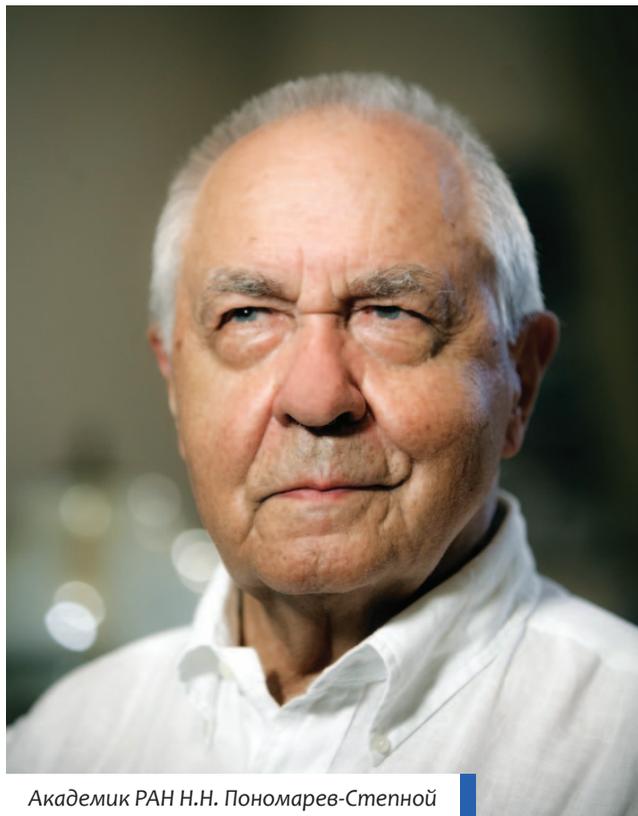
— Такой вариант рассматривался, но развития не получил. Однако за счет созданной в реакторе высокой температуры в воздушно-реактивном двигателе можно было нагреть воздух и получить значительную тягу. Прямоточный ядерный воздушно-реактивный двигатель. В самом начале 1950-х гг. я как раз и занимался такими — для беспилотных аппаратов.

— **Понятно, пилотам летать верхом на ядерной реакции будет опасно.**

— Не в этом дело, пилотируемые варианты атомных самолетов на воздушно-реактивных двигателях тоже рассматривались. Делалось это не только у нас, но и за рубежом, в США. Сейчас многие документы рассекречены, и когда я читаю о том, как они в этом направлении двигались, вижу, что в вопросе создания прямоточного двигателя для беспилотного самолета мы оказались впереди.

— **То есть в создании атомной бомбы в 1940-е гг. они нас опередили, а в атомном двигателе в 1950-е гг. — уже мы их?**

**Ядерная энергия может обеспечить практически любую температуру. Энергия реализуется в виде кинетической энергии осколков деления атомного ядра**



Академик РАН Н.Н. Пономарев-Степной

— В работах по атомной энергии в СССР мы держались по сравнению с американцами и англичанами из-за Великой Отечественной войны. Интервал в три-четыре года отслеживается во всех исторических точках. Пуск первого реактора в США — 1942 г., у нас — 1946 г. Ядерная бомба: Америка — 1945 г., СССР — 1949 г. Первая атомная подводная лодка — 1955 и 1958 гг. соответственно. А вот по ядерному беспилотнику мы их опережали. У них и разработки были, и испытательные стенды построены, и сами реакторы такого типа были собраны. Но потом эти работы были приостановлены.

**— Почему? Признали работы бесперспективными или авария случилась?**

— Нет, решение возникло на чисто политическом уровне: работы по самолетам прекратить и основной упор сделать на ракеты. Так и пошли две основные линии средств доставки: ракеты и подводный флот.

Мы сделали реактор, который мог нагревать воздух до температуры  $1500^{\circ}\text{K}$  и даже больше. Это превышало возможности обычных воздушно-реактивных двигателей. Самолеты с такими двигателями могли бы развивать скорость более  $3\text{ M}$  (Мах), т.е. больше трех скоростей звука.

**— Больше 4 тыс. км/ч? Впечатляет. Жаль, что не дали довести проект до конца.**

— Ая с этим решением, как ни странно, согласен. Ядерная энергия помимо всех своих достоинств обладает существенным недостатком — это

радиационная опасность продуктов деления. Для изучения проблем радиационной безопасности полетов атомных самолетов в СССР был создан и испытан самолет с ядерным реактором на борту, на котором мне удалось полетать. Эти исследования помогли нам в решении сложнейших задач оптимизации радиационной защиты таких самолетов. Но нет самолетов, на которых не случалось аварий из-за технических неисправностей. Любое падение самолета — трагедия, но падение самолета с ядерным реактором — уже настоящая катастрофа. Поэтому линия использования ядерной энергии на высотах, близких к Земле, — это нерациональное, опасное направление. Даже думать о нем не стоит.

### Атомолет

**— Ближе к земле — согласен. Но можно же и не близко.**

— Совершенно верно. Как я сказал, в стране было принято решение сосредоточиться на ракетных двигателях. И сразу же возник вопрос, нельзя ли в ракетных двигателях использовать ядерный реактор. Основные работы по этому направлению велись в Исследовательском центре им. М.В. Келдыша, тогда он назывался, насколько я вспоминаю вывеску на фронтоне, Институтом сельскохозяйственного машиностроения. Это там были разработаны знаменитые катюши. Наш Курчатовский институт тогда очень плотно контактировал с ними по атомному направлению.

Для ракет всегда ищут подходящее вещество, «рабочее тело», которое можно нагреть до очень высоких температур. Чем выше нагрев и чем меньше атомный вес, тем больше так называемая удельная тяга двигателя. На обычном химическом топливе удельная тяга — около  $300\text{ с}$ . Сделать больше практически невозможно, потому что для сжигания топлива требуется кислород, который имеет большой атомный вес. Поэтому удельная тяга при химическом топливе ограничена, получить высокие ее значения очень сложно.

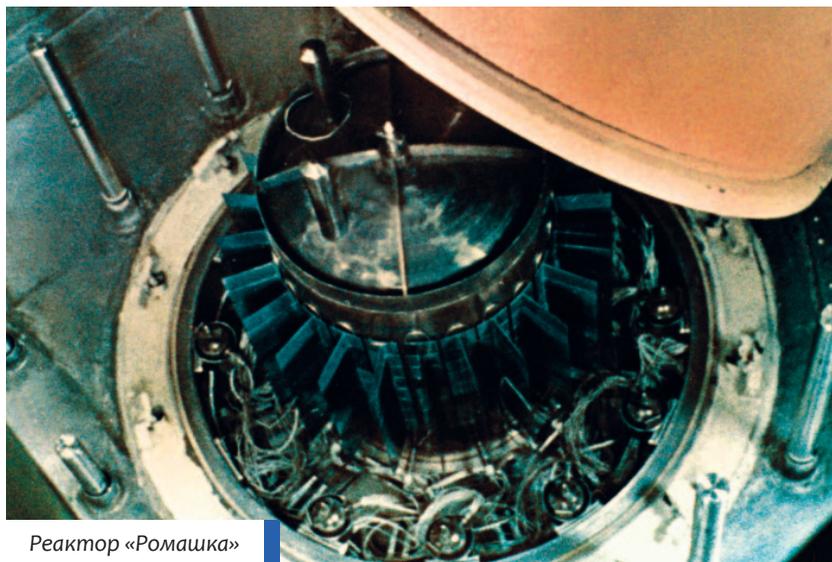
По Циолковскому, от удельной тяги зависит масса груза, который можно вывести на орбиту. Чтобы получить высокую тягу, надо отказаться от кислорода и оставить в качестве «рабочего тела» водород — самый легкий элемент. Тогда тяга будет зависеть только от температуры, до которой вы этот водород нагреете. В случае с ядерным реактором его тепловыделяющие элементы могут как максимум выдержать несколько более  $3100^{\circ}\text{K}$ . Следовательно, и водород вы максимально можете разогреть до тех же температур. При таких условиях тяга вырастает уже до  $950\text{ с}$ , т.е. становится в три раза больше, — а значит и масса, которую вы можете вывести, тоже увеличится в разы.

Объединившись, ракетчики и атомщики занялись разработкой такого ракетного ядерного двигателя, где тепловыделяющие элементы могут

нагреть рабочее тело — водород, до этих  $3100^{\circ}\text{K}$ . И мы сделали такой реактор. Испытали его на специально построенной на Семипалатинском полигоне площадке. Сначала там был установлен импульсный, затем исследовательский реактор, на которых мы испытывали отдельные элементы для достижения предельных параметров. А потом и двигатель целиком испытали.

— **Тут мы тоже опередили американцев?**

— У них результаты оказались посромнее. Они достигали  $2500^{\circ}\text{K}$ , а это меньшая удельная тяга и т.д. Но к этому времени уже были созданы ракеты на обычном топливе, которые хорошо справлялись с поставленной задачей. И необходимость в ядерной ракете опять отошла на второй план. К тому же нерешенным остался вопрос безопасности в случае аварии на старте.



Реактор «Ромашка»

— **И когда это направление прикрыли?**

— Это направление окончательно не закрыто. Если стартовать не с Земли, а с опорной орбиты, с которой аппарат не может быстро упасть, то такого типа двигатель может использоваться для различных космических миссий. Эту работу мы тоже выполняли, она лежит в копилке российских науки и технологий. Такие результаты в Америке не были достигнуты.

Что же до вопроса когда, то и двигатели, и реакторы у нас были испытаны в 1970-е гг.

— **Но в космос они не полетели?**

— Эти реакторы — нет. Полетели другие.

## Атомосат

— К этому времени уже были освоены и вывод аппаратов на орбиту, и даже транспланетные автоматические экспедиции. И довольно актуальным был вопрос, чем питать эти космические аппараты.

— **Так ведь с самого начала солнечной энергией питали.**

— Это самое очевидное и правильное решение. Но только в случае ближнего космоса и относительно небольших мощностей. Если брать дальние экспедиции, то солнечной энергии может уже не хватать. Либо придется наращивать площадь солнечных элементов. Но аппарат с большими панелями становится плохо управляемым. Поэтому логичный выход — использовать ядерную энергию. Если говорить о небольших потребностях в энергии, тут можно использовать радиоактивные изотопы. Это направление, которое было опробовано, проверено, реализовано и активно используется. Достаточно вспомнить недавнюю экспедицию к Плутону, которая стартовала около десяти лет назад.

— **Так называемая атомная батарейка?**

— Не совсем, такая система называется «радиоактивные источники энергии». Под «атомной батарейкой» понимается немного другой вариант использования атомной энергии.

Радиоактивные источники для космических аппаратов действительно нужны, над ними идет работа. СССР и Россия оказались уникальным поставщиком радиоактивного плутония-238, который применяется в них как энергетический материал. Этот плутоний не оружейный, но может получаться в тех же промышленных реакторах. Такие источники используются американцами. В том аппарате, который летит за пределы Солнечной системы, работает плутоний-238 российского производства.

— **Но это все-таки ограниченная мощность. Что делать, если требуются не ватты, а хотя бы киловатты?**

— Здесь есть два варианта. Один — традиционный: берешь ядерный реактор, нагреваешь в нем какое-то «рабочее тело», дальше используешь обычное машинное преобразование — турбину. Но эта система связана с большим числом движущихся деталей. Значит, велика вероятность поломок, износа и т.д. Но есть другой вариант, когда в системе преобразования вообще исключены движущиеся элементы, — прямое преобразование энергии.

Одна из первых установок такого типа создана в 1964 г. в Курчатовском институте. Это реактор-преобразователь «Ромашка», в котором тепловыделяющие элементы нагреваются до температуры около  $2000^{\circ}\text{C}$ . Дальше это тепло попадает в преобразователь энергии. Если говорить на бытовом уровне, это обычная термопара, но выполненная из полупроводников, с более высокой эффективностью.

К сожалению, коэффициент полезного действия в таких преобразователях невелик — около 5%.

Неиспользованное тепло в виде излучения сбрасывается в окружающее пространство. Это особенность космических установок.

Первую «Ромашку» мы испытали перед Женевской конференцией в августе 1964 г. Я по этому реактору делал доклад. Со мной рядом сидел американец, который выступал по подобным американским разработкам. Когда я читал доклад, он схватился за карман, достал таблетку и положил под язык. Оказалось, когда я сказал: «Мы запустили этот реактор 24 августа», переводчик передал «запустили» как *launched* и все поняли мои слова как «запустили в космос». Вот человеку, который занимался той же проблемой, и стало плохо, когда он представил, насколько мы их обогнали.

Такие реакторы с прямым преобразованием энергии для космоса весьма перспективны.

— **Но вы сами сказали про низкий КПД. Неужели за прошедшие столетия не нашлось способов его повысить?**

— Можно использовать прямое преобразование другого типа — термоэлектронную эмиссию. Преобразователи на этом принципе стали следующим направлением наших поисков.

Сначала были созданы ядерные реакторы с термоэлектрическими преобразователями, они использовались в оборонных целях. Было запущено около 30 военных спутников — компактных, незаметных (благо солнечных батарей нет) и в то же время оборудованных мощной электроникой.

Термоэмиссионные установки в СССР разрабатывались в двух вариантах. Оба достигли хорошего уровня, а ресурс их работы со временем был доведен до пяти лет.

— **Ядерный реактор требуется охлаждать. А космос — это огромный и очень эффективный термос.**

— Сброс тепла — одно из уязвимых мест таких систем. Имея установку с электрической мощностью 1 МВт, вы должны сбросить в космос около 3 МВт тепловых. Проблема сброса тепла — колоссальная, потому что холодильник-излучатель вырастает до значительных размеров. Недавно возникла идея, которая сейчас прорабатывается в центре им. М.В. Келдыша: капельный холодильник-излучатель. Охлаждающая жидкость циркулирует, забирая тепло от установки, а дальше распыляется в космос, но так, чтобы потом уже охладившиеся капельки, все до одной, можно было поймать. Охлаждаются они существенно эффективнее, чем жидкость, которая течет в трубах. Уже проводятся эксперименты в космосе. Очень интересный проект.

— **Вы сказали: «одно из уязвимых мест». Какое второе?**

— Опять безопасность. Такую установку нельзя выводить уже запущенной: в случае аварии на старте можно получить эффект «грязной

## ГРАНИ ЛИЧНОСТИ

### НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ ПОНОМАРЕВ-СТЕПНОЙ

Доктор технических наук, профессор,  
академик РАН

■ В 1952 г. окончил Московский механический институт, в том же году начал работать в Институте атомной энергии им. И.В. Курчатова (в то время «Лаборатория измерительных приборов АН СССР»).

■ 1992–2010 гг. — вице-президент НИЦ «Курчатовский институт». С 2006 г. — научный руководитель ВНИИНМ им. А.А. Бочвара. С 2007 г. — научный руководитель по спецтематике ФГУП «Центр Келдыша». С 2010 г. — главный специалист по атомной энергетике ИБРАЭ РАН, научный консультант генерального директора концерна «Росэнергоатом».

■ Лауреат Ленинской премии (1985), лауреат Государственной премии СССР (1980). Награжден орденами Трудового Красного Знамени (1966, 1976), «За заслуги перед Отечеством» IV степени (1998), медалями СССР и России.

бомбы». Орбиты, на которых используется установка, должны располагаться так далеко от Земли, чтобы она не упала в течение тысячи лет.

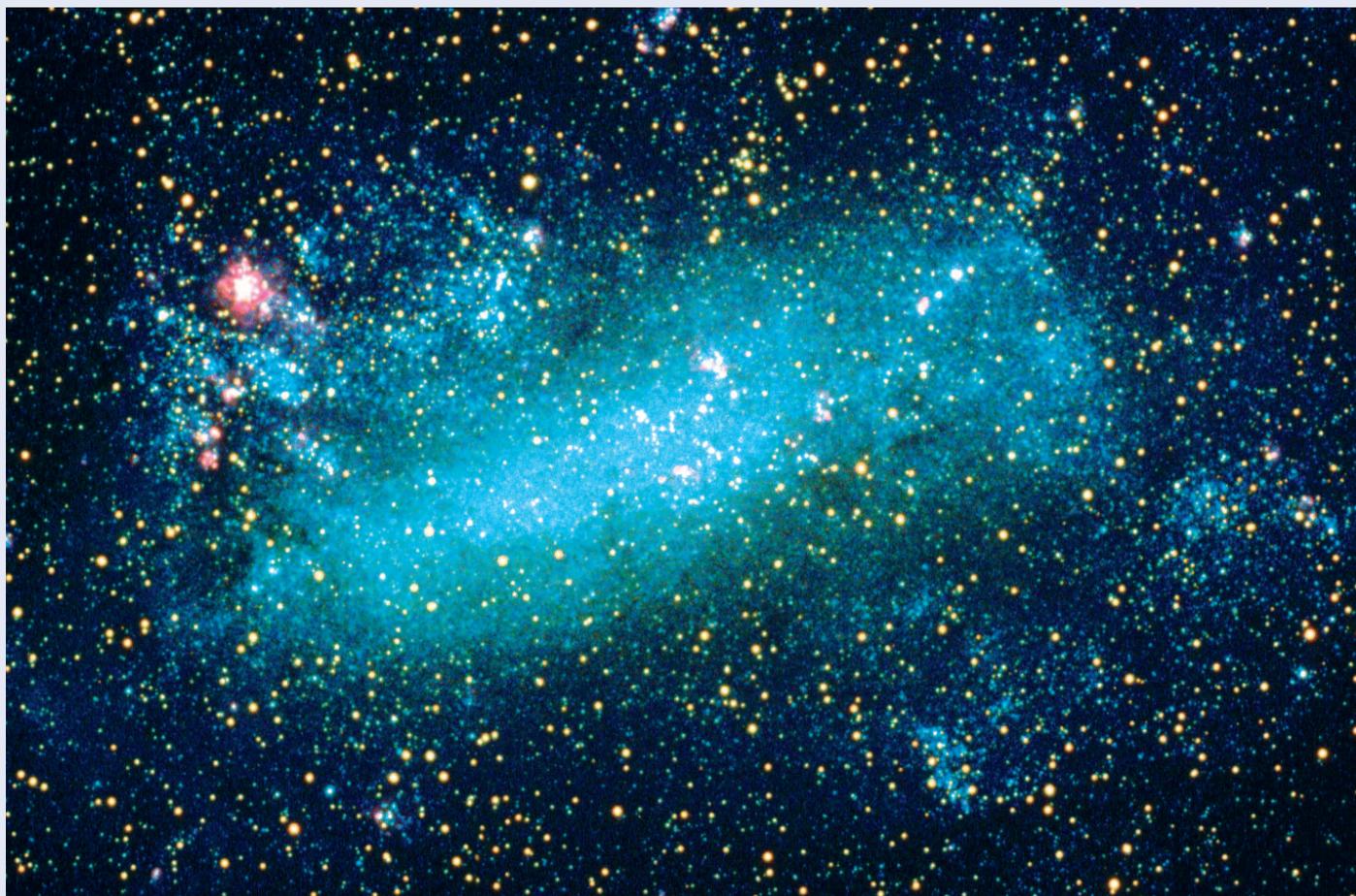
— **Это называется «орбита захоронения»?**

— Да, для военных спутников с ЯЭУ ее высота — около 1 тыс. км. Кроме того, мы должны уже в космосе, на орбите запустить реактор, а это совсем не так просто, как кажется. Надо гарантировать, что отказа не произойдет, а для этого надо на Земле провести всю отработку с более высокой степенью гарантии, чем на атомных станциях. Потому что там ничего починить уже не получится. Отлетел болтик или гайка — все, установка становится бесполезной. А это колоссальные средства.

Но я надеюсь, что человечество, возможно, притормозит, однако не остановится в деле создания таких установок большой мощности, которые нужны и для дальних космических экспедиций, и для близких к нашей планете задач.

Разработка высокотемпературных реакторов для самолетов, ракет и космоса и достигнутые при этом технологические решения оказались настолько впечатляющими, что зародилось новое технологическое направление наземной ядерной энергетики — использование ядерной энергии не только для получения электроэнергии, но и в промышленных технологических процессах и в конечном счете для получения водорода из воды. Но это другая глава книги и жизни. ■

Беседовал Валерий Чумаков



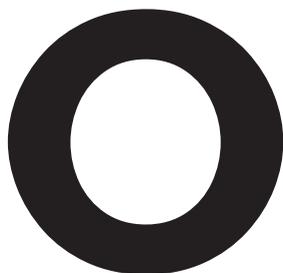
Воплощая  
**мечту**



## «Мечты фантастов о ядерных звездолетах, прокладывающих дорогу к другим планетам и звездам, станут для нас все более реальными».

Директор НИКИЭТ им. Н.А. Доллежала  
член-корреспондент РАН, профессор

**Юрий Григорьевич  
ДРАГУНОВ**



Об истории и перспективах космической ядерной энергетики рассказывает директор — генеральный конструктор Научно-исследовательского и конструкторского института энерготехники им. Н.А. Доллежала (НИКИЭТ) член-корреспондент РАН, профессор **Юрий Григорьевич Драгунов**

Космическая ядерная энергетика началась с разработки ядерного ракетного двигателя (ЯРД). Первые расчетно-теоретические исследования такого двигателя для космических ракет были произведены в 1954 г. учеными лаборатории «В» (в настоящее время — АО «Физико-энергетический институт») Игорем Бондаренко, Виктором Пупко и др. Вскоре к этим работам подключилась по инициативе директора НИИ-1 Минавиапрома (в настоящее время — ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша») академик Мстислава Келдыша группа сотрудников института во главе с Валентином Иевлевым. В 1957 г. им был выдвинут принцип, позволивший уменьшить объем необходимых реакторных испытаний, что в свою очередь послужило важным аргументом в выборе гетерогенной схемы реактора. Ориентация на такой реактор и поэлементную отработку его узлов определила фундаментальное различие программ создания ядерного двигателя в СССР и США. И это различие, как было позднее признано в том числе и американскими специалистами, оказалось в пользу советской программы.

### **Движение**

Уже в 1956 г. В НИИ-1 была сформулирована программа первых экспериментальных работ. А спустя два года на Семипалатинском ядерном полигоне началось строительство экспериментальной базы для отработки ЯРД. Первым объектом строительства стал стенд с «Реактором взрывного действия» (РВД). Сегодня он носит название «Импульсный графитовый реактор» (ИГР). Реактор обеспечивал проведение петлевых испытаний тепловыделяющих сборок (ТВС) ЯРД. С разработки этого проекта началось приобретение нашего НИКИЭТ к космической проблематике, связанной с ЯРД.

ИГР представляет собой гомогенный неохлаждаемый уран-графитовый реактор, работающий на принципе аккумуляции всей выделяющейся в процессе одного цикла тепловой энергии в материале активной зоны. В центральном канале этого реактора в 1962–1964 гг. были проведены первые три серии кратковременных испытаний макетных ТВС. Была экспериментально доказана возможность нагрева водорода — рабочего тела ЯРД

до температуры порядка 3000 К, что обеспечивает получение импульса тяги, вдвое превосходящего удельный импульс тяги самых эффективных ракетных двигателей на топливе водород-кислород.

В 1964 г. на Семипалатинском полигоне началось строительство стендового комплекса «Байкал» для испытаний ЯРД и его элементов. Первую позицию на нем занял разработанный в НИКИЭТ исследовательский реактор ИВГ-1 для испытаний полномасштабных ТВС. В период с 1975 по 1988 г. было проведено 30 пусков реактора, в которых испытывали четыре опытные активные зоны и более 200 газоохлаждаемых ТВС для ядерных ракетных двигателей. Испытания подтвердили правиль-



Импульсный графитовый реактор (ИГР)

ность выбранной в отечественной программе концепции построения ЯРД, а значительная часть достигнутых в ходе испытаний результатов стала уникальной в мировой практике.

Успешное проведение испытаний ТВС в реакторе ИВГ позволило приступить к автономным испытаниям реактора ЯРД. Стендовая отработка реактора ЯРД тягой 36 кН проводилась в составе специально спроектированного аппарата 11Б91-ИР-100 (ИРГИТ) на втором «А» рабочем месте испытательного комплекса «Байкал». В течение 1977–1978 гг. были проведены физический и энергетический пуски реактора и два огневых испытания. В конце 1970-х — начале 1980-х гг. на стендовом комплексе были проведены еще две серии испытаний — второго и третьего аппаратов 11Б91-ИР-100.

Начиная с 1983 г. там же было проведено несколько серий длительных испытаний реактора ЯРД на пониженной мощности. Они подтвердили

принципиальную возможность использования реактора ЯРД в качестве источника тепловой энергии длительного пользования с реализацией схемы охлаждения активной зоны реактора без потока хладагента через ТВС. Этим были заложены основы для разработки в дальнейшем ядерных энергоустановок.

Не менее активно велась разработка ЯРД в США. Национальная программа по ядерным ракетам ROVER/NERVA охватывала период с 1959 по 1972 г. В Соединенных Штатах в этой области (реакторы *Phoebus*, *Pewee*, *NFI*) было испытано около 40 установок с реакторами ЯРД. Более 20 подверглись полномасштабным испытаниям, в том числе были

отработаны двигатели в целом, включая подачу жидкого водорода. За основу конструкции был принят гомогенный реактор с активной зоной из графита и осевым течением водорода. Программа была признана одной из наиболее успешных технических разработок самой передовой технологии США.

Однако, несмотря на значительно меньшие затраты на реализацию программы ЯРД, наша страна значительно опередила США по таким параметрам, как температура водорода на выходе из реактора (т.е. по величине удельного импульса), плотность энерговыделения в активной зоне, наработанный ресурс на максимальных параметрах и т.д.

Главными итогами советских работ по реализации программы создания ЯРД стали:

- 1) отработанная технология производства;
- 2) проведение ресурсных испытаний ТВЭЛ и ТВС: активной зоны реактора, замедлителя, отражателя, радиационной защиты, исполнительных и рабочих органов регулирования реактора, оборудования системы подачи и хранения водорода, соплового блока и др.;
- 3) проведение радиационных исследований конструктивных материалов;
- 4) создание комплексной экспериментальной базы по отработке основных узлов реактора ЯРД;
- 5) комплекс исследовательских работ, обеспечивших создание реактора ИРГИТ.

В реализации советской программы ЯРД приняли участие большое количество выдающихся научных институтов и конструкторских бюро Советского Союза: Исследовательский центр им. М.В. Келдыша, КБХА, НПО «Энергомаш», НИКИЭТ, ФЭИ, «Луч», Курчатовский институт и многие другие.

## Сила

Работы по космическим ядерным энергетическим установкам (ЯЭУ) с прямым преобразованием энергии были начаты в нашей стране несколько позднее, чем работы по ЯРД, однако в отличие от ЯРД разработки ЯЭУ были доведены до летных испытаний и штатной эксплуатации в составе космических аппаратов (КА). Они начались с разработки и создания в 1961–1964 гг. экспериментального реактора-преобразователя (РП) «Ромашка» с электрической мощностью 0,5 кВт, проработавшего в ИАЭ им. И.В. Курчатова в непрерывном режиме около двух лет.

Первая энергоустановка на базе ядерного реактора была выведена в космос в апреле 1965 г. Эта была первая и единственная американская ЯЭУ SNAP-10A с термоэлектрическим преобразователем электрической мощностью 0,5 кВт.

Первой отечественной ядерной энергоустановкой, эксплуатировавшейся в космосе, стала ЯЭУ «Бук» с термоэлектрическим преобразованием энергии. Работы по ее созданию были развернуты в ФЭИ, КБ М.М. Бондарюка, СФТИ, Институте источников тока в начале 1960-х гг. Впоследствии они были продолжены в НПО «Красная Звезда».

За весь период эксплуатации с 1970 по 1988 г. в составе космических аппаратов морского радиолокационного наблюдения на низкие околоземные орбиты был выведен 31 КА с ЯЭУ «Бук». Максимальная электрическая мощность установки составляла около 3 кВт, в процессе летной эксплуатации ее ресурс был доведен до 4400 часов, что приблизительно равно полугоду.

Параллельно с испытанием первых термоэлектрических ядерных энергетических установок «Ромашка» и «Бук» в СССР были развернуты работы по созданию космических ядерных установок на основе термоэмиссионных преобразователей энергии, встроенных в активную зону реактора.

В кооперации НПО «Красная Звезда» и ФЭИ разрабатывался вариант термоэмиссионной ЯЭУ с многоэлементными электрогенерирующими каналами (ЭГК) (ЯЭУ «Топаз»), а в кооперации ЦКБМ, Курчатовского института, НПО «Луч», ПНИТИ и СФТИ — вариант термоэмиссионной ЯЭУ с одноэлементными ЭГК (ЯЭУ «Енисей»).

В 1970–1973 гг. были созданы и впервые в мире прошли энергетические испытания восемь прототипов термоэмиссионных ЯЭУ с реактором-преобразователем на основе многоэлементных ЭГК. Два опытных образца ЯЭУ «Топаз» в 1987 и 1988 гг. были испытаны в космосе в составе экспериментального космического аппарата «Плазма-А» («Космос-1818» и «Космос-1867»), подтвердив ресурс в процессе первого испытания 142 суток, а в процессе второго — около 342 суток.

Разработка установки «Енисей» (известной за рубежом как «Топаз-2») завершилась полным

циклом наземной отработки, включая шесть ядерных энергетических испытаний с подтверждением ресурса около полутора лет, с прогнозированием ресурса по результатам разделки и изучения критических элементов до трех и более лет. Для проведения летных испытаний были изготовлены два штатных изделия «Енисей» и несколько опытных образцов для отработки стыковки с КА. Летные испытания установки в связи с сокращением финансирования не проводились, а изготовленные опытные образцы (с электротепловым нагревом) были задействованы в программе совместных работ с США (в международной программе «Топаз»).

Сегодня энергоснабжение абсолютного большинства КА осуществляется за счет солнечной энергии (исключение составляют несколько КА с радиоизотопными энергоустановками). Мощность солнечных энергоустановок современных КА достигает 20 кВт при сроке активного существования до 20 лет.

## Будущее космонавтики неразрывно связано с ростом энергообеспечения космических аппаратов и расширением их функциональных возможностей

Будущее космонавтики неразрывно связано с ростом энергообеспечения космических аппаратов и расширением их функциональных возможностей. Усложнение решаемых космическими средствами задач в околоземном и дальнем космосе способствует возвращению ядерной энергетики в космос на новом технологическом уровне, позволяющем создать ядерные энергодвигательные установки (ЯЭДУ) высокой мощности (1000 кВт эл. и более) с длительным ресурсом работ. Космические ядерные энергоустановки значительно превосходят солнечные по ряду определяющих параметров: удельной массе при мощности, превышающей 100 кВт эл., габаритам в транспортном и развернутом положении и др. Важным достоинством ЯЭУ стала практическая независимость мощности от расстояния до Солнца, а также возможность энергообеспечения КА на теневых участках орбиты.

Использование космических ядерных энергоустановок позволяет приступить к решению следующих амбициозных задач:

- создание глобальных систем связи, дистанционного зондирования Земли, экологического мониторинга, предупреждения о стихийных бедствиях и т.д.;
- детальные исследования планет и их спутников;
- промышленное производство в космосе;
- очистка околоземного космического пространства от космического мусора;
- борьба с астероидной опасностью;
- создание автоматизированных напланетных баз;
- отработка методов борьбы с опасными космическими объектами;
- полеты на Луну и Марс.

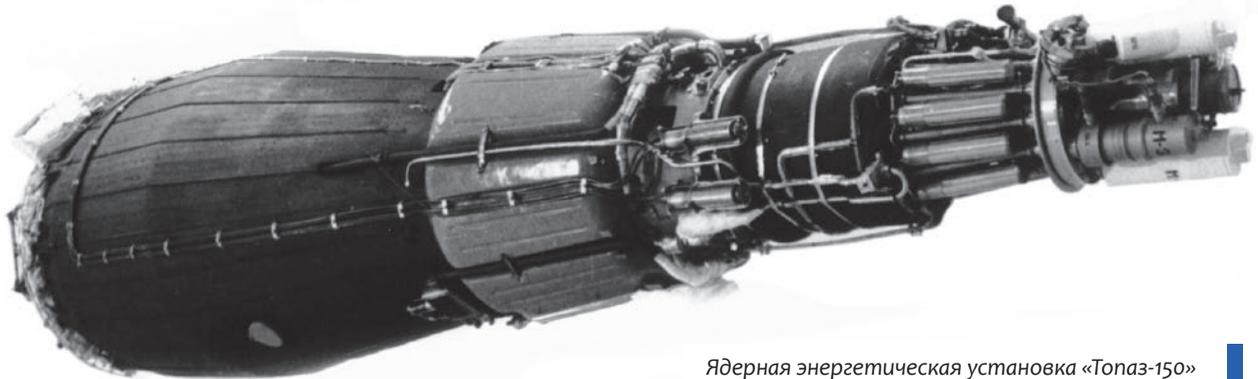
### Движущая сила

В октябре 2009 г. Комиссия при Президенте Российской Федерации по модернизации и технологическому развитию экономики России утвердила проект «Создание транспортно-энергетическо-

предприятий и организаций. Создана широкая научно-производственная кооперация, включающая в себя ведущие научные и производственные организации, в том числе ядерные центры, институты РАН, ведущие российские вузы.

Основной элемент ТЭМ — ядерный реактор, предназначенный для выработки тепловой энергии, которая затем преобразовывается в электрическую и используется в различных системах потребления космического объекта. Ранее в мире неоднократно делались попытки создания реакторов для подобных целей. Для проекта ТЭМ на основе прошлого опыта и проведенных предварительных исследований был сделан выбор в пользу высокотемпературного газоохлаждаемого реактора на быстрых нейтронах.

Принципиальные особенности реактора состоят в применении в активной зоне тугоплавких материалов, минимальных весогабаритных характеристик реактора, работе без перегрузки топлива в течение всей кампании, обеспечении ядерной и радиационной безопасности РУ на всех этапах ее существования, включая стартовые режимы запуска.



Ядерная энергетическая установка «Топаз-150»

го модуля на основе ядерной энергодвигательной установки мегаваттного класса». Главная цель — обеспечение лидирующих позиций нашей страны в разработке высокоэффективных энергетических комплексов космического назначения, существенно повышающее их функциональные возможности. Проект ориентирован на создание качественно новых космических средств высокой энерговооруженности, обеспечивающих долгосрочные государственные интересы в области изучения, освоения и использования космического пространства после 2020 г. и далее. Основные участники проекта — предприятия «Роскосмоса», ГК «Росатом» и НИЦ «Курчатовский институт».

«Росатом» стал государственным заказчиком работ по реализации проекта в части создания реакторной установки (РУ), АО «НИКИЭТ» определен главным конструктором реакторной установки. Кроме НИКИЭТ в работах по созданию реакторной установки для ТЭМ участвуют около 30 российских

Ключевой вопрос создания реакторной установки для ее использования в космосе — обеспечение ядерной и радиационной безопасности на всех этапах жизненного цикла, включая аварийные ситуации. Концепции обеспечения безопасного использования космических ЯЭДУ базируются на документе «Принципы, касающиеся использования ядерных источников энергии в космическом пространстве», одобренным Генеральной Ассамблеей ООН в резолюции 47/68 от 14.12.1992. Ее основные требования:

- сохранение реактора ЯЭДУ в подкритическом состоянии (без протекания цепной реакции) до выхода космического аппарата с ЯЭДУ на радиационно-безопасную орбиту;
- запуск реактора только на радиационно безопасной орбите;
- остановка реактора после выполнения аппаратом заданной программы полета или при возникновении аварийной ситуации;

- по окончании кампании — транспортирование ТЭМ на удаленную орбиту и последующая утилизация, обеспечивающая безопасность населения Земли.

Все эти требования учтены при разработке конструкции реакторной установки газовой космической (РУГК).

В рамках проекта создания РУГК разработаны и введены в действие нормативные документы, регламентирующие обеспечение ядерной и радиационной безопасности космических ядерных энергетических установок. К настоящему времени выполнены расчетные работы по обоснованию ядерной и радиационной безопасности реакторной установки при нештатных ситуациях. Проводятся испытания, имитирующие аварийные ситуации столкновения ТЭМ с поверхностью Земли при падении на старте и схода с орбиты для верификации расчетных кодов по обоснованию ядерной и радиационной безопасности реакторной установки.

Проведен огромный объем работ по созданию РУ:

- выполнены расчетные и опытно-конструкторские работы по РУ, выбран оптимальный вариант компоновки и конструкции;

- разработана конструкторская документация по составным частям и макетам РУ; отработаны технологии получения полуфабрикатов и изготовления деталей и узлов, изготовлены модели, макеты составных частей РУ;

- проведены их вне реакторные и реакторные испытания, осуществлена подготовка производства для опытно-промышленного изготовления ТВЭЛ.

Результаты испытаний подтвердили работоспособность конструкционных материалов, элементов конструкции РУ, органов регулирования системы управления и защиты (РО КСУЗ) при рабочих параметрах эксплуатации.

В ходе реализации проекта РУ создаются новые технологии, полезные модели и изобретения, которые могут эффективно использоваться в других отраслях народного хозяйства.

Создана материальная и техническая база для изготовления комплектующих активной зоны и составных частей реакторной установки. На сегодня определены поставщики и производители составных частей реакторной установки. Проект ориентирован исключительно на российского производителя.

Результаты технического аудита по реализации проекта, проведенного предприятиями «Роскосмоса» и «Росатома», свидетельствуют о его принципиальной технической реализуемости. В акте отмечается, что «на предприятиях госкорпорации “Росатом” выполнены опытно-конструкторские работы по разработке реакторной установки, результаты которых показывают реальную достижимость требований технического задания

## ГРАНИ ЛИЧНОСТИ

### ЮРИЙ ГРИГОРЬЕВИЧ ДРАГУНОВ

**Доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН.**

- Родился в деревне Ново-Соловьево Можайского района Московской области.

- В 1966 г. окончил физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова.

- Работал в ОКБ «Гидропресс» (Подольск) в должности конструктора, начальника конструкторского отдела, заместителя главного конструктора, главного конструктора — начальника отделения.

- В 1990 г. защитил кандидатскую диссертацию, в 2000 г. — докторскую диссертацию.

- Член-корреспондент РАН с 2006 г., член отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН (секция энергетики), с 2008 г. — профессор по специальности «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации».

- В 1998-2007 гг. — директор — генеральный конструктор Федерального государственного унитарного предприятия «Ордена Трудового Красного Знамени и ордена Труда ЧССР ОКБ “Гидропресс”».

- С 1995 по 2005 г. — член международной рабочей группы МАГАТЭ по управлению ресурсом АЭС. В 2007-2008 гг. — советник директора ОАО «Атомэнергопром». С октября 2008 г. — заместитель генерального директора ОАО ОМЗ, а с декабря 2008 г. — первый заместитель генерального директора ОАО ОМЗ. С 1 июля 2009 г. — генеральный директор ОАО «Ордена Ленина Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники им. Н.А. Доллежаля».

- Заведующий кафедрой Э-7 «Ядерные реакторы и установки» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

- Лауреат премии Совета Министров СССР (1991), заслуженный конструктор РФ (1995).

- Награжден орденом Почета (2003) и другими знаками отличия. Почетный гражданин Московской области.

(ТЗ). При этом подтверждена готовность реакторной установки к проведению наземных испытаний с заданными в ТЗ параметрами.

А это значит, что мечты фантастов о ядерных звездолетах, прокладывающих дорогу к другим планетам и звездам, становятся для нас все более реальными. ■

*Подготовил Валерий Чумаков*



В организме человека большое число мышц, сочленений, суставов, обеспечивающих одновременно движения разной силы, сложности, направления. Как достигается эта слаженность деятельности?

Что стоит за открытием гравитационно зависимой опорной сенсорной системы человека

# В ПОИСКАХ ТОЧКИ ОПОРЫ

**У**ченые из Института медико-биологических проблем РАН объявили об открытии у человека второй ведущей гравитационной системы — системы опорной чувствительности, которая чрезвычайно важна для нормальной работы нашего организма. Это открытие стало серьезным вкладом в мировую фундаментальную науку, а также в медицину, причем не только космическую. Результаты его уже используются в лечении и реабилитации двигательных нарушений, обусловливаемых такими тяжелыми заболеваниями, как детский церебральный паралич, церебральный инсульт и т.д. Создатель школы гравитационной физиологии движений, руководитель отдела сенсорно-моторной физиологии и профилактики ИМБП, член-корреспондент РАН, профессор **Инеса Бенедиктовна Козловская** рассказала в интервью журналу «В мире науки», какие исследования в космосе и на Земле сделали это возможным.

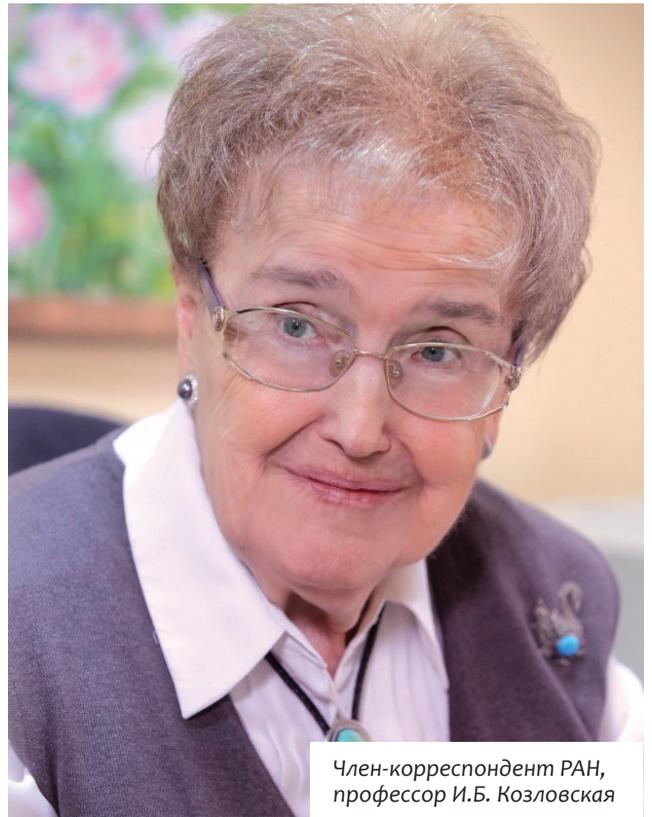
**— Инеса Бенедиктовна, как много значит для нас гравитация? Сколь велико ее влияние на существование всего живого на Земле?**

— До тех пор пока у нас не появилась возможность исследовать состояние животных и человека в отсутствие гравитации, мы не могли в полной мере оценить ее значимость. Мало того, роль и место гравитации в развитии и функционировании двигательной системы оставались за пределами изучения. Для классической, «земной» физиологии движений фактор гравитации всегда был в наличии, как бы богом данным, соответственно, он просто не учитывался в наших исследованиях. Нет и не было у нас ситуаций, когда бы мы жили и работали без гравитации. Все на Земле имеет вес, и это настолько вошло в наше сознание, что и медицина, и даже нейрофизиология не представляли себе, как происходят управление и мониторинг функций организма, когда гравитации нет.

А ведь гравитация, существующая на Земле миллионы лет, стала важнейшим фактором эволюции живого, причем если говорить о двигательной системе млекопитающих, то она появилась именно как результат борьбы живых организмов с гравитационным полем. Развились скелет, сложнейшая система мышц, система управления движениями, а также информационные системы, способные обеспечить точность движений в условиях гравитации. Исследовать работу этих систем, понять их механизмы удалось только после начала космических полетов, и то не сразу. За этим открытием — труд нескольких десятилетий. Можно сказать, что каждые пять лет добавлялись новые данные, способствующие построению теории и формализации знаний. А ведь открытие — это, по сути, и есть формализация определенных знаний и доказательство их достоверности.

**— А что представляла собой эта область науки до активного освоения космоса? Вы ведь тоже далеко не сразу занялись именно космической физиологией.**

— Основу гравитационной «космической» двигательной системы составляет физиология движений — на мой взгляд, самая интересная и самая интеллектуальная область физиологии. Конечно, так, наверное, могут сказать и другие исследователи, занимающиеся работой сердечной, дыхательной и других систем организма, поскольку во всех системах создавшая их природа удивляет своей организацией, сложностью и в то же время простотой и элегантностью решений. Но все-таки системы управления движениями остаются наиболее сложными. В организме человека большое число мышц, сочленений, суставов, обеспечивающих одновременно движения разной силы, сложности, направления. Как достигается эта слаженность деятельности? Как работают при этом сенсорные каналы, которые осуществляют взаимодействие



Член-корреспондент РАН,  
профессор И.Б. Козловская

с внешним миром и сообщают центральному аппарату управления, какая именно мышца должна быть задействована в данной конкретной ситуации и в каком состоянии она находится в данный момент? Эта информация поступает к системам управления от самых разных рецепторов, заложенных в коже, мышцах, от специальных органов чувств — зрения, слуха, вестибулярного аппарата, не говоря уже об отделах нервной системы. Чтобы такая сложнейшая машина (гораздо сложнее тех, что мы умеем создавать искусственно) обеспечивала успешную деятельность, системы двигательного управления должны обладать исключительными мобильностью, пластичностью и совершенством.

Физиология движений как наука родилась в России, и первым ее представителем по праву может быть назван великий русский физиолог И.М. Сеченов, который и заложил ее основы. Последователями И.М. Сеченова стали в России И.С. Беритов, И.П. Павлов и его школа, а затем П.К. Анохин и Н.А. Бернштейн. Вслед за И.П. Павловым П.К. Анохин изучал закономерности формирования движений, механизмы их запоминания и автоматизации на базе формирования в ЦНС временных условно-рефлекторных связей. Н.А. Бернштейн, работая в области физиологии труда и спорта, исследуя механизмы формирования трудовых и спортивных действий, выступил разработчиком современных теоретических основ физиологии движений.

Сама я, придя после окончания Первого московского медицинского института в аспирантуру, заинтересовалась вопросами афферентного (чувствительного) контроля организации движений и почти половину своей трудовой жизни изучала роль различных информационных каналов в формировании характеристик движений, обеспечивающих их соответствие двигательным задачам. Эти работы я продолжила в Институте высшей нервной деятельности и нейрофизиологии. Надо сказать, я всегда была человеком везучим: когда что-то становилось важно для моего научного развития, возможность этого словно падала на меня. Так произошло и в 1966 г., когда в рамках академического обмена институт отправил меня в США. Мне представилась удивительная для того времени возможность более пяти лет работать в двух замечательных учреждениях Нью-Йорка — легендарном Рокфеллеровском университете в лаборатории профессора Нила Миллера, основателя теории обучения внутренних органов и систем организма с использованием обратной связи, и в Нью-Йоркском медицинском колледже — под руководством известного американского нейрофизиолога Вернона Брукса.

**— Рокфеллеровский университет часто приводят в пример как идеальную модель того, как должны быть организованы научные исследования. Вы это почувствовали?**

— В те годы (как, впрочем, и сегодня) США лидировали по числу Нобелевских премий в области биологии, биохимии, наук о жизни, и более половины лауреатов этой премии происходили как раз из Рокфеллеровского университета. Его президентом тогда был известный биофизик, также нобелевский лауреат Детлев Бронк. Обстановка в университете была очень строгая, но очень демократичная. Меня представили Бронку на первом же общем вечере, которые, кстати, устраивались там довольно часто. И первый вопрос, который я ему задала, был таким: «Что именно в вашей работе позволяет добиваться того, что в течение многих лет университет остается впереди планеты всей по числу открытий и нобелевских лауреатов?»

Он улыбнулся: «Думаю, правильный отбор приглашенных исследователей. А дальше мы просто даем человеку помещение и возможность спокойно работать. Он заходит, закрывает за собой дверь, а через несколько лет дверь открывается — и из комнаты выходит новый нобелевский лауреат». Это точные слова, которые я запомнила на всю жизнь. Мне они были в то время совершенно непонятны. Я даже подумала тогда, что он шутит. Но сейчас много лет спустя понимаю, что он был совершенно серьезен, что именно так работал и работает до настоящего времени этот замечательный университет. В какой-то

мере этот принцип я испытала на себе: приехала, рассказала руководителю принимающей лаборатории, чем занимаюсь и чем хотела бы заняться во время пребывания в университете. Хотя мои интересы существенно отличались от направления его исследований, профессор Миллер внимательно меня выслушал и сказал: «Думаю, что некоторые из тех методов, которые мы применяем, будут вам полезны, а мне интересно то, что делаете вы. Мой секретарь Мэриэн подскажет, как писать заявки, и начинайте». Далее, как и говорил Бронк, мне предоставили для работы комнату, где было все необходимое для проведения экспериментов — стеллажи для содержания крыс, места для операций, проведения лабораторных тестов и пр. И едва я освоилась и продумала план исследований, как Миллер сказал: «Пора вам рассказать в лаборатории, что и как вы собираетесь делать. Давайте вместе подумаем, обсудим». На мои возражения, что я еще плохо говорю по-

## Гравитация, существующая на Земле миллионы лет, стала важнейшим фактором эволюции живого

английски, он ответил: «А мы еще хуже говорим по-русски; поэтому кто не поймет, пусть учит русский язык». Кое-как, с трудом я доложила на конференции план, его обсудили, что-то предложили, что-то изменили. И дальше началась работа, продолжавшаяся пять лет. Если нужна была помощь, хотя бы для того чтобы понять, где склады, как заказать инструменты, аппаратуру, реактивы, откуда взять необходимые средства, подсказывали секретарь профессора и коллеги.

Из впечатлений первых лет запомнилось: в коридорах отдела пусто, все сотрудники в своих комнатах, разговаривать в коридорах не принято — не работаешь сам и мешаешь другим, а общаться следует во время ланча, этому способствовал даже интерьер прекрасной столовой, спроектированной в английском стиле: длинные деревянные столы и скамейки. Нил как-то подсел ко мне во время ланча: «Инеса, я наблюдаю за тобой: ты все время сидишь одна. Это неправильно, общение с исследователями из разных подразделений — важная часть твоего научного образования в университете».

Многое казалось непривычным. Например, в университете регулярно организовывались лекции приглашенных докладчиков, и каждый сотрудник выбирал те, которые были ему интересны. Однажды я оказалась на лекции по компьютерным технологиям, которые тогда как раз зарождались,

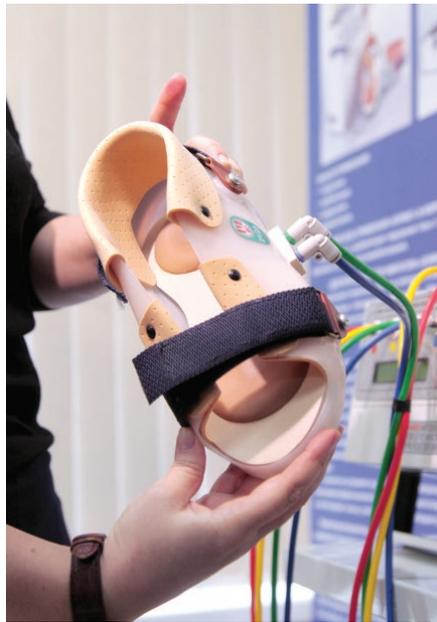
читали ее бостонцы, «голубая кровь». Прихожу — аудитория почти пустая, всего несколько человек. Возмутилась: как же так, не обеспечена посещаемость, да и вообще, обидно за бостонцев. Миллер возразил: «Ты неправа. Зато здесь те, кому предмет наверняка интересен, а значит, и общение будет гораздо более полезным».

**— Как вы потом адаптировались дома, интегрировались в окружающую научную инфраструктуру, среду?**

— За пять с лишним лет, проведенных в США, приобретенные навыки вошли в привычку, а область исследований и правила их проведения стали естественной частью жизни. Когда я вернулась в Москву, мне очень хотелось продолжить исследования, начатые в Америке, особенно в Нью-Йоркском медицинском колледже, где я работала с приматами и изучала роль мозжечковых ядер в организации точностных движений. Поначалу организовать такие исследования в Москве мне не удавалось. Но в середине 1970-х гг. начали строить советский шаттл, и генеральный конструктор Г.Е. Лозино-Лозинский задумался, смогут ли космонавты приспособиться и полноценно работать во время полета, который длится всего десять дней, и как им помочь.



Погружение испытателя в «сухую иммерсию» (вверху); «Корвит» — клинический компенсатор опорной разгрузки (справа)



Прежде чем посылать человека, надо было хотя бы понять, какова у него будет способность выполнять операторскую деятельность. В то время уже было известно, что человек в космическом полете может жить, есть, пить, а вот как он будет работать — это был вопрос. И тогда О.Г. Газенко, легендарный человек, родоначальник нашей космической медицины, предложил проверить этот вопрос в эксперименте на биологическом спутнике «Бюн», запустив на нем в космос обезьян, организация

ЦНС у которых близка к человеческой. Правда, для этого нужен был специалист, имеющий опыт работы с обезьянами и их обучением. И Олег Георгиевич вспомнил, что в Штатах он бывал и у меня в лаборатории, где проводились такие исследования. Они, конечно, не имели отношения к космосу, но были посвящены двигательному обучению приматов. Олег Георгиевич нашел меня в Москве и предложил перейти на работу в Институт микробиологических проблем, обещая, что я смогу там продолжить работу с обезьянами по своему проекту, выполняя помимо этого другие задачи, связанные с исследованием управляющих механизмов движения.

Известно, что при переходе к невесомости у человека возникают симптомы чувствительной бури, так называемая болезнь движения. Некоторые люди испытывают ее и на Земле — во время езды на автомобиле, качки на море — укачивание. У таких людей вестибулярный аппарат не может поддерживать нормальную деятельность управляющих систем организма в условиях меняющегося гравитационного окружения. В космосе все обстоит еще хуже. Ведь чтобы выполнять правильные движения, необходимы ряд условий: соответствующая поза, координация движений

глаз и головы, эффективная деятельность систем пространственной ориентации и пр. Это, в свою очередь, обеспечивается нормальной активностью сигнальных систем, включая зрение, вестибулярный аппарат, мышечные рецепторы и рецепторы опоры. В невесомости ни один из этих каналов не функционирует нормально! Не могут выполнять в отсутствие веса свои функции отолиты — ведущая часть нашего органа равновесия. Опоры в невесомости нет по определению, и, соответственно, существенно ослаблена чувствительность

мышечных рецепторов. Иначе говоря, создаются все условия для сенсорного, «чувствительного» конфликта и нарушений деятельности систем управления движением. Тем не менее космонавты в космических полетах выполняют сложнейшие двигательные задачи, что говорит о том, что центральная нервная система (ЦНС), ее гравитационные механизмы обладают колоссальной пластичностью, приспособляемостью, и чтобы использовать эти механизмы, их необходимо изучать.

Так с появлением космических полетов появилась новая область физиологических наук — гравитационная физиология (термин принадлежит О.Г. Газенко), изучающая механизмы, которые обеспечивают ответы живых организмов на гравитацию. Как утверждал Н.А. Бернштейн, самая общая черта живых систем — активность, обеспечивающая их направленное взаимодействие с внешней средой. Встречаясь с различными факторами новой среды, организм либо борется с ней, преодолевая ее сопротивление, либо адаптируется, используя полезные ее составляющие в своих интересах. Это и произошло 3,5 млрд лет назад, когда первые живые организмы переместились из океана на сушу. Чтобы действовать, им нужно было оторваться от земли, и для этого природа создала сложнейшую опорно-двигательную систему. Важная составляющая этой системы у млекопитающих — два вида мышечных волокон: фазные, обеспечивающие мощные движения перемещения тела и поднятие тяжестей, и «тонические», или позные, задача которых в каждую миллисекунду обеспечивать сохранность позы и позиции рабочих сегментов тела. У лягушек эти две системы представлены разными мышцами, а у человека они объединены и переплетены в одной мышце, несмотря на то что глубоко различаются по функции, структуре, организации обмена, а также организации систем управления.

Итак, система, работу которой нам предстояло изучить при наличии и в отсутствие гравитации, состояла из трех уровней: моторного — мышцы, интегрального — управление и информационного — каналы, обеспечивающие поступление чувствительной информации, необходимой для того, чтобы интегральный механизм мог принять правильное решение и управлять мышцами.

— **Какими методами все это изучается? Одно дело — увидеть мышцу, другое — зафиксировать движения. Как вообще совершенствовались ваши методы?**

— Основу наших знаний составляют результаты наблюдений и выполнения космонавтами заданных тестов. Однако условия для исследований в полете неблагоприятны: участников экспериментов мало, программы полетов весьма насыщены, к тому же космонавты порой весьма неважно себя чувствуют. Тем не менее ощущения самих космонавтов и наблюдения за ними дали бесценный материал. Например, в раннюю эпоху еще относительно коротких полетов и мы, и американцы обнаружили, что когда космонавт переходит от Земли к невесомости, у него незамедлительно изменяется вертикальная стойка, приобретающая в невесомости сгибательный характер. Американцы назвали эту стойку позой усталой обезьяны, а российские ученые — полуэмбриональной позой. Обнаружено это было в первых же полетах



Бортовой высокочастотный электромиостимулятор

космических станций, однако открытия из этого факта сделано не было. А ведь это было настоящим открытием, означавшим, что в невесомости у человека перестают работать разгибатели, обеспечивающие ему на Земле осанку прямой и вертикальной стойки.

Все, что космонавты видели и чувствовали, мы тщательнейшим образом записывали, систематизировали, затем анализировали, строили гипотезы и проводили направленные модельные эксперименты. Накопление знаний о факторах, обуславливающих адаптацию организма к невесомости, открыло возможности создания ее наземных моделей. Наиболее распространенная из них — антиортостатическая (постельная) гипокинезия: кровать, наклоненная по отношению к горизонту в изголовье под углом 6–8° и таким образом воспроизводящая свойственные невесомости гипокинезию, гиподинамию и распределение крови. На Земле вес жидкости движет кровь к ногам, движение к голове и верхним частям тела обеспечивается работой специальных механизмов. В невесомости весовой градиент отсутствует и кровь к ногам не бежит. Вместе с тем механизмы, обеспечивающие движения крови к голове, продолжают работать. В результате создается избыток притока крови к голове, обеспечивающий включение новых защитных механизмов, препятствующих избыточному кровообращению мозга. Длительность гипокинетического воздействия в наших экспериментах аналогична таковой в длительных космических полетах: четыре, шесть, а в одном эксперименте даже 12 месяцев. В этом уникальном эксперименте, который уже вряд ли когда-то будет повторен, 12 добровольцев-испытуемых находились в антиортостатическом положении в течение года и был получен большой бесценный материал.

Но все-таки модель антиортостатической гипокинезии воспроизводит состояние невесомости недостаточно полно, поскольку при пребывании в постели, даже максимально мягкой, вес тела сохраняется и рецепторы давления, расположенные в глубоких слоях кожи, сообщают ЦНС, что испытуемый находится в условиях гравитации. Как показали исследования, выполненные в Институте медико-биологических проблем, обеспечиваемая этими рецепторами опорная чувствительность представляет собой ведущую сигнальную систему гравитации. Если у нас нет опоры, мы находимся в свободном падении, то есть в невесомости.

В начале 1970-х гг. российские физиологи Е.Б. Шульженко и И.Ф. Вильямс разработали другую, как я думаю, более адекватную модель не-

И, наконец, в 60-е гг. прошлого столетия при подготовке к полетам на Луну российскими и американскими учеными одновременно была апробирована третья модель микрогравитации — вывешивание, позволившая исследовать особенности ходьбы человека в условиях весовой и опорной разгрузок. Суть модели заключается в создании противовесов каждой части тела. При этом центральная нервная система утрачивает возможность ощущать вес тела, а системы двигательного управления переходят на агравитационный режим.

Большой вклад в развитие гравитационной физиологии двигательной системы внесли исследования на животных, систематически выполнявшиеся на Земле и в космических полетах на биологических спутниках «Бион».

В этих полетах исследовались влияния невесомости на всевозможные живые объекты — от клеточных и растительных структур до млекопитающих. В научной среде «Бион» получил название «Ноев ковчег». Венцом стали эксперименты на обезьянах, во время которых мы получили возможность широких исследований состояния всех систем организма непосредственно в условиях невесомости. Животные были специально обучены выполнению тех же операторских задач, что и космонавты. Однако получаемая в этом случае информация была существенно большей, поскольку каждая из 12 летавших обезьян была снабжена более чем 50 датчиками, вживленными во все жизненно важные органы — мышцы, сердце, сосуды, ЦНС, включая вестибулярные ядра, мозжечок и кору головного мозга. В этих исследованиях мы видели не только то, что делает животное, но и что при этом происходит в различных системах его организма. И все 12 обезьян выполнили задания и вернулись после 14-дневного полета живыми и здоровыми!

Таким образом, основные наши знания мы получали в модельных экспериментах и экспериментах на животных, построенных на основании гипотез, рождавшихся в полетах. Результаты этих экспериментов впоследствии вновь возвращались на орбиту в виде разработанных на их основе средств и методов профилактики и поддержания нормального состояния здоровья и работоспособности



Испытатель в условиях «сухой иммерсии» (вверху); бортовой низкочастотный электромиостимулятор (справа)



сомости — так называемую сухую иммерсию, которая в полной мере воспроизводит как механическую, весовую, так и полную опорную разгрузку. Известно, что, будучи погруженным в иммерсионную среду, человек не ощущает опоры, поскольку жидкость равномерно распределяется по поверхности тела. Однако длительный контакт кожи с водой неблагоприятен, поэтому авторы метода предложили при погружении испытуемого в иммерсию изолировать его от воды свободно плавающей водонепроницаемой тканью. Это дало возможность проводить безопасные иммерсионные эксперименты длительностью до двух месяцев и более. Модель оказалась практически идеальной, и именно в иммерсионных экспериментах было получено наибольшее число новых данных о работе гравитационных механизмов в двигательной системе.

космонавтов. В целом за 30 лет наших исследований был накоплен колоссальный материал, который и лег в основу наших находок. Полученные данные позволили нам с уверенностью утверждать, что двигательная система организма — самая гравитационно зависимая, первая, отвечающая на воздействие невесомости, и что ведущим информационным каналом этой системы выступает опорная афферентация.

**— Означает ли это, что ощущение точки опоры запускает в организме механизмы адаптации к невесомости?**

— Если говорить упрощенно, да. Но если принять во внимание, что развитие тонической мышечной системы и опорной чувствительности стало следствием перехода животного мира к гравитации, правильнее было бы сказать, что опорная чувствительность, а следовательно и точки опоры, запускают в организме механизмы адаптации к «весомости», к весовым нагрузкам. В наших иммерсионных исследованиях было показано, что переход к невесомости сопровождается глубоким торможением активности тонической мышечной системы, результатом чего становятся упоминавшиеся нами выше атония разгибателей мышц и возникновение у космонавтов сгибательной позы. Более того, оказалось, что пребывание в условиях иммерсии, то есть без опоры, в течение длительного времени инициирует начало разрушительных процессов в тонических мышечных волокнах, способствуя их атрофии и трансформации в волокна фазные. Подводя итоги этим результатам, можно было заключить, что не опора, а уменьшение ее уровня способствует мышечной адаптации к невесомости, в условиях которой поза и позные механизмы не востребованы.

В дальнейшем в условиях тех же иммерсионных экспериментов были выявлены возможности влиять на эти процессы вплоть до полной их отмены. Суть открытия состояла в следующем. Как было показано в исследованиях российского морфолога А.А. Отелина, рецепторы опорной чувствительности — это глубокие инкапсулированные рецепторы давления, расположенные в глубинных соединительно-тканых структурах кожи и локализующиеся в стопах ног человека в области пятки, наружной дуги свода стопы, предплюсны и большого пальца. Согласно нашим и французским данным, сигнализируя о распределении опоры по стопе, опорная рецепция информирует центральную нервную систему о том, как человек стоит: прямо, с наклоном вперед, назад, в ту или иную сторону, на опоре жесткой или мягкой и т.д., обуславливая включение той или иной позной синергии (комплекс позных реакций). Оказалось также, что применение адекватных опорных раздражений в условиях длительного иммерсионного воздействия предотвращает развитие неблагоприятных

эффектов невесомости, способствуя сохранению нормальных мышечных качеств (силы и тонуса) и структуры тонических мышечных волокон.

Результаты этих исследований легли в основу разработки нового средства профилактики двигательных нарушений, которое получило название «компенсатор опорной разгрузки» (КОР) и оказалось востребованным не только в космических полетах. Очевидно, что гипокинезия и связанные с ней состояния снижения опорных нагрузок свойственны не только невесомости, но наблюдаются и у больных, перенесших травмы, инсульты и другие заболевания, при которых нарушаются двигательные функции, а также у людей пожилых и ведущих малоподвижный образ жизни. На основе космического КОР для этих пациентов был создан прибор «Корвит», активно использующийся в настоящее время в реабилитационной неврологической практике.

Разрабатывая адекватные режимы опорной стимуляции, мы использовали также локомоторные режимы с чередующимися раздражениями пятки и плюсны одной и другой ноги, аналогичные тому, как это происходит при ходьбе. При этом оказалось, что в условиях безопорности, создаваемой вывешиванием, эти «локомоторные» воздействия сопровождаются возникновением локомоторных движений и активацией локомоторных мышц. Одновременно с использованием ядерно-магнитного резонанса было обнаружено, что в этих условиях при «локомоторных» раздражениях зон стоп в коре головного мозга регистрируется активационная активность, рисунок которой повторяет тот, что регистрируется при воображаемой ходьбе. Иначе говоря, в коре головного мозга испытуемых во время стимуляции опорных зон стоп в режиме локомоций мы наблюдали четко воспроизводимую картину локомоторной активации — «бабочку». Она возникала также и в случаях, когда испытуемого просили просто представить себе, что он ходит.

Так одно открытие повлекло за собой другое — фундаментальное: ведь если возможно с периферии запускать через «центр» локомоции, значит в мозге у человека замыкается локомоторная «рефлекторная петля», которую никто раньше не описывал.

Сейчас мы продолжаем работать. Радует, что в трех лабораториях нашего отдела сегодня много молодежи, в исследованиях которой космическая, земная наука и медицина тесно переплетены, и что гравитация скрывает еще много загадок. Как писал великий русский физиолог А.А. Ухтомский: «Тяжесть — самое неизбежное и постоянное поле, от которого ни одно существо никогда на Земле не освобождается». Значит, его следует изучать. ■

**Беседовала Елена Кокурина**



# Земля

в иллюминаторе

Космический аппарат постоянно бомбардируют высокоскоростные мелкие частицы. Таких микрочастиц очень много, под их воздействием стекло иллюминатора постепенно покрывается микрократерами и теряет прозрачность.

# Р

оссийские космические аппараты прекрасно работают в самых экстремальных условиях, а разнообразные приборы наблюдают за Землей через прочные оптически прозрачные иллюминаторы. Казалось бы, при чем здесь Томский политехнический университет?

В отличие от ТПУ Институт физики прочности и материаловедения (ИФПМ) СО РАН находится не в центре Томска, а на его зеленой окраине. Однако такая удаленность вовсе не кажется недостатком, поскольку этот микрорайон, расположенный в восточной части города, называется Томский Академгородок. Здесь, на территории 200 гектаров, что несколько меньше территории, занимаемой в Москве парком Горького, кроме жилых объектов расположились семь серьезных институтов СО РАН плюс комплекс Особой экономической зоны технико-внедренческого типа «Томск». Все, что имеет отношение к науке, здесь рядом: заезжаешь за граничную стелу, и почти сразу слева оказывается Особая зона, справа — ИФПМ.

Нужные нам лаборатории расположены в подвале. До них мы добираемся по длинным петляющим коридорам. По сторонам даже не двери, а ворота, подобные цеховым. Все сделано очень основательно и капитально, хотя чему удивляться? Как-никак институт прочности.

В конце нашего подземного путешествия — просторная лаборатория Центра перспективных исследований «Многоуровневое динамическое моделирование материалов и конструкций» ТПУ. Помещение уставлено компьютерами, шкафами и физическими приборами пока непонятного назначения.

— У нас созданы сетевые центры и лаборатории, в которых вместе работают представители РКК «Энергия», ученые ИФПМ и специалисты Томского политехнического университета, — рассказал нам директор ИФВТ **Алексей Николаевич Яковлев**. — Такое сетевое взаимодействие позволяет достичь синергетического эффекта: на базе фундаментальных научных исследований разрабатываются технологии, одновременно решаются и прикладные,



Директор Института физики высоких технологий ТПУ А.Н. Яковлев

и производственные задачи. Главное направление работы — многоуровневое динамическое моделирование материалов и конструкций. Разрабатывается новый материал, на основании его характеристик создается 3D-модель изделия, на которой прогнозируется работа агрегата. Модель виртуально испытывают на различные нагрузки, которые могут возникать в процессе эксплуатации.

— **Перегрузки, вибрация, тепловое воздействие, удары.**

— Да, причем такие виртуальные испытания могут проводиться сразу по нескольким параметрам, то есть учитывается система воздействия внешних факторов. Испытания позволяют найти слабые элементы конструкции. После их доработки проводятся уже испытания натурные.

— **Разве можно на Земле испытать на гарантированную работоспособность то, что должно работать в космосе?**

— У нас есть оборудование, которое позволяет часть внешних воздействий симитировать в натурных испытаниях. Их цель — определить на более серьезном и приближенном к реальности уровне, где есть несоответствие, какой элемент конструкции слабый. В результате делаем заключение: здесь конструкцию нужно переделать либо заменить материал.

### Полет не наяву

Совместно учеными ТПУ и ИФПМ для натурных испытаний используется уникальный мобильный трехкомпонентный лазерный сканирующий доплеровский виброметр, или, говоря проще, 3D-лазерный виброметр. С его помощью можно проводить виртуальные испытания компонентов космических аппаратов, автомобилей, станков, самолетов, морских судов и т.д. Неполадки и слабые места в деталях он определяет по частоте колебаний, которая считывается и передается на компьютер с помощью лазерного луча. С использованием такого 3D-лазерного виброметра можно точно определять вибрацию всех деталей уже на этапе проектирования конструкции. На этом оборудовании ученые и конструкторы будут решать первоочередные задачи для космоса, авиа-, машиностроения. Что особенно удобно, лазерный виброметр может работать с крупными объектами. Причем для проверки ракету или судовой двигатель совсем не обязательно привозить в Томск. Достаточно смоделировать компьютерного «двойника» и переслать по электронным сетям в ТПУ. Дальнейшую работу сотрудники центра выполняют сами.

Подробно о деятельности Центра перспективных исследований «Многоуровневое динамическое моделирование материалов и конструкций» ТПУ нам рассказал ведущий научный сотрудник лаборатории механики структурно неоднородных сред ИФПМ **Игорь Юрьевич Смолин**.

— При создании образцов авиационно-космической техники испытания —

наиболее ответственный этап, на котором можно понять, насколько изделие соответствует предъявляемым требованиям. Большое значение имеют прочностные характеристики, чтобы образец не сломался, не разрушился. Наиболее часто встречающийся вид воздействия — вибрация, возникающая, например, при старте ракеты. Традиционно проводятся физические испытания с помощью операционного воздействия на вибростенде. Но сегодня технологии шагнули вперед и появилась возможность производить многие операции с помощью компьютера. При этом растут доля моделирования, точность расчетов, развивается математический аппарат.

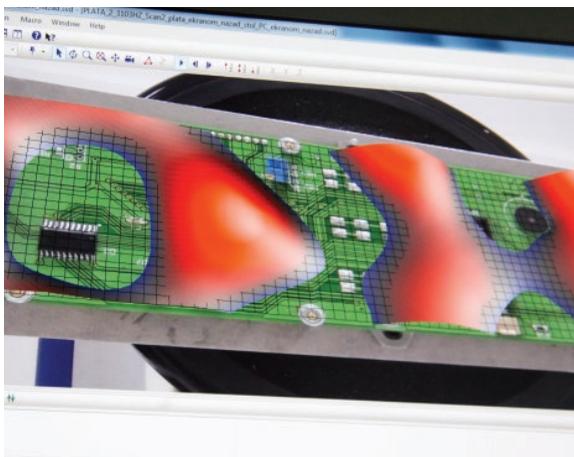
**— Такие компьютерные испытания экономически более целесообразны?**

— Разумеется. Когда поставлена цель создать какой-то прототип, все просто: создали, испытали, запустили. Но когда речь идет о серийных изделиях с незначительными модификациями, вполне целесообразно заменить натурные испытания компьютерным моделированием. Допустим, мы добавили несколько приборов на спутник, после чего нам уже не надо испытывать весь комплекс: просто просчитали, получили результат «все нормально» — и можем реализовать. Деньги сэкономили, и немалые.

**— Разве у нас можно без натурных испытаний?**

— К сожалению, пока нет. Пока в нашей стране есть требования, ГОСТы, внутренние стандарты, которые требуют натурных испытаний при любых, даже самых незначительных изменениях. За рубежом с этим проще, там компьютерное моделирование используют значительно чаще.

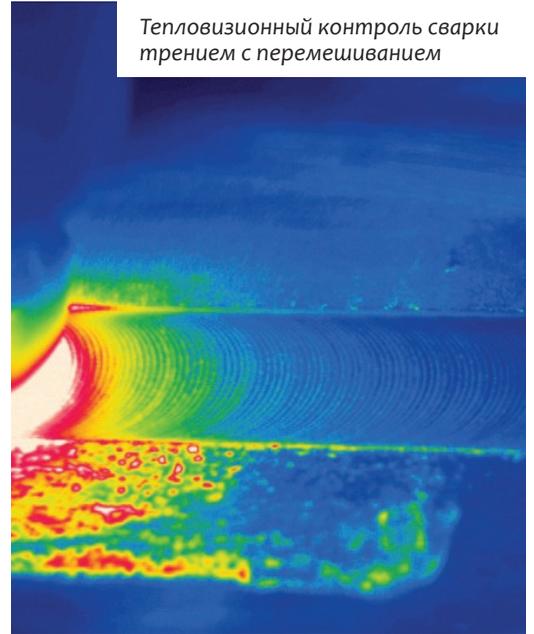
Мы проводим многоуровневое динамическое моделирование материалов и конструкций. Сейчас



Центр перспективных исследований «Многоуровневое динамическое моделирование материалов и конструкций»



Комплекс неразрушающего контроля качества соединений, полученных методом сварки трением с перемешиванием



Тепловизионный контроль сварки трением с перемешиванием

развивается идея создания конструкции от материала. Современные материалы в основном композиционные, у каждого из них своя структура. Поэтому сейчас мы говорим: «Какой нам нужен материал, такой и сделаем». Включим туда композиты, металлокерамику, создадим новый материал так, чтобы он подходил именно для этой конструкции, для этой детали, для этой задачи. Это тоже тренд, в этом направлении движется развитие науки и техники.

— **Но что подразумевает многоуровневое моделирование?**

— Для того чтобы создать конструкцию, нужно понять, как ведет себя материал на разных уровнях, от самого низкого — атомарного и молекулярного — до общей структуры самой конструкции, включений. Это особенно характерно для композиционных материалов. «Многоуровневость» мы поставили в названии процесса на первое место и считаем одной из собственных разработок. Эти исследования этапные, потому что заложить всю структуру материала в компьютер очень сложно, слишком велик объем информации. Процесс идет с наращиванием масштаба. Сначала проводятся подробные исследования на нижнем уровне, затем на все более высоком, и так до уровня конструкции.

— **Наиболее «рисковые» и опасные участки — стыки и соединения?**

— Разумеется. В конструкции могут использоваться разные материалы и типы соединения: сварные, традиционные клепочные и т.д. Для динамических колебаний важно так называемое демпфирование, при котором идет потеря энергии. При многоуровневом подходе учитываются соединения материалов непосредственно в композитах,

соединение элементов конструкций, а затем уже сама конструкция.

— **Какие виды воздействий можно опробовать на математической модели?**

— Разные. Вибрационный, так называемые случайные нагрузки, ударные. Последние для космических аппаратов возникают на этапе стыковки или при отстреливании ступеней ракеты. Такие воздействия тоже приводят к опасным последствиям.

— **Что-то из того, что вы испытывали, уже летает?**

— Наноспутник «Томск-ТПУ-120». Его доставили на борт Международной космической станции в целостности и сохранности. Для новых спутников корпуса разрабатываются тоже с учетом динамического моделирования. Это уникальный комплекс.

— **Бывает такое, что математическая модель показывает одно, а натурные испытания — другое?**

— Естественно, бывает. Если абсолютно все сойдется, это будет странно. Мы должны верифицировать модели в соответствии с экспериментом. Даются специальные критерии, которым модель должна соответствовать. Точно один в один совпадения никогда не бывает. На то и компьютерные технологии, чтобы посчитать и исключить эти риски. Надо понимать, что компьютерное моделирование годится не только для космических приложений. Подобные вещи используются и в автомобильной промышленности. В Германии уже давным-давно отошли от натуральных испытаний. Раньше как было: создается автомобиль, для него сначала делают сотни кузовов, их испытывают в аэродинамической трубе, на краш-тестах

и т.д. Сейчас все происходит в основном при помощи компьютерного моделирования. Это ускоряет и удешевляет процедуру, позволяет более точно все воспроизвести, спрогнозировать поведение конструкции.

### **Варить, смешивая**

В соседнем помещении уложен на бок кусок то ли большой трубы, то ли маленькой ракеты. По его внутренней поверхности не спеша бродит некое сложное и явно роботизированное устройство. Это единственный в стране диагностический комплекс, предназначенный для контроля сварки швов крупных деталей ракет и других космических аппаратов. Система разработана Институтом физики высоких технологий ТПУ. Про нее и про новые виды сварки нам рассказал И.Ю. Смолин.

— Вот пример успешной кооперации вузовской, академической науки и потенциала промышленных предприятий. Началось все с того, что в РКК «Энергия» решили внедрять на корпусных деталях сварку трением с перемешиванием. На этом корпусе есть и шов обычной аргоно-дуговой сварки, и шов сварки трением с перемешиванием. Поскольку последняя происходит без плавления, за счет пластификации материала и перемешивания его в пластичном состоянии, ее дефекты не имеют ничего общего с теми, которые получают при плавлении. У РКК не было системы контроля, им нужен был комплекс диагностики. Основным условием было использование больших корпусных изделий, диаметром 4–5 м.

— **Здесь я вижу диаметр поменьше.**

— Здесь 2 м, но это образец. Вообще, сварка трением с перемешиванием — очень качественный и перспективный вид сварки. Таким способом можно сваривать разные сплавы, например алюминиевые, не свариваемые обычным аргоно-дуговым методом. Преимуществ много, но есть нюанс — высокая чувствительность к режимам, их соблюдение имеет большее значение, чем при обычной сварке. Заказчику нужна была надежная система контроля. «Энергия» получила от нас технологии для контроля таких сварных соединений на корпусных изделиях. ТПУ поставил головной образец комплекса диагностики еще в прошлом году, когда закончилась работа над этим проектом.

На нашем образце алюминий толщиной 35 мм. Обычными способами его соединить сложно, а по технологии в РКК предусматривается очень толстая сварка. У них сейчас есть программа по разработке новых модулей для МКС. Там они проводят сварку панелей толщиной 35 мм, потом их вглубь фрезеруют и получают вафельную ячеистую структуру с ребрами усиления и с толщиной стенки местами до 2 мм.

— **С одной стороны, очень легкая, с другой — очень прочная.**

— Да. Прочность очень высокая. По шву ползает робот, который определяет его качество, диагностирует дефекты. Он состоит из управляющего блока и подвижной конструкции, которая крепится вдоль шва на направляющей на вакуумных присосках. Едет, сканирует шов, записывает результаты в базу. Дефектоскопист анализирует результаты, формирует протокол исследований. Можно дать длинную направляющую и все это дело замкнуть.

— **Возвращаясь к удивительной сварке: откуда она пошла?**

— В России впервые она была внедрена на «Сеспеле» — это чебоксарское предприятие, которое делает автомобильные цистерны. Мы (ТПУ, ИФПМ и «Сеспель») подали совместный проект по ФЦП и выиграли его. Пока изучали эту сварку, поняли, что надо двигаться дальше, можно варить несвариваемое. Перешли на сплавы, которые обычными методами не свариваются, добавили ультразвуковое воздействие. Мощный ультразвук в процессе

## **В космическом иллюминаторе три стекла. Они разного диаметра, несут разные функции, но первое, наружное, постоянно подвергается ударам микрометеороидов**

дополнительно пластифицирует материал. Теперь свариваем с высокой прочностью и материалы несвариваемые либо считающиеся плохо свариваемыми. Результатом стала разработка технологии сварки трением с перемешиванием с ультразвуковым воздействием.

— **Какой экономический эффект может дать такая технология?**

— Мы этими расчетами пока не занимались, но на предприятии, с которым мы сотрудничаем, естественно, все это рассчитывали. Сначала, конечно, это требует больших вложений в оборудование. А затем дает значительный экономический эффект, поскольку такая сварка быстрее, качественнее, без расходных материалов, без газа и требует меньших человеческих усилий. Да и скорость сварки значительно выше.

### **Земля в иллюминаторе**

Чуть дальше по коридору находится еще одна просторная лаборатория — материаловедения покрытий и нанотехнологий. Здесь тоже работают с космическими материалами, только значительно



Стенд для экспериментальных исследований технологических режимов сварки трением с перемешиванием с ультразвуковым воздействием

более тонкими и прозрачными, чем алюминиевая стенка толщиной 35 мм. Собственно, толщина наносимых здесь покрытий не превышает нескольких микрон, а покрывают ими не что-нибудь, а стекла космических иллюминаторов. О работе лаборатории нам рассказал ее заведующий, профессор кафедры физики высоких технологий в машиностроении ТПУ **Виктор Петрович Сергеев**.

— Если позволите, я начну с конца. В космическом иллюминаторе на самом деле три стекла. Они разного диаметра, несут разные функции, но первое, наружное, постоянно подвергается ударам микрометеороидов. Наше покрытие этим ударам противодействует.

В.П. Сергеев показывает два фото: иллюминатора с покрытием и без него. На втором вся поверхность, подобно лунному диску, испещрена кратерами: большими, средними, маленькими, малюсенькими и крошечными. Их так много, что разглядеть за ними что-то важное почти нереально. На втором — тот же иллюминатор, только уже с покрытием. На нем из всего множества выбоин осталось штук десять — те, что были большими, только тут они превратились в крошечные.

— На сегодня конструкторская документация на эти покрытые стекла разработана и передана в РКК «Энергия» для включения в общую конструкторскую документацию нового российского космического корабля «Федерация», испытания которого намечены на 2020 г. В ЦНИИМаш все лабораторные испытания должны закончиться к концу этого года. После документацию передадут на завод, где изготовят опытные образцы для летных испытаний.

— **Работа близится к концу. Сколько времени она длилась?**

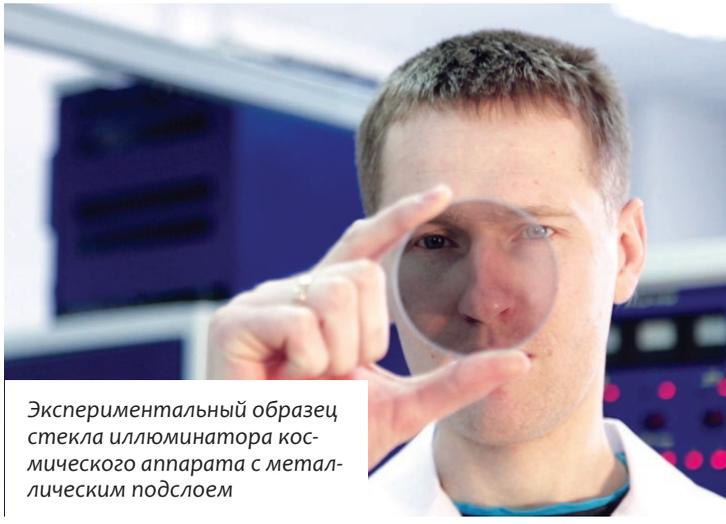
— Это длинная история. Мы занимаемся защитными покрытиями еще с 1980-х гг. Наш конек — оптически прозрачные покрытия для эксплуатации в экстремальных условиях. Сверхтвердые, износостойкие, радиозащитные... У нас много разработок для разных отраслей. Важно, что покрытия именно прозрачные, потому что иллюминатор служит не просто для того, чтобы космонавты смотрели в космос или на Землю. Через иллюминаторы ведутся постоянные оптические измерения.

— **То есть, скажем, светимость Солнца измеряется через иллюминатор?**

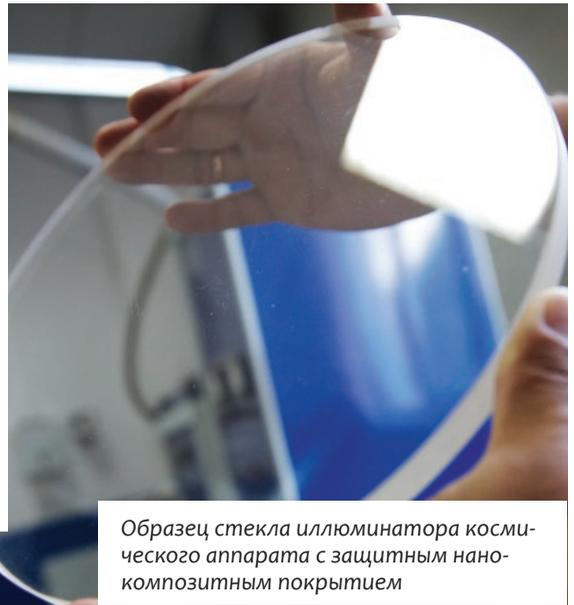
— Конечно. У американцев другой принцип, у них приборы выставляются наружу, а у нас работают изнутри, через иллюминаторы. Микрометеороидов на орбите МКС тучи, они, как пыль, все время бьют по стеклам. Если в темное время смотреть в иллюминатор, впечатление такое, будто плазма светится. Все время идет бомбардировка высокоскоростными мелкими частицами. Их средняя скорость выше третьей космической — 20–30 км/с. Таких микрочастиц очень много, под их воздействием стекло постепенно покрывается микрократерами и теряет прозрачность. Дальше иллюминатор уже, по сути, не работает. Космонавты могут что-то разглядеть, но приборы уже нет. А наше покрытие эти иллюминаторы защищает.

— **За счет чего?**

— Во-первых, покрытие это многослойное, многокомпонентное, градиентное. Во-вторых, оно нанокомпозитное и лучше проводит тепло. В-третьих, оно сверхтвердое и сверхупругое. Из-за многослойности идет рассеяние нормального удара частицы по горизонтали. Слои отражают, рассеивают на границе грубую энергию удара. Кроме того,



Экспериментальный образец стекла иллюминатора космического аппарата с металлическим подслоем



Образец стекла иллюминатора космического аппарата с защитным нанокompозитным покрытием

из-за повышенной теплопроводности покрытие эффективно рассеивает тепловую энергию. Поэтому наше покрытие полностью отсеивает мелкие частицы.

— **Но в космосе, если я правильно понимаю, большее значение имеет не размер частицы, а ее импульс.**

— Большинство частиц с достаточно высокими импульсами полностью отсеиваются. Только редкие крупные могут образовать кратер на поверхности нашего иллюминатора. Но такие единичные повреждения практически не влияют на оптические свойства. Таким образом, наше покрытие значительно увеличивает долговечность иллюминатора.

— **Американцы тоже защищают свои иллюминаторы?**

— Конечно, но такого у них нет. Здесь мы их переигорали.

— **Если в наш иллюминатор стукнет несколько раз что-то большое, есть возможность нанести это покрытие в космосе?**

— Это следующий этап работы — восстановление в космосе. Планируются работы и по ослаблению воздействия от ударов крупных метеороидов, чтобы глубина кратеров была ремонтпригодной и не влияла на изгибную прочность, чтобы иллюминатор не разрушался.

— **Как это будет? Вышли и кисточкой нанесли покрытие?**

— Ну, не совсем так. Это будут специальные приборы, магнетроны, ионные источники, для предварительной обработки и нанесения покрытия. Но с ними будут работать непосредственно космонавты. Аппарат будет приставляться к иллюминатору и в автоматическом режиме его обрабатывать. А космонавт будет прибор монтировать, включать, выключать и демонтировать.

— **Можно сравнить удар космическим метеороидом с пулевым попаданием?**

— Нельзя. Это удар принципиально другой. Все то, что летает на Земле, это максимум 1,5–2 км/с. А у космических метеороидов 7–8 км/с — нижний предел. Таких скоростей для испытаний в земных условиях мы можем достичь только при разгоне частиц в легкогазовых пушках, какие и используем. Сейчас готовим космический эксперимент на МКС: проектируем кассеты с нашими стеклами, которые космонавты вынесут в открытый космос. Вот это и будут испытания в реальных условиях при средней скорости частиц порядка 20–25 км/с. При таких воздействиях получаются совершенно другие кратеры и выявляются истинные механизмы работы материалов. Здесь на Земле ничего подобного нет.

— **Меня как автомобилиста давно волнует вопрос: неужели нельзя сделать такое автомобильное стекло, чтобы на нем вода и грязь не задерживались, а сами бы моментально стекали, без помощи дворников?**

— Можно, и такие покрытия существуют, только они пока еще очень дорого стоят. Это так называемые гидрофобные покрытия. В наших лабораториях мы работаем над подобными углеродофобными покрытиями, которые позволяют избавиться от космической грязи. На орбите стекла иллюминаторов не только подвергаются эрозии из-за воздействия микрометеороидов и космического мусора, но и покрываются пленкой из углеводородных соединений.

— **В случае с солнечными батареями это приводит к снижению работоспособности?**

— Да, поверхность фотоэлемента затягивается пленкой. Она очень прилипчивая, и избавиться от нее ее крайне сложно. Мы как раз и решаем задачу, как сделать так, чтобы грязь не прилипла, а скатывалась. Над этой проблемой работает

целый отдел в РКК «Энергия», мы с ними сотрудничаем совместно с ТПУ и ИФПМ.

У солнечных батарей на орбите довольно низкий ресурс, его требуется увеличить как минимум в два раза. За рубежом та же проблема. Обычно фотоэлектрические преобразователи батареи защищают радиационно стойкими покровными стеклами, что утяжеляет конструкцию. Мы же наносим легкие покрытия — в несколько стадий несколько слоев, и каждый несет свою функцию. Структура покрытия сложная. Но после космическая пыль на элементы уже не осажается.

В скором времени РКК, ТПУ и ИФПМ планируют совместно открыть в Томском Академгородке участок по противометеороидным покрытиям. Стекла для иллюминаторов всех космических кораблей российского, а может и не только российского производства будут обрабатываться в Томске. На участке площадью 150–200 м<sup>2</sup> будет установлен комплекс технологического и испытательного оборудования, который станет частью большого сетевого распределенного инженерингового центра для решения актуальных задач космической отрасли в кооперации ТПУ и ИФПМ СО РАН. Заведующий кафедрой



Делегация ТПУ на космодроме Байконур в рамках мероприятий по отправке наноспутника «Томск-ТПУ-120» на МКС

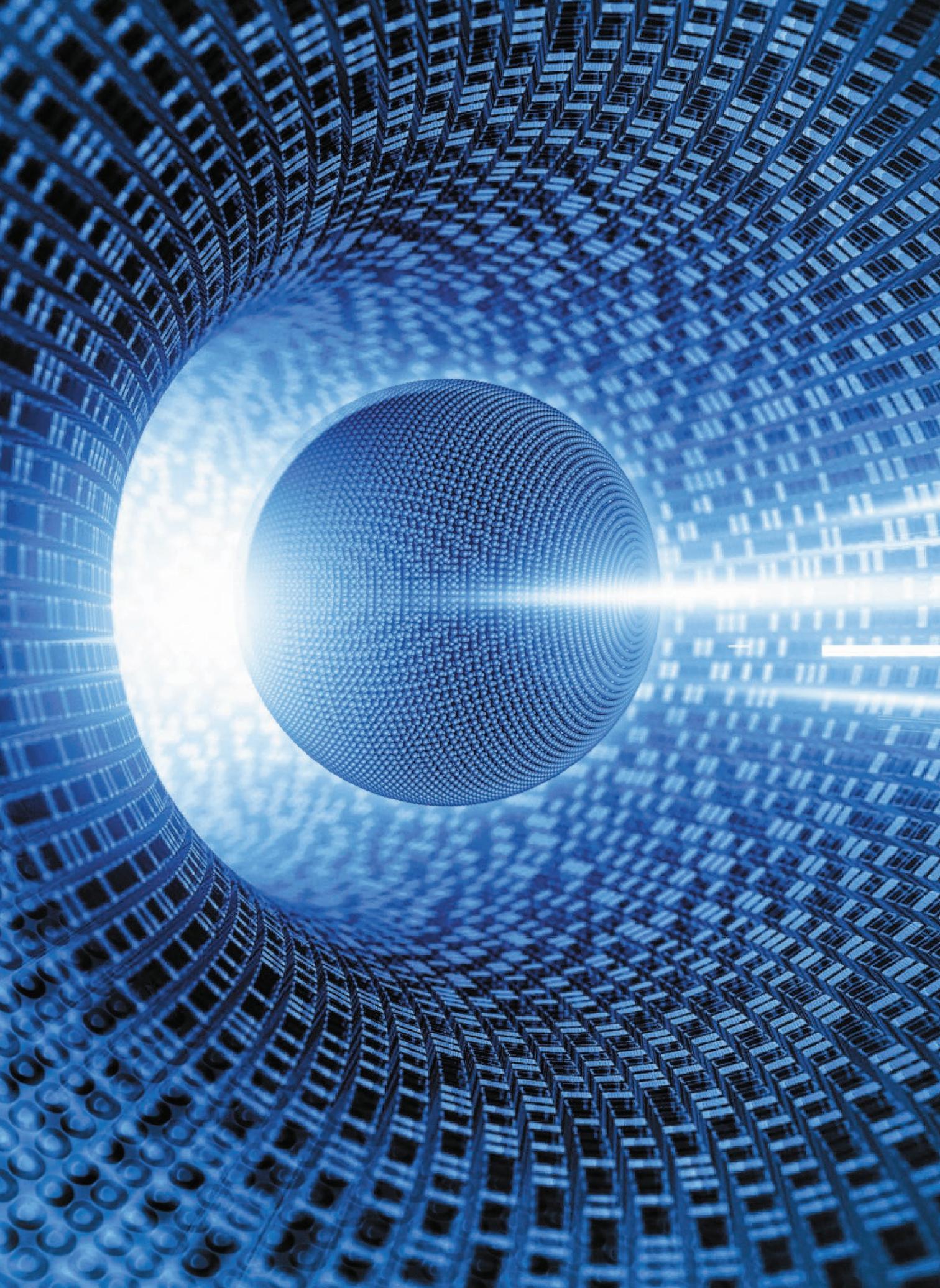
физики высоких технологий в машиностроении ТПУ, директор ИФПМ СО РАН Сергей Григорьевич Псахье подытожил: «За последние годы нам удалось совершить настоящий прорыв. И если раньше работа с предприятиями космической отрасли в Томске имела периодический характер, то сегодня это система, и на ТПУ лежит ответственная роль ее координатора».

**Беседовал Валерий Чумаков**

Спутник действительно летает уже несколько месяцев. Правда, пока не в открытом космосе, а на борту МКС. «Томск-ТПУ-120» — первый российский космический аппарат, созданный с использованием 3D-технологий и уникальных материалов. Он относится к классу наноспутников и имеет размеры 30 × 11 × 11 см. Аппарат разработан в Научно-образовательном центре «Современные производственные технологии» ТПУ совместно с Ракетно-космической корпорацией «Энергия» и ИФПМ. На орбиту его отправили как раз для испытания материалов, использованных при его сборке. Различные датчики спутника фиксируют и передают на Землю данные о температуре на борту, на платах и батареях, параметры электронных компонентов. В открытый космос «Томск-ТПУ-120» планируют запустить буквально с руки во время ближайшего выхода российских космонавтов. Число 120 в названии — не порядковый номер модели, а напоминание о юбилее университета. В день его рождения 11 мая спутник передал на Землю поздравление, записанное на 11 языках: русском, английском, немецком, французском, португальском, китайском, арабском, татарском, казахском, хинди и испанском.



Космонавт Ю.И. Маленченко с наноспутником «Томск-ТПУ-120» на МКС





# Запутанные пространством- временем

Проект *It from Qubit*: порождаются ли пространство и время квантовой запутанностью крошечных битов информации?

Клара Московиц

## ОБ АВТОРЕ

**Клара Московиц** (Clara Moskowitz) — редактор *Scientific American* по тематике физики и космоса. Имеет степень бакалавра по астрономии и физике Уэслианского университета (США), дипломированный специалист по научной журналистике Калифорнийского университета в Санта-Крузе.



«В

есь мир — театр» — сказал Уильям Шекспир, и физики с ним согласны. Сценой служит само пространство, становясь фоном для действия населяющих его сил и полей.

С точки зрения обывателя пространство не сделано ни из чего. Однако ученые подвергли пересмотру это расхожее мнение. Пространство — или, скорее, в терминах общей теории относительности, «пространство-время» — в действительности может состоять из крошечных частичек информации. Рассуждая в таком ключе, можно предположить, что эти элементарные кирпичики пространства взаимодействуют друг с другом, создавая пространство-время и формируя его свойства, например кривизну, которая в свою очередь служит источником гравитации.

Такая гипотеза, если она верна, способна не только объяснить происхождение пространства-времени, но и примирить гравитацию с квантовым миром, создав долгожданную квантовую теорию гравитации. Захватывающие перспективы новой концепции в последнее время привлекли сотни физиков, которые каждые три месяца встречаются для обсуждения достигнутых результатов под эгидой проекта, названного *It from Qubit* («Оно из кубита»).

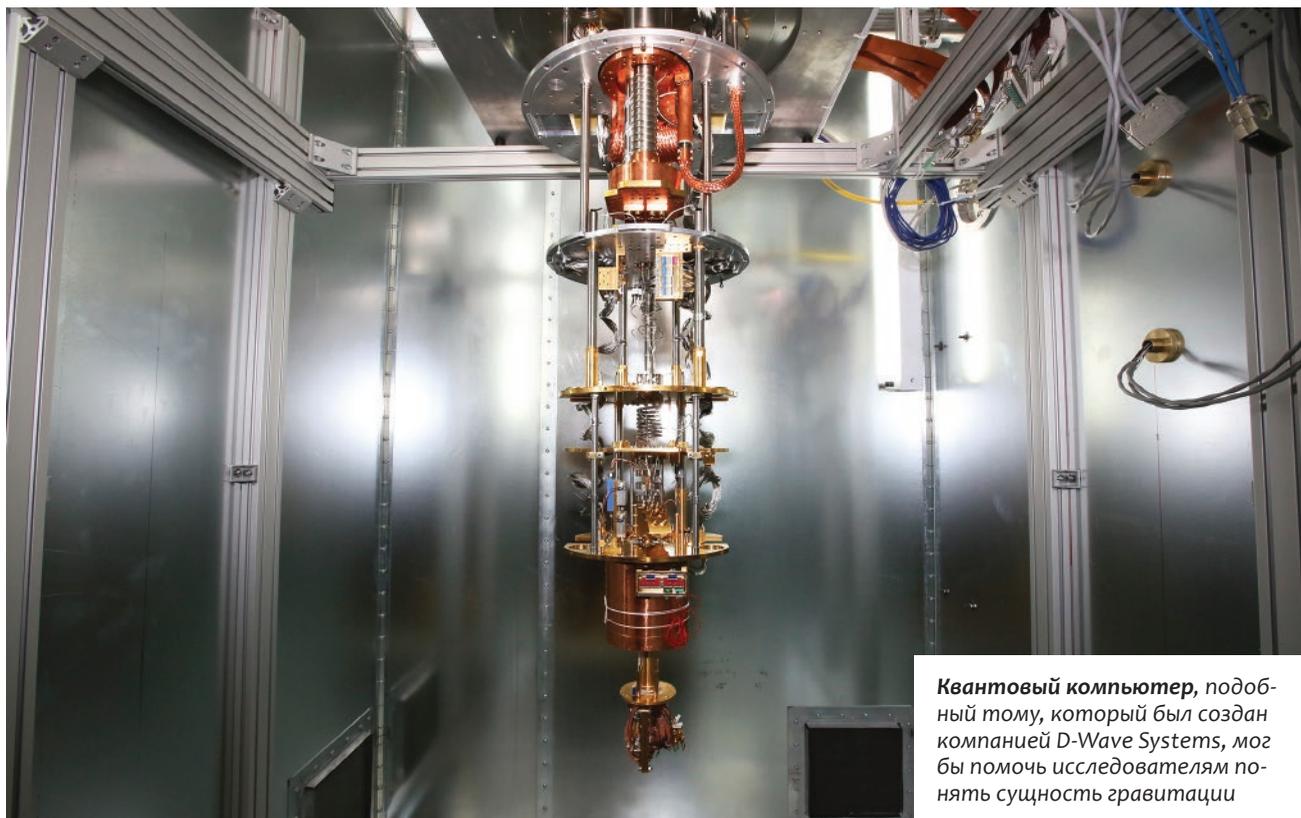
Говоря «оно», ученые подразумевают пространство-время, а кубит (сокращенное «квантовый бит») представляет собой наименьшее возможное количество информации: сродни компьютерному биту, но в квантовых масштабах. Основополагающая идея проекта состоит в том, что Вселенная считается построенной из определенного базового кода, взломав который, физики смогут понять квантовую природу крупномасштабных

космических процессов. Недавняя встреча участников проекта *It from Qubit* состоялась в Институте теоретической физики «Периметр» в Онтарио. Организаторы ожидали около 90 человек, но заявок пришло так много, что пришлось расширить количество участников до 200 и сформировать шесть параллельных секций в разных институтах. По словам одного из научных сотрудников Принстонского университета Нетты Энгельхардт (Netta Engelhardt), «этот проект — одно из самых перспективных направлений по поиску теории квантовой гравитации».

Проект *It from Qubit* интересен тем, что вовлекает как раздел квантовых компьютеров, так и общую теорию относительности, что позволяет объединить две группы исследователей — специалистов в области квантовой информации с одной стороны и исследователей процессов сверхвысоких

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Может ли пространство-время состоять из крошечных блоков информации? Если да, то эти элементы должны быть объединены при помощи эффекта квантовой путницы, согласно которому две частицы, разделенные большим расстоянием, могут поддерживать друг с другом мгновенную связь.
- Ученые взяли на вооружение эту идею, создав новый исследовательский проект *It from Qubit* («Оно из кубита»), который объединил специалистов по квантовым компьютерам и физиков, работающих в областях общей теории относительности и струнной теории.
- Конечная цель исследователей — построение квантовой теории гравитации, которая окажется способной объединить гравитацию и квантовую теорию.



**Квантовый компьютер**, подобный тому, который был создан компанией D-Wave Systems, мог бы помочь исследователям понять сущность гравитации

энергий и теоретиков по суперструнам с другой, — которые обычно никак не взаимодействуют в научной сфере. Более года назад Фонд Симонса, одна частная организация США, выделил средства на *It from Qubit*, после чего активность участников возросла и в работу было вовлечено много новых исследователей. По словам сотрудника *It from Qubit* Бени Йошиды (Beni Yoshida), «проект затрагивает очень важные, но очень сложные проблемы, и необходимо сотрудничество, потому что один человек не в состоянии найти решение».

На проект обратили внимание даже не вовлеченные в него ученые. Так, Брайан Грин (Brian Greene), теоретик по суперструнам из Колумбийского университета, говорит, что «если связь с теорией квантовой информации окажется настолько успешной, как некоторые ожидают, то результаты могут произвести очередную революцию в понимании пространства и времени. Это большое и чрезвычайно интересное дело».

### Запутанное пространство-время

Утверждение, что пространство-время обладает битами или «сделано из ничего», исходит из традиционного представления общей теории относительности. Согласно новому видению, пространство-время, вместо того чтобы быть фундаментальным, может «порождаться» через взаимодействия гипотетических  $Q$ -битов. Из чего же в точности сделаны такие биты и какую информацию они

содержат? Наука пока не в курсе дела. Кроме того, интересно и следующее обстоятельство, которое, по-видимому, ученых пока не особенно беспокоит. По словам участника *It from Qubit* Брайана Свингла (Briane Swingle), научного сотрудника Стэнфордского университета, «главное — это каковы отношения между битами, что гораздо важнее, чем природа битов самих по себе; важны не составляющие, а суть такой организации».

Ключом к пониманию организации битов может послужить феномен, известный как эффект квантовой путаницы. Этот эффект заключается в наличии странной связи между частицами, при которой действие, совершенное над одной частицей, может оказывать влияние на другую, даже если они разделены большим расстоянием. По словам руководителя *It from Qubit* физика Пенсильванского университета Виджая Баласубраманиана (Vijay Balasubramanian), «в последнее время одно из удивительных предположений заключается в том, что ткань пространства-времени переплетена квантовой запутанностью независимо от расположения структурных элементов пространства-времени».

Обоснование такой смелой идеи восходит к более ранним исследованиям. Так, в 2006 г. Шинсей Рю (Shinsei Ryu) из Иллинойского университета и Тадаши Такаянаги (Tadashi Takayanagi) из Киотского университета в Японии обнаружили связь между эффектом путаницы и геометрией пространства-времени. Опираясь на эту

работу, в 2013 г. физик Хуан Малдасена (Juan Maldasena) из Института перспективных исследований в Принстоне, штат Нью-Джерси, совместно с физиком из Стэнфордского университета Леонардом Сасскиндом (Leonard Susskind) провели теоретические расчеты, согласно которым две черные дыры, находящиеся друг с другом в состоянии запутанности, могут сформировать кротовую нору — кратчайший путь в пространстве-времени. Существование кротовых нор обосновано (теоретически. — Примеч. пер.) теорией относительности. Этот феномен получил название  $ER = EPR$  по именам предложивших его ученых (аббревиатура от «Эйнштейн — Розен = Эйнштейн — Подольский — Розен». — Примеч. пер.). Таким образом, не имеющий, казалось бы, отношения к реальным макроскопическим процессам эффект путаницы оказался способным порождать объекты в пространстве-времени.

Для понимания того, как эффект путаницы может привести к рождению пространства-времени, физики должны прежде всего постичь принципы его работы. Явление квантовой путаницы, предсказанное Эйнштейном и его сотрудниками в 1935 г., было им же названо «жутким», потому что содержало в себе мгновенную связь между удаленными объектами, а значит, бросало вызов ограничениям теории относительности о том, что ничто не способно двигаться со сверхсветовой скоростью. В последнее время ученые исследуют разные типы такой путаницы. Обычно эффект предполагает связь единичного признака (например, спина частицы) в нескольких частицах одного типа, разбросанных по пространству. Но «обычной путаницы недостаточно, — говорит Баласубраманиан, — я пришел к выводу, что есть и другие формы эффекта путаницы, которые оказываются актуальными именно для нашего проекта по реконструкции пространства-времени». Можно, например, «запутать» частицы определенного типа, находящиеся в заданной области, с частицами другого типа в той же самой области — это путаница, которая не предполагает вовлечение пространства. Число частиц может быть большим.

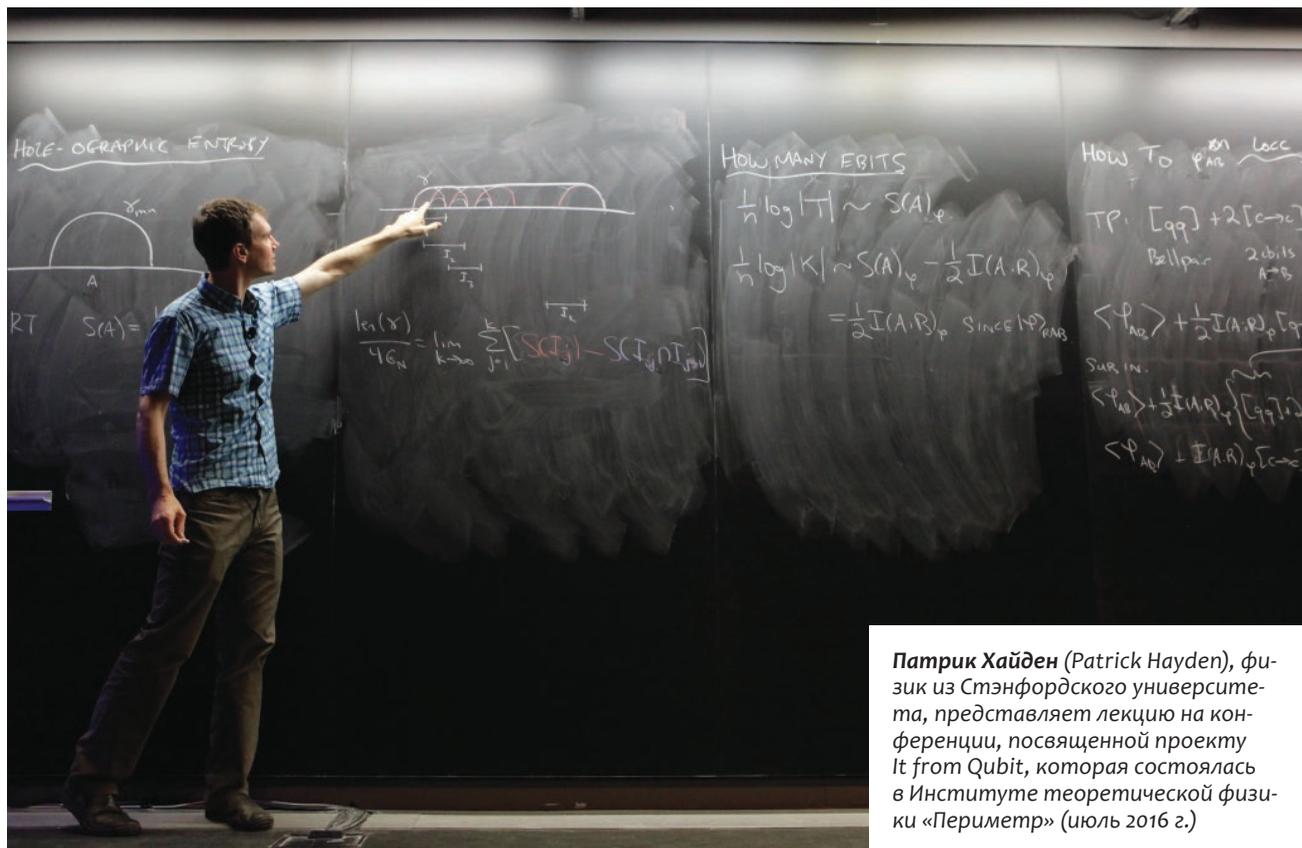
Как только динамика путаницы станет яснее, ученые надеются понять, каким образом возникает пространство-время, также как микроскопические движения молекул порождают сложные термодинамические и погодные закономерности. По словам Энгельхардт, ученые имеют дело с исходящими явлениями: «Когда вы отдаляетесь от чего-то, вы видите иную картину, нежели находясь внутри системы, потому что уменьшенное изображение менее динамично». Ученый считает, что это одна из самых интересных особенностей проекта, потому что неизвестна та фундаментальная квантовая динамика, из которой возникает пространство-время.

## Космические голограммы

Главная цель всей этой деятельности заключается в том, чтобы наконец достичь понимания, как описать гравитацию с квантовой точки зрения. Пока преследующие данную цель физики были загнаны в угол еще в прошлом веке, потому что сам Эйнштейн, упрямо искавший единую теорию до конца жизни, так ее и не нашел. Ученые проекта *It from Qubit* делают ставку на концепцию голографического принципа, согласно которому некоторые физические теории эквивалентны другим, более простым теориям, сформулированным во вселенной с меньшим числом измерений. Аналогия — плоская открытка с голографической фигурой, которая содержит всю необходимую информацию для воспроизведения объемной фигуры. Найти работающую теорию квантовой гравитации настолько сложно, что на ум приходит попытка сформулировать ее во вселенной меньшей размерности.

Одним из самых удачных воплощений голографического принципа считается так называемое  $ADS/CFT$ -соответствие (аббревиатура от «анти-де Ситтер / конформная полевая теория»), согласно которому можно дать описание внутренних областей черной дыры, зная процессы, происходящие на ее поверхности. Другими словами, физика внутри объекта (трехмерная область) однозначно определяется физикой на поверхности объекта (двумерной областью). Малдасена обнаружил эту связь (теоретически. — Примеч. пер.) в 90-х гг. прошлого века, работая в рамках теории суперструн, предоставляющей еще одну возможность создания квантовой гравитации. В теории суперструн все фундаментальные частицы заменяются крошечными одномерными объектами — вибрирующими струнами.

$ADS/CFT$ -соответствие может привести физиков к открытию теории, эквивалентной квантовой гравитации, которая будет решать те же проблемы и иметь ту же физику, будучи при этом значительно проще: эта теория не будет включать гравитацию. По словам Баласубраманиана, «теории, содержащие гравитационные взаимодействия, очень сложны для придания им квантового описания, в то время как теории без гравитации гораздо более просты и их можно задать полностью». Однако сразу возникает вопрос: как же теория, совсем не содержащая гравитацию, может служить теорией квантовой гравитации? Возможно, то, что мы считаем гравитацией и пространством-временем, есть просто другой способ представления финальной стадии эффекта путаницы. Другими словами, запутывание каким-то образом перекодирует информацию из трехмерного пространства в биты информации, хранящиеся на двумерной границе этого трехмерного пространства. Около 20 лет назад ученые обнаружили, что  $ADS/CFT$ -соответствие действительно дает



**Патрик Хайден** (Patrick Hayden), физик из Стэнфордского университета, представляет лекцию на конференции, посвященной проекту *It from Qubit*, которая состоялась в Институте теоретической физики «Периметр» (июль 2016 г.)

возможность описывать трехмерную теорию с помощью двумерной, однако не до конца осталось ясным, почему так происходит. Две указанные теории называются дуальными (или двойственными) и дают описание одного и того же физического процесса. По словам Свингла, определенно известно, что две теории дуальны, но не ясно, что именно делает их такими. Одним из результатов проекта *It from Qubit* и может стать понимание того, как именно происходит формирование дуальности. Во всяком случае, сотрудничество ученых разных специализаций позволит достичь существенного прогресса в этом вопросе.

Теория квантовой информации может оказаться способной помочь, потому что обладает концепцией такого рода — так называемыми квантовыми кодами коррекции ошибки. Подобные корректирующие коды могут оказаться и в *ADS/CFT*-соответствии. Исследователи квантовых вычислений разработали эти коды для того, чтобы помочь защитить информацию от потерь в случае, когда какие-то процессы интерферируют с взаимодействием битов между собой. Квантовые компьютеры, а не закодированная информация в единичном бите, используют сильно перепутанные состояния нескольких битов. Таким образом, единичная ошибка не может повлиять на точность информации. Странно, однако, то, что та же математика, которая используется при описании

этих корректирующих кодов, возникает и в задаче об *ADS/CFT*-соответствии. Получается, что «перепутанные» биты, объединенные в корректирующую сеть, могут использоваться для кодирования информации из недр черной дыры на ее поверхности с помощью эффекта квантовой путницы. По словам руководителя филиала проекта *It from Qubit* в Иерусалимском университете, специалиста по теории квантовой информации Дорит Аароновой (Dorit Aharonov), «очень интригующе, если внутри черной дыры окажется корректирующий квантовый код, такая связь просто завораживает — почему так происходит?»

Даже если ученым удастся понять, как работает *ADS/CFT*-соответствие, и тем самым создать теорию для более низкого числа измерений, которая будет лежать в основе квантовой гравитации, работа все еще в самом начале. Дело в том, что *ADS/CFT*-соответствие актуально только для так называемой игрушечной модели Вселенной. Эта модель представляет собой упрощенную версию по сравнению с истинным космосом, в котором мы обитаем. В частности, все законы гравитации, которые действуют в нашем мире, не играют никакой роли в мире *ADS/CFT*-соответствия, потому что последнее не есть теория гравитации в расширяющейся Вселенной. По словам Свингла, «это соответствие описывает Вселенную, как если бы она была в бутылке: если пустить световой луч, он отразится

от стен, хотя на самом деле этого не происходит в нашей расширяющейся Вселенной». Эта модель дает физикам теоретический полигон для испытания своих идей, когда упрощенная картина позволяет построить квантовую гравитацию. «Можно надеяться, что такой подход — хорошая промежуточная станция на пути к достижению финальной цели, к пониманию гравитации в нашей Вселенной» — заключает Свингл.

Если проект *It from Qubit* основывается на нереалистичных предположениях, как утверждают некоторые скептики, то насколько продуктивным он может быть? По словам Энгельхардт, критика, безусловно, очень справедлива. «Почему мы сосредоточиваемся на игрушечной модели? Все зависит от ее применимости и от идеи, что эта модель в конце концов сможет описать и нашу Вселенную. Хочется убедиться в том, что если мы понимаем игрушечную модель, то мы понимаем и реальность». Исследователи из *It from Qubit* считают, что, усложняя шаг за шагом свою игрушечную модель, с которой гораздо легче работать, они смогут достичь необходимой сложности для ее применения к реальному миру.

### Награда

Несмотря на все сложности, ученые — как вовлеченные в проект, так и находящиеся вне его, — полагают, что попробовать стоит. Уже возникли новые направления исследования в рамках этого проекта. Рафаэль Буссо (Raphael Bousso), физик из Калифорнийского университета в Беркли, который не участвует в самом проекте, но работал с некоторыми из его исполнителей, говорит о том, что связь между квантовой информацией и квантовой гравитацией имеет принципиальное значение. По его словам, «связь усилилась за последние годы, и я рад, что так много выдающихся ученых работают вместе для решения этих вопросов; посмотрим, куда они приведут нас». Физик-теоретик из Стэнфордского университета Ева Сильверстейн (Eva Silverstein) соглашается: «Очевидно, что применение теории квантовой информации целесообразно для исследуемых вопросов, но чтобы понять динамику квантовой гравитации, необходимо гораздо больше, и поэтому важно не заикнуться только на одном подходе».

Кроме того, даже если проект и не окупится в плане заявки на создание квантовой гравитации, он породит полезные альтернативные подходы в построении этой теории. Объединение методов и идей теории суперструн и общей теории относительности с опорой на теорию квантовой информации сможет, например, помочь лучше классифицировать типы путаницы — как для понимания пространства-времени, так и для построения квантовых компьютеров. Ааронова считает, что «когда вы начинаете играть со старыми

инструментами в новых условиях, то велика вероятность выдвижения новых идей, которые могут оказаться полезными и в других областях». Похоже, ученые добиваются успеха в областях, покрытых мраком долгие годы. Так, например, была предложена модель (теоретическая. — Примеч. пер.) измерения времени с помощью кротовых нор в предположении, что кротовая нора представляет собой элемент квантовой цепи.

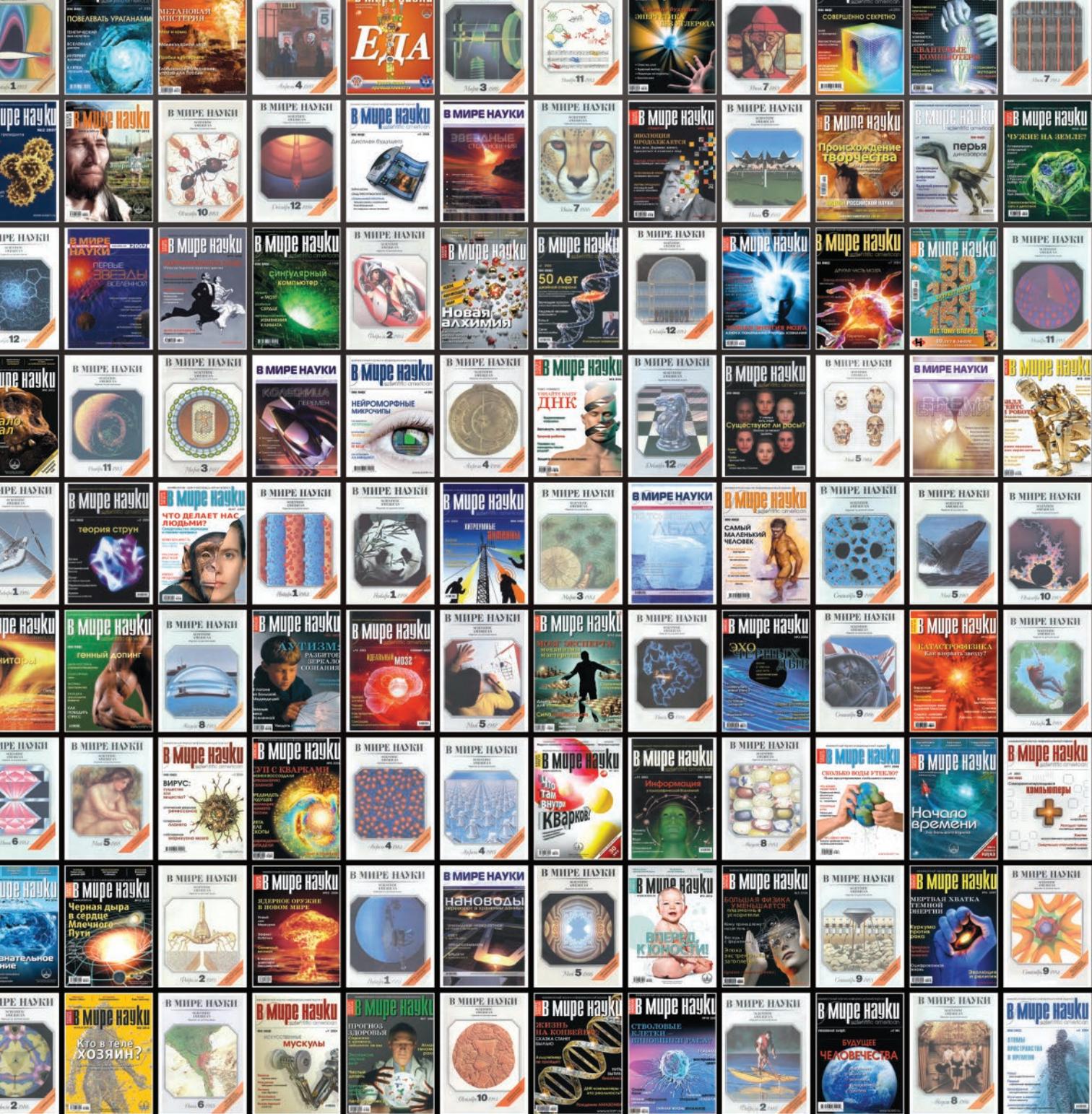
Стоит добавить к вышесказанному, что объединение квантовой теории информации с теорией суперструн может помочь не только в создании теории квантовой гравитации, но и в понимании того, какая теория может быть в принципе сформулирована. Другими словами, любая физическая теория может трактоваться как компьютер, входные данные которого есть начальные условия теории, а выходные — то, что может быть из этой теории выведено. Одни компьютеры, очевидно, мощнее других. Как только исследователи заговорили о теории квантовой гравитации, они могли спросить, какова вычислительная мощь этой теории. «Если мощь слишком велика, если соответствующая квантовая теория гравитации будет позволять вычисления таких параметров, в возможность просчитывания которых для нашего мира мы не верим, то надежность такой теории окажется под вопросом, — говорит Ааронова. — Этот способ может с разных точек зрения дать ответ на вопрос, насколько легитимна новая теория».

Проект напоминает некоторым физикам о бурных годах зарождения великих идей. Хироши Оогури (Hiroshi Ooguri), физик из Калифорнийского технологического института, вспоминает: «Я защитил диплом в 1984 г., когда произошла так называемая первая струнная революция». По его словам, то было очень интересное время, когда теория суперструн становилась лидирующим кандидатом на роль единой теории обо всех силах природы. Ученый видит аналогию тех времен с сегодняшним проектом *It from Qubit*: «Это захватывающее время для молодых, начинающих работать в этой области, но также и для тех из нас, кто защитил дипломы несколько десятилетий назад». ■

Перевод: О.С. Сажина

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Малдасена Х. Черные дыры, кротовые норы и секреты квантового пространства-времени // ВМН, № 1–2, 2017.
- The Large-N Limit of Superconformal Field Theories and Supergravity. Juan Maldacena in International Journal of Theoretical Physics, Vol. 38, No. 4, pages 1113–1133; April 1999. Препринт доступен по адресу: <https://arxiv.org/abs/hep-th/9711200>
- Домашняя страница проекта *It from Qubit*: [www.simonsfoundation.org/mathematics-andphysical-science/it-from-qubit-simons-collaboration-on-quantum-fieldsgravity-and-information](http://www.simonsfoundation.org/mathematics-andphysical-science/it-from-qubit-simons-collaboration-on-quantum-fieldsgravity-and-information)



## 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



**В**

Конструкторско-технологическом институте научного приборостроения СО РАН есть музей, где среди экспонатов — механизмы, похожие на зонтики, сигары, чашки... С первого взгляда и не поймешь, для чего они нужны. Оказывается, все это — модели сверхсложной высокотехнологичной аппаратуры, которая разработана в стенах института и в большинстве своем уже работает на благо человечества, о чем с нескрываемой гордостью рассказывает директор института доктор технических наук **Юрий Васильевич Чугуй**.

# ЗОНТИК

## ДЛЯ КОСМИЧЕСКОГО ВЕЛИКАНА



Представьте рефлектор диаметром 48 м в виде гигантского зонта, состоящего из 12 спиц. Такие крупногабаритные трансформируемые рефлекторы требуются для работы на космических аппаратах в условиях геостационарной орбиты



Отладка нового изделия — совместная работа конструкторов и рабочих

— **Юрий Васильевич, правда ли, что изначально это был не институт, а конструкторское бюро?**

— В 1962 г. был создан конструкторский отдел научного приборостроения в Институте химической кинетики и горения СО АН СССР, а через десять лет он был преобразован в самостоятельное юридическое лицо. Сначала это действительно было конструкторское бюро, институтом мы стали позже. При этом мы не классический институт. Мы институт конструкторско-технологический, то есть максимально прикладной. Раньше такие институты были в отраслях, а сейчас структура, подобная нашей, — единственная в СО РАН.

— **Кто же ваши заказчики?**

— Среди наших заказчиков предприятия атомной промышленности по выпуску ядерного топлива для атомных электростанций. Сейчас это топливная компания «ТВЭЛ», куда входит Новосибирский завод химконцентратов. Это один из флагманов атомной индустрии. Для этого предприятия мы разработали и внедрили в промышленную эксплуатацию комплекс оптико-электронной аппаратуры для бесконтактного контроля геометрии компонентов топливных сборок (ТВЭЛОВ, дистанционирующих решеток и др.).

Второй важный заказчик — космическая корпорация, так называемая решетневская фирма, или АО «Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнева». Предприятие находится в городе Железногорске под Красноярском. Это высокотехнологичное производство высочайшей технической культуры. Начали мы взаимодействовать десять лет назад, уже имея большой опыт разработки и создания измерительной аппаратуры различного назначения, прежде всего для атомной промышленности, для железной дороги и горнодобывающей промышленности. Сегодня 85% спутников, которые запускаются в России, производятся как раз в этой фирме.

— **А почему они выбрали именно вас?**

— Прежде чем принять решение о сотрудничестве, фирма устроила нам своеобразный экзамен. Задача была поставлена нетривиальная. Надо было разработать в кратчайшие сроки (всего полгода!) недорогой измерительный комплекс на базе

распределенных датчиков расстояния (более тысячи сенсоров) для контроля геометрии антенны зонтичного типа. Такая антенна собирается и настраивается на Земле, потом, как зонтик, складывается в обтекатель, а на орбите по команде вытягивается штанга, которая и раскрывает антенну. Такие антенны нужны для спутников.

— **Эта система была введена в промышленную эксплуатацию?**

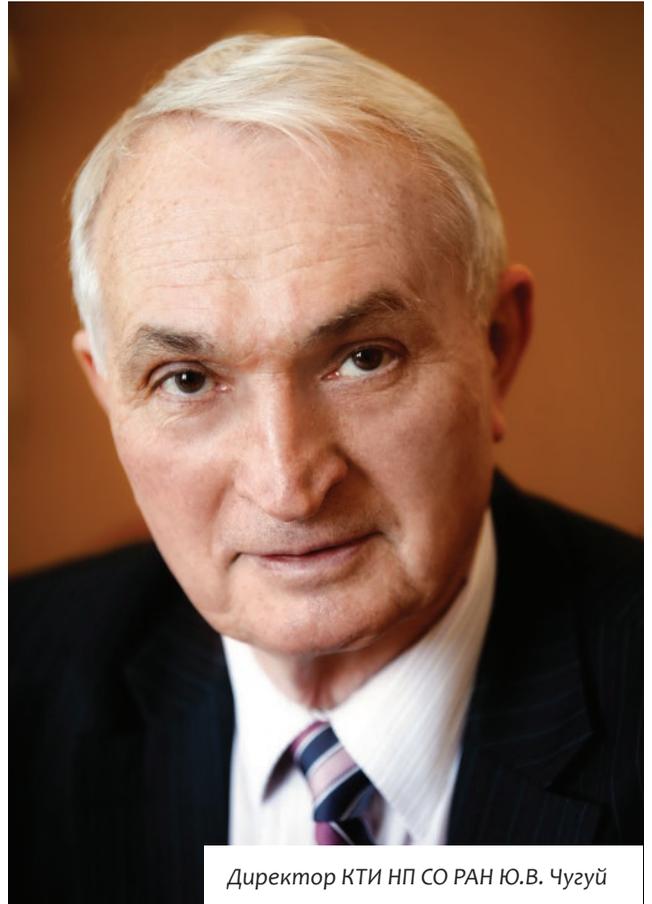
— Да, конечно. В одном из антенных цехов предприятия размещается наш действующий измерительный комплекс КТИ, который функционирует как штатное оборудование уже много лет. Его, кстати, демонстрируют гостям как пример эффективного сотрудничества производства с наукой. Такое название комплексу дали решетневцы, имея в виду первые три буквы наименования нашего института. Мы же расшифровываем по-другому, а именно «комплексный триангуляционный измеритель», что ближе к истине. А вообще для нас высшая оценка деятельности — это ввод наших систем в промышленную эксплуатацию. Далеко не каждый институт может похвастаться такими результатами.

— **Каково назначение спутников?**

— Спутники связи, исследовательские, военные, гражданские... А сами антенны приемные, передающие. Диаметр — 20 м. После того как мы в рекордные сроки выполнили этот заказ под руководством заместителя директора института А.Г. Верховгляда (ответственный исполнитель — С.Н. Макаров), решетневцы приоткрыли нам свои «шлюзы» и мы начали выполнять более серьезные измерительные задачи. Например, задачу контроля раскрытия антенны, которая содержит множество управляющих «ниточек». Их нужно регулировать для обеспечения заданной формы антенны. Ввиду исключительной сложности конструкции необходимо до запуска антенны в космос промоделировать и проверить на Земле в цеховых условиях ее работоспособность, чтобы исключить нештатные ситуации на орбите. Для этого мы разработали специальную систему технического зрения на базе видеокамер, которые наблюдают за процессом раскрытия антенны. Благодаря этому мы располагаем всей информацией о положении каждого элемента антенны в огромном измерительном объеме. И если вдруг случился сбой, система на основе анализа измерительной информации может точно указать, в каком месте это произошло.

— **А что за чашки стоят у вас в музее? Наверное, не для чаепития?**

— Это следующий наш актуальный проект — лазерное микропрофилирование антенн в виде чашек, покрытых специальной пленкой. Цель этой операции — формирование заданной диаграммы направленности излучения. Достигается это путем абляции — испарения пленки в определенных



Директор КТИ НП СО РАН Ю.В. Чузуй

местах по заданной программе, в результате чего создается сложная картина, которая и обеспечивает требуемые фокусирующие свойства антенны. Такая лазерная технология производства антенн также внедрена в решетневской фирме.

— **Еще один ваш экспонат похож на сигару для великана...**

— Это модель проекта «ГВУ-600». Речь идет о системе управления тепловакуумными испытаниями в гигантской горизонтальной вакуумной установке диаметром 8–10 м. В эту огромную «сигару» объемом 600 м<sup>3</sup>, лежащую на боку, помещают для испытаний спутники. Камера фактически моделирует космические условия: вакуум, перепады температур и др. Например, если светит солнце, температура частей спутника может подниматься до +150° С, а если они находятся в тени, то охлаждаются до –150° С. Здесь важно понять, что происходит со спутником при таких условиях, как они сказываются на его работоспособности. Разработчики постарались создать комплекс имитаций с помощью нагревателей, охладителей, то есть весь спектр управления технологическим процессом. Он уже начал работать на космос. Причем мы это сделали всего за год. Зал, где помещается необходимое оборудование, в три раза больше площади вот этого кабинета.

Монтаж элементов активной системы обезвешивания для АО «ИСС им. М.Ф. Решетнева». На переднем плане — ведущий конструктор И.А. Накрохин.



Опытное производство КТИ НП — база для изготовления изделий любой сложности

В последнее время мы работаем над целым рядом новых проектов. Остановлюсь на двух из них. Первый называется «Обезвешивание». Речь идет об активной системе обезвешивания крупногабаритных трансформируемых систем при проведении наземных модальных испытаний. К числу таких трансформируемых объектов относятся антенны, солнечные батареи. Крайне важно знать их поведение в космосе, где они могут непредсказуемо колебаться, иногда быстро, иногда медленно. Все эти ситуации надо «выловить» на Земле, а для этого мы должны трансформируемый объект обезвесить. Это обеспечивается с помощью специальных стоек (их 24), на которые укладывается объект. При колебании объекта стойки четко отслеживают перемещение его фрагментов в пространстве с помощью размещенных на стойке подвижных трехкоординатных платформ. Таким образом исключается влияние силы тяжести на объект. В результате мы можем получить информацию о возможных колебаниях объектов в космосе. Это сложнейшая система. Проект находится в стадии завершения.

Второй проект — «Спица». Представьте рефлектор диаметром 48 м в виде гигантского зонтика, состоящего из 12 спиц, который используется в качестве несущего и формообразующего элемента. Такие крупногабаритные трансформируемые рефлекторы требуются для работы на космических аппаратах в условиях геостационарной орбиты. Каждая из спиц содержит три звена, вложенных друг в друга. Перед нами была поставлена задача создать высоконадежный малогабаритный механизм выдвижения звеньев телескопической спицы. Оригинальное решение этого механизма было предложено молодым конструктором Дмитрием Скоковым. Конструкция была высоко оценена решетневцами. В КТИ НП был изготовлен полный набор спиц для опытного образца рефлектора. Такой рефлектор был собран, и в АО

«ИСС им. М.Ф. Решетнева» был успешно проведен весь комплекс испытаний с участием специалистов института. Крайне важно, что этот механизм выдвижения может использоваться не только для телескопических систем широкого назначения, но и для различных устройств в сверхдлинных трубопроводах в качестве средства перемещения. Так что возможностей и планов у нас громадьё. ■

Беседовала Наталья Лескова

## СПРАВКА

### Юрий Васильевич Чугуй

■ Директор Конструкторско-технологического института научного приборостроения СО РАН, доктор технических наук.

■ Родился 25 августа 1945 г. в Приморско-Ахтарске (Краснодарский край).

■ Окончил физический факультет Новосибирского государственного университета (1968).

■ **Спектр научных интересов:** специалист в области оптической обработки информации, фурье-оптики, технического зрения, лазерной метрологии.

■ **Награды и премии:** заслуженный деятель науки РФ, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники.

■ Член международных обществ OSA, SPIE, ISA IEEE, EOS, с 2003 г. — член генерального совета Международной конфедерации по измерениям (ИМЕКО) и полномочный представитель от России на заседаниях генерального совета ИМЕКО. С 2005 г. — вице-президент Международного научно-технического общества приборостроителей и метрологов (МНТО ПМ), заместитель председателя Сибирского отделения Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова и председатель Сибирского отделения Оптического общества им. Д.С. Рождественского.



# ОТ ЛОМОНОСОВА ДО «ЛОМОНОСОВА»

Создание нового космического научного комплекса в МГУ — это рывок в будущее. Так считает ректор МГУ академик **Виктор Антонович Садовничий**, и с этим невозможно не согласиться.

Безэховая камера ОАО «Корпорация "ВНИИЭМ"» для проверки космического аппарата на электромагнитную совместимость



Ректор МГУ академик РАН  
В.А. Садовничий



Монтажно-испытательный комплекс ОАО «Корпорация "ВНИИЭМ"»,  
лаборатория сборки космического аппарата «Ломоносов»

# М

ного лет назад В.А. Садовничий сказал: «Я мечтаю о том, чтобы у Московского университета появились собственные спутники, а создавать их должны профессора и студенты — именно такой союз позволяет поднимать образование до "космических высот". Повторяю: я мечтаю об этом...»

Ректор МГУ им. М.В. Ломоносова принадлежит к тем людям, которые осуществляют свои мечты. Нашу беседу, в основном касавшуюся подготовки к запуску в космос научной станции «Ломоносов», я начал с вопроса:

— **Шесть раз вы поднимали МГУ в космос — я имею в виду спутники, созданные здесь, — но, как мне кажется, только сейчас вы полностью удовлетворены, не так ли?**

— Вся моя жизнь связана с университетом, а потому мне хотелось, чтобы он становился все сильнее и сильнее. Космос — моя «научная болезнь». Еще будучи ассистентом, я получил задание создать тренажер, который позволил бы готовить космонавтов к встрече с невесомостью. Это было интересно, и я создал группу на мехмате. В нее вошел руководитель службы медицинской подготовки космонавтов Л.И. Воронин. А в качестве испытуемого — летчик-космонавт В.Ф. Быковский.

Мы использовали существующую центрифугу, другую аппаратуру и, конечно же, взялись за математику. С помощью Центра подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина мы сумели создать на Земле полную имитацию невесомости и всего полета. Старт — перегрузки, затем невесомость, когда совсем другая циркуляция крови, использовали скафандр «Чибис», чтобы кровь отжималась от ног к голове, потом — разные этапы посадки с волнами перегрузок. Космонавты, которые пошли тренироваться на нашем комплексе, сразу же подтвердили, что он эффективен и полностью соответствует

всем этапам космического полета. С тех пор все космонавты, наши и зарубежные, тренируются на этом комплексе. Мы получили тогда Государственную премию СССР.

— **Это, безусловно, гарантия отличной работы. Понятно, что вы сразу же заболели космосом. А самому слетать не хотелось?**

— Тогда — очень! Да и сейчас не прочь, но уже, кажется, поздно... Московский университет вел космические программы намного раньше, с запуска второго искусственного спутника Земли это были различные эксперименты, а с наших работ это стало неотъемлемой частью его жизни. Я имею в виду изучение атмосферы Земли, астрофизику, планеты Солнечной системы.

— **Шла интенсивная подготовка лунных экспедиций и бурного освоения околоземного пространства — создавался «Буран»...**

— Да, МГУ довольно плотно по нему работал. Причем в разных областях. «Буран» полетел с нашим оборудованием, но потом, к сожалению, эта программа была остановлена. А там планировались интересные эксперименты. Работы были продолжены с Институтом космических исследований. Они касались реакции космонавтов. Необходимость возникла после одной из аварий на орбите.

— **А что случилось?**

— Космонавт вроде бы ошибся, одна из антенн была повреждена. Казалось, ошибка космонавта очевидна. Но на самом деле все обстояло иначе.

Мы проанализировали ситуацию, провели необходимые исследования и доказали, что при невесомости вестибулярная система срабатывает таким образом, что зрение фиксируется на полторы секунды позже, чем происходит событие, т.е. человек «запаздывает» — он поворачивает голову и видит то, что уже сделано. Это открытие фундаментального порядка, и оно было отмечено еще одной Государственной премией.

**— Насколько я знаю, в МГУ всегда был интерес к подобного рода исследованиям — непривычным и необычным. А знаменитый мехмат МГУ дал всех классиков космонавтики: это и М.В. Келдыш, и А.Ю. Ишлинский, и Д.Е. Охочимский, и Г.И. Петров, и другие. И, конечно же, В.А. Садовничий...**

— В моей судьбе мог случиться неожиданный поворот. Более половины выпускников нашего курса шли работать к С.П. Королеву в Подлипки. Я тоже был предварительно распределен туда. Я уже был женат, а потому нужна была квартира. Мы были не москвичами, а в то время иногородних в Москве прописывали с большим трудом. Неожиданно ректор Московского университета Иван Георгиевич Петровский пригласил меня и сказал, что хочет оставить меня в университете. «Не мечтайте о другой работе», — сказал он.

**— За год до запуска первого искусственно-го спутника Земли президент академии наук М.В. Келдыш собрал совещание, на котором попросил высказать предложения по космическим исследованиям. Профессора МГУ стали лидерами: их эксперименты были очень интересными. И они были осуществлены уже на втором спутнике. Радиационные пояса Земли могли носить имя академика С.Н. Вернова — он ведь открыл их!**

#### СЛОВО О М.В. КЕЛДЫШЕ

«В яркой личности Мстислава Всеволодовича Келдыша гармонично сочетались замечательный ученый, блестящий инженер и выдающийся организатор. Возможно, в XXI в. не будет больше ученых, равных ему как в современной математике, так и в механике и технике... В 1966 г. на Всемирном математическом конгрессе в Московском университете я находился на 15-м этаже, где мы рассказывали какие-то свои первые научные результаты по несамосопряженным операторам. В аудитории неожиданно зашел Мстислав Всеволодович. Для нас он тогда был как икона. Он взглянул на доску, сразу же сделал ряд замечаний, из которых следовало, что все это он глубоко продумал и хорошо знает. И эта сцена — его приход в аудиторию, где докладывали молодые аспиранты, и его замечания к написанным формулам на доске по ходу — до сих пор живо представляется мне. Этот случай произвел на меня очень глубокое впечатление».

— Начиная с 1945–1946 гг. в Московском университете появился интерес к внеземным исследованиям. Ученые Института ядерной физики МГУ, где работал Сергей Николаевич Вернов, были наиболее продвинуты в этой области. Но и на мехмате Дмитрий Евгеньевич Охочимский, Александр Юльевич Ишлинский, Алексей Антонович Ильюшин, Леонид Иванович Седов, Георгий Иванович Петров и другие ученые были ориентированы на космические исследования. Именно это во многом обеспечило наши выдающиеся успехи в первый период космической эпохи. Но, конечно, первым следует назвать выпускника МГУ Мстислава Всеволодовича Келдыша.

**— Вы общались с ним?**

— Да, у меня есть своя история отношений с этим великим ученым и человеком. Его блестящая работа по несопряженным операторам стала для меня своеобразной путеводной звездой. Он опубликовал короткое исследование, но это было открытие нового направления. Я работал в этой области — сначала кандидатская диссертация, потом докторская. Очевидно, Келдыш запомнил мой доклад на конгрессе, так как вскоре пригласил меня в ученый совет своего института. Обыкновенно он сажал меня рядом. Я был поражен тем, как он ведет заседание, как он глубоко проникает в суть каждой проблемы. В моей биографии эти встречи с М.В. Келдышем остались навсегда. В университете мы чтим его память. Как математик — я об этом сужу профессионально — он входит в плеяду величайших математиков XX столетия. Он — один из первых.

**— Первую Звезду Героя он получил за создание водородной бомбы, вторую — за полет в космос, а третью — за создание той великой науки, которая была в Советском Союзе. Роль его в истории нашей страны и всего мира переоценить невозможно.**

— А мы гордимся тем, что он выпускник МГУ и много лет читал лекции на мехмате.

**— Вы были на космодромах?**

— Да, и в Плесецке, и на Байконуре. Впечатления колоссальные! Сначала «Татьяна-1». Ее запускали на Севере. Все было очень хорошо организовано. Запуск состоялся секунда в секунду. Спутник вышел на орбиту. Мы возвращались в Москву на самолете и уже в полете получили сообщение, что заработали и приборы. Это была вторая радость, а первая — когда прошла информация, что спутник вышел на заданную орбиту. На Байконуре же были приключения. Это было ночью. Поехали на стартовую площадку. Познакомился с пусковой командой, ребята мне направились. И вдруг я чувствую, что происходит что-то нестандартное. Вскоре выяснилось, что появились неполадки в носителе. Пуск был отложен. Нас посадили в автобус и отвезли в отель. На следующую ночь все прошло блестяще. Присутствовали коллеги из Кореи, которые участвовали в создании «Татьяны-2».

## ТОЛЬКО ФАКТЫ

Спутник «Университетский-Татьяна» относился к классу микроспутников, его масса — около 30 кг. Научная аппаратура спутника разработана и изготовлена в МГУ, сам спутник — в ФГУП ОКБ «Полет» (Омск). Спутник был запущен 20 января 2005 г. с космодрома Плесецк ракетой «Космос-3М» в рамках совместной программы МГУ и Военно-космических сил Министерства обороны России. В.А. Садовничий напомнил, что спутник «Татьяна-1» был запущен 22 января 2004 г. накануне 250-летия МГУ. Это был первый романтический проект, но нам очень приятно, что этот космический аппарат работал на орбите два расчетных срока и к настоящему моменту, видимо, выработал свой ресурс, по крайней мере мы перестали принимать его сигналы. И хотя мы надеемся «оживить» «Татьяну-1», настало время для создания более мощного и технически совершенного космического аппарата, которым станет «Татьяна-2».

«Университетский-Татьяна-2» — это второй спутник МГУ. В его создание внесли неоценимый вклад молодые научные сотрудники, аспиранты, студенты МГУ, в частности НИИ ядерной физики и механико-математического факультета. 17 сентября 2009 г. «Татьяна-2» вышла на орбиту. На «Татьяне-2» были установлены более совершенные приборы. Вместе с корейскими коллегами из Женского университета Ихва в Сеуле был разработан принципиально новый прибор для изучения спектральных и динамических характеристик ультрафиолетовых свечений в верхней атмосфере. Среди новой аппаратуры — детектор заряженных частиц, который позволит выявить присутствие «убегающих электронов» на больших высотах, как это предсказывается теорией. На «Татьяне-2» установлен также модернизированный детектор ультрафиолетового излучения ДУФ с дополнительным детектором для измерений красных свечений.

Любопытная история произошла со спутником, в создании которого принимали участие специалисты из Индии. Началось все в этом кабинете. Президент Индии — он ученый-ядерщик — спросил меня о космической программе университета. Я рассказал ему, что мы запускаем малые спутники. Он вдруг спросил: «А не хотите ли с нами поработать?» Конечно, мы сразу согласились. И на этом разговор завершился. В Кремле был обед. И на нем президент Индии попросил В.В. Путина поздравить меня. Я подошел. Гость говорит, что мы договорились делать спутник вместе. Владимир Владимирович поддержал эту идею, и наш спутник включили в межправительственное соглашение. Вместе с коллегами из Индии мы его создали, и вскоре он был выведен на орбиту с индийского космодрома Шрихарикота. Вот так, оказывается, можно осуществлять международные проекты!

— **Итак, пришел черед «Ломоносова». Как его можно охарактеризовать?**

— Это уже крупная научная космическая станция. Общий вес — 650 кг. Это сотни килограммов приборов, и подобный опыт в мире, пожалуй, трудно найти. Станция предназначена для изучения неизвестных нам явлений. Аппаратура нацелена на прорывные направления в науке. Прежде всего, это исследование излучений вне Млечного Пути. Они мощные, врываются в нашу Галактику и взаимодействуют с нашими реликтовыми излучениями. Есть гипотезы так называемого обрыва взаимодействия, которые выдвинули наши ученые. Если они будут подтверждены, это станет колоссальным открытием.

— **Честно говоря, я уже давно теряюсь, когда начинается разговор о проблемах астрофизики, — настолько во Вселенной все сложно и необычно, что обывателю трудно понять, чем так увлечены ученые.**

— Это точно. Разобраться нелегко, а потому надо им просто доверять. Мы изучаем то, что находится за пределами нашей Галактики. Значительная часть аппаратуры связана с радиационным излучением, мы систематически — от спутника к спутнику — уточняем новые факты, связанные с ним. Вспышки в атмосфере представляют опасность, а потому мы их исследуем.

— **То есть аппаратура «Ломоносова» смотрит на звезды и одновременно на Землю?**

— Да, это так. На «Ломоносове» есть аппаратура, которая связана с нашими роботами-телескопами. Это система «Мастер». Роботы поставлены от Москвы до Владивостока и на запад до Канар. Они есть даже в Южной Америке. «Кнопка» находится в Москве. Таким образом, мы смотрим с Земли вверх, а со спутника вниз. Идет астероидный контроль, а также наблюдение за космическим мусором. Он представляет все большую и большую опасность. Это удивительная система, и она стоит на «Ломоносове».

— **Создается впечатление, что сейчас я говорю только с ученым: речь идет о чистой науке. А где же ректор?**

— Университет имеет программу развития. Задача ректора — определить главные направления, которые потребуют значительного финансирования. На ученом совете предложения ректора обсуждаются и принимаются соответствующие решения. Как одно из главных направлений я выбрал для МГУ космос. Думаю, что это было верное решение.

— **Как оно влияет на образование?**

— Как мне кажется, влияние огромное. На «Ломоносове», например, в каждом приборе есть труд студентов и аспирантов, они участвовали в создании сложнейшей аппаратуры. Более того, начиная с «Татьяны-1» и даже раньше, на первом этапе

космических исследований, студенты проходили практикум. Они работали с той информацией, которую мы получали из космоса. Причем практикум этот был для студентов не только МГУ, но и других университетов. Студенты шести факультетов в той или иной форме участвуют в космической программе МГУ. Кстати, у каждого университета есть свое лицо, которое отличает его от других. У нас три кита, на которых мы держимся: космос, супервычисления и науки о жизни. И неплохая гуманитарная составляющая — это уже четвертый кит.

Мы не хотим останавливаться на «Ломоносове», хотя он потребовал огромных усилий и многих лет, но он помог установить тесные контакты с «Роскосмосом» и ВНИИЭМ, где изготовлялся. Эти контакты надо развивать. После «Ломоносова» начнем работать над новыми проектами, где уже больше внимания будем уделять человеку.

**— Есть рейтинги университетов. Какое место вы в них занимаете?**

— Их много. Я сказал бы так: нет ни одного рейтинга, где бы мы не входили в сотню, пятидесятку и даже двадцатку.

#### ТОЛЬКО ФАКТЫ

Спутник *YouthSat*, запущенный в 2009 г., — совместный проект МГУ и индийских университетов, который создавался под эгидой космических агентств двух наших стран. Цель проекта — изучение солнечной активности с помощью аппаратуры, разработанной в МГУ, и ионосферных возмущений во время усиления солнечной активности аппаратурой, созданной индийскими коллегами. Учеными МГУ в рамках данного проекта была создана современная аппаратура для изучения солнечных энергичных частиц, генерируемых во время мощных взрывных процессов на Солнце, а также информационный блок, обеспечивающий сбор, обработку и передачу на борт спутника информации с блока детекторов космического излучения.

Спутник «Вернов» был запущен 19 июня 2014 г. Аппаратура «Нуклон», созданная в МГУ, представляет собой современный детектор элементарных частиц и ядер для изучения поэлементного состава и энергетических спектров космических лучей сверхвысоких энергий, генерируемых в пределах нашей Галактики. Он был запущен в декабре 2014 г. в качестве попутной нагрузки на космическом аппарате «Ресурс-П».



Космический аппарат «Ломоносов»; ректор МГУ В.А. Садовничий и статс-секретарь госкорпорации «Роскосмос» Д.В. Лысков во время пресс-конференции перед отправкой спутника на космодром Восточный

**— Назовите хотя бы один университет в мире, который запускал бы спутники подобные «Ломоносову».**

— Не думаю, что такие есть.

**— Значит, вы первые?**

— Но не только по космосу. У нас действует суперкомпьютер. Ни один университет не имеет подобных, они есть только в национальных центрах. Так что суперкомпьютер — тоже наш приоритет. И в этой области мы лидеры.

**— Давняя мечта потихоньку осуществляется?**

— Время непростое. Я имею в виду экономику и финансы. Но университет развивается, и остановить этот процесс невозможно.

**— Итак, от Михаила Васильевича Ломоносова до спутника «Ломоносов» — такова дистанция развития Московского государственного университета. Старт науки и ее триумф, не так ли?**

— Звучит красиво и убедительно. ■

Беседовал Владимир Губарев

#### СЛОВО О «ЛОМОНОСОВЕ»

Это трехметровый космический корабль, сделанный учеными МГУ в содружестве с учеными Кореи, Венесуэлы, Мексики и других стран, и он уникален. Запуск спутника «Ломоносов» позволит России стать полноправным участником глобальной сети радиационного мониторинга, который ведется многими космическими агентствами, а оптические эксперименты на борту позволят впервые в нашей стране протестировать космический сегмент обнаружения потенциально опасных небесных тел и фрагментов космических аппаратов.

Цикл телепрограмм

# ИДЕИ, МЕНЯЮЩИЕ МИР



Автор и ведущая —  
**Эвелина Закамская**



**Дирк Хельбинг:**  
как выжить  
в информационной  
лавине

**Виктор Матвеев:**  
увидеть миг  
рождения материи



**Джон Перкинс:**  
исповедь  
раскаявшегося шпиона



**Майкл Газзанига:**  
автор концепции  
«криминального мозга»



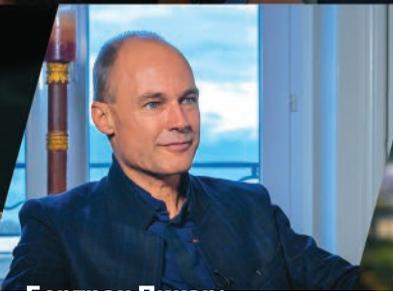
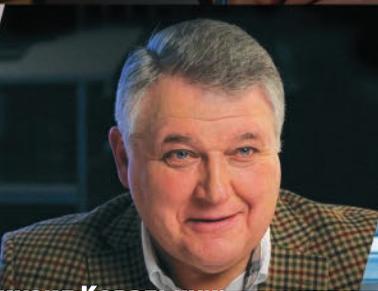
**Джин Шарп:**  
человек, взорвавший мир



**Ноам Хомский:**  
интеллектуал  
Западного полушария



**Рольф-Дитер Хойер:**  
человек, объявивший  
о «поимке» бозона Хиггса





# ТАЙНЫ ПЕРВИЧНЫХ МЕТЕОРИТОВ

Алан Рубин

*Микроскопический анализ хондритов, самых древних камней Солнечной системы, в деталях показывает, как выглядели ближние окрестности космоса накануне формирования планет*

## ОБ АВТОРЕ

**Алан Рубин** (Alan E. Rubin) — геохимик Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе, изучающий множество разнообразных метеоритов. Кроме научных работ он написал около 30 популярных статей о науке, космосе, а также книгу «Нарушающие спокойствие Солнечной системы» (*Disturbing the Solar System*, 2002). Он отмечает, что астероид 6227 *Alanrubin* несколько эксцентричен, как и человек, в честь которого тот получил свое имя, хотя у последнего больше вероятности упасть на Землю.



**Я** глубоко сочувствую астрономам. Они видят объекты своего обожания — звезды, галактики, квазары — только издали: в виде картинок на экранах компьютеров или как световые волны, проецируемые бесчувственными спектрографами. В отличие от них многие из нас, те, кто изучает планеты и астероиды, могут приласкать кусочки наших любимых небесных тел и побудить их открыть свои сокровенные тайны. Студентом последнего курса астрономического бакалавриата я провел множество холодных ночей, разглядывая в телескоп звездные скопления и туманности, но сейчас могу признаться, что, когда держишь в своих руках кусок астероида, это дает тебе гораздо большее эмоциональное удовлетворение, устанавливает материальную связь с тем, что иначе, вероятно, выглядело бы далеким и абстрактным.

Хондриты — это те фрагменты астероидов, которые очаровывают меня больше всего. Эти метеориты, составляющие более 80% всех метеоритов, падающих на Землю, получили свое название от содержащихся почти во всех них хондр — крошечных зерен расплавленных материалов, размером меньше рисового зернышка, которые образовались еще до того, как на заре истории Солнечной системы сформировались астероиды. Когда мы изучаем тонкие срезы хондритов под микроскопом, наблюдать их просто восхитительно, это немного сродни разглядыванию некоторых из полотен Василия Кандинского и других художников-абстракционистов.

Хондриты — самые древние камни, которых когда-либо касалась рука ученого. Радиоизотопный анализ показывает, что дата их рождения восходит к временам более 4,5 млрд лет назад, периоду образования планет, когда Солнечная система представляла собой турбулентный вращающийся диск из газов и пыли, который астрономы окрестили околосолнечной туманностью. Их возраст и консистенция показывают, что состоят они из первичных материалов, из которых в конечном итоге

образовались планеты, луны, астероиды и кометы. Большинство ученых полагают, что хондры сформировались, когда во время высокоэнергетических событий богатые силикатами скопления пыли плавилась и образовывали отдельные капли. Эти капельки быстро отвердевали и сращивались с пылью, металлами и другими материалами, в результате чего образовывались хондриты, которые продолжили рост и стали астероидами. Время от времени соударения астероидов друг с другом на больших скоростях приводят к их фрагментации и раскалыванию на куски. В итоге некоторые из этих осколков падают на Землю в виде метеоритов. Таким образом, возможность потрогать все своими руками, которая так меня привлекает, — не просто вопрос эстетических пристрастий. Ведь метеориты — ископаемые свидетели рождения Солнечной системы, кратчайший путь к изучению условий, при которых наша планета Земля обрела свой нынешний облик.

Однако антропологи хорошо знают, что обнаружение ископаемых останков — всего лишь первый шаг к воссозданию этого облика. Находки необходимо поместить в соответствующую окружающую среду. Однако делать предположения о том, где и в каких условиях родились различные хондриты, было непростой задачей, поскольку в нашем распоряжении имелись на удивление скудные данные о детальной структуре самых разнообразных камней. Несколько лет назад я провел систематическое исследование всего диапазона физических свойств хондритов, заполнив множество имевшихся критических пробелов. Имея на руках эти данные, я построил черновой вариант карты, описывающей структуру первобытной туманности, в которой образовались хондриты.

Замечательно, что распределение пыли, отраженное на этой карте, какой бы грубой она ни была, повторяет распределение пыли в некоторых звездных системах типа Тау Тельца. Светимость звезд типа Тау Тельца непостоянна и изменяется произвольным образом, а сами они укутаны плотной атмосферой, поэтому их считают молодыми звездами, или «звездами до главной последовательности». Многие из них окружены пылевыми дисками. Согласие пылевой картины околосолнечной туманности со структурой некоторых звездных систем типа Тау Тельца стало еще одним доводом в пользу идеи, что последние — предки солнечных систем, таких как наша. Таким образом, хондриты — это зонд, позволяющий исследовать наше глубокое прошлое, но одновременно и инструмент, дающий возможность взглянуть

на другие молодые солнечные системы в Млечном Пути. Аналогично, по мере того как ученые глубже познают физику далеких звездных систем, они лучше понимают процессы, которые привели к формированию наших собственных астероидов и планет.

### Характеристики хондритов

Чтобы исследовать первичную солнечную систему с помощью анализа хондритов, ученый-планетолог должен прежде всего иметь точные характеристики свойств метеорита. Ученые классифицируют хондриты, разбивая их примерно на десяток основных групп, различающихся такими характеристиками, как общий химический состав, состав изотопов (элементов с одинаковым количеством протонов, но с разным числом нейтронов), числом, размером и типом их хондр, наконец, объемом плотной пылевой матрицы, в которую впрессованы хондры и другие материалы. Поскольку каждая группа хондритов обладает узким, отличным от других диапазоном физических, химических и изотопических характеристик, различные группы метеоритов, упавших на Землю, должно быть, родом из различных астероидов. Ученые придумали множество умозрительных моделей для объяснения того, как изначально сформировались разные группы хондритов, которые учитывают такие явления, как турбулентность газов, магнитные поля и разницу в скоростях, с которыми частицы подлетают к средней плоскости туманности. Однако зачастую суть всего вышесказанного сводится к туманному умозаключению, что разные виды хондритов образовались «в различных условиях».

В надежде получить вразумительный ответ, какими же именно были эти условия, в 2009 г. я начал перелопачивать литературу с намерением построить таблицу, в которой будут представлены свойства основных групп хондритов. Имея на руках такую таблицу, я намеревался заняться поиском корреляций между их свойствами, что, возможно, пролило бы свет на историю каждой группы. Но таблица, которую я построил, была более чем наполовину незаполненной. По-видимому, мало кто из ученых интересовался получением такого рода данных.

Оставалась единственная возможность — сделать все самому. С этой целью я засел за микроскоп и исследовал 91 тонкий срез 53 различных метеоритов разных групп хондритов. При толщине среза 30 микрон многие минералы становятся прозрачными, и можно изучать их оптические свойства. Метеоритные срезы открыли мне

### ! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

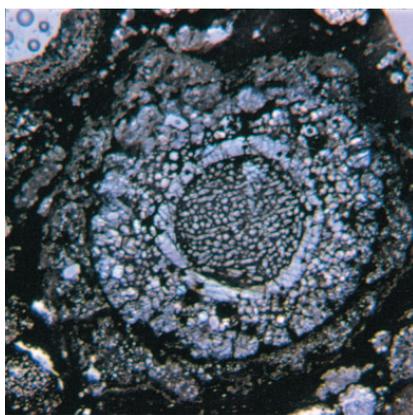
- Хондритные метеориты состоят из того же вещества, из которого образовались планеты, луны, астероиды и кометы. Каждая группа хондритов имеет свой собственный отличный от других состав и свои структурные характеристики.
- Исходя из этих свойств автор и другие ученые сделали вывод о примерном месте формирования этих групп хондритов и относительном количестве пыли, находившейся в данных областях.
- Распределение пыли там очень похоже на ее распределение в протопланетных дисках, состоящих из пыли и газа, которые вращаются вокруг нескольких звезд, называемых звездами типа Тау Тельца, — а именно молодых, возрастом 1–2 млн лет звезд с массой примерно с наше Солнце. Такая схожесть дает основание предположить, что системы типа Тау Тельца — хороший аналог Солнца и его протопланетного диска на ранних стадиях истории Солнечной системы.

широкое разнообразие хондр, которые отличаются друг от друга размерами, формой, текстурой и цветом. Конечно, анализ тысяч хондр может быть утомительным, но, настойчиво продолжая эти упражнения в «микроскопической астрономии», я сумел заполнить таблицу всего за несколько месяцев. Полученные результаты не решили проблему «различных условий» полностью, но все же позволили расширить и уточнить идеи относительно того, где в околосолнечной туманности образовались различные группы хондритов и на что была похожа окружающая их среда.

Рассмотрим сначала редкий класс, называемый энстатитовыми хондритами, которые составляют всего 2% всех хондритов, обнаруженных среди упавших на Землю метеоритов. Эти камни получили свое имя по названию минерала, обычно составляющего их основную массу, энстатита ( $MgSiO_3$ ), и бывают двух видов, которые обозначаются как *EH* и *EL* в зависимости от суммарного содержания в них железа: *H* (*high*) — высокое, *L* (*low*) — низкое. Ученые обнаружили, что изотопный состав азота, кислорода, титана, хрома и никеля в этих хондритах схож с относительным содержанием таких изотопов на Земле и на Марсе, и на основании этого они высказали предположение, что энстатитовые хондриты, вероятно, образовались внутри орбиты Марса, значительно ближе к Солнцу, чем предполагаемое место рождения других групп хондритов.

Второй тип, так называемые обычные хондриты, включает в себя три отдельных, но близко связанных друг с другом группы, обозначаемых как *H*, *L* и *LL*, которые различаются по количеству и форме содержащегося в них железа. Слово «обычные» характеризует их широкую распространенность: все вместе они составляют 74% общего числа найденных метеоритов. Столь большое относительное количество этих трех видов метеоритов указывает на то, что прилетели они к нам из области Солнечной системы, гравитация в которой в наибольшей степени благоприятствует их полету к Земле.

Джон Уоссон (John Wasson) из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе высказал предположение, что обычные хондриты сыпятся на нас из области, расположенной немного ближе к Солнцу от середины



**Подсказки из пыли.** В хондритах определенного типа, таких как углистые (на верхнем снимке), хондры обычно большие и имеют сложную структуру (микрофотография), они содержат силикатное ядро (центральная сфера и тонкое кольцо вокруг нее), окруженное вторичной оболочкой (толстая кайма), и внешний слой, называемый корой плавления (область неправильной формы). Оболочки и кора возникают после того, как пыль обволакивает существующую хондру и затем плавится. Наличие оболочек и коры указывает в этом случае, что эволюция хондр происходила в достаточно запыленной части околосолнечной туманности, отсутствие же их свидетельствует о менее пыльной среде.

Высокие температуры к тому же разрушают органические соединения, которые находят в широком классе метеоритов, называемых углеродосодержащими или углистыми хондритами, как правило, чаще, чем в других группах хондритов. Таким образом, углистые хондриты почти наверняка прилетели к нам с орбит даже еще более удаленных от Солнца, чем места обитания R-хондритов. Сами же углистые хондриты образуют шесть основных групп, для каждой из которых можно определить более точное местоположение в околосолнечной туманности на основе их химических, изотопных и структурных свойств.

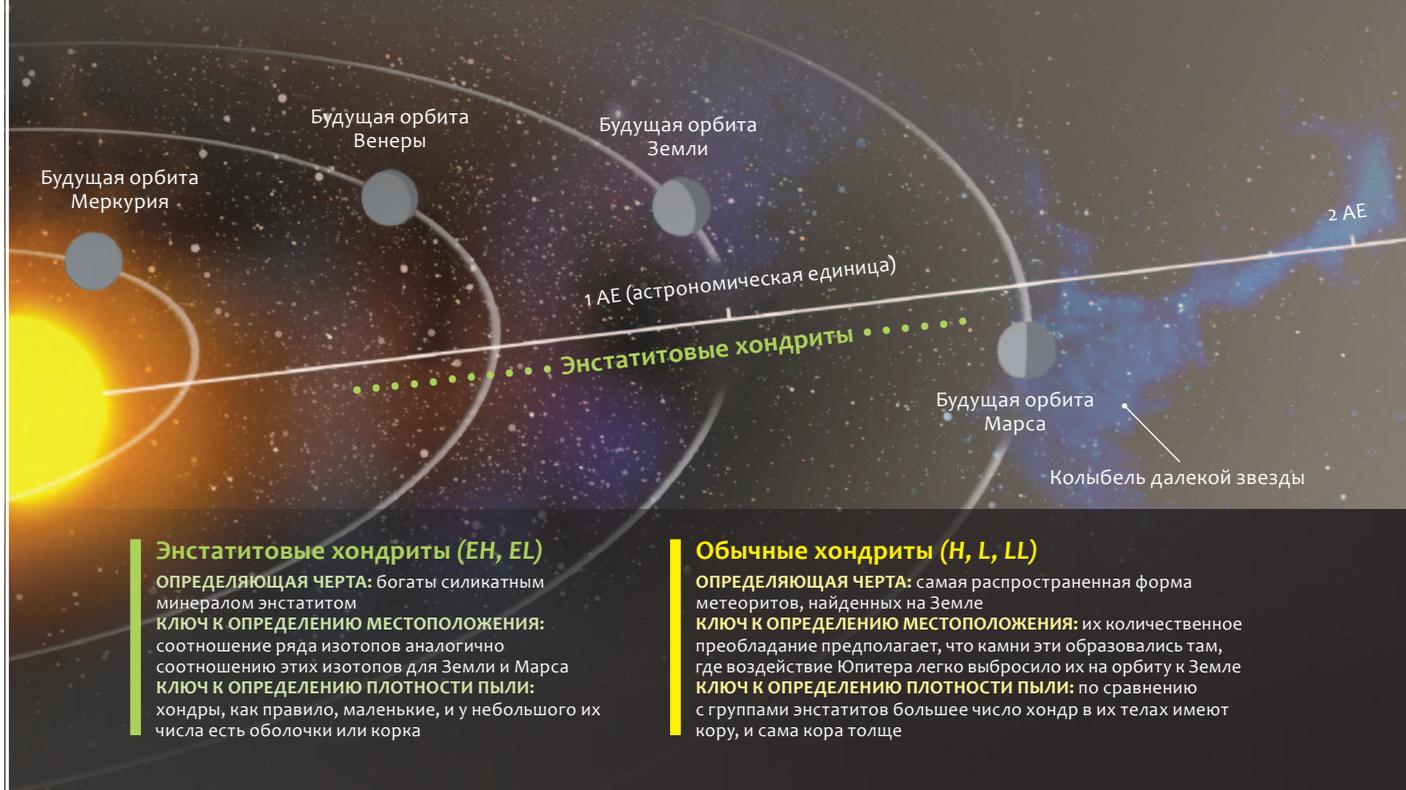
астероидного пояса, находящегося между орбитами Марса и Юпитера. Астероиды, отдаленные от Солнца на расстояние в 2,5 раза больше радиуса орбиты Земли (т.е. 2,5 астрономических единиц), за 12 лет трижды облетают вокруг Солнца. Юпитер, находящийся на расстоянии 5,2 астрономических единиц, за этот же временной интервал завершает ровно один круг. Такая корреляция означает, что гигантское гравитационное поле Юпитера регулярно «подстегивает» эти астероиды и в конце концов направляет многие из них в сторону планет земной группы. В Швеции ученые обнаружили десятки обычных хондритов в камнях, возраст которых насчитывает 470 млн лет, — указание на то, что обычные хондриты действительно посыпали Землю на протяжении 10% ее истории, длящейся 4,5 млрд лет.

Третий тип — редкие хондриты Румурути или R-хондриты (названы так по имени деревушки в Кении, где последний и единственный раз наблюдали падение такого метеорита). По большинству своих химических свойств они очень похожи на обычные хондриты, однако в них гораздо больше связующего материала и значительно выше относительное содержание изотопа кислорода  $^{17}O$  по сравнению с более легким изотопом  $^{16}O$ . Высокие температуры в околосолнечной туманности стремятся выровнять изотопный состав, и чем дальше от Солнца образовался объект, тем больше вероятность, что разница в количестве изотопов кислорода сохранится. Эта диспропорция в количестве изотопов дает основания предполагать, что R-хондриты формировались дальше от Солнца, чем обычные хондриты.

## НАША СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА ДО ОБРАЗОВАНИЯ ПЛАНЕТ

После исследования множества химических и структурных особенностей четырех классов хондритов (выделены цветом), которые в свою очередь поделены на 12 основных групп (названия указаны внизу карты), автор уточнил грубые модели областей формирования этих 12 групп и высказал предположение

об относительном количестве пыли в этих областях в то время (точки на карте указывают вероятный диапазон области зарождения для каждой из групп хондритов). Он обнаружил, что самые плотные облака пыли (самое плотное окрашивание) окружали углистые хондриты групп CR, CV и CK, которые, вероятно,



### Энстатитовые хондриты (EH, EL)

**ОПРЕДЕЛЯЮЩАЯ ЧЕРТА:** богаты силикатным минералом энстатитом  
**КЛЮЧ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ:** соотношение ряда изотопов аналогично соотношению этих изотопов для Земли и Марса  
**КЛЮЧ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПЛОТНОСТИ ПЫЛИ:** хондриты, как правило, маленькие, и у небольшого их числа есть оболочки или корка

### Обычные хондриты (H, L, LL)

**ОПРЕДЕЛЯЮЩАЯ ЧЕРТА:** самая распространенная форма метеоритов, найденных на Земле  
**КЛЮЧ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ:** их количественное преобладание предполагает, что камни эти образовались там, где воздействие Юпитера легко выбросило их на орбиту к Земле  
**КЛЮЧ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПЛОТНОСТИ ПЫЛИ:** по сравнению с группами энстатитов большее число хондр в их телах имеют кору, и сама кора толще

## Прах к праху

Кроме своего химического состава, внутренняя структура хондритов рассказывает многое и о количестве пыли в той части пылевого облака, где они образовались. Пыль играла ключевую роль на всех стадиях эволюции Солнечной системы. По мере того как первичное облако материала, из которого образовались Солнце и планеты, сжималось, крупинцы пыли все эффективнее удерживали инфракрасное излучение, в результате чего рост температуры в центре облака привел в конечном итоге к формированию протозвезды. Позднее пыль (а на более больших расстояниях от центра — лед) устремилась к срединной плоскости туманности и собралась там в более массивные тела, образовав со временем пористые глыбы, называемые планетезиμαлиями, размером от нескольких метров до десятков километров. Часть этих планетезиμαлей расплавилась. В конечном итоге из множества расплавленных и нерасплавленных планетезиμαлей сформировались планеты, а кометы и астероиды скорее всего образовались путем аккреции нерасплавленных планетезиμαлей, имеющих более однородный состав.

Один из ключей, указывающих на обилие пыли в области, где образовалась данная группа хондритов, — наличие пылевых оболочек, окружающих силикатные ядра

хондр. Например, в хондрах некоторых углистых хондритов обычно присутствует ядро, или «первичная» хондра, заключенное во вторичную сферическую оболочку из расплавленного или магматического материала, схожего по составу с первичной хондрой. Часто вторичная оболочка сама окружена еще одной оболочкой, называемой корой плавления, которая состоит из более мелких минеральных зерен, чем те, что находятся в центральном ядре.

Многие ученые, исследующие метеориты, высказывали предположение, что вторичные оболочки образовались, когда исходные хондры, отвердев после первоначального расплавления, обрели пористую пылевую оболочку и затем снова подверглись разогреву в результате события средней энергии, которое расплавало оболочку, но не затронуло внутреннюю хондру. Впоследствии в результате события с более низкой энергией или меньшей продолжительности, или же и того и другого одновременно, образовалась кора плавления. Проще говоря, группы хондритов, которые содержат многочисленные хондры со структурой «вложенных оболочек», по-видимому, образовались в пыльной среде.

Многочисленные эпизоды расплавления, перемежающиеся периодами, во время которых хондры были погружены в пыль, естественно, должны были бы привести

кружили вокруг Солнца на расстоянии более трех астрономических единиц. Еще дальше от Солнца, там, где блуждали хондриты групп *CM*, *CO* и, наконец, *CI*, концентрация пыли падает. Падает она также в направлении на Солнце и в области зарождения энстатитовых хондритов встречается уже крайне редко. Такое распределение очень напоминает распространение

пыли в некоторых молодых звездных системах типа сегодняшней звездной системы Тау Тельца, и это дает основания полагать, что полученная информация о физике подобных систем позволит узнать нечто новое о раннем периоде нашей Солнечной системы. Текст внизу карты частично объясняет логику, использовавшуюся при построении этой карты.

• Обычные хондриты •

• Хондриты Румурути •

• Углистые хондриты •

3 АЕ

Самая большая плотность пыли (здесь показана на расстоянии примерно 3,6 АЕ от Солнца), вероятно, наблюдалась где-то на расстоянии между 2,7 АЕ и 4,5 АЕ

### Хондриты Румурути (*R*)

**ОПРЕДЕЛЯЮЩАЯ ЧЕРТА:** по составу слегка отличаются от обычных хондритов

**КЛЮЧ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ:** соотношение ряда изотопов предполагает расположение дальше от Солнца, чем у обычных хондритов

**КЛЮЧ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПЛОТНОСТИ ПЫЛИ:** относительное количество материала матрицы (мелкозернистые силикаты между хондрами), образовавшейся из пыли туманности, намного выше, чем у обычных хондритов

### Углистые хондриты (*CR*, *CV*, *CK*, *CM*, *CO*, *CI*)

**ОПРЕДЕЛЯЮЩАЯ ЧЕРТА:** богаты органическими соединениями

**КЛЮЧ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ:** присутствие органики означает, что эти метеориты сформировались далеко от Солнца, которое в противном случае разрушило бы органические вещества

**КЛЮЧ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПЛОТНОСТИ ПЫЛИ:** хондриты групп *CR*, *CV* и *CK* имеют самые большие хондры и самую толстую кору плавления; у хондритов групп *CM* и *CO* хондры, как правило, меньше, а кора тоньше; в метеоритах группы *CI* хондры отсутствуют вообще

к образованию более крупных хондр с толстой вторичной оболочкой и толстой корой плавления. Таким образом, наличие подобных особенностей указывает на значительное количество пыли в среде, где образовались хондры. Хондры, укутанные пылью, к тому же охлаждались медленнее, чем другие, поскольку теплу не просто было уйти в виде излучения. Относительно медленное остывание в свою очередь способствовало испарению летучих элементов, таких как натрий и сера. Хотя большая часть летучих веществ конденсировалась на окружающей пыли (чтобы, в конце концов, снова быть включенными в хондриты), некоторая часть их будет утрачена. Концентрация натрия и серы в группе хондритов, содержащих эти большие окруженные пылью хондры, следовательно, должна быть ниже, чем в тех группах хондритов, которые сформировались в бедной пылью атмосфере. Я обнаружил, что так оно и обстоит на самом деле.

Объединяя эту и другую информацию с данными о предполагаемом расположении материнского астероида, я нарисовал примерную карту распределения пыли в первичной Солнечной системе. Группы энстатитов, которые предположительно образовались внутри орбиты Марса, должно быть, находились в области с малым содержанием пыли. Они, например, имеют

мало хондр с оболочками или корой, а у тех из них, которые все же покрыты оболочками, они тонки. И обычные, и *R*-хондриты, которые образовались немного подальше от Солнца, демонстрируют больше признаков присутствия пыли — например, относительное содержание хондр с корой плавления у них выше, а сама она толще, чем в метеоритах энстатитовой группы.

Концентрация пыли, по-видимому, достигает своего пика в области, занимаемой группой углистых хондритов, имеющих хондры максимального размера и наибольшее число хондр, заключенных внутри вторичных оболочек и коры плавления (они принадлежат к группам под названиями *CR*, *CV* и *CK*). Далее в направлении от Солнца концентрация пыли постепенно снижается, и там располагаются еще две группы углистых хондритов (*CM* и *CO*). Хондры у хондритов этих групп намного мельче, и среди них гораздо реже встречаются покрытые вторичной оболочкой и корой плавления. Общее количество пыли снижается еще больше в окрестности самой удаленной группы углистых хондритов (*CI*), которые вообще не содержат хондр. Тем не менее они настоящие хондриты, поскольку основной критерий для того, чтобы быть принятым в этот класс, — сходство химического состава минерала с составом нелетучих элементов Солнца.

Характер распределения пыли на этой карте около-солнечной туманности привел меня к выводу, что наша Солнечная система, вероятно, была похожа на многие из звездных систем типа Тау Тельца, наблюдаемых сегодня: молодые звезды напоминают наше раннее Солнце, еще не приступившее к своему главному делу — стабильному термоядерному горению водорода. Картина распределения пыли очень похожа на опубликованные данные астрономических наблюдений нескольких протопланетных дисков вокруг звезд типа Тау Тельца. Поскольку массы этих самых дисков (они составляют примерно 2% массы Солнца) аналогичны предполагаемой массе около-солнечной туманности, представляется, что они дают нам хорошую модель этой туманности периода формирования хондр и агрегации их в хондриты.

## Изучая хондриты, возможно, мы сможем узнать о природе и эволюции около-солнечной туманности, формировании планет, некоторых стадиях эволюции Солнца и временном масштабе всех этих процессов

### Жаркие споры

Какие именно процессы привели к образованию хондр, еще не вполне понятно. Первое, что должна объяснить любая модель формирования хондр, — свидетельство их многократного плавления. Этот процесс должен к тому же быть широко распространенным, иначе он не привел бы к образованию хондр почти в каждой из групп хондритов. К сожалению, пока не найдено ни одного убедительного механизма нагрева, который объяснял бы свойства всех хондр. Многократное плавление такого большого количества хондр отмечает любое из предложенных одноразовых явлений, таких как ударная волна от взрыва сверхновой или гамма-всплеск из далекого космоса. Источник тепла должен быть, с одной стороны, способным полностью расплавить часть хондр (включая образования размером в несколько миллиметров), а с другой — расплавить лишь тонкую мантию пыли вокруг других хондр, оставив их внутренность незатронутой. Ряд ученых предположили существование некоего повторяющегося, пульсирующего источника тепла, вроде разряда молнии, но единодушия по поводу возможности возникновения молний в около-солнечной туманности достигнуто не было.

Модель формирования хондр, популярная в настоящее время у астрофизиков, предполагает разогрев вещества туманности ударной волной. Ударные волны могли бы образоваться, например, в результате падения на туманность вещества извне. Распространение ударных волн через пыльную туманность, возможно,

привело к образованию достаточного количества тепла, чтобы вызвать плавление хондр. Однако и модели, опирающиеся на ударные волны, имеют собственные изъяны. Во-первых, в протопланетных дисках ударные волны еще никогда не наблюдались, и их существование не доказано. Во-вторых, ударные волны сразу же нагрели бы огромное число хондр, но, по-видимому, они не могут расплавить лишь внешнюю поверхность отдельных хондр (чтобы сформировать вторичные оболочки и кору плавления), и в то же время оставить внутренность хондры относительно холодной. Третий очевидный изъян — ударные волны, которые представляют собой локальное явление, и кажется маловероятным, что они производят хондры в далеко отстоящих друг от друга областях около-солнечной туманности. Основным механизмом образования хондр, таким образом, остается тайной за семью печатями.

50 лет назад на страницах журнала *Scientific American* исследователь метеоритов Джон Вуд (John A. Wood) заметил: «Лишь недавно мы начали изучать хондры как объекты особого рода. В них содержится море информации <...> о процессах, которые оказали на них воздействие. Возможно, мы сможем узнать о природе и эволюции около-солнечной туманности, формировании планет, некоторых стадиях эволюции Солнца и временном масштабе всех этих процессов». Спустя полвека ученым все еще предстоит многое понять, но картина, представленная этими посланниками из далекого прошлого Солнечной системы, наконец-то становится центральной в их исследованиях. ■

Перевод: А.П. Кузнецов

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Chemical, Mineralogical and Isotopic Properties of Chondrules: Clues to Their Origin. R.H. Jones, J.N. Grossman and A.E. Rubin in *Chondrites and the Protoplanetary Disk*. Edited by A.N. Krot, E.R.D. Scott and B. Reipurth. Astronomical Society of the Pacific Conference Series, Vol. 341, pages 251–285; 2005.
- Physical Properties of Chondrules in Different Chondrite Groups: Implications for Multiple Melting Events in Dusty Environments. Alan E. Rubin in *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 74, No. 16, pages 4807–4828; August 15, 2010.
- Meteorite or Meteorwrong? Department of Earth and Planetary Sciences, Washington University in St. Louis: [http://meteorites.wustl.edu/id/ordinary\\_chondrites](http://meteorites.wustl.edu/id/ordinary_chondrites).



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)

Анна Фребел

# ЧЕТЫРЕ ЗВЕЗДНЫЕ НОЧИ

*В самом сухом месте на Земле астроном «просеивает» звездный свет, чтобы разгадать тайну эволюции Галактики. Это рассказ об обычной четырехдневной поездке в марте 2011 г.*





**ЗВЕЗДОЧЕТЫ:**

6,5-метровые  
телескопы-близнецы  
«Магеллан» — «Бааде»  
и «Клэй» — стоят  
на вершине Серро-  
Манги в чилийской  
пустыне Атакаме

## ОБ АВТОРЕ

**Анна Фребел (Anna Frebel)** — доцент-физик Массачусеттского технологического института. В 2010 г. она выиграла премию им. Энни Кэннон (Annie J. Cannon) Американского астрономического общества.

**Приезд**

Усевшись в красный пикап, мы с водителем выехали из аэропорта и устремились по чилийской пустыне Атакаме к изолированному пику Серро-Манги. Два часа наш автомобиль петлял по пыльной дороге к вершине горы, и вот передо мной открылась знакомая картина: в солнечных лучах блестели серебристые купола телескопов «Магеллан» — близнецов «Бааде» и «Клэй». Мое сердце забилось чаще: с завтрашней ночи телескоп «Клэй» безраздельно принадлежит мне.

Из Бостона в обсерваторию Лас-Кампанас я обычно приезжаю трижды в год, чтобы попытаться разгадать некоторые из оставшихся тайн эволюции Млечного Пути. Астрономы уже неплохо изучили строение нашей галактики, однако многие детали ее рождения и развития нам все еще непонятны. Компьютерное моделирование ранней Вселенной показывает, что в прошлом тысячи мелких галактик окружали молодой Млечный Путь, который становился все больше и больше, присоединяя к себе своих братьев меньших. Чтобы понять, насколько верны эти модели, я сравниваю химический состав древних звезд на окраинах нашей галактики — в ее гало — с составом древних звезд в карликовых галактиках, которые до сих пор обращаются вокруг Млечного Пути. Если модели верны, то звезды в гало и в карликовых галактиках должны иметь одинаковый состав.

За последние несколько лет химический анализ подтвердил это. Судя по всему, Млечный Путь рос, поглощая карликовые галактики и включая их звезды в свое гало. Похоже, что даже сейчас наша галактика подкармливается звездными потоками, оторванными от соседних галактик. Впрочем, пока еще астрономы не собрали достаточно данных, чтобы вписать это в учебники. Как любой хороший наблюдатель, я нахожусь в постоянном поиске новых доказательств. Время от времени астроном должен покидать свой университетский кабинет и устремляться подальше от городской суеты,

желательно повыше в горы, чтобы ночное небо представало перед ним в первозданной красе. Именно в таких поездках я понимаю, почему влюбилась в науку. Об этом я и хочу рассказать вам.

**Приготовления**

Как обычно, я приехала в обсерваторию за день до своей очереди к телескопу, чтобы было время уточнить мой график ночных наблюдений. В это время года рабочий день обычно длится с трех часов пополудни до шести утра, причем ночные наблюдения начинаются примерно с 18:00. За час до этого я обедаю в жилом домике вместе с другими астрономами, такими же чокнутыми, как я. Мы обсуждаем текущие исследования, интересные открытия, технические проблемы с телескопами и, конечно, прогноз погоды — ведь все мы боимся облачного неба.

После обеда я встречаюсь с инженерами и операторами, обслуживающими оптический телескоп «Клэй» с его огромным зеркалом диаметром 6,5 м. Только такие крупные телескопы способны собрать достаточно света от тех далеких и тусклых звезд, которые я изучаю. Хотя сегодня не моя очередь наблюдать, мне хочется поговорить с техниками и астрономами о переменах, произошедших в обсерватории за время моего отсутствия.

Около двух часов ночи (стараясь попозже лечь спать, чтобы начать смещение своего суточного биоритма) я покинула телескоп и, шагнув в прохладу ночного воздуха, побрела среди кустов и камней. Атакама — самая сухая пустыня в мире, идеальное место для изучения звезд, поскольку в воздухе почти нет паров воды, затрудняющих прохождение звездного света к телескопу. На небе Южного полушария открывается бесподобный вид на Млечный Путь даже без телескопа. Я поднимаю голову и смотрю на центр нашей галактики, где бесчисленные звезды сияют, как алмазы на черном бархате.

Если посмотреть на нашу галактику с ребра, она похожа на яичницу-глазунью с ярким и плотным «желтком» из звезд в центре, вокруг которого обвиваются спиральные рукава, образуя тонкий и плоский галактический диск. И все это окутано прозрачным гало из старых звезд. Во внешних областях гало движутся по орбитам около 30 известных карликовых галактик. В среднем типичная карликовая галактика содержит несколько миллиардов звезд — намного меньше тех 200 или даже 400 млрд, что составляют нашу огромную галактику. Наиболее мелкие из карликовых галактик могут содержать всего лишь тысячи звезд, хотя трудно подсчитать звезды в таких тусклых скоплениях.

Я исследую звезды в самых мелких карликовых галактиках, открытых астрономами только за последние десять лет. Похоже, что звезды в этих галактиках

**! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

- Астрономы уже хорошо изучили структуру нашей Галактики, но ее происхождение и эволюция таят немало загадок.
- Автор регулярно посещает далекую обсерваторию в чилийской пустыне Атакаме, где исследует древние звезды в гало Галактики, а также в карликовых галактиках, обращающихся вокруг нее.
- Химический анализ показывает, что звезды карликовых галактик и звезды гало образовались из одинаковых газовых облаков. Это поддерживает гипотезу о том, что наша Галактика росла, поглощая небольшие галактики-спутники, и до сих пор продолжает это делать.

из числа наиболее старых среди известных. Мы судим о возрасте звезд по содержанию в них химических элементов. После Большого взрыва первые звезды во Вселенной формировались из газовых облаков водорода, гелия и мизерного количества лития — самых легких элементов и единственных существовавших в то время. В ходе эволюции этих первых звезд ядерные реакции в их недрах производили более сложные элементы, такие как углерод, кислород, азот и железо, которые извергались в космос, когда эти звезды взрывались как сверхновые. Следующее поколение звезд формировалось из газовых облаков, обогащенных тяжелыми элементами, которые вместе с литием астрономы для удобства называют просто металлами. Только звезды поздних поколений содержат значительное количество металлов. Я изучаю бедные металлами звезды, родившиеся в ранней Вселенной. Самые мелкие карликовые галактики содержат меньше звезд, чем их более яркие собратья, но доля звезд с дефицитом металлов в них выше; вероятно, это реликты далекого прошлого.

Я иду от телескопа к домику, ориентируясь только по звездам; фонарик не нужен — здесь лишь я и ночные светила.

### Ночная смена

Проспав почти весь второй день, начинаю готовиться к своей первой ночи наблюдений с телескопом. Я сажусь на рабочее место наблюдателя — это стол с несколькими компьютерами, мониторы которых говорят мне о состоянии телескопа, погоде и положении звезд. Оператор телескопа, который управляет инструментом по моей команде, сидит перед стеной из 15 экранов, расположенных в несколько рядов.

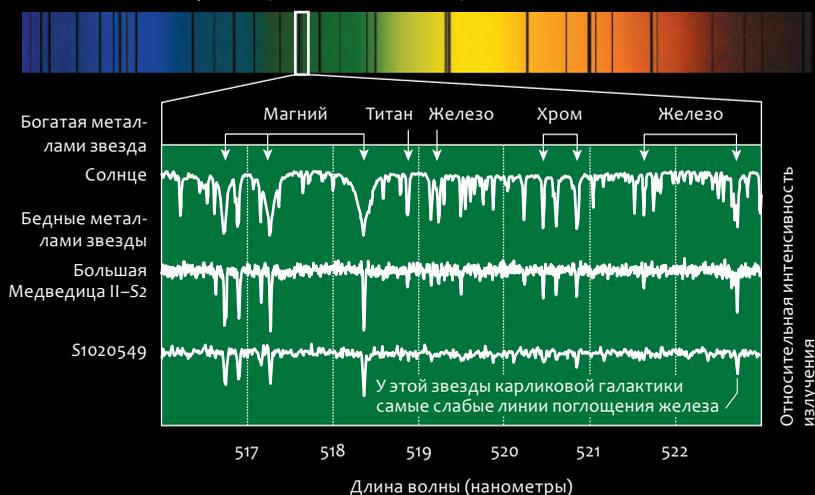
За неделю до приезда в Чили я составила «список целей» — звезд карликовой галактики в порядке их приоритета. Оценив состояние погоды, я выбираю первую звезду из списка и прошу оператора направить на нее телескоп и начать накопление ее света.

Преодолев расстояние в 130 тыс. световых лет от карликовой галактики до Земли, луч света несет в себе «химическую ДНК» звезды, но его код еще нужно расшифровать. Телескоп «Клэй» оснащен спектрографом высокого разрешения, расщепляющим свет звезды в радугу по длинам волн, которую я вижу на маленьком экране компьютера. В некоторых местах эту радугу пересекают черные вертикальные полосы — это линии поглощения,

## ХИМИЧЕСКИЙ ШТРИХКОД ЗВЕЗДЫ

Свет звезд несет много полезной информации, но астроном должен расшифровать ее. Для этого телескоп оснащают спектрографом, который расщепляет звездный свет по длинам волн в радужную полоску спектра. Темные линии в спектре — это линии поглощения; они показывают, сколько света поглотили различные химические элементы в атмосфере звезды. Чем тоньше линия, тем менее обилён элемент. Стрелками внизу указаны линии поглощения железа и других тяжелых элементов в спектрах Солнца и двух звезд карликовых галактик, обращающихся вокруг Млечного Пути. У звезд карликовых галактик линии поглощения гораздо слабее, следовательно, содержание тяжелых элементов в них меньше, чем у относительно молодого Солнца. Это и понятно: ведь карликовые галактики сформировались задолго до Солнца, когда тяжелых элементов было еще мало.

Оптический спектр Солнца с линиями поглощения



указывающие на содержание разных химических элементов во внешних слоях звезды. Чем тоньше линия поглощения, тем меньше этого элемента у звезды. Спектроскопия высокого разрешения настолько точна, что я могу определить количество атомов каждого химического элемента в звезде.

Весь звездный свет, собранный и проанализированный мною за последние годы, показывает, что у звезд гало и звезд тусклой карликовой галактики очень слабые линии поглощения тяжелых элементов, таких как железо. Например, в гало Галактики я открыла самую бедную железом звезду во Вселенной: полная масса железа в ней — всего 1% от его количества в ядре Земли. А ведь масса этой звезды составляет около 60% от массы Солнца, которое в 300 тыс. раз массивнее нашей планеты.

Столь бедные металлами звезды гало не могли родиться в Галактике вместе с современными поколениями звезд. Вероятно, они сформировались в тех же газовых облаках, где и звезды древних карликовых галактик, — в облаках, существовавших лишь в юной Вселенной, до того как в звездных недрах «сварились» тяжелые элементы. А раз древние звезды гало химически похожи на звезды карликовой галактики, значит и они тоже когда-то входили в состав карликовых галактик. Постепенно наша Галактика поглощала соседние карлики, присоединяя к себе их звезды и становясь все больше.

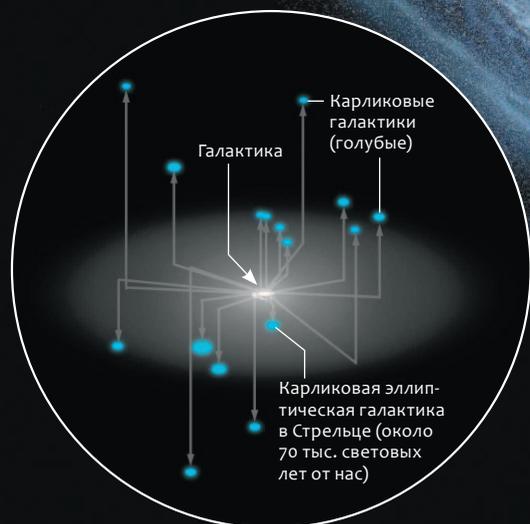
## ЭВОЛЮЦИЯ ГАЛАКТИКИ

Возможно, наша галактика — каннибал **1**. Когда-то она была одной из многих небольших галактик, но постепенно могла заглатывать своих более мелких соседей **2** и вырасти до нынешнего размера **3**. Действительно, астрономы обнаружили, что химический состав звезд в сохранившихся карликовых галактиках, обращающихся вокруг Млечного Пути, почти такой же, как у звезд на окраинах Млечного Пути, в гало Галактики. Это указывает, что звезды гало когда-то были частью поглощенных карликовых галактик. Даже сейчас наша галактика продолжает поедать своих собратьев.

Гало

Наша Галактика сегодня

3



Вид современной Галактики и сохранившихся карликовых галактик, движущихся внутри и вокруг галактического гало

Но доказательством каннибализма Галактики служит не только химический анализ. Похоже, астрономы обнаружили в ней «остатки съеденной пищи» — потоки звезд в гало, вероятно, оставшиеся от галактик-спутников, захваченных гравитационным полем Млечного Пути. Прямо сейчас наша звездная система «поедает» карликовую эллиптическую галактику в Стрельце, которая носится по орбите вокруг нас. С каждым оборотом от нее отрываются звезды и входят в состав галактического гало.

К семи часам утра, проведя более 12 часов в комнате наблюдателей на телескопе, я вполне удовлетворена теми данными, которые удалось собрать о первых звездах моего списка. Пришло время поспать. Я собираю свои записи, выхожу из башни телескопа и шагаю вниз с горы к моей спальне в домике. По пути воображаю, как задерну толстой занавесью окно от солнца и опущу голову на подушку. Утренняя заря скрывает звезды, но я-то знаю, что они там, надо мной, и будут сиять еще миллиарды лет.

### Наблюдения продолжают

Выбравшись из постели в три часа дня и быстренько перекусив, я начала готовиться к следующей ночи. Во время наблюдений я не могу позволить себе терять ни минуты, учитывая, что каждая ночь работы телескопа обходится более чем в \$50 тыс. Так что ночную смену я планирую тщательно.

Всякий раз когда я наблюдаю звезду, мне необходимо собрать достаточное количество фотонов, чтобы позже проделать детальный анализ ее химического состава. Чем слабее звезда, тем больше требуется времени, чтобы собрать нужное число фотонов. В идеале, каждую звезду карликовой галактики из моего списка, которые очень слабы, требуется наблюдать около десяти часов, тогда как для звезд гало достаточно экспозиции от одного до трех часов. Однако из-за вращения Земли вокруг оси обсерватория Лас-Кампанас постепенно отворачивается от области неба, которую я изучаю, поэтому любую из звезд моей карликовой галактики невозможно наблюдать более четырех или пяти часов за ночь. Поэтому приходится изучать один и тот же набор звезд в течение нескольких ночей. Но есть и другая проблема: космические лучи высокой энергии постоянно бомбардируют планету, ударяют в детектор телескопа и портят данные. Я заметила, что оптимальный компромисс между сбором достаточного количества звездного света и не слишком большими потерями от космических лучей получается при разделении моих наблюдений на сетки по 55 минут. Если экспозиция короче 55 минут, то не собирается достаточное количество фотонов, а если заметно дольше, то данные страдают от космических лучей. Обычно я наблюдаю одну звезду в течение четырех или пяти 55-минутных сетов, а затем перехожу к следующей звезде в другой части неба.

Когда наступает момент переходить от наблюдения одной звезды к другой, я должна тщательно проанализировать все данные: число уже собранных фотонов, положение на небе изучаемых мною звезд и прогноз погоды. Оператор телескопа ждет моего решения. Скажем, я не набрала необходимого числа фотонов от изучаемой

звезды, а она скоро скроется за горизонтом. Мне нужно решить, следует ли понаблюдать эту звезду еще немного или же перейти к другой звезде и надеяться, что небо останется ясным и позволит мне в следующую ночь закончить наблюдение первой звезды. Если все пойдет нормально, то я могу сбегать вниз, на кухню, чтобы сделать себе бутерброд; но большую часть времени я не отрываюсь от экранов компьютеров, пока не соберу достаточное количество фотонов и не пойму, что ночь удалась.

### Перемена погоды

Перед началом новой рабочей ночи, около 18:30, выхожу на балкон телескопа «Клэй». Наблюдать за закатом в Лас-Кампанас считается чем-то вроде ритуала. Солнце медленно опускается за горизонт, окрашивая вершины холмов в розовый цвет. Каждый закат знаменует собой новую ночь наблюдений — пока благоприятствует погода. Моя третья ночь у телескопа началась неплохо, но вскоре я хмурюсь, читая на мониторе прогноз погоды. Приоткрыв дверь башни, высываю голову в ночной воздух. Облака, плотные как взбитые сливки, столпились у вершины Серро-Манги. Что тут поделаешь? Сегодня я больше не наблюдаю звезды. Я сижу со своим ноутбуком и разбираю электронную почту, которой скопилось много, сортирую данные предыдущих наблюдений и пишу... Собственно, большую часть этой статьи я написала той облачной ночью.

Когда я отрываюсь от клавиатуры, перед моим мысленным взором плывут изображения еще не открытых карликовых галактик. Компьютерные модели формирования нашей галактики говорят о том, что до сих пор вокруг нее должно обращаться значительно больше карликовых галактик, чем обнаружено. Мы уже нашли все яркие карликовые галактики, а те, которые пока не можем увидеть, либо слишком тусклые, либо далекие, а значит, нам нужен особо острый глаз, чтобы заметить их. Институт науки Карнеги планирует построить новый телескоп в Лас-Кампанас, на соседней с Серро-Манги вершине. У этого инструмента будет огромное зеркало диаметром 25 м — почти вчетверо больше, чем у телескопов «Клэй» и «Бааде». С этим гигантским зеркалом и соответствующим спектрографом новый телескоп позволит мне заглянуть в далекие области галактического гало, где я надеюсь найти еще больше звезд с дефицитом металлов. Чем больше наблюдений мы проводим, тем полнее воссоздаем историю нашей Галактики. ■

Перевод: В.Г. Сурдин

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Linking Dwarf Galaxies to Halo Building Blocks with the Most Metal-Poor Star in Sculptor. Anna Frebel, Evan N. Kirby and Joshua D. Simon in *Nature*, Vol. 464, pages 72–75; March 4, 2010.
- Precious Fossils of the Infant Universe. Anna Frebel and Volker Bromm in *Physics Today*, Vol. 65, No. 4, page 49; April 2012.
- О том, как устроен спектрограф, см. по адресу: [ScientificAmerican.com/dec2012/ancient-stars](http://ScientificAmerican.com/dec2012/ancient-stars)

The image features a central, stylized figure with arms raised in a 'V' shape, rendered in a glowing orange and yellow gradient. The figure is set against a vibrant cosmic background of blue and purple nebulae, star fields, and a bright sun or star on the right side. The overall composition is symmetrical and evokes a sense of cosmic unity and human aspiration.

**ЖИЗНЬ**  
В КОСМИЧЕСКОМ  
**ПОРЯДКЕ**

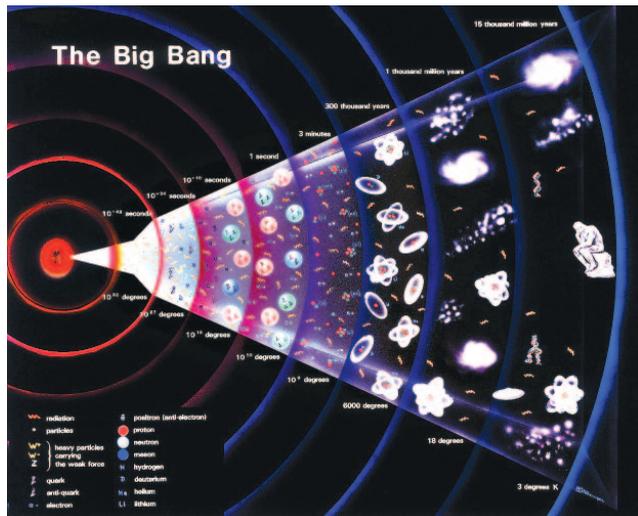
Мы живем посреди огромной Вселенной. Как она устроена, как зародилась в ней жизнь и есть ли в этом бесконечном пространстве кто-то еще, кроме нас? Ответы на эти вопросы ищут астрономы, физики, биологи, специалисты по геологии планет. Более 4 тыс. ученых, занимающихся космическими исследованиями, собрались в Москве на 40-ю научную ассамблею COSPAR, проходившую 2–10 августа



# М

еждународный комитет по космическим исследованиям (*Committee on Space Research, COSPAR*) был образован в 1958 г. для помощи ученым разных стран в обмене информацией. На сегодня *COSPAR* — одна из самых авторитетных неправительственных космических организаций.

С 1960 г. его ассамблеи проходят каждые два года в разных странах — участницах космических программ и разработок. Наша страна принимала *COSPAR* до сих пор лишь однажды — в далеком 1970 г., в Ленинграде. И вот Москва стала вторым в России городом, в который съехались астрофизики, специалисты по радиолокации, планетарные геологи, биологи и прочие ученые, имеющие отношение к исследованиям в космосе. 40-я научная ассамблея *COSPAR* прошла на территории Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова при поддержке Администрации Президента РФ, Федерального космического агентства, Министерства образования и науки РФ, Российской академии наук, правительства Москвы. Председателем национального организационного комитета стал заместитель председателя правительства РФ Аркадий Дворкович, а его заместителями — ректор МГУ академик Виктор Садовничий, президент РАН академик Владимир Фортов, глава Федерального космического агентства Олег Остапенко и министр образования и науки РФ Дмитрий Ливанов. Ассамблея *COSPAR* — важнейшее научное событие в области космических исследований. Мы представляем вам специальный репортаж с мероприятий, прошедших в рамках этой недели космоса в Москве.



Экстремальные состояния вещества — это состояния вещества с предельно высокими температурами и давлениями, следовательно, с необычайно высокими концентрациями энергии. Такое всегда привлекает исследователей возможностью получения рекордных параметров, перспективами продвижения в новые области фазовой диаграммы и получения в лабораториях условных экзотических состояний, из которых возникла наша Вселенная в результате Большого взрыва. Именно таким образом, с объяснения основных понятий и терминологии, Владимир Евгеньевич Фортвов начал свой междисциплинарный доклад на главном мероприятии года в области астрофизики — ассамблее-биеннале *COSPAR*.

Для жителей Земли такие состояния — экзотические. Но для Вселенной это абсолютно типичные условия существования вещества. Около 98% всей видимой (барионной) материи находится в сильно сжатом или разогретом состоянии: это плазма обычных и нейтронных звезд, пульсаров, черных дыр и планет-гигантов Солнечной системы, а также открытых недавно сотен экзопланет — планет вне Солнечной системы.

Прежде чем стать звездой или планетой, вещество Вселенной проходит круги разнообразных физических превращений: от кварков и элементарных частиц к сложным молекулам и вновь к атомам и частицам; от релятивистских энергий к абсолютному нулю и вновь к состоянию высокоэнергетической и плотной плазмы; от гигантских плотностей к глубокому вакууму и снова к сверхвысоким плотностям атомного ядра и кваркам. Любая трансформация вещества так или иначе включает в себя стадию сильного сжатия под действием гравитационных сил и следующий за этим сильный разогрев за счет термоядерного энерговыделения. Собственно, эти два механизма — сжатие и разогрев — и определяют все многообразие процессов, которые идут в видимой нами Вселенной.

Владимир Фортвов в своей лекции цитирует слова Стивена Хокинга: «Мы уже знаем те законы, которым подчиняется поведение вещества во всех условиях, кроме

# Назад в будущее

*В рамках 40-й научной ассамблеи COSPAR президент Российской академии наук Владимир Евгеньевич Фортвов прочел лекцию об экстремальных состояниях вещества в космосе и на Земле. Рассказ о сложных научных исследованиях он насытил прекрасными аллегориями, красочно иллюстрирующими процесс создания в лабораторных условиях процессов внутри далеких туманностей и планет*

экстремальных», подчеркивая, что изучение вещества при высоких плотностях энергии имеет большое практическое применение в ядерной, термоядерной и импульсной энергетике, электрофизике высоких напряжений и мощностей для синтеза сверхтвердых веществ, для упрочнения и сварки материалов, для противометеоритной защиты космических аппаратов и, конечно, для обороны.

Результатов исследований в области термоядерного синтеза ждут уже не первое десятилетие. В этом году на лазерной установке *NIF (National Ignition Facility)* в США наконец достигнут выдающийся результат, назовем его точкой безубыточности: количество энергии, полученной при термоядерном горении в мишени, превзошло количество энергии, подводимой к ней.

Как получить экстремальные состояния вещества в лабораторных условиях? Для этого существуют два основных подхода: статический (алмазные наковальни для статического сжатия вещества) и динамический («пушки», взрывные генераторы мощных ударных волн, электровзрывные устройства, магнитокумулятивные генераторы, лазеры, сильноточные генераторы мощных импульсов электрического тока, ускорители заряженных частиц и возможные комбинации этих устройств).

В алмазных наковальнях два специальным образом ограниченных бриллианта сжимают тонкие (10–100 мкм) плоские слои исследуемого вещества до максимальных давлений мегабарного диапазона, верхний предел

которых определяется максимальной прочностью алмаза, порядка 0,5–1,0 Мбар. С одной стороны, неограниченное время статического сжатия позволяет применять широкий спектр средств диагностики, с другой стороны, возможности этого метода ограничены прочностью алмаза (самого прочного известного материала на Земле) и вряд ли выйдут за мегабарный диапазон давлений.

Дальнейшее продвижение по шкале высоких плотностей энергии связано с переходом к динамическим методам исследований, основанным на импульсной кумуляции энергии в исследуемом веществе при помощи мощных ударных волн либо электромагнитного или корпускулярного излучения различной природы.

При импульсном подводе энергии в веществе неизбежно возникают ударные волны. Они не только сжимают, но и разогревают вещество. По скорости их распространения исследователь может определить параметры вещества за фронтом ударной волны.

Техника мощных ударных волн, возбуждаемых столкновением металлических лайнеров (ударников), разогнанных до скоростей в несколько километров в секунду, с мишенью из исследуемого вещества, сегодня выступает основным источником физической информации о поведении плазмы при давлениях до 10–15 Мбар. В США для этих целей наибольшее распространение получили пороховые и легкогазовые метательные устройства — «пушки», в то время как в СССР и сейчас в России предпочтение отдается взрывным метательным устройствам.

Как увидеть, что происходит внутри? С помощью рентгеновской диагностики, когда с нескольких направлений вещество просвечивается в разные моменты времени.

Другой способ получить большие давления в веществе при условии очень высокой симметрии — использование мягкого рентгеновского излучения. «Для этого применяется установка «Ангара», — объясняет президент РАН. — Запасенная в ней электрическая энергия используется для получения интенсивных вспышек (в миллиарды раз более ярких, чем наше Солнце) мягкого рентгеновского излучения с последующей генерацией этим излучением мощных ударных или радиационных тепловых волн, либо для электродинамической генерации ударных волн, а также для электродинамического разгона металлических лайнеров».

Наконец, самая экзотика. Это эксперименты, проводимые в ближней зоне подземных ядерных взрывов, с получаемыми давлениями в миллиард атмосфер. При этом реализуются состояния вещества настолько высокоэнергетичные и высокотемпературные, что дальнейшее проведение экспериментов (с еще более высокими давлениями) становится бессмысленным, потому что дальше преобладающую роль начинает играть давление излучения, а не свойства вещества.

«Когда Сахаров работал над созданием термоядерного оружия, он говорил, что при очень больших давлениях ситуация упрощается и для теоретика это рай, имея в виду как раз эти эксперименты, — поясняет докладчик. — Мы фактически добираемся до области, где

излучение играет главную роль. Это очень важно для создания моделей уравнений состояния вещества, особенно в астрофизике. Собственно говоря, последние результаты относятся к давлениям до 50 млн атмосфер, высоким температурам и плотности около 10 г/см<sup>3</sup>. Это соответствует сжатию вещества в устройствах в 150 раз. В качестве примера можно сказать, что состояние вещества в центре Юпитера такими экспериментами вполне моделируется. Это имеет огромное значение, позволяя строить теоретические модели космических объектов исходя из реальных экспериментальных данных, которые мы получаем здесь, на Земле».

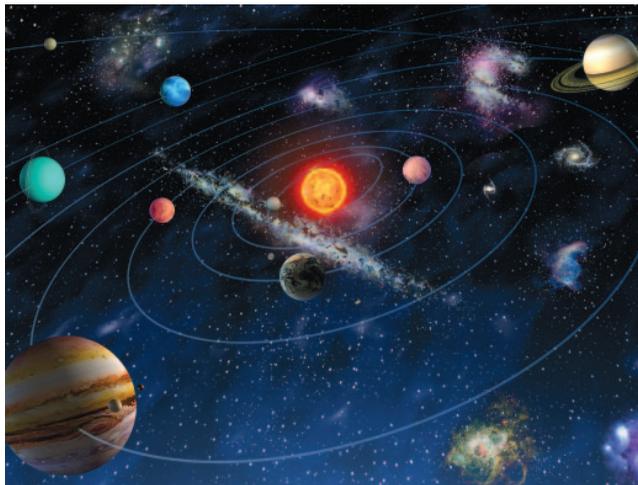
Владимир Фортов также обратился к темам моделирования поведения вещества (плазмы) внутри компактных звездных и межзвездных объектов, взрывов сверхновых, образования межгалактического газа и возникновения тяжелых элементов. Сложность описания этих процессов он компенсировал образами из литературы, обращаясь за примерами к китайскому эпосу. Для описания движения электронов в плазме докладчик воспользовался репродукцией картины Клода Моне «Кувшинки».

Завершила доклад демонстрация трансформации материи с момента Большого взрыва, образовавшего Вселенную, по настоящее время. На слайде, иллюстрировавшем этот процесс, Владимир Фортов отметил местонахождение современного человечества. Поясняя значение этого схематического изображения, докладчик отметил: «Чем большие значения давления и температур мы можем получить в своих наземных экспериментах, тем ближе мы подбираемся к Большому взрыву».

«Существующая сегодня экспериментальная техника позволяет получить состояния вещества, соответствующие состояниям через несколько микросекунд после Большого взрыва. Поэтому, — заключил глава академии наук, — можно сказать, что, занимаясь этой наукой и продвигаясь вперед, мы на самом деле идем назад и молодеем во времени. ■

*Подготовила Марина Лев*





**С**лово *κόσμος* означает «нечто упорядоченное в соответствии с правилами». Впервые оно встречается у Гомера. В «Илиаде» сказано, что доспехи воинов сложены «по космосу», т.е. правильно. Называть окружающий мир космосом в привычном для нас понимании начал в своих произведениях Пифагор.

Поучительна история изучения космического пространства с ее триумфальными и трагическими страницами. В поисках истины ученым приходилось порой жертвовать не только своим благосостоянием, но и жизнью. Благодаря их самоотверженности у нас есть возможность знать, что происходит в отдаленных уголках Вселенной.

Место проведения 40-й Научной ассамблеи COSPAR — Московский университет — было выбрано не случайно. Во-первых, потому что великий русский ученый, имя которого носит университет, был основоположником космических исследований в России. Во-вторых, судьба МГУ оказалось тесно переплетена с судьбой отечественной и мировой космонавтики и космических исследований.

### **Век XX: начало космической эры**

В октябре 1957 г. был запущен первый в мире искусственный спутник Земли — советский. На нем еще не было научной аппаратуры. Но уже на втором спутнике ученые МГУ во главе с академиком Сергеем Верновым провели первый космический эксперимент, установив счетчик Гейгера — Мюллера для регистрации космических лучей.

Благодаря этим исследованиям были открыты радиационные пояса. Принципиальную роль в выяснении их природы сыграл эксперимент, проведенный на третьем спутнике. Тогда в состав аппаратуры, разработанной в Институте ядерной физики МГУ (ИЯФ) и Физическом институте академии наук (ФИАН), входил детектор, позволивший установить наличие в околоземном пространстве двух пространственно разделенных областей. Первый — внешний электронный пояс, заполненный электронами с энергией около 100 кэВ и выше. Второй — внутренний, протонный, с гораздо более высокой энергией, около 100 МэВ.

# Жизнь В КОСМИЧЕСКОМ порядке

*Изучение космоса всегда было приоритетом в развитии науки. С него начинается тяга человека к познанию мира. Глядя в небо, люди осознавали, что жизнь зависит от смены дня и ночи, звезд на небе. Академик Виктор Антонович Садовничий, ректор Московского университета, в ходе ассамблеи COSPAR прочитал лекцию, в которой напомнил историю космических исследований в МГУ*

Природа создала рядом с Землей гигантские магнитные ловушки, заполненные заряженными частицами. Их открытие помогло обезопасить жизнь и здоровье первого космонавта планеты — Юрия Гагарина. Радиационные пояса — основной элемент риска в обеспечении безопасности пилотируемых полетов. Гагарин отправился в космос только после серии экспериментов по оценке радиационной опасности на предшественниках корабля «Восток». Всего с 1957 г. ученые МГУ совершили более 450 экспериментов на космических аппаратах. Значительная их часть касалась изучения космической радиации, космических лучей, проводились эксперименты в области рентген- и гамма-астрономии.

### **Луна и искусственная комета**

В 1958 г., когда готовился запуск космического аппарата на Луну, конструктор Сергей Королев обратился к астроному МГУ с просьбой наблюдать за полетом ракеты на расстоянии около 150 тыс. км от Земли. Подходящих радиосредств тогда не было. Иосиф Шкловский из ГАИШ МГУ предложил использовать метод искусственной кометы.

На борту спутника должно было происходить испарение небольшого количества натрия. Образующееся облако интенсивно рассеивало желтые лучи Солнца (явление резонансной флуоресценции). Это яркое облако отчетливо прослеживалось с Земли.

Ученые МГУ участвовали и в дальнейших исследованиях Луны: под руководством Юрия Липского была разработана техника предварительной обработки и дешифрования первых снимков обратной стороны Луны, построена карта, а в 1960 г. сделан первый глобус. С 1961 г. МГУ участвовал в экспериментах на борту 19 автоматических межпланетных станций серии «Венера» и 11 станций серии «Марс». Тогда были открыты солнечный ветер и связанные с ним динамические процессы, а также отсутствие радиационных полюсов у Венеры и Марса.

Для изучения спутника Марса Фобоса надо было построить модель его поверхности. Такую задачу пытались решить несколько научных учреждений СССР. Инициативная группа ученых из МГУ и ИКИ РАН под руководством Виктора Садовниченко создала модель, которую в дальнейшем использовали для решения навигационных и других задач.

### Полет в центрифуге

В конце 1970-х гг. прошлого века возникла задача создать прибор, имитирующий условия невесомости, для подготовки космонавтов. Ясно, что на Земле невозможно реализовать невесомость. Но еще в 1903 г. Константин Циолковский предложил использовать для тренировок перед пилотируемым полетом центрифугу.

В центрифуге с карданным подвесом удалось реализовать реакцию на невесомость двух самых важных групп механорецепторов в организме человека: барорецепторов системы кровообращения и механорецепторов вестибулярного аппарата. А скафандр с постоянным давлением воздуха внутри при изменении давления в кабине обеспечивает эффект, когда кровь приливает к голове, как в невесомости. Так центрифуга позволяет воссоздать нагрузку, при которой возникает вестибулосенсорный конфликт, аналогичный ощущениям на орбите.

В 1988 г. было создано имитационное моделирование всех трех этапов космического полета: перегрузок при подъеме на орбиту, полета в невесомости и управляемого спуска, который происходит в экстремальных условиях визуальной дезориентации после схода с орбиты.

### «Татьяна», «Ломоносов» и другие

МГУ был основан по приказу Екатерины II 25 января, в Татьянин день. 225-летний юбилей в 2005 г. МГУ отметил запуском спутника «Татьяна». Так начался новый этап космических исследований в университете. За первой «Татьяной» вскоре последовала и вторая. На борту спутника «Татьяна-2» была установлена аппаратура для исследования околоземного космического пространства, радиации и свечений в верхней атмосфере в УФ-диапазоне. Изучение атмосферных свечений привело к исследованию новых, очень быстрых и весьма энергичных явлений — атмосферных транзиентов.

После этого в МГУ появилась целая серия спутников. Вместе с индийскими коллегами был запущен спутник «Ютсад». 8 июля этого года с космодрома Байконур отправился в космос спутник «РЭЛЕК», аппаратура на борту которого разработана научными сотрудниками МГУ

вместе с коллегами из РАН и ряда зарубежных университетов. Сейчас «РЭЛЕК» исследует радиационную обстановку в окрестностях Земли, в дальнейшем станет изучать воздействие радиации на атмосферу. Осенью ожидается запуск прибора «Нуклон» для изучения космических лучей. А в следующем году с космодрома «Восточный» будет запущен новый спутник МГУ «Ломоносов», фактически представляющий космическую лабораторию для изучения экстремальных явлений в нашей Вселенной. Эксперименты «Ломоносова» позволят заглянуть в гамма-всплески. Другой эксперимент на борту «Ломоносова» — попытка зарегистрировать космические лучи предельно высоких энергий, самых больших из наблюдаемых до сих пор. Их природа пока не известна.

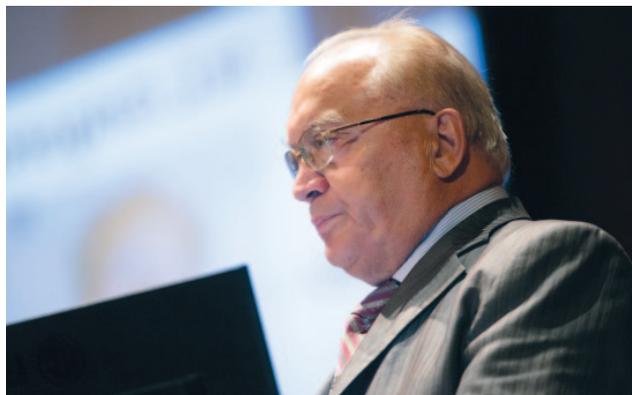
### Мастер считать звезды

У Московского университета есть сеть телескопов-роботов «Мастер» — небольших двойных телескопов с полем зрения 80 квадратных градусов. Они снабжены сверхбыстрыми устройствами наблюдения: телескоп способен за десятки секунд наводиться на любую точку неба по сигналу с космических обсерваторий. Так проводятся наблюдения гамма-всплесков — самых мощных взрывов во Вселенной. Система занимает первое место в мире по количеству самых быстрых наведений на гамма-всплески. Так наблюдали, например, гамма-всплеск 11 января 2012 г. — не что иное, как формирование черной дыры на расстоянии многих миллиардов световых лет от Земли.

### Сверхсильная творческая энергия

«Режиссер Микеланджело Антониони спросил Иосифа Шкловского, возможно ли с точки зрения науки, чтобы дети запустили воздушного змея и он улетел в космос. Шкловский ответил отрицательно, — рассказал слушателям Виктор Садовнический. — Но мы часто подходим к Вселенной с земной меркой, а ребенок может дать волю фантазии». В НИИЯФ МГУ есть проект, задача которого — помочь подрастающему поколению определиться с выбором профессии. Возможно, в ком-то из ребят проявятся доброта Циолковского, целеустремленность Королева, самоотверженность Гагарина. И наша земная жизнь потечет «по космосу».

*Подготовила Марина Лев*





# Планы на космос

*Сейчас в космосе работает не так уж много российских аппаратов, хотя наши ученые участвуют в ряде международных проектов. Но у России большие планы на будущее, в том числе обширная лунная программа, запуск космических обсерваторий и многое другое. Обзор российской космической программы представил на COSPAR директор Института космических исследований РАН Лев Матвеевич Зеленый*

**В** ходе доклада 2 августа на COSPAR Лев Зеленый выделил четыре основных направления исследований: космическая плазма и физика Солнца, развитие астрономических наблюдений из космоса, исследования планет Солнечной системы, а также Луны и других малых тел, проекты по изучению влияния невесомости и других факторов на живые организмы. О последнем направлении на конференции также рассказал Олег Игоревич Орлов, заместитель директора Института медико-биологических проблем РАН.

## Солнце

Для исследования физических процессов в магнитосфере Земли, в частности поведения плазмы и механизмов образования полярных сияний, на 2017 г. запланирован российский проект «Резонанс», который предполагает запуск двух пар одинаковых спутников. Для исследований солнечно-земных связей предназначен и проект «Интергелиозонд» — запуск двух аппаратов к Солнцу в 2022 г. Они будут двигаться за счет гравитационных маневров у Венеры и выполнять измерения, которые позволят ученым исследовать атмосферу Солнца с близкого расстояния и получить стереоизображение выбросов солнечного вещества из короны Солнца.

## Космические телескопы

Сейчас на орбите Земли работает международный рентгеновский телескоп «Интеграл», запущенный в 2002 г. Три года назад в космос полетел российский космический аппарат «Спектр-Р» («Радиоастрон»). Ключевая научная программа проекта — составление атласа активных ядер галактик, который уже помог астрономам выяснить, что джеты, тонкие пучки плазмы, «выплываемые» сверхмассивными черными дырами в ядрах галактик, намного горячее, чем считалось. С помощью этого телескопа были также обнаружены линзы

в межзвездной среде — турбулентности, которые фокусируют излучение астрономических объектов. В 2017 г. планируется запуск обсерватории «Спектр-РГ», предназначенной для создания полной карты неба в рентгеновском и гамма-диапазонах. Ученые смогут обнаружить с ее помощью до 100 тыс. скоплений галактик, до 3 млн новых ядер активных галактик, в центре которых находятся сверхмассивные черные дыры, и до 500 тыс. звезд в нашей Галактике, активно излучающих в рентгеновском диапазоне.

В 2020 г. в космос должна отправиться российская астрофизическая обсерватория «Спектр-УФ» («Всемирная космическая обсерватория — Ультрафиолет»), предназначенная для наблюдений в недоступном для наземных телескопов участке ультрафиолетового спектра. С ее помощью астрономы планируют изучать физические процессы в ранней Вселенной, образование звезд, эволюцию галактик, процессы падения вещества в черные дыры, атмосферы планет и комет.

Среди других проектов Зеленый отметил рентгеновский «микрофон» для «прослушивания» черных дыр и орбитальную лабораторию *OLVE* для изучения химического состава космических лучей с энергиями до  $10^{18}$  эВ.

## Луна

Сейчас Россия участвует в работе американского космического аппарата *Lunar Reconnaissance Orbiter*, запущенного в 2009 г. С его помощью ученые исследуют

состав поверхностного слоя реголита Луны и составляют карту потока нейтронов, идущего от поверхности. Российскими учеными для *LRO* был изготовлен нейтронный телескоп *LEND* (*Lunar Exploration Neutron Detector*), данные которого позволили найти лед лунных полюсов.

Но планы России по освоению Луны обширны. Начало лунной программы планируется на 2017 г. Сначала на Луну отправится зонд «Луна-25», основная цель которого — отработка технологий посадки на спутник. В 2018 г. должен полететь орбитальный зонд «Луна-26», он будет изучать магнитные и гравитационные поля Луны и ее экзосферу в течение двух лет. В 2019 г. стартует «Луна-27» для исследований летучих веществ, содержащихся в лунном грунте. Далее планируется отправка аппарата «Луна-28», который должен будет привезти на Землю образцы лунного грунта, и лунохода «Луна-29».

## Марс

Российские специалисты изготавливали приборы для зондов, работающих на орбите Марса, с начала 2000-х гг. Так, американский *Mars Odyssey* оснащен нейтронным детектором *HEND* (*High Energy Neutron Detector*), с помощью которого была впервые составлена карта марсианской вечной мерзлоты. А европейский *Mars Express* оборудован тремя спектрометрами, в изготовлении которых принимали участие российские специалисты. С помощью одного из них в облачном слое Марса было выявлено значительное количество метана, который может иметь и биологическое происхождение.

В 2012 г. на Красную планету совершил посадку марсоход *Curiosity*. Российские ученые разработали для него детектор ДАН (сокращение от «Динамическое альbedo нейтронов»), который определяет содержание водорода вдоль трассы движения марсохода.

В планах России — участие в проекте *ExoMars*. Этот проект предполагает отправку в 2016 г. орбитального зонда для исследования Марса и высадку на его поверхность посадочного модуля, а в 2018 г. — отправку марсохода. На орбитальном зонде на Марс полетит российский прибор *FREND* (*Fine Resolution Neutron Detector*), с помощью которого ученые планируют произвести разведку воды под поверхностью Марса с точностью, в десять раз превышающей возможности нейтронного детектора *HEND*. Для орбитального зонда российская сторона готовит комплекс спектрометров, который позволит получить данные о распределении в атмосфере Марса метана — одного из важнейших газов, обеспечивающих парниковый эффект. А для марсохода российские специалисты разрабатывают посадочную платформу.

В более отдаленных планах российских ученых — еще одна попытка доставки грунта со спутника Марса Фобоса в 2024 г. (новая экспедиция будет исследовать и другой спутник Марса — Деймос).

## Юпитер

В российских космических планах также значится подготовка миссии к Юпитеру — проект «Лаплас». Он

предполагает отправку посадочного зонда на спутник Юпитера Ганимед, где под многокилометровым слоем льда может существовать жидкий океан.

## Венера

В 2005 г. к Венере был запущен аппарат *Venus Express* с целью провести комплексные исследования атмосферы, плазменной оболочки и поверхности планеты. На его борту установлен спектрометр *SPICAV* (*Spectroscopy for Investigation of Characteristics of the Atmosphere of Venus*) и другие приборы, созданные с участием российских специалистов. Далее Россия планирует проект по исследованию Венеры — «Венера-Д», который предполагает отправку к планете орбитального аппарата, посадочного модуля и малого спутника.

## Меркурий

На 2016 г. намечено участие в европейском проекте *VepiColombo*, одна из задач которого — поиск водяного льда на полюсах планеты. Для решения этой задачи в ИКИ РАН разработан прибор МГНС (Меркурианский нейтронный и гамма-спектрометр). Кроме того, приборы для исследования экзосферы Меркурия, также сделанные в ИКИ РАН, будут стоять на обоих (европейском и японском) аппаратах этой миссии.

## Эксперименты на МКС

Из экспериментов, проводящихся на МКС, Лев Зеленый в своем докладе упомянул эксперимент «РУСАЛКА» (РУчной Спектральный Анализатор Компонентов Атмосферы), задача которого — анализ распределения парниковых газов в атмосфере, а также эксперимент «БТН-Нейтрон», цель которого — собрать информацию о потоках нейтронов в широком энергетическом диапазоне на околоземной орбите.

Недавно начал работать новый эксперимент, подготовленный в ИКИ, под названием «Обстановка», задача которого — исследование всех электромагнитных излучений, естественных и антропогенных, на Земле и на станции, что важно для понимания как экологической обстановки на станции, так и механизмов генерации электромагнитных волн в ионосфере Земли. Эксперименты на МКС и спутнике «Бион-М1» также позволяют исследовать влияние космической среды на живые организмы.

## Защита от астероидов

В 2004 г. сенсацию вызвало открытие астероида Апофис — первоначальные расчеты показывали, что он может столкнуться с Землей в обозримом будущем. Но последние выкладки специалистов NASA «закрыли» сенсацию, поскольку показали, что вероятность столкновения на самом деле очень мала. Тем не менее в российских планах значатся полет к этому астероиду и его исследование. Однако, как пояснил Лев Зеленый, в космической программе этот проект конкурирует с проектом исследования Фобоса, и его судьба пока не определена. ■

Подготовила Екатерина Боровикова



# Два президента *COSPAR*: как нам перестроить Вселенную

*На прошедшей научной ассамблее стало известно о смене президента COSPAR. Вместо итальянца Джованни Биньями, избранного главой комитета в 2010 г., его теперь возглавит американец Ленард Фиск. Чем различаются их представления о роли комитета и будущем космических исследований, корреспонденты «В мире науки» выяснили в интервью с ними обоими*

**Д**жованни Биньями — глава Национального института астрофизики Италии, профессор, член совета Европейского космического агентства (ЕКА), президент Международного комитета по космическим исследованиям с 2010 г. до августа 2014 г.

**— COSPAR существует уже 50 лет. Политическая ситуация, в которой он создавался, изменилась. Какие произошли трансформации?**

— Да, COSPAR появился в 1958 г., сразу после первого запуска спутника, и, конечно, совсем в другом мире. Он был создан со специальной целью — позволить ученым Запада и Востока свободно общаться, вместе заниматься наукой в космосе. Эта цель осталась неизменной с 1958 г. до сих пор. Политические трения существуют, и космос — сфера, затронутая коммерческими и милитаристскими интересами. А мы в COSPAR остаемся независимыми.

**— Давайте поговорим о глобальных вещах. Что изменится в жизни, в космических исследованиях в следующие 50 лет?**

— Сложный вопрос. Давайте начнем с 6 августа, когда космический зонд ЕКА *Rosetta* вошел в контакт с кометой. И это имеет огромное значение: впервые мы делаем фотосъемку кометы с расстояния нескольких километров, когда зонд обращается вокруг нее. Это важно, потому что кометы — фундаментальная часть нашей Солнечной системы.

Через некоторое количество лет ЕКА и Федеральное космическое агентство РФ совместно планируют посадку на Марс. И дальше нас ограничивают только небеса — запланировано много миссий, в том числе совместных, американских, китайских, русских, европейских, японских, со всего мира.

**— Как вы считаете, должны ли люди сами лететь в космос, а не посылать туда автоматы?**

— Я верю, что это нужно делать, потому что верю в потребность людей исследовать космос. Так было на протяжении всей эволюции человеческой расы. *Homo sapiens* завоевал планету, потому что в нем была жажда исследования. Она никуда не делась, и нужно двигаться вонне.

— **Думаете ли вы, что мы должны жить на Марсе, сделать его своим домом?**

— Дом — вряд ли, там не самая приветливая окружающая среда. Хуже, чем зимой в России! Очень холодно, к тому же марсианская зима длится вдвое дольше, чем русская, потому что орбита Марса длиннее орбиты Земли. Тем не менее это крайне важно — исследовать Марс сейчас. Например, чтобы понять, зарождалась ли жизнь на этой планете, как в свое время на Земле.

— **Как вы относитесь к преобразованию почвы Марса с помощью цианобактерий?**

— Легко сказать. Но сделать такое на практике... Я уверен, конечно, что это совершенно реально, но только с одним ограничением: перестраивание всего Марса займет много сотен тысяч или миллионов лет. Например, кислород есть на Земле, мы им дышим, потому что на Земле есть жизнь. Но она зародилась миллиарды лет назад. Очень давно. Кто тогда создал атмосферу?

— **Нужно ли человечеству отправиться за пределы Солнечной системы? Жить на экзопланетах?**

— Да. Но это, повторю, будет большой технологический вызов. Пока у нас нет даже двигателей для таких целей. Есть ракеты, которые могут забросить нас на Луну, можно представить себе аппараты для отправки на Марс или даже для путешествия по Солнечной системе. Ближайшая к нам звезда — *α Centauri* (Альфа Центавра) — находится на расстоянии в миллион раз больше расстояния между Землей и Солнцем. Это долгий путь. Но если не вы, то ваши дети обязательно увидят все это.

**Л**еннард Фиск — профессор Мичиганского университета (США), специалист-теоретик в области физики солнечной атмосферы и гелиосферы. В 1987–1993 гг. он был руководителем подразделения космической науки и приложений NASA. В феврале 2013 г. профессор Фиск назначен национальным представителем США в COSPAR.

— **40-я ассамблея COSPAR в Москве подошла к концу. Оцените, насколько удачной она оказалась.**

— Это была замечательная конференция, одна из лучших ассамблей COSPAR. Она стала символом того, что мы можем сделать, независимо от геополитических факторов, которые помешали некоторым странам участвовать.

— **Какую роль COSPAR играет в международных космических исследованиях?**

— Миссия COSPAR заключается в том, чтобы продвигать международную кооперацию. Мы осуществляем это, оказывая помощь науке. Все участники ассамблеи обмениваются результатами своей работы с коллегами, что позволяет им договариваться о будущем сотрудничестве.

Что касается ведущих космических агентств и программ, то COSPAR отвечает, в частности, за планетарную защиту в соответствии с Договором о принципах деятельности государств по исследованию и использованию космического пространства в рамках программы

ООН. Наконец, один из столпов, на которые опирается программа COSPAR, — поддержка космических агентств и программ в развивающихся странах.

— **Что означает «планетарный карантин»?**

— Точнее сказать — планетарная защита. Когда мы отправляем космический аппарат на другие планеты, мы хотим быть уверены, что не заносим земные формы жизни на эти планеты, не загрязняем их. Существуют протоколы, которые поддерживает COSPAR.

— **Какие проекты и доклады на нынешней ассамблее вы могли бы упомянуть? Что вам запомнилось и показалось важным?**

— Была особенно интересной интердисциплинарная лекция по Планку. И, безусловно, кто может забыть выход зонда *Rosetta* на орбиту кометы Чурюмова — Герасименко? Точное совпадение во времени. Не помню, чтобы наши российские организаторы это планировали четыре года назад, начиная подготовку, но очень впечатляющее было зрелище, когда *Rosetta* добралась до кометы.

— **Это ваш первый визит в Россию?**

— Последний раз я здесь был в 1987 г. А первый — во время COSPAR 1970 г. в Ленинграде, мы летели через Москву. Удивительное время. Моя жена путешествовала со мной, она была беременна нашим первенцем. Мы тогда были молоды и поступали безрассудно. Это было время вызовов — разгар холодной войны.

— **Вы не чувствуете сейчас напряженность ситуации?**

— Я не думаю, что наши времена напоминают холодную войну. Одно из базовых отличий: в 1970-е гг. наши ядерные ракеты были направлены друг на друга. Сейчас есть напряженность в экономических отношениях. Это задает совсем другую динамику взаимодействия. Мы тесно связаны и именно поэтому должны находить пути решения проблем. Сегодня все совсем иначе. Не холодные, а прекрасные отношения. (*В оригинале игра слов: not cold — «холодный», but cool — «прохладный; классный, отличный».*) Поверьте, я достаточно стар, чтобы знать, что такое настоящая холодная война.

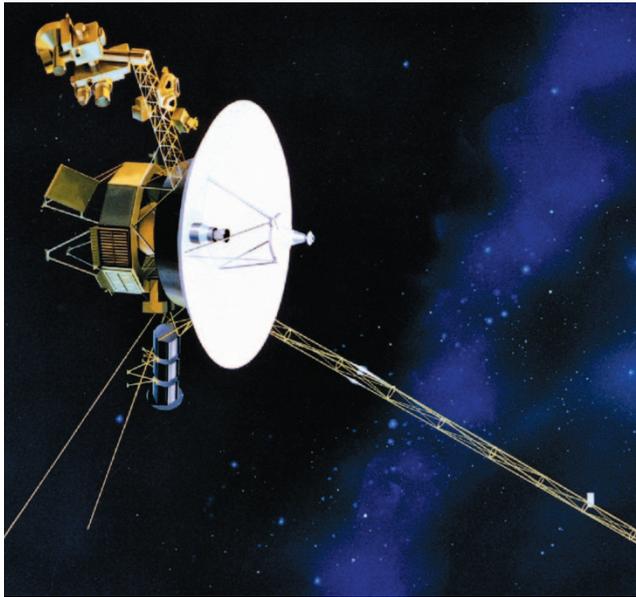
— **Чего нам следует ожидать от космических исследований в ближайшие 50 лет? Какими будут следующие миссии?**

— Ответ здесь очень расплывчат. В гелиофизике — надеюсь, что за 50 лет мы получим возможность абсолютно точно предсказывать влияние Солнца на Землю. В других дисциплинах я очень жду, когда обнаружат формы жизни где-нибудь во Вселенной.

— **Думаете ли вы, что полет человека за пределы Солнечной системы возможен?**

— Для этого нужен серьезный технологический прорыв. Нужно изобрести что-то, чего мы сегодня не знаем. Посмотрите на «Вояджеры»: только сейчас они покидают Солнечную систему, а ведь запущены 35 лет назад. Возможности ракет сейчас очень ограничены. Вероятно, надо придумать космический корабль, в котором люди могут жить, рожать детей, будут сменяться поколения. С нынешними технологиями все это пока невозможно. ■

*Беседовали Марина Лев и Мария Молина*



## Аппараты: Межпланетные зонды «Вояджер-1», «Вояджер-2»

**Представитель:** Эдвард Стоун, профессор Калифорнийского технологического института (США), бывший директор Лаборатории реактивного движения NASA, научный руководитель проекта «Вояджер».

В 1977 г. для исследования Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна были запущены два космических аппарата, «Вояджер-1» и «Вояджер-2». Они до сих пор путешествуют в космическом пространстве. 25 августа 2012 г. «Вояджер-1» вышел за пределы гелиосферы и начал передавать первые результаты наблюдений межзвездной среды.

— **Господин Стоун, расскажите, как это — всю жизнь вести один проект?**

— Это был подъем эмоций, больше чем расчет, и никто не думал, что проект продлится так долго.

— **Ожидали ли вы увидеть все четыре планеты — Уран, Нептун, Юпитер и Сатурн?**

— Мы надеялись «поймать» все четыре. Отчасти это вопрос удачи, а отчасти — хорошей конструкции: «Вояджер-2» проделал весь 12-летний путь до Нептуна довольно успешно, не говоря о том, что теперь аппараты провели в космосе уже 37 лет.

— **С какими трудностями вы столкнулись при съемке Нептуна?**

— Одна из проблем была в том, что Солнце там такое далекое, что освещенность крайне низка, и аппарат не был приспособлен для съемки в таких условиях. Нам пришлось увеличить продолжительность экспозиции.

# Космические разведчики

*Знаменитые аппараты, с помощью которых человечество знакомится с настоящим и будущим Солнечной системы, представляют читателям журнала «В мире науки» сами разработчики и ведущие этих проектов*

Поэтому мы должны были провести маневрирование аппаратом так, чтобы убрать смазывание, неизбежно возникающее при длительной экспозиции (импульсы двигателей заставляют космический зонд слегка покачиваться). Нам нужно было осуществить массу операций, чтобы отснять Нептун.

— **Как вы и Карл Саган пришли к идее «семейного портрета» (фотографии всех планет Солнечной системы)?**

— Карл Саган придумал знаменитые пластинки для зондов «Пионер-10» и «Пионер-11», тех самых, что стали первыми космическими аппаратами, отправившимися к Юпитеру (алюминиевые пластинки, на которые нанесена символическая информация о человеке и Земле, отправившись в космос на борту «Пионеров»). Он очень интересовался идеей «Великого путешествия» (*Great Tour*, официальное название посещения всех четырех планет-гигантов одним аппаратом — «Вояджером-2»). Я думаю, здесь и появилась эта идея: когда мы окажемся за всеми планетами, мы сможем посмотреть назад, впервые — и при этом имея камеру. Это и сделали «Вояджеры».

— **Что вы считаете границами Солнечной системы и гелиосферы? Вышли ли «Вояджеры» сейчас из них?**

— Солнечная система значительно больше, чем гелиосфера сама по себе. Гелиосфера — пузырь, заполненный атмосферой Солнца. За ее пределами находится материя, поступающая из внешних источников, но еще есть огромное облако, которое называют облаком Оорта, и потребуется 3 тыс. лет, прежде чем «Вояджеры» доберутся до внутреннего края облака Оорта, которое тоже — часть Солнечной системы, и 30 тыс. лет, прежде чем они окажутся снаружи того, что на деле есть Солнечная система.

— **Как долго мы еще будем получать сигналы от «Вояджеров»?**

— У нас достаточно мощности, так что ничто не прерывается. Мы должны иметь возможность получать их сигналы как минимум до 2025 г.

— **Какая будет следующая миссия? Нужно ли отправить более технологичный зонд с теми же задачами?**

— Стоит надеяться, что придет день, когда мы сможем найти способ сделать аппараты значительно более быстрыми и внедрить куда более современные алгоритмы, чем алгоритмы 40-летней давности, которые, как и прежде, работают на «Вояджерах». Это вопрос мощности компьютера: например, в вашем смартфоне в 30–40 раз больше памяти, чем в «Вояджере».

## Аппарат: Марсианская научная лаборатория Curiosity

**Представитель:** Сушил Атрейя, профессор Мичиганского университета (США), соруководитель группы прибора SAM (*Sample Analysis at Mars*, «анализ образцов на Марсе») марсианской научной лаборатории *Curiosity*.

Марсианская научная лаборатория (*Mars Science Laboratory, MSL*) — миссия NASA, в ходе выполнения которой на Марс был успешно доставлен и эксплуатируется марсоход третьего поколения *Curiosity*. Запуск состоялся 26 ноября 2011 г., посадка на планету — 6 августа 2012 г. Предполагаемое время работы по программе составило 686 земных дней, реальное время нахождения на орбите — 739 дней.

— **Господин Атрейя, расскажите, как много времени потребовалось, чтобы подготовить *Curiosity* к запуску на Марс?**

— С момента, когда проект марсохода был официально одобрен NASA, прошло десять лет, за которые он был построен. Но это только время, понадобившееся после официального разрешения, чтобы собрать сам марсоход. До этого мы занимались подготовкой компонентов марсохода. Это тянулось около 20 лет.

— **Какова цель его работы на Марсе?**

— Миссия *Curiosity* — выяснить, есть ли на Марсе место, подходящее на роль потенциального обиталища микроорганизмов в прошлом или сейчас. И это его основная цель, концепция проекта.

— **Как была выбрана площадка для приземления *Curiosity*, почему именно рядом с вулканом Гейла? Почему не другой вулкан, например Олимп, чье извержение могло когда-то погубить Марс?**

— Мы выбрали кратер Гейла из большого списка из 65 мест, куда можно было приземлиться. Проектно-технической группе годились все 65 позиций. У нас были некоторые ограничения, например по широте — 60° к северу, 60° к югу, по долготе точки приземления.

Мы выбрали кратер Гейла, потому что наблюдали это место из космоса предварительно. Наблюдения показали, что в этом районе есть глинистые почвы. На Земле

такие почвы позволяют предполагать, что на этом месте смесь земли, песка и биогенных веществ попала в воду, а потом, в свою очередь, осела и сформировала глины. И поэтому, увидев глинистые почвы, мы сказали: «Отличное место для посадки!» Но глина была и в других местах, так что это был не единственный критерий. Мы также отметили эту гору в центре кратера. У подножия горы обнажены осадочные слои, и если вы посмотрите на них, то получите представление о геологической истории места. Это была очень привлекательная точка: не очень далеко есть гора, к которой можно подойти, роверу не нужно передвигаться на тысячу километров, всего только около десяти. Сам по себе район тоже интересен — с точки зрения глины, которая может указывать на воду. Здесь могут быть биогенные вещества, поэтому есть вероятность найти следы существования жизни в прошлом.

Я хотел бы еще раз сделать акцент: миссия марсохода была именно в том, чтобы выяснить, есть ли вероятность существования жизни, а не найти ее. Если вы собираетесь искать собственно формы жизни, нужно искать органические остатки. Мы можем заняться этим позже, но для начала мы должны выяснить, возможно ли в принципе существование здесь жизни.

— **Можете ли вы подробнее рассказать, что марсоход способен делать?**

— *Curiosity* ищет разные вещи. Мы анализируем всю информацию, поступающую от него, чтобы понять, могли ли в этом районе появиться жизнь и микроорганизмы. Инструменты ровера делают замеры, способные дать нам представление об этом. Сейчас он движется туда, где высока вероятность обнаружения органики. Она будет там, где может быть тающий лед. Однако на поверхности вы ее не найдете, потому что все, что на ней, облучается космической радиацией, а вулканические почвы окисляются на поверхности, так что там органику не найти. И тогда возникает желание пробурить лед.

Здесь мы снова возвращаемся к геологии этих горных пород — как долго они были подвержены радиации? Посмотрите на обнаженные слои, находящиеся на нижних склонах горы Эолиды (горы Шарпа), куда мы направляемся. Там значительно больше возможность обнаружить органику, мы на это очень надеемся.

— **Как долго *Curiosity* будет работать на Марсе?**

— В целом он закончил свою первоначальную миссию. Она была рассчитана, как мы предполагали, на два года, которые истекли совсем недавно. Но все работает отлично.

Есть определенные ограничения на дальнейшую работу ровера, и мы не можем пользоваться всеми его инструментами, однако некоторые из них будут использоваться, так что надеемся, что марсоход еще поработает как минимум пять-десять лет. Даже если часть техники сломается, мы сможем работать с другой. ■

Беседовали Марина Лев и Мария Молина



**Т**елескоп *Planck* запущен в точку Лагранжа 14 мая 2009 г. с космодрома Куру. Основная его цель — построить новую карту реликтового микроволнового излучения (СМВ, *cosmic microwave background*), другими словами, строить карту остатков Большого взрыва.

Реликтовое излучение — то самое, которое возникло в начале существования Вселенной, когда образовывались первые атомы. Оно было испущено через 380 тыс. лет после Большого взрыва, предсказано Георгием Гамовым, за его открытие в 1965 г. Арно Пензиас и Роберт Вильсон получили Нобелевскую премию 1978 г. по физике.

На борту аппарата стоял телескоп с зеркалом 1,9 x 1,5 м, который направлял микроволновое излучение в два приемника. Один — низкочастотный, или *LFI*, — работал с длинами волн от 4 до 10 мм, другой — высокочастотный, или *HFI*, — с длинами волн от 0,35 до 1 мм. Работой *HFI* как раз и руководил Жан-Лу Пуже, представивший результаты на лекции в ходе ассамблеи *COSPAR*. Основная часть миссии была завершена в ноябре 2010 г., расширенная — в январе 2012 г. 23 октября 2013 г. аппарат был выключен и навсегда остался в системе «Земля — Солнце». Первый итоговый массив результатов появился в марте 2013 г. — 30 больших научных статей, в основном в журнале *Astronomy & Astrophysics*.

Какие основные результаты «первой волны»? В нашей Вселенной оказалось чуть больше простого вещества, чем считалось: 4,9%. Остальная масса — это темная материя и темная энергия. По данным *Planck*, темной материи во Вселенной 26,8% (против 22,7% по данным *WMAP*) и 68,3% — темной энергии (против 72,8% по *WMAP*).

Удалось уточнить постоянную Хаббла, которая говорит об интенсивности расширения Вселенной. Раньше считалось, что она равна 70 км/с/Мпк (т.е. галактики на расстоянии в 1 Мпк разбегаются со скоростью в 70 км/с). По новым данным, постоянная Хаббла равна 67,3 км/с/Мпк. Из этой постоянной можно уточнить и возраст нашей Вселенной — он оказался равным 13,8 млрд лет (предыдущая оценка — 13,75). Кроме этого, *Planck* подтвердил, что геометрия нашего пространства удивительно плоская.

# Прицел на реликтовый фон

*С лекцией о результатах европейского телескопа Planck выступил Жан-Лу Пуже, руководитель проекта одного из инструментов, установленных на телескопе. В следующем году исполнится ровно 20 лет работы Пуже в этой должности*

Однако на этих фундаментальных выводах работа с полученным массивом данных не заканчивается. Главная цель «второй волны» обработки данных *Planck* — изучение поляризации реликтового излучения и достоверное открытие так называемой *B*-моды поляризации микроволнового реликтового фона.

Картина поляризации реликтового излучения на небе может быть представлена в виде поля векторов. Такое поле бывает двух типов, они называются *E*-модой и *B*-модой. Если будет обнаружена *B*-мода поляризации реликтового излучения, это будет означать существование реликтовых гравитационных волн и прямое подтверждение теории инфляции.

Инфляция — самое первое время до Большого взрыва, когда сингулярность (микроскопический зародыш Вселенной за мгновения до Большого взрыва) внезапно расширилась на десятки порядков. Это происходит за 10–35 с. После этого поле «выгорает», превращаясь в частицы; мы называем это Большим взрывом.

Одно из следствий теории инфляции — гравитационные волны, возникшие во время такого расширения. *B*-моду поляризации могут дать только гравитационные волны — и только реликты инфляции.

В марте 2014 г., казалось, грянула сенсация: научная группа, работавшая с маленьким микроволновым телескопом *BICEP2*, расположенным на Южном полюсе, заявила об открытии *B*-моды в наблюдениях 2010–2012 гг.

Однако специалисты до сих пор сомневаются в том, что все искажения были учтены. Только *Planck* мог их учесть. Если в самом ближайшем будущем его данные подтвердят существование *B*-моды, это будет означать одну или две Нобелевские премии по физике. ■

*Подготовил Алексей Паевский*



# Сети для внеземного разума

*Одинок ли мы во Вселенной? Исследования в этом направлении объединяются под общим названием SETI (Search for ExtraTerrestrial Intelligence). Вероятно, жизнь на других планетах может не только существовать, но и обладать развитой цивилизацией. Носители внеземного разума могут использовать технические устройства связи, и сигналы этих устройств могут быть нами приняты или «подслушаны»*

О том, как развиваются исследования в этом направлении сегодня, рассказывает Леонид Гурвиц, ведущий исследователь Европейского объединенного радиоинтерферометрического института (Нидерланды).

— Современные технические средства, которые могут быть задействованы для поисков внеземного разума, несравнимо мощнее тех, которыми располагали исследователи 50 лет назад. Появились телескопы, которые по своей чувствительности на порядки превосходят то, что было доступно всего лишь 10–20 лет назад. Например, современные радиотелескопы могут зарегистрировать сигнал, по мощности сопоставимый с сигналом обычного мобильного телефона, находящегося на расстоянии, многократно превышающем размеры Солнечной системы.

Один из радиотелескопов последнего поколения — LOFAR (LOW Frequency ARray). Эта удивительная машина при поверхностном взгляде не впечатляет: простейшие антенны, проволочки, которые может спаять школьник, незатейливый усилитель, но фантастически совершенная цифровая электроника. Этот телескоп, состоящий из примерно 40 «станций», разбросанных по территории Европы, позволяет работать в диапазонах длин волн, до сих пор подробно не освоенных. Этот телескоп уже действует, но он — не последнее слово радиоастрономической техники. Следующий шаг — радиотелескоп SKA (Square Kilometre Array). Это международный научный проект, цель которого — создание радиотелескопа с эффективной площадью в квадратный километр.

Уместно упомянуть, что предварительные исследования по созданию такого телескопа велись в Советском Союзе Советом по радиоастрономии Академии наук СССР в первой половине 1980-х гг. Я хорошо помню эти работы. К сожалению, они остановились более 25 лет назад, тем не менее сама идея выжила и теперь будет реализована. SKA — если вновь вернуться к мобильным телефонам — сможет регистрировать такую игрушку не только в Солнечной системе, но и в ее окрестностях, включая соседние звезды.

Но как сформулировать критерии, которые позволят выявить в космосе то, что нас интересует? Это требует нового взгляда на проблему: нужны математики, лингвисты, специалисты по распознаванию образов. В этом направлении сейчас тоже происходит много интересного. Может быть, сочетание новых технических возможностей и нового взгляда на алгоритмы поиска сигнала позволит действительно продвинуться в поиске внеземного разума. На научной сессии конференции COSPAR многие сравнивали этот процесс с поиском иголки в стоге сена. Но применительно к проблеме SETI высота стога сена, в котором мы ищем иголку, — от Земли до Луны. Это задача невероятной сложности, но она решаема.

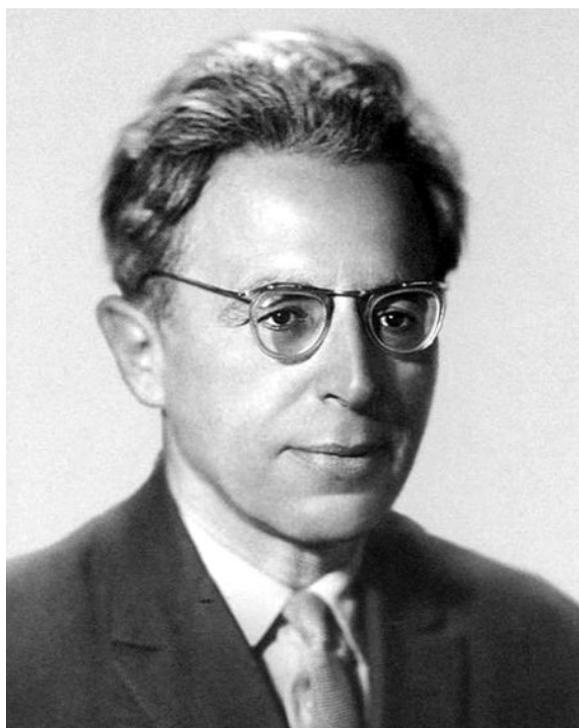
Не исключено, что цивилизации, нам неведомые, предпочитают использовать для связи другой диапазон длин электромагнитных волн: оптика, ультрафиолет, рентген и более высокие энергии. Поиск разумных сигналов в этих диапазонах практически не начинался. Наконец, есть другие типы излучения, прежде всего гравитационные волны. Однако прежде чем говорить об их применении для поиска цивилизаций, надо научиться уверенно их детектировать. ■

Подготовила Екатерина Боровикова

Академик Н.С. Кардашев:

# «МЫ СТОИМ на пороге

удивительных  
открытий  
в астрономии»



И.С. Шкловский (1.07.1916–3.03.1985) — выдающийся советский астрофизик, основоположник всеволновой астрономии

**И**сполнилось 100 лет со дня рождения выдающегося советского ученого, одного из основоположников отечественной астрофизической науки, члена-корреспондента академии наук Иосифа Самуиловича Шкловского. Его ученик академик **Николай Семенович Кардашев** руководит Астрокосмическим центром Физического института Российской академии наук (АКЦ ФИАН). Этот центр в последние годы стал известен прежде всего тем, что пять лет назад запустил грандиозный космический проект «Радиоастрон», который и сегодня успешно работает на орбите.

— **Николай Семенович, в институте недавно прошла международная конференция, посвященная 100-летию вашего великого учителя. Вы довольны результатами ее работы?**

— Конференция прошла очень хорошо. Для меня это тем более важно, что почти до самого ее начала мы волновались, состоится ли конференция, удастся ли ее организовать. Не секрет, что сейчас трудное положение для науки — с финансированием,



Возможно, где-то совсем рядом с нами есть какое-нибудь «окошко», через которое можно «выглянуть» в другие вселенные или попасть туда. Рассуждать об этом интересно, но требуются фундаментальные научные исследования.

с реорганизацией академии. Однако все состоялось. Было около 150 участников, 50 человек приехали из-за рубежа, фактически со всех материков. Прозвучали очень интересные доклады, посвященные как памяти самого Иосифа Самуиловича Шкловского, так и новым научным результатам, которые стали возможны в том числе благодаря его работам.

— **Какие из идей И.С. Шкловского находят продолжение в науке?**

— Такие исследования ведутся по многим направлениям. В первую очередь это касается, конечно, радиоастрономии, в становлении которой он был одним из главных лидеров. Кроме того, он плотно занимался и другими диапазонами астрономии — гамма-, рентгеновским, оптическим и инфракрасным. Объектами исследований становилось фактически все, что выше поверхности Земли, начиная с верхних слоев атмосферы. И.С. Шкловский занимался, например, вопросом изменения состава верхних слоев атмосферы. Все эти научные направления весьма актуальны.

— **Слышала, Российская академия наук учредила премию имени И.С. Шкловского?**

— Да, выпущено постановление президиума академии наук, и примерно через год эту премию начнут вручать российским ученым за заметные достижения в астрофизической науке.

— **Помните ли вы свое знакомство с Иосифом Самуиловичем? Какое впечатление он на вас произвел?**

— Впервые я увидел И.С. Шкловского будучи студентом МГУ. Тогда будущие астрономы учились не на физфаке, а на мехмате. Он читал нам курс лекций по квантовой механике — и делал это, надо сказать, блестяще. Он слыл легендарной личностью, первым начавшим читать курс радиоастрономии. Было начало 1950-х гг. На его лекции приходили слушатели с других факультетов, множество внешних специалистов. Тогда никто еще не знал, что это такое. Вызывал интерес сам факт, что радиоволны, оказывается, приходят не только от радиостанций, но и откуда-то из Вселенной. Это чрезвычайно интриговало.

— **Правда ли, что попытки обнаружить иные цивилизации с помощью радиосигналов в нашей стране начались раньше, чем на Западе?**

— Фактически одновременно. У нас этим впервые занялись В.С. Троицкий и И.С. Шкловский, у них — Карл Саган и Фрэнк Дрейк. Дрейк потом вывел знаменитую формулу и согласно ей попытался посчитать количество цивилизаций в галактике, с которыми у нас есть шанс вступить в контакт. Саган потом не раз приезжал сюда, выступал у нас в ФИАН, в МГУ, встречался со Шкловским. Он ценил его чрезвычайно высоко.



Заведующий отделом Астрокосмического центра ФИАН по созданию приборов космической обсерватории «Радиоастрон» Б.З. Каневский

— **Как вы думаете, почему эта программа не увенчалась успехом? Почему Вселенная молчит?**

— Это большая и сложная тема. Существуют разные точки зрения, и одна из них — для такой связи не очень подходит радиодиапазон. Уже давно высказывались сомнения, но теперь есть прямые экспериментальные доказательства. Есть и пессимистические соображения, что любая цивилизация в конце концов самоуничтожается, поэтому шансов встретить братьев по разуму у нас мало. Так или иначе, пока мы не нашли следов такого рода деятельности в космосе. Хотя открытия последних лет показывают несколько новых очень перспективных направлений дальнейших исследований.

— **Давайте поговорим о знаменитой шкале Кардашева. Это системная модель космических цивилизаций, которые делятся по своему энергопотреблению. Согласно вашей шкале, земная цивилизация относится к самому низшему, первому типу, пытающемуся освоить энергию своего светила. Второй тип — это овладение энергией своей галактики, третий — выход за ее пределы. Сейчас ваши взгляды не изменились?**

— Они расширились. Произошло это в связи с тем, что появились модели множественных вселенных. Интересно, что И.С. Шкловский тоже думал о мультивселенной еще до появления этого термина, у него есть статьи на эту тему. Если эта концепция верна, на каком-то этапе мы можем оказаться готовыми к связи с более высоко развитой цивилизацией, в результате чего шагнем на другую цивилизационную ступень. А может быть, и переедем туда насовсем.

— **Звучит, конечно, неожиданно, но, с другой стороны, люди должны время от времени менять место жительства на более комфортное.**

— Именно так. И, кстати, книга Карла Сагана «Космическое будущее человечества», впервые переведенная на русский язык и изданная в 2016 г., посвящена в том числе этим вопросам.

— **Как вы относитесь к многочисленным сообщениям очевидцев о наблюдениях НЛО, о контактах с братьями по разуму?**

— Отношусь хорошо, но, к сожалению, не очень этому доверяю, потому что не видел ни одной четкой фотографии. Никаких фактов, научных доказательств, увы, нет. Но зато есть очень интересные научные факты по астрономии.

— **Вы имеете в виду открытие сотен экзопланет, подобных Земле?**

— Нет, я имею в виду возможные районы обитания высокоразвитых цивилизаций. За последние два года была обнаружена звезда всего в тысяче световых лет от нас, которая странно себя ведет. Она изредка сильно меняет свою яркость, время от времени уменьшая ее. Как будто ее что-то закрывает, а потом открывает. По поводу этой звезды было много публикаций, и у нас в России имеется большой энтузиаст, я его поддерживаю и с ним согласен. Это Леонид Васильевич Ксанфомалити, доктор физико-математических наук, руководитель лаборатории в Институте космических исследований РАН. Его и других авторов идея состоит в том, что закрывают звезду очень большие конструкции техногенного происхождения. Есть и зарубежные публикации на эту тему, на их основе составлен список объектов, которые могут оказаться высокоразвитыми цивилизациями. Надо эти объекты исследовать.

— **Насколько я знаю, Л.В. Ксанфомалити до этого наблюдал какие-то движущиеся объекты на Венере, но его догадки не подтвердились. Может быть, и здесь все окажется фантазией?**

— Фантазия для ученого — это совсем не плохо. Мало того, это прекрасно и важно. Надо только не слишком увлекаться этим процессом, проверять научные факты и построенные модели. Что касается научных фактов, пока результат изучения реальных фотографий Венеры говорит о том, что, вполне возможно, на них наблюдаются перемещающиеся предметы. Российские ученые недавно договорились с американцами о совместном полете новой автоматической станции на эту планету. Вот и посмотрим. Правда, будет это не скоро, в 2025 г. или даже позже.

— **Исполнилось пять лет «Радиоастрону», который и сегодня обладает самым мощным разрешением за всю историю астрономических наблюдений. Что наиболее фундаментального удалось открыть за эти пять лет?**

— Работа проведена огромная. Измерено около 200 объектов, сделано около 50 публикаций, получены очень интересные результаты по изображениям многих объектов и их поведению во времени.

Поскольку к нам поступают гигантские массивы информации, основная часть результатов пока не обработана. Честно говоря, мы сами такого не ожидали. Пять лет непрерывного функционирования — и при этом ресурс еще не отработан, утверждён план на два года вперед.

— **Слышала, поведение пульсаров оказалось не совсем таким, как ожидалось?**

— Да, пульсары нас удивили. Дело в том, что на месте каждого пульсара видно сразу несколько штук, иногда даже несколько десятков, целая россыпь «звездочек». На самом деле это физически не так, просто условия распространения радиоволн в межзвездной среде таковы, что сигнал расщепляется и становится видно сразу несколько объектов. Это очень важное свойство. С его помощью можно изучать облака межзвездной плазмы, их движение и определять расстояния до них. С другой стороны, это открытие говорит о том, что дециметровый диапазон неудобен для внеземных цивилизаций: вся информация до потребителя распространяется одновременно по многим каналам с разным временем прихода и изменением частоты. В результате понять информацию невозможно. Еще в 1979 г. я опубликовал статью, где пришел к заключению, что для поисков иных цивилизаций надо использовать миллиметровые и субмиллиметровые волны. Сейчас появились крупные наземные и космические телескопы, работающие в этом диапазоне. Наш следующий проект «Миллиметр», надеюсь, поможет решить эту задачу.

— **Есть ли новости насчет черных дыр? Ведь не секрет, что с этими экзотическими объектами тоже немало разногласий, а один из создателей теории черных дыр Стивен Хокинг недавно опубликовал статью о том, что их не существует.**

— Для меня тут никаких неожиданностей нет. Черную дыру в одной из ближайших галактик как раз наблюдал «Радиоастрон». Хотя вопросы, конечно, еще остаются. Мы думаем, что, может быть, некоторые из наблюдаемых предполагаемых черных дыр — это на самом деле кротовые норы, то есть объекты совсем другого типа, предсказанные крупнейшими физиками-теоретиками и образующие каналы, которые связывают разные области нашей Вселенной или даже другие вселенные. Но, конечно, там могут оказаться совершенно убийственные условия, да и сама структура кротовых нор весьма сложна и непонятна.

— **Даже теоретически невозможно представить такую технику, с помощью которой мы могли бы достичь пределов подобного объекта и остаться в живых.**

— Сейчас себе такое представить действительно трудно. Но ведь еще несколько десятилетий назад никто не мог даже предположить, что человек полетит в безвоздушное пространство.

— **Нужно ли, с вашей точки зрения, человеку вообще туда лететь или достаточно отправлять роботов, создавать программы виртуальных путешествий по Вселенной?**

— Русские философы-космисты много рассуждали на тему трансформации человека будущего. К.Э. Циолковский видел его распространившимся по всей Вселенной в виде некоей мыслящей субстанции. В.И. Вернадский считал, что человек станет самовосстанавливающимся, автотрофным существом, как растения или ящерицы. Некоторые предрекали будущее бессмертие. Мы не знаем, как будет развиваться человечество, насколько верным окажется предвидение космистов. Будет интерес туда лететь — значит, появятся технологии, которые сделают это возможным. А может быть, у нас возникнет возможность получать информацию прямо оттуда. Кто знает, вероятно, где-то совсем рядом с нами есть какое-нибудь «окошко», через которое можно «выглянуть» в другие вселенные или попасть туда. Рассуждать об этом интересно, но требуются фундаментальные научные исследования. Проводить их очень важно, ведь они определяют путь в будущее человечества. Заниматься этим надо не просто из любопытства, а потому что такие исследования могут дать нам ценные сведения о погибших цивилизациях, о причинах их гибели, подсказать, по каким путям стоит развиваться, а по каким не стоит. А еще очень хотелось бы, чтобы в нашей стране внимание к науке было существенно большим. Разговоры о том, что нужно сократить финансирование науки, хотя, казалось бы, оно и так урезано ниже всех возможных уровней, ведут к нашей гибели и как страны, и как народа. Нельзя этого допустить.

— **Удалось ли пролить свет на темную материю и темную энергию? Ведь и на эту тему существуют различные точки зрения математиков и физиков.**

— Здесь у нас пока очень мало наблюдательных данных. Нужна более тщательная их обработка, чтобы изучить области Вселенной, где темная материя уже обнаружена. Есть множество предположений о том, что может быть темной материей и энергией. Однако то, что существует нечто, имеющее массу и энергию в необычных формах, думаю, не подлежит сомнению. Одно из очень красивых предположений — модель зеркальной Вселенной, находящейся здесь же, рядом с нами, где все точно так же — атомы, электроны, молекулы, но взаимодействует с нами только гравитационно.

— **То есть мы в нее смотримся, как в зеркало?**

— Нет, мы ее не видим. Она существует параллельно, в нашем пространстве. Уже много лет идут эксперименты. У нас в России большим энтузиастом таких исследований был академик Лев Борисович Окунь.



Академик Н.С. Кардашев, ученик И.С. Шкловского, руководитель Астрокосмического центра ФИАН

— Но как можно такое экспериментально подтвердить?

— Если есть такая же Вселенная, как наша, должна быть гравитация, а ее можно зафиксировать, измерить. Наличием такого сильно гравитирующего объекта можно объяснить в том числе наличие темной материи и энергии. В Италии есть специальная установка, которая вроде бы подтверждает существование зеркальной материи. Но многие в этом сомневаются. Есть предположения и о многомерной вселенной. Мы с вами не видим других измерений, кроме наших трех плюс время, но они могут существовать. Это подтверждает теория струн, которая сейчас вновь создается с учетом новых астрономических открытий. Она многое объясняет и предсказывает некие новые свойства, которые надо экспериментально проверять. Для этого нужно создавать принципиально иные телескопы, проводить исследования — словом, заниматься фундаментальной наукой, которая поможет нам понять все эти крайне сложные и не менее важные вещи. Я думаю, мы стоим на пороге удивительных, революционных открытий в области астрономии и астрофизики, которые произойдут очень скоро, на наших глазах, если мы не будем так глупы, чтобы на этом экономить.

— Вы сказали, что программа исследований с «Радиоастроном» продлена на два года. Какие планы на это время?

— Мы хотели бы получить данные по наиболее интересным объектам, которые нами уже обнаружены. Есть настолько компактные объекты, что их изображения получить не удалось. На борту нашего телескопа, к счастью, имеется неизрасходованный запас горючего, поэтому в принципе мы можем изменить орбиту. Сейчас она вытянутая. Нам бы хотелось, чтобы она стала более круглой, и при этом ориентация базы интерферометра будет сильно меняться по разным направлениям. Это даст возможность в течение одного витка получить очень высокое разрешение во всех направлениях. Сейчас мы выделили несколько десятков источников, которые наиболее интересны и наиболее

**Человек должен жить для получения новых знаний, для созидания, для того, чтобы стать творцом части Вселенной. Если так не будет, дело закончится самоуничтожением**

более компактны. Планируем в ближайшее время получить хорошее изображение этих объектов.

— Николай Семенович, а что с другим вашим космическим проектом — «Миллиметроном», обладающим в тысячу раз большей чувствительностью, чем «Радиоастроном»?

— «Миллиметрон» официально включен в космическую программу России, финансируется, деньги выделяются, но, к сожалению, есть очень большие трудности, связанные с наличием санкций, которые мешают международному сотрудничеству. Запустить его в срок совершенно нереально. Надеюсь, он полетит примерно в 2026 г.

— Наверное, вы слышали, что Московский планетарий инициировал сбор подписей за возвращение в школы уроков астрономии. Это важно? Зачем детям нужна астрономия?

— Это исключительно важно! Воспитание нового поколения должно определить, зачем человек появился, зачем живет, что он будет делать дальше. Да, это прекрасно, что мы создаем новые технологии для производства продуктов питания с заданными полезными свойствами, с помощью принципиально новых технологий учимся исцелять ранее неизлечимые недуги, но не менее важно понять, кто мы такие, откуда пришли и куда движемся. Без понимания этих вопросов все остальное лишено

смысла. Неужели мы живем только для того, чтобы есть? А когда еда закончится, мы не будем знать, что делать дальше. Человек должен жить для получения новых знаний, создания новых форм искусства, для созидания, для того чтобы стать творцом части Вселенной. Если так не будет, дело закончится самоуничтожением, а это соответствует одному из пессимистических сценариев развития цивилизации. Мне не хочется в него верить.

**Лариса Николаевна Лихачева**, заместитель директора ФИАН по проектам «Радиоастрон» и «Миллиметрон»:

— «Радиоастрон» имеет эксклюзивную структуру. Обычно проекты академии наук состоят из одного или нескольких приборов, которые устанавливаются на космической платформе. Наш проект отличается тем, что у него очень сложная конструкторская часть. Инженерами на Земле была разработана уникальная укладка, благодаря которой 27 лепестков радиотелескопа оказались сложенными в кокон, уместающийся под обтекатель. В космосе эти лепестки должны были раскрыться, создав единую поверхность, что и случилось. Два дня мы ждали этого момента, а когда они, наконец, раскрылись, ощутили ни с чем не сравнимое счастье. По сей день там все четко и слаженно работает, мы имеем всего 2% потерь сеансов за счет атмосферных или электромагнитных воздействий.

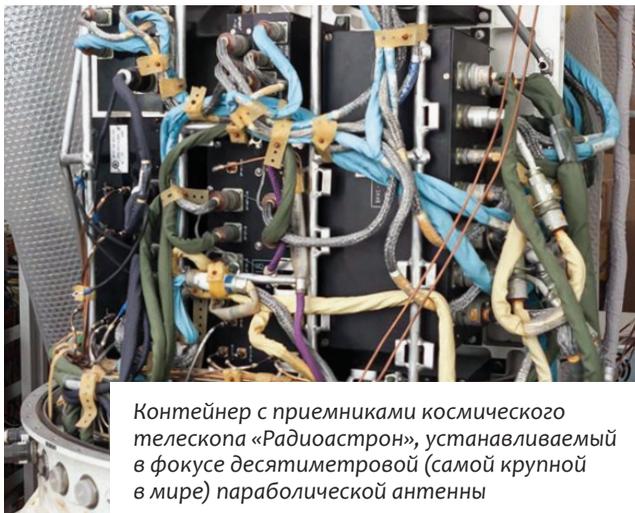
Кроме исследований дальнего космоса с борта «Радиоастрона» осуществляется успешная работа прибора Института космических исследований «Плазма-Ф». Это тоже очень важные исследования, имеющие к нашей земной жизни самое непосредственное отношение. Задачи эксперимента «Плазма-Ф» — мониторинг межпланетной среды в целях составления прогнозов «космической погоды», исследование турбулентности солнечного ветра и магнитного поля, процессов ускорения космических частиц. Спутник несколько дней

находится вне магнитосферы Земли, что позволяет наблюдать межпланетную среду, а потом очень быстро проходит все слои магнитосферы, благодаря чему можно следить за ее изменением. Прибор может измерять поток солнечного ветра с временным разрешением в 30 мс.

С «Радиоастрона» к нам в центр обработки информации ежедневно поступают гигантские массивы данных. Сначала они идут на коррелятор, подвергаясь там первичной обработке. Строится корреляционная функция. Затем ученые проводят вторичный анализ. Таким образом, не заметить, потерять что-то важное, прорывное практически невозможно.

Не менее уникален проект «Миллиметрон», запуск которого планируется на 2026 г. Покрывающие его поверхность панели делаются из углепластика. Это углеродное волокно, которое пропитывает наше российское предприятие НИИКАМ, находящееся в Переславле-Залесском. Панели выкладываются на абсолютно точной оснастке, которая делается из астроситалла. Обычно из этого материала производятся оптические зеркала. Технологическая оснастка для наших панелей будет иметь феноменальную точность в 1 мкм. Сделает эту работу Лыткаринский завод оптического стекла. Парадокс в том, что один и тот же клей должен использоваться для самых разных экстремальных условий — как при 180° С при запекании панели телескопа, так и при 4° К при эксплуатации в космосе. Все это он должен одинаково успешно выдерживать. Это нужно для того, чтобы обеспечить беспрецедентную точность телескопа. Так что «Миллиметрон» — это не только возможность научного космического прорыва, но и ноу-хау в отечественном материаловедении и огромный шаг в развитии российских технологий для использования в космосе. ■

**Беседовала Наталия Лескова**



Контейнер с приемниками космического телескопа «Радиоастрон», устанавливаемый в фокусе десятиметровой (самой крупной в мире) параболической антенны



Заместитель директора ФИАН по космическим обсерваториям «Радиоастрон» и «Миллиметрон» Л.Н. Лихачева

**ВСЕ НА БОРТ!** Компания SpaceX, которая в 2010 г. с помощью ракеты *Falcon 9* запустила космический корабль *Dragon*, стала первой коммерческой компанией, доставившей космический аппарат на орбиту и благополучно вернувшей его на Землю



Алан Стерн

НЕДОРОГИЕ БИЛЕТЫ

В

# КОСМОС

Частные космические полеты могут быть доступными, и не только очень богатым туристам. Нарождающаяся коммерческая космическая индустрия нацелена и на переворот в исследованиях

Одна из самых досадных проблем в области космических исследований состоит в том, что за 50 лет произошло слишком мало изменений в технологии запуска объектов в космос. В результате космические полеты остаются очень дорогими и, следовательно, редкими. Условий, которые позволяли бы ученым регулярно летать в космос для проведения исследований подобно тому, как океанологи погружаются в глубины морей, а геофизики отправляются к полюсам Земли, пока не создано.

Однако и в этой области грядут перемены. Появление коммерческих космических полетов, наглядно продемонстрированное недавними успешными запусками грузового космического корабля *Dragon*, который создала для МКС и эксплуатирует компания *SpaceX*, может радикально изменить космические исследования. Удешевление запусков даст ученым возможность чаще отправляться на орбиту и самим проводить эксперименты. Такие изменения не только позволят *NASA*, а также японским и европейским космическим агентствам проводить более масштабные исследовательские программы,

но и, вероятно, сделают космические полеты доступными для широкого круга стран, научных организаций и корпораций.

Потенциалом коммерческих космических полетов я впервые заинтересовался, когда работал помощником руководителя всех научных исследований космоса и Земли в *NASA*. С тех пор я консультировал коммерческие космические компании, был научным руководителем двух лунных команд в рамках проводимого компанией *Google* конкурса *Lunar X PRIZE* и закупал пилотируемые коммерческие полеты через свой Юго-Западный исследовательский институт в Сан-Антонио (штат Техас). И я лично убедился в перспективности коммерческих космических полетов.

Широкий выбор коммерческих космических систем, которые появятся в ближайшие годы, откроет новые возможности для исследователей космоса — ученых, которые со времен переделки трофейных немецких ракет «Фау-2» (*V-2*) в первые годы после окончания Второй мировой войны в платформы для научных исследований ищут лучшие способы выполнения своей работы. И хотя

## ОБ АВТОРЕ

**Алан Стерн** (S. Alan Stern) — планетолог из Юго-Западного исследовательского института в Боулдере. Он руководит миссией «Новые горизонты» по изучению Плутона и пояса Койпера и консультирует ряд частных космических компаний. Ранее он руководил всеми программами исследований космоса и Земли.



некоторые из разрабатываемых сегодня планов не будут реализованы, другие, несомненно, приведут к успеху. Однако в сложившейся в настоящее время ситуации урезания бюджетов, превышения затрат и давней стагнации в сфере космических полетов этот успех придет не так быстро, как хотелось бы.

Я с достаточно большой уверенностью полагаю, что переломным этапом в деле исследований космоса могут стать 2010–2020-е гг., подобно тому как таким этапом были 1950–1960-е гг. Действительно, мы уже сегодня видим революционные изменения. В области от суборбитальных полетов, часто именуемых туристическими (хотя места в них предоставляются и ученым), до орбитальных полетов на МКС и далее грядущие годы изменят наше отношение ко все еще изобилующим тайнами окрестностям Земли.

### Будущее суборбитальных полетов

Одна из самых продуктивных программ NASA (и, к сожалению, одна из наименее известных) — программа суборбитальных полетов. В рамках этой программы, проводящейся уже ряд десятилетий, каждый месяц выполнялись один-два суборбитальных полета однократных беспилотных ракет, что давало ученым возможность на несколько минут запускать в космос свою аппаратуру. Несмотря на ограниченное время, эти полеты принесли важные научные данные в областях физики Солнца, исследования сверхновых звезд и верхних слоев земной атмосферы, астрофизики и исследования комет. Кроме того, они были бесценными для испытания новых космических кораблей и измерительной аппаратуры до ее запуска в длительные космические полеты, обходящиеся в миллиарды долларов. Наконец, они предоставили возможность накопить опыт исследователям космоса, включая некоторых из наиболее выдающихся астрономов, специалистов по физике атмосферы и руководителей космических экспедиций в США.

### ! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Исследователей, которым нужен доступ к космосу, давно огорчает то, что вследствие высокой стоимости запуски космических ракет происходят недостаточно часто.
- Однако новые частные космические компании возвещают эру гораздо более дешевых и, соответственно, намного более частых космических полетов.
- Хотя многие из этих компаний создавались для организации космического туризма, исследователи также получают возможность закупать в космических кораблях места для своей научной аппаратуры, причем за существенно меньшие деньги, чем сегодня.
- Вполне возможно, что даже те ученые, которые хотели бы отправлять экспериментальную аппаратуру на Луну или в длительные полеты, смогут воспользоваться услугами компаний, разрабатывающих ракеты для таких полетов и частные космические станции.

За последние 20 лет научное сообщество не раз призвало резко увеличить количество полетов, но тем не менее частота суборбитальных запусков NASA все эти годы оставалась разочаровывающе низкой. Причин тому было много, но главной из них была дороговизна полетов. Средняя стоимость одного суборбитального полета составляет около \$2,5 млн, и бюджет программы суборбитальных полетов NASA не позволяет существенно увеличить их частоту.

Однако создание такими компаниями, как *XCOR Aerospace*, *Virgin Galactic*, *Armadillo Aerospace*, *Masten Space Systems* и *Blue Origin*, новых суборбитальных аппаратов многократного использования открывает широчайшие новые возможности, которые могут задать темп и сделать суборбитальные исследования более продуктивными.

Как это возможно? Прежде всего, применение аппаратов многократного использования вместо одноразовых позволяет намного снизить стоимость полетов и увеличить их частоту. Эти два важных преимущества скорее всего повлияют на космические исследования примерно так же, как изобретение персонального компьютера воздействовало на информационные технологии, совершив революцию в возможностях доступа.

Сегодня NASA выполняет 20–25 суборбитальных полетов в год. Компания *Virgin Galactic* рассчитывает, что ее первый суборбитальный аппарат со временем сможет выполнять полеты ежедневно. И с каждым запуском он будет нести шесть комплектов оборудования или шестерых исследователей (либо комбинацию тех и других). Таким образом, компания сможет ежегодно обеспечивать около 2 тыс. возможностей для экспериментов.

Но *Virgin Galactic* — не единственная компания на этом новом рынке. Один из ее основных конкурентов, *XCOR Aerospace*, планирует ежедневно осуществлять до четырех запусков каждого из своих аппаратов многократного использования, часть из которых уже предоставлены в лизинг другим странам, включая Южную Корею



**Цепочка поставок:** прошлой весной космический корабль Dragon компании SpaceX доставил грузы на МКС

и Кюрасао. Только вообразите, как быстро смогут развиваться исследования в разных областях при такой частоте полетов. Например, в области наук о жизни исследователи смогут получать в год сотни комплектов данных о состоянии космонавтов в условиях невесомости, а не считанные единицы, как было до сих пор.

Естественно, одна только высокая частота полетов не может произвести революции. Другое важное достоинство новых многоходовых систем — меньшая стоимость полетов. *Virgin Galactic* планирует продавать места для 90 кг нагрузки или исследователя за \$200 тыс., что примерно в десять раз меньше стоимости такого места при использовании обычных одноразовых исследовательских ракет. Цены, объявленные компаниями *XCOR Aerospace* и *Armadillo Aerospace*, лишь ненамного превышают \$100 тыс.

Ракеты многократного использования позволят также проводить исследования в новых областях. Например, они могут обеспечить возможность частого доступа в «игноросферу» (так ученые прозвали мезосферу), очень важную для науки, но очень мало исследованную зону атмосферы, слишком высокую для самолетов и аэростатов, но слишком низкую для спутников (нырнув в нее, они неизбежно будут падать на Землю). Все это позволит ученым исследовать многие атмосферные явления, включая таинственные высотные электрические возмущения, называемые «красными призраками» и «голубыми струями».

Огромное преимущество этих новых космических аппаратов — революционная возможность брать на борт

не только аппаратуру, но и экспериментаторов. Впервые с начала космической эры исследователям космоса скоро откроется мир, в котором давно работают ученые во всех других областях, — лабораторная обстановка, где они смогут проводить свои исследования «на месте», не прибегая к помощи роботов.

Хотя многое из сказанного выглядит научной фантастикой, исследователи из нескольких институтов уже забронировали полетные места для себя и своей аппаратуры. К середине текущего десятилетия могут возникнуть суборбитальные технологии следующего поколения, как в 1950-х гг. развились исследования с помощью ракетных зондов, пройдя путь от редких запусков до рутинных. Станет ли одно это радикальной переменей? Да, но такие полеты — лишь первая из нескольких возможностей, которые открывает нарождающаяся коммерческая космическая отрасль сообществу исследователей космоса.

### Недорогие новые способы вывода на орбиту

В США стоимость ракет-носителей, использовавшихся для большинства орбитальных полетов — *Pegasus*, *Atlas* и *Delta*, — в конце 1990-х гг. выросла более чем вдвое. Если до этого вывод на орбиту небольшой научной нагрузки с помощью ракеты *Pegasus* обходился примерно в \$15 млн, то сегодня он стоит больше \$40 млн. А цена использования тяжелых ракет, способных выводить на орбиту большие нагрузки, например ракеты *Atlas V*, поднялась со \$150 млн до \$350 млн или около того.

## КТО БУДЕТ ДВИГАТЬ РЕВОЛЮЦИЮ В ИССЛЕДОВАНИЯХ КОСМОСА?

Попасть в космос непросто, и космическим исследованиям долгое время препятствовали дороговизна и редкость космических полетов. Однако зарождающаяся группа частных космических компаний сулит расширить возможности для исследователей со всего мира. Перечисленные ниже компании — лишь наиболее заметные из десятков тех, что надеются намного облегчить человечеству доступ в космос.



	СУБОРБИТАЛЬНЫЕ ПОЛЕТЫ	ОРБИТАЛЬНЫЕ ПОЛЕТЫ	ПОЛЕТЫ НА ЛУНУ	ДЛИТЕЛЬНОЕ ПРЕБЫВАНИЕ НА ОРБИТЕ
<b>ОСНОВНЫЕ КОМПАНИИ</b>	Armadillo Aerospace, Blue Origin, Virgin Galactic, XCOR Aerospace	SpaceX	Astrobotic Technology, Moon Express	Bigelow Aerospace, Excalibur Almaz
<b>ПРЕИМУЩЕСТВА ПЕРЕД ТРАДИЦИОННЫМ ПОДХОДОМ</b>	Многоразовые носители позволяют удешевить полеты и намного сократить интервалы между ними, а также дают возможность исследователям регулярно сопровождать свое оборудование в полетах	Компания SpaceX спроектировала свои ракеты Falcon и капсулы Dragon с нуля с прицелом на простоту и надежность; полеты на ракете Falcon 9 обходятся вдвое дешевле традиционных	Малый автоматический спускаемый аппарат будет первым, совершившим мягкую посадку на Луну, после советского аппарата «Луна-24»; планируются поиски льда вблизи Южного полюса Луны	Надувные станции Bigelow довольно легки, поэтому запускать их проще, чем традиционные жесткие станции вроде МКК; кроме того, их объем в надутом состоянии может быть больше пространства внутри ракеты-носителя
<b>ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ</b>	Сейчас проводятся первые испытательные запуски, а первые полеты с пассажирами ожидаются в начале 2014 г.; Virgin Galactic недавно объявила о начале программы запуска орбитальных ракет в 2015 г.	Ракета Falcon 9 уже доставила на МКК капсулу Dragon с грузами; это был первый из не менее чем 12 таких полетов	Google вручит приз Lunar X PRIZE команде, которая первой доставит на Луну робота и передаст с него видео на Землю; Moon Express, одна из ведущих команд, планирует сделать это к 2015 г.	Bigelow начала испытания опытных станций на низкой околоземной орбите в 2006 г.; NASA недавно объявило, что в 2015 г. состыкует модуль Bigelow с МКК; первый самостоятельный полет такого модуля планируется на 2016 г.

Поскольку бюджеты космических исследований оказались зажатыми в тиски сокращения финансирования и перерасхода средств, появление коммерческих игроков, предлагающих более дешевые запуски, руководители научных программ NASA могут воспринять как неожиданный подарок судьбы. Рассмотрим, например, линию ракет-носителей Falcon, созданную компанией SpaceX. Компания задумала, спроектировала, испытала и доработала ракеты этой линии за меньшие деньги, чем государство потратило всего лишь на постройку пусковой установки для ракеты Ares, от которой в итоге отказались. Сегодня SpaceX предлагает Falcon 9 примерно за \$65 млн — около половины стоимости ракеты Delta II того же класса. А к 2014 г. SpaceX планирует начать поставку гораздо более мощной ракеты Falcon Heavy (FH), способной выводить на орбиту вдвое больший груз, чем самые мощные ракеты Atlas и Delta, причем всего за \$100 млн — меньше трети цены запуска с помощью названных ракет.

До сих пор NASA выполняло от трех до пяти научных запусков в год. Вдвое меньшее число запусков с помощью ракеты FH позволит сэкономить за пять лет от \$2 до \$3 млрд. Этих средств будет достаточно для

выполнения нескольких новых полетов класса Discovery на другие планеты или около десяти полетов класса Small Explorer для исследований в областях астрономии и физики Солнца. Их хватит даже для финансирования нового планетохода Mars, подобного марсоходу Curiosity.

Еще один экономичный вариант, который впервые предлагают коммерческие компании, — возможность «возить» научную аппаратуру на коммерческих рейсах. Например, место для платного груза предлагается на каждом из 72 спутников связи Iridium второго поколения. При этом запуск и сами спутники оплачивает основной заказчик, а взнос владельца научного оборудования составляет лишь малую долю. Сегодня эта концепция «платной нагрузки» годится лишь для эксклюзивного рынка. Она работает только при условии, что научная аппаратура может быть «втиснута» в спутник связи и работать на его конкретной орбите. Ясно, что она неприменима к большим телескопам и другому оборудованию, для которого необходим собственный спутник. Однако таким образом открываются возможности выведения на орбиту не слишком серьезных нагрузок за десятки, а не сотни миллионов долларов, в которые обходятся сегодня запуск и эксплуатация спутника связи.

## К Луне и Марсу

Использование платных нагрузок вскоре, возможно, позволят доставлять научную аппаратуру далеко за пределы околоземных орбит. Больше двух десятков стран Европы, Северной Америки, Азии и др. включились в конкурс *Lunar X PRIZE*, организованный компанией *Google*, которая наградит премиями две команды, первыми выполнившие коммерческий полет на Луну и высадившие на ее поверхность робота. Призовой фонд *Google* превышает \$30 млн.

Некоторые команды, в частности *Moon Express* и *Astrobotic*, уже заключили контракты на доставку научной аппаратуры на Луну. Эти и другие компании видят в конкурсе *Lunar X PRIZE* лишь первый, демонстрационный этап. Их долговременная цель — получение стабильных доходов от исследователей и стран, не располагающих сотнями миллионов долларов и техническим опытом для самостоятельных полетов на Луну, но имеющих достаточно денег для закупки одного грузового места на рейсе, выполняемом каким-либо надежным «перевозчиком». Билет стоимостью в \$10 млн все же в 100 раз дешевле государственных полетов недавнего прошлого, обходившихся в миллиард долларов.

Многие специалисты по изучению Луны и планет считают, что при таких расценках отправлять научную аппаратуру на Луну сможет значительно большее число стран, и это породит второй ренессанс в деле изучения «пятой планеты земного типа» (после Земли, Марса, Меркурия и Венеры). Глядя за Луну на Марс, *SpaceX* рассматривает возможность переделки капсул космического корабля *Dragon*, созданных первоначально для доставки грузов на МКС, чтобы они могли транспортировать большие грузы на Марс. Они будут на десятки миллионов долларов дешевле, чем недавние спускаемые аппараты для Марса. И если *SpaceX* сможет внушить эту идею *NASA* или зарубежным космическим организациям, можно будет создать недорогой новый способ продвинуть исследования Марса как раз в то время, когда за средства для продолжения этих исследований борются многие космические организации.

## Частные космические станции

Из 194 государств на нашей планете около 90% не выступают партнерами МКС, так что шансы получить существенный доступ к единственной большой космической станции у них невелики. Для таких стран, как Китай, Индия и Южная Корея, частные космические станции могут быть лучшим средством доступа к невесомости для фундаментальных исследований в таких направлениях, как физика, науки о жизни и технические испытания, не говоря уже о престиже данных стран.

Первая и, пожалуй, самая известная из этих частных космических станций — станция компании *Bigelow Aerospace*. Без большого шума эта компания уже построила две опытные космические станции для низких околоземных орбит и проводит их испытания. Первая из них, предусматривающая размещение экипажа до шести человек, позволит удвоить число

исследователей, которые смогут одновременно работать на орбите. Благодаря этому, а также использованию космических такси вроде планируемого компанией *Boeing CST-100* или *Dragon* компании *SpaceX*, станция *Bigelow* вполне сможет предоставлять ученым, агентствам и компаниям из США и других стран более быстрый доступ в космос по ценам, составляющим меньше половины ожидаемой стоимости запуска с помощью ракеты «Союз» и работы на МКС.

Но компания *Bigelow* — не единственная, которая идет по этому пути. Подобную космическую станцию, но меньшего размера, планирует создать компания *Excalibur Almaz*, используя для этого оставшиеся от советских времен модули и средства доставки экипажей.

Долговременными космическими станциями могут служить и космические капсулы *Dragon* компании *SpaceX*. Сегодня они выполняют по контракту работу для *NASA*, доставляя грузы на МКС и обратно. В ближайшем будущем они смогут перевозить и космонавтов. Но они способны и на большее. *SpaceX* планирует как беспилотные, так и пилотируемые экспедиции *DragonLab* с выходом на околоземную орбиту и пребыванием на ней от нескольких недель до нескольких месяцев с целью проведения исследований при помощи внутренней и внешней научной аппаратуры, представляющей собой «платную нагрузку». Причем затраты на эти исследования будут меньше ожидаемых в случае использования коммерческих космических станций.

## Возвращение в дикие черные дали

Рассмотренные инновации — первые фундаментально новые пути в космос со времен 1950–1960-х гг., поры, когда развивались суборбитальные исследования, полеты к планетам и запуск искусственных спутников Земли. Однако мы все еще находимся на начальном этапе зарождающейся коммерческой революции, и многие вопросы остаются пока нерешенными. Насколько глубоко изменят новые компании изучение космоса, насколько сильно они вдохновят общественность и как быстро убедят других предпринимателей присоединиться к коммерческой революции в изучении космоса? Ответы на эти вопросы во многом зависят от того, насколько будут готовы к инновациям ученые и космические агентства, насколько быстро они сумеют приспособиться к миру коммерческого космоса и научатся использовать его для совершенствования способов космических исследований.

Действительно, если уже существующие суборбитальные и орбитальные проекты окажутся успешными, они могут открыть новую дорогу к исследованию астероидов, планет и их спутников. Польза для науки может быть примерно такой, какую принесли частные экспедиции, открывшие приполярные области. Почему бы и нет? Подобные прогнозы — это, несомненно, как раз тот случай, когда небо не ставит пределов. ■

Перевод: И.Е. Сацевич



Майкл Белфьор

# НАЦЕЛЕННЫЙ

*Возможно, следующий луноход будет создан не NASA, а студентами и частными компаниями, работающим за небольшие деньги*

# НА ЛУНУ

A Red Rover lunar lander is shown on a rocky, brownish terrain. The lander has a white, conical solar panel array on its back, a gold-colored upper section with a white dome, and four large, treaded wheels. The background consists of dark, rocky hills under a cloudy sky.

На испытательном полигоне в Питтсбурге Ред Уиттекер и его коллеги отрабатывают дистанционное управление роботом Red Rover, который они надеются доставить на Луну к 2015 г.

## ОБ АВТОРЕ

**Майкл Белфьор** (Michael Belfiore) — независимый журналист и лектор, занимающийся инновациями, которые могут формировать наше будущее, и автор книги «Ракетчики: как дальновидная банда лидеров бизнеса, инженеров и пилотов нагло приватизирует космос» (*Rocketeers: How a Visionary Band of Business Leaders, Engineers, and Pilots Is Boldly Privatizing Space*).



**П**о усеянному валунами илистому полю на берегу реки Мононгахила в Питтсбурге медленно кружит под негромкое жужжание электродвигателей четырехколесный полуметровый робот в форме пирамиды. Неподалеку в фургоне, сгрудившись у ноутбука, студенты Университета Карнеги-Меллон смотрят на окружающий мир глазами этого робота. На экране плывет серое изображение. Изрытый неровностями ландшафт выглядит точь-в-точь как лунный. Собственно, этот механизм и создавался для передвижения именно по такой поверхности.

Для конкурса *Google Lunar X PRIZE*, цель которого — повышение роли частных компаний в космосе и поощрение инноваций в космических технологиях, профессор робототехники Уильям «Ред» Уиттекер (William "Red" Whittaker) из Университета Карнеги-Меллон и его студенты представили робот *Red Rover*. Приз конкурса — \$20 млн — достанется первой неправительственной организации, которая доставит на Луну робот, заставит его проехать по ее поверхности около километра и сможет получить от него на Земле изображения высокого разрешения. Задачу надо осуществить до конца 2015 г. Второй приз в \$5 млн в сочетании с бонусами за другие достижения, например за перемещение робота к месту посадки «Аполлона», может довести общую сумму вознаграждения до \$30. Несмотря на то что в конкурсе участвуют 26 групп, команда Уиттекера — явный лидер. Его компания *Astrobotic Technology* первой внесла первоначальный платеж на создание ракеты, которая должна доставить *Red Rover* на Луну. Кроме того, Уиттекер показал себя чемпионом по созданию автономных средств передвижения, способных работать в экстремальных условиях.

Конкурс *Google Lunar X PRIZE* был объявлен, когда космическая программа США подошла к поворотной точке. В 2010 г. в соответствии с рекомендациями Обзора Комитета США по планированию пилотируемых космических полетов президент Барак Обама поручил NASA стимулировать использование частных космических транспортных средств для замены снимаемых с эксплуатации космических челноков. Исходили из предположения, что получив задание и первоначальные инвестиции, частные компании смогут разработать и построить космические корабли быстрее и дешевле, чем крупные подрядчики от государства. Конкурс *Google Lunar X PRIZE* нацелен на поддержку нового класса частных миссий, не требующих как дорогих одноразовых космических кораблей, так и политических обязательств, которые могут не пережить смены администрации. Вместо этого исследователи будут платить частным компаниям за доставку к цели их планетоходов и оборудования. NASA добавила стимулы: дополнительные \$30,1 млн распределены между шестью группами и предназначены для преодоления технических трудностей, оказавшихся не под силу многим государственным планетоходам, которые не могли, например, пережить лунную ночь. Какой будет после конкурса *Google Lunar X PRIZE* судьба частных компаний, занимающихся космическими полетами, далеко не ясно. Не все уверены, что рынок для их услуг найдется, но перспектива частного финансирования коммерческих полетов вдохновляет многих исследователей.

## Испытания на полигоне

У конкурса *Google Lunar X PRIZE* был предшественник — конкурс *Ansari X PRIZE*, закончившийся в 2004 г., когда за пределы земной атмосферы вырвался *Space Ship*

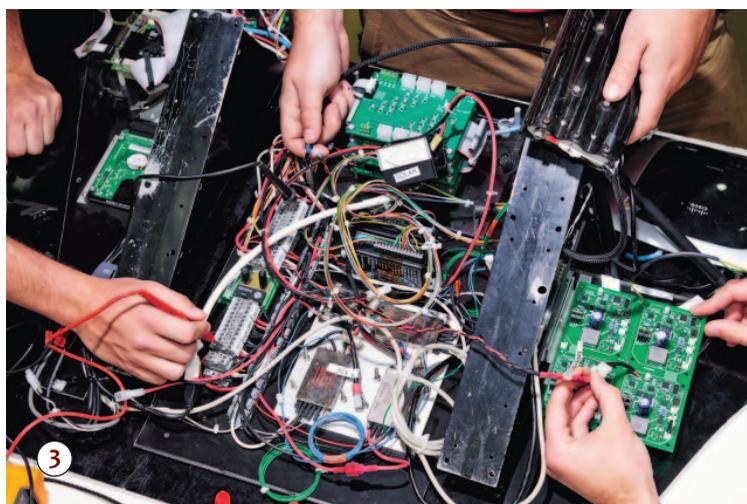
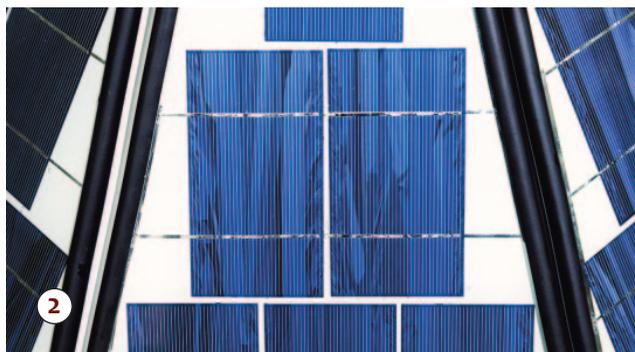
## ! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ:

- Сегодня, когда космические челноки NASA списываются, для осуществления полетов в космос ученые могут обратиться к использованию частных ресурсов.
- Конкурс *Google Lunar X PRIZE* предусматривает приз в \$20 млн первой неправительственной группе, которая доставит луноход на Луну.
- Из 26 конкурсантов наилучшие шансы на победу имеет команда *Astrobotic*. Ее руководитель Уильям Уиттекер всю жизнь занимался созданием новаторских роботов.



One — первый пилотируемый летательный аппарат, созданный частной компанией. Его построила фирма *Scaled Composites* из Мохаве, штат Калифорния, а финансировал создание миллиардер Пол Аллен (Paul Allen) из компании *Microsoft*. Сегодня компания *Virgin Galactic* финансирует создание аппарата *Space Ship Two*. Она получила \$60 млн взносов от частных лиц, готовых заплатить по \$200 тыс. за шанс совершить полет в условиях невесомости и увидеть Землю издалека. NASA заключила контракты с *Virgin Galactic* и шестью другими частными компаниями на установку научного оборудования на *Space Ship Two* и другие космические аппараты с целью проведения экспериментов, направленных на решение таких трудных задач, как перекачка топлива в условиях невесомости. Сегодня организаторы конкурса *Google Lunar X PRIZE* намерены повторить успех предшественников при решении задачи по отправке роботов на другие планеты.

Людей настолько хорошо подготовленных к решению задачи доставки робота на Луну, как Ред Уиттекер, очень мало. Что касается науки о «полевых» роботах, способных выполнять полезную работу в неконтролируемых



Руководитель команды *Astrobotic* Ред Уиттекер (1) у макета ракеты *Falcon 9*, которая должна отправить робота в космос (макет выполнен в масштабе 1:10). Пирамидальный корпус лунохода *Red Rover* покрыт солнечными батареями для улавливания солнечного света под разными углами (2). Электроника, которая должна управлять луноходом *Red Rover*, рассчитана на то, чтобы выдерживать палящий зной лунного дня и мертвящий холод лунной ночи (3).

условиях, то в свои 63 года Уиттекер сделал в этой области больше, чем кто-либо другой. В 1980-х гг. он сконструировал и построил робота, которые исследовали повреждения в районах с опасным уровнем радиации на АЭС «Три-Майл-Айленд», где частично расплавилась активная зона одного из реакторов. Как основатель и руководитель Центра полевых роботов Университета Карнеги-Меллон Уиттекер сделал карьеру в области создания прорывных технологий для автономных средств передвижения. Он сконструировал роботов для поиска метеоритов на ледниковых полях Антарктиды и аппараты, спускавшиеся в кратеры действующих вулканов в Антарктиде и на Аляске.

Готовиться к конкурсу *Google Lunar X PRIZE* Уиттекер начал в 2007 г., еще на середине своего участия в конкурсе «Городской вызов», организованном Агентством передовых оборонных исследований США (*DARPA*) и проводившемся на бывшей авиабазе ВВС США в Викторвилле, штат Калифорния. Команда *Tartan Racing* Уиттекера и его студентов заключила партнерские соглашения с *General Motors*, *Continental* и другими спонсорами для создания «беспилотного» *Chevy Tahoe* по кличке «Босс».

Хотя он и выиграл первые в мире соревнования автономных транспортных средств по улицам города, Уиттекер, не теряя времени, дорабатывал планы для курса разработки передовых мобильных роботов. Скромные задачи курса, как говорилось в его программе, это «детализация, анализ и моделирование лунохода, полевые испытания его опытного образца, преодоление организационных трудностей и информирование о продвижении работ с помощью письменных отчетов, фотоснимков и видео». Курс открыт для студентов Университета Карнеги-Меллон всех специальностей и всех уровней. Примерно в то же время Уиттекер создал коммерческую компанию *Astrobotic Technology* во главе с Дэвидом Гампом (David Gump), предпринимателем, давно работающим в области космических исследований. Гамп настойчиво борется за спонсорство со стороны частных компаний и за потенциальных клиентов, а Уиттекер вкладывает в дело свои глубокие познания, накопленные за 29 лет исследовательских работ в Центре полевых роботов. В число спонсоров компании *Astrobotic* входит *Alcoa* из Питтсбурга, предоставившая алюминий, необходимый для космического аппарата, который должен доставить робота на Луну.

Уиттекер, бывший моряк, сын химика и торговца взрывчаткой, говорит, что посадка его робота на Луну завершит путь, пройденный его роботами по земле, под землей, на воде, под водой и почти во всех экстремальных условиях на нашей планете. Под победой в лунной гонке Уиттекер понимает не просто завоевание первого места; по его мнению, успехом компания *Astrobotic* может считать только выполнение всех условий для получения всех бонусов. «Если вы не сделали всего, то не сделали ничего», — говорит он.

### Дела ракетные

В качестве средства доставки космического аппарата и лунохода на Луну Уиттекер видит ракету *Falcon 9* компании *Space X*. Эта компания, созданная с целью радикального снижения стоимости космических полетов, — возможно, главный инструмент реализации конкурса

*Google Lunar X PRIZE*. Уиттекер уверен, что ракеты компании *Space X* выберут все команды, участвующие в конкурсе. «Насколько я знаю, на *Space X* ориентируются все участники конкурса из США», — говорит он. Но в таком случае стоимость запуска будет самой большой статьей расходов для любой команды. Хотя ракета *Falcon 9* дешевле всех других в своем классе, объявленная цена ее запуска составляет \$54 млн, т.е. в два с лишним раза превышает сумму первого приза конкурса. Конкуренты *Space X* не склонны обсуждать свои системы запуска, но не вызывает сомнений, что она победила на рынке, заключив самый большой в истории контракт с оператором спутниковой связи *Iridium* на сумму в \$492 млн.

Когда ракета *Falcon 9* с луноходом *Red Rover* на борту выйдет за пределы земной атмосферы, будет отброшен носовой обтекатель космического аппарата с луноходом, и вторая ступень ракеты направит их к Луне. Путешествие займет пять суток. Выдерживание нужной траектории обеспечит программа наведения, навигации и управления, разработанная в Университете Карнеги-Меллон. Она создана на основе той, которая позволила команде *Tartan Racing* выиграть гонку «Городской вызов». Вычислительные трудности в случаях автономных транспортных средств и управления космическим аппаратом различаются мало. Это обусловлено тем, что для решения обеих задач используется один и тот же математический аппарат. Главное различие заключается в том, что для управления аппаратом нельзя воспользоваться системой *GPS*, говорит член команды *Astrobotic* докторант Кевин Питерсон (Kevin Peterson). Поэтому чтобы проложить траекторию к Луне, приходится ориентироваться по опорным звездам, Луне и Земле.

После выхода на окололунную орбиту космический аппарат с луноходом должен выполнить посадку на поверхность. В 1969 г. лунный модуль к выбранной точке на Луне приводил астронавт Нил Армстронг, который мог видеть такие опасности, как кратеры и большие глыбы, и избегать их. Но расстояние в 360 тыс. км от Земли до Луны обуславливает задержку, которая не позволяет управлять аппаратом с Земли в реальном

### Космический аппарат

#### РЕКОГНОСЦИРОВКА С ПОМОЩЬЮ ЛУНОХОДОВ

В конкурсе *Google Lunar X PRIZE* соревнуются 26 команд из разных стран. Каждая должна создать луноход, доставить его на Луну и руководить его перемещениями по ее поверхности. Все это должно быть сделано до конца 2015 г. На снимках показаны идеи некоторых команд.



**Euroluna**  
Предусматривается создание четырехколесного лунохода массой всего 50 кг с питанием от солнечных батарей.



**JURBAN**  
Группа маленьких «личинок», которые могут соединяться в цепочки вроде сороконожек или расцепляться для выполнения различных заданий.



**Odyssey Moon**  
Команда *Odyssey Moon* первой подала заявку на участие в конкурсе *X PRIZE*. Ее посадочный модуль построен на основе технологии NASA.

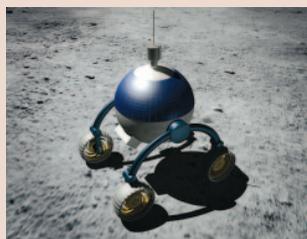
**Пережить лунную ночь сумел только советский луноход, снабженный полониевым радиоактивным источником подогрева. Однако ни Astrobotic, ни другие участники конкурса Google Lunar X PRIZE не имеют доступа к подобным строго контролируемым материалам**

времени, поэтому задача программы — автоматически выполнять то, что Армстронг делал вручную. Главный посадочный двигатель должен тормозить космический аппарат по мере его приближения к поверхности Луны, а малые двигатели системы ориентирования — обеспечивать его стабилизацию. Опустившись на поверхность через двое земных суток после восхода Солнца на Луне, аппарат должен развернуть две съездные ramпы (вторая служит запасной на случай, если камень или кратер помешают нормально развернуть первую). Болты, которые удерживают ramпы сложенными, рассчитаны на разрыв при сильном нагреве. Когда ramпы коснутся грунта, луноход съедет по одной из них, ориентируясь с помощью «бинокулярного зрения», обеспечиваемого двумя видеокамерами. Лунная пыль очень скользкая, поэтому определить пройденное расстояние по числу оборотов колес невозможно, так что придется использовать для этого бортовой компьютер, вычисляющий расстояние по изменению вида объектов на местности при движении лунохода. От солнечного и космического излучения, интенсивно бомбардирующего не прикрытую атмосферой поверхность Луны, компьютер будут защищать устойчивые к радиации компоненты.

Тем временем в Питтсбурге члены команды *Astrobotic*, отвечающие за миссию, будут поочередно работать круглые сутки в течение всего лунного дня, используя непрерывный поток изображений низкого разрешения для того, чтобы направлять луноход к представляющим интерес объектам (включая, как они надеются, место посадки «Аполлона»). Обходить опасности лунного рельефа луноход будет самостоятельно. Он передаст также изображения высокого разрешения в виде блоков зашифрованных данных как минимум один раз сразу после посадки — и второй раз, чтобы удовлетворить условиям конкурса *Google Lunar X PRIZE*. Кроме того, луноход будет передавать электронные сообщения, твиты и посты в *Facebook*.

Самая трудная техническая задача для команды *Astrobotic* состоит в том, чтобы аппарат смог пережить экстремальные условия лунного дня и лунной ночи, длящихся по две земные недели. В течение двухнедельной лунной ночи температура поверхности Луны в планируемом месте посадки лунохода падает с «дневного» значения, превышающего 120° С, примерно до -170° С. Все компоненты, в которых присутствует даже ничтожное количество воды, будут непоправимо повреждены, т.к. она замерзнет и расширится. Пережить лунную ночь сумел только советский луноход 1970-х гг., снабженный полониевым радиоактивным источником подогрева. Однако ни *Astrobotic*, ни другие участники конкурса *Google Lunar X PRIZE* не имеют доступа к подобным строго контролируемым материалам. Для защиты своего лунохода *Red Rover* от нагрева солнечным излучением команда *Astrobotic* использует систему углеродных волокон, окружающую батарею и отводящую тепло к внешней поверхности аппарата. Лунной ночью *Red Rover* будет находиться в спящем режиме и «проснется», когда Солнце «включит» безводные батареи на основе фосфата лития и железа, жесткие испытания которых проведет студент Университета Карнеги-Меллон Чарлз Муньос (Charles Munoz).

Это как раз тот тип недорогих инноваций, на поощрение которых направлен конкурс *Google Lunar X PRIZE*.



#### **Synergy Moon**

Зрители на Земле смогут управлять шаровидным луноходом Synergy Moon, когда он будет обследовать поверхность небесного тела с помощью двух видеокамер.



#### **Italia**

*Italia* еще не доработала конструкцию своего лунохода, но этот «паучок» дает представление о том, как он может выглядеть.



#### **Puli Space**

Этот «ежик» вызывает ассоциации с дредами венгерской оварчки пули, в честь которой и названа команда.



#### **White Label Space**

Колеса данного лунохода спроектированы с расчетом на то, чтобы они не скользили на покрытой пылью поверхности.

Шансы выиграть конкурс у команды *Astrobotic* высоки, но ей в затылок дышат Индия с Россией, которые совместно финансируют свой вариант лунохода, а также Китай, самостоятельно создающий луноход, который будет иметь радиоизотопный источник подогрева, что позволит ему пережить лунную ночь. Если один из этих аппаратов попадет на Луну первым, то сумма приза уменьшится до \$15 млн.

### Состязание

Команда Уиттекера ожидает острой конкуренции и со стороны других участников. Наибольшими средствами среди всех конкурсантов располагает команда компании *Moon Express* их Маунтин-Вью, штат Калифорния,

## Возможно, самым долговременным полезным эффектом конкурса Google Lunar X PRIZE станет то, что он будет вдохновлять следующие поколения ученых и инженеров

которую финансируют один из учредителей данной компании миллиардер Нейвин Джейн (Naveen Jain) и другие индивидуальные спонсоры. Она вступила в соревнование только в 2010 г., через три года после объявления конкурса, и поэтому отстает от команды *Astrobotic*. Но использование готовой космической платформы, разработанной NASA, помогает ей наверстать упущенное время. Другой конкурент — компания *Next Giant Leap*, возглавляемая бывшим пилотом, а ныне предпринимателем Майклом Джойсом (Michael Joyce). Она сотрудничает с группой *Draper Laboratory* из Массачусетского технологического института, разработавшей систему наведения, навигации и управления, которая «пасла» «Аполлон» на Луне, и с отделением космических систем корпорации *Sierra Nevada Corporation*. Эта команда разрабатывает новый «прыгающий» космический аппарат, который позволит обойтись без отдельного лунохода. В нем ракетные двигатели, тормозившие аппарат при спуске, вновь включаются для подъема аппарата и перемещения на небольшие расстояния к представляющим интерес объектам. Идея представляется перспективной, но ее реализация зависит от того, сумеет ли Джойс добыть достаточно денег.

Организаторы конкурса *Google Lunar X PRIZE* надеются, что в случае его успеха рынок появится: разработка луноходов и доставка их на Луну подстегнет его возникновение. В частности, *Astrobotic* предлагает место на борту своего космического аппарата и лунохода по цене соответственно \$1,8 и \$2,0 млн. за килограмм плюс \$250 тыс. «за интеграцию». Для таких исследователей,

как физик Дуглас Карри (Douglas Currie) из Мэрилендского университета, гарантированное место (по фиксированной цене) на коммерческом запуске было бы большим благом. Ему и его коллегам нужно место для системы ретрорефлекторов лазерного излучения на Луне, которые позволили бы проводить в 100 раз более точные измерения, чем те, которые оставили на Луне астронавты с «Аполлона».

Возможно, самым долговременным полезным эффектом конкурса *Google Lunar X PRIZE* станет то, что он будет вдохновлять следующие поколения ученых и инженеров. Курсу разработки передовых мобильных роботов Уиттекера соревнование предоставило возможность поволноваться по поводу событий в реальном мире. На последней неделе занятий курса в апреле 2011 г. члены группы механических конструкций компании *Astrobotic* толклись в мастерской Лаборатории планетных роботов Университета Карнеги-Меллон площадью 280 кв.м, полностью предоставленной создателям лунохода. Здесь шли испытания разрывных болтов, которые должны освободить съездные ramпы для лунохода, выбранных вместо взрывааемых болтов. Аспирантка Канти Наяка (Kanchi Nayaka) и группа старшекурсников установили на штатив высокоскоростную видеокамеру для регистрации процесса моделирования. Затем студенты включили рубильник, и через 17,9 секунд болты со стуком распались и ramпы упали на пол, открыв луноходу путь съезда.

«Потрясающе!» — воскликнула Наяка. Она отступила от камеры и улыбнулась гостю: «Вам здорово повезло!» ■

Перевод: И.Е. Сацевич

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Вторжение компании Boeing в область запуска частных лиц на орбиту: <http://blogs.ScientificAmerican.com/observations/2010/09/15/boeing-unveils-plans-to-launch-private-citizens-into-orbit>. Опубликовано онлайн 15 сентября 2010 г.
- Победители конкурса Progressive Insurance Automotive X PRIZE в Нью-Йорке: <http://blogs.ScientificAmerican.com/observations/2010/09/17/automotive-x-prize-winners-take-a-victory-lap-through-new-york-city-and-ponder-the-future>. Опубликовано онлайн 17 сентября 2010 г.
- План SpaceX по созданию первой ракеты, полностью допускающей многократное использование: [www.ScientificAmerican.com/article.cfm?id=spacex-unveils-plan-for-worlds-first-fully-reusable-rocket](http://www.ScientificAmerican.com/article.cfm?id=spacex-unveils-plan-for-worlds-first-fully-reusable-rocket). Опубликовано онлайн 30 сентября 2011 г.
- Галерею изображений, касающихся компании *Astrobotic Technology* и конкурса *Google Lunar X PRIZE*, см. на сайте [ScientificAmerican.com/apr2012/x-prize](http://ScientificAmerican.com/apr2012/x-prize)



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

# Научная Россия

<http://scientificrussia.ru>



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