

ISSN 0044-3948

# ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

КОСМОНАВТИКА  
АСТРОНОМИЯ  
ГЕОФИЗИКА

МАЙ-ИЮНЬ

3/2014





*Яков Борисович Зельдович  
(к 100-летию со дня рождения)*

Научно-популярный журнал  
Российской академии наук  
Издается под руководством  
Президиума РАН  
Выходит с января 1965 года  
6 раз в год  
“Наука”  
Москва

# ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

3/2014



## Новости науки и другая информация:

Туманность Лагуна [16]; Марс был пригоден для жизни? [29]; Солнце в декабре 2013 г. – январе 2014 г. [30]; Обсерватория «IRIS» исследует Солнце [33]; Пыль в сверхновой [43]; Лунная пыль [70]; Столкновения галактик [90]; Число экзопланет увеличивается [91]; Фрагменты кометы упали на Землю [108]; Система «МАСТЕР» [109]; Российский прибор для изучения Юпитера [111].

## В номере:

3 СЕМЕНЦОВ В.Н. “Гайя” измерит Галактику  
17 ЗАСТЕНКЕР Г.Н., ШАФРАНКОВА Я. Тонкая структура и быстрые вариации солнечного ветра

## ЛЮДИ НАУКИ

*К 100-летию со дня рождения Я.Б. Зельдовича*

34 Яков Борисович Зельдович  
44 ЗЕЛЬДОВИЧ Я.Б. Социальное общечеловеческое значение фундаментальной науки  
50 Воспоминания о Я.Б. Зельдовиче  
60 ШАКУРА Н.И. Как создавалась теория дисковой аккреции  
71 Памяти Юрия Антониевича Израэля  
74 Памяти Джона Добсона

## СИМПОЗИУМЫ, КОНФЕРЕНЦИИ, СЪЕЗДЫ

78 ЗАКУТНЯЯ О.В. Ближайшие цели российской планетной программы – Луна и Марс

## ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ

92 ЩИВЬЁВ В.И. Небесный календарь: июль – август 2014 г.  
97 НОВИЧОНОК А.О. Яркие кометы в 2013 году



© Российская академия наук  
© Редколлегия журнала  
“Земля и Вселенная” (составитель), 2014

Zemlya i Vseennaya (Earth and Universe); Moscow, Maronovsky per., 26, f. 1965, 6 a year; by the Nauka (Science) Publishing House; Joint edition of the Russian Academy of Science; popular, current hypotheses of the origin and development of the Earth and Universe; astronomy, geophysics and space research; Chief Editor V.K. Abalakin; Deputy Editors S.P. Perov, V.M. Kotlyakov

**На стр. 1 обложки:** Комета C/2012 V2 (LINEAR), расположенная недалеко от спиральной галактики NGC 2997 в созвездии Насоса. Снимок сделал английский астроном-любитель Д. Пич 29 сентября 2013 г. (к статье А.О. Новичонка).

**На стр. 3 обложки:** Остаток сверхновой 1987A в Большом Магеллановом Облаке, находящийся в 160 тыс. св. лет от Земли. Центр вспышки сверхновой окружают ударные волны в форме светящихся пятен и два концентрических кольца пылевых облаков, освещенных излучением раскаленного газа. Вверху: Изображение, составленное 6 января 2014 г. из снимков, полученных в миллиметровом (красный цвет; телескоп ALMA Европейской Южной Обсерватории), видимом (зеленый; KTX) и рентгеновском (синий; “Чандра”) диапазонах. Внизу: Модель остатка взорванной звезды. Видны ее внутренние холодные области (красный цвет) с огромным количеством пыли. Фото и рисунок ESO/NRAO (к стр. 43).

**На стр. 4 обложки:** Фрагмент эмиссионной туманности Лагуна (M8, NGC 6523) размером более 60 св. лет (5200 св. лет от нас, созвездие Стрельца). Это гигантское межзвездное облако и область HII, где идет активное звездообразование. Снимок сделан 22 января 2014 г. с помощью телескопа VLT Европейской Южной Обсерватории. Фото ESO (к стр. 16).

#### **In this issue:**

- 3 SEMENTSOV V.N. “GAIA” to Map the Galaxy
- 17 ZASTENKER G.N., SHAFRANKOVA Ya. Fine Structure and Rapid Variations of Solar Wind

#### **PEOPLE OF SCIENCE**

##### *To the 100<sup>th</sup> Anniversary of Ya.B. Zeldovich*

- 34 Yakov Borisovich Zeldovich
- 44 ZELDOVICH Ya.B. Social and Human Importance of Fundamental Science
- 50 Memories about Ya.B. Zeldovich
- 60 SHAKURA N.I. How the Accretion Disc Theory was created
- 71 In Memory of Yuri Antonievich Izrael
- 74 In Memory of John Dobson

#### **SYMPOSIA, CONFERENCES, CONGRESSES**

- 78 ZAKUTNYAYA O.V. Nearest Goals of the Russian Planetary Program – the Moon and Mars

#### **AMATEUR ASTRONOMY**

- 92 SHCHIV'YOV V.I. Celestial Calendar: July – August 2014
- 97 NOVICHONOK A.O. Bright Comets in 2013

#### **Редакционная коллегия**

Главный редактор член-корреспондент РАН В.К. АБАЛАКИН  
Зам. главного редактора доктор физ.-мат. наук С.П. ПЕРОВ  
Зам. главного редактора академик В.М. КОТЛЯКОВ  
доктор физ.-мат. наук А.А. ГУРШТЕЙН,  
академик Л.М. ЗЕЛЁНЫЙ,  
доктор исторических наук К.В. ИВАНОВ,  
кандидат физ.-мат. наук О.Ю. ЛАВРОВА,  
член-корр. РАН А.А. МАЛОВИЧКО, доктор физ.-мат. наук И.Г. МИТРОФАНОВ,  
член-корр. РАН И.И. МОХОВ, член-корр. РАН А.В. НИКОЛАЕВ,  
член-корр. РАН И.Д. НОВИКОВ, доктор физ.-мат. наук М.В. РОДКИН,  
доктор физ.-мат. наук Ю.А. РЯБОВ, член-корр. РАН В.А. СОЛОВЬЁВ,  
кандидат физ.-мат. наук О.С. УГОЛЬНИКОВ, член-корр. РАН В.П. САВИНЫХ,  
академик А.М. ЧЕРЕПАЩУК, доктор физ.-мат. наук В.В. ШЕВЧЕНКО

## “Гайя” измерит Галактику

В.Н. СЕМЕНЦОВ,  
кандидат физико-математических наук  
ГАИШ МГУ

---

19 декабря 2013 г. с космодрома Куру во Французской Гвиане российская РН “Союз-СТ-Б” с разгонным блоком “Фрегат-МТ” вывела на расчетную высокоэллиптическую орбиту европейскую космическую астрометрическую обсерваторию “Гайя”. 15 января 2014 г. она достигла рабочей орбиты в окрестности точки Лагранжа L2 системы Земля – Солнце (примерно 1,5 млн км от Зем-



ли). Главная задача обсерватории – составить подробную трехмерную карту расположения в нашей Галактике около миллиарда звезд до 20<sup>m</sup> с указанием их координат, пространственных скоростей и спектров низкого разрешения. Помимо этого она сможет обнаружить тысячи экзопланет, астероидов и комет в Солнечной системе.

### ИСТОРИЯ ПРОЕКТА

Астрометрический эксперимент “Гайя” предложили в 1993 г. доктора наук Л. Линдегрена (Лундский университет, Швеция) и М. Перримана (ESA). В этот год Европейское космическое агентство формировало перспективную программу “Горизонт” (“Horizon 2000 Plus”), рассчитанную на проведение в XXI в. фун-

даментальных научных исследований. В 2000 г. доработанный проект “Гайя” приняли для реализации. Он попал в планы ESA как “краеугольный камень № 6” наряду с проектами АМС “Улисс” (“Ulysses”; Земля и Вселенная, 1991, № 1, с. 67–68; 1993, № 5; 2009, № 5), “Марс Экспресс” (Земля и Вселенная, 2004, № 1; 2005, № 1; 2006, № 2; 2008, № 4), “БепиКолом-

бо” (“BepiColombo”; запуск в 2015 г.) и космических обсерваторий “JWST” (James Webb Space Telescope – телескоп им. Джеймса Уэбба, с участием NASA; 2018 г.), “LISA” (Laser Interferometer Space Antenna – космическая антенна лазерного интерферометра; 2028 г.). Обсерваторию назвали “Гайя” (“GAIA”, Global Astrometric Interferometer

for Astrophysics – глобальный астрометрический интерферометр для астрофизических исследований), поскольку предполагалось измерять углы между объектами на небесной сфере интерферометрическим методом; в дальнейшем схема измерений изменилась, но название осталось. Напомним, что в древнегреческой мифологии Гея (Γαία) – богиня Земли и подземного мира.

Астрометрический инструмент для нужд астрофизики был призван построить трехмерную карту ближайшей к Солнечной системе области Млечного Пути. Чтобы составить такую карту, необходимо выполнить высокоточный обзор всей небесной сферы. Телескопы обсерватории, расположенные перпендикулярно оси вращения КА, сканируют небо, две линейки звездных датчиков сначала регистрируют небесные объекты в двух полях зрения телескопа, затем сведенные вместе поля зрения наблюдаются на мозаике из ПЗС-матриц различного назначения. Из-за такой гигантской конструкции – 106 ПЗС-матриц общим размером  $0,5 \times 1$  м с суммарным разрешением 938 млн пикселей – устройство уже назвали самой большой в мире цифровой камерой в космосе. Ученые надеются, что после пяти лет

работы они получат координаты, собственные движения, параллаксы и интегральные видимые звездные величины примерно миллиарда объектов слабее  $5,7^m$  и ярче  $20^m$ , а также спектры низкого разрешения.

Чтобы представить себе масштаб космического эксперимента “Гайя”, приведем некоторые планируемые результаты:

- на небе будут измерены все объекты в миллион раз слабее видимых невооруженным глазом;

- положения звезд до  $10^m$  будут определены с точностью 7 микросекунд дуги (под таким углом телескоп способен различить человеческий волос на расстоянии 1000 км);

- расстояния до ближайших звезд будут измерены с беспрецедентной точностью в 0,001%, расстояния до звезд вблизи центра Галактики (10 кпк, или 32 580 св. лет) будут измерены с точностью лучше 20%;

- консорциум обработки и анализа данных “Гайи” (Data Processing and Analysis Consortium, DPAC) насчитывает более 400 сотрудников при ожидаемой трудоемкости процесса обработки около 2 тыс. человеко-лет;

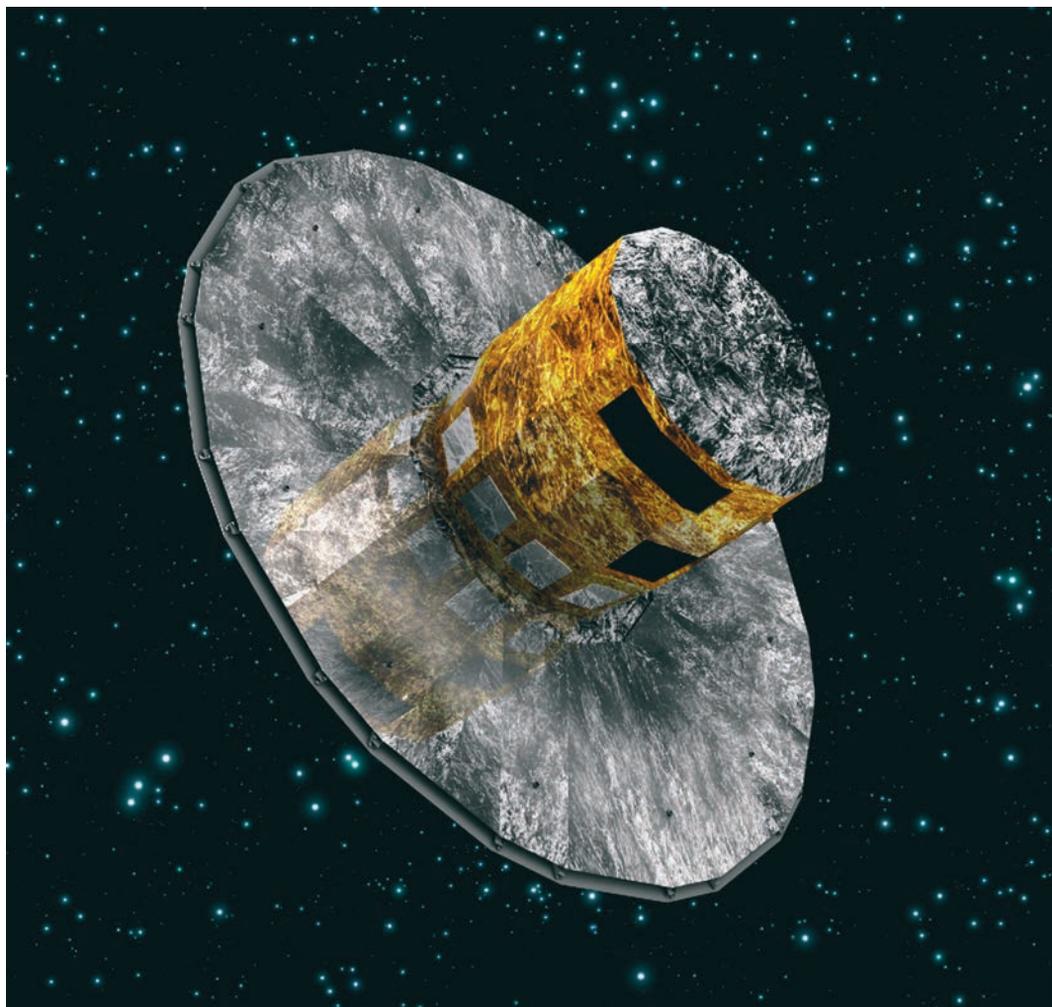
- к концу эксперимента архив данных превысит 1 петабайт ( $10^6$  Гбайт), что эквивалентно 200 тыс. DVD;

- непосредственно по тематике проекта уже опубликовано примерно 400 научных статей и около 500 статей по связанным с проектом “Гайя” научным проблемам; ESA выпустило несколько тематических сборников;

- разработка проекта, создание приборов и обсерватории, подготовка к запуску заняли 20 лет и обошлись в 740 млн евро.

#### ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБСЕРВАТОРИИ

Размеры обсерватории “Гайя” –  $2,3 \times 4,6$  м, диаметр с раскрытой солнечной батареей – около 10 м, масса – 2030 кг, в том числе масса научного оборудования – 710 кг, сервисного модуля – 920 кг, горючего – 400 кг, общая мощность солнечной батареи – 1,9 кВт. Конструкция телескопа – плод развития идей, новых технологических решений и использования опыта эксплуатации европейской космической астрометрической обсерватории “Гиппарх” (“HIPPARCOS”, High Precision PARallax COLlecting Satellite – спутник для сбора высокоточных параллаксов; запущена в 1989 г.; Земля и Вселенная, 1990, № 1, с. 69; 2003, № 5). Напомним, что обсерватория “Гиппарх” за 37 месяцев выполнила астрометрические и фотометрические измерения звезд,



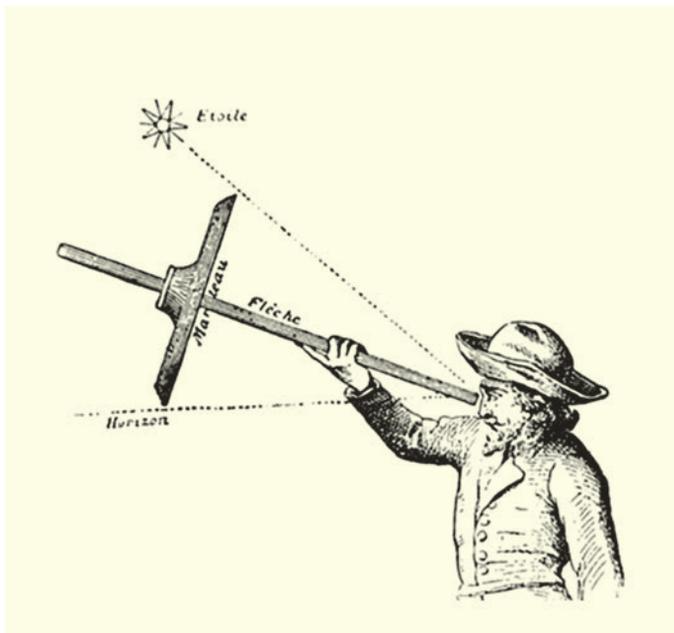
*Европейская космическая астрометрическая обсерватория "Гайя". Рисунок ESA.*

что позволило определить их положения в пространстве, собственные движения и параллаксы на миллисекундном уровне точности. На основе данных обсерватории "Гиппарх" созданы каталоги Гиппарх (Hipparcos)

и Тихо (Tycho), содержащие информацию о 118 218 звездах до  $12,4^m$  и о 1 058 332 звездах до  $11,5^m$  соответственно (Земля и Вселенная, 2003, № 5). Впоследствии повторная обработка данных звездного датчика (эксперимент Тихо) с использованием наземных наблюдений позволила создать каталог Тихо-2 (2 539 913 звезд до  $11,5^m$ , заполненный на 90%) и каталог двой-

ных звезд Тихо (103 259 звезд-компонент).

Любой астрометрический инструмент с древнейших времен – приспособление для точного измерения больших углов на небесной сфере. Один из первых инструментов – "посох Якова" – используется с 1300-х гг. в астрономии, навигации и геодезии. Название произошло, возможно, от сходства крестообразной формы инстру-



“Посох Якова” – один из первых угломерных инструментов. Старинная гравюра.

поле зрения будет маленькое, значит, нужны два поля зрения, разнесенные на большой угол (у “Гайи” он равен  $106,5^\circ$ ), и средства контроля стабильности этого угла. Кроме того, чтобы стабилизировать условия наблюдений, обсерваторию вывели в точку Лагранжа L2 системы Земля – Солнце, где нет таких резких

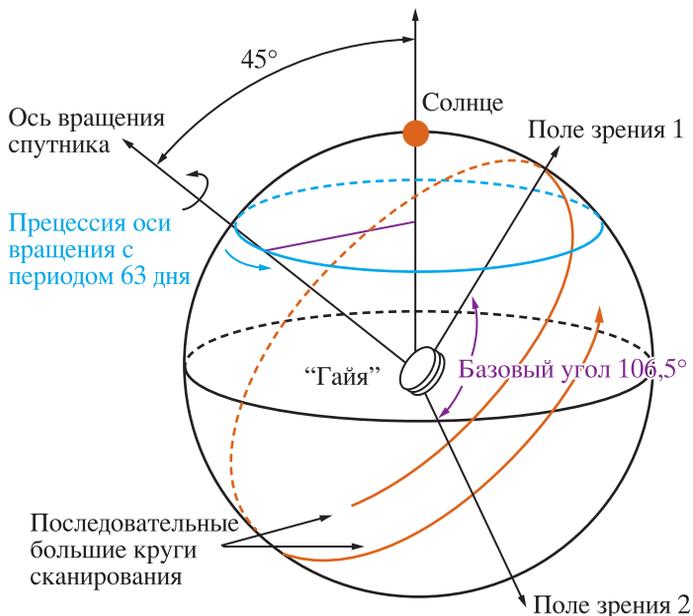
мента с конфигурацией созвездия Ориона, на некоторых средневековых звездных картах оно име-

валось Иаковом. Для точного измерения в оптике необходим длинный фокус, следовательно,

Сборка теплового экрана космической обсерватории “Гайя” в концертне “Astrium” в Тулузе. 24 октября 2011 г. Фото “EADS Astrium”.



Схема перемещения в космическом пространстве обсерватории “Гайя” в процессе астрономических наблюдений.



перепадов освещенности и температуры, как на околоземных орбитах. С целью максимальной тепловой и световой защиты телескоп оснащен большим разворачиваемым экраном площадью 100 м<sup>2</sup>, который дополнительно прикрывает научный отсек КА от прямых солнечных лучей и покрыт панелями солнечных батарей площадью 5,5 м<sup>2</sup> (солнечные батареи площадью 7,3 м<sup>2</sup> расположены на служебном модуле).

Бортовая система обработки и передачи данных состоит из фазированной радиоантенны диаметром 1,5 м и компьютера. Подвижную параболическую антенну, которыми обычно оборудуют КА, ставить было нельзя, поэтому “Гайя” использует фазированную антенную решетку (как на новых истребителях МиГ-29). Из 1,9 кВт энергии, вырабатываемой солнечными батареями, примерно 250 Вт расходуется при передаче промежуточных результатов на Землю. Удаленность КА ограничивает скорость передачи информации, канал передачи данных смо-

жет обеспечить около 1 Мбит/с во время сеансов связи, длящихся 8 ч в сутки. Полный поток данных с фотоприемников превышает несколько гигабит в секунду. Передавать полностью изображения не получится, вырезаются несколько десятков центральных пикселей каждого выделенного объекта. Затем обработку изображений осуществляет бортовой компьютер, собранный на основе радиационно-устойчивого SPARC-процессора ERC32 и оснащенный 960 Гбит флэш-памяти и 7 линиями связи, Space Wire (IEEE 1355), передающими информацию со скоростью 40 Мбит/с каждая. Кроме того, диапазон величин измеряемых объектов ограничен сверху величиной 5,7<sup>m</sup>,

так как яркие звезды слишком сильно расплываются на ПЗС-матрицах.

“Гайя” будет двигаться вокруг точки гравитационного равновесия – точки либрации L2 – приблизительно на неизменном удалении от Земли и Солнца, на орбите в форме фигуры Лиссажу, замкнутой в объеме 263 тыс. × 707 тыс. × 370 тыс. км; перемещение по орбите КА совершает приблизительно за 180 сут. Орбита рассчитана таким образом, чтобы обсерватория в течение шести лет не попадала в область тени или полутени от Земли, так как даже короткое затмение приведет к потере энергоснабжения и значительному тепловому шоку. Обсерватории за пять-шесть лет эксплуатации почти не

потребуется включить двигатель коррекции орбиты. Обозрение всего неба осуществляется в постоянном вращении КА вокруг своей оси с периодом 6 ч, что дает скорость перемещения изображений в фокальной плоскости 60" в секунду. Ось вращения прецессирует под углом 45° вокруг направления на Солнце с периодом 63 сут. За все время наблюдений "неподвижные" астрономические объекты будут измеряться примерно по 70 раз. Планируемый результат – наблюдение ярких объектов с точностью около 20 угловых микросекунд, слабых – около 200, что в тысячи раз меньше углового размера пикселя. Значит, необходимы осреднение индивидуального разброса характеристик пикселей и многократные наблюдения звезд в стабильных условиях.

#### ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ

В программу исследований обсерватории "Гайя" вошли:

- измерение положений и скоростей примерно миллиарда звезд Галактики;

- определение светимости, температур, химического состава и кинематики этих звезд;

- сбор данных для создания 3-D карты 1% всех звезд Млечного Пути.

Ожидаемые результаты наблюдений:

- сотни тысяч астероидов и комет в Солнечной системе;

- сотни экзопланет;

- десятки тысяч коричневых карликов;

- около 20 тыс. сверхновых;

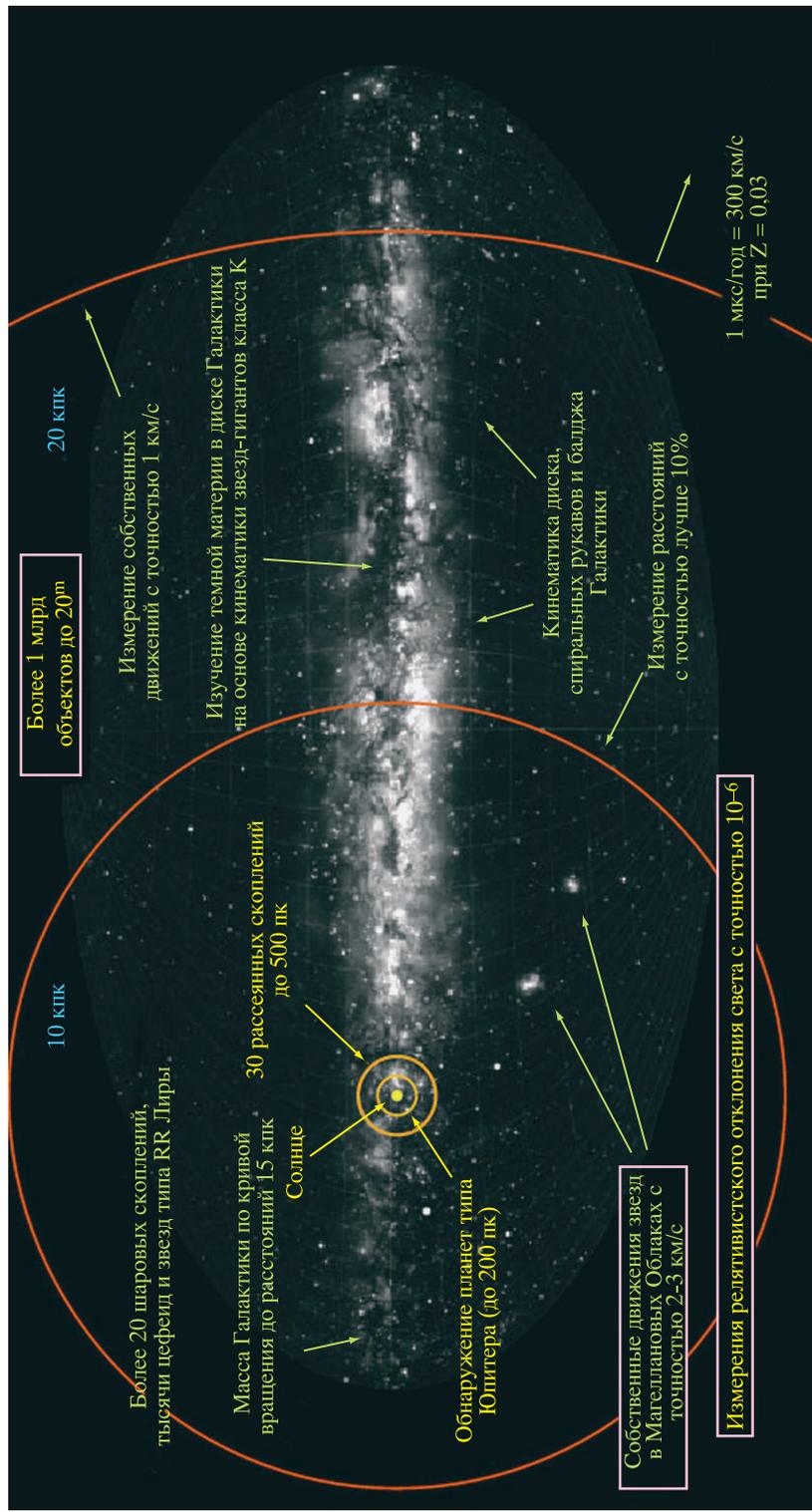
- сотни тысяч активных ядер галактик.

Для многих задач астрофизики важны светимости звезд или их абсолютные звездные величины. Определить эти параметры можно, только зная параллаксы звезд. Наземные наблюдения параллакса не очень точны из-за влияния атмосферы и инструментальных погрешностей. Так, до 1990-х гг. удалось измерить параллаксы примерно 8 тыс. звезд. В 1989–1993 гг. обсерватория "Гиппарх" измерила параллаксы 100 тыс. звезд на расстояниях до 300 пк (977,4 св. года). "Гайя" измерит параллаксы миллиарда объектов на расстояниях до 10 кпк.

В настоящее время мы не знаем всех звезд до 20<sup>m</sup>. Звездные каталоги, основанные на наземных, еще фотографических наблюдениях (USNO-B, PPM-XL), менее глубоки и отягощены большими ошибками, глубокие обзоры (например, звездные каталоги в рамках SDSS) фрагментарны или выполнены вне оптического диапазона (как 2MASS). Обзор, который выполнит "Гайя", позволит больше узнать о функции светимости звезд, "поймать" объ-

екты, находящиеся на кратковременных этапах звездной эволюции, детализировать динамику Галактики и свойства ее различных населений.

Важная задача, стоящая перед обсерваторией "Гайя", – наблюдение внегалактических радиосточников (квазаров). В большинстве своем это достаточно слабые объекты в оптическом диапазоне, однако около полумиллиона из них ярче 20<sup>m</sup>. Выполненные обсерваторией измерения "привяжут" координаты звезд к международной небесной системе отсчета (сейчас – ICRF-2). Аналогичная работа, проделанная 20 лет назад обсерваторией "Гиппарх", обеспечила координаты в системе ICRF всего для 118 тыс. звезд, причем впоследствии около 18 тыс. звезд пришлось отбросить из-за больших погрешностей (каталог называли Hipparcos Celestial Reference Frame, HCRF). За прошедшие годы точность системы HCRF значительно снизилась. Если мы хотим использовать систему координат в оптическом диапазоне на современном уровне точности (единицы миллисекунд дуги даже при наблюдениях на больших наземных телескопах), то назрела необходимость в новых каталогах звезд, созданных на основе данных, которые получит "Гайя".



Карта Галактики с обозначением участков, наблюдаемых по программе космической обсерватории "Гайя". Рисунок NASA, ESA.

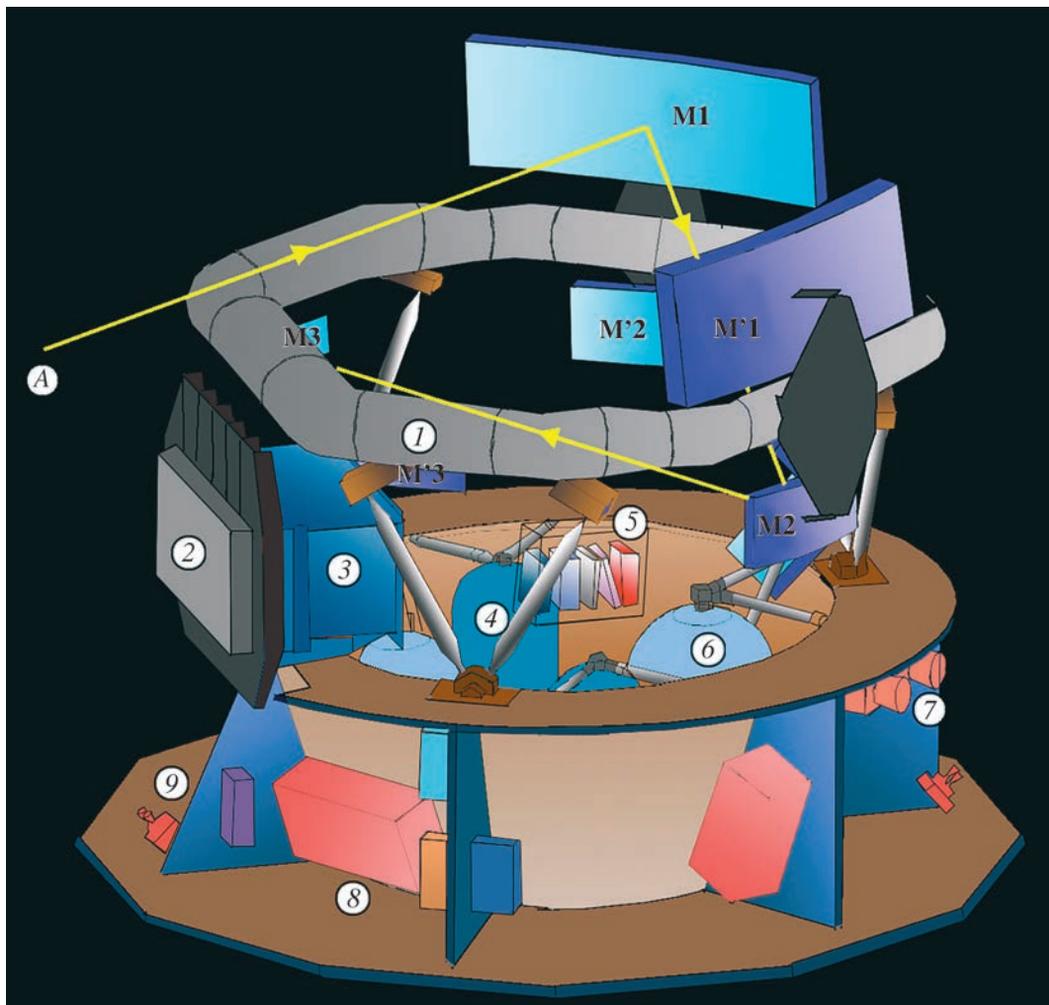


Схема размещения научного оборудования на космической обсерватории "Гая": М1–М3 – зеркала телескопа № 1; М'1–М'3 – зеркала телескопа № 2; А – луч света телескопа № 1 отражается от зеркал М1–М3; 1 – оптическая скамья (тор из карбида кремния); 2 – радиатор системы охлаждения; 3 – мозаика из ПЗС-матриц в фокальной плоскости; 4 – резервуары с жидким азотом; 5 – спектроскоп с дифракционной решеткой; 6 – резервуары с топливом; 7 – звездные датчики; 8 – аппаратура связи и система электропитания; 9 – двигатели управления. Рисунок ESA.

## НАУЧНАЯ АППАРАТУРА

При взгляде на схему устройства научного оборудования обсерватории "Гая" возникает вопрос: зачем так сложно? Максимальная точность из-

мерений – главное условие при получении астрометрического результата. Длинные оптические пути "сломаны" зеркалами и втиснуты на жесткую оптическую скамью. Фотоприемник один, по-

скольку изготовить два настолько одинаковых, как требуют задачи проекта, совершенно невозможно. В рабочий период на КА не будут функционировать никакие механические устройства,

кроме микродвигателей на сжиженном газе. Даже гироскопы для контроля ориентации – лазерные. И никаких движущихся частей с неизбежными вибрациями и полочками!

На “Гайе” установлены два одинаковых телескопа и система формирования изображения в фокальной плоскости с контролем базового угла. В фокальной плоскости расположены служебные фотоприемники метрологической системы, датчики базового угла и волнового фронта. Здесь же находятся научные инструменты: AF

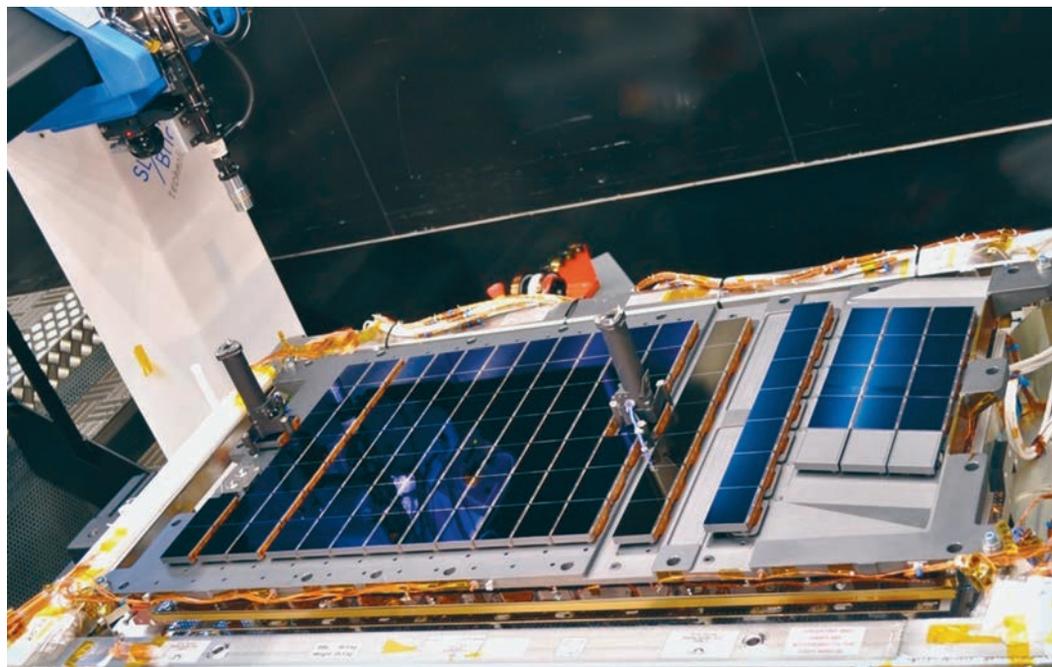
(Astrometric Field, мозаика для астрометрических измерений), BP/RP (фотометры с синей и красной рабочими полосами чувствительности соответственно) и RVS (спектрометр для измерения лучевых скоростей). Все ПЗС-матрицы изготовлены английской компанией e2v technologies – мировым лидером в своей области. Бортовое оборудование изготовлено европейским аэрокосмическим концерном “EADS Astrium”. Отдельные компоненты произвели несколько европейских компаний, например, заготовки зеркал M1/M1’ из карбида кремния изготовила французская фирма “Boostec”, дополнительно обработала немецкая “Schunk

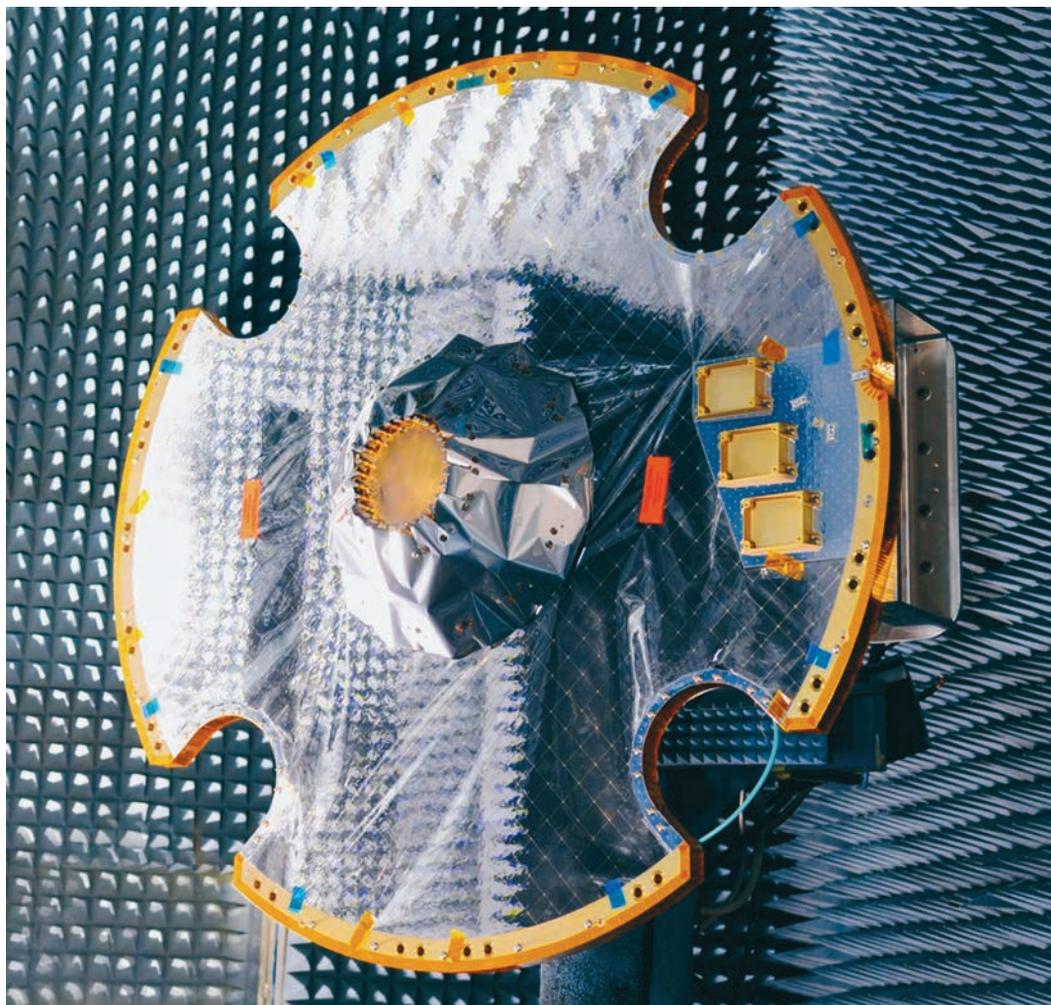
Kohlenstofftechnik” и окончательно отполировала французская фирма “Sagem”.

Два телескопа с апертурами  $1,45 \text{ м} \times 0,5 \text{ м}$ , полем зрения  $1,7^\circ \times 0,6^\circ$  и эквивалентным фокусом 35 м, конечно, нельзя было вывести в космос как устройство именно такого размера. Кроме того, во время астрономических наблюдений невозможно было бы проконтролировать базовый угол между телескопами. Поэтому все оборудование смонтировано на оптической скамье диаметром 3 м. Лучи света в каждом поле зрения последовательно отражаются от вогнутых главных зеркал M1/M1’ соответственно, затем от выпуклых зер-

---

*ПЗС-матрицы, размещенные в фокальной плоскости телескопа. Фото ESA.*





кал М2/М2', снова вогнутых М3/М3', угол между лучами из разных полей зрения постепенно уменьшается, затем, отражаясь от плоских полупрозрачных зеркал М4/М4', лучи сводятся в одно поле зрения и после отражения от вспомогательных зеркал М5 и М6 попадают на общий фотоприемник. Часть света, прошедшая через зеркала М4/М4', падает на ПЗС-матрицу звездных

датчиков. Положение элементов оптического тракта контролируют лазерные интерферометры, положение КА в пространстве – звездные и солнечные датчики и лазерные гироскопы.

Обсерватория "Гайя" снабжена самой большой камерой из когда-либо выводившихся в космос. Размеры изображения, сформированного двумя телескопами, будут огромными –  $0,5 \times 1$  м. Что-

*1,5-м антенная панель, несущая фазированную антенную решетку, космической обсерватории "Гайя" во время испытаний в испанском отделении CASA концерна "EADS Astrium". 20 марта 2012 г. Фото ESA.*

бы покрыть всю эту область, используются 106 ПЗС-матриц, большинство из них работают в белом свете. Кроме того, установлены ПЗС-мат-

рицы, чувствительные в синей (BP) и красной (RP) областях видимого спектра, которые обеспечивают фотометрирование объектов. Поскольку каждая ПЗС-матрица состоит из примерно 9 млн пикселей, то все фотоприемники в фокальной плоскости содержат около миллиарда пикселей.

Рассмотрим устройство и назначение различных фотоприемников, расположенных в фокальной плоскости "Гайя". Описание будет

идти последовательно, соответственно тому, как перемещается по фокальной плоскости изображение звездного неба. Прежде отметим, что измерять в основном будут объекты, спроецированные из двух полей зрения на одну общую мозаику из ПЗС-матриц. Чтобы различать, из какого поля зрения объект, незадолго до окончательного объединения двух пучков света и фокусировки их на общей фокальной плоскости

часть света в каждом канале пропускается промежуточными зеркалами M4/M4' непосредственно на фокальную плоскость. В этом месте на всю ширину поля зрения установлены две полоски ПЗС-матриц звездных датчиков. Это такие же звездные датчики, как и автономные приборы,

---

*Сборка и проверка оптической системы телескопа, установленного на обсерватории "Гайя". Фото ESA.*



установленные на служебном модуле и предназначенные для контроля ориентации КА. Только те регистрируют звезды и определяют координаты центра поля зрения, а датчики в главном фокусе выделяют объекты и помогают маркировать траектории движения звезд на основной астрометрической мозаике. По сигналам звездных датчиков помечают области, экспонируемые уже на суммарном изображении, но относящиеся к разным полям зрения. Далее расположен главный измерительный инструмент – астрометрическая мозаика. Чтобы накопить основной сигнал от звезды, используется большая мозаика из ПЗС-матриц, а по полученным данным определяются координаты и видимая (инструментальная) звездная величина. Затем изображение проходит по двум разноцветным линейкам ПЗС-матриц – это синий и красный фотометры, они регистрируют грубые спектры, создаваемые призмами, расположенными над фокальной плоскостью. Мозаика из 12 ПЗС-матриц регистрирует спектры высокого разрешения с дифракционной решетки, по которым затем определяют лучевые скорости звезд и оценивают некоторые их спектральные характеристики.

Как видим, изображения небесных объектов непрерывно ползут по фокальной плоскости. Накопление сигнала от объектов на мозаике ПЗС-матриц производится в режиме, называемом временной задержкой с накоплением, или дрейфовым сканированием. Изображение, построенное телескопом, вследствие вращения КА передвигается по ПЗС-матрицам, а накопленный заряд синхронно передается со строки на строку. Таким образом, звезда за примерно минуту передвинется через все поле зрения телескопа и за несколько секунд пройдет каждую из девяти астрометрических ПЗС-матриц на своем пути. Такой режим наблюдений позволит сильно сгладить технологический разброс фотоприемников.

#### планы наблюдений

На обработку результатов исследований отводится три года после окончания работы “Гайи”, не считая выпуска четырех промежуточных каталогов, созданных по данным обсерватории. Ученые не сомневаются, что “Гайя” раздвинет границы нашего знания.

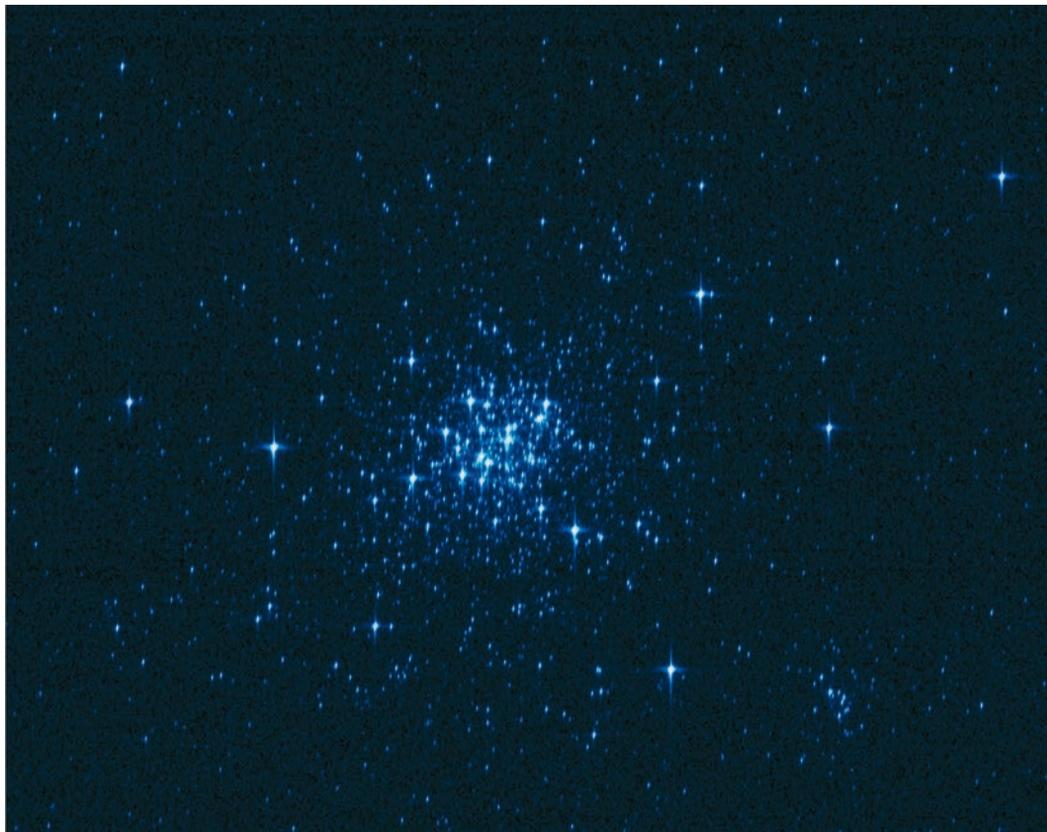
17 января 2014 г. телескопы “Гайи” передали первые изображения звезд  $\alpha$  Водолея. Через две недели в процессе калибровки и испытаний

оптические системы обсерватории “Гайя” были частично отъюстированы, и удалось получить изображение молодого звездного скопления NGC 1818 в Большом Магеллановом Облаке, удаленного от Земли на 160 тыс. св. лет, с полем обзора  $212'' \times 212''$ . Время накопления изображения – 2,85 с. Ярчайшие гиганты в NGC 1818 – примерно  $19^m$ .

Настройка научных приборов и бортовых систем обсерватории “Гайя” продолжится еще несколько месяцев. За это время будут отлажены все системы, полностью израсходовано горючее и испарятся адсорбированные газы, так что оборудование придет в стабильное состояние, необходимое для работы в течение пяти лет.

Данные наблюдений по мере их накопления будет обрабатывать международный консорциум DPAC (Data Processing and Analysis Consortium). Предусмотрен выпуск четырех промежуточных версий каталога.

Первая версия (через 22 месяца после запуска) должна содержать положения ( $\alpha$ ,  $\delta$ ) и инструментальные звездные величины  $G$  для тех звезд, у которых формальная погрешность измерений будет невелика. Считается, что первая версия охватит 90% небесной сферы и будет содержать параметры всех



*Скопление звезд NGC 1818 в Большом Магеллановом Облаке. Калибровочное изображение получено 6 февраля 2014 г. космической обсерваторией "Гайя". Фото ESA/DPAC.*

одиночных звезд. Кроме того, в первую версию каталога войдут поля площадью  $1^\circ$  в окрестности полюсов эклиптики, которые наблюдаются прямо сейчас, в процессе юстировки и калибровки оборудования. Для общих объектов "Гайи" и "Гиппарха" будет создан каталог параметров перемещения КА (HTRM, Hundred Thousand Proper

Motion – сто тысяч собственных движений).

Во вторую версию (через 28 месяцев после запуска) войдут пять астрометрических параметров (координаты, собственные движения и параллаксы) одиночных звезд на 90% небесной сферы. Опубликуют величины лучевых скоростей звезд, не показывающие переменности, а также интегральную фотометрию BP/RP объектов и те их астрофизические характеристики, которые будут получены с удовлетворительной точностью.

Третья версия (через 40 месяцев после запус-

ка) будет содержать параметры орбит, лучевые скорости и пять астрометрических параметров двойных звезд с орбитальными периодами от двух месяцев до 75% периода наблюдений. Планируется опубликовать астрофизические параметры, спектральную классификацию по фотометрии (BP/RP) и/или по данным спектрометра RVS. Будут опубликованы лучевые скорости тех звезд, у которых они окажутся неизменными и параметры атмосфер удастся оценить точно.

Четвертая версия (65 месяцев после запуска)

будет содержать классификацию переменных звезд, орбиты тел Солнечной системы и каталог кратных звезд.

Окончательная версия (три года после окончания наблюдений) будет содержать каталоги координат, фотометрии и лучевых скоростей всех звезд, кривых блеска переменных и орбит двойных звезд. Благодаря этому каталогу станут доступны классификация объектов и астрофизические параметры (по наблюдениям, BP/RP, RVs и астрометрии) звезд, неразрешенных двойных, галактик и квазаров. Часть параметров самых слабых объектов может отсут-

ствовать. Предполагается опубликовать список экзопланет, эфемериды всех наблюдавшихся источников, а также результаты всех наземных наблюдений, которые могут понадобиться при обработке данных.

Такая процедура, состоящая из многих стадий получения и публикации результатов наблюдений, вызвана следующими обстоятельствами:

– математическая модель всего собранного массива данных считается одной из самых масштабных астрометрических задач – это сотни миллиардов уравнений с миллиардами неизвестных, вычисляемых быс-

трдействующими компьютерами;

– ожидаемая точность астрометрических параметров существенно лучше, чем разрешение оптической системы, поэтому ни на мгновенном, ни на суммарном изображении не будет видно, параметры какого объекта определяются, например одиночной или двойной звезды; ответ даст только тщательный анализ погрешностей при обработке наблюдений;

– обработка наблюдений объектов переменного блеска и разнообразных кратных систем, двойных звезд и экзопланет требует решения существенно более сложных нелинейных уравнений.

## Информация

### Туманность Лагуна

Астрономы Европейской Южной Обсерватории получили изображение туманности Лагуна (M8, NGC 6523) в рамках обзора неба VPHAS+ с помощью телескопа VLT (Параналь, Чили). Гигантская туманность размером 140 св. лет расположена на расстоянии 5200 св. лет от нас в созвездии Стрельца в направлении на центр нашей

Галактики. На ее фрагменте размером более 60 св. лет видны области активного звездообразования, волокна светящегося газа, темные газопылевые облака и горячие звезды рассеянного звездного скопления NGC 6530, погруженного в туманность (см. стр. 4 обложки). Около центра Лагуны находится яркая область, по форме напоминающая песочные часы, – результат турбулентного взаимодействия звездных ветров и мощного излучения молодых звезд.

Туманность Лагуна открыл сицилийский астроном Джованни Годиерна не позднее 1654 г. Это одна из

немногих туманностей, которые можно рассмотреть невооруженным глазом.

Обзор неба Южного полушария VPHAS+ проводится с целью поиска ярких квазаров в молодой Вселенной, изучения Большого и Малого Магеллановых Облаков, структуры Млечного Пути и природы темной энергии. Это один из трех обзоров в видимом диапазоне, выполненных с помощью телескопа VLT и дополненных шестью инфракрасными обзорами (4-м телескоп VISTA ESO).

Пресс-релиз ESO,  
22 января 2014 г.

## Тонкая структура и быстрые вариации солнечного ветра

Г.Н. ЗАСТЕНКЕР,  
доктор физико-математических наук  
ИКИ РАН

Я. ШАФРАНКОВА,  
профессор  
Карлов университет, Чешская Республика

---

**В статье на основе наших измерений с рекордно высоким временным разрешением (до 31 мс) описываются тонкая пространственная структура и быстрые (вплоть до долей секунды) вариации параметров: вектора потока ионов, скорости, плотности и состава солнечного ветра.**



### ПРИРОДА СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Солнце – создатель всего сущего на Земле. Со времен древних египтян, поклонявшихся богу Солнца Ра, мы воспринимаем Солнце как громадный огненный шар, излучающий свет и тепло. Сейчас мы знаем, что Солнце посылает нам на-

бор излучений, состоящий из компонент разных видов:

– электромагнитное излучение (главным образом, видимый свет с небольшой добавкой инфракрасного и радиоизлучения), несущее основную часть энергии (около  $1,2 \text{ кВт/м}^2$  на орбите Земли) и удивительно мало изменяющееся во времени

(не более чем на 1–2%); величина этой энергии получила название солнечной постоянной; с точки зрения астрофизики Солнце – постоянная звезда в отличие от множества переменных звезд;

– спорадическое ультрафиолетовое и рентгеновское излучения, а также энергичная часть солнечного радиоизлу-

чения, изменяющиеся в широком диапазоне – в сотни и тысячи раз и появляющиеся только на короткое время при возмущениях (например, в солнечных вспышках);

– поток заряженных частиц с энергиями от сотен кэВ до сотен МэВ (солнечные космические лучи), также возникающий эпизодически во время мощных солнечных вспышек;

– существующий постоянно, но в десятки раз изменяющийся поток плазмы (состоящий из ионов и электронов в равной концентрации, то есть квази-нейтральный), называемый солнечным ветром.

Несмотря на “постоянство” Солнца в видимом свете, в его воздействии на Землю есть переменная составляющая, приводящая к значительной изменчивости геофизических условий в околоземном космическом пространстве и на Земле.

Представление о воздействии на Землю медленных (по сравнению со скоростью света) потоков частиц возникло в самом начале XX в. Оно было высказано шведским ученым К. Биркеландом и норвежским ученым К. Штермером после обнаружения довольно большой задержки между сильными вспышками на Солнце и магнитными бурями на Земле. Электромагнитное излучение Солнца приходит к Земле через 8 мин, энер-

гичные частицы (солнечные космические лучи) – приходят через десятки минут, и только потоки частиц, переносящие основную часть возмущения от Солнца со скоростью около 1000 км/с, приходят к Земле с задержкой в 2–3 суток.

В 1930-е гг. американские ученые С. Чепмен, М. Ферраро и английский геофизик Дж. Бартельс выдвинули очень важное утверждение: поток солнечной плазмы из-за своей высокой проводимости не может преодолеть противодавление магнитного поля Земли и обтекает его, образуя своеобразную полость (позднее названную магнитосферой), в которой солнечная плазма отсутствует, а магнитное поле с подсолнечной стороны сильно сжато. Граница магнитосферы (магнитопауза) выполняет роль щита, защищающего Землю с ее ионосферой и атмосферой от прямого воздействия солнечной плазмы.

Однако в те времена предполагалось (чаще всего неявно), что эти потоки солнечной плазмы возникают достаточно редко – лишь тогда, когда происходят сильные возмущения на Солнце. Только в 1950-е гг. по наблюдаемому изгибанию хвостов комет (это было отмечено английским астрономом Л. Бирманом и шведским физиком Х. Альфвенем) и из теоретических соображений о расширении

горячей солнечной короны (опубликованных американским физиком Ю. Паркером, 1958 г.) было сделано предположение о постоянном существовании солнечного ветра. Затем солнечный ветер обнаружили при проведении кратковременных прямых экспериментов на советских АМС “Луна-1, -2 и -3” (радиоинженер и геофизик К. Грингауз, 1959 г.) и при первых систематических измерениях на американской АМС “Маринер-2” во время полета к Венере (американский физик М. Нейгебауэр, 1962 г.).

Многочисленные детальные исследования на космических аппаратах, уходящих за границу магнитосферы Земли, показали, что сверхзвуковой поток плазмы (солнечный ветер) существует всегда, но его параметры меняются в широких пределах в зависимости от условий разгона и истечения плазмы в солнечной короне. На орбите Земли эти пределы таковы: скорость ветра – 300–1000 км/с (при среднем значении около 450 км/с), концентрация частиц –  $1\text{--}100\text{ см}^{-3}$  (в среднем, около  $10\text{ см}^{-3}$ ), температура ионов –  $(3\text{--}30) \times 10^5\text{ К}$  (среднее значение около  $7 \times 10^5\text{ К}$ ), температура электронов в 2–3 раза выше температуры ионов.

Солнечный ветер несет довольно слабое (по сравнению с энергией направленного движения

плазмы) “вмороженное” магнитное поле Солнца с напряженностью 1–30 нТ (в среднем 5 нТ). Главная ионная компонента солнечного ветра – протоны (ионы водорода); есть также ионы гелия (около 4%) и очень немного (десятые и сотые доли процента) более тяжелых ионов (кислород, кремний, сера, железо).

Высокая изменчивость солнечного ветра требует постоянно повышать временное разрешение приборов для ее изучения.

В первых экспериментах, в 1960–1970 гг., это разрешение составляло в

лучшем случае несколько минут (первые советские научные спутники “Прогноз” и американские космические аппараты “ISEE”). В 1990-х гг. временное разрешение измерений солнечного ветра улучшилось до нескольких десятков или даже нескольких секунд (эксперименты на ИСЗ “Интербол-1” и “WIND”). В российском эксперименте “Плазма-Ф” впервые удалось выйти на диапазон временного разрешения измерений параметров солнечного ветра в доли секунды и на этой основе получить новые и важные результаты.

#### ЭКСПЕРИМЕНТ “ПЛАЗМА-Ф”

Этот эксперимент предназначен для непрерывного наблюдения меж-

планетной среды, магнитослоя (области между ударной волной и магнитоспаузой) и внешней магнитосферы с рекордно высоким временным разрешением; изучения параметров турбулентности межпланетной среды и магнитослоя в области сравнительно высоких частот –  $10^{-3}$ –10 Гц. В состав аппаратуры эксперимента “Плазма-Ф” входили:

– МЭП-2 – монитор энергичных частиц (ионов и электронов), созданный ИКИ РАН и Институтом экспериментальной физики Словацкой АН (г. Кошице, Словакия);

– БМСВ – быстрый монитор солнечного ветра, созданный ИКИ РАН, Карловым университетом и Институтом физи-

---

*Российская космическая обсерватория “Спектр-Р” на околоземной орбите. Рисунок НПО им. С.А.Лавочкина.*



ки атмосферы Чешской АН (г. Прага, Чешская Республика);

– ССНИ-2 – система сбора, хранения, обработки научной информации и передачи ее в радиоканал космического аппарата, созданная ИКИ РАН.

18 июля 2011 г. российская космическая обсерватория “Спектр-Р” (миссия “Радиоастрон”) была выведена на высокоэллиптическую орбиту ИСЗ: высота апогея – 350 тыс. км, наклонение – 0,96°, период обращения – 8,3 сут (Земля и Вселенная, 2011, № 6, с. 17–18). На обсерватории “Спектр-Р” установлен радиотелескоп-интерферометр КРТ с большой антенной диаметром 10 м, предназначенный для исследования радиоизлучения дальних космических объектов (Земля и Вселенная, 2000, № 4; 2005, № 3). В тени этой антенны на корпусе аппарата расположены приборы ССНИ-2 и МЭП-2, а на кронштейне одной из двух панелей солнечных батарей размещен прибор БМСВ. Приборы эксперимента “Плазма-Ф” были включены 6 августа 2011 г., и с тех пор они работают практически непрерывно уже более 2,5 лет. Ориентация “Спектра-Р” трехосная с направлением главной оси антенны КРТ на какой-либо исследуемый в данный момент радиоисточник. Завершив сеанс наблюдения одно-

го радиоисточника, КРТ путем разворота спутника переориентируется на другой объект и проведет новый сеанс наблюдений.

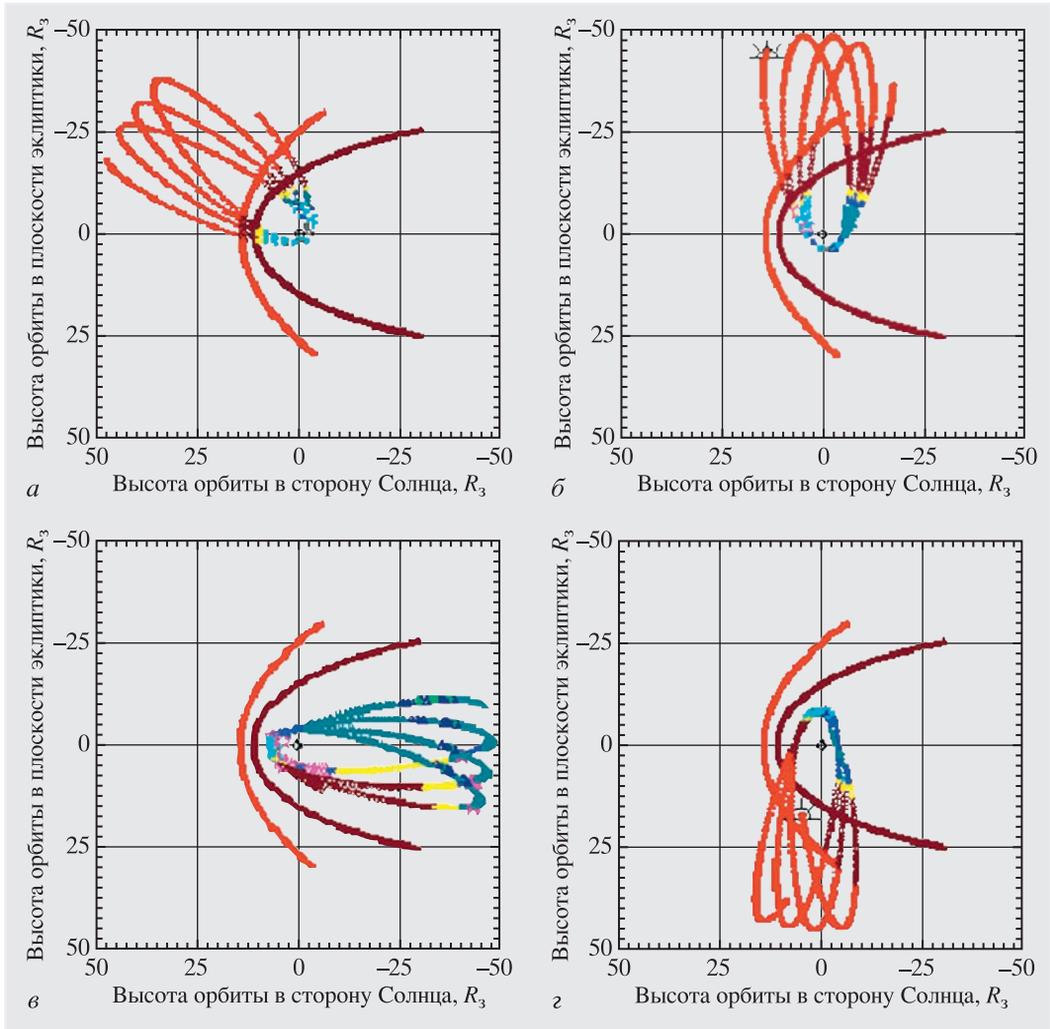
Оси датчиков прибора БМСВ должны быть ориентированы в сторону Солнца, поэтому его установили на кронштейн панели солнечной батареи. Для уточнения истинной ориентации прибор снабжен датчиком положения Солнца. Положение орбиты КА относительно магнитосферы Земли в геоцентрической солнечно-эклиптической системе координат в проекции на плоскость эклиптики в течение года варьируется в зависимости от сезона, переходя от подсолнечной области до хвоста магнитосферы и обратно.

В августе 2011 г. апогей орбиты находился вблизи подсолнечной точки, потом вследствие годового движения Земли вокруг Солнца орбита КА последовательно перемещалась относительно магнитосферы Земли, проходя через вечерний фланг (в октябре 2011 г.), затем через хвост магнитосферы (в январе 2012 г.). В апреле 2012 г. орбита перешла на утренний фланг магнитосферы, а в июле 2012 г. снова вышла в подсолнечную область. В последующие годы орбита “Спектра-Р” повторяла подобную эволюцию с небольшими изменениями.

## ПРИБОР БМСВ

Быстрый монитор солнечного ветра (БМСВ) был разработан специально для достижения наиболее высокого временного разрешения измерений параметров солнечного ветра – вектора потока ионов, энергетического спектра в диапазоне энергий от 100 эВ до 3,0 КэВ и величин переносной скорости, температуры и плотности ионов. Наиболее подходящие для такого прибора датчики – цилиндры Фарадея, обладающие высокой надежностью и стабильностью характеристик; они позволяют проводить с весьма высокой скоростью измерения потоков ионов. Основные элементы цилиндра Фарадея – корпус с вводами; металлический коллектор, собирающий заряженные частицы; набор сеток, сортирующих заряженные частицы по знаку заряда и по величине их энергии; две диафрагмы (входная и выходная), формирующие угловую диаграмму датчика. Применение металлического коллектора для сбора заряженных частиц обеспечивает постоянство его характеристик и возможность измерять потоки заряженных частиц в широком динамическом диапазоне.

Шесть датчиков БМСВ по назначению и конструкции делятся на две группы. Три датчика пер-



Диаграммы вариаций орбиты космической обсерватории “Спектр-Р”: а) август 2011 г., б) октябрь 2011 г., в) январь 2012 г., г) апрель 2012 г. Красным цветом отмечены участки орбиты, находящиеся в солнечном ветре, коричневая параболическая линия – среднее положение магнитопаузы, красная параболическая линия – околоземной ударной волны.

вой группы (“осевые”) направлены в одну сторону (вдоль главной оси) и предназначены измерять энергетические спектры потока ионов. На их управляющие сетки подается положительное относительно корпуса напряжение, запираю-

щее (не пропускающее к коллектору) ионы с энергией на заряд, меньшей приложенного напряжения. Из полученного энергетического распределения ионов солнечного ветра, в свою очередь, вычисляются параметры потока ионов – перенос-

ная скорость, изотропная ионная температура и плотность. Кроме того, при определенных условиях можно измерить относительное содержание в солнечном ветре дважды ионизованных ионов гелия (альфа-частиц). Три датчика



второй группы (“отвернутые”) предназначены для быстрого измерения интенсивности потока ионов солнечного ветра и определения направления его вектора. Оси датчиков этой группы были отклонены от главной оси прибора на  $20^\circ$  и друг от друга на  $120^\circ$ .

В состав БМСВ входит датчик ДСС, фиксирующий угловое отклонение оси прибора от направления на Солнце. Он снабжен системой двух узких перпендикулярных щелей, через которые свет Солнца падает на две CMOS-матрицы, что-

бы определить два угла направления падающего луча света.

Вычисление параметров солнечного ветра опирается на проведенные заранее измерения угловых и энергетических (запирающих) характеристик датчиков. К каждому из датчиков подключены высокочувствительный усилитель постоянного тока, работающий в диапазоне  $10^{-9}$ – $10^{-13}$  А, и аналого-цифровой преобразователь. Данные поступают в узел формирования цифровых массивов; в результате создается

*Основной блок прибора БМСВ. Видны шесть датчиков, входные окна которых на время испытаний закрыты красными технологическими крышками. Фото Г.Н. Застенкера.*

выходной кадр прибора, который передается в систему сбора научной информации (ССНИ-2).

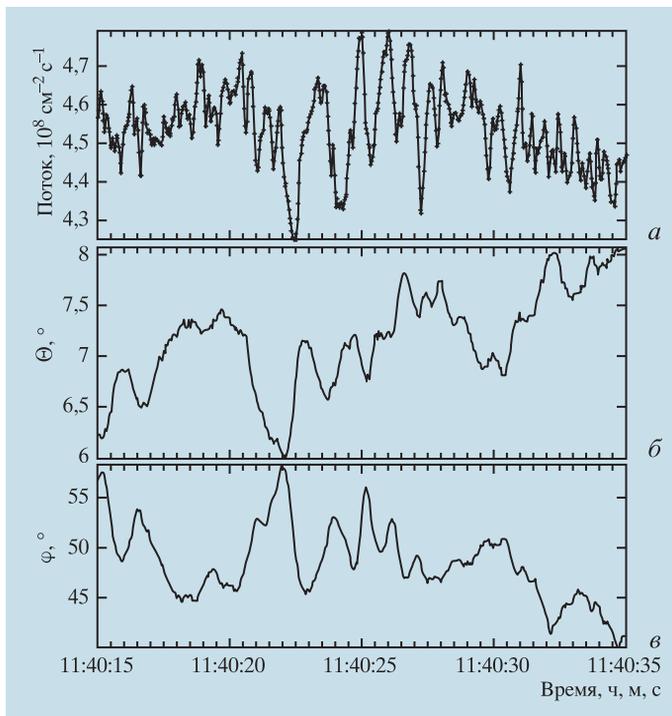
В состав основного блока БМСВ входят три независимых высоковольтных источника питания. Они вырабатывают положительные (запирающие ионы) напряжения в диапазоне 120–3000 В, подаваемые

Диаграммы быстрых изменений вектора потока ионов солнечного ветра (между точками интервал 31 мс): а) величины потока; б) полярного угла  $\theta$  (угла между вектором потока и направлением на Солнце); в) азимутального угла  $\varphi$  (угла между проекцией вектора потока на плоскость, перпендикулярную направлению на Солнце, и одной из осей прибора БМСВ).

на управляющие сетки “осевых” датчиков. Их величины также записываются в выходной кадр прибора. Все измерения токов датчиков и управляющих напряжений прибор БМСВ осуществляет с частотой 32 раза в секунду.

Прибор БМСВ может работать (по выбору) в двух основных режимах. Первый (с периодической модуляцией управляющих напряжений): за 3 с измеряются три энергетических спектра ионов из 96 значений, что позволяет достаточно надежно определить основные параметры плазмы – переносную скорость, ионную температуру и плотность и выделить примесь ионов гелия. При втором (адаптивном) режиме достигается наиболее высокое (рекордное!) временное разрешение определения основных параметров плазмы в 31 мс.

Кратко опишем основные результаты, полученные в нашем эксперименте.

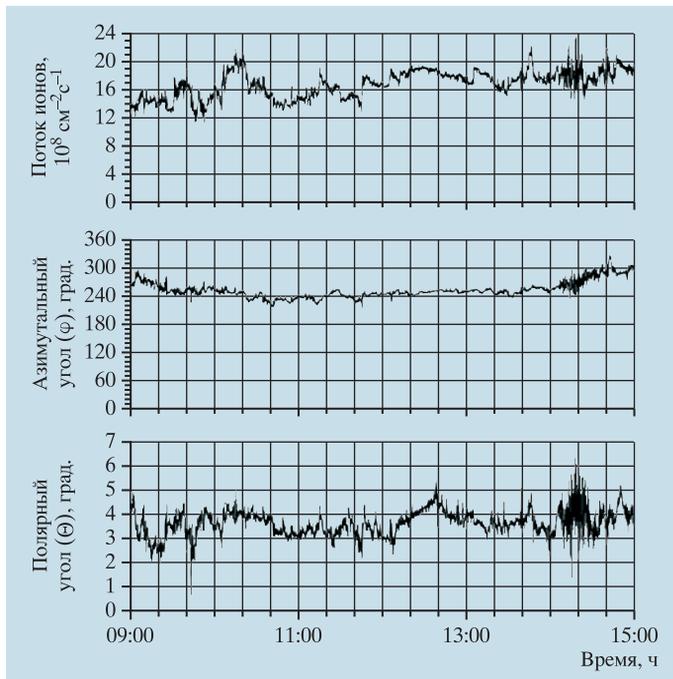


#### СТРУЙНАЯ СТРУКТУРА СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Измеряя одновременно токи трех датчиков второй группы, можно достигнуть наивысшего временного разрешения – 31 мс и определить вектор потока ионов солнечного ветра. Как видно из приведенного примера, величина потока изменялась примерно на 30% за 0,6 с, имеется и множество более мелких (5–10%), но очень быстрых изменений – всего лишь за 0,06–0,12 с. Одновременно происходят несколько более медленные изменения углов – полярного ( $\theta$ ) на  $0,5\text{--}1,5^\circ$  и азимутального ( $\varphi$ ) на  $2\text{--}10^\circ$  за 0,5–2 с. Отметим, что такие быстрые изменения вектора пото-

ка ионов солнечного ветра были зарегистрированы впервые.

Эти измерения позволяют выдвинуть гипотезу о “струйном” характере солнечного ветра, то есть предположить, что поток солнечной плазмы не однороден, как считалось ранее, а состоит из множества отдельных мелких “струек”, различающихся и по амплитуде, и по направлению. Близкой аналогией здесь может служить поток воды из садовой лейки, также состоящий из отдельных разнонаправленных струек. Вероятно, такая “струйность” солнечного ветра отражает локальные неоднородности условий в его источнике,



Диаграммы вариаций величины потока ионов и двух его углов на 6-часовом интервале. Видны сравнительно большие вариации потока и полярного угла ( $\theta$ ) и малые вариации азимутального угла ( $\varphi$ ).

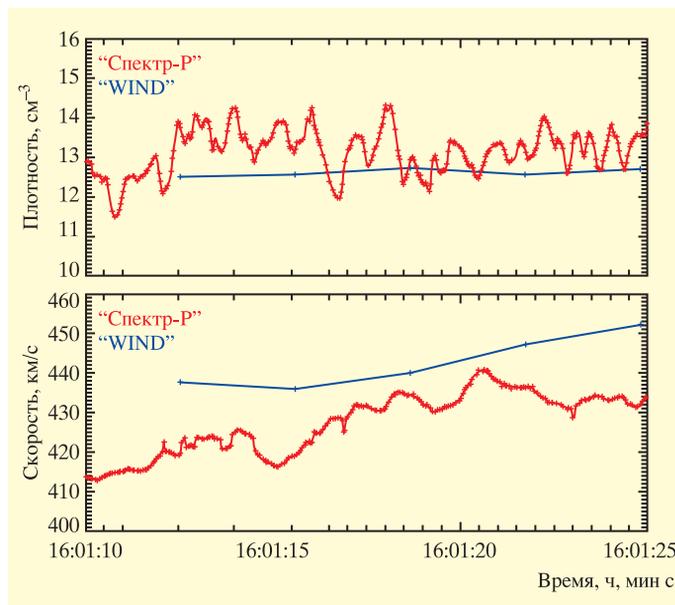
пределах  $2-6^\circ$ , а азимутальный угол – в пределах  $220-320^\circ$ .

Как для теории формирования солнечного ветра, так и для его взаимодействия с магнитосферой весьма важными считаются средняя величина и вариации полярного угла, то есть отклонения направления потока солнечного ветра от радиального, то есть направленного от Солнца. Опираясь на большую статистику наших измерений, можно утверждать, что большинство данных о полярном угле лежат в пределах  $1-5^\circ$  при среднем значении этого отклонения около  $2-3^\circ$ . Однако обнаружен и длинный (до  $15^\circ$ ) "хвост" этого распределения на уровне 0,5% от их полного числа.

то есть в верхней короне Солнца.

Рассмотрим динамику вектора потока ионов солнечного ветра на различных временных интер-

валах. При сравнительно медленных вариациях на 6-часовом интервале поток меняется в пределах  $12-22 \times 10^8 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ , полярный угол варьирует в



Диаграммы плотности и скорости солнечного ветра, измеренных одновременно 21 октября 2011 г., по данным прибора БМСВ (красная кривая с точками через 31 мс) и прибора ЗДР, работающего на американском ИСЗ "WIND" (синяя кривая с точками через 3 с).

## СРАВНЕНИЕ ВАРИАЦИЙ ПАРАМЕТРОВ

Роль повышения временного разрешения измерений может быть наглядно проиллюстрирована с помощью данных, описывающих адаптивный режим работы прибора БМСВ. Отмечены весьма быстрые вариации скорости и плотности солнечного ветра, которые измерялись каждые 31 мс в интервале 15 с. Плотность ветра варьирует за время около 0,5 с и есть несколько более медленных вариаций скорости за 1–2 с. Можно сравнить эти величины с вариациями, измеренными в то же время прибором ЗДР на американском ИСЗ “WIND” (запущен в 1994 г.) и сдвинутыми по оси времени на

интервал прохождения плазмы от одного аппарата до другого.

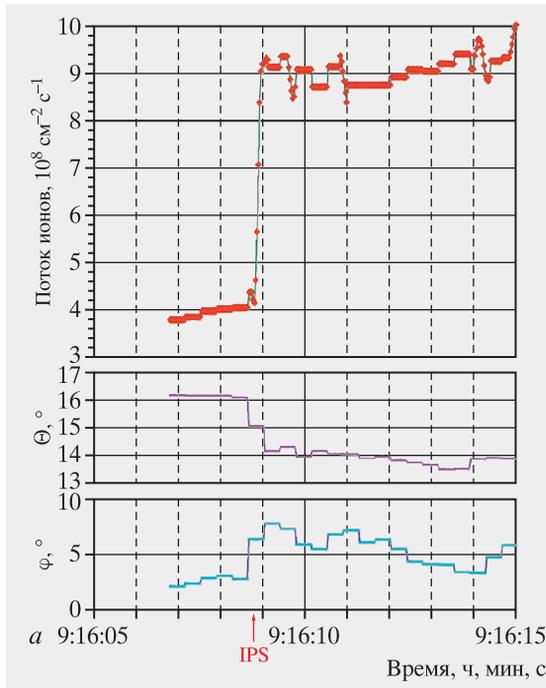
Гораздо более медленные (с разрешением 3 с) измерения, выполненные прибором ЗДР, не позволяют судить об истинной изменчивости параметров солнечного ветра в секундном и субсекундном диапазонах. Вместо реальных быстрых и больших вариаций данные прибора ЗДР показывают нам только плавные монотонные изменения плотности и скорости плазмы, а их истинная изменчивость остается невыясненной.

Диаграмма одновременных измерений приборами БМСВ и ЗДР иллюстрирует общую закономерность: прежние измерения с низким разрешением демонстриро-

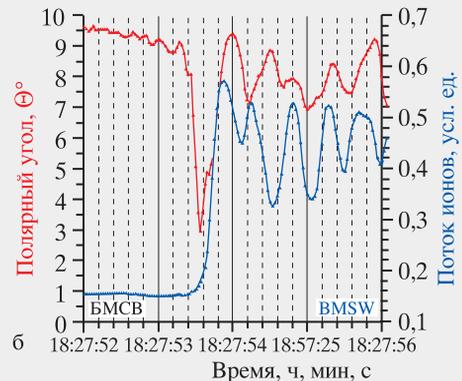
вали плавные вариации или даже постоянство параметров солнечного ветра во времени, тогда как новые измерения с высоким разрешением свидетельствуют, что солнечный ветер (во всех временных масштабах) – это очень быстропеременная среда, постоянно находящаяся в движении и изменении.

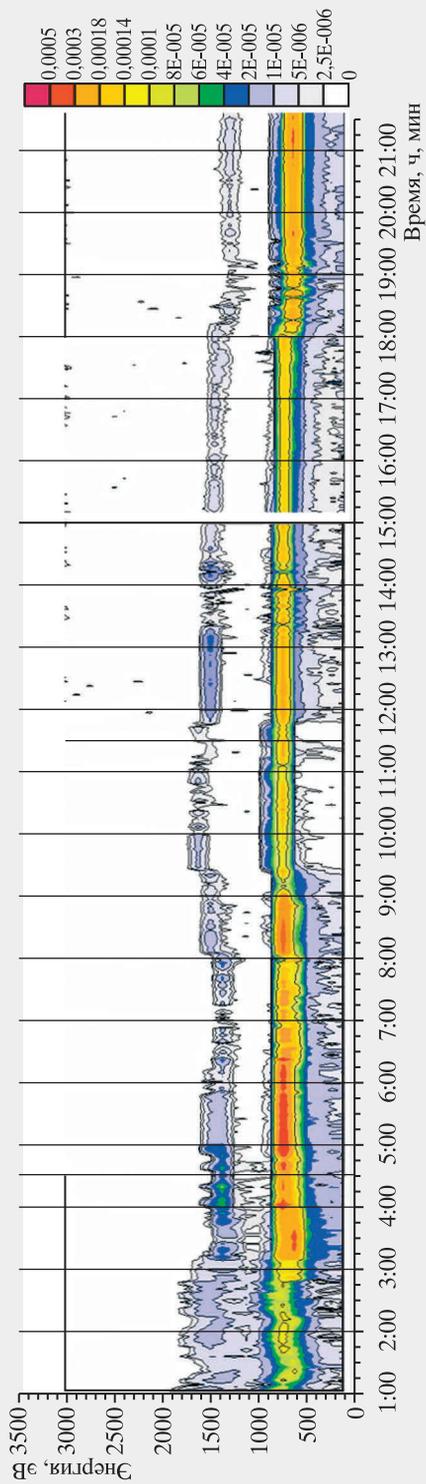
## ФРОНТЫ МЕЖПЛАНЕТНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН

Еще один интересный результат, который мы получили, – определение длительности и толщины межпланетных ударных волн (МУВ), пробегающих по солнечному ветру от Солнца из-за быстрых выбросов корональной массы или других сильных проявлений солнеч-



Диаграммы фронтов межпланетных ударных волн: а) монотонное возрастание потока ионов 1 ноября 2011 г.; б) квази-гармонические осцилляции потока (синяя кривая, шкала справа) и полярного угла (красная кривая, шкала слева) 24 октября 2011 г. В обоих случаях видны очень быстрые (за доли секунды) возрастания величины потока и изменения его углов.





Спектрограмма энергий потока ионов солнечного ветра, измеренная 7 октября 2011 г. Нижняя полоса – протоны с энергией около 600–800 эВ, верхняя – ионы гелия с энергией около 1500 эВ, что указывает на близкие переносные скорости этих компонент. Справа – шкала интенсивности потока в каждом спектре в условных единицах.

ной активности. До нашего эксперимента эти параметры не могли быть измерены вследствие недостаточного временного разрешения прежних наблюдений.

Мы наблюдали два типичных быстрых фронта МУВ: монотонное и очень быстрое возрастание величины потока ионов и изменение его направления за 0,15 с; более сложный и также достаточно часто встречающийся случай – возникновение за фронтом ударной волны квазигармонических осцилляций потока и полярного угла.

Длительность фронта по изменению величины потока составляет 0,2 с, а по изменению полярного угла – 0,6 с. Начальная амплитуда постепенно затухающих осцилляций потока составляет приблизительно 30%, четко прослеживаются 4–5 периодов длительностью около 0,5 с. Пока еще нет достаточно уверенного ответа на вопрос о причинах осцилляций плазмы за фронтом межпланетных ударных волн, но ясно, что это связано с развитием плазменных неустойчивостей после очень резкого возрастания интенсивности потока ионов.

Продолжительность зарегистрированных с помощью нескольких КА резких “монотонных” фронтов для десятка межпланетных ударных волн в сочетании с оценкой их скорости по-

зволила нам определить их толщину. Эта оценка также была получена впервые. Толщина области фронтов оказалась в пределах 50–450 км при среднем значении около 200 км, что близко к величине радиуса вращения протонов в магнитном поле солнечного ветра с учетом их тепловой скорости.

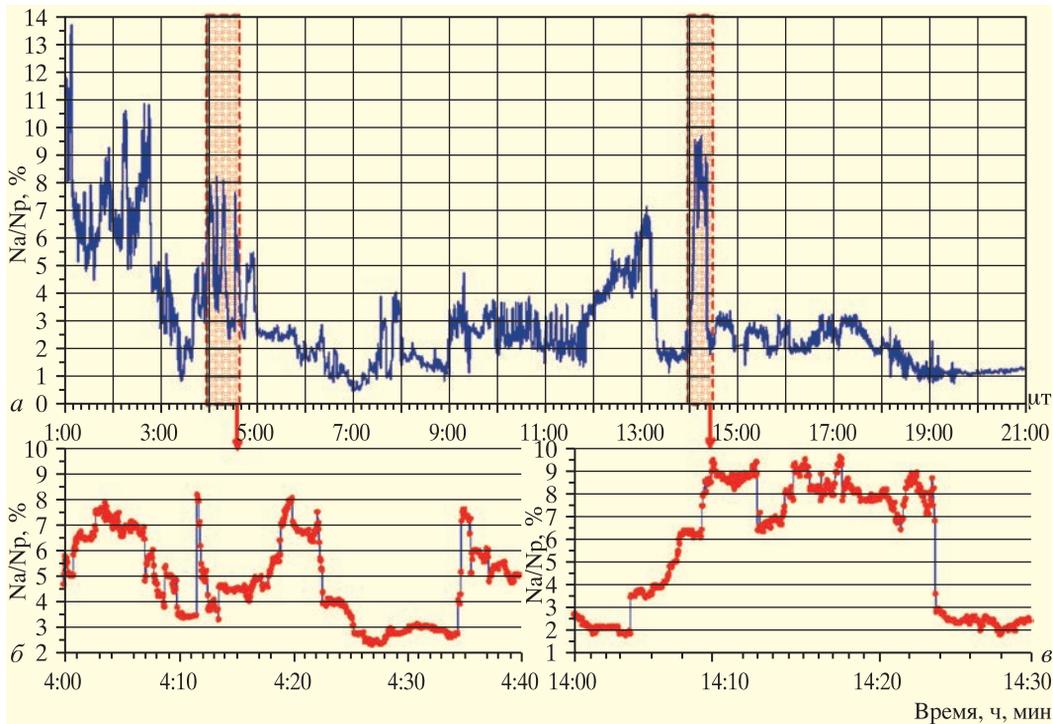
#### РЕЗКИЕ ВАРИАЦИИ СОДЕРЖАНИЯ ИОНОВ ГЕЛИЯ

Следующая по обилию после протонов компонента солнечного ветра – двукратно ионизованные ионы гелия (альфа-частицы). Прибор БМСВ не имел в своем составе анализатора частиц по массе, но благодаря высокому энергетическому разрешению прибор выделял ионы гелия в солнечном ветре, используя селекцию частиц по энергии на единицу заряда. Действительно, при одинаковой с протонами переносной скорости энергия ионов гелия в четыре раза больше (соответственно их массе), но заряд у них в два раза больше, поэтому энергия на заряд у них будет лишь вдвое больше, чем у протонов.

7 октября 2011 г. на протяжении 20 ч наблюдений с помощью БМСВ получены спектрограммы энергий потока ионов солнечного ветра. Каждый спектр измерялся за 3 с, следовательно, тако-

во и временное разрешение этих измерений. Анализ этой спектрограммы позволил получить временной ход отношения плотностей ионов гелия и протонов ( $\text{Na}/\text{Np}$ ); их содержание в этом примере варьирует от 1% до 13%. При этом важно, что наблюдаются значительные (на несколько процентов) изменения содержания гелия в течение десятков секунд и даже меньшего времени. Например, в момент 4 ч 12 мин по Гринвичу за 3 с содержание ионов гелия возросло на 5%. Данные, собранные за 100 ч наших наблюдений с высоким разрешением (3 с), могут быть разделены на три участка: с низким содержанием гелия (0,1–3,5%) – 50% измерений; средним (3,5–6,5%) – 33% измерений; высоким (6,5–16%) – 17% измерений. При этом более высокое содержание гелия соответствует, в среднем, областям солнечного ветра с более высокой скоростью.

Довольно важный вопрос: плотности протонов и альфа-частиц изменяются во времени пропорционально друг другу или нет? Наши измерения свидетельствуют, что для быстрых вариаций содержания гелия не существует однозначной функциональной связи этих величин. Определение коэффициентов корреляции плотностей  $\text{Na}$  и  $\text{Np}$  в интервалах от



Диаграммы вариаций содержания ионов гелия с разрешением 3 с на 20-часовом интервале (а) и на двух развернутых интервалах – 40 мин (б) и 30 минут (в), отмеченных заштрихованными прямоугольниками на верхнем графике. Видны очень резкие (за несколько секунд) и большие (на несколько процентов) вариации содержания гелия. 7 октября 2011 г.

нескольких часов до нескольких десятков секунд показало, что бывают разные случаи – от высокой положительной корреляции до высокой отрицательной.

На основе полученных данных авторам представляется наиболее убедительной такая гипотеза: содержание гелия в солнечном ветре определяется, главным образом, свойствами солнечной короны. Альтернативная точка зрения, существующая в литературе, предполагает, что изменение содержания гелия связано с процес-

сами в плазме солнечного ветра, происходящими по мере его движения от Солнца к орбите Земли и далее. Отсутствие однозначной связи плотностей протонов и ионов гелия позволяет нам предположить, что участки короны – источники солнечного ветра, обладающие определенным содержанием гелия и определенной корреляцией величин Na и Np, достаточно малы – размером порядка 1000 км. Следовательно, постоянный переход для наблюдателя на орбите Земли от одного такого участка

к другому (за счет движения КА и вращения Солнца) и является причиной наблюдения быстрых вариаций содержания ионов гелия.

Изложенные выше результаты проведенных нами измерений параметров солнечного ветра с очень высоким (рекордным) временным разрешением показали, что на этом пути удалось выявить важные и ранее неизвестные свойства солнечного ветра. Эти наблюдения будут продолжены и развиты в последующих экспериментах.

### Марс был пригоден для жизни?

Американские марсоходы обнаружили признаки существования древних озер на Марсе. Об этом сообщили специалисты Лаборатории реактивного движения (JPL), основываясь на анализах проб грунта, переданных марсоходами. По своим свойствам грунт напоминает глины на дне земных рек и озер, сформированные бактериями.

Марсоход «Оппортюнити» («Opportunity») обнаружил в кратере Индевор на экваторе Марса следы водной эрозии. Оказалось, что в кратере Индевор дважды происходили наводнения и каждый раз химический состав, температура и другие свойства воды заметно отличались. Так, верхний слой глины образовался в крайне кислой и насыщенной мине-

ралами воде, не пригодной для зарождения жизни. В глубине холма Матиевича найдены отложения более древней глины. Судя по высокому содержанию железа и алюминия, глина отложилась на дне водоема с относительно низкой кислотностью или даже пресноводного, что должно было благоприятствовать развитию микроорганизмов. Эти породы сформировались еще до того, как возник кратер Индевор, и погребены под слоем осколков, выброшенных при столкновении астероида с поверхностью Марса. Ученые сделали вывод о благоприятных на Марсе условиях для зарождения и поддержания жизни примерно 3,7 млрд лет назад.

В другом районе Марса, в кратере Гейла, который исследует «Кьюриосити» («Curiosity»), в частицах проб обнаружены сероводород, окись серы, минералы, азот, фосфор, водород, кислород и углерод. Такие вещества необходимы для развития простей-

ших бактерий, поэтому можно с уверенностью сделать вывод о том, что в озере были все условия для зарождения и поддержания жизни. Установлено, что примерно 3,7 млрд лет назад на протяжении нескольких тысяч лет в кратере Гейла находилось теплое пресноводное озеро. «Если бы мы взяли микроорганизмы с Земли и поместили в среду обнаруженного озера, то они смогли бы выжить», – считает научный руководитель миссии профессор Д. Гротцингер (NASA).

В декабре 2013 г. – феврале 2014 г. «Кьюриосити» брал пробы грунта в районе залива Йеллоунаиф (Yellowknife Bay), затем марсоход отправился к главной цели – горе Шарп, находящейся в 8 км от места посадки, чтобы исследовать состав и структуру пород на краях кратера Гейла. Как ожидается, путешествие займет несколько месяцев.

Пресс-релизы NASA/JPL, декабрь 2013 г.– февраль 2014 г.



Фрагменты одного из камней в районе залива Йеллоунаиф, где «Кьюриосити» проводит исследования. На снимке видны минеральные отложения и следы водной эрозии. Снимок сделан камерой MastCam марсохода 15 января 2014 г. Фото NASA.

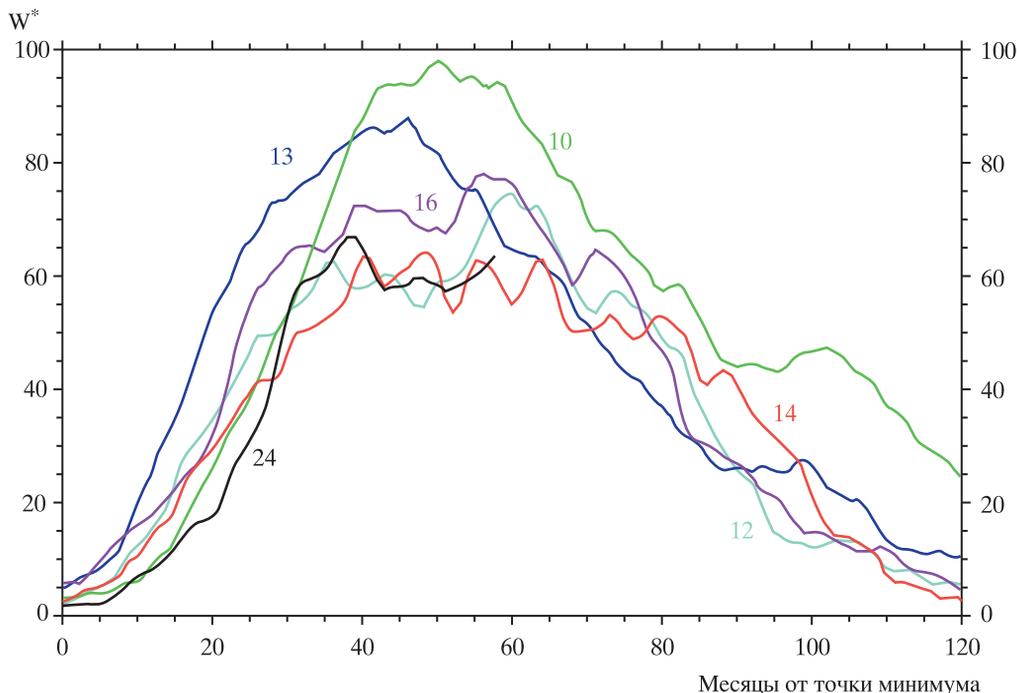
**Солнце  
в декабре 2013 г. –  
январе 2014 г.**

Пятнообразовательная активность Солнца в этот период достаточно быстрым темпом приближалась к максимуму текущего 24-го цикла. Она менялась от среднего до высокого уровня. Число групп пятен на видимом диске Солнца менялось от 3 до 10, в основном

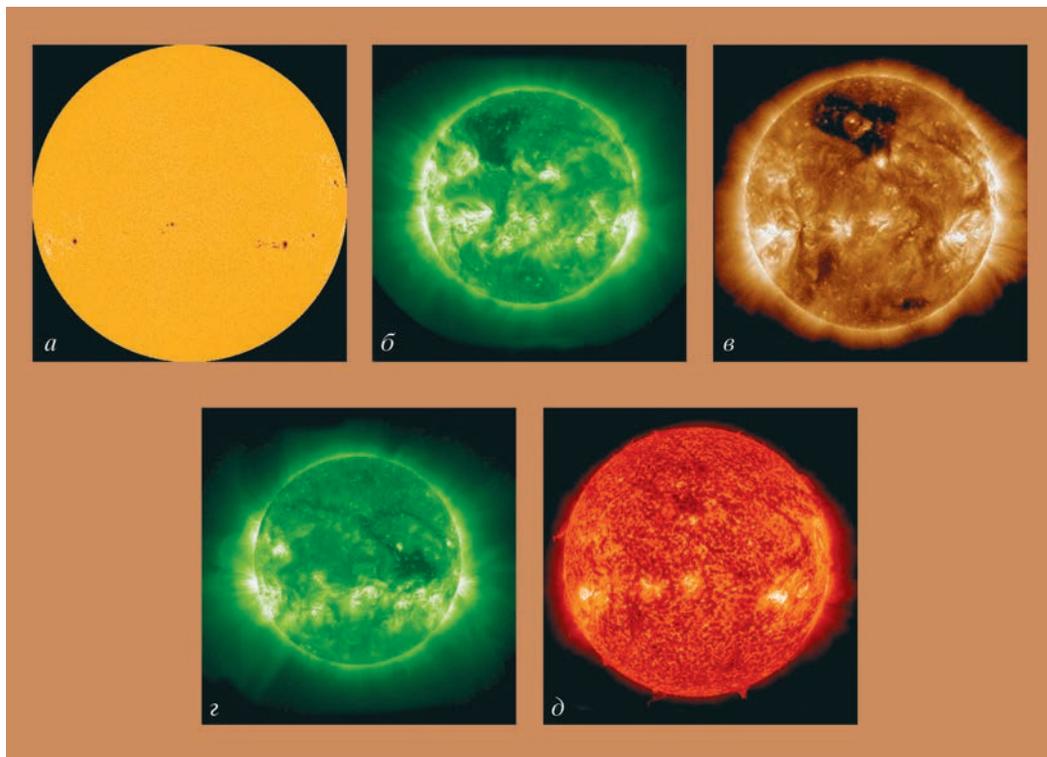
они были небольшие и спокойные. В Южном полушарии образовалась группа пятен очень большого размера ( $Sp < 1500$  м.д.п.) и в каждом полушарии – по три группы среднего ( $300 \leq Sp < 500$  м.д.п.). Всего же из 57 групп солнечных пятен 42 появились в Южном полушарии. Кривая роста сглаженных за год значений относительного числа пятен продолжает подниматься к максимуму текущего цикла, обозначился подъем на второй пик, который, вероятно, произошел в ноябре 2013 г. – январе 2014 г. Напомним, что первый пик пятнообразовательной активности пришелся на февраль 2012 г. Среднемесячные

значения чисел Вольфа  $W_{дек.} = 90,3$  и  $W_{январ.} = 82,0$ . Сглаженное значение относительного числа солнечных пятен в июне и июле 2013 г. составило  $W^* = 62,6$  и  $65,5$  соответственно.

В первой декаде декабря 2013 г. относительное число солнечных пятен держалось на среднем уровне, затем резко выросло, а после 19 декабря вернулось к прежнему. Минимальное значение отмечено 7 декабря ( $W = 65$ ), максимальное – 10 декабря ( $W = 136$ ). Вспышечная активность сохранялась на среднем уровне 7, 19, 20, 22 и 29 декабря в Южном полушарии, все события причислены к рентгеновскому классу M, они



Ход развития (54 месяца) текущего 24-го цикла солнечной активности среди всех достоверных (с 1849 г.) солнечных циклов.  $W^*$  – сглаженные за 13 месяцев относительные числа солнечных пятен.



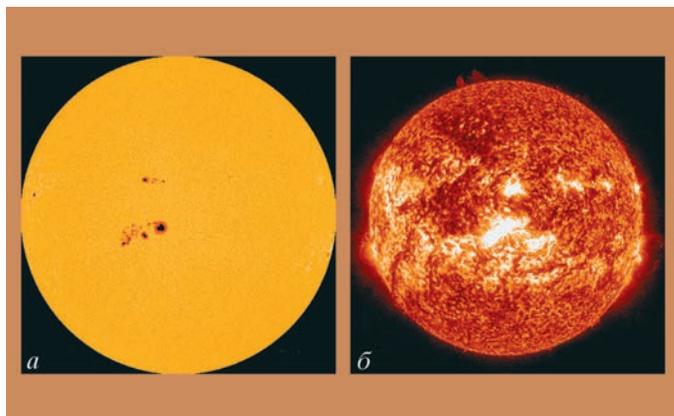
Солнце 22 декабря 2013 г.: а) фотосфера в непрерывном спектре ( $\lambda = 4096 \text{ \AA}$ ); б, в, г) в линии крайнего ультрафиолета Fe XII ( $\lambda = 193 \text{ \AA}$ ); д) в линии крайнего ультрафиолета He II ( $\lambda = 304 \text{ \AA}$ ). Изображения космических обсерваторий “SDO”, “STEREO-A и -B” (<http://sdo.gsfc.nasa.gov/data/>).

не вызвали заметных изменений в околоземном космическом пространстве. В остальные дни вспышечная активность оставалась на низком уровне. Выбросы солнечных волокон наблюдались 1, 4, 11, 12 (2), 20, 21, 28 и 29 (2) декабря. Следствием выброса большого ( $38^\circ$ ) солнечного волокна из центральной зоны видимого диска Солнца в околоземном космическом пространстве была малая магнитная буря, единственная в этом месяце. Коронографы космической обсерватории “SOHO” зарегистрировали 212 корональных выбросов вещества раз-

ной интенсивности, среди них три – типа “гало”, два – “частичное гало III” (угол раствора  $180^\circ\text{--}270^\circ$ ) и 10 – “частичное гало II” (угол раствора  $90^\circ\text{--}180^\circ$ ). Четыре рекуррентные корональные дыры проходили по видимому диску Солнца, однако высокоскоростные потоки не вызвали в околоземном космическом пространстве значимых геомагнитных возмущений. На средних широтах Земли отмечена малая магнитная буря и двое суток сохранялась возмущенная геомагнитная обстановка. На геостационарных орбитах очень высокий

поток релятивистских электронов с энергиями больше 2 МэВ отмечен только 13 декабря.

Наибольших значений относительное число солнечных пятен в **январе 2014 г.** достигло в первой декаде. В остальные дни месяца пятнообразовательная активность держалась на среднем уровне, поднимаясь в отдельные дни до высокого уровня. На видимом диске Солнца наблюдалось от 3 до 10 групп солнечных пятен, одна из них заняла очень большую площадь. В Южном полушарии появилось 20 групп солнечных пятен и



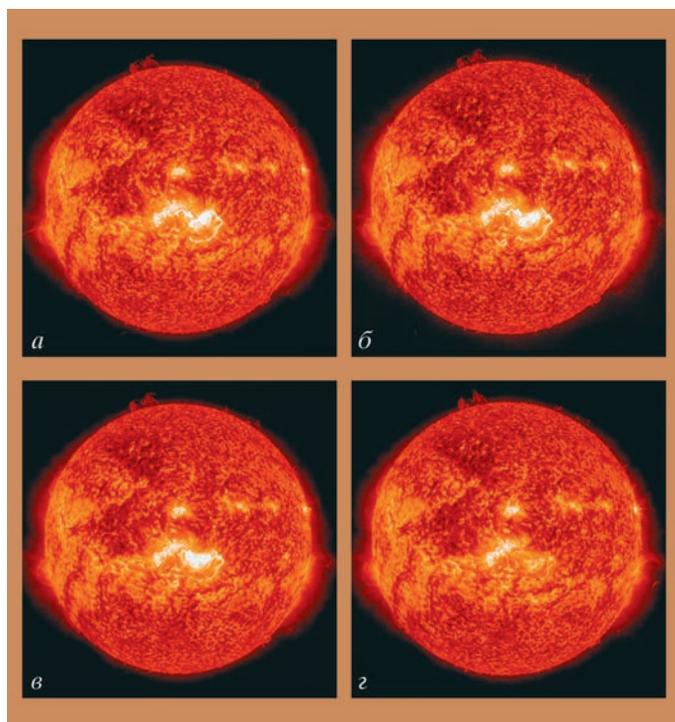
Солнце 7 января 2014 г.: а) фотосфера в непрерывном спектре ( $\lambda = 4096 \text{ \AA}$ ); б) в линии крайнего ультрафиолета He II ( $\lambda = 304 \text{ \AA}$ ). Изображения космической обсерватории "SDO" (<http://www.solarmonitor.org/index.php>).

9 – в Северном. Максимальное за сутки наблюдаемое число солнечных пятен отмечено **6 января** ( $W = 117$ ), минимальное – 17 января ( $W = 52$ ). Высокий уровень вспышечной активности наблюдался 1, 2 и 7 января. В этот период возникала небольшая группа пятен Южного полушария, вечером 29

декабря начал появляться значимый новый магнитный поток. Его взаимодействие с магнитным полем активной области привело к возникновению 31 декабря – 1 января за 21 ч двух больших солнечных вспышечных событий рентгеновских баллов M6,4/2N и M9,9/2B, они не вызвали в околоземном

космическом пространстве значимых последствий. В упомянутой выше большой группе пятен Южного полушария, второй по площади в текущем солнечном цикле, 1 января из-за восточного лимба появилась спокойная группа пятен, в которой до 7 января осуществились пять вспышек средних баллов. Вместе с соседней небольшой группой пятен сформировался комплекс активных областей. Несмотря на их сложную магнитную конфигурацию, они сохраняли биполярную структуру, поэтому не могло возникнуть больших солнечных вспышек.

5 января к северо-востоку от ведущего пятна проявился магнитный поток, образовалось компактное скопление небольших пятен и пор. Как следствие этого процесса, **7 января** за 8 ч осуществились две



Большая солнечная вспышка 7 января 2014 г. рентгеновского класса X1.2 в развитии: а) начальная стадия (18 ч 14 мин); б) в максимуме развития (18 ч 29 мин); в) в затухающей фазе (18 ч 45 мин); г) заключительная стадия (18 ч 59 мин). Изображения космической обсерватории "SDO" (<http://www.spaceweather.com>).

большие солнечные вспышки. Первая, балла M7,2/2B, произошла во внутреннем пространстве группы пятен и вызвала малое протонное событие (S1). Вторая, балла X1,2/2N, случилась между активными областями комплекса к юго-западу от большого ведущего пятна, что обеспечило облегченный выход солнечных протонов. В околоземном космическом пространстве зарегистрировано третье по величине в текущем солнечном цикле большое (S3) протонное событие. Вспышки среднего балла произошли 1, 4, 8, 13 и 27 и 28 января. Последний

период связан с солнечными вспышками в большой группе пятен, 27–28 января за 45 ч произошло 10 вспышек. Выбросы солнечных волокон наблюдались 1, 3, 4 (2), 5, 10 (2), 18 (2), 19, 20, 24 и 29 января. Зарегистрированы три рекуррентные и одна новая корональные дыры, но их геоэффективность была незначительной, только двое суток было с возмущенным геомагнитным полем. Коронографы космической обсерватории “SOHO” зарегистрировали более 150 корональных выбросов вещества разной интенсивности, среди ко-

торых три – типа “частичное гало III” (угол раствора 180°–270°) и 11 – типа “частичное гало II” (угол раствора 90°–180°). На геостационарных орбитах потоки релятивистских электронов с энергиями больше 2 МэВ наблюдались 2, 8 и 9 января.

Текущее состояние солнечной активности и ее прогноз на русском языке можно найти в Интернете (<http://www.izmiran.ru/services/saf/>). Страница обновляется каждый понедельник.

В.Н. ИШКОВ  
ИЗМИРАН

---

## Информация

---

### Обсерватория «IRIS» исследует Солнце

Переходный слой в фотосфере – области, расположенной между поверхностью Солнца и его атмосферой, – оказался более сложным и турбулентным, чем считалось ранее. Об этом говорят снимки и данные, полученные с помощью новой американской космической солнечной обсерватории «IRIS» (Interface Region Imaging Spectrograph – спектрограф отображения области интерфейса), запущенной 28 июня 2013 г. (Земля и Вселенная, 2013, № 6, с. 42).

Первые результаты наблюдений были представ-

лены 9 декабря 2013 г. на пресс-конференции Американского союза геофизиков (AGU).

Обсерватория «IRIS» исследует Солнце послыбно, одновременно делая фотографии и спектрограммы, регистрируя параметры слоев на разной высоте над поверхностью Солнца, в том числе и солнечной короны. Это позволяет определить, какое количество материи с определенной температурой и плотностью присутствует в солнечной атмосфере. Впервые удалось достаточно подробно изучить взрывные процессы в пограничной области и узнать, какую роль они играют в нагревании внешней атмосферы. Специалисты смогли лучше понять динамику нижней части атмосферы, играющую важную роль в усилении активности солнечного ветра и распространении извержений вещества. Плот-

ная материя, более холодная по сравнению с солнечной короной, конденсируется в протуберанцах, поднимается и удерживается над поверхностью Солнца магнитным полем. Замечены очень динамичные и четко структурированные потоки вещества в протуберанцах. Извержения протуберанцев приводят к солнечным штормам – корональным выбросам вещества, которые могут достигать Земли. Гигантские столбы светящейся плазмы (спикулы), поднимающиеся с поверхности Солнца со скоростью 240 тыс. км/ч, вероятно, играют роль в распределении тепла и энергии в атмосфере и короне. Данные IRIS позволили ученым впервые увидеть в подробностях, как развиваются спикулы.

Пресс-релизы AGU,  
NASA,  
10 декабря 2013 г.

## **Яков Борисович Зельдович**

Академик Яков Борисович Зельдович – выдающийся советский физик, один из создателей ракетно-ядерного щита страны, ученый в области теории горения, детонации и ударных волн, прославивший свое имя трудами в астрофизике, космологии и теории элементарных частиц.

Я.Б. Зельдович родился 8 марта 1914 г. в Минске (Республика Бела-

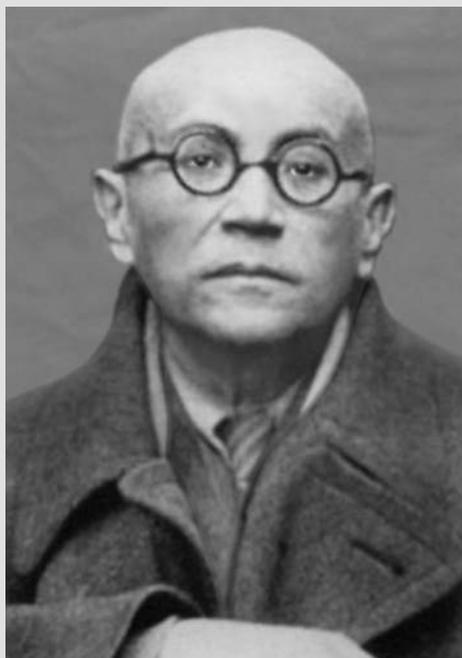
русь). Его отец – Борис Наумович Зельдович, юрист, член Коллегии адвокатов, мать – Анна Петровна Зельдович (Кивелиович), переводчица, член Союза писателей СССР. В середине 1914 г. семья переехала в Петроград, в 1924 г. Яков поступил в третий класс средней школы, которую окончил в 1930 г. Затем в течение 8 месяцев работал лаборантом Института механической обработки полезных ископаемых.

В мае 1931 г. юношу зачислили на должность лаборанта в Институт химической физики АН СССР (ИХФ). С этим институтом Яков Борисович был связан до последних дней жизни. Чтобы получить знания по роду своей работы, он занялся самообразованием, в этом ему помогли профессоры – сотрудники института. В 1932–1934 гг. Яков учился на заочном отделении физико-математического факультета Ленинградского государственного университета, который не окончил; позже посещал лекции физико-механического факультета Политехнического института. В 1934 г. 20-летний Яков Зельдович был принят в аспирантуру ИХФ, не имея высшего образования. Его выдающиеся способности помогли в 1936 г. защитить кандидатскую диссертацию по теме адсорбции, а в 1939 г. – докторскую диссертацию по теме окисления азота. С 1936 г. он работал старшим научным сотрудником ИХФ.

В 1934 г. Я.Б. Зельдович выполнил фундаментальные работы по адсорбции и катализу на неоднородных по-



*Яков Борисович Зельдович. 1943 г.*



*Борис Наумович и Анна Петровна – родители Я.Б. Зельдовича. 1900-е гг.*

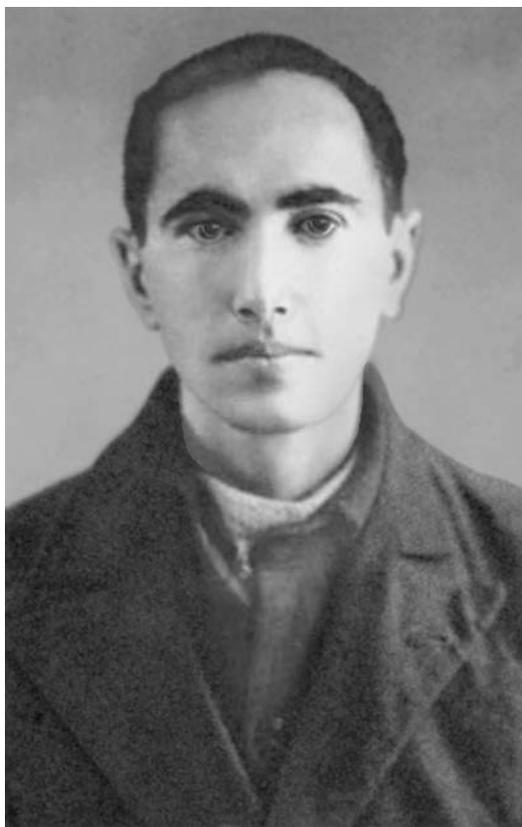
верхностях. Поставил задачу о режиме распространения пламени и нашел связь скорости горения с характеристиками горючей смеси (совместно с Д.А. Франк-Каменецким), создал физические основы внутренней баллистики ракетных пороховых двигателей. Участвовал в разработке реактивных минометов – знаменитых “Катюш”, сыгравших огромную роль во время войны. По свидетельству академика С.С. Герштейна, при испытании военной техники Яков Борисович неоднократно рисковал жизнью. Однажды Я.Б. Зельдович и сотрудники его лаборатории чудом спаслись при взрыве во время экспериментов по отработке устойчивости горения пороха в реактивных снарядах для “Катюш”. В одной из бесед он объяснял, что в первоначальном варианте “Катюши” были опасны не для врагов, а для тех, кто их запускал; нужно было изменить их конструкцию, и Яков Борисович предложил такие усовер-

шенствования, которые сделали ее безопасной в использовании и в то же время самым смертоносным оружием. Я.Б. Зельдович также развил количественную теорию детонации, объяснил явление пределов детонации и заложил основы теории спиновой детонации. Он получил важные результаты в теории ударных волн: в задачах о структуре фронта волны (совместно с Ю.П. Райзером), о течениях с ударным фронтом. Я.Б. Зельдович основал школу советских физиков в области теории горения, детонации и ударных волн.

В 1938 г. молодого ученого назначили заведующим лабораторией в ИХФ. В конце августа 1941 г., в связи с началом Великой Отечественной войны, он был эвакуирован вместе с институтом в Казань, а в 1943 г. вместе с лабораторией переведен в Москву. В том же году он был удостоен Сталинской премии за исследования в области горения и детонации. В 1946–1948 гг. Я.Б. Зель-

дович – заведующий теоретическим отделом ИХФ, одновременно был профессором Московского инженерно-физического института. В 1946 г. его избирают членом-корреспондентом АН СССР.

6 февраля 1948 г. И.В. Сталин утвердил постановление Совета министров СССР “О плане работ КБ-11...”, в котором отдельным пунктом значилось: “Обязать т. Семёнова направить 10 февраля 1948 г. на объект 550 (КБ-11) сроком на один год группу работников теоретического отдела Института химической физики во главе с начальником теоретического отдела т. Зельдовичем”. Так Я.Б. Зельдович, начальник отдела одного из предприятий атомной отрасли СССР (затем в составе Министерства среднего ма-



*Яков Зельдович. Середина 1930-х гг.*

шиностроения СССР), стал заниматься оборонной тематикой по “атомной проблеме”. Менее чем через год после успешного советского атомного взрыва (29 августа 1949 г.) он был награжден звездой Героя Социалистического Труда. Тогда же он был удостоен Сталинской премии “как руководитель работ по построению общей теории атомной бомбы”.

Взрыв первой советской атомной бомбы “РДС-1” 29 августа 1949 г. на Семипалатинском полигоне в Казахстане стал ответом на угрозы США, обладавших к тому времени ядерным оружием.

Вскоре начались работы по созданию водородной бомбы двумя группами специалистов: одна – в Физическом институте, возглавляемая Я.Б. Зельдовичем и Ю.Б. Харитоном, вторая – в ФИАН СССР под руководством И.Е. Тамма, А.Д. Сахарова и В.Л. Гинзбурга. Итоговый отчет о проведенных исследованиях подписали И.Е. Тамм, А.Д. Сахаров и Я.Б. Зельдович, двум последним принадлежит авторство концепции конструирования двухступенчатой водородной бомбы РДС-37. В ноябре 1955 г. состоялись ее успешные испытания на Семипалатинском полигоне – атомная монополия США была ликвидирована. Яков Борисович был удостоен Сталинской премии “за исключительные заслуги перед государством при выполнении спецзадания Правительства” и награжден второй медалью “Серп и Молот”. В 1958 г. его избирают действительным членом АН СССР.

Научные интересы Я.Б. Зельдовича были разнообразными: химическая физика, теория горения, физика ударных волн и детонации, элементарных частиц, ядерная физика, астрофизика и космология. Он один из основателей макроскопической кинетики. Перечислим основные направления научных исследований:

– гетерогенный катализ и адсорбция (экспериментальные и теоретические работы 1932–1936 гг.);

– окисление азота при горении и взрывах (экспериментальные и теоретические работы 1935–1940 гг.);

– теория горения, воспламенения и распространения пламени (1937–1941 гг. и 1945–1948 гг.);

– ударные и детонационные волны, газодинамика взрыва (с 1938 г.);

– теория деления урана, теоретические работы опубликованы в 1939–1940 гг. совместно с Ю.Б. Харитоном; выяснение условий стационарного деления в энергетических установках и взрывного деления;

– внутренняя баллистика нового оружия и теория горения порохов (1941–1948 гг.); теоретическая и экспериментальная работа по порохам, кроме ИХФ, проводилась на кафедре Московского механического института (1945–1948 гг.);

– участие в разработке и создании атомного, затем водородного (термоядерного) оружия (1943–1963 гг.);

– в области ядерной физики и теории элементарных частиц: работы по  $\mu$ -катализу, предсказание новых изотопов, в частности  ${}^8\text{He}$ , новых типов распада частиц ( $\pi^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu$ ), свойств векторного тока, пионерская работа по теории тяжелых мезонов (с 1952 г.);

– в области релятивистской астрофизики и космологии: теория образования черных дыр и нейтронных звезд, теория выделения энергии и излучения рентгеновских лучей при падении вещества на черные дыры, теория эволюции “горячей” Вселенной и свойств реликтового излучения, теория образования галактик и крупномасштабной структуры Вселенной, инфляционная теория ранней Вселенной (1965–1987 гг.).

В теории горения Я.Б. Зельдович нашел связь между скоростью распространения пламени и кинетикой химических реакций в нем, решил такие важные задачи, как поджигание смеси накаленной поверхностью, определение фронта распространения пламени. Создал физические основы внутренней баллистики ракетных пороховых двигателей. В теории детонации обосновал гипотезу Чепмена–Жуге, впер-



*Член-корреспондент АН СССР Я.Б. Зельдович. Конец 1940-х гг.*

вые объяснил предел детонации, решил задачу удара с большой скоростью по поверхности среды. Яков Борисович опубликовал работы по теории элементарных частиц. Он предсказал явление мюонного катализа, процесс бета-распада пи-мезона, совместно с С.С. Герштейном заметил аналогию между электромагнитными и слабыми взаимодействиями (гипотеза сохраняющегося векторного тока). Ему принадлежат идея удержания ультрахолодных нейтронов, анализ свойств и способов обнаружения мезонов со временем жизни  $10^{-22}$ – $10^{-23}$  с.

В 1939–1940 гг. Я.Б. Зельдович совместно с Ю.Б. Харитоном сделал расчет ядерного цепного процесса в уране, исследовал эффект ухода нейтронов под порог деления из-за рассеяния, развил теорию гомогенного реактора на тепловых нейтронах и теорию резонансного поглощения нейтронов ядрами урана-238, рассмотрел кинетику реактора и указал на принципиаль-



ную роль запаздывающих нейтронов для регулирования его работы. Будучи одним из ближайших сотрудников академика И.В. Курчатова, в 1940-х гг. принимал непосредственное участие в решении проблемы использования ядерной энергии.

Предсказал возможность удержания ультрахолодных нейтронов в соуде с отражающими стенками, мюонный катализ (1953) и разработал его теорию. Указал на возможность существования ядер с большим избытком нейтронов ( $^8\text{He}$ ). Ввел понятия лептонных зарядов (1952–1953), предсказал бета-распад заряженных пионов (1954) и совместно с С.С. Герштейном – явление сохранения векторного тока (1955). Указал на существование новых электромагнитных характеристик частиц, возникающих при нарушении четности, и первым (1958–1960) обратил внимание на существование зарядового форм-фактора нейтрино и нарушение четности состояния атомов за счет слабого взаимодействия электрона с ядром. В 1958 г. предложил метод обнаружения короткоживущих ча-

*Я.Б. Зельдович, А.Д. Сахаров и Д.А. Франк-Каменецкий. Начало 1950-х гг.*

---

стиц путем измерения распределения числа событий по эффективной массе продуктов распада, ставший одним из основных при поиске и изучении резонансов.

Я.Б. Зельдович успешно работал начальником отдела и заместителем руководителя предприятия по изготовлению и испытанию “ядерного щита” СССР, одновременно в 1958–1962 гг. – старшим научным сотрудником Института теоретической и экспериментальной физики АН СССР.

Указом Президиума Верховного Совета СССР от 11 сентября 1956 г. (с грифом: “Не подлежит опубликованию”) Я.Б. Зельдович награжден третьей золотой медалью Героя Социалистического Труда (за создание новых типов ядерного оружия).

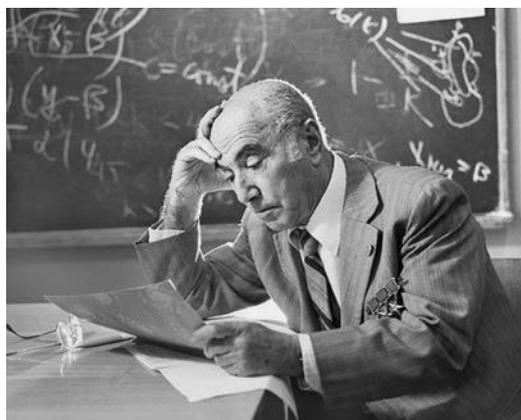
В октябре 1965 г. Яков Борисович решил перейти на теоретическую научно-исследовательскую работу и до

января 1983 г. заведовал отделом Института прикладной математики АН СССР. С 1965 г. до конца жизни он также профессор физического факультета МГУ, в 1984–1987 гг. – заведующий отделом релятивистской астрофизики ГАИШ МГУ. С 1983 г. Я.Б. Зельдович – заведующий отделом Института физических проблем АН СССР, консультант дирекции Института космических исследований АН СССР. С 1977 г. – руководитель Научного Совета по горению АН СССР.

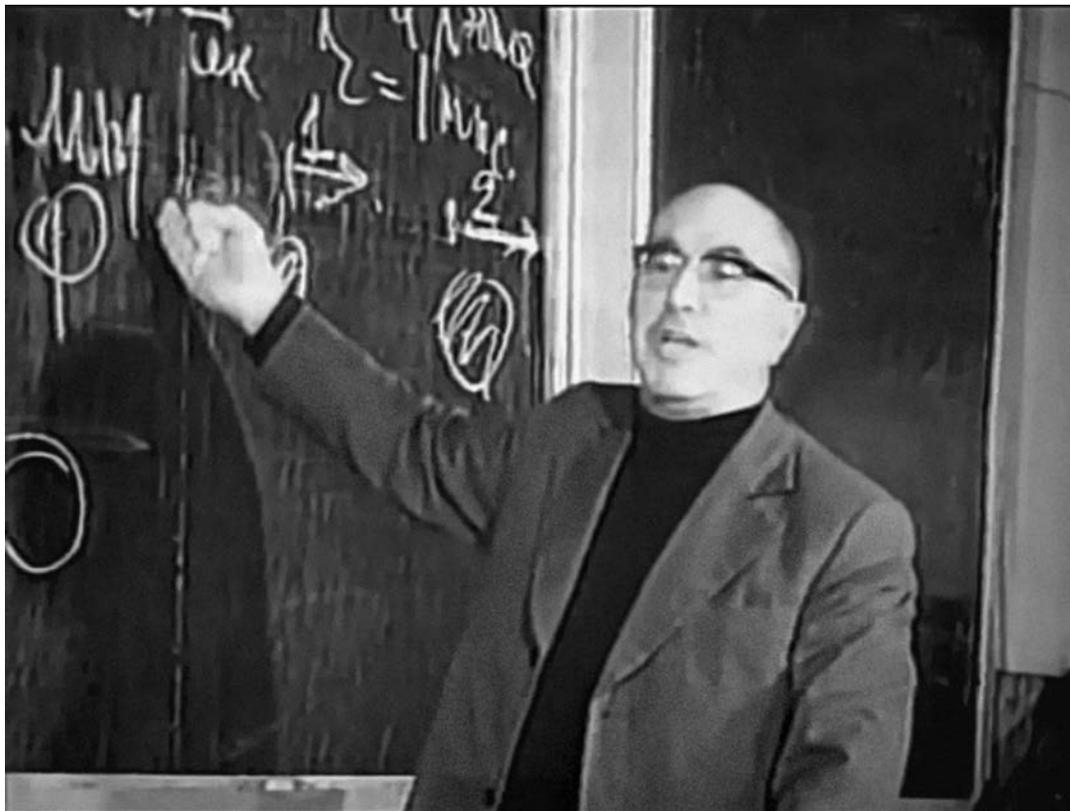
В этот период жизни Я.Б. Зельдовича главным предметом его исследований стала астрофизика, которую он всегда очень любил. Яков Борисович – один из создателей релятивистской астрофизики. С 1966 г. до конца жизни он возглавлял знаменитый Объединенный астрофизический семинар. В области астрофизики и космогонии Я.Б. Зельдович разработал теорию последних стадий эволюции звезд и звездных систем с учетом эффектов общей теории относительности, теорию гравитационного коллапса, теорию процессов в расширяющейся “горячей Вселенной”, предложил экспериментальные методы для проверки космологических теорий. Он предложил теорию строения сверхмассивных звезд с массой до миллиардов масс Солнца и теорию компактных звездных систем; эти теории могут быть применены для описания возможных процессов в ядрах галактик и квазарах. Я.Б. Зельдович первым нарисовал полную качественную картину последних этапов эволюции обычных звезд разной массы, исследовал, при каких условиях звезда должна либо превратиться в нейтронную звезду, либо испытать гравитационный коллапс и превратиться в черную дыру. Детально изучил свойства черных дыр и процессы, протекающие в их окрестностях. Указал на возможность обнаружения этих объектов как источников рентгеновского излучения в тесных двойных системах. В 1962 г. показал, что не только массивная звезда, но и малая масса может коллапсировать при достаточно большой

плотности, в 1970 г. пришел к выводу, что вращающаяся черная дыра способна спонтанно испускать электромагнитные волны. Яков Борисович разработал теорию последних этапов эволюции звезд обычной массы, теорию взаимодействия горячей плазмы расширяющейся Вселенной и излучения. Он создал отечественную школу релятивистской астрофизики.

В работах Я.Б. Зельдовича по космологии основное место занимает проблема образования крупномасштабной структуры Вселенной. Он исследовал начальные стадии космологического расширения Вселенной. Вместе с сотрудниками построил теорию взаимодействия горячей плазмы расширяющейся Вселенной и излучения, создал теорию роста возмущений в “горячей” Вселенной в ходе космологического расширения, рассмотрел некоторые проблемы, связанные с возникновением галактик в результате гравитационной неустойчивости этих возмущений; показал, что форма возникающих образований высокой плотности, вероятно протоскоплений галактик, плоская. Ряд предсказанных Я.Б. Зельдовичем эффектов получил экспериментальное подтверждение. В конце XX в. – начале XXI в. открыты гигантские пустые области во Вселенной, окруженные



Академик Я.Б. Зельдович. 1960-е гг. Фото ИТАР-ТАСС.



*Я.Б. Зельдович у доски за решением задачи. 1960-е гг.*

сгущениями галактик, и обнаружено понижение яркостной температуры реликтового радиоизлучения в направлениях на скопления галактик с горячим межгалактическим газом. Я.Б. Зельдович в сотрудничестве с Р.А. Сюняевым создал теорию рассеяния реликтового излучения на электронах (эффект Сюняева – Зельдовича). Этот эффект открыл возможность измерения абсолютного размера скопления галактик и позволил найти peculiarную скорость скопления относительно реликтового излучения и среднюю плотность Вселенной. Яков Борисович размышлял над проблемой происхождения магнитных полей звезд и галактик, над теорией динамо. Он разрабатывал “полную” космологическую теорию, которая включала бы рождение Вселенной.

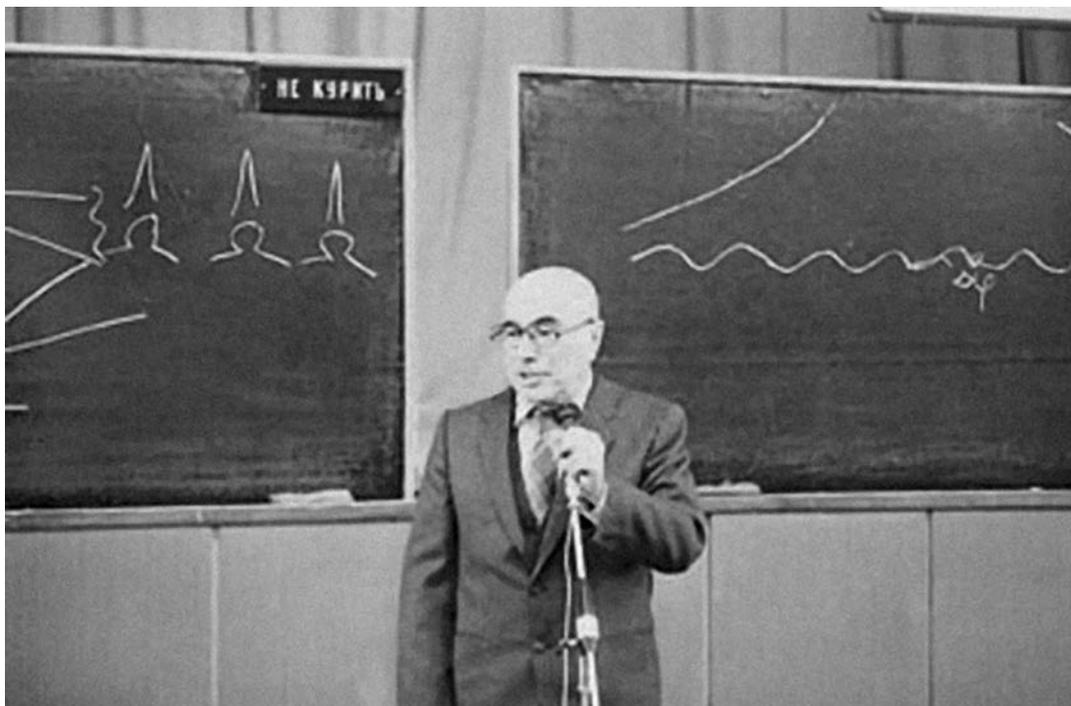
Я.Б. Зельдович – автор научных открытий, занесенных в Государственный реестр открытий СССР:

“Явление удержания медленных нейтронов” под № 171 с приоритетом от 3 апреля 1959 г.

“Явление образования и распада сверхтяжелого гелия – гелия-8” под № 119 с приоритетом от 22 октября 1959 г.

“Закон сохранения векторного тока в слабых взаимодействиях элементарных частиц” под № 135 с приоритетом от 8 июня 1955 г.

В списке публикаций Я.Б. Зельдовича (в том числе в соавторстве) насчитывается около 450 работ. В их числе 30 монографий: “Теория ударных волн и введение в газодинамику” (М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1946), “Релятивистская астрофизика” (Я.Б. Зель-



*Я.Б. Зельдович ведет семинар. 1970-е гг.*

дович, И.Д. Новиков. М.: Наука, 1967), "Рассеяние, реакции и распады в нерелятивистской квантовой механике" (А.И. Базь, Я.Б. Зельдович, А.М. Переломов. М.: Наука, 1971), "Теория тяготения и эволюция звезд" (Я.Б. Зельдович, И.Д. Новиков. М.: Наука, 1971), "Теория нестационарного горения пороха" (Я.Б. Зельдович, О.И. Лейпунский, В.Б. Либрович. М.: Наука, 1975), "Строение и эволюция Вселенной" (Я.Б. Зельдович, И.Д. Новиков. М.: Наука, 1975). Среди популярных изданий выделяется написанный им учебник "Высшая математика для начинающих и ее приложения к физике" (1963), который пережил множество переизданий, самое известное – "Высшая математика для начинающих физиков и техников" (совместно с И.М. Ягломом; 1982). В журнале "Земля и Вселенная" Я.Б. Зельдович опубликовал ряд статей (1969, № 3; 1979, № 2; 1982, №№ 2, 4).

В ноябре 1986 г. Я.Б. Зельдович в составе советской делегации был принят Папой Римским и подарил ему экземпляр своей книги "Ядра, частицы и Вселенная". При этом он произнес: "Когда я был моложе, я думал, что наука и космология в состоянии объяснить происхождение Вселенной. Теперь я не столь уверен!"

Родина высоко оценила заслуги Я.Б. Зельдовича. Он награжден тремя золотыми медалями "Серп и Молот" Героя Социалистического Труда, тремя орденами Ленина (1949, 1962, 1974), орденом Октябрьской Революции (1984), двумя орденами Трудового Красного Знамени (1945, 1964), орденом "Знак Почета" (1954), медалями. Яков Борисович четырежды удостоен звания лауреата Сталинской премии (1943, 1949, 1951, 1953) и лауреата Ленинской премии (1957).

Я.Б. Зельдович пользовался огромным авторитетом в научном сообществе. Его избрали иностранным чле-



Мемориальные доски академикам А.Д. Сахарову и Я.Б. Зельдовичу на здании ВНИИ экспериментальной физики в г. Саров Нижегородской области.

ном Лондонского Королевского астрономического общества (1972), Германской академии естествоиспытателей



Памятник на могиле Я.Б. Зельдовича на Новодевичьем кладбище.

“Леопольдина” (ГДР, 1972), Американской академии наук и искусств, Национальной академии наук США (1979), Венгерской академии наук (1983), почетным членом ряда физических обществ и университетов Великобритании, Венгрии и других стран. Он член-корреспондент Международной академии астронавтики (1969), удостоен почетных научных медалей Н. Масона (1972, взрыв и ударные волны), им. И.В. Курчатова (1977, ядерная физика), Катарины Брюс (1983, астрономия), им. Б. Льюиса (1984, взрыв и ударные волны), Международного центра теоретической физики им. П. Дирака (1985).

Известно, что лауреат Нобелевской премии по физике за 1961 г. Р. Мёссбауэр (ФРГ) хотел выдвинуть Я.Б. Зельдовича на Нобелевскую премию и колебался лишь в выборе науки – по химии

или по физике. Об этом говорили видные ученые Западной Европы и США. По новизне и блеску своих идей, по значимости полученных результатов Яков Борисович был, бесспорно, представителем ученых нобелевского масштаба и в физике, и в химии.

2 декабря 1987 г. Я.Б. Зельдович скончался в Москве, похоронен на Новодевичьем кладбище. В статье, опубликованной в журнале "Nature" в феврале 1988 г., академик А.Д. Сахаров, работавший с Яковом Борисовичем на протяжении 20 лет (1948–1968), назвал его "человеком универсальных интересов". Академик Л.Д. Ландау, характеризуя его поразительную универсальность в теории и эксперименте, еще более усилил эту мысль: "Ни один физик, исключая Ферми, не обладал таким богатством новых идей, как Зельдович".

В 1995 г. COSPAR учредил медаль им. Я.Б. Зельдовича. 9 мая 2001 г. Российская академия наук на основании решения Комитета по наименованию малых планет Международного астрономического союза в честь выдающегося советского ученого назвала малую планету (астероид) № 11438 "ZELDOVICH". В Минске установлен бронзовый бюст Я.Б. Зельдовича, в г. Саров Нижегородской области на здании ВНИИ экспериментальной физики открыта мемориальная доска.

11 февраля 2014 г. Президиум РАН принял решение установить мемориальные доски в честь Я.Б. Зельдовича на зданиях ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, ИКИ РАН и ИХФ им. Н.Н. Семёнова, учредить золотую медаль имени академика Я.Б. Зельдовича. Его именем будет названа одна из улиц в районе Московского университета.

---

## Информация

---

### Пыль в сверхновой

Международная группа астрофизиков исследовала пылевое облако в остатке сверхновой SN 1987A в Большом Магеллановом Облаке (БМО), карликовой галактике – спутнике нашей Галактики, расположенной на расстоянии 160 тыс. св. лет от Земли. SN 1987A отличается ярко светящимися кольцами вещества и пятнами ударных волн – газовой оболочкой, сброшенной голубым гигантом перед тем, как взорваться. С помощью Большого миллиметрово-

го телескопа ALMA Европейской Южной Обсерватории (Атакама, Чили) удалось обнаружить пылевое облако в остатке сверхновой. Составлено изображение SN 1987A из снимков, полученных KTX и космической обсерваторией «Чандра», а на их основе ученые разработали детальную модель структуры остатка (см. стр. 3 обложки).

Эти наблюдения помогут объяснить изобилие пыли, свойственное многим ранним галактикам. Считается, что первоначальным источником пыли, особенно в ранней Вселенной, были сверхновые звезды. Однако до сих пор не удавалось получить прямого доказательства, что сверхновые производят много пыли. Согласно расчетам, в процессе охла-

ждения газа после вспышки в центральных областях остатка сверхновой атомы кислорода, углерода и кремния образуют много горячей пыли. «Мы нашли в центральной части остатка относительно молодой и близко расположенной сверхновой необычайно большую массу пыли, много окиси углерода и кремния. Это первая непосредственная регистрация процесса образования пыли при вспышке сверхновой, что важно для понимания эволюции галактик», – сказал Р. Индэбту, сотрудник Национальной радиоастрономической обсерватории США (NRAO) и Университета штата Вирджиния.

Пресс-релиз ESO,  
6 января 2014 г.

## **Социальное общечеловеческое значение фундаментальной науки**

Я.Б. ЗЕЛЬДОВИЧ

В решении задачи максимального удовлетворения материальных и духовных потребностей человека большую роль призвана сыграть наука. Известен тезис о том, что наука стала производительной силой. Характеризуя экономику той или иной страны или области, говорят о наукоемких производствах, то есть о таких, в которых производство и конкурентоспособность прямо связаны с уровнем науки. К наукоемким производствам относятся, например, производство микрорезисторов и их применение в вычислительной и информационной технике или производство фармацевтических препаратов с использованием генной инженерии. Список этот можно было бы неограниченно продолжать.

Развитые страны тратят на науку несколько процентов валового национального продукта. Этот факт также подтверждает значение науки в современном производстве.

Наряду с практическими целями наука ставит и такие фундаментальные задачи, как выяснение структуры микромира и исследование Вселенной, понимание жизни и ее происхождения.

Создаются ускорители элементарных частиц – технически сложные и весьма совершенные установки, занимающие много квадратных километров, стоимостью в несколько милли-

ардов долларов. Строятся гигантские телескопы. Развивается радиоастрономия. Астрономические приборы выносятся за атмосферу в космос. Теоретические группы, состоящие из чрезвычайно способных людей, с огромным напряжением работают над развитием фундаментальной теории, используя, в частности, и современные вычислительные средства. Специалисты из других областей, вероятно, привели бы тоже большой перечень задач, приборов и методов.

Есть и общая закономерность исследований: во многих областях имеется более или менее отчетливое разделение проводимых работ на два типа. Первый – работы с заранее запланированной практической целью – так называемая “прикладная наука”. Второй – работы, ставящие целью познание, создание картины микро- и макромира, без заранее определенных практических задач. Нисколько не умаляя значение работ первого (“прикладного”) типа, назовем работы второго типа фундаментальной наукой.

Термин этот не очень хорош. Если понимать под словом “фундаментальный” основательность, незыблемость, прочность, то терминологию нужно было бы менять. Решая практические задачи, мы пользуемся незыблемыми и твердо установленными законами.

И наоборот: при исследовании нерешенных вопросов микромира и Вселенной в наибольшей степени приходится пользоваться смелыми гипотезами. Часть из них ученые вынуждены отбрасывать под влиянием новых данных опыта или вследствие внутренних противоречий, выявляющихся в ходе развития идей. “Фундаментальность” задач сочетается со смелостью вариантов теории.

Все же за отсутствием лучшего общепринятого термина будем говорить о “фундаментальной” науке. Какова ее социальная роль? Почему общество идет даже на большие затраты для развития фундаментальной науки?

Начну с аргументов скептиков, с которыми не согласен. Крупный советский ученый, ныне покойный, когда-то говорил: “Наука есть способ удовлетворения личного любопытства за государственный счет”. Не будем называть имени, замечу только, что скептицизм скорее помешал, а не помог научной деятельности автора хлесткого, но по существу неверного афоризма.

В том же русле рассказывают исторический анекдот. Лапласа интересовала фигура Земли, т.е. отношение длины экватора к длине линии, проходящей через полюса. Однако в бурные и трудные годы Великой Французской революции было крайне сложно получить ассигнования на соответствующие точные геодезические измерения. Заметим мимоходом, что сейчас такие измерения проводят, притом не только в мирных, но и в военных целях. Но вернемся к временам, когда межконтинентальные баллистические ракеты не существовали, и к Лапласу. Лаплас предположил Конвенту новую революционную единицу длины – метр, определенную как одна сорокамиллионная часть земного экватора. Был принят декрет, даны ассигнования и проведены измерения. Наряду с единицей измерения – метром Лаплас узнал также, насколько Земля сплюснута по полюсам и растянута по экватору действи-

ем центробежной силы своего вращения. Но не злоупотребил ли доверием членов Конвента великий французский ученый?..

Итак, один взгляд на фундаментальную науку: предмет личного любопытства одного или нескольких ученых, любыми способами получающих государственные деньги. Взгляд не новый, вспомните сатиру Джонатана Свифта “Путешествие Гулливера”, описание острова Лапуты, проживающих там ученых и тематику их исследований.

Однако этот взгляд поверхностный и совершенно неправильный. Надеюсь, что дальнейшим изложением я смогу доказать это даже критически настроенному читателю.

Другой взгляд на фундаментальную науку основан на еще более убедительных исторических примерах.

Механика Ньютона необходима для машиностроения – от ткацких станков до авиации, для выхода в космос и его использования в технике связи.

Электродинамика Фарадея и Максвелла явилась основой электрификации промышленности и привела Попова к созданию радиосвязи.

Теория атома – квантовая механика привела Эйнштейна к предсказанию индуцированного излучения. Используя эти предсказания в наибольшей степени, Басов и Прохоров создали лазеры со всеми их применениями в технологии и медицине.

Развитие теории атомного ядра, начатое Резерфордом, привело к созданию ядерной энергетики, сжигающей уран. На очереди термоядерное сжигание дейтерия и трития (тяжелых изотопов водорода). Трагическим побочным эффектом оказалось создание ядерного и термоядерного оружия.

Этот список можно продолжать почти бесконечно, до размера многотомной энциклопедии. В приведенных примерах характерно, что в большинстве случаев первооткрыватели не видели отдаленных последствий своих открытий. Иногда они догадывались об этих

последствиях: на вопрос о значении открытой электромагнитной индукции Фарадей отвечал вопросом: “Можете ли Вы, глядя на новорожденного младенца, сказать, чего он достигнет в своей жизни?” Не конкретизируя, Фарадей предвидел великое будущее своего открытия.

Но Эйнштейн не подозревал, что будут открыты лазеры. Резерфорд, которому надоели прожектеры, четко до конца своей жизни (1937 г.) отрицал возможность энергетического использования ядерной физики.

Подойдем к концепции, которую можно коротко выразить: “Всякая хорошая фундаментальная наука приносит практические результаты”, но отнесемся к этому тезису не предвзято. Не будем опираться на авторитеты, не будем ссылаться на исторический опыт. Его сила – в том, что это опыт, его слабость – в том, что он исторический, т.е. относится к прошлому, к той ситуации, которая была в науке в прошлом, но которая к настоящему времени уже изменилась.

Сейчас мы знаем не только больше отдельных научных фактов – мы гораздо глубже понимаем внутренние соотношения между различными областями науки.

Главное достижение можно назвать принципом соответствия. Это очень широкое обобщение конкретного “принципа соответствия”, которым Бор пользовался при разработке теории атома. Кратко принцип характеризуется следующим образом: существуют теории, в своей области установленные навсегда; новые теории обязаны соответствовать этим уже установленным теориям, развивая и изменяя их только в новой области применимости.

Приведем только два общеизвестных примера.

1. Ньютоновская классическая механика установлена навечно для малых скоростей больших тел.

2. Наука проникает в глубину протона и нейтрона, кирпичиков, из которых построены ядра. Оказалось, что они, в свою очередь, состоят из так называемых кварков – частиц с дробным зарядом, которые принципиально невозможно извлечь из ядра. Однако общая схема атома, состоящего из ядра и электронов, не изменилась, она останется навечно. Новая ступень в познании физики ядра не изменит химии и атомной физики и не обещает новых источников энергии!

Вывод, следующий из этих примеров и обобщающего принципа соответствия, таков: появилось знание общих законов развития науки. Это знание не позволяет нам давать неопределенные обещания. Наряду с примерами плодотворного практического применения достижений фундаментальной науки (авиация, электроника, радио и телевидение, атомная энергетика, информатика) можно привести и противоположный пример.

Общая теория относительности, т.е. созданная в 1916 г. Эйнштейном геометрическая теория тяготения, несомненно, является замечательным идейным достижением. Эта теория необычно продвинула наши представления о силах природы, полностью разъяснила сущность одной из этих сил – тяготения, сведя ее к геометрии. Общая теория относительности становится в конце нашего века образцом для дальнейшего развития фундаментальной физики. С этой теорией связан огромный прогресс в астрономии, и в частности в космологии – в науке о Вселенной как целом. Вместе с тем общая теория относительности не имеет практических (энергетических, или информационных, или медицинских) применений. Значит, нельзя (да и не нужно) говорить, что всякая хорошая теория обязательно дает практические плоды.

Все сказанное выше можно считать кратким предисловием к тому треть-

ему взгляду на фундаментальную науку, который является главным тезисом данной статьи.

Фундаментальная наука нужна и потому, что она удовлетворяет духовные потребности человека.

Духовные потребности не сводятся к восприятию искусства, музыки, красоты природы. Знание и понимание устройства природы также являются важнейшей потребностью человека.

Особенно хочу подчеркнуть, что это потребность большинства людей, а отнюдь не только ученых. Здесь уместно сравнение со слушателями музыки (их очень много) и композиторами.

Восприятие красоты науки надо воспитывать. Может быть, специалисты (не исключая себя) виновны в том, что недостаточно пропагандируют понимание сущности науки. Средняя школа могла бы в большей степени давать учащимся самые общие представления о задачах и методах науки, даже за счет конкретных деталей, нужных специалистам.

В пятидесятых годах драматические применения ядерной физики (именно применения!) сильно увеличили престиж этой науки.

Увеличился конкурс при поступлении на физические факультеты. Возросли ассигнования на ускорители в связи с их увеличением. Помню замечание крупного зарубежного физика: “Большие ускорители стали предметом престижа государства, как в средние века престижным было строительство гигантских соборов”. Здесь есть вызов, намек на сходство между функцией фундаментальной науки и функцией религии. Принимаю этот вызов, поднимая перчатку. В определенные исторические периоды религия играла прогрессивную роль, сплачивала нации, упорядочивала жизнь общества. В настоящее время роль религии падает. Я атеист, не верю в Бога и надеюсь, что рационалистическое мировоззрение станет всеобщим. Вместе с тем существование религии есть объективный исторический факт. Социально-психо-

логический вывод, который следует из этого факта, как раз и подтверждает главный тезис моей статьи: человек объективно имеет глубоко заложенные в его сознании духовные потребности. Будет только хорошо, если интерес к науке займет то место в духовной жизни человека, которое еще недавно занимала религия.

Но подчеркнем и различие между наукой и религией. Религия не одна, есть много разных религий, рожденных разными общественными и историческими (или доисторическими) условиями.

Борьба различных религий между собой принимала самые уродливые, жестокие и кровавые формы. Во имя Бога инаковерующих сжигали, казнили, изгоняли (достаточно обратиться к любой брошюре по истории религии).

Наука отличается от религии тем, что она исследует объективно существующие закономерности природы. Наука едина, выводы ее, проверенные опытом, одинаковы, в какой бы стране ни проводились опыты, каким бы ни был цвет кожи экспериментатора.

Этот простой и очевидный факт связывает между собой ученых всего мира. При правильной постановке пропаганды научных знаний международный характер фундаментальной науки вызывает взаимное уважение народов разных стран. Невозможно переоценить значение этого фактора в настоящее время опасного нарастания напряженности в мире.

В ходе международного соревнования в технологии и в прикладной науке возможно искусственное ограничение новой информации для того, чтобы ею не воспользовались конкуренты.

В фундаментальной науке задержка информации о новых результатах и запечатанные конверты с надписью “Вскрыть через 10 или 20 лет” давно ушли в прошлое. Современный ученый спешит опубликовать свои результаты или даже гипотезы и догадки. Наряду с журналами появляются препринты, издаваемые за 2–3 неде-

ли. Необычайно возросла роль личного общения на конференциях и симпозиумах. Фундаментальная наука играет все большую благодетельную роль в укреплении международных связей, не подверженных местным и временным колебаниям.

Древние греки высоко ценили науку, но свысока смотрели на ее приложения. В настоящее время прикладная наука завоевала такое положение в обществе, когда она не нуждается в защите. Но не будем забывать и фундаментальную науку.

Не будем забывать роль фундаментальной науки в рождении науки прикладной, но сохраним уважение и восхищение самой фундаментальной наукой.

Она является замечательным творением человеческого разума и, в свою очередь, совершенствует разум и душу человека.

Чтобы не быть голословным, приведу два примера достижений восьмидесятых годов в наиболее близких мне областях.

Один пример относится к теории элементарных частиц.

Более 100 лет развивается теория электромагнетизма. Почти 100 лет исследуется радиоактивность. До недавнего времени казалось, что это принципиально различные явления.

Электромагнетизм связан с движением заряженных частиц – электронов. Конструктор электрического генератора, электромотора или радиоаппаратуры представляет себе электроны как крошечные, очень легкие, точечные заряды, движущиеся по проводам и создающие ток и магнитное поле, скапливающиеся на пластине конденсатора и создающие заряд и электрическое поле. Электроны только перемещаются с места на место, но не рождаются и не уничтожаются.

В явлениях радиоактивности атомное ядро может испустить, то есть родить и выбросить, электрон. Важно подчеркнуть, что электрона в ядре не

было, он именно родился. Есть и такие ядра, которые заглатывают и уничтожают электрон, до того мирно пребывавший в числе атомных.

Итак, казалось, что электромагнетизм и радиоактивность никак не связаны. Однако за последние 20 лет появились теории, объединяющие эти две области физики.

Движение электрона представляется как его исчезновение в одном месте и рождение в другом. Электромагнитное поле можно представить себе как совокупность особых частиц – фотонов, квантов (кусочков) электромагнитного поля, летящих со скоростью света. Анализируя как сходство, так и различие радиоактивности и электромагнетизма, физики-теоретики пришли к выводу, что должны существовать и другие частицы, во многом похожие на фотоны, но отличающиеся большой массой. Новые предсказанные частицы трех сортов – положительные, нейтральные и отрицательные – почти в сто раз тяжелее атома водорода! Соответственно и скорость их всегда меньше скорости света, эти частицы неустойчивы и сами распадаются, они не могут быть использованы ни в электромоторе, ни для радиосвязи. В 1983 г. эти частицы были открыты в результате долгого, трудного, но целеустремленного поиска. Подтверждение на опыте предсказания теории всегда справедливо рассматривалось как пример силы теории, и не только теории, но и науки в целом. Так было, когда Менделеев предсказал неизвестные до того элементы, а Лаверье – новую планету. Время великих предсказаний науки не кончилось.

Второй пример достижений фундаментальной науки – современный прогресс космологии, то есть науки о всей Вселенной. Общая картина расширяющейся Вселенной уже давно, несколько десятилетий тому назад, перешла в разряд твердо установленных фактов. Новая постановка вопроса, характерная для последних 5 или 10 лет, состоит в том, что появляются ответы

на вопросы о том, почему Вселенная расширяется, и о том, как могло возникнуть то начальное состояние, эволюцию которого мы наблюдаем. Здесь не место излагать сколько-нибудь подробно трудные теоретические вопросы. Отмечу только, что:

1. Гравитационное взаимодействие с уже имеющимся веществом может компенсировать затраты энергии на создание нового вещества;
2. В определенных условиях гравитация приводит к расталкиванию отдельных частей системы и тем самым придает системе в целом характерное для расширяющейся Вселенной движение;
3. Возможно возникновение обычного вещества в горячей плазме, в которой вещество и антивещество вначале были в равном количестве.

Все перечисленные пункты не доказаны прямыми опытами (и будут доказаны не скоро), но они согласуются с современной теорией и не противостоят общим принципам, таким, например, как закон сохранения энергии. Вместе эти теоретические идеи дают возможность понять происхождение и свойства современной Вселенной.

Несомненно, биолог, или геолог, или исследователь Солнечной системы привел бы другой набор достижений фундаментальной науки в своей области знания. И все же мир элементарных частиц и Вселенная как целое – это две самые волнующие крайности, между которыми лежит все остальное.

Еще одной чрезвычайно важной функцией фундаментальной науки является ее роль в воспитании кадров.

Вспоминаю дискуссии 1938 г., когда академику Абраму Федоровичу Иоф-

фе, директору Ленинградского физико-технического института (ЛФТИ), вменялась в вину активная работа института в области ядерной физики. Говорили о том, что занятия ядром не согласуются со словом “технический” в названии ЛФТИ.

Прошло несколько лет, ядерная физика стала проблемой № 1 государственного масштаба, и именно воспитанник ЛФТИ Игорь Васильевич Курчаков встал во главе важнейшего дела и привлек к нему в первую очередь своих коллег по институту. Но даже в тех случаях, когда такой драматический поворот не происходит, ученые, занимавшиеся фундаментальной наукой и проявившие себя на этом поприще, оказываются ценнейшими кадрами для решения прикладных задач. В решение этих задач они приносят методы и стиль работы фундаментальной науки: смелость, коллективизм, высочайшую квалификацию.

Обмен кадрами, опытом, оборудованием между разными отраслями науки является важнейшим условием процветания всех направлений.

Заканчивая, хочу вспомнить слова Ф. Тютчева:

*Блажен, кто посетил сей мир  
В его минуты роковые:  
Его призвали Всеблагие,  
Как собеседника на пир.*

Всеблагие – это боги, простим Тютчеву его манеру выражаться. Пусть наше время не будет роковым в смысле ужасов и катастроф. Роковые минуты в этом контексте – это годы и десятилетия, когда решаются судьбы понимания Природы, неисчерпаемой, но познаваемой.

*Журнал “Вопросы философии”,  
1985, № 6, с. 57–62.*

## **Воспоминания о Я.Б. Зельдовиче**

**Академик Ю.Б. Харитон**

### **СЧАСТЛИВЕЙШИЕ ГОДЫ МОЕЙ ЖИЗНИ**

---

Над водородной бомбой параллельно работали две группы – Сахарова и Зельдовича, причем исследования велись в тесном контакте, резкого разделения не было. Как-то во время очередного приезда на “объект” Тамм пожаловался мне, что настолько погружен сейчас в наши дела, что стал отрываться от современной физики. И тут же отметил, что Зельдович умудряется каким-то образом быть полностью в курсе всех научных новостей – должно быть, работает по ночам, так как днем занят основной работой. Как ему это удастся? Я объяснил это просто: он был уникальной личностью, совершенно невероятной. (Если посмотреть двухтомник избранных трудов Зельдовича, в котором дан список его статей, сразу видно, сколько выдающихся работ он сделал.)

Но вот в определенный момент он принял решение уйти с “объекта”. Я видел, что он полон идей, здесь же ему становилось тесно. С другой стороны, уже выросли сильные ученики, так что особой трагедии в случае его ухода не произошло бы. Я не мог возражать, не

имел морального права, просто грешно было бы его удерживать.

И вот еще о чем хочу сказать в заключение. В последнее время довольно часто противопоставляют Сахарова и Зельдовича, и не как ученых, а по их отношению к общественной деятельности. Яков Борисович был бесконечно увлечен физикой, поглощен ею. С другой стороны, он прекрасно понимал, что в той обстановке особого толку от “политики” не будет, а вот мешать, отвлекать от науки она, безусловно, будет. В общем, Зельдович выбрал свой путь и в жизни, и в науке.

Для меня годы, проведенные в тесном контакте с ним, дружба, которая соединяла нас долгие годы, останутся годами огромного счастья. Решая какую-нибудь сложную проблему, мучаясь над нею, в глубине души я всегда знал, что есть Зельдович. Стоило прийти к нему, и он всегда находил решение любого самого сложного вопроса, причем делалось это еще и красиво, изящно. Ярко помню один случай. Приехавший к нам Курчатов проводил совещание по одному острому научно-техническому вопросу. В обсуждении



*Академики Я.Б. Зельдович и Ю.Б. Харитон. 1970-е гг.*

энергично участвовал Яков Борисович. После длительной дискуссии пришли, наконец, к соглашению, и народ разошелся. Остались мы с Курчатовым. Некоторое время он сидел молча, а затем

вздыхнул, ударил кулаком о ладонь и сказал: "Да, все-таки Яшка гений!". Это был совершенно фантастический интеллект. Я преклоняюсь перед ним — как ученым и человеком.

### **Академик В.Е. Фортов**

#### **НА ОРБИТЕ ЗЕЛЬДОВИЧА**

Начав свою научную работу экспериментатором, ЯБ очень тонко понимал эксперимент, много и с удовольствием работал с экспериментаторами, и эта работа была крайне продуктивна. Обладая громадным опытом прикладных и инженерных работ, он в полной

мере понимал специфику ограничения теоретических и экспериментальных методов, говоря: "Теоретики на 100% верят экспериментальным данным, а экспериментаторы считают теоретический результат стопроцентной исти-

ной. Но те и другие не знают, что жизнь где-то посередине”.

Приезжая к нам на взрывные стенды в Черноголовку, он часами обсуждал постановки и результаты опытов, вникал, казалось бы, в мелкие детали и всегда предлагал остроумные подходы, часто выводившие из тупика. Но главное – это способность академика Ю.Б. Харитона интерпретировать экспериментальные данные, часто даже без оценок, благодаря удивительной своей интуиции и большому опыту спецработ.

В начале 70-х годов, в эпоху расцвета импульсного термояда, возникла идея использовать конические мишени для квазисферического ударно-волнового сжатия термоядерной плазмы. Идея показалась привлекательной. Собралась большая кооперация: ИАЭ использовал релятивистские электронные пучки, ИОФАН – лазеры, ФИХФ – химические ВВ\* и электровзрыв фольг. Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау взялся за теорию. Организовали кооперацию быстро, без типичной для нашего времени волокиты, уймы бумаг и формализма. В первых же выстрелах получили  $10^3$ – $10^7$  термоядерных DD-нейтронов. Приехало большое начальство – Н.Н. Семёнов, А.М. Прохоров, Ю.Б. Харитон, проверили все еще раз – нейтроны подтвердились. Возникла интересная перспектива приложений, связанная с благоприятным скейлингом по размеру мишени. ЯБ внимательно ознакомился с данными, предложил ряд новых постановок, которые показали определяющую роль кумулятивных эффектов, нарушающих скейлинг, но удивительно хорошо описывающих практически все опытные данные.

Работая над этой задачей, он призывал шире использовать технику химического ВВ для получения горячей плазмы, как термоядерной, так и неидеальной. Кстати, одна из похожих взрывных термоядерных идей в комбинации с электродинамическим предна-

гревом получила сейчас неожиданное и перспективное развитие.

ЯБ дал путевку в жизнь и другим направлениям работ, основанным на применении ударных волн в физике неидеальной плазмы. Хорошо известен его основополагающий вклад в динамическую физику высоких давлений, когда ЯБ вместе со своими коллегами (Л.В. Альтшулером, С.Б. Кормером, В.В. Крупниковым, А.А. Бакановой) провели пионерские эксперименты по ударно-волновому сжатию веществ до мегабарных давлений. Эти опыты настолько опередили свое время, что американские коллеги, не зная деталей генерации, полагали даже, что эти ультравысокие давления получены при столкновении баллистических ракет. Эти замечательные работы 60-х годов относились к металлам и диэлектрикам, в то время как плазменные состояния были вне сферы действия динамической техники высоких давлений.

Как всегда помог случай. В начале 70-х годов, попав с легкой руки ЯБ в Черноголовку, я пошел на межинститутский семинар, который вел тогда академик Н.Н. Семёнов и где собирались ученые всех институтов центра. Обсуждался вопрос о плазме полупроводников и ее неидеальности. По ходу докладов выяснилось, что очень мало известно о физических свойствах плотной плазмы с сильным межчастичным взаимодействием, о ее фазовом составе и термодинамике. Возникла острая дискуссия, и мы предложили провести динамические эксперименты в этой области, отметив, между прочим, что известны параметры критических точек только у трех из всех этих металлов, составляющих 80% всех элементов Периодической системы. Академик Н.Н. Семёнов, который до этого спокойно следил за дискуссией, попивая крепкий чай, не на шутку встревожился: “Это полное безобразие! Не может такого быть! Вы что-то путаете. Мы еще до войны говорили с Зельдовичем об измерениях критических то-

\* Взрывчатые вещества.

чек металлов. Неужели с тех пор ничего не сделано? Я пошел ему звонить!" Минут через двадцать Николай Николаевич вернулся в аудиторию еще более расстроенный и сказал, что Зельдович подтвердил отсутствие данных по околокритическим параметрам. ЯБ ему сказал, что это интересная и трудная область и он даже предсказывал вместе с Ландау (1942 г.) фазовые переходы в околокритической плазме, в связи с ее металлизацией. Тогда Зельдович даже придумал соответствующий эксперимент, "хотел стрелять в цезий из винтовки", но в то время ничего путного не вышло. Н.Н. Семёнов, посетовав на судьбу и неповоротливость своих сотрудников, дал "зеленый свет" нашим работам по физике динамической плазмы, снабдив ее своей неформальной поддержкой до конца своих дней, а на замечание из зала, что в плане института такой темы нет, резонно заметил, что "и вас когда-то не было".

Этот эпизод, как и многие эпизоды такого рода, мне кажется, вполне передает дух научной свободы и демократизма, который царил в нашей академии тех лет и который так отличается от сегодняшнего смутного времени, когда во главу угла вместо живого дела ставят "концепции", "приоритеты" и "лоты". А реальное научное дело годами барахтается в бюрократическом болоте и, конечно, благополучно гложет в безответственности и бестолковщине толпы околонаучных начальников.

Работы по критической точке металлов в результате "телефонного" импульса Зельдовича получили энергичное развитие. Возник метод адиабат разгрузки, позволивший достигнуть околокритических состояний у многих металлов и измерить параметры высокотемпературной части их кривых кипения именно в той области, которую Ландау и Зельдович считали наиболее интересной с точки зрения металлизации и рельефного проявления эффектов неидеальности. Жаль, что ЯБ не



*Бронзовый бюст Я.Б. Зельдовича в Минске.*

увидел эти результаты, как и недавние результаты проявления плазменного фазового перехода и ионизации давлением плазмы при мегабарах.

Будучи человеком, азартно увлеченным наукой, переполненным идеями, он находил и притягивал к себе способных людей и плодотворно с ними работал, мало обращая внимание на формальности, чиновничество и субординацию. Чем, как мне кажется, раздражал некоторых начальников, для которых он не находил несколько минут (в основном для обсуждения личных выборных дел), в то время как мы проводили с ЯБ многочасовые дискуссии и писали совместно статьи. Мне не известны реальные мотивы, но я убежден, что если бы ЯБ после "исхода" из Арзамаса оказался в родном ему Институте химической физики, польза нашему делу была бы громадная. В особенности в связи с наступившим в 80-х годах для него и нас "ренессансом" горения и взрыва.

**КОГДА МЫ БЫЛИ  
МОЛОДЫМИ**

---

Расскажу об одном тяжелом для меня разговоре с ЯБ. В 1982 г. встал вопрос об организации в ИКИ экспериментального отдела астрофизики высоких энергий. Могущественный и авторитетный И.С. Шкловский предложил на роль заведующего отделом мою кандидатуру. После разговора с Р.З. Сагдеевым, к которому ЯБ очень хорошо относился (и не только по причине старой дружбы с Д.А. Франк-Каменецким), он вызвал меня и стал уговаривать, приговаривая при этом, что отказ директору автоматически предполагает уход из института, и спрашивая, что я выбираю – ГАИШ или Институт прикладной математики. Я отчетливо понимал, что принятие этого предложения означает для меня уход из теоретической астрофизики, где, как мне тогда казалось, дела мои шли неплохо, что руководитель коллектива, а тем более менеджер, из меня никудышный, что как экспериментатор я не имею никакого опыта. Все было абсолютно ясно, и я категорически отказывался братья за новое и явно неблагодарное дело.

Тогда ЯБ стал рассказывать о себе, и ради этого рассказа я привел выше всю эту не слишком приятную для меня историю, вновь полностью изменившую мою судьбу. Он сказал, что много раз и радикально менял не только тематику исследований, но практически и специальность: был почти химиком, а в итоге стал почти астрономом. И в этом были виноваты не только превратности судьбы.

По его словам, трудно, но интересно освоить десять процентов информации и специфических методов в любой области естественных наук, что необходимо для того, чтобы начать самостоя-

тельно работать либо хотя бы спокойно ориентироваться в ней. Дальше путь от 10% до 90% понимания – это одно удовольствие и истинное творчество. А вот пройти следующие девять процентов – бесконечно тяжело и далеко не каждому под силу. Последний процент – безнадежен. Разумнее вовремя взяться за новое дело и иметь радость непрерывного созидания. Не знаю, так ли он действительно думал, или просто принял такой метод уговоров, но разговор запомнился. Многие из историй, которыми он меня воспитывал, были на удивление прагматичными. По-видимому, ему казалось, что они сильнее на меня действуют. Создавалось впечатление, что к каждому из близких учеников он применял индивидуальный метод воспитания, в соответствии со сложившимся у него в самом начале представлением о человеке.

Как и многие студенты Физтеха, я прочитывал всю появлявшуюся переводную литературу о создании американской атомной бомбы, о мучительных раздумьях Р. Оппенгеймера, о том, как впоследствии сошел с ума летчик, сбросивший на японский город одну из первых ядерных бомб. О наших физиках писалось иначе: они понимали, зачем работали, и вообще были предельно идейно подкованы. Никто с ума не сходил.

Спрашивать прямо было неудобно. Сам он об этом молчал. В крайнем случае отшучивался или рассказывал анекдотические случаи о милиционере, перевешивающем дорожные знаки в закрытом городе по замечанию физика (читай ЯБ), нарушившего правила движения.

Несколько раз он говорил мне, что советует сыну выучить наизусть некий набор бытовых анекдотов, который дает возможность молодому человеку не молчать в компании и в то же время не выступать с комментариями на волнующие всех темы... Уверен, что подобные косвенные замечания рождались у него после очередных безуспешных попыток пробить меня на какую-либо конференцию за границу.

Как не выездной человек он долго был уверен, что если ему удастся попасть на большую конференцию на Запад, произойдет что-то важное. Но в течение почти 20 лет у него была, как он сам говорил, лишь первая космическая скорость. Ему разрешалось ездить лишь в страны Восточной Европы, тогда уверенно строившие социализм.

Поражало, что он умел мгновенно сосредотачиваться, усаживаться поудобнее, замолкать и быстро писать. Абсолютно неожиданно он выходил из этого состояния и начинал разговор на новую тему. Если листки не отдавал тут же, они предназначались другому, чаще всего для книг.

Мне трудно понять, как он умудрялся находить время, чтобы присутствовать на днях рождения, защитах, свадьбах, новосельях своих учеников. Ведь занят он был всегда очень сильно. Видимо, когда-то раз и навсегда он решил, что эти социальные явления очень важны.

С другой стороны, мало кто делал так много для того, чтобы помогать с устройством на работу и даже с пропиской. Все знают, что пробить прописку в Москве молодому выпускнику аспирантуры всегда было почти безнадежным делом. Кем были тогда для него приехавший в МГУ из белорусской деревни Коля Шакура, студент Физтеха из Средней Азии Саша Рузмайкин или его жена и однокурсница Тома из Мелитополя, киевлянин Володя Липунов и многие другие, не имевшие тогда иной поддержки, но получившие сегодня международное признание каждый

в своей области? Кем был для него я – студент-татарин из Ташкента, не имевший в Москве ни родственников, ни знакомых, кроме друзей по общежитию, и упорно старавшийся объяснить ему при первой встрече, что астрономия меня совершенно не интересует и заниматься я хочу непременно теорией элементарных частиц?

Какая сила заставляла его ходить просить о ставках для нас, о прописке, заниматься выбиванием комнат в коммуналках, а потом и отдельных квартир, плясать на наших свадьбах, радоваться рождению наших детей? Думаю, мало кто из нас отдаст себе полный отчет в том, что все это было не так легко. Но делалось как-то очень просто и естественно. И редко кто сам просил его о помощи. Чаще всего он сообщал о первом неудачном своем походе по какому-либо поводу и просил напомнить о необходимости следующей попытки через несколько дней.

Пожалуй, здесь самое время прерваться и рассказать об одном из разговоров с ним. Меня удивляло, когда некоторые его ученики переставали работать с ним, отходили, а иногда вели себя далеко не лучшим, с моей точки зрения, образом. Однажды он ответил мне на неприятный, по-видимому, для него вопрос, что на любого студента или аспиранта нужно затратить года два, пока от него пойдет отдача, потом года два или три этот человек помогает работать, и есть возможность расширить фронт исследований. Затем часть людей устает ежедневно работать в таком темпе, часть теряет интерес, а часть становится полностью самостоятельными и сильными людьми. Важно почувствовать этот момент и вовремя полностью освободить их от опеки. И вообще, учить молодых – и святая обязанность, и радость, и громадная польза для себя. Боюсь, я не совсем дословно передал смысл сказанного тогда ЯБ. Помню лишь оставшееся у меня чувство, что я был, может, слишком назойлив со своим вопросом и то,

что его мягкий и спокойный ответ был ответом уставшего и огорченного человека, и в нем не было ни капли цинизма, который невольно мог закрасться в мой пересказ.

Как он “воспитывал” меня за то, что я не торопился писать о казавшихся мне тогда недоступными для экспериментальной проверки идеях о будущем (через  $10^{30}$  лет) Вселенной с распадающимися протонами и о взрывах “хужеющих” при этом нейтронных звезд. Его привела в восторг сама возможность взрыва нейтронной звезды, теряющей массу по какой-либо причине. Отчаявшись заставить меня опубликовать эту работу, он упомянул саму идею в сво-

их дополнениях редактора к русскому переводу замечательной книги Стивена Вайнберга “Первые три минуты”. Но сколько я выслушал при этом. Самым почетным было обвинение в “гейзенберговской болезни”. По словам ЯБ, самое страшное происходит с человеком, когда, опубликовав одну работу высокого класса, затем он стесняется печатать что-либо не столь совершенное, по его собственной оценке. ЯБ считал, что отнюдь не стыдно печатать в любом возрасте “студенческие работы”. И приводил при этом пример Л.Д. Ландау (беспорный авторитет), активно печатавшего и продолжавшего набирать “интеграл” всю жизнь.

## **Академик Г.С. Голицын**

### **ТРИ ВСТРЕЧИ**

---

Впервые я услышал о ЯБ от моего руководителя по диплому Кирилла Петровича Станюковича, который появился на физическом факультете МГУ осенью 1955 г. по приглашению академика Михаила Александровича Леонтовича. Станюк, как его звали друзья, но, конечно, не мы – студенты четвертого курса – начал читать совершенно изумительный курс по гидрогазодинамике. Сначала я пришел слушать этот спецкурс в основном из любопытства, но затем остался делать курсовую работу, а потом и дипломную.

После окончания физфака МГУ по рекомендации Михаила Александровича Леонтовича, следившего за моей работой по магнитной гидродинамике, я оказался в начале 1958 г. в недавно организованном Институте физики атмосферы АН СССР. Однако Кирилл Петрович еще в течение ряда лет продолжал часто звать меня к себе домой. В начале июня 1958 г. он сказал мне, что ЯБ просит через него, чтобы я поз-

вонил Зельдовичу на следующий день в 5.30 утра. Я буквально не смог сразу поверить, что ЯБ сам попросил меня позвонить ему домой. Я уже слышал от других, что Зельдович очень рано начинает работать. Кирилл Петрович объяснил мне, что ЯБ сообщил ему о своей работе над структурой ударной волны в магнитном поле в среде с конечной проводимостью. На это К.П. Станюкович сказал ему, что статья на эту тему выходит в ближайшем номере ЖЭТФ (“Журнал экспериментальной и теоретической физики”) и ее автор – его студент Гога Голицын. Тогда ЯБ и решил, что он хочет меня видеть, чтобы понять, сделал ли я все, что можно и нужно.

В тот вечер накануне звонка ЯБ я лег пораньше и завел будильник на 5.15. Недалеко от дома, где я тогда жил, было два телефона-автомата. Еще вечером я проверил, что они оба работали, и запасся несколькими 15-копеечными монетами. Точно в 5.30 я набрал

номер ЯБ, данный мне К.П. Станюковичем. Бодрым и деловым тоном ЯБ предложил мне прийти к нему домой в 10.00 и объяснил, как найти его квартиру. Наш разговор у него дома длился не более 15 минут. Первые несколько минут он просматривал мою машинописную рукопись. Затем он сказал мне, что получил тот же результат, но более красивым способом, тем не менее он доволен тем, что все сделано как надо. Затем минут 10 он спрашивал меня, что я сделал в магнитной гидродинамике. Он одобрительно отозвался об изомагнитном скачке на ударной волне в плохо проводящей среде в магнитном поле, который я ввел по аналогии с изотермическим скачком, описанным в книге Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица “Механика сплошных сред”. В моем случае слабые ударные волны не формируют фронта разрыва, и все параметры волны меняются главным образом на масштабе, определяемом магнитной вязкостью и скоростью звука. В сильных ударных волнах происходит разрыв термодинамических параметров, но магнитное поле остается непрерывным и распространяется впереди разрыва, ведя фронт на масштабе, как в случае слабых волн. Распросив меня, что я делаю в Институте у А.М. Обухова (тогда тоже члена-корреспондента), ЯБ отпустил меня.

И лишь 20 лет спустя, когда я уже был членом-корреспондентом, Кирилл Петрович рассказал мне, как долго и неоднократно он убеждал ЯБ не брать меня на “объект”. Я наивно сказал, что у меня уже было распределение, и я уже работал в институте Академии наук. К.П. Станюкович заявил мне, что ЯБ достаточно было сказать лишь слово, и на следующий день я был бы уже в “Конторе-400”, мифическом месте тогда для меня.

В 1997 г. мой сосед по даче Гурий Иванович Марчук, бывший президент АН СССР в 1986–1991 гг., рассказал мне следующую историю. В 1951 г. его, свежезащищенного кандидата наук,

однажды вечером посетили дома два человека и сказали, чтобы он через полчаса с необходимыми вещами был у подъезда в машине, предупредили, чтобы он не беспокоился о семье и что все будет в порядке. Эти двое не отвечали на вопросы Гурия Ивановича в течение последующей двухчасовой поездки на машине. И только на следующий день Марчук узнал, что он будет работать в отделе Евграфа Сергеевича Кузнецова на “объекте”, директором которого был Дмитрий Иванович Блохинцев; имена обоих людей он хорошо знал. “Объект” потом стал называться Физико-энергетический институт. Спустя три года там был запущен ядерный реактор мощностью в 5 МВт, впервые в мире вырабатывавший электрическую энергию, а город стал известен под названием Обнинск Калужской области.

Наша следующая встреча произошла почти 13 лет спустя в Государственном астрономическом институте им. Штернберга в январе 1971 г. В ГАИШ я должен был защищать мою докторскую диссертацию по динамике планетных атмосфер. В связи с посадками автоматических межпланетных станций на поверхность Венеры и Марса задача приобрела и практический интерес. Мне удалось оценить скорости ветра, используя соображения теории подобия и размерности. Моя защита, первоначально намеченная на декабрь 1970 г., была сдвинута на январь 1971 г. Однако в январе мой официальный оппонент Андрей Сергеевич Мониин должен был отправиться в океанскую экспедицию. Мне срочно был нужен новый оппонент. Мой директор, Александр Михайлович Обухов, сказал мне, что он попытается уговорить Якова Борисовича Зельдовича.

Так я позвонил ЯБ домой во второй раз, уже в более спокойное время. Встреча была назначена на полудни в ГАИШ. ЯБ и не взглянул на мою 200-страничную диссертацию, сразу взялся за ее автореферат, внимательно-

но прочтя первые несколько страниц, и довольно быстро пролистал его середину и конец. Это заняло у него около десяти минут. Последующие пять-семь минут я отвечал на его конкретные вопросы. Затем он спросил, что я считал бы самым наиболее важным результатом. После этого он попросил у меня чистые листы бумаги и сел писать отзыв. Он заполнил четыре листа своим быстрым почерком. Когда ЯБ кончил писать, он сказал мне, что сам организует печатание отзыва, что мне об этом не надо беспокоиться, и мы расстались. Вся процедура ознакомления с диссертацией и написания отзыва официального оппонента заняла времени у ЯБ меньше сорока минут!

С тех пор, когда кто-нибудь говорит мне, что у него нет времени знакомиться с диссертацией и писать на нее отзыв, я всегда привожу в пример Якова Борисовича Зельдовича.

Я всегда помню, как на самой защите ЯБ характеризовал теорию подобия, будучи сам мастером в ее использовании. Его слова были примерно следующие: “Некоторые говорят, что теория подобия – это подобие теории. При учете всех обстоятельств это, конечно, не так. В то же время, однако, умение ее использовать правильно – это ближе к искусству, чем к науке, а результаты, получаемые при этом, кажутся возникающими практически из ничего!”

**ФРАГМЕНТЫ СТАТЕЙ  
ИЗ СТЕННОЙ ГАЗЕТЫ  
ИНСТИТУТА ХИМИЧЕСКОЙ  
ФИЗИКИ АН СССР,  
ПОСВЯЩЕННОЙ ПАМЯТИ Я.Б. ЗЕЛЬДОВИЧА**

---

ЯБ никогда не делал что-либо формально. Просто так не подписывал ни отзывов, ни рецензий. Статьи, рекомендуемые им в ДАН (журнал “Доклады Академии наук”), читал тщательно, часто просил что-то исправить, вносил предложения. Не сразу согласился возглавить Совет по горению АН СССР; говорил, что может не хватить времени заниматься этим всерьез. Чтение книг и статей было для него слишком долгим путем к ознакомлению с какой-то областью. Он предпочитал сразу поговорить с кем-то из специалистов по данному вопросу, ценил живое общение. В его кабинете непрерывной чередой сменяли друг друга химфизики и ядерщики, “горельщики” и астрофизики, механики и математики. Если кто-то приезжал, а он не успевал еще обсудить все необходимое, то, вручая груду журналов, научных и научно-популярных, провожал в соседнюю ком-

нату: “Посидите пока во внукохранилище”.

ЯБ жил наукой. Вставал очень рано и, пока не начинались звонки, работал, решал задачи. Часто звонил в шесть-семь утра: “Скажите, решал ли кто-нибудь такую задачу... Дайте ссылки. Отзвоните, я жду” или “Прочел такую-то статью. А что будет, если...”.

Его огромная работоспособность поражала. Но это не было какой-то жертвой с его стороны. Он делал то, что любил и без чего не мог жить. Полученный им или кем-либо другим новый результат доставлял ему эстетическое удовольствие. Статьи писал сразу после получения результата, быстро и почти без помарок. С такой же скоростью писал по-английски.

ЯБ любил современную литературу. Часто от него можно было услышать неожиданную реплику. Какой-то научный текст вызывал у него такую

ассоциацию: «У нас про Сартра всегда пишут “небезызвестный”. Как видите, двойное отрицание может полностью исказить начальный смысл».

Одно из любимых высказываний: “Продавщице газированной воды вы никогда не скажете, без какого сиропа налить вам стакан воды – без вишневого или без малинового. Никогда не начинайте статью с того, чего вы не делали. Сначала напишите, что сделано, потом обсуждайте все остальное”.

“Где в литературе это сделано, кем? Если не опубликовано – все равно сказать, чье”. “Хорошо бы не схему: введение – расчет – выводы, а схему: введение – результаты, потом расчет как математическое приложение”.

ЯБ мыслил как-то очень по-своему. Это чувствовалось, когда он в разгово-

ре вдруг задумывался, а потом быстро-быстро начинал объяснять. В эти минуты понимать его было трудно. Он, чувствуя, что теряет контакт со слушателем, останавливался и после паузы начинал говорить медленнее, плавно, без перескоков. Кто-то пошутил: “Вспомнил, что не включил транслятор”.

Он не любил и не хотел тратить время на все околонучное. Когда нашу книгу перевели за рубежом, мне позвонили из ВААЛ с просьбой организовать встречу ЯБ для торжественного вручения ему руководством этой почтенной организации первого полученного экземпляра. Звоню ЯБ – он, не раздумывая ни секунды, решительно отказывается: “Никаких торжеств! Заберите у них этот экземпляр сами!”

### **НЕКОТОРЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ ЯБ НА ПОЛЯХ ЧЕРНОВИКОВ И РУКОПИСЕЙ**

---

“Стиль анти-мой!”; “Задача книги – показать, что строго существует”; “В книге с моей подписью такого формализма не будет!”; «Экспериментальный материал носит “извиняющийся” характер, приводится в подтверждение теоретических расчетов?!.. Теоретические расчеты, как жена Цезаря...»; “Как это учено!”; “Это – отдельным рисунком! Долой грошовую экономию, от которой в мозгах у читателя туманно”.

В этой заметке только фрагменты. Может быть, кому-то они напомнят об

очень близком и дорогом, кто-то в отдельных эпизодах разглядит общее.

Каждому из тех, кому посчастливилось работать с ЯБ, его уникальный талант открывался с какой-то своей стороны. У каждого свои воспоминания. Но всех нас объединяет светлая память о выдающемся ученом и человеке.

“Яков Борисович Зельдович (воспоминания, письма, документы)”, под редакцией С.С. Герштейна и Р.А. Сюняева. 2-е изд., доп. М.: Физматлит, 2008.

## Как создавалась теория дисковой аккреции

ШАКУРА Н.И.,  
доктор физико-математических наук  
ГАИШ МГУ

---

Стояло лето 1963 г. После выпускных экзаменов в средней школе городского поселка Паричи, что на Гомельщине, по каким-то делам я поехал в город Бобруйск, зашел в книжный магазин и увидел там книжку «Высшая математика для начинающих» Я.Б. Зельдовича. Естественно, имя автора мне ни о чем не говорило, но содержание книги меня заинтересовало по следующей причине.

В те, теперь уже далекие, времена среднее образование по математике заканчивалось взятием пределов. Им предшествовали элементарные функции, одна из них – парабола. Нужно было найти положение минимума (парабола «рогами» вверх) или максимума (парабола «рогами» вниз). Объясняя, как это делается согласно существующим тогда методикам с использованием формулы Виетта, школьный учитель математики (а также физики и астрономии) Альфред Викторович Барановский приговаривал следующее: *«А вот методами высшей математики эти минимаксы вычисляются гораздо быстрее и красивее»*. Специальных занятий с передовиками школьного процесса Альфред не проводил. Свое индивидуальное развитие в математике я получал, знакомясь с содержимым задач, присылаемых по почте из МГУ.

После покупки книжки я зашел в небольшой уютный скверик на улице Бахарева и начал ее листать. На первых страницах излагались школьные понятия: функции, графики, скорость, ускорение...

Больше я в книжку Я.Б. Зельдовича не заглядывал, нужно было ехать в Москву сдавать вступительные экзамены в МГУ. Астрономическое отделение я выбрал, уже находясь в комнате приемной комиссии: прошло всего два с небольшим года после полета Ю.А. Гагарина. Но все-таки решающую роль сыграла книжка с названием «Этюды о Вселенной», написанная профессором Б.А. Воронцовым-Вельяминовым. Уже будучи студентом, я слушал лекции Бориса Александровича и, естественно, сдавал ему экзамен. В школе мы учили астрономию по его стандартному учебнику для средней школы «Астрономия». Тогда мне даже в голову не приходило, что пройдет всего два-три года и он будет преподавать мне курс высшей астрономии.

Первые три года обучения прошли без Я.Б. Зельдовича. Более того, я забыл о той, купленной в Бобруйске книжке: в число стандартных университетских учебников она не входила. Она предназначалась для тех, кто постигал высшую математику путем са-



*Академик Я.Б. Зельдович выступает на семинаре. 1974 г.*

мообразования. Академик адресовал ее начинающим инженерам и техникам. Более того, есть замечательное фото, где он дарит двухтомник своих избранных трудов Папе Римскому Павлу-Иоанну II.

Моя научная деятельность началась на третьем курсе в солнечном отделе ГАИШ МГУ. Под руководством Ольги Николаевны Митропольской (жены профессора Соломона Борисовича Пикельнера) и Анны Ивановны Кирюхиной я изучал механизмы уширения линий поглощения в спектре Солнца.

Когда я учился на третьем курсе, мне посчастливилось увидеть Якова Борисовича. Деканат физического факультета организовал в Большой Физической аудитории встречу студентов факультета с редколлегией журнала

«Успехи физических наук». Сильное впечатление произвел главный редактор, блистательный Эдуард Владимирович Шпольский. Я.Б. Зельдович присутствовал, но не выступал.

Впервые я встретился с академиком лично через год, когда он начал читать лекции для студентов четвертого курса. Осенью 1966 г. мы, студенты астрономического отделения Физического факультета МГУ, обнаружили в расписании занятий новый спецкурс – «Строение и эволюция звезд», который подготовил Я.Б. Зельдович. Лекции читались по пятницам, а по четвергам под руководством ЯБ (так звали его коллеги-ученые) в ГАИШ МГУ проводился Объединенный астрофизический семинар (ОАС). В нем участвовали не только уже сложившиеся ученые, но и

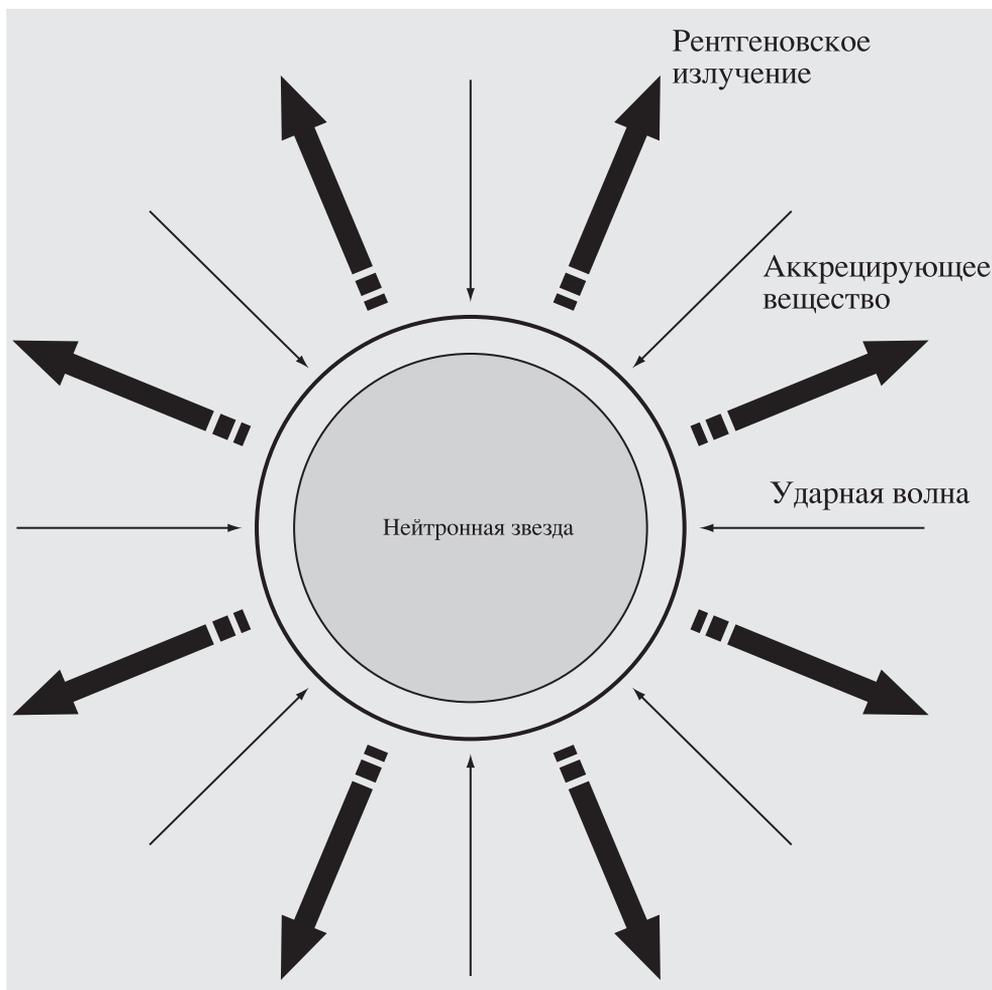
молодежь, недавно получившая высшее образование. Студенты забежали на этот семинар по мере возможности, так как в расписании учебных занятий он не значился. После своей первой лекции Яков Борисович попросил желающих получить у него тему для курсовой работы задержаться. Несколько студентов, в том числе и я, остались в аудитории. Когда очередь дошла до меня, он спросил, присутствовал ли я вчера на заседании ОАС. Я ответил утвердительно. На второй вопрос: прослушал ли я доклад о (таинственных тогда) источниках космического рентгеновского излучения, – ответ тоже был утвердительным. Тогда Я.Б. Зельдович сказал: *«Попытайтесь рассчитать структуру и спектр излучения мощной ударной волны, которая возникает в результате падения газа на нейтронную звезду вблизи ее поверхности».*

Первые источники космического рентгеновского излучения открыла группа американских ученых, возглавленная профессором Рикардо Джакони, во время запуска 18 июня 1962 г. геофизической ракеты «Аэроби». К началу 1960-х гг. уже был известен один внеземной источник рентгеновского излучения – корона нашего Солнца. Оказалось, что корональный газ какими-то механизмами разогрет до температуры несколько миллионов градусов и светимость солнечной короны в этом диапазоне составляет примерно одну миллионную от оптической светимости Солнца ( $4 \times 10^{33}$  эрг/с). Естественно было предположить, что и вокруг других звезд существуют горячие короны. Однако простой расчет показал, что детекторы тех времен даже короны ближайших звезд с расстояния в несколько парсек зафиксировать не могли. Ученые надеялись на открытие рентгеновского излучения от Луны! Конечно же, Луна не обладает атмосферой. Однако возможный механизм заключался во флюоресцентном свечении лунного грунта, облу-

чаемого рентгеновскими лучами, идущими от солнечной короны. Ракета «Аэроби» достигла высоты 225 км, полет продолжался 350 с. Из трех счетчиков Гейгера с большой площадью и хорошей чувствительностью в диапазоне энергий 1,5–6 кэВ два постоянно функционировали. В этом диапазоне земная атмосфера полностью непрозрачна. Вместо рентгеновского излучения от Луны обнаружили яркий неизвестный ранее источник, находящийся далеко за пределами Солнечной системы в направлении созвездия Скорпиона, получивший название Sco X-1. В дальнейшем в результате ракетных пусков начали открывать новые рентгеновские источники. Постепенно создавалась карта рентгеновского неба с источниками разной природы, они получали название в соответствии с тем, в направлении какого созвездия находились (например, Cyg X-1, Cyg X-2, Her X-1, Cen X-3). Как выяснилось позже, их рентгеновская светимость в тысячи, а то и в десятки тысяч раз превышала оптическую светимость Солнца. Так началась эпоха рентгеновской астрономии, эпоха необычайных открытий во Вселенной.

Осенью 1966 г. спустя несколько недель после начала занятий ко мне подошла ученый секретарь кафедры астрофизики, научный сотрудник ГАИШ Валентина Яковлевна Алдусева, чтобы уточнить тему моей курсовой работы. *«Коля, перед вами академик Зельдович поставил задачу разработать модель аккреции»*, – сказала она. Именно тогда я впервые услышал загадочно прозвучавшее слово «аккреция» и крайне удивился. Ведь академик просил меня рассчитать структуру ударной волны и на первых порах не употреблял в своих беседах со мной этот термин, а в стандартных астрономических курсах тех времен понятие процессов аккреции отсутствовало.

Видя мое замешательство, Валентина Яковлевна предложила мне воспользоваться научной библиотекой

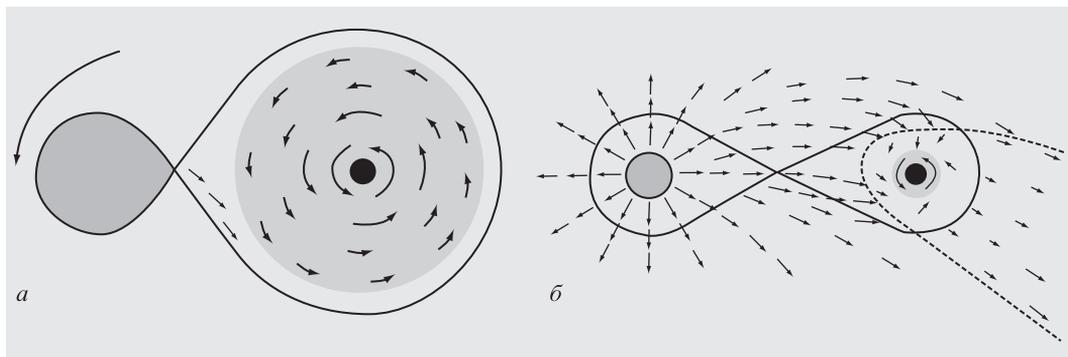


*Схема, поясняющая возникновение ударной волны вблизи поверхности аккрецирующей нейтронной звезды.*

ГАИШ. Я выяснил, что слово «аккреция» имеет латинское происхождение (accretio) и означает приращение, прибавление чего-либо. В астрономии под термином аккреция подразумевают процессы падения на тяготеющие центры различной природы окружающего их разреженного вещества. Да, тогда, более чем полвека назад, теоретическое изучение процессов аккреции вещества во Вселенной находилось в зачаточном состоянии. Более того, в 1950-х гг. были открыты звездные ветры,

не позволявшие межзвездному веществу падать на поверхность обычных звезд. Причины генерации звездных ветров у разных классов звезд (в том числе и у нашего Солнца) различные, но аккреция на обычные одиночные звезды отсутствует. Иное дело – конечные стадии эволюции звезд: белые карлики, нейтронные звезды и черные дыры.

В середине 1960-х гг. были опубликованы две небольшие заметки. Автор одной из них – Я.Б. Зельдович, дру-



*Два типа формирования аккреционных дисков в тесных двойных системах с релятивистскими звездами.*

гой – знаменитый американский физик Э. Солпитер. Они обратили внимание на энерговыделение в ударной волне, возникающей при сверхзвуковом движении черной дыры в обширном газовом облаке. Вблизи черной дыры газ после прохождения ударной волны разогревается сильно, что начинает излучать энергию в рентгеновском и гамма-диапазоне.

Осенью 1966 г. под руководством Якова Борисовича я начал рассчитывать структуру и спектр излучения сильной ударной волны, которая возникает вблизи поверхности аккрецирующей нейтронной звезды. Сложность задачи состояла в том, что длина пробега падающих частиц до их полной остановки в десятки раз превышает характерный масштаб взаимодействия излучения с веществом. При решении многих задач нет необходимости считать структуру ударной волны – достаточно лишь задать скачок плотности, давления, температуры и других физических величин в зависимости от скорости падения и показателя адиабаты вещества. В поставленной задаче и плотность, и температура, и другие величины менялись в зоне торможения с выделением энергии. Более того, в этой зоне не исключено возникновение коллективных плазменных процессов с выходом расчета на более сложный уровень физической кинетики вместо обычной

гидродинамики. В конце концов удалось показать, что спектры излучения ударных волн от аккрецирующих нейтронных звезд объясняли данные, полученные в результате ракетных запусков.

В 1960-е гг. появились первые отождествления космических рентгеновских источников в оптическом диапазоне, что позволило оценить расстояние до них и их светимость. Нам с ЯБ стало ясно, что если это аккрецирующие нейтронные звезды, то их большую светимость можно обеспечить только в тесных двойных звездных системах, где вещество перетекает с одного компонента на другой и один из компонентов – нейтронная звезда.

Будучи студентом, я слушал курс лекций по общей астрофизике директора ГАИШ Дмитрия Яковлевича Мартынова. Особое место в этом курсе занимали тесные двойные звездные системы, у которых вещество перетекало с поверхности одного компонента на другой через внутреннюю точку Лагранжа. Из-за относительного движения по своим орбитам в процессе такого перетекания вокруг другой компоненты формируется дискообразная оболочка. Мне казалось естественным в качестве второго компонента в двойную систему поставить нейтронную звезду или даже черную дыру! В этом случае и реализуется новый тип ак-

креции, а именно дисковая аккреция, когда падающее на тяготеющий центр вещество обладает относительно последнего значительным угловым моментом количества движения, препятствующим прямому падению вещества на тяготеющий центр. В первом приближении вещество в диске вращается по почти кеплеровым круговым орбитам. Только при эффективном механизме (турбулентность и/или магнитные поля) обмена моментом между соседними слоями дифференциально вращающегося диска и начинается дисковая аккреция – медленное радиальное движение вещества к тяготеющему центру с выделением гравитационной энергии. Для меня под руководством ЯБ началась совершенно новая эпоха – эпоха расчета структуры и наблюдательных проявлений аккреционных дисков.

В середине 1968 г. статья с расчетами структуры ударной волны была сдана в «Астрономический журнал» и вышла из печати осенью 1969 г. Она стала моей курсовой, а затем и дипломной работой. Университет я закончил в начале 1969 г. и в апреле того же года поступил в аспирантуру физического факультета МГУ.

В 1967 г. произошло одно из величайших открытий нашего времени – группа ученых под руководством английского астронома Энтони Хьюиша обнаружила радиопульсары. Довольно скоро мировое научное сообщество осознало, что радиопульсары представляют собой сильно замагниченные, быстро вращающиеся нейтронные звезды. В отличие от аккрецирующих нейтронных звезд, наблюдательные проявления которых должны быть обусловлены выделением гравитационной энергии в процессе аккреции, источником наблюдаемой активности нейтронных звезд-радиопульсаров является их вращательная энергия. Радиопульсары оказались столь необычными, что интерес к космическим источникам рентгеновского излучения у многих временно пропал. Более того, бытовало мнение, что

и нейтронные звезды, и, возможно, черные дыры, скорее всего, – одиночные объекты. Первый радиопульсар в двойной звездной системе открыли Дж. Тэйлор и Р. Халс в 1975 г. Но несколькими годами раньше произошло еще одно событие в практической астрономии. Космическая рентгеновская обсерватория «Ухуру» (США) обнаружила, что ряд источников – это аккрецирующие нейтронные звезды и черные дыры в тесных двойных звездных системах. Остановимся на этом событии более детально.

Уже после первых ракетных пусков стало ясно, что исследования неба в рентгеновских лучах требуют установки телескопов на специализированных спутниках. 25 сентября 1963 г. Г. Гурски и Р. Джаккони подали в NASA документ, в котором содержалась развернутая программа рентгеновских исследований с помощью орбитальных обсерваторий. 12 декабря 1970 г. стартовала первая такая обсерватория – «Ухуру». Чувствительность ее детектора в тысячи раз превышала разрешение прибора, установленного на ракете «Аэробы». И самое главное: преимущество наблюдений со спутника – это возможность длительного мониторингования отдельных источников.

У ряда открытых ранее рентгеновских источников наблюдались периодические выключения потока с периодом, равным периоду обращения источника в двойной звездной системе. Вторым компонентом, который закрывал источник на некоторое время, оказалась обычная звезда. Отдельные источники оказались рентгеновскими пульсарами, из-за эффекта Допплера период следования импульсов от этих пульсаров также промодулирован с орбитальным периодом. Так были открыты аккрецирующие релятивистские звезды в двойных звездных системах.

Обсерватория «Ухуру» проработала три года, ее результаты – ошеломляющие. Открыто множество новых рентгеновских источников, в составленном



После вручения диплома о присвоении малой планете № 11438 имени академика Я.Б. Зельдовича. С дипломом – его внук Костя Зельдович. 19 сентября 2001 г.

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

<p><b>Information on minor planet (11438) Zeldovich</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sun ☐</li> <li>Zeldovich ■</li> <li>Earth+Moon ■</li> <li>Mars ■</li> <li>Jupiter ■</li> </ul>	<p><b>Сведения о малой планете (11438) Зельдович</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>☐ Солнце</li> <li>■ Зельдович</li> <li>■ Земля+Луна</li> <li>■ Марс</li> <li>■ Юпитер</li> </ul>
---	--

<p>Inclination of orbit (degree) 2.83</p> <p>Eccentricity 0.194</p> <p>Mean motion (degree/day) 0.504</p> <p>Semi-major axis (astronomical unit) 2.192</p> <p>Absolute magnitude 13.8</p> <p>Diameter (kilometer) 6</p> <p>Mean distance from the Sun (mill. km) 328</p> <p>Minimum distance from the Sun (mill. km) 264</p> <p>Minimum distance from the Earth (mill. km) 115</p>	<p>Наклон орбиты (град.) 2.83</p> <p>Эксцентриситет 0.194</p> <p>Среднее расстояние (град./сут.) 0.504</p> <p>Большая полуось (астр. ед.) 2.192</p> <p>Абсолютная звездная величина (из в.сл.) 13.8</p> <p>Диаметр (км) 6</p> <p>Среднее расстояние от Солнца (млн км) 328</p> <p>Минимальное расстояние от Солнца (млн км) 264</p> <p>Минимальное расстояние от Земли (млн км) 115</p>
--	---

Благоприятные для наблюдений периоды:  
 июль – июль 2002 г. в созвездии Стрельца,  
 декабрь 2003 г. – январь 2004 г. в созвездии Близнецов,  
 апрель – май 2005 г. в созвездии Весов,  
 декабрь 2006 г. – январь 2007 г. в созвездии Тельца.

Директор ИИА РАН  
профессор

С.-Петербург  
9 мая 2001 г.

А. М. Фоминкин

Свидетельство с указанием характеристик малой планеты имени Я.Б. Зельдовича, выданное 9 мая 2001 г. ИПА РАН.

первом каталоге их 339. Сейчас космических рентгеновских источников самой различной природы (необязательно аккрецирующие релятивистские звезды в двойных системах!) сотни тысяч. С развитием сложной современной технологии изготовления рентгеновских телескопов с зеркалами косоугольного падения началась новая эра в рентгеновской астрономии. Первый такой телескоп работал на космической обсерватории «HEAO-2» им. Эйнштейна, запущенной в 1979 г. В начале 1990-х гг. с помощью рентгеновского телескопа с зеркалами косоугольного падения на обсерватории «ROSAT» был открыт рентгеновский свет и от Луны.

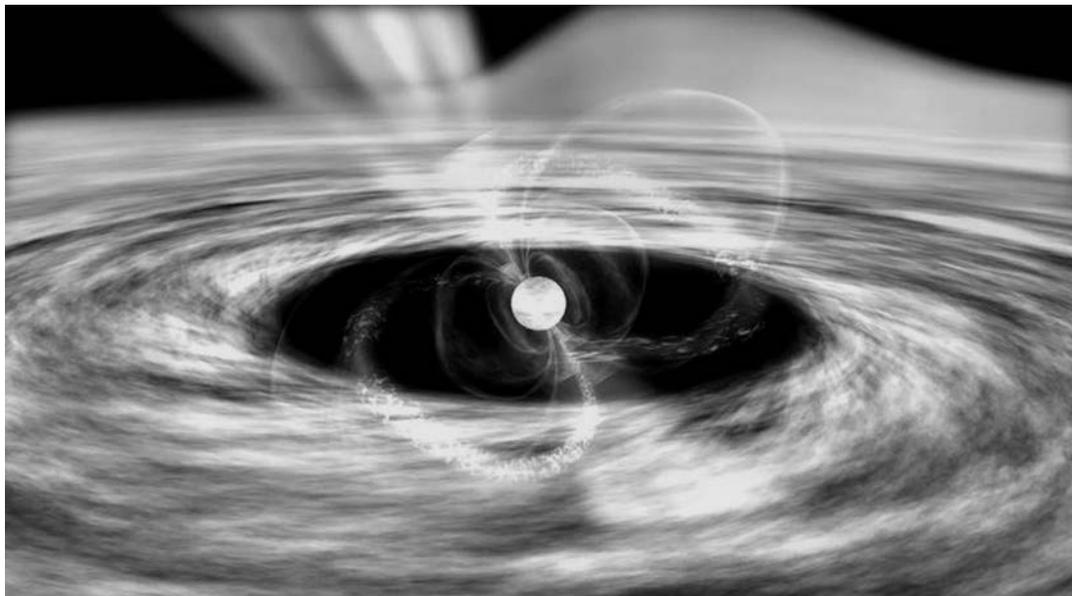
Фантастически большой объем информации (и не только о процессах аккреции) получен за прошедшее время. Более того, скорость поступления этой информации год от года только увеличивается. В настоящее время задействовано много различных астрономических инструментов. Решающую роль играет компьютерная обработка данных наблюдений. В далекие 1960-е гг. у нас под рукой для проведения расчетов были логарифмическая линейка да ручная «Феликс», который сейчас можно увидеть в музее любого приличного научного института. Но в конце 1960-х гг. студенты уже выполняли первые лабораторные расчеты на университетской БЭСМ.

За прошедшее время утвердилось то, что сейчас называют стандартной моделью дисковой аккреции, ее суть заключается в следующем. Представим себе двойную звездную систему, состоящую из обычной звезды и черной дыры. Размеры обычной звезды в такой системе ограничены критической полостью Роша. В процессе звездной эволюции размеры обычной звезды могут увеличиваться, и после заполнения полости Роша начинается перетекание вещества с ее поверхности в зону гравитационного влияния черной дыры. В двойной системе из-за относительно орбитального движения компонентов

вещество не падает прямо на черную дыру, а формирует вокруг нее дифференциально вращающуюся дискообразную оболочку. Скопившееся в таком диске вещество из-за трения между соседними слоями сильно разогревается и начинает светиться. Вещество в диске, быстро вращаясь, медленно приближается (аккрецирует) в радиальном направлении к черной дыре по мере отдачи момента количества движения. Свечение диска обусловлено выделением гравитационной энергии в процессе аккреции. Наиболее близкие к черной дыре внутренние части такого диска разогреваются столь сильно, что начинают излучать энергию в рентгеновском диапазоне электромагнитного спектра.

Образование аккреционного диска возможно и в более сложном случае, когда оптический компаньон, не заполняя свою полость Роша, истекает во все стороны звездным ветром. В этом случае естественно ожидать формирования головной ударной волны в зоне гравитационного влияния черной дыры на течение звездного ветра. После прохождения ударной волны в области «гравитационного» захвата черной дыры вещество начинает падать на нее, однако не строго радиально! Орбитальное движение придает падающему веществу удельный момент количества движения, который несколько больше, чем удельный орбитальный момент черной дыры. При падении с сохранением момента вещество опережает орбитальное движение черной дыры, а затем на некотором расстоянии закручивается вокруг нее, формируя диск. А далее – опять аккреция в дисковом режиме!

Если в двойной системе на месте черной дыры находится сильно замагниченная нейтронная звезда, то ее магнитное поле разрушает аккреционный диск на расстоянии порядка 100 радиусов нейтронной звезды. Далее аккрецирующее вещество стремительно падает вдоль магнитных силовых линий,



встречаясь с поверхностью нейтронной звезды вблизи магнитных полюсов. В рентгеновском спектре ударной волны появляется характерная циклотронная линия, ее положение позволяет измерить величину магнитного поля. Благодаря ему выходящее наружу излучение поляризовано. Обычно магнитные полюса не находятся вблизи их географических полюсов, в результате вращения нейтронной звезды она будет наблюдаться как аккреционный пульсар.

Создание стандартной модели дисковой аккреции было выполнено совместно с Р.А. Сюняевым. Наша работа



была представлена на симпозиум № 55 Международного астрономического союза, состоявшийся в Мадриде в мае 1972 г. Именно на нем докладывались не только результаты исследований обсерватории «Ухуру», но и первые теоретические разработки по моделированию открытых компактных рентгеновских источников в двойных звездных системах, то бишь аккрецирующих черных дыр и нейтронных звезд. Доклад о нашей совместной с Р.А. Сюняевым работе сделал доктор Джим Прингл (Великобритания). Тот доклад представлял собой введение в большую статью, которую напечатал в 1973 г. солидный европейский жур-

---

*Авторы стандартной модели дисковой аккреции Н.И. Шакура и Р.А. Сюняев. 1973 г.*



*Я.Б. Зельдович и первые сотрудники Отдела релятивистской астрофизики ГАИШ МГУ. Слева направо: Л.П. Грищук, М.В. Сажин, В.М. Липунов, Я.Б. Зельдович, Н.И. Шакура, А.Н. Петров, С.Г. Симаков, С.М. Копейкин. Начало 1980-х гг.*

нал «Astronomy and Astrophysics». На ее основании И.Д. Новиков и К. Торн аккуратно вычислили релятивистские поправки, обусловленные эффектами общей теории относительности вблизи черных дыр. В настоящее время индекс цитирования – один из способов оценки работы в научном сообществе. Число ссылок на нашу совместную с Р.А. Сюняевым работу на конец 2013 г., то есть спустя 40 лет после публикации, превысило 6400.

Пока мы были молодыми, пристальное внимание Якова Борисовича было приковано к астрофизике. Со временем научные интересы ЯБ сосредоточились на космологии. В копилку мировой космологической науки вошли эффект Сюняева – Зельдовича, спектр

Зельдовича – Харрисона и другие результаты его изысканий. Как профессор Московского университета он читал для студентов и аспирантов два годовых курса лекций: по строению и эволюции звезд, второй – по космологии. К лекциям он готовился необыкновенно тщательно, записывал их содержание в тонкие школьные тетрадки. Каждый год это были новые тетради. Мы с Сергеем Блинниковым законспектировали его лекции, в результате чего появилось учебное пособие «Физические основы строения и эволюции звезд», его авторы – Зельдович, Блинников и Шакура, выпущенное издательством МГУ. Там же вышло в свет и другое пособие – «Космология ранней

Вселенной», авторы – Долгов, Зельдович, Сажин.

И еще несколько эпизодов из, так сказать, околonaучной жизни. Однажды после очередной лекции Я.Б. Зельдович достал из заднего кармана брюк что-то завернутое в чистый белый платочек. Развернув его, он извлек скрепленные одной планкой три Звезды Героя Социалистического Труда и попросил меня помочь прикрепить эти звезды на пиджак. Академик быстро вышел из аудитории по своим делам. Позже я узнал, что он был одним из тех, кто заслужил свои награды, работая над советским атомным проектом. Сам он никогда не рассказывал о годах, проведенных «там», а я его не спрашивал об этом по известным причинам. Говорят, что свои звезды он использовал в тех редких случаях, когда заходил в кабинеты высокого начальства с просьбой посодействовать устройству на работу молодых специалистов.

Как-то опаздывая на его лекцию, я быстро шел по коридору. В дверях аудитории стояли ребята из моей группы и несколько странно смотрели на меня. Буквально на бегу я спрашиваю: «А сам пришел?» Оглянувшись, я увидел, что «сам» так же быстро идет за мною след в след, прижав палец к губам. С тех пор Яков Борисович для меня стал еще и «Сам». Он делал все сам, соавторы ему ассистировали. А чего стоят его афоризмы типа «Труд и только труд сделал из обезьяны человека, а из человека – теоретика».

В начале 1980-х гг. Якову Борисовичу предоставили возможность организовать в ГАИШ теоретический отдел, который он назвал Отделом релятивистской астрофизики, подчеркивая тем самым важность и необходимость первоочередного развития фундаментальных исследований и в области релятивистских звезд (нейтронные звезды и черные дыры), и в области современной космологии.

---

## Информация

---

### Лунная пыль

Экипаж КК «Аполлон-11», вернувшись с Луны в июле 1969 г., обнаружил, что уплотнитель контейнера с образцами грунта разрушила лунная пыль – мелкий дисперсный порошок, режущий как стекло. «Агрессивная природа лунной пыли представляет собой более серьезную проблему для инженеров и для здоровья поселенцев, чем радиа-

ция», – написал в 2006 г. в своей книге «Возвращение на Луну» астронавт экипажа «Аполлона-17» Г. Шмитт. Пыль пачкала скафандры и слоями налипала на подошвы лунных ботинок, она проникала вслед за астронавтами внутрь лунного модуля. По словам Г. Шмитта, пыль пахла порошком и из-за нее было трудно дышать.

В рамках программы «Аполлон» выполнен эксперимент австралийского физика Б. О’Брина по изучению лунной пыли. В 1969–1971 гг. на Луну астронавты доставили детекторы массой 300 г, которые успешно работали несколько лет. По их данным, на каждом квадратном сантиметре лунной поверхно-

сти осаждается  $10^{-4}$  г пыли, за год на  $100 \text{ м}^2$  ее накапливается около 100 г. Ученые сделали вывод, что пыль будет воздействовать на солнечные батареи больше, чем радиация и частицы космических лучей высоких энергий. Пыль не только покрывает поверхность Луны, она поднимается на высоту почти 100 км, составляя часть ее экзосферы.

В настоящее время ИСЛ «LADEE» с помощью четырех приборов анализирует свойства пыли и молекул в экзосфере Луны (Земля и Вселенная, 2014, № 1, с. 106–107).

Пресс-релиз NASA,  
6 ноября 2013 г.

## Памяти Юрия Антониевича Израэля

23 января 2014 г. скончался академик Ю.А. Израэль – выдающийся ученый с мировым именем, основоположник ведущих научных школ в области изменения климата и его последствий и исследования широкомасштабных экологических проблем, крупный организатор науки, академик-секретарь Отделения океанологии, физики атмосферы и географии РАН, директор Института глобального климата и экологии РАН.



*Академик Ю.А. Израэль. 2007 г.*

Юрий Антониевич Израэль родился 15 мая 1930 г. в Ташкенте в семье врача. В 1953 г. окончил Среднеазиатский государственный университет по специальности физика и был направлен на работу в Москву в Геофизический институт АН СССР, где работал под руководством академика Е.К. Фёдорова. В 1962 г. Ю.А. Израэль продолжил научную деятельность в Институте прикладной геофизики Гидрометеослужбы СССР, защитив в 1963 г. кандидатскую, а в 1969 г. – докторскую диссертацию в области физико-математических наук. В 1969–1973 гг. возглавлял Институт прикладной геофизики Гидрометеослужбы СССР.

В 1970 г. Ю.А. Израэля назначили первым заместителем, в 1974 г. – начальником Главного управления Гидрометеослужбы при Совете Министров СССР. В том же году он стал профессором и членом-корреспондентом АН СССР по специальности «Физика атмосферы». Четыре года спустя его назначили председателем Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды. Находясь на этом посту до 1991 г., Юрий Антониевич способствовал развитию отечественной метеослужбы, ее расширению и модернизации. В 1978 г. он создал Лабораторию мониторинга природной среды и климата, а в 1990 г. на ее базе – Институт глобального климата и экологии и стал его директором. Институт получил статус головной ор-

ганизации по проблеме изучения изменений климата и его последствий. В этом институте получили развитие новые научные технологии комплексного мониторинга природной среды (включая его реализацию) и исследование глобальных экологических проблем, связанных с изменением состояния природной среды.

Многие годы Ю.А. Израэль руководил крупным научным направлением в области гидрометеорологии и климатологии и активно содействовал внедрению достижений гидрометеорологии и наук о природной среде в народное хозяйство. При его непосредственном участии была создана и функционирует Общегосударственная служба наблюдения и контроля за уровнем загрязнения окружающей среды, в первую очередь атмосферы, Мирового океана и других природных сред, в том числе фонового мониторинга.

Ю.А. Израэль лично участвовал в исследованиях, проводимых на атомных полигонах (1954–1970) после аварий. В 1986 г. после аварии на Чернобыльской АЭС Юрий Антониевич возглавлял работы по оценке радиоактивного загрязнения, на основе их результатов принимались решения об эвакуации или отчуждении непригодных для жизни территорий. Он внес существенный вклад в исследование метеорологических аспектов радиоактивного и химического загрязнения природных сред после испытаний ядерного оружия и аварий на атомных предприятиях. Ю.А. Израэль предложил систему ограничения выбросов загрязняющих веществ и вредных воздействий на биосферу. Материалы, связанные с исследованиями радиоактивности в природной среде, он обобщил в монографии «Радиоактивные выпадения при ядерных взрывах и авариях» (1996).

С именем академика Ю.А. Израэля связаны разработка концепции и теории комплексного мониторинга состояния природной среды и реализация этой системы в нашей стране. На основании этой концепции в СССР были

созданы Сеть наблюдения и контроля загрязнения природных сред и Сеть комплексного фонового мониторинга окружающей среды. Основные результаты, полученные в тот период, Ю.А. Израэль изложил в монографии «Экология и контроль состояния природной среды» (1979), открывшей новое направление в прикладной экологии. В 1994 г. за выдающийся научный вклад в области экологии его избрали действительным членом РАН.

Юрий Антониевич обладал удивительным умением видеть перспективные направления в науке и выделять главное в сложном сплетении множества новых научных фактов. Значительное внимание он уделял экологическим проблемам Мирового океана, создал новое научное направление современной океанологии – антропогенную экологию океана, разработал теорию ассимиляционной емкости Мирового океана. Важным практическим результатом исследований стало создание теории морского биологического мониторинга. В 1980 г. вышла в свет его монография «Антропогенная экология океана».

Ю.А. Израэль больших успехов достиг в осуществлении крупных международных и отечественных программ. С 1989 г. он работал в Международной группе экспертов по исследованию климата (МГЭИК), организованной по предложению ООН для исследования влияния изменяющегося климата на природную среду, экономику, здоровье человека. Он автор (и соавтор) более 250 научных работ. Юрий Антониевич активно участвовал в работе международных организаций. Более десяти лет он был сопредседателем советско-американской и советско-британской комиссий по сотрудничеству в области защиты окружающей природной среды, председателем государственных комиссий по Аральскому морю и озеру Байкал, возглавлял соответствующие комиссии по сотрудничеству с Великобританией, ФРГ, Финляндией и другими странами. Ю.А. Израэль – член Между-

народной академии астронавтики, Российской академии экологии, почетный член Венгерского метеорологического общества и международного радиологического союза.

Ю.А. Израэль избирался депутатом 10–11-го созывов (1979–1989) Верховного Совета СССР, вел общественную работу.

Академик Ю.А. Израэль награжден орденом Ленина (1986), двумя орденами Трудового Красного Знамени (1956, 1972), Орденом Октябрьской революции (1980), «За заслуги перед Отечеством» II, III и IV степени (1999, 2005, 2010). Он заслуженный деятель науки Российской Федерации (1995), почетный работник Гидрометеослужбы России (2010). За выдающиеся работы в области экологии его наградили золотой медалью АН СССР им. В.Н. Сукачёва (1983). Ученый удостоен звания лауреата Государственной премии СССР (1981), четырежды – премии Е.К. Фёдорова (1984, 1991, 1997, 2010) за лучшие труды в области охраны окружающей среды. Фундаментальные научные исследования Юрия Антониевича высоко оценены отечественными и зарубежными учеными, ведущими международными научными организациями: он избирался вице-президентом Всемирной метеорологической организации (2000–2011), вице-председателем Межправительственной группы экспертов по изменению климата (2002–2008). Ю.А. Израэль – первый российский лауреат премии им. Сасакавы (1992), наиболее престижной премии ООН – ЮНЕП в области охраны окружающей среды. В 1990 г. ему была вручена золотая медаль Международного центра «Этторе Майораны» (Италия), в 1993 г. – золотая медаль и премия Международной метеорологической организации. В составе межправительственной группы экспертов по изменению климата Ю.А. Израэль награжден Нобелевской премией мира за 2007 г.

Известно отношение Юрия Антониевича к Киотскому протоколу – международному соглашению, призванному

сократить выброс парниковых газов. Он с самого начала заявлял, что такого рода международное соглашение должно иметь научную основу, без чего оно будет неэффективным: *«изменения климата очевидны, но наука пока что не в состоянии определить их причины... не существует доказанной связи между деятельностью людей и глобальным потеплением»*. При этом Ю.А. Израэль вместе с рядом других российских ученых активно работал в составе Межправительственной группы ООН по изменению климата (IPCC).

Ю.А. Израэль возглавлял специальный академический совет-семинар «Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий», созданный по поручению президента России. Именно на этом семинаре было сформулировано отрицательное мнение российских специалистов о Киотском протоколе. *«В такой ситуации неопределенности – почему меняется климат – появляется Киотский протокол, цена которого – триллионы долларов, – говорил Юрий Антониевич в одном из интервью. – Столько надо потратить, чтобы только остановить рост парниковых газов. А вот удастся ли это сделать, даже потратив такие фантастические суммы, большой вопрос. Я уверен, что этот документ работает на бизнес. Кстати, аналогичная история была с озоновой дырой. Тогда во всем обвиняли фреоны, обрушили целую отрасль, потом выяснилось, что они ни при чем, а дыра сама восстановилась»*.

По мнению Президента РАН академика В.Е. Фортова, у Юрия Антониевича *«очень удачно... сочетались гражданская позиция, позиция человека, который правильно понимает роль науки в современном обществе, и необходимость доказывать людям некоторые вещи, очевидные для тех ученых, которые не будут тратить на это время»*.

Светлая память о выдающемся ученом и замечательном человеке навсегда сохранится в истории науки, сердцах его коллег и друзей.

## Памяти Джона Добсона

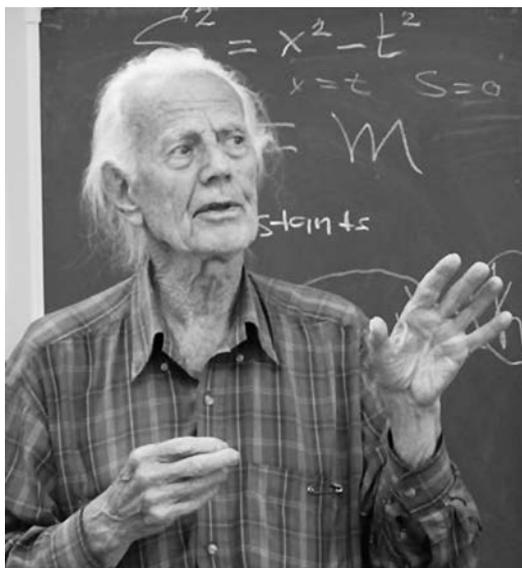
15 января 2014 г. в возрасте 98 лет скончался американский популяризатор астрономии и изобретатель Джон Добсон. Любители астрономии всего мира хорошо знают это имя.

Джон Добсон родился в Пекине в 1915 г. Его дед был основателем Пекинского университета, отец – преподавателем зоологии в том же университете. С 1927 г. постоянное пристанище семьи – город Сан-Франциско. Вскоре после окончания местного университета, став дипломированным химиком, Джон неожиданно для всех в 1944 г. ушел в монастырь общества Веданта –

крыла ордена Рамакришны и пробыл там 23 года. Именно в монастыре он всерьез заинтересовался астрономией, хотя признавался, что «*болен астрономией с детства*». Поскольку купить телескоп для наблюдений было невозможно, Добсон решил соорудить его сам.

Зеркало для первого телескопа Джон сделал из стекла корабельного иллюминатора. Увидев в телескоп фантастические ландшафты Луны, он решил, что это должен увидеть каждый. Добсон сформулировал кредо и следовал ему всю оставшуюся жизнь: «*Если у тебя есть телескоп, поделись с теми, у кого его нет*». Его увлечение астрономией и общение с людьми за пределами монастыря входили во все большее противоречие с требованиями ордена. В 1967 г. конфликт с руководством монастыря достиг пика: монахи утопили телескоп Добсона в заливе Сан-Франциско, а самого астронома-любителя изгнали из монастыря.

На следующий год Добсон и его единомышленники по популяризации астрономии основали «Общество тротуарных астрономов Сан-Франциско». Добсон изобрел простой в изготовлении тип альт-азимутальной монтировки для телескопов (монтировка Добсона), которые используются любителями астрономии всего мира. Он призывал массово изготавливать простые и дешевые телескопы, чтобы приобщить как можно больше людей к астрономии.



Джон Добсон. США, 1998 г.



*Джон Добсон у 107-см телескопа конструкции Добсона, созданного Э. Хансеном. США, 2002 г.*

То, что сегодня кажется любителю астрономии вполне естественным, в конце 1960-х гг. произвело революцию. Можно без преувеличения утверждать, что само понятие «любитель астрономии» в современном понимании появилось благодаря Добсону. Если полистать старые подшивки журналов для любителей астрономии, это станет очевидным. Например, в 1960-х гг. любитель астрономии, решившись на самостоятельную постройку телескопа, должен был основательно проштудировать профессиональную литературу, овладеть навыками полировки зеркал, работы на станках. Телескопы некоторых самоучек тех лет впечатляют до сих пор: довольно сложные оптические схемы, установленные на экваториальных монтировках, снабженные часовы-

ми приводами. Для успешного завершения постройки были необходимы тщательное проектирование, расчеты, сборка и настройка контрольных схем для изготовления оптики, сложные токарные и слесарные работы. Любитель делал в кустарных условиях то же самое, что профессионал в заводских.

Так, например, в иркутском астроклубе был создан телескоп по публикации в старом номере журнала «Sky & Telescope», посвященной изготовлению в домашних условиях 200-мм телескопа системы Шмидта – Кассегрена. Его создателям пришлось столкнуться практически со всеми «подводными камнями», о которых было подробно написано в статье. Телескоп иркутского астроклуба, как и все другие наши инструменты, в 2002 г. были проде-



Обложка книги Дж. Добсона «Как построить телескоп» (Харьков, «Астерион», 2001).

монстрированы Джону Добсону во время его первого визита в Россию. Надо отдать ему должное, основоположник «нового телескопостроения» с пониманием отнесся к детищу иркутских любителей астрономии. Он сказал, что в мире любительского телескопостроения существуют два пути достижения цели. Это, во-первых, доступный немногим тяжелый путь воспроизведения профессиональных технологий, во-вторых, новый путь – тот, который проложил он. Кстати, иркутские любители отдали дань и второму пути, соорудив 300-мм телескоп «Добсон».

Ошибочно считать, что телескоп Добсона – это только альт-азимутальная монтировка из любого доступного материала. Усилиями Добсона и его единомышленников стала доступной качественно новая технология изготовления крупного, а иногда огромного теле-

скопа по сравнению с возможностями 1960-х гг. В то время зеркала диаметром 30–40 см производились вручную, а для контроля их асферичности применялся метод сравнения предфокального и афокального изображений. Даже сейчас, несмотря на то что оптика в телескопах промышленного изготовления контролируется с помощью интерферометров и компьютеров, искушенные любители почти всегда продельывают то же самое, оценивая качество оптики самых дорогих брендов.

Джон Добсон предложил оригинальную конструкцию телескопа и прежде всего его монтировку, с помощью которой можно разглядеть туманности 12<sup>m</sup> или, например, Плутон. Добсон отказался не только от экваториальной монтировки, но и от тонкой механики, понимая, что подобные телескопы, даже с картонными трубами, обязательно будут увеличиваться в размерах, поэтому логично использовать их собственный вес для создания кратковременной устойчивости. Избавленный от необходимости постоянно регулировать тормоза сцепления телескопа с механизмами точной подводки, любитель вручную двигает трубу рукой.



Дж. Добсон в Иркутске. 2002 г. Фото С. Потапчук.

Если наводка сбилась, ее можно быстро поправить. Это решение, выглядевшее парадоксальным, оказалось настолько удачным, что в 1960-х гг. Добсон предложил использовать такие простые и надежные системы для проведения акций «тротуарной астрономии». За вечер несколько сотен человек могут наблюдать небесные объекты с помощью одного инструмента, несмотря на его кажущуюся «шаткой» и ненадежной конструкцию.

Джон Добсон путешествовал по всему миру, рассказывая о «тротуарной астрономии» и новом подходе к телескопостроению «на коленке». Он проводил мастер-классы, демонстрируя, как можно без дорогостоящего оборудования шлифовать зеркала и строить монтировки из подручных средств.

Добсон не был ученым. Его взгляды на строение и происхождение Вселенной радикально отличались от положений современной космологии, в частности, он так и не признал теорию Большого взрыва.

В 2002 г. и 2006 г. Джон Добсон побывал в России, посетив основные любительские астрономические объединения нашей страны. Помимо своих лекций и мастер-классов, он порастил российских любителей астрономии приемами владения лассо.

В обсерватории Иркутского государственного университета он оставил автограф, который в переводе на русский язык звучит так:

*Для других что-то сделать – свято,  
Для себя – только времени трата.*

Это было во время второго вояжа Добсона по астрономическим любительским объединениям Евразии, по итогам которого он, уже в возрасте 91 года, предложил проводить акции «тротуарной астрономии» одновременно во всем мире. Весной 2007 г. состоялась первая всемирная акция «тротуарной астрономии», в которой приняли участие и российские любители.



*В иркутском астрономическом клубе. 2006 г. Фото А. Арсентьева.*

С тех пор акция проводится ежегодно. В 2009 г. состоялась особенно массовая акция «100 часов астрономии», посвященная 400-летию первых телескопических наблюдений Галилея. Только в Иркутске в ней участвовало более 15 тыс. человек, по другим оценкам – до 18 тыс. Сейчас это движение становится популярным во всем мире.

Джон Добсон был уникальным человеком, яростным противником алчности и примитивного стремления к материальным ценностям. Подвижник, просветитель, Добсон был искренне убежден в том, что каждый человек должен наблюдать звездное небо, постигая величие Вселенной. Он был уверен, что человек, глядя на звезды, становится лучше, поэтому хотел, чтобы возможность заглянуть в телескоп была у каждого человека на Земле. Этому Добсон посвятил свою долгую жизнь, прожив почти век. Он был свидетелем крупнейших, поворотных событий XX столетия. «Я помню Ф. Рузвельта еще без коляски!» – сказал он в Иркутске, подчеркивая свой возраст.

4 апреля 2014 г. в Иркутске прошла акция «Ночь тротуарной астрономии», посвященная памяти Джона Добсона.

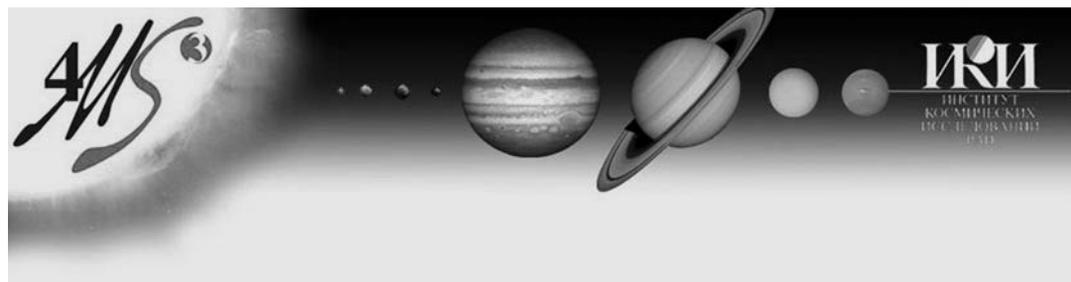
## **Ближайшие цели российской планетной программы – Луна и Марс**

14–18 октября в Институте космических исследований РАН состоялся четвертый Международный московский симпозиум по исследованиям Солнечной системы (4MS<sup>3</sup>).

Планетный симпозиум проводится с 2010 г. в ИКИ РАН (Земля и Вселенная, 2012, № 4) как продолжение симпозиума «Вернадский – Браун» совместно с Институтом геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН и Университетом Брауна (США). Научная программа, традиционно охватываю-

щая все разделы планетных исследований, в этом году была выстроена вокруг изучения Луны и Марса – главных объектов в планетных программах России, Европы и США. Кроме собственно научных вопросов, на встрече обсуждались перспективные проекты автоматических межпланетных станций: «Луна-Глоб», «Луна-Ресурс» и «ЭкзоМарс». Симпозиум организован при поддержке Российской академии наук и Российского фонда фундаментальных исследований.

Перед пленарным заседанием участников приветствовал советник руководителя Роскосмоса по фундаментальным космическим исследованиям **В.В. Ворон**, обозначивший приоритеты России в изучении космоса. Виктор Владимирович подчеркнул, что многие из проектов российской космической программы не смогли бы состояться без международной кооперации, особое место в ней сейчас принадлежит миссии «ЭкзоМарс» – качественно новой ступени сотрудничества России и ESA.



*Логотип Международного московского симпозиума по исследованиям Солнечной системы.*

На Симпозиуме выступили с программными докладами директор ИКИ РАН академик **Л.М. Зелёный**, директор научных программ NASA **А. Хименес** и директор планетного отделения штаб-квартиры NASA **Дж. Грин** (текст зачитал профессор **Дж. Хед**, Университет Брауна). Они посвятили свои доклады научным космическим программам, которые реализуются в России, Европе и США.

**Л.М. Зелёный** сделал краткий обзор ближайших космических проектов России, в том числе астрофизических и плазменных. Наиболее близкие проекты (кроме планетных) – космическая рентгеновская обсерватория «Спектр-РГ» (запуск в 2015 г.) и плазменный многоспутниковый проект «Резонанс» (2017). Лунная и марсианская программы состоят из нескольких проектов и имеют один общий элемент – автоматическую доставку грунта на Землю, причем не только с Марса, но и с его спутника Фобоса. Лунная программа рассчитана на семь лет, будут запущены пять автоматических межпланетных станций. Они продолжили серию АМС «Луна», которая прервалась на аппарате «Луна-24», в 1976 г. доставившем третий образец лунного грунта на Землю. **Л.М. Зелёный** подчеркнул, что в новой



*Академик Л.М. Зелёный.*

программе предусмотрено постепенное развитие, так что каждая следующая миссия строится на базе предыдущей. В рамках проекта «Луна-25» (запуск в 2016 г.) планируется посадить космический аппарат в полярной области Луны. Затем на орбиту ИСЛ должна выйти станция «Луна-26» (2018), еще через год на другой полюс прилунится спускаемый аппарат «Луна-27» с буровой установкой. Следующими шагами станут возврат грунта из полярной области («Луна-28», 2021 г.) и работа лунохода «Луна-29» (2022).

На Симпозиуме активно обсуждалось возможное участие ESA в российской лунной программе, в частности в ее проекте «Луна-25», где европейский вклад может состоять в создании

программного обеспечения, значительно улучшающего точность посадки. Европейские коллеги заинтересовались предложением установить буровую установку на АМС «Луна-27».

Тему космических программ расширил профессор **А. Хименес** (ESA), начавший свой рассказ с двух главных особенностей европейской научной программы. Прежде всего, она строится по принципу «снизу вверх»: темы исследований предлагают и утверждают сами ученые, ESA же обеспечивает им эту возможность. Вторая особенность – обязательное доленое финансирование космических программ странами – участницами ESA в зависимости от их ВВП, что делает возможным долгосрочное планирование. **А. Хименес**



*Профессор А. Хименес (ESA).*



перечислил основные научные миссии. ESA, реализуемые сейчас. В частности, в августе 2014 г. к цели своего путешествия – комете Чурюмова–Герасименко должна прибыть АМС «Розетта». В ноябре 2014 г. намечено посадить спускаемый аппарат на поверхность кометы (Земля и Вселенная, 2004, № 4, с. 47–50; 2013, № 5, с. 28).

На 2016 г. запланирован старт АМС «БепиКолombo» («BepiColombo») для изучения Меркурия, в нем принимает участие и Россия.

Кроме текущих миссий, в ESA продолжается работа над выбором проектов для реализации в рамках программы «Cosmic Vision». Она предусматривает старты в 2015–2025 гг. АМС не-

*Посадочный аппарат АМС «Луна-25». Рисунок НПО им. С.А. Лавочкина.*

скольких типов – больших (стоимостью порядка миллиарда евро, с запуском раз в пять лет) и средних (стоимостью около 500 млн евро, с запуском раз в три года), а также ряда других. В 2017–2022 гг. предпо-

лагаются запустить космические обсерватории «Solar Orbiter» для детального измерения внутренней гелиосферы и «Эвклид» («Euclid») с оптическим и инфракрасными телескопами на борту для определения местоположения 2 млрд галактик, а также АМС «JUICE» (Jupiter Icy Moon Explorer – исследователь ледяных лун Юпитера) для изучения системы Юпитера.

А. Хименес также подчеркнул, что ESA серьезно рассматривает задачу доставки на Землю образца марсианского грунта и заинтересовано в сотрудничестве с Россией в лунной программе.

Марсианская программа России предполагает, прежде всего, полноценное участие в европейском проекте «ЭкзоМарс», состоящем из двух миссий (четыре аппарата) с запусками в 2016 г. и 2018 г. (Земля и Вселенная, 2013, № 6, с. 108–109). После программы «ЭкзоМарс» Россия вновь намерена вернуться к исследованию Фобоса. С помощью модернизированной АМС «Бумеранг» предполагается выполнить программу «Фобос-Грунт», так как запуск станции в ноябре 2011 г. был аварийным (Земля и Вселенная, 2011, № 4; 2012, № 2, с. 106–107). Л.М. Зелёный отметил, что доставка грунта с Фобоса по-прежнему остается



*Макет спускаемого аппарата АМС «ЭкзоМарс» проходит испытания в ESA. Фото ESA.*

важной научной задачей, причем в программах других стран ее пока нет.

Доставка грунта с Марса – цель и марсианской программы США: запуск в 2016 г. по программе «Дискавери» посадочного аппарата «InSight» (исследование тепловыделения и внутреннего строения Марса, сейсмические и геодезические эксперименты) и

в 2020 г. – большого марсохода. Миссии после 2022 г. находятся в стадии планирования.

После пленарного заседания состоялся брифинг для прессы, посвященный международному сотрудничеству в области исследований Луны и планет. На вопросы журналистов отвечали участники пленарного заседания, а также генеральный директор

НПО им. С.А. Лавочкина **В.В. Хартов**, глава представительства ESA в России **Р. Пишель**, заведующий лабораторией космической гамма-спектроскопии ИКИ РАН доктор физико-математических наук **И.Г. Митрофанов** и руководитель отдела исследования планет и малых тел Солнечной системы ИКИ РАН доктор физико-математических наук **О.И. Корablёв**.

Следующая за брифингом сессия продолжала «марсианскую тему». Были представлены результаты текущих исследований по изучению Марса, его геологических особенностей и атмосферы. Хотя у России нет собственных марсианских АМС, российские приборы работают на борту ИСМ «Марс Одиссей» (США), «Марс Экспресс» (ESA) и марсоходов «Оппортюнити» и «Кьюриосити» (США).

Обзор десятилетней работы европейской АМС «Марс Экспресс» (запуск в июне 2003 г.; Земля и Вселенная, 2004, № 1, с. 35–36; 2013, № 5, с. 26–27) сделал **О. Ви-тасс** (Европейский центр космических исследований и технологий ESA), подчеркнувший, что это первый опыт межпланетного проекта агентства. «Марс Экспресс» – миссия, предпринятая для спасения экспериментов российской АМС «Марс-96». В свою очередь, на

ИСМ «Марс Экспресс» установлено три российских прибора из семи. Важнейшие результаты, полученные с их помощью, касаются геохимии и атмосферной химии. По распределению гидратированных минералов на поверхности Марса можно судить о том, когда закончилась эпоха «теплого и влажного» Марса, наиболее благоприятная для возможного зарождения жизни. Новая информация, в частности, о распределении водяного пара и свечении молекулярного кислорода важна для определения состава атмосферы и климата Марса. Открыты «авроральные сияния» на планете, которые в отличие от земных происходят не на полюсах. С помощью инструментов ИСМ «Марс Экспресс» получены убедительные данные о том, что в атмосфере планеты есть следы метана. И хотя марсоход «Кьюриосити» не подтвердил наличие метана в концентрациях, превышающих 1,3 частицы на миллиард, это противоречие лишь увеличивает интерес к источнику парникового газа на Марсе. Свидетельствует он о продолжающейся геологической активности планеты или служит признаком жизни? Работа АМС, рассчитанная на марсианский год (687 земных дней), продолжается: в 2012 г. ESA одобрило

продление исследований до 2015 г.

Другой российский прибор, работающий на борту марсохода «Кьюриосити» – нейтронный детектор ДАН (создан в ИКИ РАН; Земля и Вселенная, 2012, № 3, с. 110–112; 2013, № 1, с. 102–105). К началу Симпозиума он отработал уже более 400 марсианских дней. Практически ежедневно грунт зондируют нейтронами от генератора вдоль трассы движения марсохода. Обнаружено несколько локальных «оазисов», в которых содержание грунтовой воды достигает 6% от полной массы. Обзор результатов прибора представил доктор физико-математических наук **М.Л. Литвак** (ИКИ РАН). Данные прибора хорошо согласуются с моделью грунта, состоящего из двух слоев с различным содержанием водорода (воды) и поглощающих элементов (хлора). В большинстве случаев верхний слой глубиной примерно 20 см относительно «сухой» (чуть более 1% воды по массе), тогда как нижний – до 60 см – более «влажный» (3% содержания воды по массе). Только на одном участке своего пути, в районе Rocknest («Скальное гнездо»), ДАН обнаружил верхний слой, содержащий больше воды – около 2% по массе. Исследователи пытаются объяснить эти

наблюдения с учетом геологической истории района. В целом же содержание воды на глубине до 60 см колеблется от 1 до 5% по массе, но ее среднее значение находится на уровне порядка 2–3%. Определено содержание хлора в грунте – около 1% хлора по массе (с вариациями 0,1–1,5%).

Любопытно, что обе оценки не совпадают с тем, что наблюдает с орбиты прибор ХЕНД (HEND) – российский нейтронный спектрометр в составе комплекса GRS на борту АМС «Марс Одиссей» (Земля и Вселенная, 2001, № 5, с. 20–22; 2005, № 2, с. 62). В районе посадки «Кьюриосити» воды должно быть порядка 4–6% по массе, а хлора – 0,6–0,7%. Связано это, вероятно, с разным пространственным разрешением приборов: ХЕНД усредняет данные по воде на территории в несколько сотен километров, тогда как ДАН наблюдает распределение воды непосредственно под марсоходом (порядка метров).

Второй день Симпозиума был посвящен Луне. Доктор геолого-минералогических наук **А.Т. Базилевский** (Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН) рассмотрел гипотезу о «лунном терминальном катаклизме» – предположительном периоде в исто-

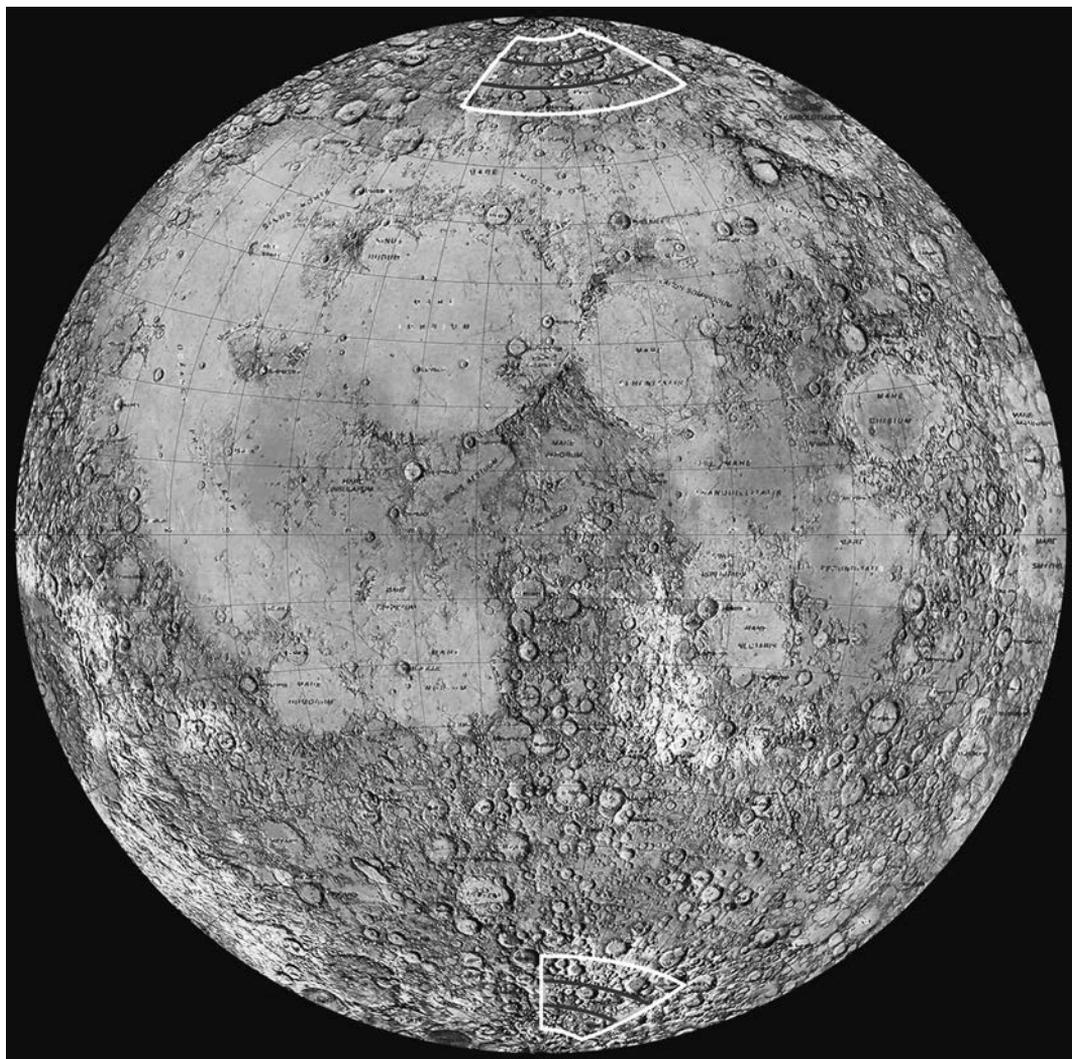
рии ранней Луны (около 3,9 млрд лет назад), когда в ходе метеоритной бомбардировки частота столкновений резко возросла. В это время, как предполагают, образовалось большинство кратеров на континентальных участках Луны. Но результаты датировки грунта, привезенного астронавтами по программе «Аполлон» и советской АМС «Луна-20», показывают, что, скорее всего, подобного события не было и во всяком случае несколько полей кратеров сформировались раньше – 4,1–4,25 млрд лет назад.

Сейчас исследовать Луну продолжает «Лунный орбитальный разведчик» (США), на борту которого успешно работает российский нейтронный спектрометр ЛЕНД (LEND, создан в ИКИ РАН; Земля и Вселенная, 2009, № 6, с. 101–102). На основе обработки данных измерений потока лунного нейтронного излучения создается более детальная карта распространности водяного льда в полярных районах Луны. О результатах четырех лет работы ЛЕНД рассказал доктор физико-математических наук **В.И. Третьяков** (ИКИ РАН). По данным прибора ЛЕНД обнаружено несколько районов с содержанием в грунте меньшего количества воды. Эти районы почти не совпадают с граница-

ми постоянного затенения. Всего три из обнаруженных прибором ЛЕНД района с пониженным потоком нейтронов частично перекрываются с постоянно затененными областями: в кратерах Кабеус, Шумейкер и Рождественский. Как предполагают специалисты, это может означать, что для сохранения льда в грунте Луны нужна не только постоянная тень, но и особые условия освещенности. Это частично подтверждается тем фактом, что повышенное содержание водорода чаще наблюдается на стенках кратеров, ориентированных на полюс, а не на экватор.

Обсуждение результатов исследования Луны плавно перетекло в дискуссию о будущей лунной АМС. Речь шла в первую очередь о российской программе (2016–2022). Программа нацелена в основном на изучение именно полярных регионов, сильно отличающихся от экваториальных территорий. Здесь в грунте могут скрываться достаточно большие запасы летучих веществ, в том числе водяного льда. Задачи новых миссий – изучить состав и особенности грунта, его взаимодействие с солнечным ветром, а также доставить на Землю образец для более детального исследования в земных лабораториях.

Академик **Л.М. Зелёный** (ИКИ РАН) и док-



тор технических наук **А.В. Лукьянчиков** (НПО им. С.А. Лавочкина) представили краткий научный и технический обзор лунной программы и ее первых аппаратов: посадочного «Луна-Глоб» («Луна-25»; Земля и Вселенная, 2003, № 4, с. 25–28), орбитального «Луна-Орбитер» («Луна-26») и посадочного «Луна-Ресурс» («Луна-27»). Планируется, что срок их

работы составит около года. Посадочные аппараты будут исследовать грунт на Южном полюсе спутника. Основная работа АМС по изучению Луны и окололунного пространства пройдет на низкой круговой орбите высотой 200 км, после чего она перейдет на орбиту высотой 500–700 км, где начнется эксперимент ЛОРД (НИИЯФ

*Карта Луны с районами посадки АМС «Луна-25» и «Луна-27».*

---

МГУ) по изучению космических лучей.

Как подчеркнул Л.М. Зелёный, важная задача ученых состоит в том, чтобы сформулировать стратегические цели изучения и освоения Луны. «От Между-

народной космической станции – к Международной лунной станции» – так был определен возможный общий вектор развития современных лунных программ. Потенциал Луны для человека многообразен: от лунной астрофизической обсерватории (ей не будет мешать атмосфера и не нужно топливо, чтобы поддерживать орбиту) до возможной добычи минералов, запасы которых на Земле ограничены (Земля и Вселенная, 2014, № 2). Именно такие долгосрочные цели определяют будущее лунных миссий.

Луна – одна из главных целей исследования и ESA, это следующий этап развития пилотируемой космонавтики. Разрабатывавшийся проект лунного посадочного аппарата в 2012 г. не получил финансирования, и сейчас ESA придется участвовать в программах других агентств. Профессор **Б. Уду** (ESA) сообщила, что ESA с большим интересом относится к возможности поставить оборудование на посадочный аппарат «Луна-Ресурс» («Луна-27», запуск в 2019 г.). Цель участия в проекте – подготовка технологий для будущих пилотируемых экспедиций.

ESA выделяет несколько приоритетных направлений участия в российском проекте: предварительная харак-



*Доктор физико-математических наук В.В. Шевченко (ГАИШ МГУ).*

теристика места посадки, снижение рисков при посадке, получение образцов грунта (рассматривается возможность размещения буровой установки на аппарате), а также участие в анализе образцов и обеспечение радиосвязи с аппаратом.

Одна из целей исследования Луны – использование лунных ресурсов. Предположение о том, что лунные минералы можно добывать в промышленных масштабах для нужд Земли, пока кажется фантастическим, но интересно узнать, чем богата Луна. О некоторых возможностях использования лунных ресурсов на основе имеющихся данных о минеральном составе лунной поверхности рассказал доктор физико-математических наук **В.В. Шевченко** (ГАИШ МГУ). Междуна-

родная академия аэронавтики (ИАА) исследует возможность добывать космические минеральные ресурсы, включив в это понятие вещество не только Луны, но и астероидов. В отношении нашего спутника главным ресурсом сегодня остаются запасы водяного льда в полярных регионах. Изучение его распределения – приоритетная задача Роскосмоса. Информация о наличии водяного льда, а также топографические и температурные данные, полученные АМС «Лунар Проспектор», «Лунный орбитальный разведчик» (США) и «Чандраян-1» (Индия), используются при выборе мест посадки будущих аппаратов. Кроме воды, интерес представляет лунный титан: по информации «Лунного орбитального разведчика», в видимом и ультрафиолетовом диапазонах, некоторые лунные породы содержат в 10 раз больше титана (1–10%), чем породы на Земле. С чем связано такое высокое содержание этого элемента, пока неизвестно, однако предположительно на это повлияли условия, существовавшие на Луне практически сразу после ее формирования. И, наконец, интересна область в районе Океана Бурь (Procellarum Terrane) с высоким содержанием калия, редкоземельных элемен-



*Советский планетолог академик М.Я. Маров.*

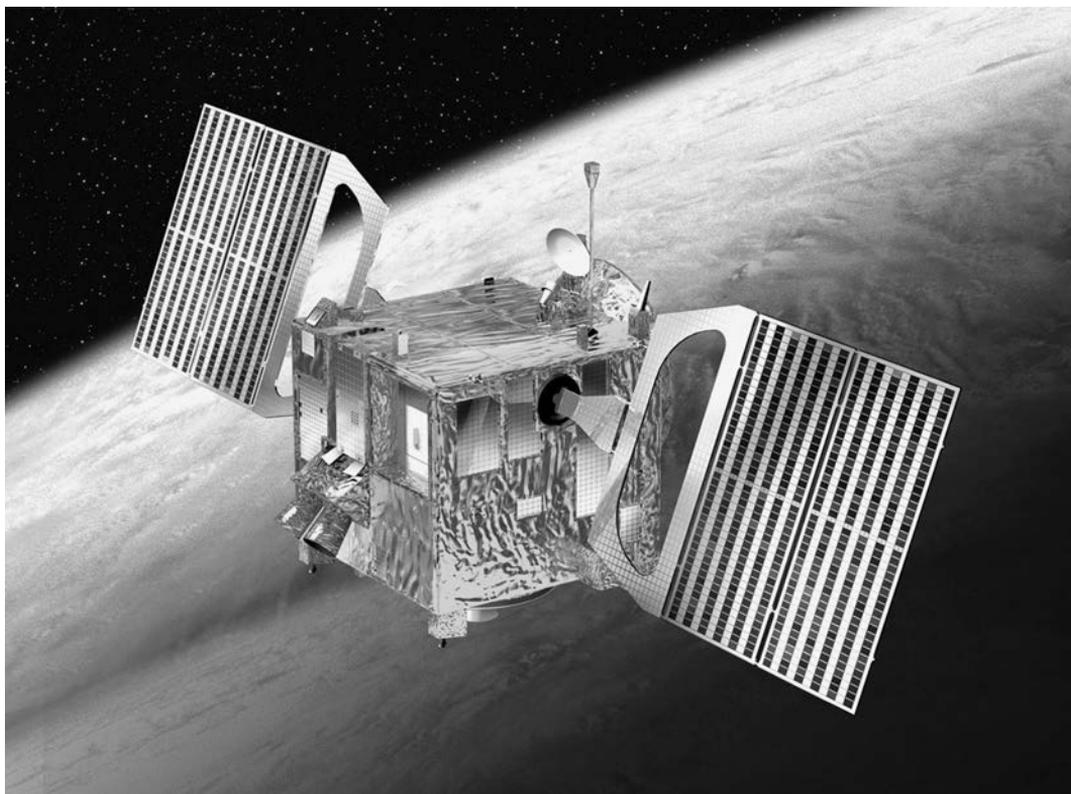
тов, фосфора и тория (в среднем около 5 ppm).

В третий день Симпозиума прошли две специальные сессии. Первая была посвящена изучению пыли и пылевой плазмы в космосе. В 2013 г. закончился один из наиболее длительных экспериментов на МКС – российско-немецкий эксперимент «Плазменный кристалл», он начинался еще на станции «Мир» и был продолжен на новом уровне на МКС совместно Объединенным институтом высоких температур РАН и Институтом внеземной физики Общества им. Макса Планка (Германия). О нем, а также о других экспериментах и результатах численного моделирования плазменно-пылевых систем рассказал доктор физико-математических наук **О.Ф. Петров** (ОИВТ РАН).

Специальное заседание симпозиума было посвящено 80-летию академика **М.Я. Марова**, ведущего ученого в области планетных исследований в СССР и России. Приглашенные докладчики остановились на главных вехах изучения планет в нашей стране и за рубежом. Сессию открыло выступление самого М.Я. Марова, представившего краткую историю планетных экспериментов в Советском Союзе, в которых он принимал участие. Тему продолжил профессор **Дж. Хед** (США), сосредоточивший внимание на исследованиях Луны, проведенных в СССР и США в 1950–1970-е гг. Продолжение изучения и освоения Луны требует тесного сотрудничества ученых и инженеров. На основе полученных ранее научных данных и технологического задела могут быть подготовлены новые автоматические и пилотируемые миссии, что в сумме должно дать принципиально новое знание о том, как выживать в космосе. Последовавшие затем доклады отразили весь спектр направлений исследования космоса – от современных проблем изучения Луны и Марса до научных вопросов, связанных с образованием планетных систем у звезд.

Симпозиум завершился «венерианская» тематика и обсуждение

перспективных межпланетных проектов. Хотя Венера – ближайшая «сестра» Земли, интерес к ней в последние годы довольно умеренный: сейчас у планеты находится только ИСВ «Венера Экспресс» (ESA). Японская АМС «Акацуки» («Akatsuki»; Земля и Вселенная, 2009, № 6, с. 75–76; 2011, № 4, с. 38; 2013, № 5, с. 36), достигшая планеты в 2010 г., не смогла выйти на расчетную орбиту вокруг Венеры. Работающая на орбите вокруг планеты уже более 7 лет АМС «Венера Экспресс» поставляет важные данные об атмосферной системе Утренней звезды и взаимодействии ее газовой оболочки с солнечным ветром. О полученных результатах рассказал **Х. Сведхем** (Европейский центр космических исследований и технологий ESA). Он подчеркнул, что за время работы удалось ответить почти на все вопросы, поставленные при планировании миссии, несмотря на то что один из приборов – PFS – не работал с самого начала проекта. Как предполагают ученые, запаса топлива хватит для коррекций орбиты до 2015 г. В последний год работы станции намечено провести серию аэродинамических торможений с прохождением через верхние слои атмосферы. Будут получены данные о ее параметрах на



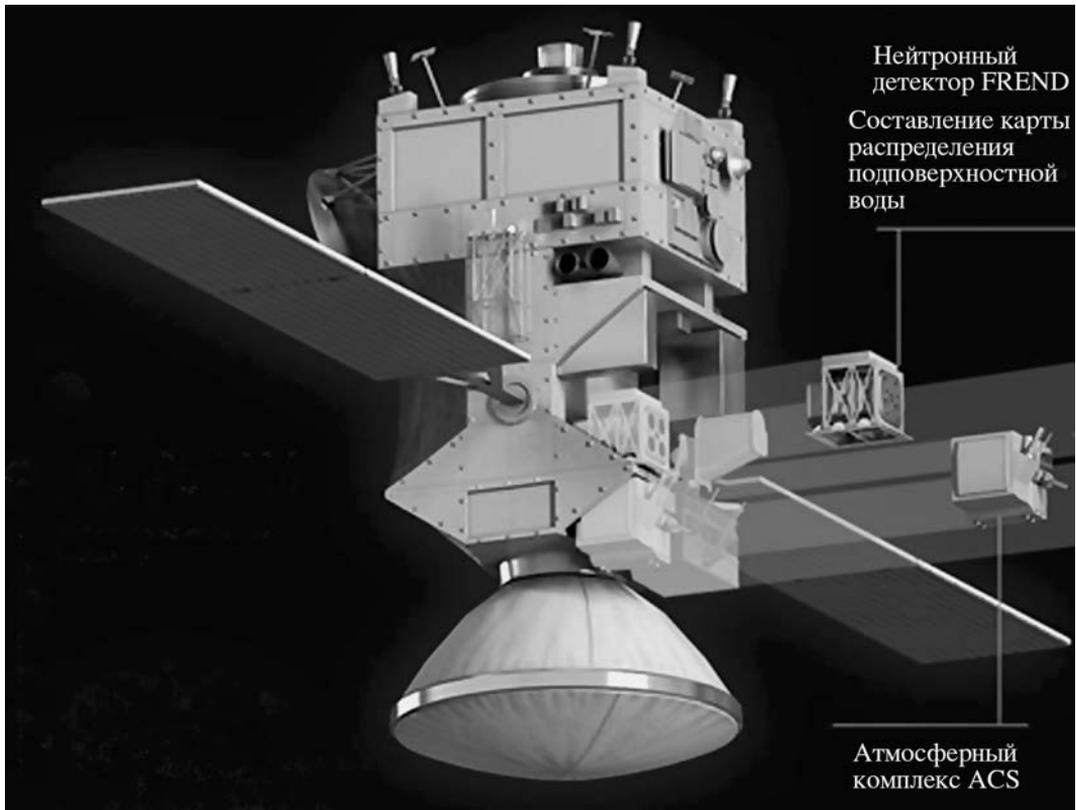
*Искусственный спутник Венеры европейская АМС «Венера Экспресс». Рисунок ESA.*

тех высотах, которые недоступны дистанционному зондированию. В ходе этих экспериментов будет отработана технология таких торможений и получена информация о том, как подобные маневры сказываются на аппарате. Окончательно план наблюдений во время заключительной фазы миссии будет принят позже.

Задачи дальнейшего изучения атмосферы Ве-

неры осветил профессор **С.С. Лимей** (Университет Висконсина, США). Он подчеркнул, что все непосредственные измерения параметров венерианской атмосферы получены на высотах ниже 65 км, между тем верхняя граница облаков, как предполагается, пролегает не ниже 71 км (на широтах ниже 70°), а слоя дымки – не ниже 90 км. В верхнем слое облаков (57,5–71 км) также сконцентрирован пока неизвестный ультрафиолетовый поглотитель, который «забирает» примерно половину солнечного излучения, падающего на планету.

Плохо известны и направления ветра в нижних слоях атмосферы. С помощью существующих численных моделей атмосферной циркуляции за счет изменения параметров нагрева атмосферы планетологи успешно воспроизводят режим суперротации, господствующий на Венере. Точных же данных о том, какова роль падающей солнечной энергии, и какую часть в нагрев вносит отраженное от нижней атмосферы и поверхности тепло, пока нет. После окончания работы ИСВ «Венера Экспресс» следующий запуск к Венере состоится



не ранее 2022 г. Предполагается доставить на поверхность планеты долгоживущую посадочную станцию «Венера-Д» (Россия; Земля и Вселенная, 2012, № 3, с. 32–35).

Главный межпланетный проект России сегодня – «ЭкзоМарс», этот российско-европейский проект по исследованию Марса стал темой заключительной сессии Симпозиума. Он включает не только совместное проведение научных экспериментов, но и организацию общей инфраструктуры, так как важная его часть – создание наземного комплекса приема данных и управ-

ления межпланетными миссиями и объединение опыта Роскосмоса и ESA. «ЭкзоМарс» можно рассматривать как этап подготовки к освоению Марса: разведка районов посадки, поиск подповерхностной воды, мониторинг радиационной обстановки. В его рамках планируется два запуска с помощью российских носителей «Протон» в 2016 г. и 2018 г. За создание и эксплуатацию российской научной аппаратуры, входящей в комплексы научной аппаратуры, а также за наземный научный комплекс отвечает ИКИ РАН.

*Размещение спектрометрического комплекса АЦС и нейтронного спектрометра ФРЕНД на АМС «ЭкзоМарс». Рисунок ESA.*

Обзор научных экспериментов, которые предполагается провести в ходе полета «ЭкзоМарс», представил кандидат физико-математических наук **Д.С. Родионов** (ИКИ РАН). Миссия 2016 г. включает в себя разрабатываемые ESA орбитальный модуль и демонстрационный десантный модуль «Скиапарелли». Орбитальный

модуль предназначен для изучения малых газовых примесей атмосферы и распределения водяного льда в грунте Марса. Для этого аппарата ИКИ РАН разрабатывает два прибора: спектрометрический комплекс АЦС (ACS) и нейтронный спектрометр ФРЕНД (FRIEND). Спектрометрический комплекс АЦС (атмосферный химический набор), предназначенный для изучения химического состава атмосферы и климата Марса, состоит из трех спектрометров (эшелле-спектрометры ближнего и среднего ИК-диапазонов и Фурье-спектрометр) и системы сбора информации. Коллимированный нейтронный детектор ФРЕНД (эпитермальный датчик нейтронов высокого разрешения) будет регистрировать альбедные нейтроны, возникающие в грунте Марса под воздействием галактических и солнечных космических

лучей, и строить глобальные карты распределения водяного льда в верхнем слое грунта Марса с высоким пространственным разрешением. В состав ФРЕНД входит также блок дозиметрии для регистрации радиоактивного излучения.

В 2018 г. на поверхность Марса с помощью разрабатываемого в России десантного модуля будет доставлен марсоход «Пастер» (ESA) массой около 350 кг. Задачи марсохода – геологические исследования и поиск следов жизни в подповерхностном слое Марса около места посадки. ИКИ РАН создает два прибора: инфракрасный спектрометр ИСЕМ для минералогического анализа поверхности и нейтронный спектрометр АДРОН-РМ для регистрации нейтронного альбеда, генерируемого космическими лучами в грунте. Данные АДРОН-РМ лягут в основу построения локальной карты распре-

деления водяного льда вдоль трассы движения марсохода. Посадочная платформа после спуска с нее марсохода начнет свою научную миссию как долгоживущая стационарная платформа. Комплекс научной аппаратуры массой 50 кг разрабатывается под руководством ИКИ РАН. Ее основные задачи: долгосрочный мониторинг климатических условий на марсианской поверхности в месте посадки; исследование состава атмосферы Марса с поверхности; изучение распространенности воды в подповерхностном слое; забор образцов с поверхности Марса в месте посадки и их изучение; исследование взаимодействия атмосферы и поверхности; мониторинг радиационной обстановки в месте посадки. Окончательный отбор полезной нагрузки будет произведен в 2014 г.

*О.В. ЗАКУТНЯЯ  
ИКИ РАН*

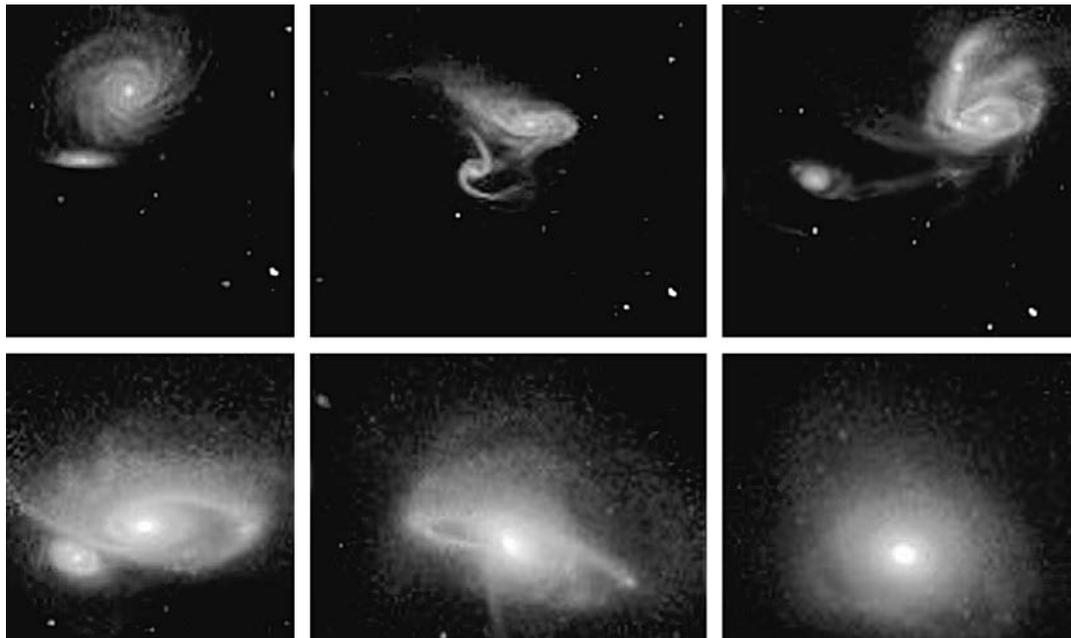
### Столкновения галактик

Группа астрономов под руководством доктора Д. Лотц из Института КТХ (США) проследила, как менялась частота столкновений галактик в прошлом, проанализировав снимки обзоров AEGIS, COSMOS, GOODS и DEEP2, полученные с помощью КТХ и телескопов Обсерватории Кека (Гавайи). Ученые построили компьютерную модель взаи-

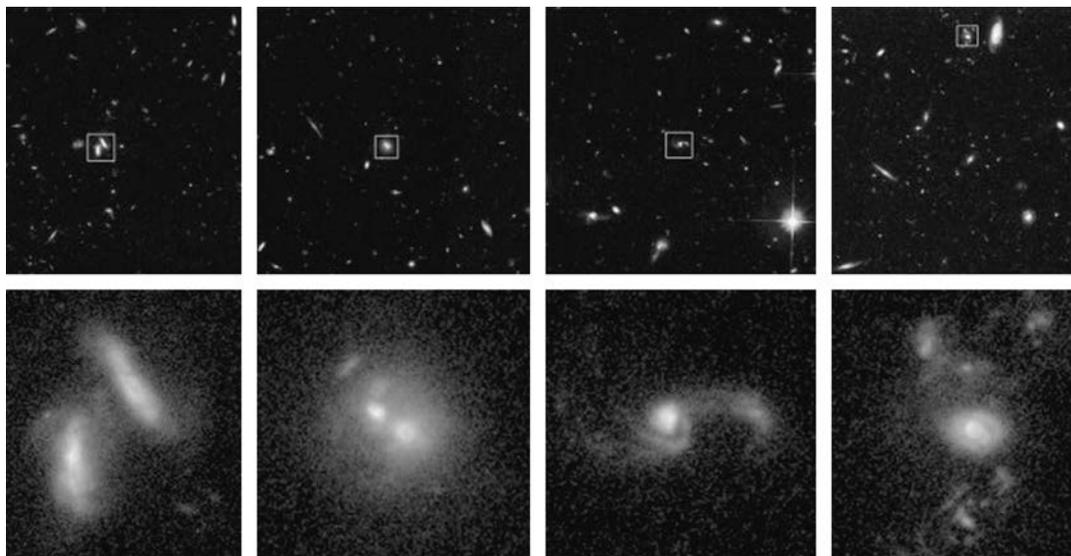
модействующих галактик различных типов и масс. На основе статистики и модели они создали методологию, позволяющую определять число такого рода галактик на конкретном участке неба в данный момент времени.

Ученые выделили 57 типов столкновений и сделали виртуальные снимки каждого из них с десяти углов наблюдения. Они использовали эти изображения в качестве шаблонов, позволяющих однозначно определить, данные галактики после взаимодействия сливаются или разлетаются. Получено более тысячи снимков возможных столкновений галактик, после вычислений стала известна их примерная частота. Круп-

ные галактики сталкиваются друг с другом примерно каждые 9 млрд лет, малые и карликовые галактики – в три раза чаще. По современным представлениям, от 5 до 25% галактик взаимодействуют между собой или сливаются. В ближней к нам области Вселенной в состав взаимодействующих систем входит лишь 5–10% галактик. Точное значение темпа взаимодействий галактик (число тесных сближений за единицу времени в единице объема) крайне важно. Возможно, что подобные катаклизмы управляют формированием внутренней структуры галактик, они были причиной образования звезд в ранней Вселенной и влияют на аккрецию сверх-



*Шесть этапов столкновения большой и малой спиральных галактик, полученные с помощью компьютерного моделирования. Рисунок NASA.*



*Взаимодействующие галактики, находящиеся на расстоянии 2,4; 3,0; 5,3 и 6,2 млрд св. лет от Земли, внизу – их увеличенное изображение. Снимки из обзора AEGIS, выполненного в 2004–2005 гг. с помощью KTX. Фото NASA.*

массивных черных дыр в центрах галактик. Гравитационные взаимодействия и обмен массой между галактиками были очень важными факторами в их эволюции.

Поэтому детальное изучение таких галактик предоставляет замечательную возможность увидеть те процессы, которые, по-видимому, происходили на ранних стади-

ях формирования галактик и привели к наблюдаемому многообразию их свойств.

Пресс-релиз NASA,  
27 октября 2013 г.

## Информация

### **Число экзопланет увеличивается**

Американские астрономы на основе данных, переданных космической обсерваторией «Кеплер» (ESA), подтвердили обнаружение 715 новых экзопланет в системах 305 звезд. Четыре из них превышают размеры Земли не более чем в 2,5 раза и находятся в обитаемой зоне своих звезд. Предполагается, что такие объекты потенциально пригодны для поддержания жизни, аналогичной земной. Одна из планет, Kepler-296f, больше

Земли в два раза и обращается вокруг звезды, которая в два раза меньше Солнца. В начале 2014 г. было подтверждено открытие 961 экзопланеты у других звезд. Обработка данных, полученных космической обсерваторией «Кеплер», продолжается.

Земли в два раза и обращается вокруг звезды, которая в два раза меньше Солнца.

В начале 2014 г. было подтверждено открытие 961 экзопланеты у других звезд. Обработка данных, полученных космической обсерваторией «Кеплер», продолжается.

Пресс-релиз NASA,  
26 февраля 2014 г.

## НЕБЕСНЫЙ КАЛЕНДАРЬ: июль – август 2014 г.

Таблица 1

### ОСНОВНЫЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ

Дата	Время, ч	Событие
<b>Июль</b>		
1	12	Меркурий переходит от попятного движения к прямому
1	21	Венера проходит в $4,1^\circ$ севернее Альдебарана ( $\alpha$ Тельца)
4	2	Земля в афелии
5	11	<b>Луна в первой четверти</b>
6	1	Луна проходит в $0,5^\circ$ южнее Марса
8	2	Луна проходит в $1^\circ$ южнее Сатурна
12	11	<b>Полнолуние</b>
12	19	Меркурий в наибольшей западной элонгации ( $21^\circ$ )
13	8	Луна в перигее
19	2	<b>Луна в последней четверти</b>
21	15	Сатурн переходит от попятного движения к прямому
22	8	Уран переходит от прямого движения к попятному
24	17	Луна проходит в $5^\circ$ южнее Венеры
24	20	Юпитер в соединении с Солнцем
25	14	Луна проходит в $5^\circ$ южнее Меркурия
26	22	<b>Новолуние</b>
28	3	Луна в апогее
<b>Август</b>		
3	11	Луна проходит в $2^\circ$ севернее Марса
4	0	<b>Луна в первой четверти</b>
4	10	Луна проходит в $1^\circ$ южнее Сатурна
8	16	Меркурий в верхнем соединении с Солнцем
10	18	<b>Полнолуние</b>
10	18	Луна в перигее

Таблица I (окончание)

Дата	Время, ч	Событие
17	12	<b>Луна в последней четверти</b>
18	5	Венера проходит в $0,2^\circ$ севернее Юпитера
23	13	Луна проходит в $6^\circ$ южнее Юпитера
24	2	Луна проходит в $6^\circ$ южнее Венеры
24	6	Луна в апогее
25	14	<b>Новолуние</b>
25	19	Марс проходит в $3,4^\circ$ южнее Сатурна
27	2	Луна проходит в $4^\circ$ южнее Меркурия
29	14	Нептун в противостоянии с Солнцем
31	19	Луна проходит в $0,5^\circ$ южнее Сатурна

*Примечание.* Во всех таблицах и тексте дано Всемирное время (UT), кроме особо оговоренных случаев.

Таблица II

## ЭФЕМЕРИДА СОЛНЦА

Дата	$\alpha$		$\delta$		$45^\circ$		$55^\circ$		$65^\circ$	
					восход	заход	восход	заход	восход	заход
	ч	м	$^\circ$	'	ч : м	ч : м	ч : м	ч : м	ч : м	ч : м
Июль 1	06	39	+ 23	08	04:18	19:54	03:26	20:46	01:15	22:57
11	07	20	+ 22	10	04:25	19:50	03:36	20:39	01:44	22:31
21	08	00	+ 20	34	04:34	19:43	03:50	20:26	02:19	21:58
31	08	40	+ 18	23	04:45	19:32	04:07	20:10	02:54	21:23
Август 10	09	18	+ 15	42	04:56	19:19	04:25	19:50	03:28	20:47
20	09	56	+ 12	36	05:08	19:03	04:44	19:27	04:01	20:10
30	10	32	+ 09	11	05:20	18:46	05:03	19:03	04:33	19:33

*Примечание.* В таблице дано среднее солнечное время.

**Пример.** Определить время захода Солнца 24 августа 2014 г. в Ростове-на-Дону (широта –  $47^\circ 17'$ , долгота –  $2^\circ 39^m$ , 2-я часовая зона). Пользуясь Таблицей II, интерполируем по широте значение времени восхода Солнца на 24 августа, получаем  $19^h 00^m$ . Вычтем из него долготу места, прибавим номер часового пояса и два часа для учета декретного и летнего времени, получим  $21^h 21^m$ .

## ЭФЕМЕРИДЫ ПЛАНЕТ

Дата	$\alpha$		$\delta$		m	d	F	Продолжительность видимости для разных широт, ч			Период видимости	
	ч	м	°	'				45°	55°	65°		
<b>Меркурий</b>												
Июль	01	05	35,5	+18	45	2,5	10,5	0,11	–	–	–	Утро
	11	05	51,0	+20	16	0,5	8,2	0,32	–	–	–	
	21	06	41,6	+22	10	–0,6	6,4	0,62	0,5	–	–	
Август	31	08	00,7	+21	34	–1,4	5,3	0,92	–	–	–	
	10	09	26,2	+16	56	–2,0	4,9	1,00	–	–	–	
	20	10	40,0	+09	55	–0,8	5,0	0,94	–	–	–	
30	11	41,4	+02	16	–0,3	5,3	0,85	–	–	–		
<b>Венера</b>												
Июль	01	04	28,9	+20	22	–3,9	12,1	0,85	1,2	1,7	–	Утро
	11	05	19,7	+22	06	–3,8	11,6	0,88	2,1	2,0	–	Утро
	21	06	11,8	+22	50	–3,8	11,2	0,90	2,1	2,1	0,7	Утро
Август	31	07	04,3	+22	29	–3,8	10,9	0,92	2,0	2,1	2,0	Утро
	10	07	56,4	+21	04	–3,8	10,6	0,94	1,8	2,0	2,3	Утро
	20	08	47,4	+18	37	–3,8	10,4	0,95	1,6	1,8	2,1	Утро
	30	09	36,9	+15	18	–3,9	10,2	0,97	1,3	1,5	1,8	Утро
<b>Марс</b>												
Июль	01	13	06,2	–07	34	0,0	09,5	0,88	3,9	2,5	–	Вечер
	11	13	21,9	–09	22	0,2	08,9	0,87	3,4	2,0	–	Вечер
	21	13	39,7	–11	16	0,3	08,4	0,87	3,0	1,6	–	Вечер
Август	21	13	59,4	–13	15	0,4	07,9	0,87	2,7	1,3	–	Вечер
	10	14	21,0	–15	15	0,5	07,5	0,87	2,4	1,0	–	Вечер
	20	14	44,2	–17	12	0,6	07,2	0,87	2,2	0,9	–	Вечер
	30	15	09,1	–19	03	0,6	06,9	0,87	2,1	0,8	–	Вечер
<b>Юпитер</b>												
Июль	01	07	54,0	+21	14	–1,7	31,7	1,00	–	–	–	Утро
	11	08	03,2	+20	49	–1,7	31,5	1,00	–	–	–	
	21	08	12,5	+20	21	–1,7	31,4	1,00	–	–	–	
Август	31	08	21,7	+19	52	–1,6	31,4	1,00	–	–	–	
	10	08	30,8	+19	22	–1,6	31,5	1,00	0,2	–	–	
	20	08	39,8	+19	50	–1,7	31,7	1,00	1,5	1,6	1,4	
30	08	48,4	+18	18	–1,7	32,0	1,00	2,2	2,5	3,0		
<b>Сатурн</b>												
Июль	01	14	59,9	–14	35	0,4	18,0	1,00	5,1	2,4	–	Вечер
	11	14	58,9	–14	33	0,4	17,7	1,00	4,5	2,9	–	Вечер
	21	14	58,6	–14	34	0,5	17,4	1,00	3,9	2,4	–	Вечер
Август	31	14	48,9	–14	38	0,5	17,2	1,00	3,4	2,0	–	Вечер
	10	14	59,8	–14	45	0,6	16,9	1,00	3,0	1,7	–	Вечер
	20	15	01,3	–14	54	0,6	16,6	1,00	2,6	1,4	–	Вечер
	30	15	03,5	–15	06	0,6	16,3	1,00	2,2	1,1	–	Вечер

Примечание. Координаты даны на момент 0<sup>ч</sup> Всемирному времени, F – фаза планеты.

## ВИДИМОСТЬ ПЛАНЕТ

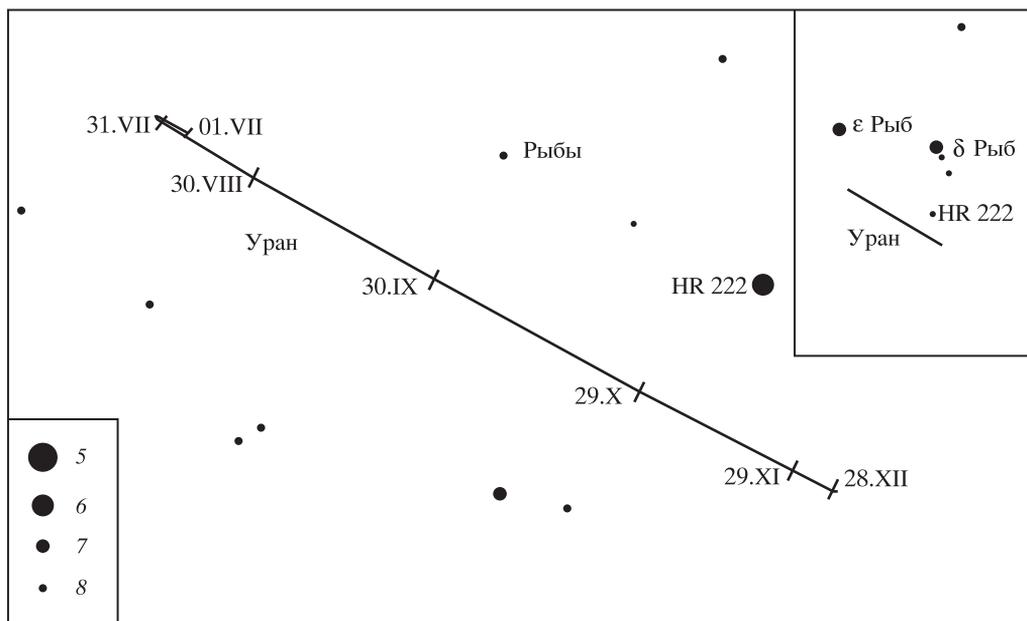
**Меркурий** 1 июля переходит от попятного движения к прямому, 12 июля он окажется в наибольшей западной элонгации ( $21^\circ$ ). Видеть ближайшую к Солнцу планету можно в утреннее время в южных широтах нашей страны не более получаса с середины июля по 25 июля. Меркурий быстро приближается к Солнцу и 8 августа будет находиться в соединении с ним. Луна пройдет недалеко от Меркурия 25 июля.

**Венера** в июле и августе видна в утреннее время. В северных широтах нашей страны до середины июля она не видна. В средних широтах и на юге нашей страны продолжительность утренней видимости Венеры в июле и августе не более двух часов. 1 июля она проходит в  $4,1^\circ$  севернее звезды Альдебаран ( $\alpha$  Тельца). Венера продолжает удаляться от Земли, ее видимый угловой диаметр уменьшается с  $12,1''$  в начале июля до  $10,2''$  в конце ав-

густа. 18 августа Венера будет в  $0,2^\circ$  севернее Юпитера. Луна пройдет недалеко от Венеры 24 июля и 25 августа.

**Марс** в июле перемещается по созвездию Девы, 10 августа переходит в созвездие Весов и постепенно удаляется от Земли. Его видимый угловой диаметр уменьшается с  $9,5''$  в начале июля до  $6,9''$  в конце августа. В северных широтах Красная планета не видна, на средних и южных широтах продолжительность ее видимости постепенно сокращается. Луна пройдет недалеко от Марса 6 июля и 3 августа. 25 августа он окажется в  $3,4^\circ$  южнее Сатурна.

**Юпитер** в июле не виден, 24 июля он находится в соединении с Солнцем. Видимость этой планеты-гиганта начинается примерно в середине августа в утреннее время в созвездии Рака.



*Видимый путь на небесной сфере Урана в июле – декабре 2014 г. На врезке – звезды  $\epsilon$  Рыб и  $\delta$  Рыб.*

23 августа недалеко от Юпитера пройдет Луна.

**Сатурн** в июле и августе перемещается по созвездию Весов. 21 июля он переходит от попятного движения к прямому. Видимый угловой диаметр планеты уменьшается с 18,0" в начале июля до 16,3" в конце августа. В северных широтах нашей страны Сатурн не виден, на средних и южных широтах продолжительность его видимости постепенно сокращается. Луна про-

дет недалеко от Сатурна 8 июля, 4 и 31 августа.

**Уран** появится в августе в южной части созвездия Рыб. Его блеск – чуть больше 6<sup>m</sup> – позволяет зорким людям увидеть эту планету-гигант невооруженным глазом. 22 июля Уран переходит от прямого движения к попятному. Противостояние Урана и Солнца состоится 7 октября. 22 декабря он переходит от попятного движения к прямому.

Таблица IV

#### ЭФЕМЕРИДЫ УРАНА

Дата	$\alpha$		$\delta$		m	d
	ч	м	°	'		
Июль 1	01	00,5	+05	43	5,8	3,4
31	01	01,0	+05	46	5,8	3,5
Август 30	00	59,0	+05	33	5,7	3,6
Сентябрь 30	00	55,1	+05	08	5,7	3,6
Октябрь 29	00	50,7	+04	40	5,7	3,6
Ноябрь 28	00	47,4	+04	21	5,8	3,5
Декабрь 28	00	46,6	+04	17	5,8	3,4

#### МЕТЕОРНЫЙ ПОТОК ПЕРСЕИДЫ

В августе ежегодно любители астрономии готовятся к наблюдению одного из самых известных метеорных потоков – **Персеиды**, максимум которого в 2014 г. ожидается 13 августа. Зенитное часовое число (ZHR) – около 100 метеоров или немного меньше. Значительной помехой при наблюдениях потока станет почти полная Луна (10 августа – полнолуние). Радиант ме-

теорного потока:  $\alpha = 49^\circ$ ,  $\delta = +58^\circ$ . Скорость метеоров – 59 км/с. Метеорный поток Персеиды образуется в результате прохождения Земли через шлейф пылевых частиц, выпущенных кометой 109P/Свифта – Туттля. В 2011 г. ZHR потока достигло 58 метеоров, в 2012 г. – 122 метеоров, в 2013 г. – 109 метеоров. Интересно, каким оно будет в 2014 г.?

*В.И. ЩИВЬЁВ  
г. Железнодорожный (Московская обл.)*

## Яркие кометы в 2013 году

Для наблюдателей космических странниц 2013 г. выдался очень насыщенным благодаря

двум красивым и довольно ярким кометам ISON (открытой в российской обсерватории, располо-

женной близ Кисловодска) и PANSTARRS (Земля и Вселенная, 2013, № 1, с. 90–91; 2013, № 2, с. 87–88; 2013, № 5, с. 101–103). Прежде всего, расскажем о них и о том, что с ними случилось после прохождения перигелия 10 марта (PANSTARRS) и 28 ноября (ISON).

Комета **C/2011 L4 (PANSTARRS)** открыта 6 июня 2011 г. в ходе работы автоматического обзора неба PanSTARRS (Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System – телескоп панорамного обзора и быстрого реагирования), расположенного на Гавайских островах (США). В этот момент она находилась в северной части созвездия Скорпион почти в восемь раз дальше от Солнца, чем Земля, ее яркость была близка к 19<sup>м</sup>. Комета обладала маленькой комой, различимой на снимках, полученных с использованием крупных телескопов (Земля и Вселенная, 2013, № 4, с. 13).

Как и большинство других комет, PANSTARRS пришла из Облака Оорта,

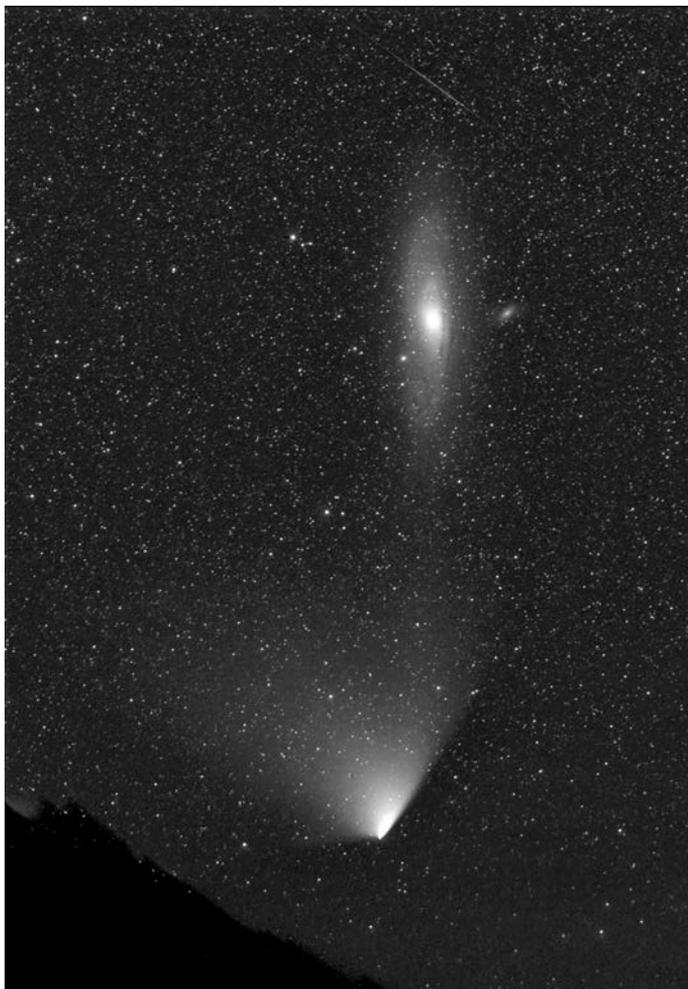


*Комета C/2011 L4 (PANSTARRS) с пылевым хвостом сложной структуры и невыразительным ионным хвостом (справа от пылевого). 19 марта 2013 г. Фото М. Егера (Австрия).*

ее перигелий – 0,3016 а.е., наклонение орбиты – 84,19°. 5 марта 2013 г. она прошла на расстоянии 1,09 а.е. от Земли, через 5 сут – перигелий, после чего период обращения снизился до 110 тыс. лет.

Сразу после открытия любители астрономии воодушевились: вблизи перигелия, вероятно, C/2011 L4 может стать довольно яркой. Но прогнозы оказались необоснованными: поверхность ядра кометы, впервые проникшей внутрь Солнечной системы (как, вероятно, и C/2011 L4), богата легкоплавкими летучими веществами и проявляет активность уже на больших гелиоцентрических расстояниях. Ближе к Солнцу у подобных комет обычно снижаются темпы роста яркости. Так произошло и с кометой PANSTARRS: при сближении с Солнцем на 4 а.е. градиент роста ее яркости (параметр 2.5n в фотометрической системе С.В. Орлова, 1911) уменьшился в два раза, с 15 до 7.

В течение нескольких месяцев после открытия PANSTARRS перемещалась в Стрельце, Весах и Гидре, ее яркость незначительно увеличивалась, после чего комета вступила в соединение с Солнцем. В январе 2012 г. она вновь стала доступна для наблюдений (16<sup>m</sup>), а к осени 2012 г., моменту своего очередного соединения, достигла 11<sup>m</sup>. Видимый диаметр ее

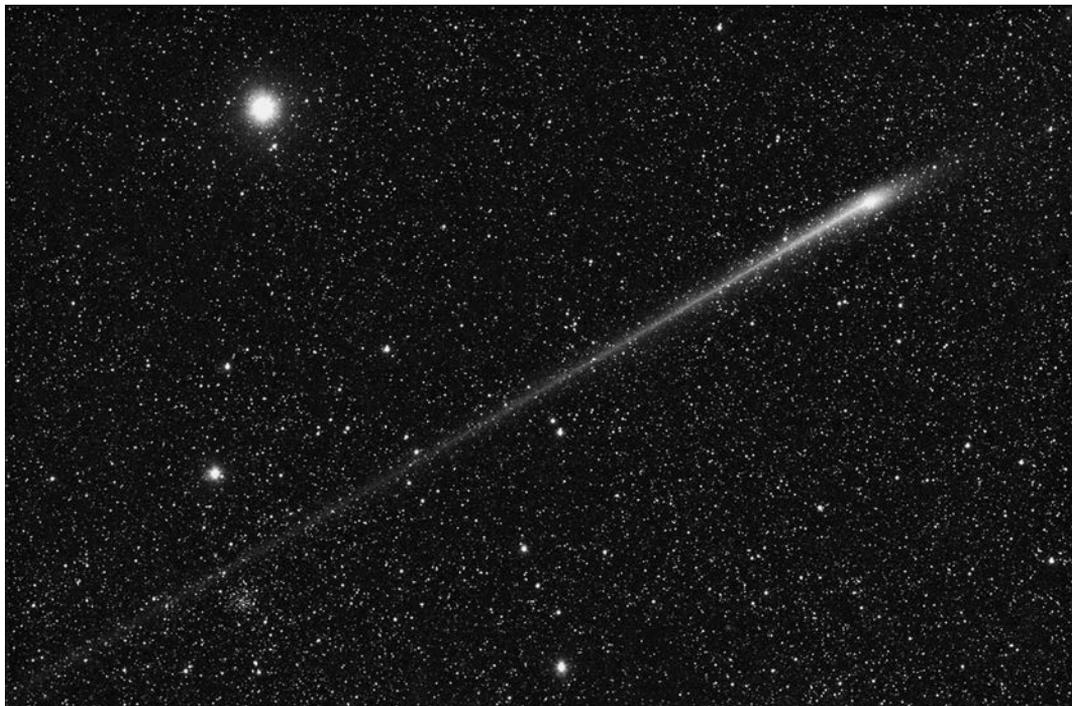


*Комета C/2011 L4 (PANSTARRS) с веерным хвостом и туманность Андромеды (M31; вверху). 1 апреля 2013 г. Фото М. Егера (Австрия).*

комы в период с января по октябрь 2012 года увеличился с 0,3–0,5' до 2', что соответствует размеру от 60–100 тыс. км до 400 тыс. км. В начале февраля 2013 г. при сближении с Солнцем у кометы появился ионный хвост, в то время как пылевой наблюдался по крайней мере с весны 2012 г. Ионный хвост

был прозрачным из-за необычно высокого соотношения пыли и летучих веществ в ядре кометы. В середине февраля, когда яркость кометы достигла 5<sup>m</sup>, в Южном полушарии она наблюдалась невооруженным глазом. К концу месяца блеск возрос до 2,5<sup>m</sup>.

После прохождения перигелия C/2011 L4 пе-



реместилась в северную полусферу неба, двигаясь по созвездиям Андромеды, Цефея, Кассиопеи, Малой Медведицы, Дракона. С каждым вечером она поднималась все выше над северо-западным горизонтом, имея компактную, сильно сконденсированную кому и оранжевый хвост длиной  $0,5^\circ$ , ее максимальная яркость составила  $1,5^m$ . По мере увеличения высоты над горизонтом пылевой хвост становился длиннее, шире и достиг углового размера  $2^\circ$ , что соответствует длине около 10 млн. км. Он обрел веерообразную форму, распространившись более чем на  $90^\circ$  по дуге. 4 апреля 2013 г. блеск кометы стал слабее  $4^m$ , своим хвостом она «за-

дела» самую яркую галактику северного неба – Туманность Андромеды (M31). Это соединение стало благоприятным событием для любителей астрофотографии.

Несмотря на довольно высокую максимальную яркость, согласно классификации ярких комет Джо Рау (США), C/2011 L4 можно отнести лишь к третьей, низшей категории ярких комет, частота их появления – раз в 4–5 лет. Комета не стала большой кометой, потому что была плохо видна без оптики и «отрастала» относительно короткий хвост.

В конце мая комета сблизилась на  $5^\circ$  с Полярной звездой. 27 мая при прохождении Земли через плоскость орбиты

*Комета C/2011 L4 (PANSTARRS) с пылевым хвостом и антихвостом. 28 мая 2013 г. Фото М. Егера (Австрия).*

C/2011 L4 у кометы наблюдался узкий антихвост с тонким шипообразным уплотнением в центре, который при визуальных наблюдениях был длиной до  $2^\circ$  дуги, а на снимках превышал  $10^\circ$ ! Образование столь плотного антихвоста указывает на выделение крупных пылевых частиц, выбрасываемых ядром. К лету яркость упала до  $9^m$ , а к началу осени 2013 г. – до  $12$ – $13^m$ . Видимый диаметр комы уменьшился до  $4'$  концу весны и до  $2'$

к началу осени. В начале 2014 г. на ПЗС-снимках комета все еще демонстрировала хвост длиной около 1' при интегральной яркости 15,5<sup>m</sup>.

После перигелия яркость C/2011 L4 снижалась быстро, что необычно, и, как предполагает исследователь фотометрического поведения комет Андреас Каммерер (Германия), комета либо истощилась после довольно близкого сближения с Солнцем, либо самая активная часть ее ядра после перигелия расположилась менее благоприятно относительно солнечных лучей.

Самая ожидаемая комета года – **C/2012 S1 (ISON)** – уступила по зрелищности не только PANSTARRS, но даже

значительно более слабой C/2013 R1 (Lovejoy). Тем не менее, наблюдения и исследования кометы C/2012 S1 стали главным направлением развития кометной науки в 2013 г.

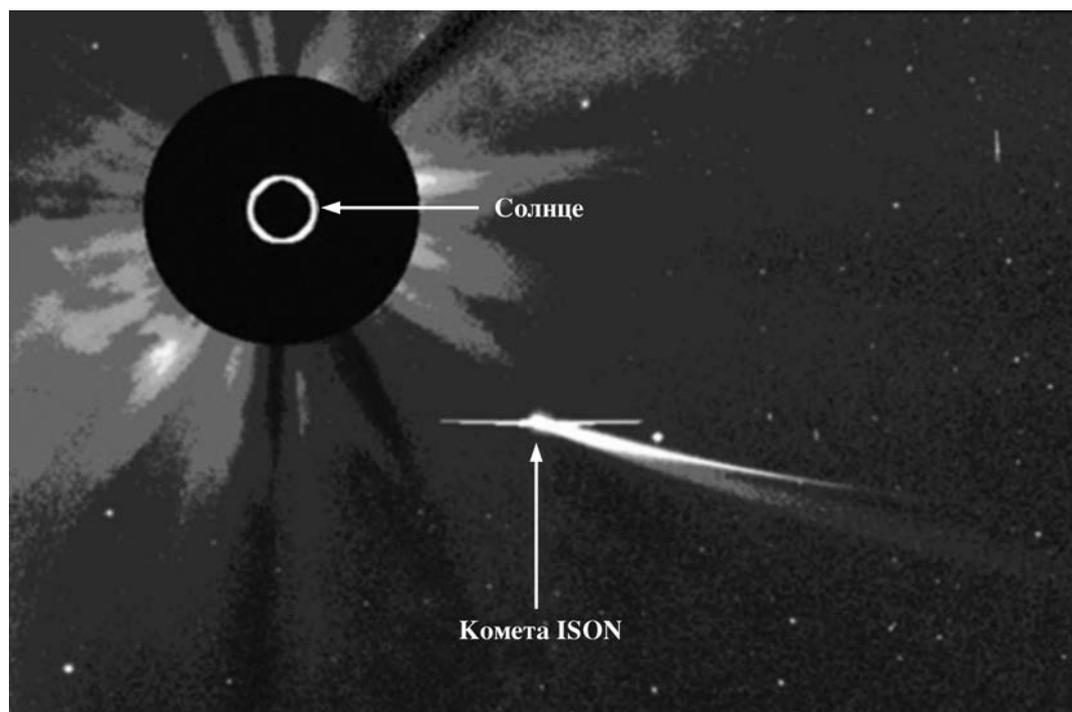
21 сентября 2012 г. комету открыли Виталий Невский и автор статьи с помощью 40-см рефлектора на обсерватории ISON-Кисловодск (плато Шаджатмаз, Северный Кавказ, около 2 тыс. м над уровнем моря), когда она находилась в созвездии Близнецов, на расстоянии 6 а.е. от Солнца, и ее яркость была 17,5<sup>m</sup>. Напомним, что основное направление деятельности обсерватории ISON-Кисловодск – отслеживание искусственных спутников Земли и

космического мусора (не функционирующие спутники, последние ступени ракет, разгонные блоки и их фрагменты). Комету назвали в честь обсерватории.

На первых полученных снимках она выглядела очень компактным объектом, его диффузность невозможно было определить достоверно. Поэтому информацию об открытии отправили в Центр малых планет без сопроводительного письма в Центральное

---

*Комета C/2012 S1 (ISON) вблизи максимальной яркости. Снимок сделан 28 ноября 2013 г. коронографом космической обсерватории «SOHO». Фото ESA, NASA.*



бюро астрономических телеграмм. Спустя сутки активность этой кометы обнаружили сами первооткрыватели, получив доступ к снимкам, сделанным Отабеком Бурхоновым на 1,5-м рефлекторе АЗТ-22 Майданакской обсерватории (Узбекистан). Кометная природа нового объекта подтвердилась на снимках многих других обсерваторий, кроме того, в архивах Центра малых планет нашлись фотографии обзоров Mt. Lemmon и PANSTARRS (28 декабря 2011 г. и 28 января 2012 г.), сделанные задолго до официального открытия.

Комета ISON прошла перигелий 28 ноября 2013 г. на расстоянии всего 0,012 а.е. от центра Солнца ( $2,7 R_{\odot}$ ). Как оказалось, эта комета не член семейства околосолнечных комет Крейца, а динамически новая, то есть в первый раз оказавшаяся внутри Солнечной системы (Земля и Вселенная, 2013, № 4, с. 55). Ее уникальность заключалась в том, что ученые впервые получили возможность современными средствами изучить комету со столь близким расстоянием перигелия, прилетевшую из глубин Облака Оорта. Относительно крупному ядру кометы предстояло очень тесное сближение со светилом, поэтому предполагалось, что, если ядро не разрушится, комета может стать

ярче Венеры. Этот факт сразу сделал объект популярным в массах любителей астрономии. К концу 2012 г. яркость кометы превысила  $16^m$ , диаметр комы –  $0,3-0,4'$ , что соответствует 60–70 тыс. км. С середины августа 2013 г. комета стала быстро увеличивать яркость и диаметр комы. К началу октября она была  $11^m$  с комой  $3,5'$ , к началу ноября яркость достигла  $9,5^m$ , размер комы –  $5-6'$  при степени конденсации (DC) 4–5. На снимках этого периода видны внутренняя пылевая кома, переходящая в хвост, и крупная зеленая внешняя газовая кома. 13 ноября на расстоянии менее 0,7 а.е. от Солнца комета подверглась вспышке яркости: в течение 48 ч темпы выделения газа и пыли во много раз увеличились, в результате чего яркость кометы возросла на  $4^m$  и достигла  $5^m$ . До 24 ноября комета регулярно наблюдалась визуально на утреннем небе как объект блеском до  $4^m$ . 27 ноября ISON появилась в поле зрения коронографа LASCO C3 космической обсерватории «SOHO». Ее яркость быстро возросла и за 12–14 ч до перигелия достигла максимального значения  $-2^m$ . Затем яркость резко ослабела, голова кометы потеряла центральную конденсацию, что свидетельствовало о распаде кометного ядра. Все попытки обнаружить ее на

дневном небе оказались безуспешными.

C/2012 S1 (ISON) – одна из самых изученных комет в истории. Астрономы ее наблюдали не только на наземных обсерваториях, но и с космической обсерватории «Свифт» и АМС «Deep Impact», в январе и феврале 2013 г. сфотографировавших комету. В апреле – мае с помощью КТХ ученые измерили размер кометы и исследовали ее поляризационные свойства, 13 июня космическая обсерватория «Спитцер» определила скорость выделения из ядра C/2012 S1 углекислого газа – около 1 тыс. т в сутки. 1 октября комета сблизилась на 0,07 а.е. с Марсом, ее изображение получил ИСМ «Марсианский орбитальный разведчик». Осенью и в декабре 2013 г. ученые снова исследовали комету с помощью КТХ и космических солнечных обсерваторий «STEREO» и «SOHO».

Комета **C/2012 K5 (LINEAR)**, открытая 25 мая 2012 г., 28 ноября 2012 г. прошла перигелий на расстоянии 1,14 а.е. от Солнца. 31 декабря 2012 г. – 1 января 2013 г. хвостатая гостья сблизилась с нашей планетой менее чем на 0,3 а.е. и стала самой интересной среди «зимних» комет в Северном полушарии. Первые визуальные наблюдения выполнены вскоре после откры-

тия, в конце июля, когда ее яркость была немногим слабее  $14^m$ , размер комы – меньше  $1'$ . К ноябрю ее блеск достиг  $11^m$  (кома –  $4'$ ), в перигелии максимальный блеск –  $8,3^m$  (кома –  $6-8'$ ). Как показывают ПЗС-наблюдения автора, после сближения яркость кометы стала резко падать (из-за быстрого отдаления от нашей планеты): 9 февраля –  $13,5^m$  (кома –  $1,2'$ ), 2 марта –  $14,6^m$  (кома –  $0,7'$ ). На протяжении большей части визуальной видимости кома была довольно конденсированной: перед перигелием степень конденсации комы равнялась  $5'$ , к моменту сближения с Землей выросла до  $7'$ , после чего значительно упала. С начала ноября 2012 г. до середины января 2013 г. у кометы визуально наблюдался пылевой хвост длиной до  $0,3^\circ$ . 30 декабря появился маленький, невыразительный антихвост, запечатленный на некоторых снимках.

Одной из любопытных и довольно ярких комет 2013 г. была **273P/Pons-Gambart**. Ее обнаружил американский астроном Роберт Матсон на снимках, полученных 7–19 ноября 2012 г. с помощью камеры SWAN космической обсерватории «SOHO». В начале декабря комета достигла максимальной яркости –  $9^m$ , размер комы – до  $4'$ . Вскоре немецкий



*Комета C/2012 K5 (LINEAR) с пылевым хвостом. 4 января 2013 г. Фото Р. Лигустри (Италия).*

исследователь и наблюдатель комет, один из авторов всемирно известной «Кометографии» Майк Мейер предположил, что это тот же объект, что и короткопериодическая комета, открытая 21 июня 1827 г. французскими астрономами Ж.-Л. Понсом и А. Гамбаром. Дополнительные наблюдения показали, что комета обращается по гелиоцентрической орбите с афелием  $64,7$  а.е., перигелием  $0,81$  а.е., наклоном  $136,4^\circ$  и периодом обра-

щения 188 лет; следовательно, текущее появление стало первым после открытия. Близ перигелия, в третьей декаде декабря 2012 г., комета исчезла в сумерках, вновь доступной для наблюдений стала в середине января, уже ослабев на  $0,5-1^m$ . В феврале – марте диаметр комы составлял  $2-3'$ , в апреле уменьшился до  $1,5'$  (при блеске  $14^m$ ). В момент открытия кома была довольно конденсированной ( $DC \sim 5$ ), но с каждым месяцем становилась диффуз-



нее – в апреле  $DC \sim 2$ , но хвост не был зафиксирован.

Небольшую комету **C/2012 T5 (Bressi)** обнаружил 14 октября 2012 г. американский астроном Т.Х. Бресси на снимках обзора неба Spacewatch (Аризона, США), когда ее яркость была чуть выше  $18^m$ . Комета прошла перигелий 24 февраля 2013 г. на расстоянии 0,32 а.е. от Солнца. Ее абсолютный блеск был значительно ниже предела Бортля, поэтому изначально предполагалось, что комета распа-

дется при прохождении перигелия. После открытия она постепенно перемещалась в созвездии Кита, первые визуальные наблюдения выполнены в начале января 2013 г. ( $12^m$ ). 2 февраля произошла кратковременная вспышка: блеск возрос с  $10,5^m$  до  $9^m$  при значительной конденсированности комы ( $DC \sim 5-6$ ). Майкл Маттьяццо (Австралия) сообщил, что 4–5 февраля лишь за сутки яркость кометы упала с  $9,2^m$  до  $10,5^m$ . Вероятно, вспышка предшествовала рас-

*Комета C/2012 F6 (Lemmon) с ионным (вверху) и пылевым (ниже) хвостами. 14 мая 2013 г. Фото Р. Лигустри (Италия).*

паду кометы, произошедшему на расстоянии 0,7–0,8 а.е. от Солнца, в этот момент размер комы составил около  $2'$  (90–100 тыс. км), в конце января длина хвоста достигала 5–7'.

Комету **C/2012 F6 (Lemmon)** открыл 23 марта 2012 г. американский астроном Р.А. Гиббс с помощью 1,5-м рефлектора

на снимках обзора неба Mt. Lemmon (Аризона, США) в созвездии Льва, ее блеск –  $20,7^m$ . После открытия комета наращивала яркость быстрее, чем ожидалось, благодаря чему к середине декабря 2012 г. ее блеск вырос до  $9,5^m$ . На расстоянии 1,9 а.е. от Солнца темпы роста яркости замедлились, 18 марта 2013 г.,

за неделю до перигелия (0,73 а.е.), C/2012 F6 достигла максимальной яркости  $4,4^m$ . Вблизи максимума комету могли наблюдать только в Южном полушарии. После перигелия яркость снижалась медленнее, чем возрастала до перигелия ( $2,5n = 8-11$ ), в результате чего в конце декабря 2013 г. комета была чуть слабее  $14^m$ . В конце января 2013 г. диаметр комы кометы стал максимальным (более  $10'$ , 500 тыс. км), перед перигелием и после него он составлял  $7-10'$  (до

600 тыс. км), а к середине сентября уменьшился до  $3-4'$  (300 тыс. км). С середины января до конца августа 2013 г. у кометы наблюдался выразительный хвост длиной до  $2,5^\circ$ , на снимках – до  $6^\circ$ .

Довольно яркой ( $10^m$ ) стала и комета **C/2012 L2 (LINEAR)**, прошедшая перигелий 9 мая 2013 г. на расстоянии 1,5 а.е. от Солнца. 1 июля 2012 г. ее обнаружили в созвездии Цефея при блеске около  $18^m$ . 12 сентября комета ( $17^m$ ) менее чем на  $8'$  сблизилась с Полярной звездой. В середине

---

*Кома кометы 2P/Энке (внизу) и линзовидная галактика NGC 4429 ( $10,2^m$ ) в созвездии Дева. 31 октября 2013 г. Фото М. Егера (Австрия).*





ноября 2012 г. сделаны первые визуальные наблюдения, когда комета имела яркость чуть выше  $15^m$ , размер комы –  $0,5'$ . В течение нескольких месяцев после открытия хвостатая странница наращивала блеск, а в начале 2013 г. с расстояния 2,2 а.е. от Солнца темпы роста яркости выросли вдвое: в феврале блеск равнялся  $12^m$  (кома –  $2'$ ), в марте составлял  $11^m$  (кома –  $3-4'$ ). Максимальной яркости ( $9,6^m$ ) комета достигла в первой декаде мая 2013 г. при элонгации около  $35^\circ$ , когда располагалась в созвездии Ориона и была доступна наблюдениям только из Южного полушария и

приэкваториальных широт. В этот же период зафиксирован максимальный диаметр комы ( $5'$ , 500 тыс. км). С момента открытия на снимках наблюдался пылевой хвост длиной до  $1'$ . После перигелия яркость C/2012 L2 быстро ( $2,5n \sim 30$ ) снизилась и в октябре 2013 г. была уже  $17-18^m$ .

Комета **C/2012 V2 (LINEAR)** открыта 5 ноября 2012 г. в Цефее, ее блеск был  $16,5^m$  (кома –  $0,4'$ ), прошла перигелий 16 августа 2013 г. на расстоянии 1,45 а.е. от Солнца. После открытия комета двигалась на юг, к середине апреля 2013 г. достигла блеска  $14,3^m$  и стала невидимой

*Кома кометы 154P/Brewington. 23 декабря 2013 г. Фото Р. Лигустри (Италия).*

из-за соединения с Солнцем. После соединения в первой половине августа хвостатую гостью увидели в Южном полушарии, ее яркость увеличилась и стала  $9^m$ . В конце августа – начале сентября 2013 г. максимальная яркость значительно конденсированной ( $DC = 5$ ) головы кометы равнялась  $8,8^m$  при диаметре комы  $4'$  (300 тыс. км). К началу 2014 г. яркость кометы упала до  $13^m$  (кома –  $1'$ ). В период максимальной яркости комета демонстрировала довольно ши-

рокий красивый пылевой хвост длиной 0,3–0,4°. На снимках, сделанных в августе и сентябре 2013 г., был заметен невыразительный ионный хвост.

21 ноября 2013 г. состоялось очередное прохождение перигелия (0,33 а.е.) самой короткопериодической кометы – **2P/Энке** (период обращения 3,3 года). В первой половине августа 2013 г. ее активность начала проявляться на гелиоцентрическом расстоянии 1,8–1,9 а.е., после чего за месяц образовалась очень обширная диффузная (DC = 0–1) кома размером 3–4', интегральная

яркость возросла с 18 до 13<sup>m</sup>, к началу октября она увеличилась до 9–10<sup>m</sup> и до 7,5<sup>m</sup> – к началу ноября (кома – 7–9'). К 25 октября диаметр комы вырос до 3–4', резко увеличился до 7–8' к 10 ноября, когда комета скрылась в утренних сумерках. В начале ноября на расстоянии от Солнца менее 0,8 а.е. у нее возник узкий ионный хвост длиной 1°.

В декабре 2013 г. комета **154P/Brewington** с периодом обращения вокруг Солнца 11 лет прошла точку перигелия (1,6 а.е.) при максимальной яркости 11<sup>m</sup>. Это ее третий перигелий с момента открытия в 1992 г. В данный период комета выглядела сильно диффузным объектом (кома – 5–6', DC – 2–3) и ее наблюдали в любительские телескопы.

Перед перигелием она быстро наращивала яркость (градиент 2.5п, вероятно, близок к 50). В начале сентября выполнены первые визуальные наблюдения (блеск – около 14<sup>m</sup>, кома – 1'), в начале октября яркость была чуть слабее 12<sup>m</sup> (кома – 3–4'). Диаметр комы увеличился с 50 тыс. км в сентябре до 250 тыс. км к ноябрю.

С точки зрения эффективности для рядового наблюдателя второе место в этом году, бесспорно, заняла комета **C/2013 R1 (Lovejoy)** благодаря яркой конденсированной коме и длинному бинокулярному хвосту. Для ее первооткрывателя Терри Лавджоя эта комета стала уже четвертым открытием, включая знаменитую C/2011 W3 (Lovejoy).

---

*Комета C/2013 R1 (Lovejoy) с газовым хвостом. 10 декабря 2013 г. Фото Д. Пича (Англия).*





Открытие сделано 7 сентября 2013 г. близ границ созвездий Единорога и Ориона, когда ее блеск был  $13^m$ . Комета выглядела диффузным и слегка вытянутым объектом с размером комы  $1'$ . Далее яркость кометы возрастала с градиентом  $2.5n = 16$ , в результате в начале октября блеск достиг  $10,5^m$  (диаметр –  $DC = 3-4$ ), а в начале ноября –  $7^m$  (диаметр –  $10-14'$ ,  $DC = 5$ ). Ближе всего к Земле ( $0,4$  а.е.) комета подошла 19 ноября, за месяц до перигелия (22 декабря 2013, гелиоцентрическое расстояние –  $0,8$  а.е.). В конце ноября – начале декабря ее яркость стала максимальной ( $5^m$ ). Диаметр значительно конденсированной ( $DC = 6$ ) комы кометы составлял  $12-14'$ , вблизи перигелия конденсация увеличилась до  $7$ . В конце октября на расстоянии  $1,3$  а.е.

от Солнца возник ионный хвост, через несколько дней на изображениях появился и накладывающийся на него пылевой хвост. В период максимальной яркости совокупность хвостов длиной более  $2^\circ$  легко было наблюдать визуально с биноклями. В середине января 2014 г. при яркости кометы около  $7^m$  хвост все еще было несложно наблюдать визуально. В ноябре – декабре 2013 г. максимальный диаметр комы превысил  $350$  тыс. км.

В заключение расскажем о трех кометах, открытых в России и СНГ. Самую яркую из них, **C/2013 V3 (Nevski)**, Виталий Невский обнаружил 6 ноября 2013 г. в обсерватории ISON-Кисловодск с использованием  $19$ -см телескопа «Genon» конструкции Геннадия Борисова. При открытии комета облада-

*Комета C/2013 V3 (Nevski). 7 и 11 ноября 2013 г. Фото В. Невского (Россия, Белоруссия).*

---

ла вытянутой комой диаметром  $2-3'$  и яркостью около  $13^m$ , период обращения –  $45$  лет. Вскоре после открытия произошла вспышка, и яркость кометы повысилась: 11 ноября достигла  $12^m$ , 12 ноября превысила  $10^m$ , а 13 ноября –  $9^m$ . 11 ноября Леонид Еленин на снимках, полученных с помощью  $0,4$ -м рефлектора обсерватории ISON-NM, зафиксировал слабый ионный хвост длиной  $4'$ , наблюдавшийся несколько дней. После нестандартной вспышки с постепенным увеличением яркости комета стала крупным диффузным объектом ( $DC = 3$ ). Максимальный диаметр комы во время вспышки превысил

300 тыс. км. В начале декабря, спустя три недели, комета все еще уверенно наблюдалась визуально как крупный (около 6') и очень диффузный ( $DC = 1-2$ ) объект блеском  $10^m$ . Затем яркость кометы падала, в конце декабря она была около  $12-12,5^m$ .

Две кометы, открытые Геннадием Борисовым, также обнаружены с использованием 19-см телескопа «Genon». Первая из них, **C/2013**

**N4 (Borisov)**, открыта 8 июля 2013 г., когда комета перемещалась по созвездию Возничего (блеск –  $13,5^m$ , диаметр комы –  $1,5'$ ). В течение месяца после открытия комета (период обращения вокруг Солнца – 355 лет) стремительно нарастила яркость ( $2.5 \text{ п} \sim 50$ ) до  $11^m$  (кома –  $3'$ , более 300 тыс. км). Она прошла перигелий 21 августа 2013 г. на расстоянии 1,2 а.е. от Солнца. Столь высокая яркость сохрани-

лась до октября, потом стала падать. Вторая комета, **C/2013 V2 (Borisov)**, открыта 6 ноября 2013 г., ее блеск был около  $17^m$  и, согласно прогнозам, вблизи перигелия (14 октября 2014 г. на расстоянии 3,5 а.е. от Солнца) может достичь  $15^m$ .

А.О. НОВИЧОНОК

*Обсерватория*

*Петрозаводского*

*госуниверситета*

*Обсерватория «Ка-Дар»*

---

## Информация

---

### Фрагменты кометы упали на Землю

Сотрудники Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константинова и гляциологи Арктического и Антарктического НИИ Росгидромета в Антарктиде неподалеку от российской научной станции Восток намереваются собрать мельчайшие фрагменты кометы C/2012 S1 (ISON). Организовал уникальный экспери-

мент руководитель группы криоастробиологии Института ядерной физики кандидат биологических наук С.А. Булат, участник 59-й российской антарктической экспедиции.

Пылинки этой кометы настолько малы (около микрона), что их нельзя увидеть невооруженным глазом, поэтому ученые соберут снег с пылью вещества кометы на двухслойный полиэтилен шириной 1 м и длиной 150 м. Затем рулоны будут свернуты, запаяны, туда закачают газ аргон для вытеснения воздуха и доставят в Петербург, где космическую пыль извлекут и изучат. Цель экс-

перимента – определить состав космической пыли возрастом 4,6 млрд лет.

Напомним, что комета ISON прошла перигелий 28 ноября 2013 г. на слишком близком расстоянии от Солнца и ее ядро разрушилось, затем вещество рассеялось по траектории движения кометы (см. статью А.О. Новичонка в этом номере). 16 января 2014 г. кометные осколки пересекли орбиту Земли, их часть выпала на поверхность в районе Антарктиды.

По материалам ИТАР-ТАСС,

17 января 2014 г.

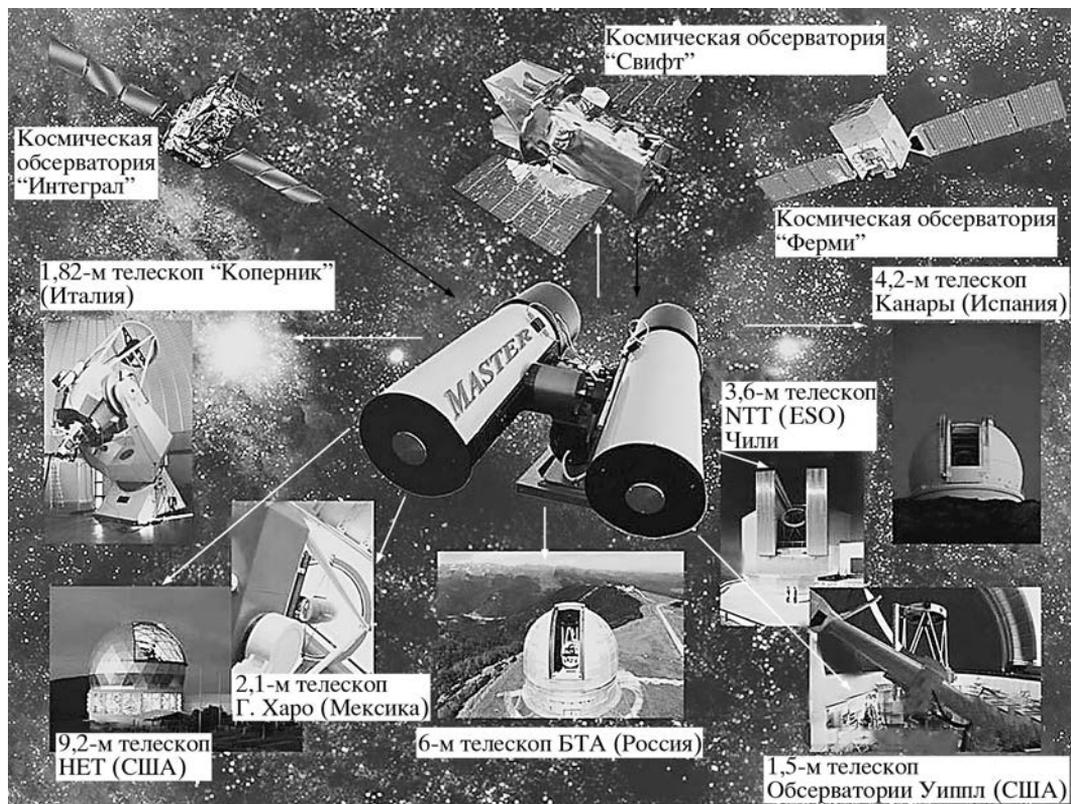
### Система «МАСТЕР»

На базе ГАИШ МГУ при участии трех университетов – Уральского, Иркутского и Благовещенского педагогического – создана система телескопов «МАСТЕР» (мобильная астрономическая система телескопов-роботов). Она состоит из пяти ав-

тономных телескопов, расположенных на территории России, еще два строятся за рубежом – в Испании и Аргентине. Главная задача сети телескопов – наблюдение момента активности гамма-всплесков в оптическом диапазоне. Такие катастрофы протекают за очень короткое время – от нескольких минут и до десятых долей секунд. Гамма-всплески – самые мощные явления в нашей Вселенной, они выделяют энергию в миллионы раз больше, чем квазары. С помощью системы «МАСТЕР» открыты близкие сверхно-

вые, крупные астероиды, карликовые новые, в общей сложности сделано 20–30% мировых открытий. Руководитель проекта – доктор физико-математических наук В.М. Липунов (Земля и Вселенная, 2011, № 3). Официальный сайт проекта: <http://observ.pereplet.ru>.

В системе «МАСТЕР» используются восемь 40-см широкоугольных оптических телескопов, работающих в автоматическом режиме, установленных в разных точках Земли. Каждую ночь они быстро осматривают большие участки неба и в



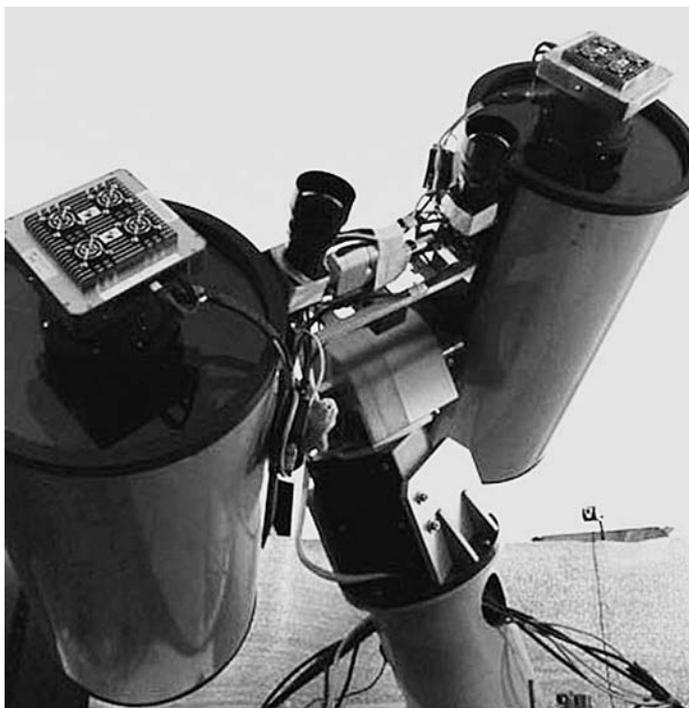
Международные и российские программы космических наблюдений, с которыми сотрудничает «МАСТЕР».

*40-см телескопы системы  
«МАСТЕР».*

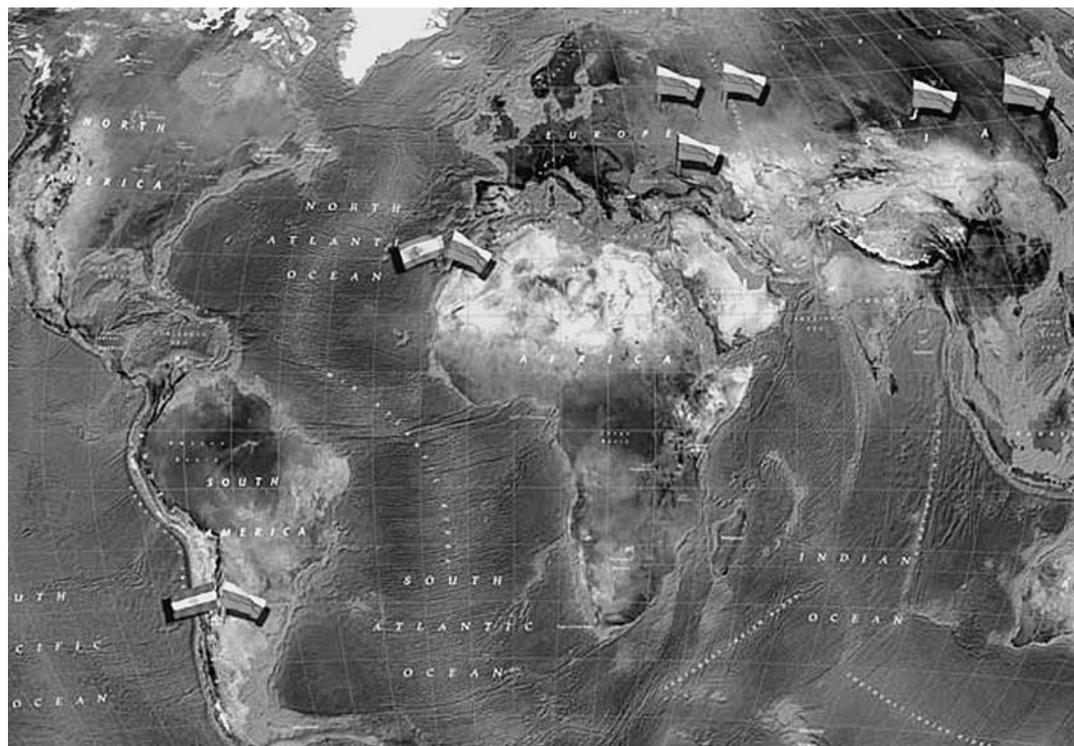
---

режиме реального времени обрабатывают эти изображения. Компьютер выполняет астрометрию кадра, определяет астрофизический тип объекта – сверхновая звезда, астероид, новая звезда или гамма-всплеск. Наблюдение таких быстротечных и мощных явлений – очень сложная задача, которую впервые удалось решить системе «МАСТЕР».

Пресс-релиз ФИАН,  
14 ноября 2013 г.



*Места базирования теле-  
скопов системы «МАСТЕР».*



Ф.СП-1	<b>АБОНЕМЕНТ</b>		70336 (индекс издания)								
	на газету журнал										
<b>Земля и Вселенная</b> (наименование издания)		Количество комплектов									
на ___ год по месяцам:											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Куда		(почтовый индекс)			(адрес)						
Кому					(фамилия, инициалы)						
ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА					70336 (индекс издания)						
ПВ	место	литер	на газету журнал								
<b>Земля и Вселенная</b> (наименование издания)											
Стоимость	подписки пере-адресовки	___ руб. ___ коп.		Количество комплектов							
		___ руб. ___ коп.									
на ___ год по месяцам:											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Куда		(почтовый индекс)			(адрес)						
Кому					(фамилия, инициалы)						

## Информация

### Российский прибор для изучения Юпитера

Ученые Московского физико-технического института примут участие в создании прибора, который войдет в состав научного оборудования АМС «JUICE» (Jupiter

ICE Moon Explorer – исследователь ледяных спутников Юпитера; NASA – ESA), запуск которой намечен на июнь 2022 г., прибытие в систему Юпитера – в 2030 г. Главной задачей станции станет изучение Юпитера и четырех его спутников – Европы, Ио, Ганимеда, Каллисто (Земля и Вселенная, 2009, № 4).

В открывшейся в МФТИ лаборатории будет создан терагерцевый гетеродинный детектор, который позволит

напрямую установить скорости потоков ветра в разных слоях атмосферы Юпитера. С его помощью можно будет определить состав океанов на Европе и Ганимеде, не проникая под толщу льда. Прибор способен детектировать крайне малые концентрации летучих веществ, проникающих в открытый космос через разломы в ледяной коре.

Интернет-сайт МФТИ,  
26 февраля 2014 г.

*Дорогие читатели!*

*Напоминаем, что подписаться на журнал  
“Земля и Вселенная” вы можете с любого  
номера по Объединенному каталогу  
“Пресса России”  
(II полугодие 2014 г.) во всех отделениях связи.  
Подписаться можно и по Интернету,  
воспользовавшись каталогом журналов  
на сайте Почта России.  
Подписной индекс – 70336.*

**Заведующая редакцией** Г.В. Матросова  
**Зав. отделом космонавтики** С.А. Герасютин

**Художественные редакторы** О.Н. Никитина, М.С. Вьюшина  
**Литературный редактор** О.Н. Фролова

**Оператор ПК** Н.Н. Токарева

**Корректоры** Е.А. Желнова, Т.А. Печко, Е.Л. Сысоева

**Обложку оформила** О.Н. Никитина

Сдано в набор 12.03.2014. Подписано в печать 05.05.2014. Дата выхода в свет 13 нечет.

Формат  $70 \times 100^{1/16}$  Цифровая печать

Уч.-изд.л. 12,3 Усл. печ.л. 9,1 Усл.кр.-отг. 3,8 тыс. Бум.л. 3,5

Тираж 318 Зак. 93 Цена свободная

Учредители: Российская академия наук, Президиум

Издатель: Российская академия наук. Издательство “Наука”

117997 Москва, Профсоюзная ул., 90

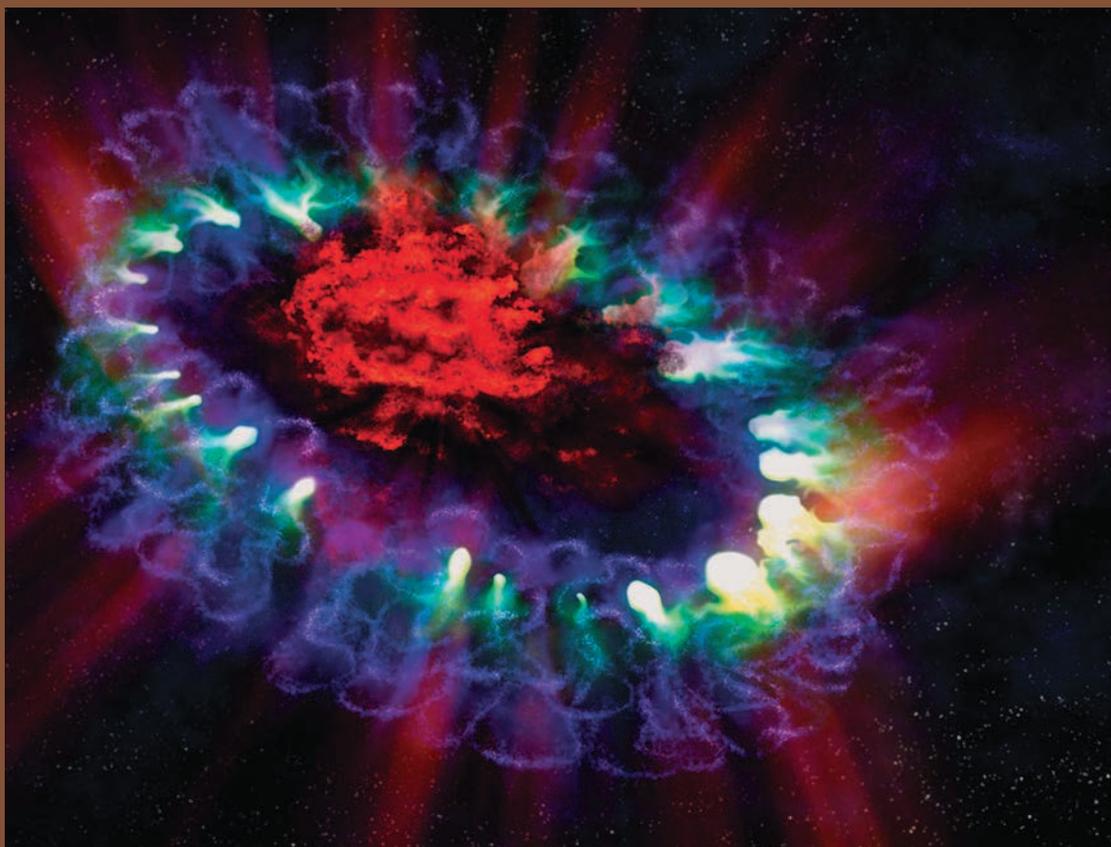
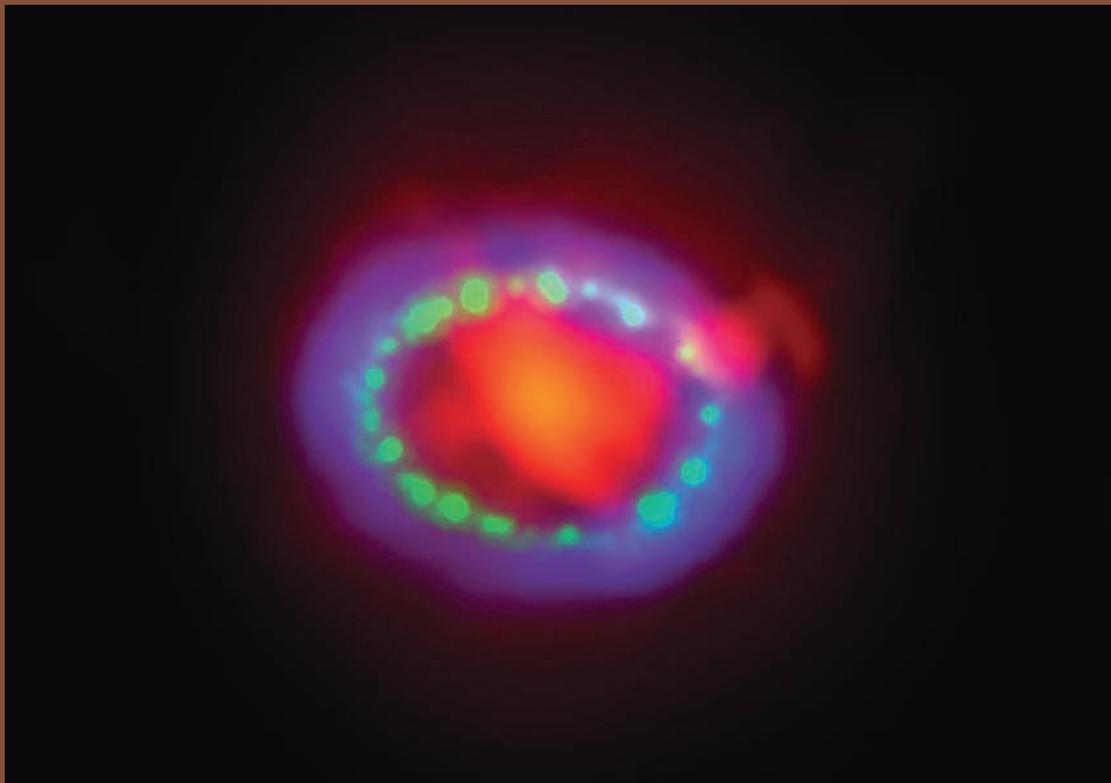
Адрес редакции: 119049, Москва, Мароновский пер., 26

Телефоны: (факс) (499) 238-42-32, 238-29-66

E-mail: zevs@naukaran.ru

Оригинал-макет подготовлен АИЦ “Наука” РАН

Отпечатано в ППП “Типография “Наука”,  
121099 Москва, Шубинский пер., 6





"НАУКА"  
Индекс 70336