

ISSN 0044-3948

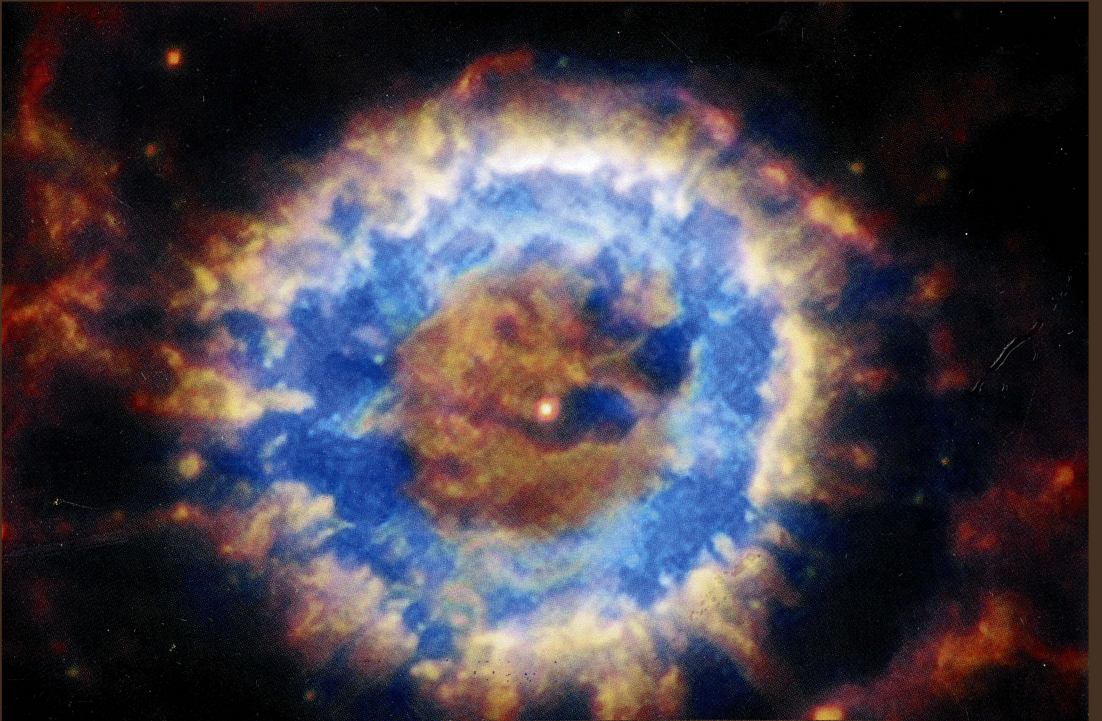
# ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

КОСМОНАВТИКА  
АСТРОНОМИЯ  
ГЕОФИЗИКА

ЯНВАРЬ-ФЕВРАЛЬ

1/2018





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

1/2018

## Новости науки и другая информация:

Сложные структуры туманности “Сатурн” [22]; Обнаружение гравитационных волн [40]; Система адаптивной оптики [50]; Уточнение сведений о квазарах [51]; Международный договор о строительстве лунной станции [86]; Запуск китайской космической обсерватории [93]; Прощай, “Кассини”! [94]; Сюрприз с “Розетты” [95]; Необычный объект в Главном поясе астероидов [96]; Новая гипотеза о происхождении астероидов [96]; Карты Плутона [97]; Прогноз изменчивости естественных синоптических периодов в 2018 г. [99]; Полет к астероиду [105]

**Новые книги:** Как получали имена созвездия [59]

## В номере:

- 3 ГНЕДИН Ю.Н., ГЕРАСЮТИН С.А. Определение основных параметров сверхмассивных черных дыр  
23 ЛАМЗИН С.А. Звезды типа Т Тельца

### СЛУЖБА СОЛНЦА

- 42 ИШКОВ В.Н. Солнце в августе – сентябре 2017 г.

### ЛЮДИ НАУКИ

- 46 АЮКОВ С.В., БАТУРИН В.А., ГОРШКОВ А.Б., КИМ И.С., МИРОНОВА И.В. Памяти Эдварда Владимировича Кононовича

### МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

- 53 МАЛКОВ О.Ю., КОВАЛЁВА Д.А., КАЙГОРОДОВ П.В. База данных двойных звезд BDB

### ГИПОТЕЗЫ, ДИСКУССИИ, ПРЕДЛОЖЕНИЯ

- 60 ХЛЫСТОВ А.И., КЛИГЕ Р.К., СИМКИН В.С. Глобальное потепление и его возможные причины

### ЭКСПЕДИЦИИ

- 71 ЯЗЕВ С.А. Великое американское затмение

### АСТРОНОМИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

- 78 РУБЛЁВА Ф.Б. Планетарий и астрономическое образование

### ПЛАНЕТАРИИ

- 87 БОЛОГОВ И.О., ДАНИЛОВА Ю.Н. Курганский планетарий: дорога к звездам

### ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ

- 100 ЩИВЬЁВ В.И. Небесный календарь: март – апрель 2018 г.

### КНИГИ О ЗЕМЛЕ И НЕБЕ

- 106 БАРЕНБАУМ А.А. Космос во всем его многообразии



© Российская академия наук, 2018  
© Редколлегия журнала  
“Земля и Вселенная” (составитель), 2018  
© ФГУП “Издательство “Наука”, 2018

Zemlya i Vselennaya (Earth and Universe); Moscow, Profsoyuznaya str., 90, 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; Deputy Editor V.M. Kotlyakov; Deputy Editor S.P. Perov

**На стр. 1 обложки:** Сложная структура солнечной короны во время полного затмения 21 августа 2017 г. Снимок получен С. Коротким, обработан А. Юферевым (к статье С. А. Язева).

**На стр. 2 обложки:** Вверху – Планетарная туманность NGC 7009 “Сатурн” (5 тыс. св. лет от нас, созвездие Водолея). Снимок получен в сентябре 2017 г. с помощью приемника MUSE на 8,2-м телескопе VLT (Чили). Фото ESO (к стр. 22). Внизу – Планетарная туманность NGC 6369 (PK 2+5.1) “Вороний глаз”, или “Маленький призрак”, в созвездии Змееносца (2 тыс. св. лет от нас). Снимок сделан в сентябре 2017 г. с помощью адаптивной оптики AOF на телескопе VLT (Чили). Фото ESO. П. Вейлбахер (AIP; к стр. 50).

**На стр. 3 обложки:** Вверху – Китайская космическая рентгеновская обсерватория “Хуэйянь” (“HXMT”) на околоземной орбите. Рисунок ИИЕР (к стр. 93). Внизу – Карты Плутона: топографическая (вверху) и элементного состава (внизу). Красная область Плутона показана (в кружке) в высоком разрешении, с указанием высоты; в составе числится метан (оранжевым). Горизонтальная полоса – 30° с.ш. NASA/JPL (к стр. 97).

**На стр. 4 обложки:** Умирающая массивная звезда G79.29+0.46 очень редкого класса (зеленая точка), окруженная сброшенными газопылевыми оболочками (красного цвета), находится в области звездообразования Лебедь X Млечного Пути. Это – одна из менее ста голубых переменных звезд высокой светимости (LBVs) в нашей Галактике. Пока не известны причины большой активности G79.29+0.46, срок ее жизни в стадии LBV и время взрыва как сверхновой. Снимок в инфракрасном диапазоне (искусственные цвета) получен в сентябре 2017 г. с помощью KTX и космической обсерватории “Спитцер”. Фото NASA, ESA, STScI. Дж. Шмидт.

### **In this issue:**

3 GNEDIN YU.N., GERASYUTIN S.A. Measuring the Basic Parameters of Supermassive Black Holes

23 LAMZIN S.A. T Tauri Stars

### **SOLAR MONITORING SERVICE**

42 ISHKOV V.N. The Sun in August – September 2017

### **PEOPLE OF SCIENCE**

46 AYUKOV S.V., BATURIN V.A., GORSHKOV A.B., KIM I.S., MIRONOVA I.V. In memory of Edward Vladimirovich Kononovich

### **INTERNATIONAL COOPERATION**

53 MALKOV O.YU., KOVALEVA D.A., KAYGORODOV P.V. Binary Stars Database BDB

### **HYPOTHESES, DISCUSSIONS, SUGGESTIONS**

60 KHLYSTOV A.I., KLIEGE R.K., SIMKIN V.S. Global Warming and is Possible Reasons

### **EXPEDITIONS**

71 YAZEV S.A. The Great American Eclipse

### **ASTRONOMICAL EDUCATION**

78 RUBLYOVA F.B. Planetarium and Astronomical Education

### **PLANETARIA**

87 BOLOGOV I.O., DANILOVA YU.N. Kurgan Planetarium: Road to Stars

### **AMATEUR ASTRONOMY**

100 SHCHIV'YOV V.I. Celestial Calendar: March–April 2018

### **BOOKS ABOUT EARTH AND SKY**

106 BARENBAUM A.A. Space in all its Diversity

### **Редакционная коллегия:**

и. о. главного редактора доктор физ.-мат. наук С.П. ПЕРОВ,  
зам. главного редактора академик В.М. КОТЛЯКОВ,  
летчик-космонавт П.В. ВИНОГРАДОВ,  
кандидат филологических наук О.В. ЗАКУТНЯЯ,  
академик Л.М. ЗЕЛЁНЫЙ, доктор исторических наук К.В. ИВАНОВ,  
летчик-космонавт А.Ю. КАЛЕРИ, кандидат физ.-мат. наук О.Ю. ЛАВРОВА,  
доктор физ.-мат. наук А.А. ЛУТОВИНОВ, доктор физ.-мат. наук О.Ю. МАЛКОВ,  
доктор физ.-мат. наук И.Г. МИТРОФАНОВ, академик И.И. МОХОВ,  
член-корр. РАН И.Д. НОВИКОВ, доктор физ.-мат. наук К.А. ПОСТНОВ,  
доктор физ.-мат. наук М.В. РОДКИН,  
научный директор Московского планетария Ф.Б. РУБЛЁВА,  
член-корр. РАН А.Л. СОБИСЕВИЧ, член-корр. РАН В.А. СОЛОВЬЁВ,  
академик А.М. ЧЕРЕПАЩУК, доктор физ.-мат. наук В.В. ШЕВЧЕНКО,  
член-корр. РАН Б.М. ШУСТОВ

## Определение основных параметров сверхмассивных черных дыр

Ю.Н. ГНЕДИН,  
доктор физико-математических наук  
Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН  
С.А. ГЕРАСЮТИН

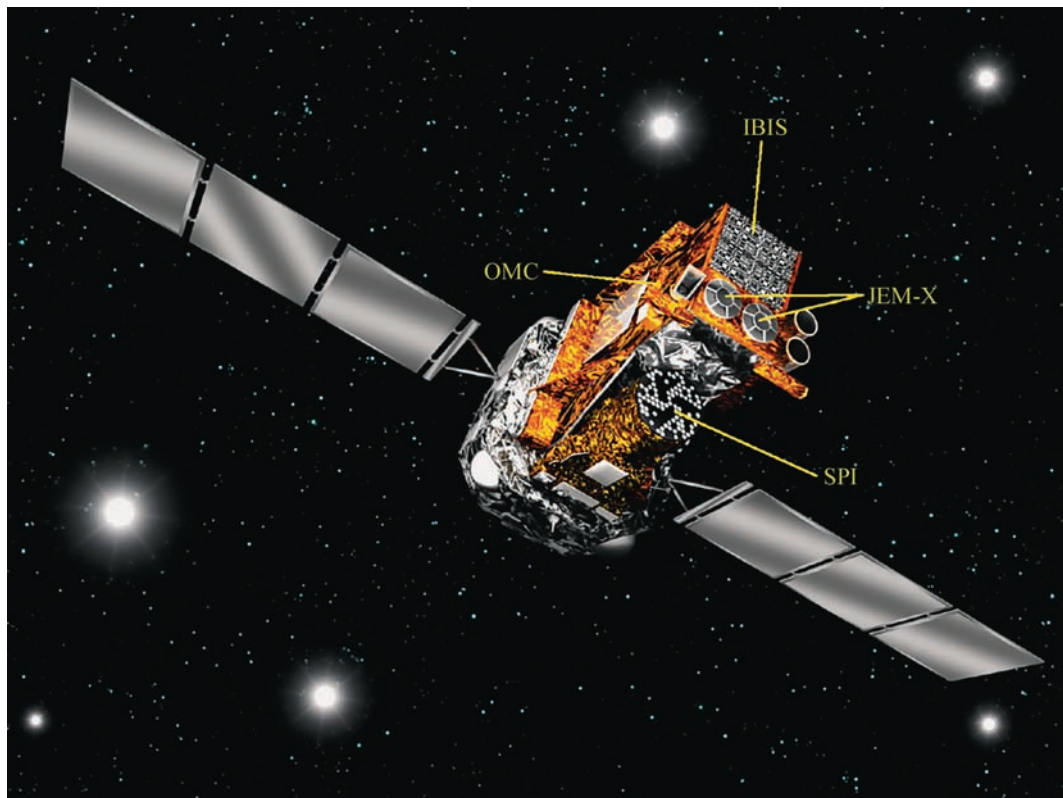
---

**Международная космическая рентгеновская обсерватория “Интеграл” (“Integral” – INTERNATIONAL Gamma Ray Astrophysical Laboratory), запущенная 17 октября 2002 г. с помощью российской ракеты-носителя “Протон”, внесла существенный вклад в исследование и наше понимание физики активных ядер галактик (которые и являются по существу сверхмассивными черными дырами с массами  $10^5$ – $10^{10} M_{\odot}$  и величиной гравитационного радиуса  $3 \times 10^5$ – $10^{10}$  км; Земля и Вселенная, 2003, № 2; 2014, № 5). Выполненные обсерваторией измерения жесткого рентгеновского излучения активных ядер**



**галактик с энергией до 8–10 МэВ открыли новые возможности для определения основных параметров сверхмассивной черной дыры: масса, величина углового момента вращения, получившего название “спин”, радиус области образования**

**широких эмиссионных линий в аккреционном диске. Именно данные о рентгеновской светимости сверхмассивной черной дыры в жестком рентгеновском диапазоне составляют основу определения ее основных физических параметров.**



*Космическая обсерватория "Интеграл": основные детекторы излучения: IBIS – гамма-телескоп, SPI – рентгеновский спектрометр, JEM-X – рентгеновский монитор для получения изображения неба, OMC – оптический монитор для получения изображения неба в оптических лучах. Рисунок ESA.*

#### КОСМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ "ИНТЕГРАЛ"

Данные космических рентгеновских обсерваторий за последние 40 лет показывают, что небо в рентгеновских лучах существенно отличается от того небесного свода, который мы наблюдаем с помощью оптических телескопов (Земля и Вселенная, 2014, № 4). Тогда как в обычном ночном небе преобладают классические звезды; в рентгеновском небе главными

объектами являются двойные системы, содержащие нейтронные звезды и черные дыры (ЧД), а также остатки сверхновых звезд. Выдающееся достижение астрономии состоит в открытии других исключительно мощных источников рентгеновского излучения: например, сверхмассивных черных дыр (СЧД), находящихся в центре каждой галактики.

Замечательно, что обсерватория "Интеграл" уже в течение 15 лет обес-

печивает астрономическую общественность исключительно ценными данными наблюдений. Она открыла множество рентгеновских источников по всему небу, а также детально сканировала отдельные участки неба. Кроме того, она эффективно исследовала центральную полосу диска нашей Галактики в пределах  $\pm 20^\circ$  (Земля и Вселенная, 2007, № 6; 2010, № 1). Данные наблюдений получены с такой высокой

точностью, которая до сих пор не превзойдена другими действующими рентгеновскими обсерваториями. Главным достижением обсерватории “Интеграл” является получение исключительно ценных данных о локальной популяции активных галактических ядер, в центре которых и находятся СЧД.

Серьезные успехи и научные открытия, полученные предшествующими обсерваториями, подвели ученых к мысли о создании полноценной космической лаборатории, действующей в диапазоне жесткого электромагнитного излучения. Это позволило не только моделировать изображение неба в рентгеновских лучах, но и проводить спектральный и временной анализ рентгеновских объектов в широком диапазоне энергий, включая миллионы электрон-вольт. Так была соз-

дана концепция международной астрофизической лаборатории “Интеграл” – совместного проекта Европейского и Российского космических агентств. Благодаря активному участию нашей страны в этом проекте российские ученые получили 25% времени для проведения собственных наблюдений.

На борту обсерватории функционируют приборы: гамма-телескоп IBIS с детекторами общей площадью около 2500 см<sup>2</sup>, рентгеновский спектрометр SPI с высоким энергетическим разрешением и рентгеновский монитор JEM-X, осуществляющий восстановление изображения неба, полученного с использованием специальной аппаратуры. Широкое поле зрения, высокая чувствительность, длительное время работы на орбите и успешное функционирование научной аппаратуры

позволили не только детально исследовать отдельные объекты, но и реализовать большую программу глубоких обзоров всего неба и его областей, включающих Галактическую плоскость и центр нашей Галактики, а также Большое Магелланово Облако и ряд других близких галактик.

Анализ полученных данных позволил открыть множество новых источников жесткого рентгеновского излучения, в результате чего более чем в два раза увеличилось число ранее обнаруженных источников. В отличие от работы с использованием предыдущих космических обсерваторий, задействованных ранее в таких исследованиях, открытое с помощью “Интеграла” подавляющее большинство новых источников составляли галактические и СЧД, аккрецирующие белые карлики, нейтронные звезды.

Таблица 1

### ЭНЕРГЕТИКА АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Астрофизический объект или явление	Мощность излучения, эрг/с	Эквивалентная мощность ядерных бомб	Характерное время длительности излучения
Ядерная бомба	$10^{28}$	1	$10^{-6}$ с
Вспышка на Солнце	$10^{30}$	100	100 с
Звезда типа Солнца	$10^{33}$	$10^5$	$10^9$ лет
Звездная супервспышка	$10^{33}-10^{38}$	$10^5-10^{10}$	часы – сутки
Вспыхивающая рентгеновская звезда	$10^{37}-10^{39}$	$10^9-10^{11}$	сутки – месяцы
Сверхновая	$10^{44}$	$10^{16}$	месяцы
Космический гамма-всплеск	$10^{50}-10^{52}$	$10^{22}-10^{24}$	1–100 с
Наша Галактика	$10^{44}$	$10^{16}$	$10^9$ лет
Ядро активной галактики. Квазар	$10^8-10^{49}$	$10^{17}-10^{21}$	$10^9$ лет

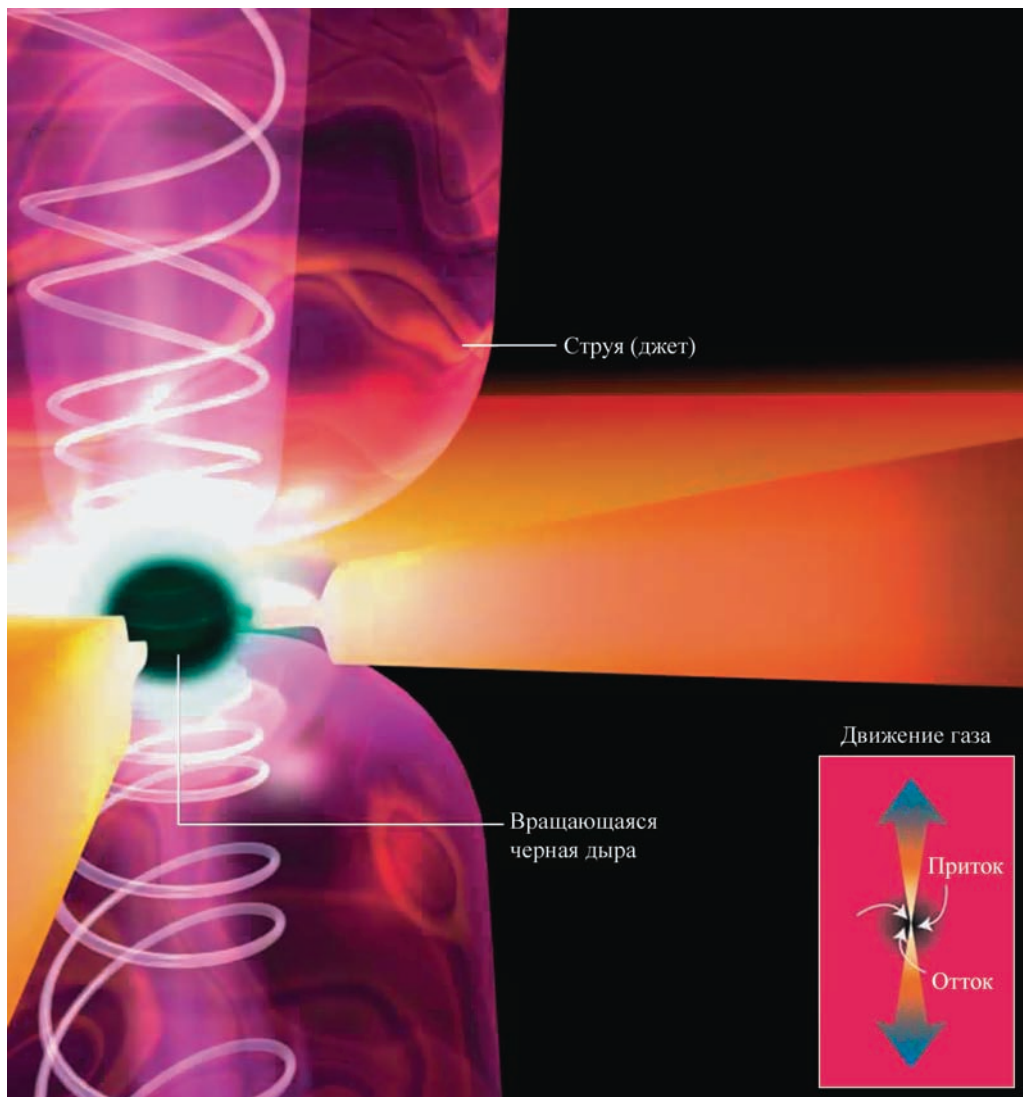


Схема вращения черной дыры. Падающее на нее вещество из звезды-компаньона передает свое вращение дыре, раскручивая ее внешнюю границу почти до скорости света; в результате из черной дыры выбрасываются струи плазмы – джеты. Рисунок NASA.

### СВЕРХМАССИВНЫЕ ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ

Самые мощные космические источники энергии – СЧД – выделяют примерно  $10^{48}$  эрг/с. Такая огромная энергия возникает в процессе аккреции на эти ЧД. Аккрецию

можно заметить по множеству проявлений, в том числе наблюдая образование релятивистской струи плазмы (джета), вылетающей в сторону от ядра со скоростью, близкой к скорости света. Релятивистский поток продолжается, по

меньшей мере, на расстоянии в несколько килопарсек от ЧД. Выброс релятивистского джета – это универсальный физический процесс, так как джеты вылетают из активных галактических ядер, квазаров или тесных двойных

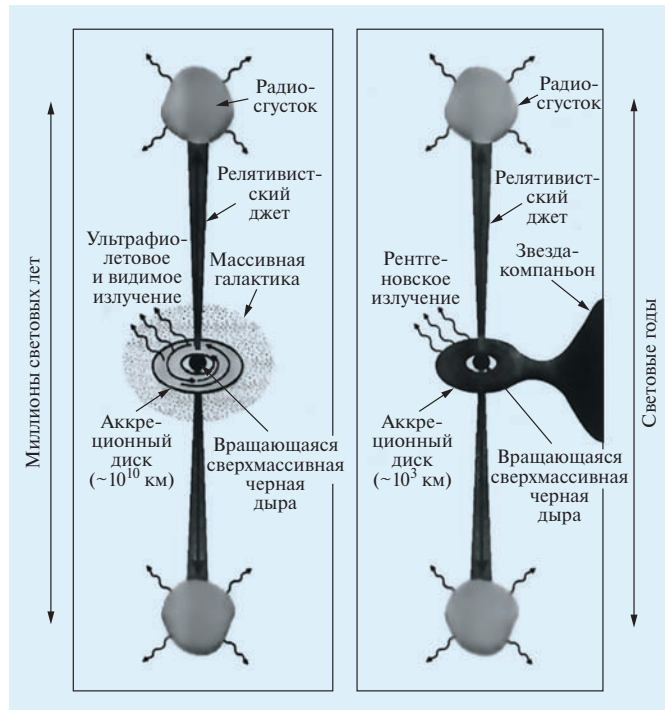


*Наблюдаемые астрофизические объекты: квазары – мощные сверхмассивные черные дыры, микроквазары – черные дыры, имеющие звездные массы. Рисунок NASA.*

систем, содержащих черные дыры и нейтронные звезды. Наиболее мощные струи характерны для СЧД. Природа физического механизма генерации таких струй релятивистской плазмы до сих пор не известна.

Современное представление об аккреционном диске как области, окружающей ЧД с магнитным полем вокруг ЧД, – наиболее популярная физическая модель. Взаимодействие между быстро вращающейся черной дырой и окружающим ее аккреционным диском и приводит к генерации рентгеновского и гамма-излучений в квазарах и активных ядрах галактик.

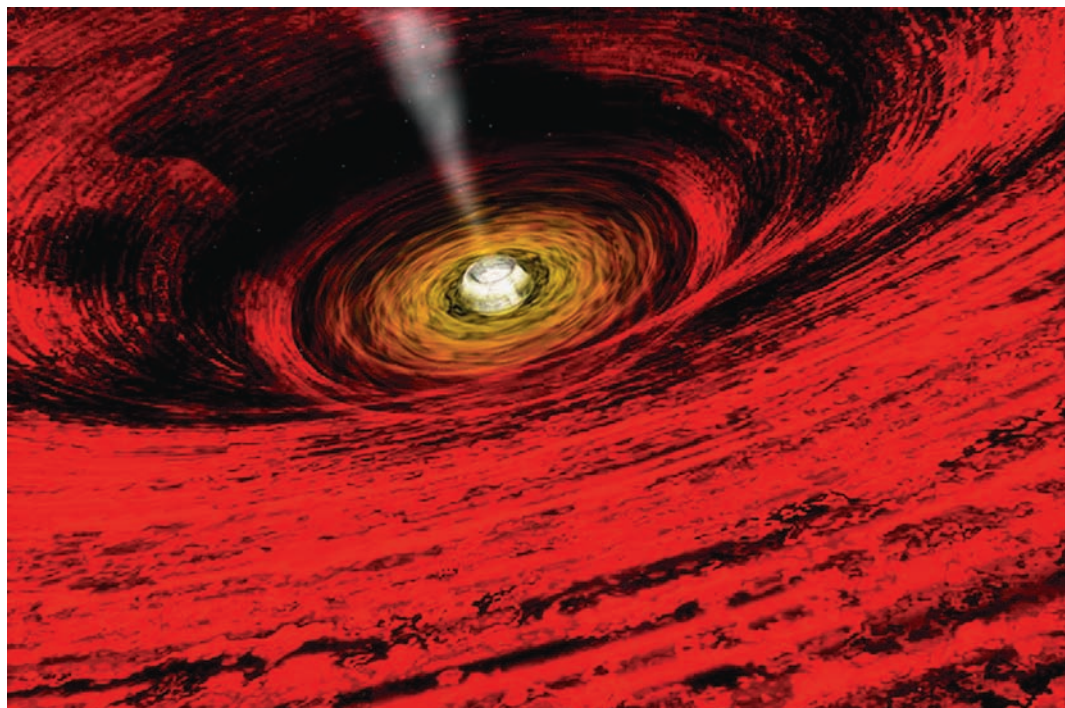
В настоящее время надежно установлено, что активность окологалактической области во многих галактиках обусловлена присутствием СЧД в центральных областях таких галактик. Движение газа и отдельных звезд вблизи центрального объекта галактики происходит под действием гравитации СЧД. Контролируемое гравитационное движение газа вблизи центральной черной дыры позволяет использовать теорему



вириала (связь между средним значением суммарной кинетической энергии системы частиц, движущихся в ограниченной области пространства, и действующими в этой системе силами установлена немецким физиком Р. Клаузиусом в 1870 г.) для оценки ее массы. В этом случае существует определенное соотношение между скоростью движения газа и радиусом аккреционного диска типа  $V^2 : R^{-1}$ , устанавливающее равенство между кинетической и потенциальной энергиями частицы в гравитационном поле. Величина скорости газа  $V$  определяется в результате измерения ширины широких эмиссионных линий.

Разнообразие физических условий в центральной области вокруг СЧД проявляется на характерной шкале расстояний  $R$  от центральной ЧД вплоть до  $R = 100 R_g$ , где  $R_g = GM_{BH}/c^2$  – гравитационный радиус. Астрофизики пользуются наиболее популярным методом для определения радиуса области широких эмиссионных линий – измеряют корреляции между изменениями интенсивностей эмиссионных линий и непрерывным спектром излучения аккреционного диска.

Детальная картина физических условий в ближайшем окружении ЧД требует для своего описания реального понима-



*Струя релятивистской плазмы, генерируемая вращающейся сверхмассивной черной дырой. Рисунок ESA.*

ния механизма превращения гравитационной энергии аккрецирующего вещества в энергию излучения области, окружающей СЧД, включая область образования эмиссионных линий. Пока невозможно получить прямое изображение околоядерной области с помощью современных методов наблюдений. В этом случае большое значение приобретают косвенные методы, основанные на определении параметров характерных околоядерных областей излучения.

Главная задача современной астрофизики – определить массу СЧД

на основе упомянутой выше вириальной теоремы. Величина характерной скорости движения газа определяется в результате измерения ширины спектральных линий атомов газа, которая зависит от этой скорости, а величина самого радиуса – в результате измерения временной разницы амплитуд переменности излучения атомов газа и аккреционного диска, которую нужно умножить на скорость света.

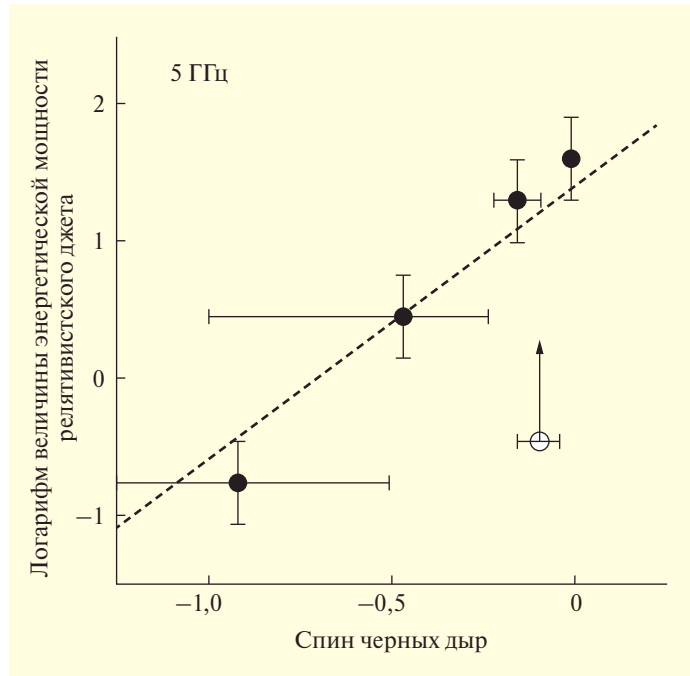
Астрофизики разработали довольно много методов для определения массы черной дыры. Оказалось, что характерный

радиус области широких эмиссионных линий аккрецирующего газа зависит от светимости аккреционного диска. Светимость, как правило, измеряется в определенном диапазоне длин волн электромагнитного излучения. С этой целью вполне успешно используется именно рентгеновское излучение довольно жесткого спектрального диапазона, измеряемое с помощью космической обсерватории “Интеграл”. Что касается полной ширины линии излучения атома или иона газа, используемой для определения массы ЧД, то наиболее часто

График зависимости мощности релятивистских струй (джетов) от величины спина аккрецирующей черной дыры. По данным А.М. Черепашука // Успехи физических наук. Т. 186. С. 878.

с этой целью используются бальмеровские линии атома водорода ( $\lambda = 656,3$  нм и  $\lambda = 486,1$  нм;  $E = 1,89$  эВ и  $2,55$  эВ) и линии высокоионизованных элементов магния ( $\lambda = 279,5$  нм) и углерода ( $\lambda = 154,9$  нм). Типичная величина измеренной кеплеровской скорости движения газа составляет несколько тысяч километров в секунду, а рентгеновская светимость ( $L_x$ ), как правило, относится к области энергий, существенно превышающих величину  $2$  кэВ. В астрофизике принято измерять массу ЧД в величинах массы Солнца.

Другой важнейший физический элемент действующей ЧД – безразмерный угловой момент вращения ЧД, называемый спином. Традиционно величину спина принято обозначать буквой “ $\alpha$ ”; величина спина находится в интервале от минус единицы до плюс единицы. Положительные значения спина соответствуют ситуации, когда вращение черной дыры и газа в аккреционном диске происходит в одном и том



же направлении; отрицательные соответствуют противоположной ситуации: когда сама черная дыра и газ в аккреционном диске вращаются в противоположных направлениях.

Скорость вращения СЧД в центрах галактик может увеличиваться за счет падающего на них газа. Вращающаяся ЧД имеет радиус горизонта событий, превышающий гравитационный радиус, на котором вторая космическая скорость равна скорости света; поэтому, согласно теории относительности Эйнштейна, ЧД никогда не раскрутится до скорости света – сколько бы газа она не поглотила. Но многие ЧД вращаются достаточно быстро, что

способствует образованию исходящих от них мощных струй (джетов). Такой способностью обладают и ЧД, масса которых лишь в десятки, а не в миллиарды раз больше солнечной. Они тоже могут выбрасывать мощные струи со скоростью, близкой к скорости света, разогревая и расталкивая окружающий газ.

Очень важно, что вращение ЧД определяет во многом энергетику космического объекта. Так, мощность сильной струи релятивистской плазмы, которую создает вращающаяся ЧД, зависит от величины спина, она пропорциональна  $\alpha^2$ . Другое ее важное свойство – она определяет, как распределяется газ в аккреционном

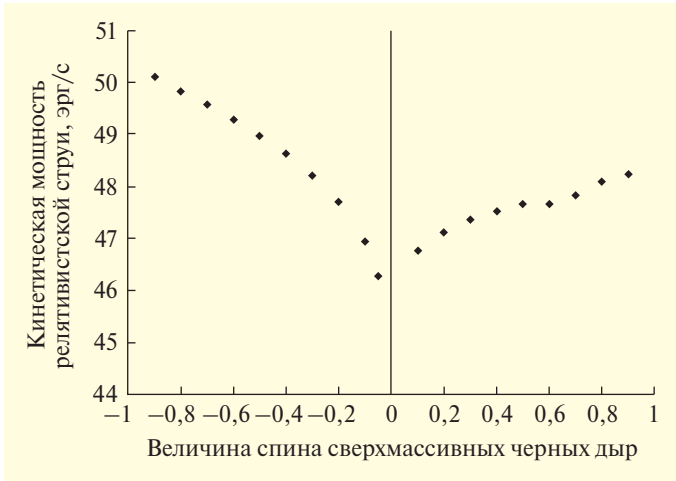


График зависимости кинетической мощности струи релятивистской плазмы от величины спина сверхмассивной черной дыры. Представлены результаты численных расчетов, выполненных в 2010 г. группой зарубежных астрофизиков под руководством профессора Д. Гарофало (США).

диске. Радиус последней устойчивой орбиты вращающегося по закону Кеплера газа в аккреционном диске — существенный физический элемент аккреционного диска. Последняя устойчивая орбита является

внутренней границей аккреционного диска, ее радиус зависит от массы ЧД и от ее спина. За этой границей газ без кеплеровского вращения и излучения стремительно движется к самой ЧД и уходит внутрь.

Определение величины спина — очень важная задача для понимания физического механизма действия мощной энергетической машины — СЧД.

Наиболее популярный метод определения спинов СЧД основан на измерении профиля рентгеновской линии излучения железа (К-альфа), она имеет энергию 6,4 кэВ. Конечно, чтобы точно установить величину спина, необходимо получить детальную картину спектрального распределения излучения как в самой линии, так и в ее ближайшей окрестности. Прежде всего, быстро вращающаяся ЧД дополнительно расширяет рентгеновскую линию. От величины спина ЧД зависит характерный внутренний радиус аккреционного

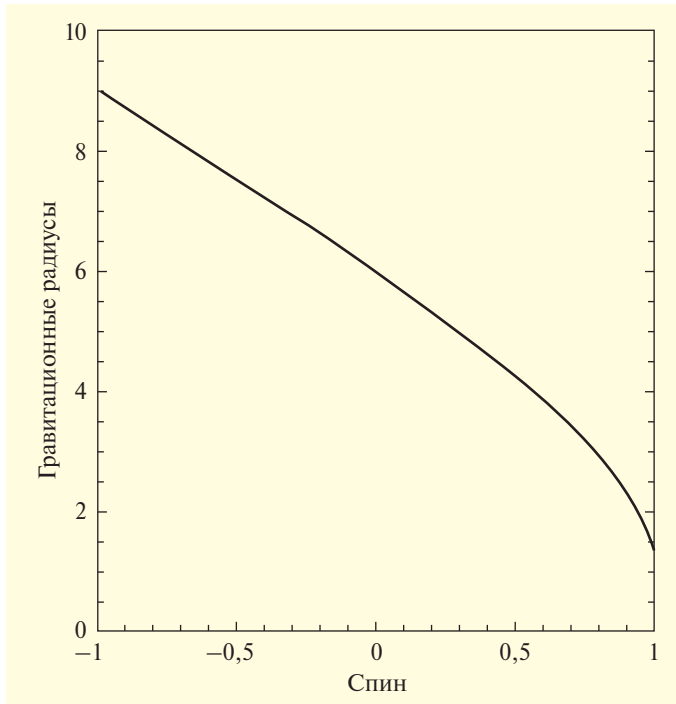


График зависимости радиуса последней устойчивой орбиты в аккреционном диске от спина сверхмассивной черной дыры. По данным J.E. McClintock et al. // arXiv: 1101.0811, 2011.

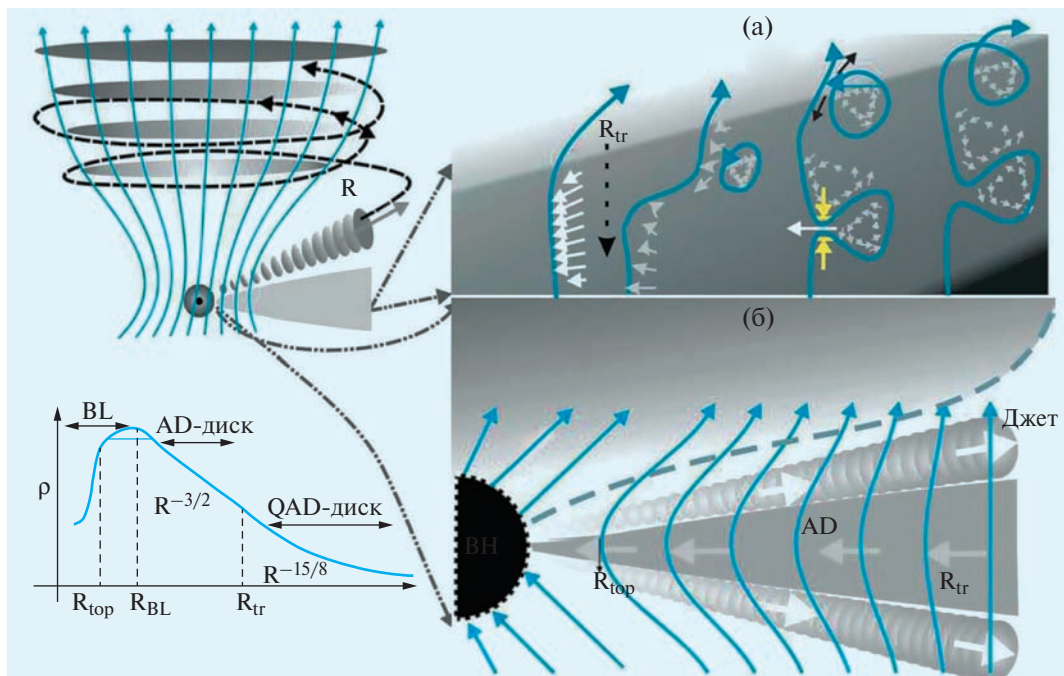


Схема стандартного аккреционного диска (AD), содержащего внутреннее магнитное поле. Модель Н.И. Шакуры и Р.А. Сюняева. Вверху слева – выброс релятивистской плазмы из ЧД (она обозначена кружком, серый конус справа – аккреционный диск, справа – схема аккреционного диска). Внизу слева – график распределения плотности газа в аккреционном диске в зависимости от его размера; (а) – стандартный аккреционный диск с магнитным полем, (б) – диск с горячей короной (стрелки показывают направления силовых линий магнитного поля). Обозначения: BL – область эмиссионных водородных линий, QAD – протяженный диск, R – радиус.

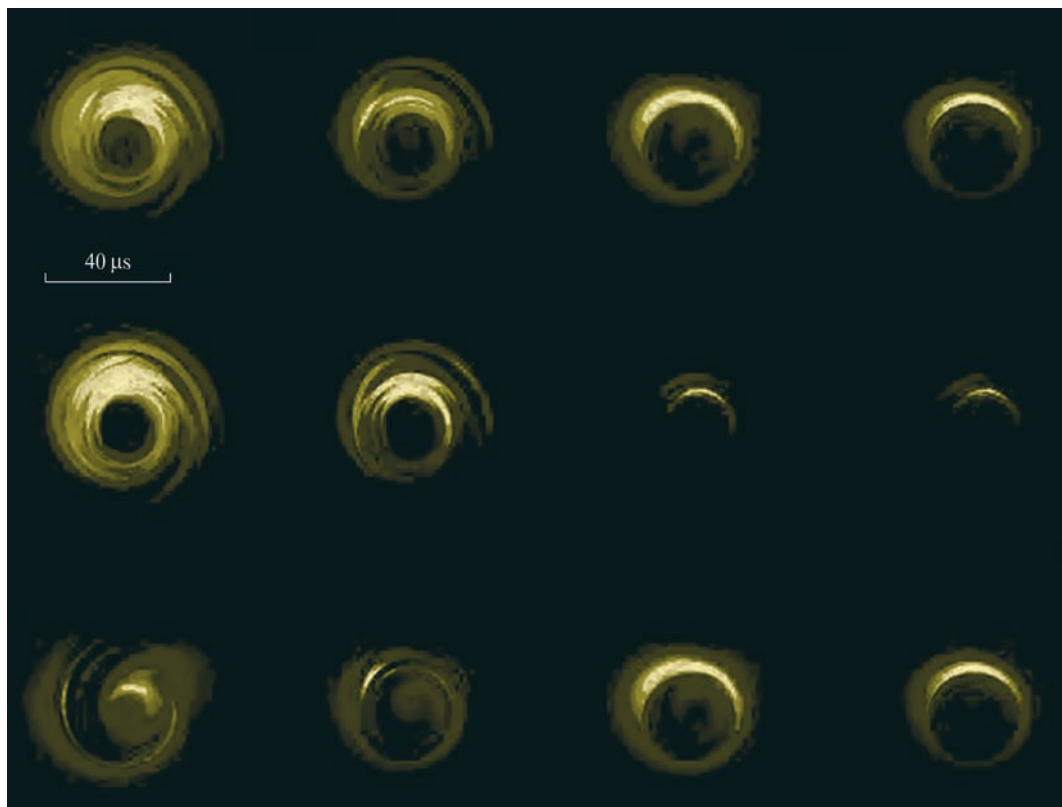
диска, вблизи которого и генерируется спектральная линия.

Другой довольно эффективный метод определения величины спина основан на определении энергетической мощности струи релятивистской плазмы (общепринятый термин – джет), которая генерируется совместно вращающейся ЧД и аккреционным диском. Оказывается, что величина кинетической мощности релятивистской струи пропорциональна

величине спина ЧД, возведенной в квадрат, и величине магнитного поля на горизонте событий ЧД, тоже возведенной во вторую степень. При определении величины кинетической мощности джета астрофизики используют численный коэффициент порядка единицы, который зависит от физического механизма, обеспечивающего генерацию релятивистской струи плазмы ЧД.

Оба метода имеют свои преимущества

и недостатки. Недостатком первого метода считается не всегда удачное определение реальной формы спектральной линии на основе данных наблюдений, поскольку ее истинная форма позволяет определить радиус последней устойчивой орбиты в аккреционном диске и на этой основе измерить спин. Главный недостаток второго метода заключается в недостаточно разработанных методиках определения кинетической мощности



Окрестности сверхмассивной черной дыры в центре галактики M87 (NGC 4486), расположенной в созвездии Дева. Изображения показывают изображения окрестностей центральной ЧД, полученные по разным моделям, рассчитанными астрофизиками. По данным А.М. Черепашука // *Успехи физических наук*. 2016. Т. 185. С. 878.

релятивистской струи, в особенности, величины магнитного поля на радиусе горизонта событий ЧД; они приводят к существенно различным результатам.

Сравнительно недавно ученые разработали новый метод определения величины спина вращающейся СЧД на основе теории стандартного аккреционного диска, развитой Н.И. Шакурой и Р.А. Сюняевым; астрофизики вывели уравнение, которое позволяет определить ве-

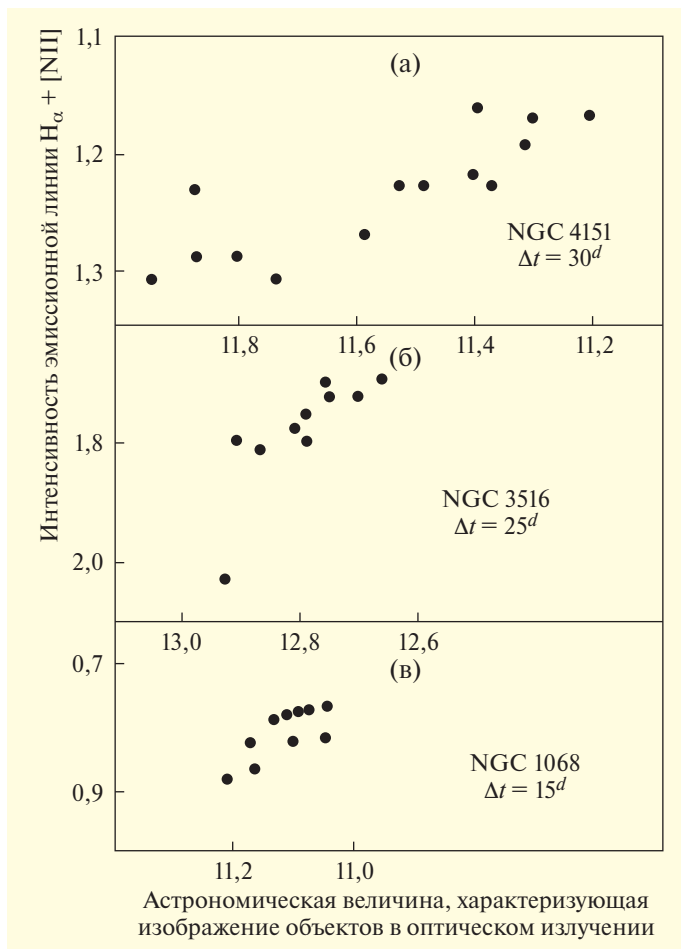
личину спина. Основными физическими параметрами, входящими в это уравнение, являются:  $L_{HX}$  – светимость объекта в жестком рентгеновском диапазоне (14–195 кэВ),  $L_{bol}/L_{Edd}$  – широко используемое в астрономии отношение полной (астрофизики называют ее болометрической) светимости объекта к так называемой эддингтоновской светимости, при которой давление световой энергии объекта сравнивается с давлением гравитирующего

вещества. Существенную роль играет величина  $\mu = \cos i$  – значение косинуса угла наклона луча зрения к поверхности аккреционного диска. Другим наиболее важным элементом в физике процесса аккреции считается величина  $\varepsilon(\alpha)$ , которая равна отношению между величинами полной светимости и скорости аккреции (измеряется в г/с), умноженной на квадрат скорости света. Ее принято называть коэффициентом радиационной эффективности;

График корреляции между величинами интенсивности эмиссионной водородной бальмеровской линии и непрерывным излучением в ядрах активных галактик NGC 4151 (а), NGC 3516 (б), NGC 1068 (в). По данным А.М. Черепашука // Успехи физических наук. 2016. Т. 186. С. 878.

он определяет эффективность перехода гравитационной энергии в энергию излучения аккреционного диска. Существенно, что этот коэффициент зависит от спина черной дыры и характер этой зависимости представлен, например, в известной монографии И.Д. Новикова и К. Торна ("Астрофизические черные дыры", 1973 г.).

Важнейший элемент для измерения углового момента (спина) вращающейся ЧД – светимость аккреционного диска  $L_{HX}$  в жестком рентгеновском диапазоне. Опубликовано много каталогов данных рентгеновских наблюдений, в которых представлены значения светимости в области 14–195 кэВ рентгеновского излучения многих активных ядер галактик. Теперь перейдем к решению другой задачи – определению величины спина вращающейся СЧД для ряда конкретных объектов.



#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПИНА СЧД

Спины СЧД – это уникальные физические величины – так как от них зависит мощность узких релятивистских струй, генерируемых этими объектами, причем роль таких струй в развитии самой галактики, в центре которой и находится СЧД, исключительно велика. Установлено, что струи влияют на процесс рождения звезд в самой галактике. Поэтому знание о величинах

спинов СЧД очень важно. И здесь большую роль могут сыграть данные об излучении аккреционных дисков вокруг ЧД в жестком рентгеновском диапазоне, полученные с помощью космической обсерватории "Интеграл". Используя их, мы можем найти значение величины спина, определяющего скорость вращения СЧД для конкретных объектов Вселенной.

Продемонстрируем результат определения

величины спина СЧД на примере галактики Маркарян 110 (Mrk 110), которая находится от нас на расстоянии в 153,6 млн пк ( $1 \text{ пк} = 3 \times 10^{16} \text{ м}$ ). Подчеркнем, что такое название присвоено нескольким галактикам в честь советского астронома Б.Е. Маркаряна (1913–1985), изучавшего активные галактики и составившего их детальный каталог. Такое название было присвоено особому классу галактик; в окрестностях ядер таких активных галактик наблюдается яркий выброс, состоящий из нескольких сгустков. Например, для активной сверхгигантской эллиптической галактики M87 (NGC 4486, Дева А; 53,5 млн св. лет от нас), имеющей радиус 147 тыс. св. лет и находящейся в созвездии Девы в локальной Вселенной, масса выброшенного вещества составляет  $10^7 M_{\odot}$ , скорость выброса – 3000 км/с, а его энергия равна  $10^{55}$  Дж. Большую роль в формировании такого выброса играет именно струя релятивистской плазмы, простирающаяся как минимум на 4900 св. лет, образованная быстровращающейся СЧД, величина спина которой близка к единице.

Вернемся к объекту Mrk 110 и определим коэффициент радиационной эффективности его аккреционного диска  $\varepsilon(\alpha)$ ,

существенно зависящий от величины спина вращающейся ЧД. Чтобы выполнить такое определение, необходимо знать скорость процесса аккреции и величину полной светимости аккреционного диска. Для этого необходимо знать, под каким углом наш телескоп “смотрит” на поверхность аккреционного диска.

Данные о таком важном параметре, как  $\mu = \cos i$ , где  $i$  – угол наклона диска к лучу зрения, могут быть получены на основе наблюдений собственной поляризации излучения астрономического объекта с плоскопараллельной атмосферой. Понятие поляризации электромагнитного излучения связано с направлением электрического вектора распространяющейся электромагнитной волны, перпендикулярным ее направлению. В итоге направленное излучение может иметь два взаимно перпендикулярных направления электрического вектора, причем интенсивности электромагнитных волн с такими направлениями могут не совпадать по величине. Именно такая ситуация происходит при рассеянии электромагнитного излучения на электронах. В тех случаях, когда интенсивности электромагнитного излучения в таких двух направлениях совпадают, излучение называется

неполяризованным. Величина поляризации, называемая степенью поляризации, определяется как отношение разности интенсивностей двух электромагнитных волн с разными направлениями электрического вектора к их сумме, причем величина степени поляризации существенно зависит от угла между направлением самого излучения и луча зрения на источник излучения с плоскопараллельной атмосферой, то есть именно от  $\mu = \cos i$ .

Выдающийся российский астрофизик В.В. Соболев разработал детальную теорию распространения излучения в оптически толстой плоскопараллельной атмосфере астрономических объектов, в которых большую роль играет процесс многократного рассеяния атмосферного излучения. Именно эта теория полностью применима к аккреционным дискам вокруг ЧД. Используя теорию В.В. Соболева, можно определить значение косинуса угла наклона луча зрения к направлению нормали к поверхности аккреционного диска.

Для галактики Mrk 110 степень поляризации излучения была измерена с помощью специального детектора, действующего одновременно как поляриметр и фотометр, в обсерваториях Стюарда и Университета штата



**ВЕЛИЧИНА СПИНА СВЕРХМАССИВНОЙ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ В АКТИВНЫХ ЯДРАХ  
ГАЛАКТИК. ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ ОБСЕРВАТОРИИ “ИНТЕГРАЛ”**

Активная галактика	Степень поляризации оптического излуче- ния, в %	Косинус угла наклона $\mu = \cos i$	Значение спина сверхмассивной черной дыры
MCG 6–30–15	4,06	0,56	$\leq 0,99$
Fairall 9	0,5	0,848	$\leq 0,998$
SWIFT J21274+5654	0,22	0,932	0,55
1 H 0707–495	0,13	0,956	0,998
Mrk 335	0,28	0,914	0,3
NGC 3783	0,5	0,848	0,998
Ark 120	0,34	0,891	0,93
3C 120	0,92	0,743	0,95
Ark 564	0,52	0,848	0,97
Mrk 110	0,17	0,946	0,993
Ton S180	0,21	0,933	0,9
RBS 1124	1,29	0,669	$\leq 0,997$
Mrk 841	1,0	0,725	0,55
IRAS 13224+3809	0,38	0,882	0,998
Mrk 1018	0,3	0,905	0,87
NGC 4051	0,55	0,835	0,97
NGC 1365	0,91	0,745	0,998

Калифорния (США). Измеренная величина поляризации составляет 0,17% с ошибкой в 0,08%. Согласно теории В.В. Соболева, соответствующий параметр, определяющий косинус угла наклона, равен  $\mu \leq 0,97$ . Используя соответствующие опубликованные данные наблюдений, можно определить коэффициент радиационной эффективности  $\varepsilon(\alpha)$ , а затем и величину спина центральной СЧД в галактике Mrk 110; он равен  $\alpha = 0,99$ . Отметим, что принятый прямой метод определения спина, основанный на измерениях формы линий излучения в рентгеновском диапазоне, дает такую же величину спина СЧД

в галактике Mrk 110. Метод определения спинов центральных галактических ЧД с измеренной поляризацией оптического излучения основан на данных, полученных обсерваторией “Интеграл”. Спектрополяриметрические наблюдения, выполненные с помощью телескопа БТА-6м САО РАН, позволили определить величину спина СЧД в этих объектах.

На основе анализа характеристик галактик, представленных в таблице 2 (указаны значения косинуса угла наклона аккреционного диска, определенные на основе измерений степени поляризации, а также спины СЧД), можно сделать главный вывод.

Он состоит в том, что большинство СЧД имеют значение спина, существенно превышающее величину  $\alpha = 0,9$ , поэтому они относятся к быстровращающимся ЧД. Методика определения спина ЧД, основанная на теории аккреционного диска, разработанной Н.И. Шакурой и Р.А. Сюняевым, позволяет выделить сильную зависимость величины спина от массы ЧД, угла наклона и светимости аккреционного диска. Итак, измерения степени поляризации излучения аккреционного диска позволяют определить величину угла наклона диска с наибольшей надежностью.

В представленном в таблице 2 списке галак-

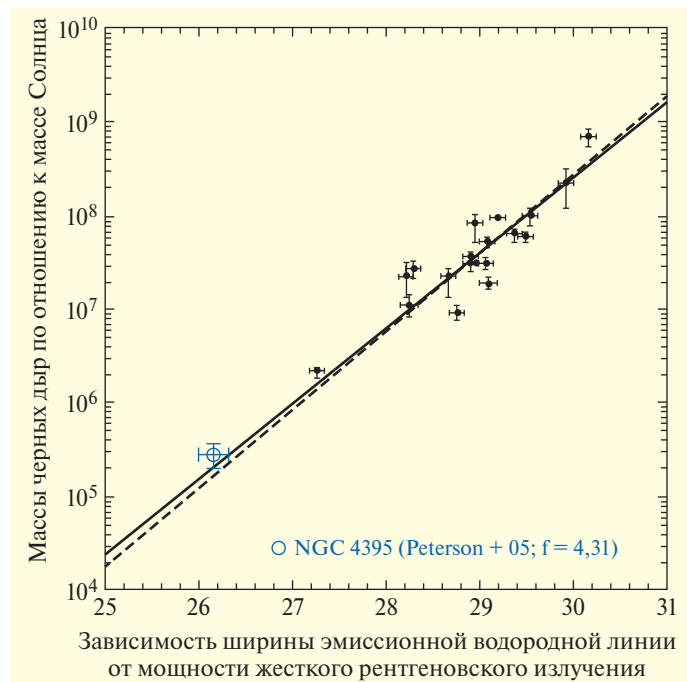


График определения масс сверхмассивных черных дыр в центрах галактик на основе измеренной мощности жесткого рентгеновского излучения. По данным космической обсерватории "Интеграл". Кружком обозначена галактика NGC 4395, крестиками – другие галактики. По осям: вертикаль – масса ЧД, горизонталь – зависимость ширины эмиссионной водородной линии от мощности жесткого рентгеновского излучения (La Franca F. et al. // MNRAS. 2015. V. 449. P. 1526).

тик полностью отсутствуют галактики, у которых центральные ЧД не обладают моментом вращения, они не имеют в центральных областях невращающиеся СЧД, у которых величина  $\alpha = 0$ . Подчеркнем, что сделанное заключение не зависит от выборки наблюдаемых галактик. Исследования, выполняемые астрофизиками в ГАО РАН, привели к открытию: большинство СЧД в нашей

Вселенной относятся к быстровращающимся ЧД. Отсюда возникли новые важные вопросы в современной астрофизике: почему и каким образом множество СЧД стали быстровращающимися ЧД?

#### СТРУКТУРА АККРЕЦИОННОГО ДИСКА ВОКРУГ СЧД

Большой интерес астрофизиков проявляется к проблеме структуры аккреционного диска, све-

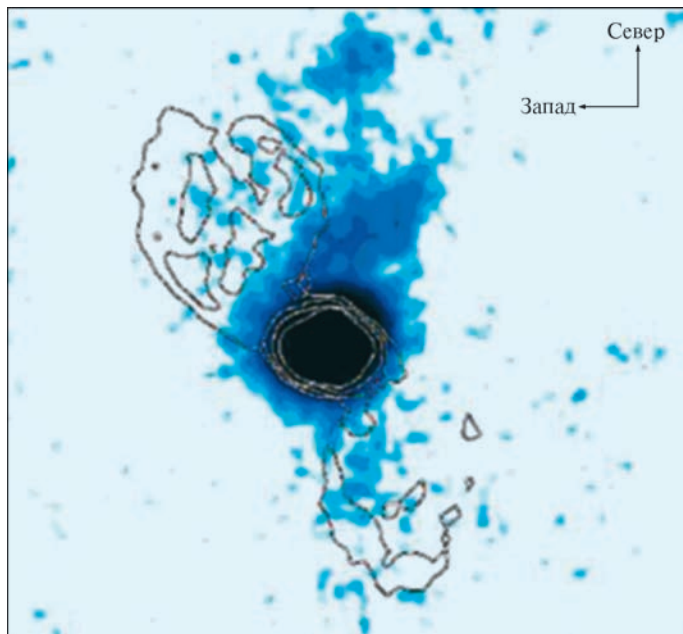
тимостью которого вносит существенный вклад в общую светимость галактической центральной ЧД. Общепринятая точка зрения заключается в том, что генерация оптического и рентгеновского непрерывных излучений происходит в аккреционном диске, толщина которого во много раз меньше его радиуса, получившего название стандартного. Теория стандартного диска разработана Н.И. Шакурой и Р.А. Сюняевым; она широко используется астрофизиками всего мира. Как правило, такой стандартный диск составляет внутреннюю область вокруг ЧД.

За создание теории аккреционного диска Н.И. Шакура и Р.А. Сюняев были удостоены Государственной премии Российской Федерации за 2016 г. (статья авторов на эту тему будет опубликована в одном из ближайших номеров журнала).

Основной метод определения массы центральной ЧД базируется на определении значений мощности эмиссионных линий, возникающих во внешних частях аккреционного диска. Настоящая структура этих внешних частей до сих пор не выяснена. По структуре таких линий определяется скорость вращения вещества вокруг ЧД и масса центрального объекта.

Наиболее популярный метод определения масс ЧД основан на использовании величин ширины линий излучения нейтрального водорода, названных бальмеровскими в честь швейцарского математика и физика И.Я. Бальмера (1825–1895), специализировавшегося в области спектроскопии. Он обнаружил закономерность в структуре спектральных линий атома водорода, показав, что длины волн видимой части спектра атома водорода связаны между собой простой зависимостью. Методика измерения массы СЧД зависит от структуры той области аккреционного диска, где генерируется излучение линий водорода. Разброс значений масс ЧД в галактиках, имеющийся в современной научной литературе, зависит от структуры той области аккреционного диска, в которой генерируются водородные атомные линии; одна из центральных задач современной физики аккреции заключается в определении структуры этой области.

Теперь перейдем к описанию методики, развиваемой в Пулковской обсерватории и позволяющей решить сформулированную задачу. Методика основана на теоретическом определении вириального параметра, она разработана группой зарубежных астрофизиков во главе с профессором



Галактика Mrk 6 диаметром 225 тыс. св. лет, находящаяся на расстоянии 174 млн св. лет от нас. Изображение получено в оптических лучах. По данным M.J. Kukula et al. // MNRAS. 1996. V. 280. P. 1283.

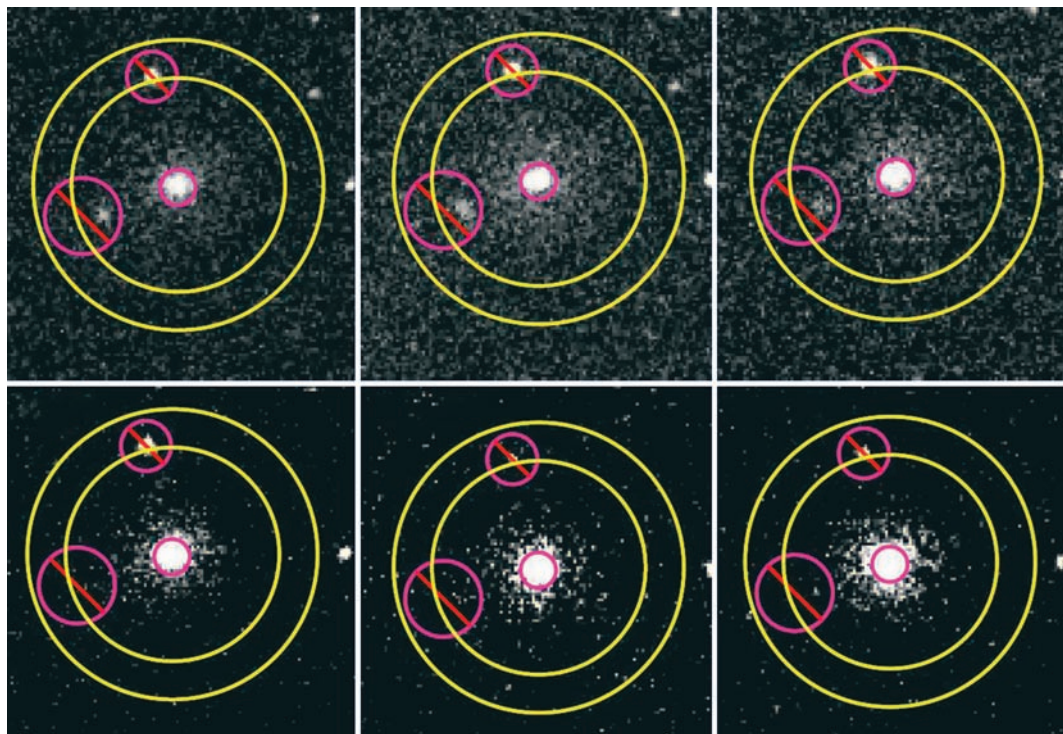
С. Коллином. В соответствии с ней можно получить выражение, позволяющее определять основные параметры области генерации широких эмиссионных линий:

$$\sqrt{A^2 + \sin^2 i} = \frac{FWHM}{2c} \left( \frac{R}{R_g} \right)^{1/2},$$

где  $FWHM$  – общепринятое в астрономии обозначение полной ширины наблюдаемой линии излучения,  $R$  – характерное расстояние от центральной ЧД до области широких эмиссионных линий, которое принято называть радиусом,  $R_g$  – гравитационный радиус, равный произведению постоянной гравитации

и массы ЧД, деленной на квадрат скорости света  $c$ . Величина  $A$  определяет геометрию области излучения; она представляет отношение толщины дискообразной области излучения линий к ее радиусу.

Надежный метод определения радиуса области широких эмиссионных линий, основанный на измерении временной задержки сигнала переменной излучения между спектральными линиями и непрерывным спектром. Величина  $\sin i$  надежно определяется в результате наблюдений степени поляризации излучения наблюдаемых



Галактика Fairall 9, расположенная в 2,4 млн св. лет от нас. На рисунке показано шесть изображений галактики, полученных в разных спектральных диапазонах оптического излучения; они обозначены принятыми для астрономов-наблюдателей названиями отдельных участков спектра оптического излучения. По данным P. Pal et al. // MNRAS. 2017. V. 466. P. 1777.

атомных линий водорода, магния и углерода.

В качестве примера рассмотрим хорошо изученную галактику Mrk 6, расположенную от нас на расстоянии в 174 млн св. лет. Измеренная поляризация составляет  $p_i(\mu) = 0,85 \pm 0,04$ , отсюда, на основании теории В.В. Соболева, получаем значение  $\sin i = 0,65$ . Измеренная величина  $A^2 + \sin^2 i = 0,6$ , отсюда следует, что безразмерная геометрическая толщина области образования широких эмиссионных линий

составляет  $A = 0,42$ . Это означает, что, в отличие от стандартной модели аккреционного диска, область генерации широких эмиссионных линий является геометрически толстым диском. Такой вывод очень важен для развития физики аккреции материи на СЧД.

Результаты наблюдений космической обсерватории "Интеграл" помогли открыть новую страницу в области физики аккреции, а также в понимании процесса образования мощных

направленных струй релятивистской плазмы в активных ядрах галактик (Земля и Вселенная, 2016, № 6). Дело в том, что традиционно наблюдаются широкие эмиссионные линии в области оптического и ультрафиолетового спектральных диапазонов, например, для атома водорода – это водородные балмеровские линии. В то же время водородные линии Пашена находятся в инфракрасном диапазоне электромагнитного спектра излучения

**ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ТОЛЩИНЫ ОБЛАСТЕЙ ВОДОРОДНЫХ ЭМИССИОННЫХ  
ЛИНИЙ ПАШЕНА И БАЛЬМЕРА В АКТИВНЫХ ГАЛАКТИКАХ**

Активная галактика	A – геометрическая толщина области линий Пашена	A – геометрическая толщина области линий Бальмера
3C 120	0,43	0,23
Ark 120	0,36	0,1
Fairall 9	0,33	0,16
Mrk 279	0,49	0,4
Mrk 290	0,4	0,4
Mrk 335	0,36	0,19
Mrk 509	0,25	0,19
NGC 3516	0,56	0,47
NGC 3783	0,5	0,37
NGC 4051	0,58	0,37
NGC 4593	0,58	0,54
NGC 5548	0,5	0,5
NGC 7469	0,57	0,4

( $\lambda = 1094\text{--}1675$  нм,  $E = 0,38\text{--}1,0$  эВ). Оказалось, что существует довольно сильная корреляция между интенсивностями линий Пашена и интенсивностью жесткого рентгеновского излучения. Удалось установить прямую связь между радиусом области, где генерируются водородные линии Пашена, и рентгеновской светимостью в области, где величина энергии составляет  $E = 14\text{--}195$  кэВ.

Для определения геометрии области широких эмиссионных водородных линий Пашена, возникающих в инфракрасной области спектра, можно использовать приведенное выше уравнение, где величина  $FWHM$  является значением полной ширины не бальмеровской линии,

а соответствующей линии Пашена.

Рассмотрим весьма популярный объект – квазар Fairall 9 – имеющий космологическое красное смещение, равное 0,047. Используя приведенную формулу и имеющиеся в литературе данные о массе СЧД в квазаре Fairall 9, ширине эмиссионной линии Пашена, степени поляризации излучения в этом объекте, а также светимости жесткого рентгеновского излучения этого объекта, полученного космической обсерваторией “Интеграл”, можно оценить геометрическую толщину области излучения широких эмиссионных линий Пашена. Для данного объекта эта величина оказалась равной  $A = 0,33$ . Отметим, что для бальмеровских

линий водорода в этом объекте геометрическая толщина равна  $A = 0,16$ , что примерно вдвое меньше, чем для области линий Пашена. Результат исключительно важен для понимания физики аккреции на СЧД.

Отметим, что водородные линии Пашена также могут быть использованы для определения масс СЧД. В таблице 3 представлены параметры геометрической толщины областей аккреционного потока, где образуются водородные эмиссионные линии Пашена и Бальмера. Рост их значений означает увеличение толщины области генерации эмиссионных линий. Главный вывод состоит в том, что области генерации эмиссионных линий являются геометрически толстыми,

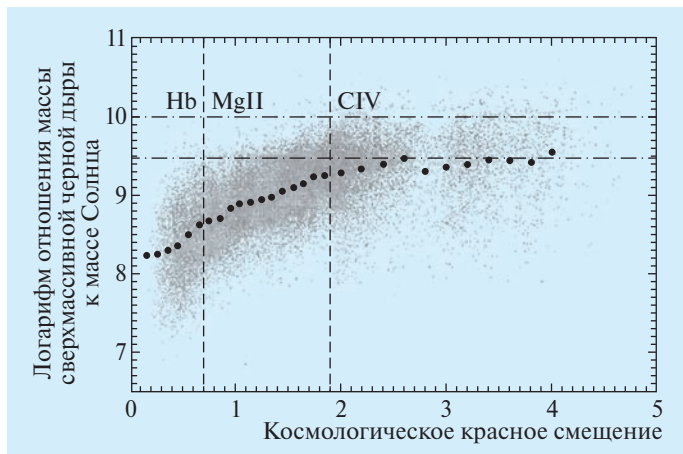


График зависимости массы сверхмассивной черной дыры от космологического красного смещения. Точки обозначают отдельные объекты, вверху представлены общепринятые обозначения линий водорода, магния и углерода. По данным А.М. Черепашука // Успехи физических наук. 2016. Т. 186. С. 778.

в отличие от модели стандартного аккреционного диска, в котором генерируется непрерывное излучение; это свидетельствует о сложности структуры аккреционного потока, падающего на СЧД. Данные наблюдений обсерватории “Интеграл” позволили получить новую информацию о структуре аккреционного диска вокруг СЧД, заключающуюся в том, что толщина аккреционного потока увеличивается с ростом расстояния от СЧД.

#### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БУДУЩЕЙ АСТРОНОМИИ

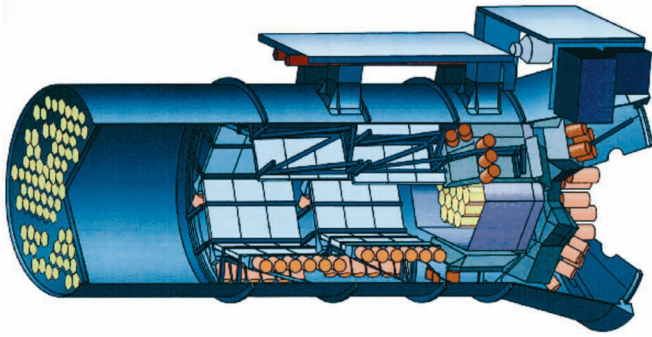
Выполнив детальный обзор плоскости нашей Галактики, обсерватория представила детальную информацию о рентгеновских двойных системах, в состав которых входят нейтронные звезды и ЧД звездных масс (Земля и Вселенная, 2014, № 5;

2016, № 4). Обнаружены рентгеновские двойные системы с оптическим компонентом очень большой массы. В качестве примера плодотворной работы обсерватории можно привести открытие довольно мощного гамма-излучения Крабовидной туманности, которое оказалось сильно поляризованным; оно направлено вдоль оси центрального пульсара.

Благодаря обсерватории “Интеграл” пополнились данные глубоких рентгеновских обзоров небесной сферы и в особенности сделан прорыв в изучении рентгеновского излучения Вселенной в жестких рентгеновских лучах (выше 10 кэВ). Удалось получить детальную информацию о ядрах активных галактик – СЧД (Земля и Вселенная, 2015, № 5). Важность такой информации чрезвычайно возрастает в связи с тем, что оптическое и мягкое

рентгеновские излучения часто оказывается значительно сильно поглощенным в веществе самой галактики. Высокая эффективность работы обсерватории “Интеграл” позволила преодолеть эту трудность: удалось весьма продвинуться в определении масс СЧД и особенно важного физического параметра – углового момента вращения СЧД (спина). Получена детальная информация о структуре аккреционного потока, образующегося вокруг СЧД.

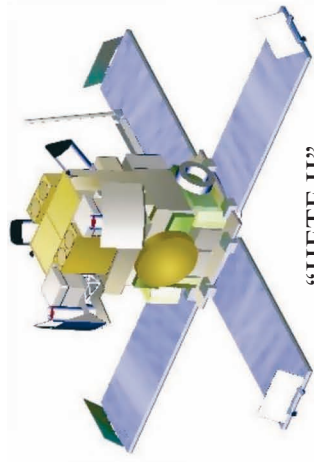
Неожиданное открытие мощных СЧД на ранней стадии развития Вселенной привело к появлению приоритетного направления развития астрономических исследований, связанного с проблемой образования массивных ЧД на ранней стадии эволюции Вселенной. Если характерный возраст Вселенной оценивается в



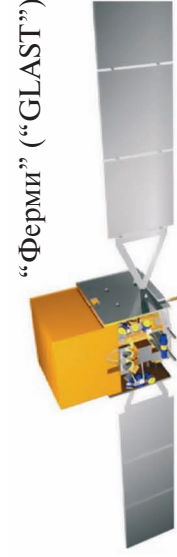
“Интеграл”



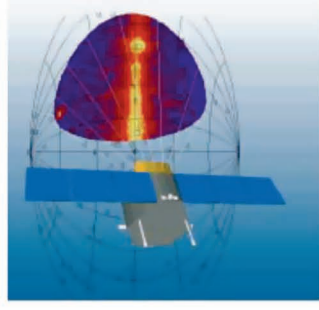
“RHESSI”



“HETE-2”

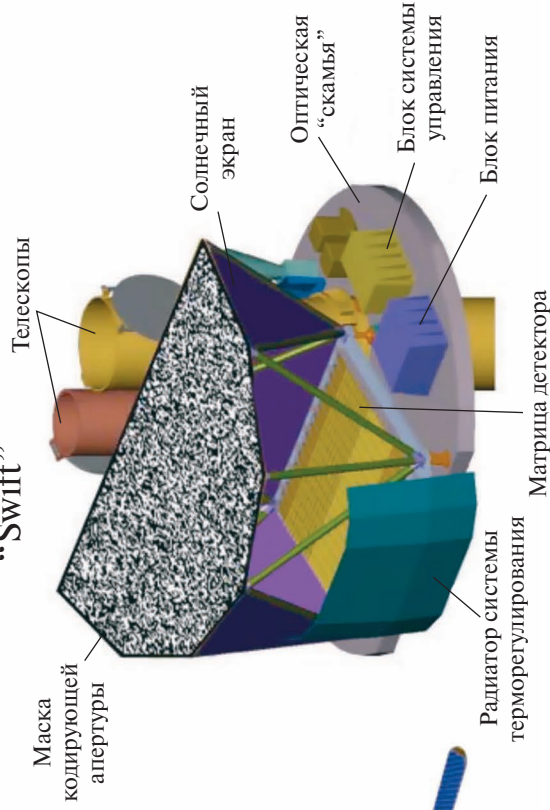


“Ферми” (“GLAST”)

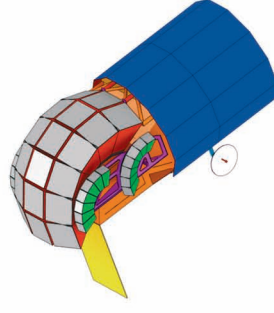


“AGILE”

“Swift”



“EXIST”



Действующие космические рентгеновские обсерватории: “HETE-2” (запущена в 2000 г.), “Интеграл” (2002), “RHESSI” (2002), “Swift” (2004), “AGILE” (2007), “Ферми” (“GLAST”, 2008) и будущая проектируемая рентгеновская обсерватория “EXIST” (запуск намечен на 2028 г.). Рисунки NASA, ESA.

13,5 млрд лет, то обнаруженные гигантские СЧД имеют время жизни меньше, чем один миллиард лет, причем их масса существенно превышает массу массивных ЧД в ближайшей окрестности Вселенной, достигая  $10^9 M_{\odot}$ . Возникает вопрос: каким образом могут образоваться такие массивные ЧД за такой короткий по астрономическим понятиям период времени?

Сочетание полученных обсерваторией “Интеграл” данных со спектрополяриметрическими наблюдениями оптического излучения активных ядер галактик, включая данные

наблюдений на российском телескопе БТА-6м САО РАН, позволили создать надежную методику определения углового момента вращения СЧД, а также определить характерные физические параметры их аккреционного диска.

В настоящее время детально обсуждается стратегический план развития астрономических исследований, включая стратегию развития как наземной, так и космической астрономии и астрофизики. Что касается развития космической астрономии, то в настоящее время в детальной разработке находится большая серия проектов новых

космических обсерваторий. Уже существуют детальные схемы будущих рентгеновских обсерваторий, их запуск планируется в период 2018–2025 гг.

Нас ожидает эпоха замечательных астрономических открытий. Замечательно, что в сентябре 2018 г. на околоземную орбиту планируется вывести российскую космическую рентгеновскую обсерваторию “Спектр-Рентген-Гамма”, проект которой разработан в ИКИ РАН под руководством академика Р.А. Сюняева. Программа такой обсерватории включает детальный обзор небесной сферы, предполагается открыть более миллиона новых ЧД.

## Информация

### Сложные структуры туманности “Сатурн”

Изображения эффективной планетарной туманности NGC 7009 Сатурн, находящейся в 5 тыс. св. лет от нас в созвездии Водолея, недавно получены с помощью мощного спектрографа MUSE, смонтированного на 8,2-м телескопе VLT Европейской Южной Обсерватории (ESO; см. стр. 2 обложки, сверху). Название туманности объясняется ее необычной формой,

напоминающей Сатурн с системой колец.

Картографирование газопылевых структур туманности поможет понять детали эволюции и то, как они приобретают свои причудливые формы и сложную симметрию. Международная группа астрономов под руководством Джереми Уэлша (ESO) сумела заглянуть за пылевую вуаль туманности “Сатурн”: на основе снимков составлена карта распределения пыли внутри туманности, имеющей вид группы накладывающихся друг на друга множества пузырей неправильной формы. Туманность имеет внешнюю оболочку и гало; в ее эллиптической внутренней оболочке обнаружены сложные

структуры – нитевидные образования и волнообразные детали.

Туманность “Сатурн” когда-то была маломассивной звездой, превратившейся в красного гиганта и затем сбросившей свои внешние оболочки: выброшенное вещество под действием интенсивного звездного ветра разлеталось в окружающее пространство, оно “возбуждалось” ультрафиолетовым излучением горячего ядра звезды. Так образовалась околозвездная туманность, состоящая из пыли и ярко светящегося горячего газа. В центре туманности находится обреченная звезда в процессе преобразования в белого карлика.

*Пресс-релиз ESO,  
27 сентября 2017 г*



## Звезды типа Т Тельца

С.А. ЛАМЗИН,  
доктор физико-математических наук  
ГАИШ МГУ

---



**В статье рассказано об объектах, изучение которых позволяет понять, как происходило формирование звезд, подобных Солнцу, и их планетных систем.**

### ОТ ПРОТОЗВЕЗДНОГО ОБЛАКА К ЗВЕЗДЕ

Астрономические наблюдения показывают, что звезды рождаются, главным образом, группами из межзвездного вещества внутри молекулярных облаков, масса которых в нашей Галактике варьируется от нескольких десятков до нескольких миллионов солнечных масс ( $M_{\odot}$ ). С течением времени внутри молекулярных облаков образуются уплотнения, которые затем распадаются на

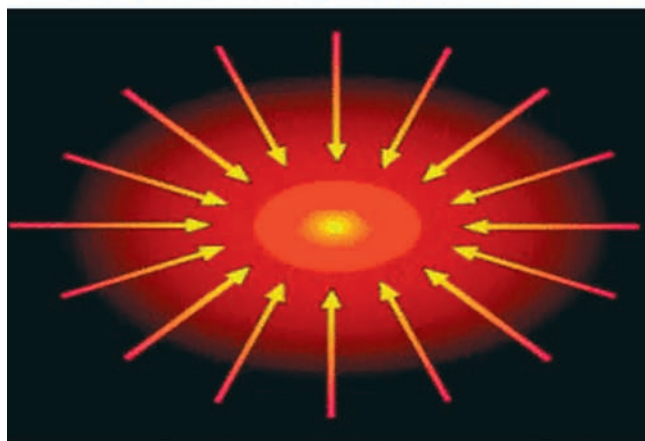
отдельные протозвездные облака-сгустки с массой порядка нескольких  $M_{\odot}$ . По тем или иным причинам в них нарушается механическое (гидростатическое) равновесие между силами тяготения, сжимающими облако, и давлением газа, которое, наоборот, стремится его расширить. Если тяготение побеждает – облако начинает стремительно сжиматься, причем его центральные области уплотняются и нагреваются гораздо быстрее, чем внешние. В какой-то

момент в центральной части облака восстанавливается механическое равновесие и образуется гидростатически равновесное ядро, содержащее примерно 1% массы облака. С течением времени масса этого ядра увеличивается за счет падающего на него (аккрецируемого) вещества внешних частей облака. Такой объект принято называть протозвездой. Исследовать протозвезды можно только в инфракрасном и радиодиапазонах, поскольку для более коротковолнового

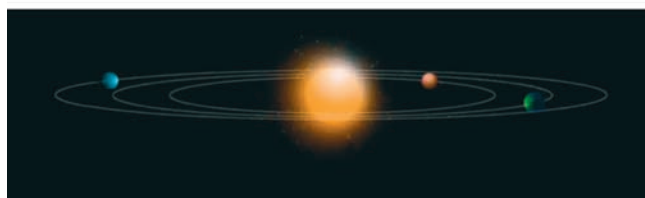
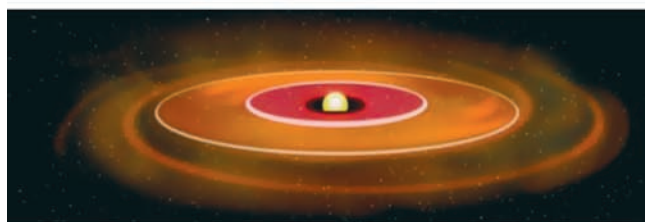
Схематическое изображение процесса образования звезды солнечного типа с планетной системой. Сверху вниз: протозвездное облако (глобула V68), сжимающаяся протозвезда, молодая звезда с протопланетным диском, звезда Главной последовательности с планетной системой. Размеры областей, которые показаны на расположенных друг под другом фрагментах рисунка, отличаются примерно в 30 раз.



излучения внешние слои облака непрозрачны, и протозвездное облако выглядит как “дыра в небе”, поглощая свет находящихся за ним звезд. Но в какой-то момент масса и непрозрачность аккрецируемой оболочки уменьшаются настолько, что ядро становится видимым и в оптическом диапазоне: протозвезда превращается в молодую звезду.



Из теории и наблюдений следует, что протозвездные облака медленно вращаются вокруг своей оси, то есть имеют ненулевой момент импульса. В процессе сжатия, в соответствии с законом сохранения момента импульса, угловая скорость вращения облака увеличивается. Вследствие этого нарастает центробежная сила, которая растягивает облако в направлении, перпендикулярном оси вращения, в результате



чего оно, по мере сжатия, становится все более и более сплюснутым, эллипсоидальным. Если протозвездное

облако вращалось не слишком быстро, то в итоге оно превратится в одиночную молодую звезду, окруженную

газопылевым диском. Масса диска много меньше массы звезды, но именно в нем оказывается сосредоточенным почти весь момент импульса протозвездного облака. Из вещества этих дисков впоследствии формируются планетные системы, поэтому диски вокруг молодых звезд называют протопланетными. Напомним, что свыше 90% всего момента импульса Солнечной системы заключено в орбитальном движении Юпитера и Сатурна.

Если же исходный угловой момент протозвездного облака был достаточно большим, то в какой-то момент центробежные силы должны разорвать облако как минимум на две части, которые будут вращаться вокруг общего центра масс. В результате основная часть момента импульса окажется связанной с орбитальным движением фрагментов, что уменьшит величину центробежной силы на экваторе каждого из них и позволит им продолжить сжатие. При таком развитии событий сформируется двойная или кратная система молодых звезд, возможно, окруженная общим диском.

Звезды типа Т Тельца – это и есть молодые

звезды с возрастом 0,5–10 млн лет, массой 0,08–3  $M_{\odot}$ . Большую массу имеют молодые звезды, называемые звездами Ae/Be Хербига, а меньшую – коричневые карлики. Но мы будем говорить только о звездах типа Т Тельца, ибо “нельзя объять необъятное”. Впрочем, у всех этих молодых объектов есть общее свойство: температура в их центральных областях слишком низка для того, чтобы там достаточно интенсивно могли протекать термоядерные реакции превращения водорода в гелий; поэтому они вынуждены сжиматься. Совершаемая при этом силами тяготения работа превращается в тепловую энергию, половина которой уносится излучением с поверхности в окружающее пространство, а другая расходуется на нагрев внутренних областей<sup>1</sup>. У звезд типа Т Тельца и Ae/Be Хербига температура в центральной области в итоге оказывается достаточно высокой для того, чтобы водород начал превращаться в гелий в количествах, необходимых для поддержания светимости звезды, и молодые звезды становятся “взрослыми” звездами Главной последовательности. У коричневых карликов

термоядерное “горение” водорода никогда не сможет полностью поддерживать их светимость, и они будут сжиматься практически вечно.

Для того, чтобы достигнуть начальной Главной последовательности, молодой звезде с массой 1  $M_{\odot}$  требуется около 30 млн лет, а менее массивным – еще больше. Поэтому звезды типа Т Тельца – это самые “юные” представители молодых сжимающихся звезд в указанном диапазоне масс, и позже мы поймем, с чем это связано. Сжимаются звезды Т Тельца очень медленно – за год их радиус уменьшается менее чем на 0,001%, поэтому в каждый момент времени они, как и “взрослые” звезды (например, Солнце), находятся в состоянии гидростатического равновесия.

Изучение звезд типа Т Тельца позволяет понять, как происходило формирование нашей Солнечной системы. Кроме того, многие из этих звезд находятся от нас довольно близко (например, до звезды TW Нуа – менее 60 пк), что позволяет детально изучить, как происходит взаимодействие их магнитного поля с околос звездным веществом, что весьма важно для понимания

<sup>1</sup> Строго говоря, в недрах таких звезд тепло выделяется еще и при ядерном “горении” дейтерия и лития, однако этих элементов в межзвездной среде так мало, что на эволюцию молодых звезд этот источник энергии почти не влияет.

Область неба в созвездии Тельца размером около 7 св. лет, в центре которой расположена звезда Т Тельца – прототип одноименного класса молодых звезд. Звезда и окружающая ее туманность Хинда (NGC 1555) – остаток родительского облака, удалены от нас на расстояние около 450 св. лет и находятся на переднем крае невидимого в оптическом диапазоне гигантского молекулярного облака. Снимок сделан Б. Снайдером в Обсерватории Сьерра Реноут (США).

---



аналогичных явлений у “взрослых” звезд.

#### НЕМНОГО ИСТОРИИ

С наблюдательной точки зрения, звезды типа Т Тельца – объекты поздних спектральных классов (от F до M), расположенные либо в газопылевых комплексах, либо неподалеку от них. Сейчас обнаружено более двух тысяч звезд этого типа, хотя сколь-нибудь подробно изучена лишь пара сотен. На диаграмме Герцшпрунга–Рассела интересующие нас объекты располагаются над Главной последовательностью, между Ae/Be звездами Хербига и коричневыми карликами.

Хаотическая переменность блеска многих из них была давно известна астрономам, и они в разное время называли их то орионовыми переменными, то звездами типа RW Возничего. В частности, переменность блеска самой Т Тау была обнаружена еще 150 лет назад. Но в 1945 г. американский астроном Альфред Джой пришел к выводу, что причины изменения блеска орионовых переменных могут быть очень разными, и в данном случае классификация по характеру переменности не имеет астрофизических оснований. Из числа орионовых переменных А. Джой выделил группу звезд, которую назвал звездами типа Т Тельца, осно-

вываясь на сходстве их спектров, а не кривых блеска. В качестве критериев принадлежности к новому классу он рассматривал следующие особенности спектров звезд:

- наличие эмиссионных линий водорода и ионизованного кальция;
- большая глубина линии поглощения лития LiI ( $\lambda = 6708 \text{ \AA}$ );
- глубина линий поглощения других атомов и ионов должна быть заметно меньше, чем у звезд главной последовательности тех же спектральных классов.

А. Джой предположил, что эффект “вуалирования” абсорбционных линий обусловлен тем, что на спектр звезды “накладывается”

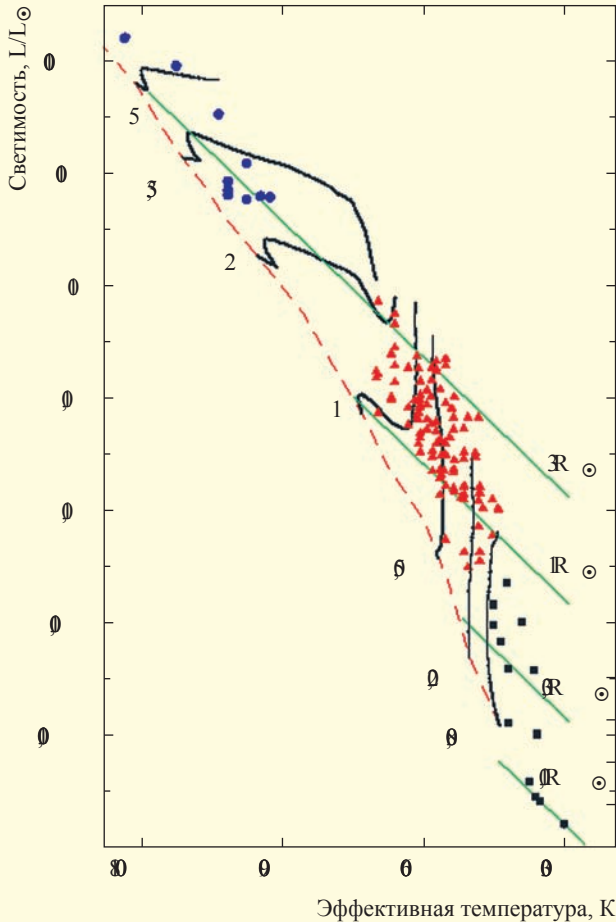


Диаграмма Герцшпрунга–Рассела для молодых звездных объектов. Жирные линии – эволюционные треки молодых звезд разной массы (указаны в  $M_{\odot}$  у каждой кривой) вплоть до начальной Главной последовательности (обозначена красной штриховой линией). Синими кружками показано наблюдаемое положение Ae/Be звезд Хербига, красными треугольниками – звезд типа Т Тельца, а черными квадратами – коричневых карликов; зеленые прямые – линии одинакового радиуса.

понят довольно быстро. В конце 1940-х гг. советский астрофизик В.А. Амбарцумян на основе звездно-динамических расчетов пришел к выводу, что эти звезды должны быть молодыми. На это также указывала близость звезд Т Тельца к темным туманностям, а также большая глубина линии лития в их спектрах, что свидетельствовало о довольно большом (сравнимом с межзвездным) обилии этого элемента, который “выгорает” к моменту, когда звезда “приходит” на Главную последовательность. Например, в атмосфере Солнца лития всего в 2–3 раза больше, чем урана, а в центре Солнца лития нет совсем. Окончательно “молодость” звезд Т Тельца подтвердили расчеты японского астрофизика Ч. Хаяши

дополнительное излучение в непрерывном спектре – эмиссионный континуум, который формируется там же, где эмиссионные линии. Большой вклад в последующее изучение молодых звезд внес американский астрофизик Дж. Хербиг, который не только открыл и исследовал много новых звезд Т Тельца, но и нашел их более массивных

собратьев – теперь их называют Ae/Be звездами Хербига. Кроме того, он вместе с мексиканским астрономом Г. Аро обнаружил в окрестностях молодых звезд компактные туманности (объекты Хербига–Аро), которые излучали энергию без видимой подпитки извне и перемещались в пространстве, меняя свою форму.

Эволюционный статус звезд типа Т Тельца был

с коллегами: рассчитанные ими эволюционные треки молодых звезд проходили как раз через ту область диаграммы Герцшпрунга–Рассела, в которой располагаются звезды типа Т Тельца.

Еще А. Джой отметил, что спектры исследованных им звезд напоминают спектр хромосферы Солнца во время полного солнечного затмения. Отсюда возникла идея объяснить наблюдаемую эмиссию в линиях и континууме наличием у этих звезд хромосфер и корон, аналогичных солнечным, но гораздо более мощных, что казалось весьма естественным. Действительно, поверхностные конвективные зоны у звезд типа Т Тельца переносят гораздо больше энергии, чем в случае Солнца, и вращаются эти звезды вокруг своей оси в несколько раз быстрее, чем наше светило. А как раз от этих факторов зависит, насколько сильным будет магнитное поле звезды и сколь интенсивно это поле будет взаимодействовать с ее атмосферой, что в конечном счете проявляется как хромосферно-корональная активность.

В начале 1960-х гг. американский астрофизик Л. Кухи обнаружил, что эмиссионные линии водорода в спектрах наиболее активных звезд Т Тельца формируются не в статических хромосферах,

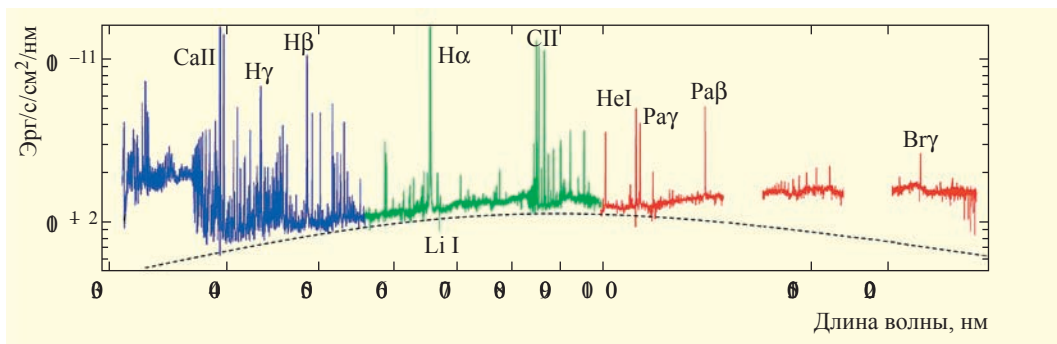
а в улетающем от звезды газе – звездном ветре. По оценке Л. Кухи, характерная скорость движения газа в ветре составляет 300 км/с, уносит этот ветер в окружающее пространство до  $10^{-8} M_{\odot}$  в год, то есть в миллион раз больше, чем солнечный ветер. В следующем десятилетии у звезд Т Тельца было обнаружено рентгеновское излучение, мощность которого в тысячи раз превышала рентгеновскую светимость Солнца.

Сначала казалось, что эти факты подтверждают хромосферно-корональную природу активности этих звезд, однако попытки количественно объяснить весь комплекс наблюдаемых явлений оказались безуспешными. Между тем в 1974 г. английские астрофизики Д. Линден-Белл и П. Прингл предположили, что активность звезд Т Тельца обусловлена совсем другим механизмом – аккрецией вещества окружающего их газопылевого диска, который, как мы видели, должен формироваться вокруг молодой звезды в процессе ее рождения. В пользу того, что вокруг звезд Т Тельца имеются сильно сплюснутые пылевые оболочки, свидетельствовали и наблюдения. Пожалуй, главным аргументом было то, что мощность излучения многих молодых звезд в инфракрасном

диапазоне намного больше, чем у звезд главной последовательности тех же спектральных классов. Проще всего этот факт объяснялся наличием в окрестности молодых звезд пылинок, которые поглощают оптическое излучение звезды и переизлучают его в ИК-диапазоне. Но заметное ослабление оптического излучения наблюдается у сравнительно небольшого числа объектов, следовательно – не сферические (иначе поглощение наблюдалось бы у всех звезд), а сильно сплюснутые.

На протяжении 1980-х гг. накапливались наблюдательные факты, говорившие в пользу как хромосферно-корональной, так и аккреционной гипотезы. К началу 1990-х гг. стало ясно, что правы сторонники и той, и другой точек зрения; просто у одних звезд преобладает активность, обусловленная аккрецией, а у других – наличие мощных хромосфер и корон.

Самая сильная эмиссионная линия в оптических спектрах звезд типа Т Тельца – линия водорода  $H_{\alpha}$  ( $\lambda = 6563 \text{ \AA}$ ), которая может служить индикатором активности этих объектов: чем она интенсивней – тем больше в спектре звезды наблюдается эмиссионных линий как самого водорода, так и других элементов, и тем сильней



Спектр RU Волка – классической звезды Т Тельца – полученный со спектрографа X-SHOOTER на 8-м телескопе VLT Европейской Южной Обсерватории в трех диапазонах, показанных кривыми разного цвета. Разрывы в инфракрасной части спектра – окна непрозрачности земной атмосферы. Отмечено положение наиболее интенсивных эмиссионных линий и абсорбционной линии Li I 6708 Å. Для сравнения штриховой линией показано распределение энергии в континууме звезды Главной последовательности с такой же эффективной температурой, как и у RU Волка.

дополнительная эмиссия в оптическом, ультрафиолетовом и инфракрасном континуумах. По предложению французского астрофизика К. Берту, звезды типа Т Тельца, у которых эквивалентная ширина<sup>2</sup> линии  $H_{\alpha}$  превышает 5–10 Å, стали называть классическими, а остальные – звездами со слабыми линиями. Ниже мы увидим, что у классических звезд главным образом наблюдаются последствия аккреции, а у звезд со слабыми линиями – проявления мощных хромосфер и корон.

#### КЛАССИЧЕСКИЕ ЗВЕЗДЫ Т ТЕЛЬЦА

За последнюю четверть века удалось окончательно убедиться в том,

что классические звезды Т Тельца окружены газопылевыми дисками: надежно определены их параметры, получены достаточно детальные радиоинтерферометрические изображения некоторых из них. Оказалось, что массы протопланетных дисков, как правило, не превышают несколько сотых  $M_{\odot}$ , а размеры варьируются от нескольких десятков до нескольких сотен астрономических единиц. В поперечном сечении, проходящем через ось их вращения, диски одиночных звезд имеют почти треугольную форму.

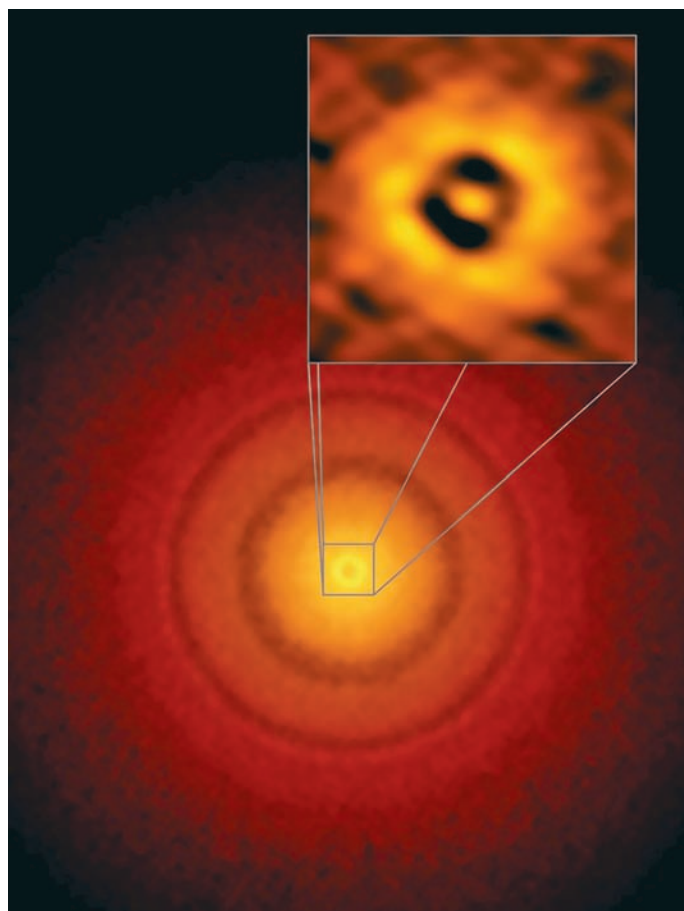
Анализ профилей спектральных линий атомов и молекул, которые возникают в диске, показал, что, по мере

удаления от звезды, угловая скорость вращения диска уменьшается. Из-за этого между соседними слоями диска возникает трение, которое “тормозит” газ, вынуждая его по спирали приближаться к звезде. Тепло, выделяющееся при трении, нагревает вещество диска, в результате чего его температура вблизи центральной плоскости растет от нескольких десятков кельвинов на внешней границе до нескольких тысяч вблизи звезды. Другой источник нагрева диска – излучение центральной звезды. Но если трение нагревает газ (причем, главным образом, вблизи центральной плоскости), то излучение звезды поглощают,

<sup>2</sup> Эквивалентной шириной линии называют ширину полосы близлежащего континуума, в которой излучается столько же энергии, сколько в самой линии.

*Протопланетный диск молодой звезды TW Гидры. Темные концентрические кольца и темное пятно вблизи звезды – области с пониженной концентрацией вещества, которое, по-видимому, вошло в состав формирующихся планет. Изображение получено в субмиллиметровом диапазоне с помощью радиоинтерферометра ALMA (NRAO) в Чили. Фото С. Эндриус (Гарвард-Смитсоновская обсерватория), ESO/NAOJ/NRAO.*

в основном, пылинки, расположенные ниже и выше этой плоскости, – в атмосфере диска. Поэтому для того, чтобы рассчитать распределение температуры по диску (а затем и спектр его излучения), необходимо учитывать обмен тепла между газом и пылинками как вдоль радиуса диска, так и в перпендикулярном направлении. Чтобы решить эту задачу, приходится делать предположения о физико-химических свойствах пылинок и распределении их по размерам, зато сравнение расчетных спектров в ИК-диапазоне с наблюдаемыми дает возможность получить информацию об этих параметрах. В частности, было установлено, что с течением времени более крупные пылинки



оседают к центральной плоскости диска. Это увеличивает вероятность их столкновения и слипания, что запускает процесс формирования зародышей планет.

Из наблюдений следует, что у классических звезд типа Т Тельца есть глобальное магнитное поле, индукция которого в полярных областях некоторых звезд превышает 5000 Гс. Для

сравнения напомним, что индукция глобального магнитного поля Солнца (и Земли) – порядка 1 Гс, и лишь в солнечных пятнах встречаются поля с индукцией  $\approx 1000$  Гс. Как известно, плазма (ионизованный газ) – диамагнетик, а это значит, что магнитное поле должно препятствовать ее проникновению в область, которую оно занимает<sup>3</sup>. По этой причине

<sup>3</sup> Еще М. Фарадей обнаружил, что пламя свечи “выталкивается” из промежутка между полюсами достаточно сильного магнита. Можно посмотреть видеозапись соответствующего эксперимента, пройдя по ссылке: <https://www.youtube.com/watch?v=nhg8vG9vBK0>.



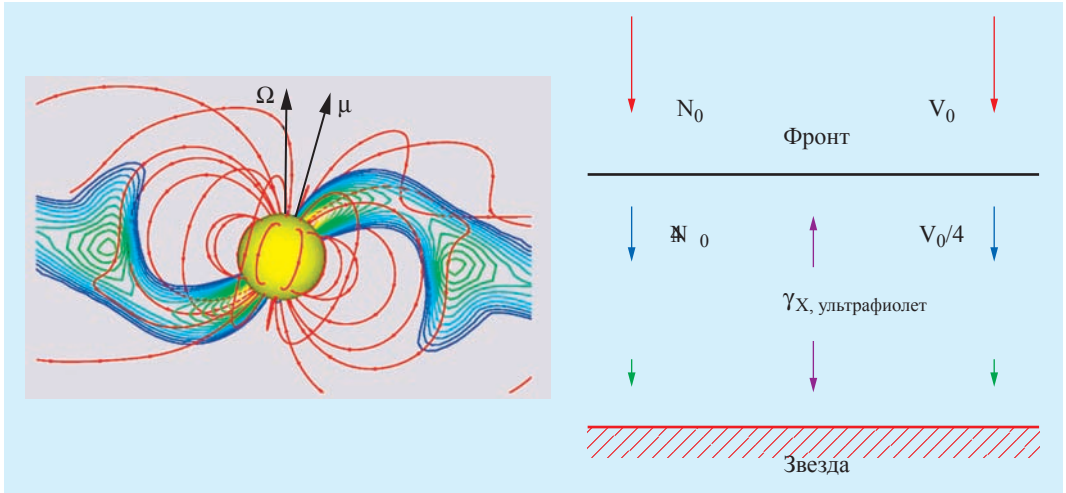


Схема процесса магнитосферной аккреции на звезду типа Т Тельца. Слева – область взаимодействия магнитного поля звезды с протопланетным диском в разрезе (синие и зеленые линии в диске соединяют в точки с одинаковой плотностью газа). Ось вращения звезды  $\Omega$  наклонена к оси магнитного поля  $\mu$ , силовые линии которого показаны красным цветом (рисунок с сайта М.М. Романовой). Справа – строение аккреционной ударной волны. Пересекая фронт, падающий газ нагревается, а затем его тепловая энергия уносится квантами рентгеновского и УФ-излучений, половина которых движется к звезде, а половина – от звезды.

сильное глобальное магнитное поле молодой звезды останавливает спиральное падение вещества диска на расстоянии нескольких радиусов от поверхности звезды. Однако удержать плазму магнитным полем очень трудно (иначе термоядерные реакторы уже давно были бы построены), и она в виде отдельных сгустков все-таки проникает внутрь запретной области, называемую магнитосферой, а затем, пользуясь терминологией астрофизиков, “вмораживается” в силовые линии магнитного поля звезды и “соскальзывает” вдоль них к ее поверхности. Сила

тяготения разгоняет падающее вещество до скорости около 300 км/с, что раз в 30 превышает скорость распространения в нем звуковых волн; поэтому в области, где аккреционный поток сталкивается с атмосферой звезды, возникает ударная волна.

Поясним, о чем идет речь. Если пассажир эскалатора, лента которого движется вниз со скоростью  $V_0$ , хочет подняться по нему вверх, то он должен бежать вверх по ленте со скоростью  $V > V_0$ , иначе со скоростью  $V_0 - V$  он будет смещаться вниз. Теперь рассмотрим струю движущегося газа, на пути

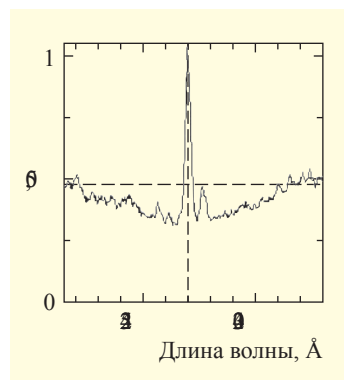
которой вдруг появилось препятствие: в области столкновения резко повысятся плотность и давление газа, и от этого места во все стороны побегут звуковые волны, которые переносят по газу информацию об изменении давления. Из аналогии с эскалатором ясно, что если скорость струи будет меньше скорости звука, то волны смогут удаляться от области столкновения и “предупреждать” еще не дошедший до препятствия газ о возможности столкновения. Это позволит давлению в газе перераспределиться таким образом, чтобы он в дальнейшем плавно

обтекал препятствие. Но если струя движется со сверхзвуковой скоростью, то звуковые волны не смогут удалиться от области столкновения, поскольку будут сноситься потоком газа, подобно медленно бегущему пассажиру эскалатора. Следовательно, столкновение с препятствием будет неожиданным для всех частей струи, и в области столкновения сохранится скачок плотности и давления – ударная волна.

На фронте ударной волны, который у молодых звезд представляет собой слой толщиной около 1 м, скорость газа  $V_0$  падает в четыре раза, плотность  $N_0$  вчетверо возрастает, а температура увеличивается до величины  $\sim 10^6$  К за счет превращения примерно 94% кинетической энергии направленного движения газа в тепло (в кинетическую энергию хаотического движения атомов). За фронтом газ остывает и, постепенно уменьшая свою скорость, оседает на звезду. Тепловая энергия остывающего газа уносится квантами мягкого рентгеновского (до 1 кэВ) и УФ-диапазонов, половина которых летит по направлению к звезде и поглощается верхними слоями ее атмосферы. В результате на

поверхности звезды образуется горячее пятно<sup>4</sup>, эффективная температура которого может на несколько тысяч градусов превышать эффективную температуру звезды: насколько именно зависит от плотности и скорости падающего газа перед фронтом ударной волны.

Еще совсем недавно считалось, что горячее пятно излучает только в континууме, который называли вуалирующим, полагая, что его добавка к излучению молодой звезды уменьшает глубину линий поглощения в наблюдаемом спектре, по сравнению со спектрами звезд Главной последовательности с такой же эффективной температурой. Однако из расчетов, выполненных молодым российским астрофизиком А.В. Додиним, следует, что значительную долю энергии горячее пятно излучает в эмиссионных линиях, причем почти в тех же самых, в которых у звезды без пятна наблюдались бы линии поглощения. Вследствие этого в наблюдаемом спектре системы “звезда + горячее пятно” линии излучения пятна накладываются на линии поглощения звезды и, наряду с вуалирующим континуумом, уменьшают их глубину. Как правило, ширина



Профиль линии  $Ca I$  ( $\lambda = 4227 \text{ \AA}$ ) в спектре звезды DK Тельца, эмиссионный компонент которой формируется в горячем пятне. По оси абсцисс отложена длина волны в системе отсчета звезды, а по оси ординат – интенсивность излучения в относительных единицах.

эмиссионных линий горячего пятна – почти такая же, как у аналогичных линий поглощения в спектре звезды, поэтому их трудно заметить. Едва ли не единственным исключением является линия  $Ca I$  ( $\lambda = 4227 \text{ \AA}$ ): в спектрах звезд Т Тельца она гораздо шире других линий поглощения, и поэтому эмиссионную линию пятна внутри нее легко заметить.

Поскольку раньше “вуалирование линиями” не учитывалось, то все предыдущие оценки темпа аккреции  $M_{ac}$ , т.е. массы газа, падающей на звезду в единицу времени,

<sup>4</sup> На схеме процесса магнитосферной аккреции на звезду типа Т Тельца (слева) таких пятен два: по одному в каждом полушарии звезды.

в той или иной мере были завышены. И вот почему. В конечном итоге вся кинетическая энергия падающего на звезду потока превращается в излучение, которое в единицу времени должно уносить в окружающее пространство энергию  $L_{ac} = M_{ac} \times V_0^2/2$ , где  $V_0$  – скорость газа перед фронтом ударной волны. Как мы уже говорили, половина этой энергии, называемой аккреционной светимостью, излучается горячим пятном. Чтобы узнать, чему равна эта “половинка”, определяли, какой должна быть интенсивность континуума, излучаемого горячим пятном, чтобы обеспечить наблюдаемую степень вуалирования линий поглощения. (На рисунке, где показан спектр звезды RU Волка, это – разность между спектром звезды и штриховой линией.) Но на “ямочный” ремонт дороги нужно гораздо меньше асфальта, чем для того, чтобы покрыть им всю дорогу. Поэтому, не учитывая эффект вуалирования эмиссионными линиями, которые “засыпают” провал в спектре звезды (читай – линию поглощения) как раз в нужном месте, астрономы значительно завышали величину  $L_{ac}$ , а следовательно, и темп аккреции.

Тут уместно сказать о том, каково значение  $M_{ac}$  у классических звезд Т Тельца. Средняя

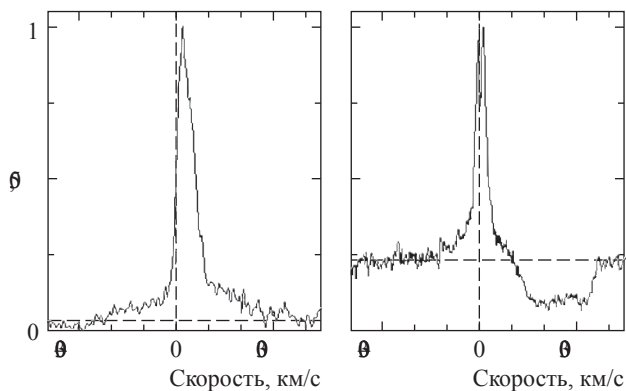
светимость  $L$  этих звезд сравнима со светимостью Солнца  $L_{\odot} = 4 \times 10^{26}$  Вт, поэтому для того, чтобы аккреционная светимость составляла, скажем, 10% от  $L$  (при  $V_0 \approx 300$  км/с), необходим темп аккреции, равный  $3 \times 10^{-9} M_{\odot}/\text{год}$ . У исследованных звезд значения  $M_{ac}$  могут отличаться от этой величины примерно на порядок – как в большую, так и в меньшую сторону.

Обратим внимание на еще одно следствие эффекта “вуалирования линиями”. Наблюдения показывают, что ось симметрии крупномасштабного магнитного поля звезды, как правило, заметно наклонена к оси ее вращения, вследствие чего горячие пятна постоянно, по мере вращения звезды, меняют свою ориентацию относительно наблюдателя. Одновременно меняется и их вклад в общее излучение системы “звезда + пятно”, что наблюдается как периодическое изменение блеска и показателей цвета с периодом осевого вращения звезды, который обычно составляет от 3 до 8 суток. Излучение пятен в линиях проявляется в том, что при вращении звезды профили спектральных линий поглощения также периодически меняют свою форму. Это происходит из-за того, что когда пятно при вращении звезды приближается

к нам, то его эмиссионные линии вследствие эффекта Доплера немного смещаются в коротковолновую часть спектра, а когда пятно удаляется – в длинноволновую. На спектрах с низким разрешением это выглядит как периодическое изменение “центра тяжести” абсорбционных линий, которое некоторые астрономы принимали за изменение скорости движения всей звезды, обусловленное наличием близкого спутника. После тщательного анализа спектров высокого разрешения, выполненного российским астрофизиком П.П. Петровым с коллегами, некоторые из “открытых” таким образом спутников пришлось “закрыть”...

Все эти эффекты – результат воздействия на звезду рентгеновских и ультрафиолетовых квантов, которые из зоны охлаждения газа за фронтом ударной волны летят по направлению к звезде. Что же происходит с аналогичными квантами, которые летят в противоположном направлении? Они поглощаются падающим на звезду газом в магнитосфере звезды, нагревая и ионизуя его. Наши расчеты показывают, что даже непосредственно перед фронтом падающий газ – не очень горячий ( $T < 20000$  К), но довольно сильно ионизован: углерод, например,

Профили линий в спектре звезды DS Тельца, длинноволновое крыло которых образуется в области перед фронтом ударной волны. Слева – профиль линии C IV ( $\lambda = 1548 \text{ \AA}$ ), справа – линии Ca II ( $\lambda = 3934 \text{ \AA}$ ). По оси абсцисс отложено расстояние  $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$  от центральной длины волны линии  $\lambda_0$ , выраженный в единицах скорости с помощью соотношения Доплера  $V = c\Delta\lambda/\lambda_0$ , где  $c$  – скорость света.



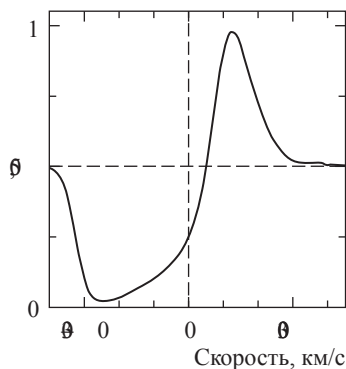
вплоть до ионов с зарядом +3 ( $C^{+3}$ ). Пересекая фронт ударной волны, газ почти мгновенно ионизируется еще больше (углерод при этом теряет все электроны), но потом, по мере остывания газа, степень его ионизации уменьшается, поскольку снижается скорость движения свободных электронов, что повышает вероятность их захвата ионами. Этот процесс называется рекомбинацией.

Любопытно, что при этом газ остывает быстрее, чем рекомбинирует: например, в верхней атмосфере Солнца ион  $C^{+3}$  наиболее обилен при температуре около  $10^5 \text{ K}$ , а за фронтом ударной волны – в области с температурой около  $25\,000 \text{ K}$ , то есть в области, где газ уже почти полностью затормозился. Отсюда следует, что сильные спектральные линии этого (и некоторых других) ионов возникают в двух областях

ударной волны: перед фронтом, где газ приближается к звезде с некоторой скоростью  $V_0$ , и за фронтом, где он почти остановился. Профили таких спектральных линий должны состоять из двух пиков: один – на центральной длине волны, а другой – смещенный вследствие эффекта Доплера в “красную” (длинноволновую) область спектра; причем смещение тем больше, чем меньше угол между направлением вектора скорости и лучом зрения. Если струя аккрецируемого газа имеет достаточно большой поперечный размер, то разные ее области будут видны под разными углами, поэтому расстояние между “нулевой” и “красной” компонентами спектральных линий от различных участков струи будет разным.

Наблюдаемый профиль спектральной линии – это сумма профилей от всех участков

струи. “Нулевые” компоненты складываются, образуя центральный пик линии. “Красные” формируют растянутое “красное” крыло профиля, форма которого зависит не только от ориентации аккреционной струи относительно наблюдателя в момент наблюдения, но и от ее поперечных размеров, и того, как вдоль и поперек струи меняются плотность и скорость падающего газа. Из расчетов и наблюдений следует, что “нулевой” пик линий, формирующихся в ударной волне, всегда эмиссионный, а “красное” крыло может быть как эмиссионным, так и абсорбционным. Проследив, как меняется профиль такой линии при вращении звезды вокруг оси, можно определить геометрию струи и ее физические параметры, а затем получить информацию о том, как происходит взаимодействие внутренних областей диска с магнитосферой



Профиль линии He I ( $\lambda = 10830 \text{ \AA}$ ) в спектре звезды DR Тельца. Абсорбция в коротковолновом крыле линии формируется в ветре.

звезды. Это важно не только для физики молодых звезд: аналогичные процессы столь же плохо изучены и в случае дисковой аккреции на белые карлики или на нейтронные звезды с сильным магнитным полем.

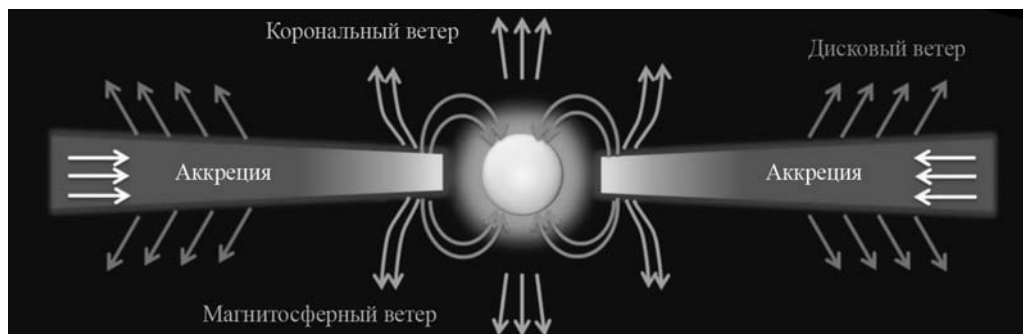
Для того, чтобы вещество протопланетного диска падало по спирали на звезду, оно должно терять момент

импульса. По-видимому, существенную долю момента импульса уносит газ, который улетает с поверхности диска в окружающее пространство — особенно из его внутренних областей, где диск взаимодействует с магнитосферой молодой звезды.

Как мы уже упоминали, об истечении вещества из окрестностей классических звезд Т Тельца со скоростями до 300 км/с известно более полувека: об этом свидетельствуют эмиссионные и абсорбционные детали в коротковолновых крыльях некоторых спектральных линий. Из анализа профилей этих линий следует, что ветер у молодых звезд дует из трех различных областей: с поверхности звезды в районе ее магнитных полюсов (корональный ветер); из области взаимодействия магнитного поля звезды с диском (магнитосферный ветер) и с поверхности диска (дисковый ветер)

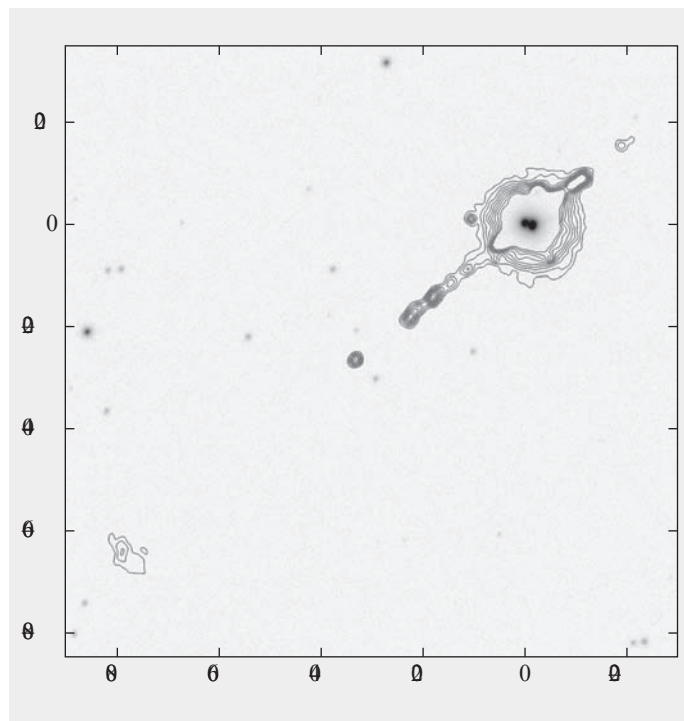
на расстоянии от 0,1 до 1 а.е. от звезды. Скорость потери массы, уносимой магнитосферным и дисковым ветрами, по-видимому, на порядок меньше темпа аккреции, а корональный ветер уносит ежегодно не более  $10^{-10} M_{\odot}$  вещества. Как правило, магнитная ось у молодых звезд наклонена к оси вращения под заметным углом, поэтому картина взаимодействия вещества диска с магнитосферой звезды не имеет осевой симметрии. По этой причине для моделирования процесса аккреции и истечения вещества в случае молодых звезд приходится решать трехмерные нестационарные уравнения магнитогидродинамики и переноса излучения — задача весьма нетривиальная, в решении которой удалось получить первые, весьма обнадеживающие результаты лишь в последнее десятилетие.

В 1980-х гг. было обнаружено, что на расстоя-



Области, из которых происходит истечение вещества у классических звезд Т Тельца.

Джет молодой звезды RW Aur A показан в виде линий одинаковой интенсивности (изофот) красного цвета. Звезда входит в состав двойной системы, расстояние между компонентами которой 1,5". Концентрические изофоты вокруг системы возникли при обработке изображения, выполненного для того, чтобы показать, что источником джета является RW Aur A, а не ее спутник. Изображение получено в феврале 2017 г. с помощью 2,5-м телескопа Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ в диапазоне излучения линий S II ( $\lambda = 6716 + 6731 \text{ \AA}$ ). По осям отложено расстояние от RW Aur A в угловых секундах.

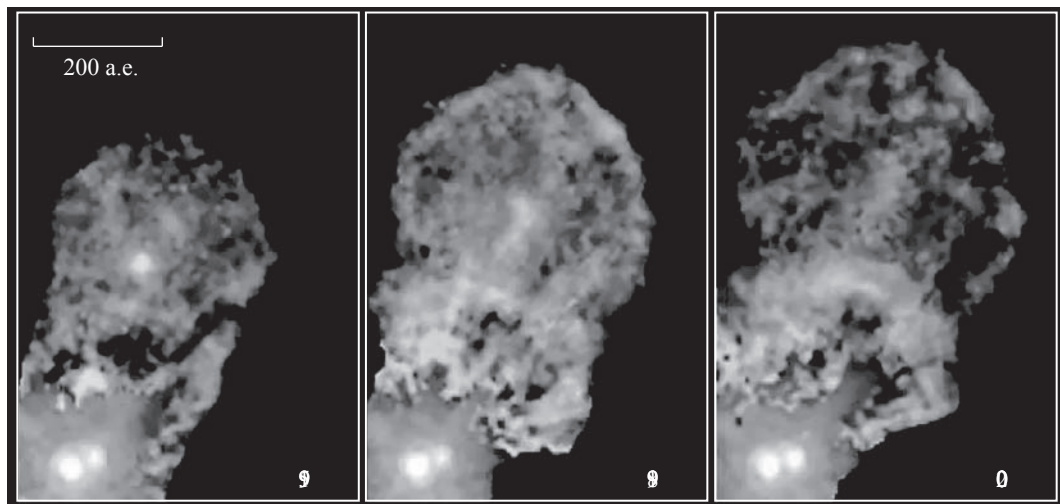


ниях свыше 10 а.е. от звезды истекающее вещество превращается в две противоположно направленные струи (джеты) с поперечным диаметром около 20 а.е., перпендикулярные плоскости протопланетного диска. По-видимому, в окрестностях звезды истечение вещества происходит в разных направлениях; но затем улетающий газ “обжимается” крупномасштабным магнитным полем, которое сохранилось с протозвездной стадии, и образует почти цилиндрический джет. У некоторых молодых звезд следы взаимодействия джетов с остатками родительского протозвездного облака

прослеживаются до расстояний в несколько парсек. Внутри этих струй наблюдаются пятна уплотнения, которые перемещаются вдоль джета со скоростью порядка 100 км/с – это и есть упоминавшиеся выше объекты Хербига–Аро. Уплотнения представляют собой ударные волны, которые возникают в основании джета вследствие того, что из области формирования коронального и/или магнитосферного ветра в джет эпизодически “впрыскивается” вещество с более высокой скоростью. После очень мощного выброса в нижней части джета одного из компонентов молодой двойной звезды XZ Tau

сформировалось не просто уплотнение, а огромный “пузырь” горячего газа. Механизм возникновения высокоскоростных выбросов вещества еще предстоит выяснить, но сам факт того, что ветер молодых звезд дует “порывами”, не кажется странным. Вероятно, это связано с тем, что темп аккреции у этих звезд без видимой закономерности меняется с течением времени, что вызывает нерегулярные колебания блеска звезды, а также вариации интенсивностей и формы профилей спектральных линий на временных интервалах от десятков минут до десятков лет.

Если говорить о периодичности блеска, то



следует особо упомянуть объекты, получившие название “фуоры” и “эксоры” по имени звезд-прототипов – FU Ориона и EX Волка соответственно. Фуоры – это молодые звезды, скорее всего – звезды типа Т Тельца, блеск которых за несколько лет возрастает на  $5-6^m$ , а затем возвращается к исходному уровню за время порядка 100 лет. Сейчас ни у кого не вызывает сомнения, что возрастание блеска фуоров вызвано тем, что по какой-то причине темп аккреции вещества из протопланетного диска на молодую звезду возрастает до  $10^{-4} M_{\odot}/\text{год}$ . В результате светимость, обусловленная аккрецией, становится гораздо больше светимости самой звезды, поэтому наблюдаемый спектр фуоров – это спектр не звезды, а аккреционного диска, который, впрочем,

вблизи звезды разбухает настолько, что сам становится похожим на звезду. Есть основание считать, что через стадию фуора в процессе эволюции проходит большинство звезд типа Т Тельца, причем неоднократно. Самая большая загадка фуоров – причина увеличения темпа аккреции до столь больших значений, сравнимых с темпом аккреции на черную дыру в знаменитом объекте SS433 (Земля и Вселенная, 1980, № 4; 1986, № 1; 1991, № 4). Обсуждаются два вида моделей явления: неустойчивость в массивном протопланетном диске (гравитационная, тепловая или магнито-ротационная) и приливное воздействие спутника (маломассивной звезды, коричневого карлика или планеты-гиганта). У самой FU Ori недавно был обнаружен спутник, но он сейчас

*Процесс формирования гигантского газового пузыря в основании джета молодой двойной звезды XZ Tau. Изображение получено в 1995, 1998 и 2000 гг. с помощью Космического телескопа им. Хаббла. Фото NASA.*

находится от звезды на расстоянии свыше 250 а.е., поэтому вряд ли именно его воздействие на диск ответственно за вспышку, которая произошла 80 лет назад. В 2005 г. группа французских астрономов сообщила об обнаружении движущейся структуры в диске FU Ori на расстоянии около 10 а.е. от звезды, но независимого подтверждения этого результата пока нет.

Что касается эксоров, то это – звезды типа Т Тельца, у которых также наблюдаются сильные увеличения блеска,

но амплитуда вспышек на пару звездных величин меньше, чем у фуоров. При этом для вспышки у эксоров максимум год-два, после чего блеск звезды возвращается к исходному уровню. У большинства эксоров, в частности у самой EX Lup, наблюдалось несколько вспышек. Из наблюдений следует, что у этих звезд нет настолько массивных аккреционных дисков, чтобы в них могла развиться гравитационная неустойчивость; поэтому гипотеза о том, что причиной вспышек является приливное воздействие спутника на диск, выглядит перспективной. Кстати сказать, недавно появилось сообщение группы европейских астрономов об обнаружении у EX Lup спутника, который обращается вокруг звезды с периодом около 7,4 сут и имеет массу, в несколько десятков раз превышающую массу Юпитера. Можно ли считать этот спутник причиной вспышечной активности звезды – пока не ясно.

#### ЗВЕЗДЫ ТИПА Т ТЕЛЬЦА СО СЛАБЫМИ ЛИНИЯМИ

Чем меньше темп аккреции на звезду, тем меньше в ее оптическом спектре интенсивность избыточного континуума и эмиссионных линий, профили которых, по мере уменьшения темпа аккреции, становятся

все более и более симметричными. У звезд Т Тельца со слабыми линиями (то есть с эквивалентной шириной линии  $H_{\alpha}$  менее примерно  $10 \text{ \AA}$ ) уже не наблюдаются признаков аккреции или истечения вещества, а также отсутствует избыточное излучение в оптическом и ближнем ИК-диапазонах, хотя на длинах волн свыше 5–10 мкм оно все же имеется. Это говорит о том, что у звезд со слабыми линиями сохранились лишь внешние области протопланетных дисков. Вещество внутренних областей исчезло: газ частично испарился из-за нагрева диска излучением звезды, а пыль вошла в состав планетных зародышей, уменьшив тем самым площадь излучающей поверхности и, следовательно, интенсивность ИК-излучения.

Звезды Т Тельца со слабыми линиями отличается от звезд Главной последовательности с той же массой в тысячи раз более интенсивное рентгеновское и УФ-излучения, а также существенная переменность блеска в видимой области. Причина этого – мощные хромосферы и короны, которые образуются потому, что эти звезды имеют протяженные конвективные зоны и периоды осевого вращения порядка 3 сут, вследствие чего индукция магнитного поля у них

в тысячи раз больше, чем средняя на поверхности Солнца. Взаимодействие плазмы внешних слоев этих молодых звезд с сильным магнитным полем порождает комплекс явлений, который мы наблюдаем на Солнце, но в гипертрофированном масштабе. Вспышки, аналогичные солнечным, происходят у этих объектов примерно в сто раз чаще, чем на Солнце, причем средняя мощность вспышек в сто раз больше, чем мощность средней солнечной вспышки. Гораздо больший размер имеют пятна: если на Солнце “крупным” называется пятно, которое занимает 1% поверхности (что случается крайне редко), то у звезды V410 Tau на протяжении 30 лет наблюдалась более холодная, чем фотосфера, область, которая занимала почти треть поверхности звезды. Вспышки и холодные пятна ответственны за наблюдаемую переменность этого вида звезд Т Тельца. Например, у той же V410 Tau перемещение пятна относительно наблюдателя при вращении звезды вокруг оси приводило к переменности блеска с амплитудой более  $1^m$ . Естественно ожидать, что из корон звезд Т Тельца происходит истечение вещества, подобного солнечному ветру, но, хотя оно должно быть в тысячи раз более интенсивным,



чем у Солнца, до сих пор о его существовании судят лишь по косвенным признакам. Отметим, что у классических звезд типа Т Тельца должны происходить аналогичные процессы, однако их трудно заметить на фоне явлений, обусловленных аккреционной активностью. Единственное исключение – рентгеновское излучение с энергией более 1 кэВ, которое даже у классических звезд Т Тельца, по-видимому, обусловлено излучением короны.

При исходной массе протопланетного диска  $M_d \sim 0,01-0,001 M_\odot$  темп аккреции порядка  $3 \times 10^{-9} M_\odot/\text{год}$ , соответствующий стадии классической звезды Т Тельца, может сохраняться на протяжении нескольких миллионов лет. Параллельно происходят процессы испарения остатков газа из внутренних областей диска за счет дискового ветра и формирование планетных зародышей – эти процессы происходят примерно в такой же временной шкале. Таким образом, когда возраст молодой звезды в интересующем нас диапазоне масс достигает примерно 10 млн лет, то все проявления аккреции должны исчезнуть, сохраняется только мощная хромосферная активность, сопровождаемая интенсивным корональным ветром. Ветер

“тянет за собой” силовые линии магнитного поля звезды, которые жестко “привязаны” к поверхности звезды и вращаются вместе с ней вокруг оси. В результате силовые линии закручиваются в спираль, вдоль которой движется вещество ветра – аналогично тому, как это происходит в солнечном ветре. Вследствие этого вещество ветра приобретает момент импульса, который оно отбирает у звезды, уменьшая скорость ее вращения вокруг оси. Торможение осевого вращения звезды сопровождается уменьшением индукции глобального магнитного поля на ее поверхности, в результате чего снижается уровень хромосферной активности. Примерно через 10 млн лет этот уровень становится таким же, как у наиболее активных звезд главной последовательности, и стадия Т Тельца у молодой звезды заканчивается.

#### ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

В последние два десятилетия интерес к изучению звезд типа Т Тельца сильно вырос, что в значительной степени связано с массовым обнаружением планет у других звезд. Стало ясно, что образование планетных систем – довольно распространенное явление, которое

является закономерным результатом процесса рождения звезд, и астрономы стремятся разобраться во всех деталях этого процесса. Почему звезды имеют разное количество планет? Почему эти планеты имеют именно такую массу и движутся именно по таким орбитам? Насколько типична Солнечная система? Как менялись эффективность образования планетных систем и их свойства в разные эпохи развития Вселенной? Ответить на эти и многие другие вопросы невозможно без детального понимания явлений, которые определяют строение и эволюцию протопланетных дисков.

В свою очередь, все происходящее в дисках в значительной степени зависит от процессов, связанных с центральной звездой: аккреция на звезду уменьшает массу диска, а излучение звезды нагревает и ионизует его вещество. Между тем физические аспекты многих явлений у молодых звезд остаются недостаточно изученными. Какую часть массы формирующаяся молодая звезда накапливает в ходе фазы “спокойной аккреции”, а какую – за время пребывания в “стадии фуора”? Каков механизм вспышек фуоров и эксоров? Насколько эффективно дисковый ветер

уносит момент импульса из диска, и в какой степени этот процесс влияет на темп аккреции? Каков механизм образования магнитосферного ветра, и как почти изотропный вблизи звезды ветер превращается в джет? Как происходит проникновение плазмы диска в магнитосферу звезды?

Почему звезды Т Тельца со слабыми линиями в среднем вращаются вокруг своей оси быстрее, чем классические, хотя аккреция вещества диска вроде бы должна увеличивать скорость осевого вращения? Астрофизикам еще предстоит найти ответы на эти вопросы, важность которых далеко

выходит за рамки изучения звезд типа Т Тельца.

Автор благодарит сотрудников ГАИШ МГУ О.В. Возякову и А.В. Додина, которые получили и обработали изображение джета RW Aur A, а также Российский научный фонд за финансовую поддержку (проект № 17-12-01241).

---

## Информация

---

### Обнаружение гравитационных волн

14 августа 2017 г. с помощью трех различных детекторов Лазерно-интерферометрической обсерватории LIGO (США) и Европейской гравитационной обсерватории EGO (Франция, Италия), расположенных на территории штатов Луизиана и Вашингтон (и в Италии), впервые зарегистрирована “рябь”

пространства–времени – гравитационно-волновые сигналы, идущие от столкновения пары сверхмассивных черных дыр массой  $31 M_{\odot}$  и  $25 M_{\odot}$ . Событие произошло на расстоянии примерно 1,8 млрд св. лет от нас, оно привело к появлению вращающейся черной дыры массой примерно  $53 M_{\odot}$ . В ходе их слияния примерно три солнечных массы превратились в энергию гравитационных волн. Это сенсационное открытие дает возможность более глубоко понять природу

гравитационных волн и более точно их локализовать в космическом пространстве.

Индийские астрофизики Университета Пуна пришли к выводу, что в спиральной галактике с перемычкой NGC 7674 в созвездии Пегаса (400 млн св. лет от нас) две сверхмассивные черные дыры общей массой около  $36 \cdot 10^6 M_{\odot}$  в любой момент могут объединиться в один объект. Они совершают один оборот вокруг общего центра масс примерно за 100 тыс. лет; удалены друг от друга всего на 1,1 св. год (0,35 пк) – это примерно в два раза ближе, чем сливающиеся черные дыры в галактике 4C +37.11 или в галактике OJ 287.

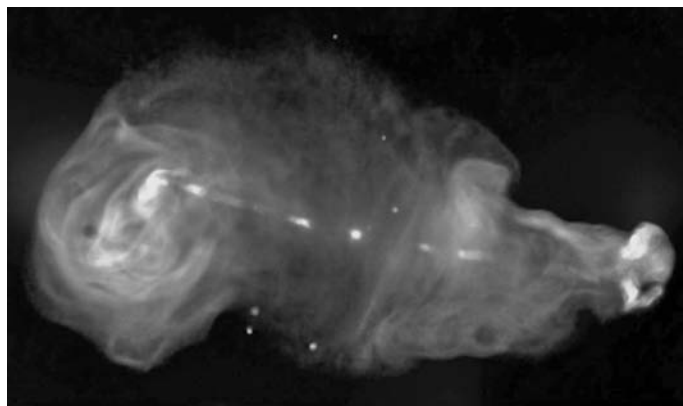
Столь тесное соседство черных дыр говорит о том, что они испускают гравитационные волны. Их обна-



---

*Спиральная галактика с перемычкой NGC 7674 в созвездии Пегаса. В ее центре вращаются близко друг к другу две сверхмассивные черные дыры. Снимок получен с помощью Космического телескопа им. Хаббла. Фото NASA/JPL.*

*Взаимодействие двух близко расположенных черных дыр (в центре снимка) в галактике NGC 7674. Они окутаны облаками горячей плазмы. Снимок получен космической рентгеновской обсерваторией "Чандра". Фото NASA/JPL.*



ружение с помощью детекторов обсерватории LIGO показало, что такие события происходят во Вселенной достаточно часто (Земля и Вселенная, 2016, № 4); однако сегодня ученым известны всего три галактики, где черные дыры находятся очень близко друг к другу.

Малая статистика подобных объектов и огромные расстояния до них не дают ученым изучать свойства близко расположенных черных дыр (в том числе и то, какую роль их слияния могут играть в формировании галактик). Открытие первых отождествленных следов двух черных дыр в центре спиральной галактики говорит о том, что их столкновение не всегда приводит к рождению эллиптических галактик, процессы звездообразования в которых быстро гаснут из-за разогрева газа выбросами черных дыр. Вероятно, существуют разные механизмы слияния галактик и черных дыр.

Следующей важной вехой в регистрации гравитационных волн должно стать открытие аналогичных сигналов, пришедших от слияния нейтронных звезд. Сложность – в том, что, по расчетам, амплитуда таких сигналов значительно ниже, а длина волн – намного больше. Если гравитационная волна от двух сливающихся дыр имеет период – доли секунды, то волна от пары нейтронных звезд может иметь период, измеряемый часами; поэтому для их регистрации требуется более высокая чувствительность детекторов.

Вскоре после появившихся сообщений об открытии гравитационных волн с помощью многих оптических наземных телескопов (в том числе KTX), стали наблюдать за эллиптической галактикой NGC 4993 в созвездии Гидра, находящейся в 130 млн св. лет от нас (в ней сливаются нейтронные звезды).

Возможно, именно там находится источник долгожданного сигнала.

Гравитационные волны, открытые еще в 2014 г. (Земля и Вселенная, 2014, № 4, с. 110), будут исследовать с помощью наземных радиотелескопов, объединенных в единую систему со сверхдлинными базами, а также проектируемая космическая обсерватория "eLISA" (NASA, ESA), запуск которой намечен на 2034 г.

Причины трудного обнаружения низкочастотных гравитационных волн, которые вырабатывают сверхмассивные черные дыры, разные: LIGO не приспособлен для этого, "eLISA" не сможет их зарегистрировать из-за низкой массы объектов, например, в галактике NGC 7674.

*Журнал "Nature", 2017.  
Т. 550. № 7668.*

*Журнал "Physical Review Letters", 2017.  
Т. 119. № 13.*

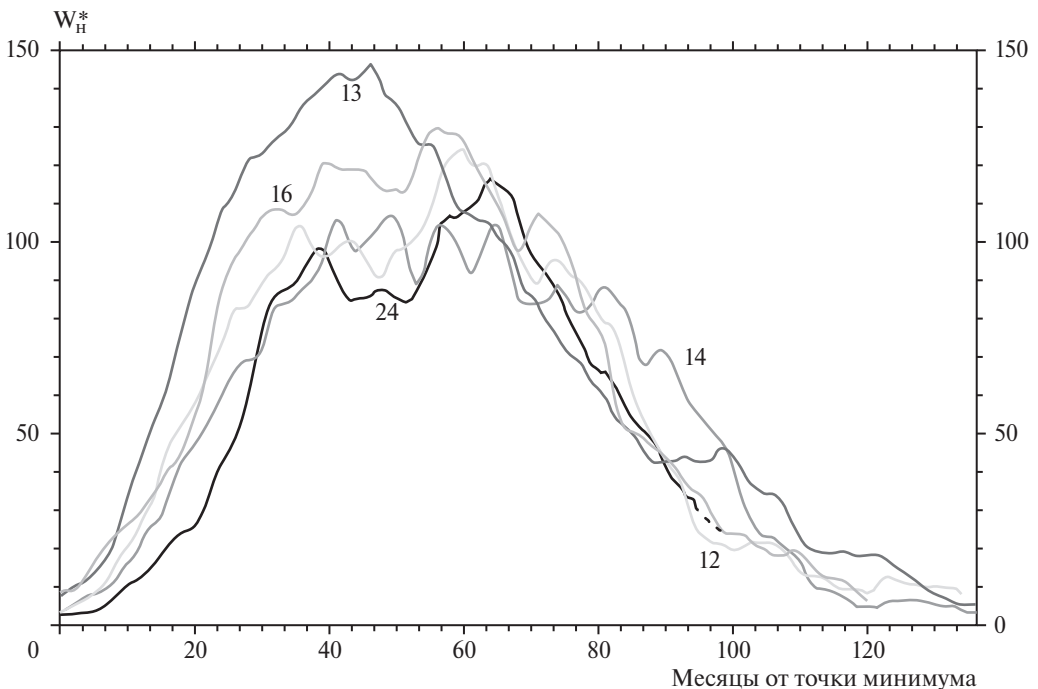
## Солнце в августе – сентябре 2017 г.

Главной особенностью рассматриваемого периода стало появление на Солнце большой активной группы пятен, в которой произошли интенсивные вспышки текущего, 24-го, цикла солнечной активности (с апреля 2016 г. находится в фазе минимума). Появление столь

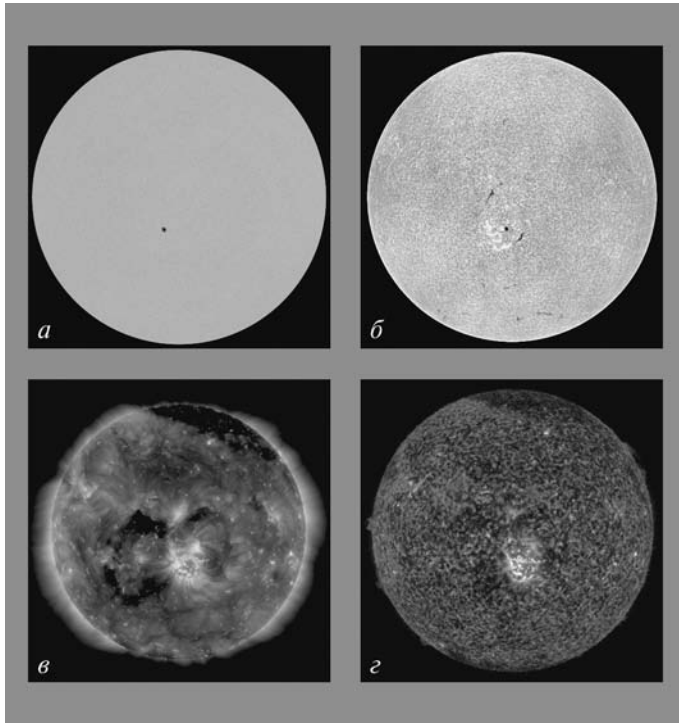
активной области на данном этапе развития цикла – это нормальное явление. В прошлом цикле подобные высокоактивные группы пятен были отмечены в сентябре 2005 г. (три года до точки минимума) и в декабре 2006 г. (два года до точки минимума). В 21-м цикле

такие активные области наблюдались в апреле и в мае 1984 г. (два года до точки минимума).

До конца второй декады августа и после первой декады сентября солнечная пятнообразовательная активность оставалась на низком и очень низком



Ход развития (98 месяцев) текущего, 24-го цикла солнечной активности, среди достоверных (с 1849 г.) низких и среднего (13-го) солнечных циклов.  $W_n^*$  – сглаженные за 13 месяцев относительные числа солнечных пятен в новой системе (введена с 1 июля 2015 г.). Высота текущего солнечного цикла  $W_n^* = 116$  (в новой системе) и  $W_n^* = 82$  (в старой).



*Солнце 7 августа 2017 г.: (а) – фотосфера в непрерывном спектре ( $\lambda = 4500, \text{\AA}$ , SDO); (б) – в самой сильной линии водорода  $H_{\alpha}$  ( $\lambda = 6563 \text{\AA}$ , SDO); (в) – в линии крайнего ультрафиолета Fe XII ( $\lambda = 193 \text{\AA}$  Big Bear); (г) – в линии крайнего ультрафиолета He II ( $\lambda = 304 \text{\AA}$ , SDO). На снимках (а) и (б) можно видеть быстрый рост группы пятен в Южном полушарии. Снимки получены с помощью космической солнечной обсерватории “SDO” и наземной обсерватории Big Bear ( $H_{\alpha}$ ; <http://sdo.gsfc.nasa.gov/data/>).*

уровне. В промежутке между ними она менялась от среднего до высокого уровней. Число групп пятен на видимом диске Солнца в эти месяцы менялось от 1 до 6. Из 14 групп (две большие) солнечных пятен 5 появились в Южном полушарии. Кривая роста сглаженных за год значений относительного числа пятен продолжает уверенно спадать в пределах изменений в 12-м и 16-м циклах, что дает возможность ожидать точку минимума 24-го цикла во второй половине 2020 г. Текущие среднемесячные значения чисел Вольфа (мы, как и Служба состояния околоземного пространства, – [www.swpc.noaa.gov](http://www.swpc.noaa.gov) будем придерживаться старой, классической системы)  $W_{\text{авг.}} = 19,9$  и  $W_{\text{сент.}} = 26,2$ . Сглаженное

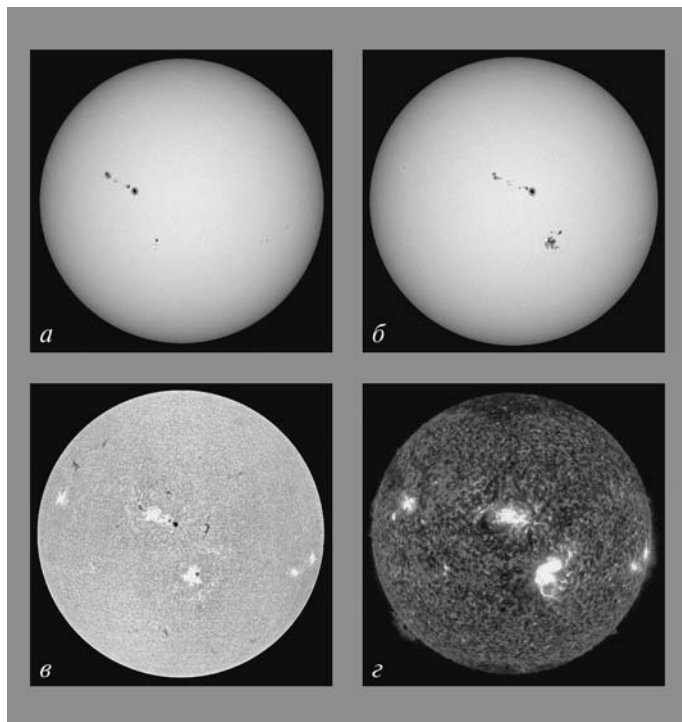
значение этих индексов в феврале и в марте 2017 г. составило  $W^* = 16,0$  и  $W^* = 15,5$  соответственно. Ход развития 24-го цикла приведен на графике в семействе солнечных циклов средней и малой величины.

До **14 августа** пятнообразовательная активность оставалась на очень низком уровне, но с 15 августа относительное число солнечных пятен начало уверенно расти, и до конца месяца оставалось на среднем уровне. Минимальное ежедневное значение относительных чисел солнечных пятен отмечено 13 августа ( $W = 13$ ), максимальное – **31 августа ( $W = 74$ )**. На диск Солнца в Северном полушарии, на  $24^{\circ}$  выше экватора, 28 августа вышла большая группа пятен, максимум развития которой

пришелся на начало сентября. Вблизи восточного лимба в Южном полушарии, на  $7^{\circ}$  ниже экватора, 29 августа появилась небольшая группа пятен. Это третье прохождение по ее видимому диску Солнца (его описание мы давали в № 4, 2017), в процессе которого в сентябре возникли самые мощные солнечные вспышки 24-го цикла. Обе группы пятен оставались спокойными во вспышечном отношении до конца месяца.

Вспышечная активность сохранялась на среднем уровне **20 августа** (вспышка балла M1.1 вблизи восточного лимба Солнца), на низком уровне 1, 14–15, 18–19, 21–25, 27–30 августа и на очень низком в остальные дни. Выбросы солнечных волокон (5 событий) наблюдались 1, 10, 16, 19 и

Солнце 2 сентября (а) и 4 сентября 2017 г. (б–г): (а), (б) – фотосфера в непрерывном спектре ( $\lambda = 4500 \text{ \AA}$ ); в-в самой сильной линии водорода  $H_{\alpha}$  ( $\lambda = 6563 \text{ \AA}$ ); (г) – в линии крайнего ультрафиолета  $Fe XII$  ( $\lambda = 195 \text{ \AA}$ ). На первых двух снимках (а) и (б) можно видеть быстрый рост группы пятен в Южном полушарии. Снимки получены с помощью космической солнечной обсерватории “SDO” и наземной обсерватории Big Bear ( $H_{\alpha}$ ; <http://www.solarmonitor.org/>).

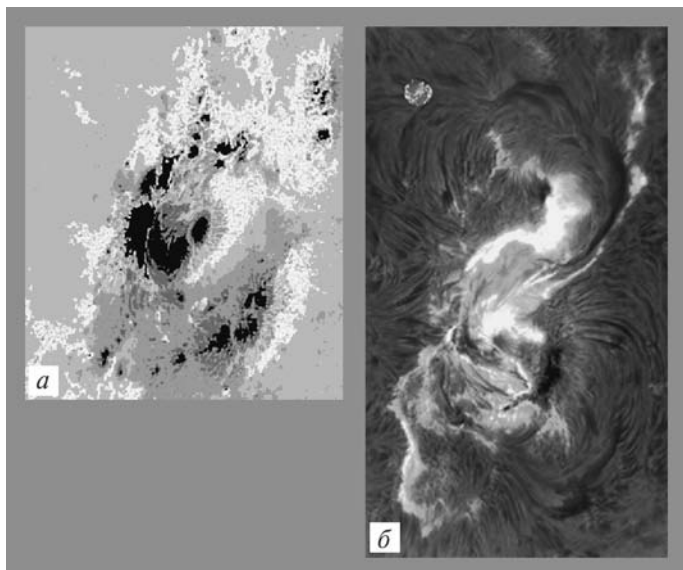


31 августа. 20 августа произошла вспышка балла M1.1 вблизи восточного лимба Солнца. Коронографы космической обсерватории “SOHO” зарегистрировали более 29 корональных выбросов вещества. Три рекуррентные (повторяющиеся через оборот Солнца) корональные дыры и одна новая проходили по видимому диску светила. Высокоскоростные потоки от них стали источниками геомагнитных возмущений. На средних широтах Земли отмечено 5 малых магнитных бурь 3–4, 17, 18–19, 23 и 31 августа. Всего же в геомагнитном поле зарегистрировано 9 возмущенных дней. На геостационарных орбитах 1–3, 5–16 и 18–28 августа наблюдались очень большие потоки (более  $10^7$  частиц/м<sup>2</sup>)

релятивистских электронов с энергиями больше 2 МэВ.

Уровень пятнообразовательной активности Солнца **1–5 сентября** продолжал расти за счет роста числа групп пятен и пятен внутри групп. Большая группа пятен Северного полушария, медленно развиваясь, 3 сентября достигла максимальной площади (930 миллионов долей полусферы) и далее постепенно, до захода за западный лимб Солнца, деградировала, оставаясь простой биполярной группой в магнитном отношении. Вследствие этого активность в ней ограничилась только вспышками низкого балла C. В группе пятен Южного полушария, которая вышла на видимый диск Солнца 29 августа, начиная с 3 сентября, стали всплывать

быстрые магнитные потоки, и к 4 сентября площадь группы пятен увеличилась почти в четыре раза. 8 сентября площадь пятен достигла максимального значения – 1060 миллионов долей полусферы, что почти в 7 раз больше площади нашей планеты. В процессе взаимодействия нового потока (4–8 сентября) осуществились 4 вспышки рентгеновского класса X и 27 – класса M, среди которых 6 были большими. Следующее всплытие нового магнитного потока (9–10 сентября) произвело еще одну большую вспышку класса X и три – класса M. Эти вспышки принесли высокоэнергичные протоны в околоземное космическое пространство, поэтому с 4 по 15 сентября продолжалось солнечное



Группа пятен и большая вспышка 6 сентября 2017 г. балла X9.2/3N Солнца: а – обработанный снимок “HMI” космической солнечной обсерватории “SDO” и привязан к магнитной полярности (серый – “+” полярности, белый “-”); <http://www.solen.info/solar/>); б – в самой сильной линии водорода  $H_{\alpha}$  ( $\lambda = 6563 \text{ \AA}$ ; <http://spaceweather.com>).

протонное событие. Кроме того, в геомагнитном поле возмущения от этих вспышек вызвали одну очень большую и две малые магнитные бури. После ухода этих больших групп пятен с видимого полушария (11–12 сентября) уровень пятнообразовательной активности стал очень низким и лишь со вторым появлением (25 сентября) этих групп из-за восточного лимба его уровень вырос до среднего. На видимом диске Солнца в сентябре наблюдалось от 6 до 1 (всего 11) групп солнечных пятен, 4 из которых локализовались в Южном полушарии. Максимальное наблюдаемое относительное число солнечных пятен отмечено **5 сентября** ( $W = 119$ ), минимальное – 12

и 19 сентября ( $W = 11$ ). Вспышечная активность менялась от высокого (4, 6–8, 10 сентября), среднего (5, 9, 14 сентября) и низкого (1–3, 12 сентября) до очень низкого уровня в остальные дни. Выбросы солнечных волокон (8 событий) наблюдались 2 (2), 7, 16, 18, 19 (2) и 25 сентября. Корнографы космической обсерватории “SOHO” зарегистрировали больше 65 корональных выбросов вещества разной интенсивности, среди которых два были типа “гало” и 5 – “частичное гало II” (угловая ширина  $90^{\circ}$ – $180^{\circ}$ ).

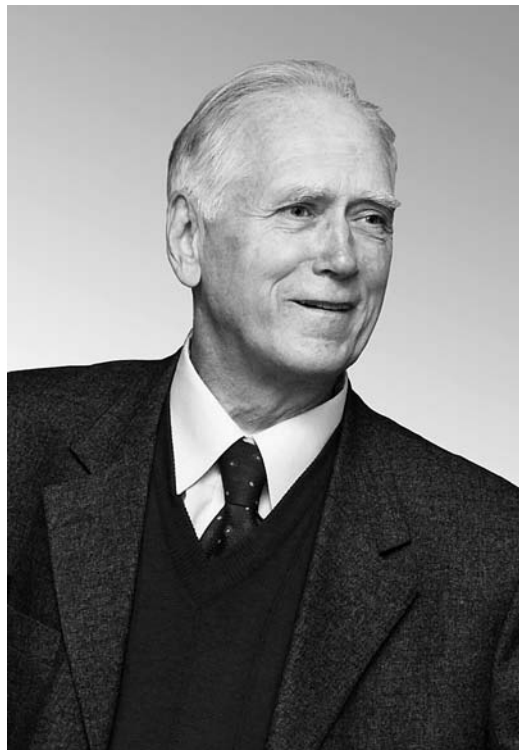
В сентябре появились четыре рекуррентные корональные дыры. В геомагнитном поле отмечена одна очень большая (8–9 сентября) и шесть малых

(магнитных бурь 1–2, 7, 12–13, 14–15, 16–17 и 18 сентября) от вспышек и прохождение высокоскоростных потоков от корональных дыр. В сентябре в течение 13 суток сохранялась возмущенная геомагнитная обстановка. В период с 1 по 25 сентября на геостационарных орбитах зафиксирован очень высокий поток (более  $10^7$  частиц/ $m^2$ ) релятивистских электронов с энергиями больше 2 МэВ.

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,  
ГЦ РАН*

## Памяти Эдварда Владимировича Кононовича



*Э.В. Кононович*

и звездной астрономии, известный ученый, активный популяризатор науки и любительской астрономии, автор нескольких монографий и учебников и более 300 работ, опубликованных в российских и зарубежных изданиях.

Э.В. Кононович родился в Москве 8 ноября 1931 г. Мать, Тамара Сергеевна Кононович, происходила из семьи с давними дворянскими традициями. Двоюродный дедушка по линии матери, Кононович Александр Константинович (1850–1910), возглавлял кафедру астрономии и университетскую обсерваторию в Новороссийском университете (ныне – Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова). Отец, Владимир Николаевич Сухомлинов, был художником. Он был репрессирован в годы гражданской войны, поэтому во избежание возможных репрессий, Тамара Сергеевна дала сыну свою фамилию. Детство Эдварда Владимировича прошло в Антипьевском переулке (в 1962–1993 – улица Маршала Шапошникова, ныне – Колымажный переулок). В 1950 г. он окончил 59-ю мужскую школу Киевского района Москвы и поступил на астрономическое отделение механико-математического факультета МГУ. В 1955 г. получил диплом с отличием и поступил в аспирантуру МГУ к выдающемуся астрофизику Иосифу Самуиловичу Шкловскому (Земля и Вселенная, 2016, № 5). Многие выпускники 1955 года – его однокурсники по астрономическому

26 сентября 2017 г. после продолжительной болезни на 86-м году жизни скончался Эдвард Владимирович Кононович – кандидат физико-математических наук, старейший преподаватель астрономии в МГУ, выдающийся педагог, доцент кафедры астрофизики



отделению – впоследствии стали известными астрономами: В.А. Брумберг, Ю.И. Гальперин, Л.М. Гиндилис, Н.С. Кардашёв, В.Г. Курт, Т.В. Казачевская, Ю.Н. Парийский, Н.С. Соболева, Н.Н. Шефов и др. 29 января 1959 г. Эдвард Владимирович защитил кандидатскую диссертацию “Модель солнечной хромосферы по внезатменным наблюдениям”.

15 октября 1958 г. Эдвард Владимирович был зачислен на должность младшего научного сотрудника ГАИШ МГУ им. П.К. Штернберга. С октября 1961 г. стал работать ассистентом, с июля 1964 г. – исполняющим обязанности доцента, с марта 1966 г. – доцентом на кафедре астрофизики астрономического отделения физического факультета МГУ. С тех пор его педагогическая и научная деятельность была неразрывно связана с астрономическим отделением физфака МГУ и ГАИШ МГУ.

Эдвард Владимирович внес весомый вклад в общую методику астрономического преподавания в вузах. Он предложил (и довел до совершенства) уникальный в современной истории “Вводный курс для студентов астрономических специальностей” и на протяжении десятилетий являлся бессменным лектором, открывавшим двери первокурсникам в мир современной науки. Много лет читал курс общей астрономии для первокурсников, спецкурс “Физика Солнца” для старшекурсников. Он также предложил (и несколько раз перерабатывал в соответствии с требованиями времени) уникальный практикум по компьютерному моделированию для астрофизиков старших курсов, посвященный строению и эволюции звезд. Учебник по общей астрономии “Курс общей астрономии” для студентов-астрономов, написанный им в соавторстве с П.И. Бакулиным и В.И. Морозом, выдержал семь изданий; эта книга – рекомендованное учебное пособие для студентов астрономических

специальностей – переведена на многие языки, на ней выросло не одно поколение астрономов в нашей стране и за рубежом. Переработанный вариант “Курса общей астрономии” получил широкое международное признание, вошел в золотой фонд – “Классический университетский учебник” – изданный к юбилею МГУ; переведен на несколько языков и издан за рубежом.

Эдварда Владимировича считают своим учителем многие современные астрономы. Под его руководством были защищены 10 диссертаций на соискание степени кандидатов физико-математических наук, эти ученые сейчас работают по всему бывшему Союзу: профессор Ш.А. Эгамбердиев является директором Астрономического института им. Улугбека АН Узбекистана; С.В. Аюков, В.А. Батурин, А.Б. Горшков, И.В. Миронова, И.Ф. Никулин, Ю.А. Купряков, Т.В. Матвейчук, О.Б. Смирнова, В.М. Соловьёв, Г.В. Якунина и др. работали (или продолжают работать) в ГАИШ МГУ; Р.Т. Сотникова преподает в Иркутском государственном университете; М.Н. Храмова – в МГИМО. Эдвард Владимирович умел радоваться и гордиться успехами своих учеников, которые с теплотой вспоминают своего Учителя – требовательного, очень ответственного, бережно и деликатно взращивавшего любые проблески таланта и инициативы в учениках.

В центре научных интересов Эдварда Владимировича всегда была физика Солнца. Широчайший кругозор и эрудированность позволяли ему охватывать многие направления солнечной и солнечно-земной физики: активные процессы в фотосфере, хромосфере и короне; магнитные поля, их связь с цикличностью солнечной активности и, как следствие этого, связь метеорологических и геомагнитных процессов на Земле с солнечной активностью. В последние годы главным направлением исследований Эдварда Владимировича было изучение солнечно-земных связей. Прекрасное

владение несколькими иностранными языками способствовало тому, что под его редакцией были изданы переводы многих книг зарубежных авторов по физике Солнца: “Строение и эволюция звезд” М. Шварцшильда; “Спокойное Солнце” Э. Гибсона, “Солнечная атмосфера” Г. Зирина и др.

Эдвард Владимирович неоднократно говорил своим ученикам, что в основе науки должен лежать эксперимент, причем желательным, – ваш личный. Неутомимость и жизненная энергия позволяли ему активно заниматься экспедиционными инструментами, что представляет особую сложность, сравнимую разве что с космическими технологиями. Его уникальные способности экспериментатора проявились еще в студенческие годы при разработке и реализации микрофотометра интенсивностей. Позднее были созданы узкополосные фильтры на основе интерферометров Фабри – Перо, экспедиционный солнечный телескоп, эшелонный спектрограф; инструментальные разработки, связанные с проблемой качества изображения для наземных наблюдений и другие оригинальные установки.

Эдвард Владимирович участвовал почти во всех экспедициях ГАИШ МГУ по наблюдению полных солнечных затмений, занимаясь изучением верхних слоев солнечной атмосферы. Еще студентом, в 1954 г., Эдвард Владимирович “заболел” изучением солнечных затмений. В 1961 г. он уже был начальником экспедиции института в Ростове-на-Дону, затем был атолл Мануае в 1965 г., Мексика в 1970 г... Последнее полное солнечное затмение, в наблюдении которого он активно участвовал, произошло 29 марта 2006 г.; Эдвард Владимирович курировал научные аспекты наблюдений этого затмения на территории Турции.

В 1991 г. по инициативе Эдварда Владимировича в ГАИШ МГУ была организована Краснопресненская лаборатория, главное направление научных

исследований которой – вопросы гелиосейсмологии, которые в течение последних десяти лет признаны приоритетными в физике Солнца. С 1999 по 2011 г. Эдвард Владимирович исполнял обязанности руководителя лаборатории.

Неистощимая энергия Эдварда Владимировича позволяла ему работать в составе Редколлегии “Астрономического циркуляра”, быть членом Ученого совета МГУ, участвовать в строительстве новых инструментов и в солнечных наблюдениях на большинстве обсерваторий СССР и СНГ. В 1980-е гг. по его инициативе на Тянь-Шаньской высокогорной обсерватории (Тянь-Шаньская высокогорная экспедиция ГАИШ, ТШВЭ) под г. Алма-Атой (ныне – Алматы) был установлен 50-см горизонтальный солнечный телескоп фирмы “Цейсс” (HSFA), принадлежащий Астрономическому институту Академии наук Чехии. ТШВЭ – единственное место, где были установлены крупные солнечные инструменты ГАИШ МГУ. Очень много сил и энергии было отдано обустройству, монтажу, проведению первых пробных наблюдений; Эдвард Владимирович руководил наблюдениями по программе “Солнечный патруль”. “Развал” Союза прервал эти работы. Зная Эдварда Владимировича коллеги по праву называли его “аристократом духа” и “романтиком науки”.

Эдвард Владимирович был замечательным популяризатором астрономии. Сотрудники, студенты и аспиранты помнят его лекции в Планетарии, выступления по телевидению, мультимедийный диск “Жизнь Земли в атмосфере Солнца”. Он известен как автор (или соавтор) прекрасных книг по астрономии и физике Солнца – “Общего курса астрономии” в соавторстве с В.И. Морозом; современного учебника по астрономии для средней школы “Астрономия” и “Астрономия 11” в соавторстве с А.В. Засовым; “Физика – астрономия – окружающая среда” в соавторстве с А.А. Фадеевой,

Д.Ф. Киселевой, А.В. Засовым; серии книг по линии общества “Знание”: например, “Солнце – дневная звезда”.

Много сил Эдвард Владимирович отдал борьбе за сохранение преподавания курса астрономии в школе, работал в постоянной комиссии по астрономии при Министерстве просвещения СССР. В тяжелые в экономическом отношении 1990-е гг. он как основатель, главный (и единственный) редактор журнала “Вселенная и мы” сумел привлечь к изданию спонсоров; исключительно благодаря энтузиазму Эдварда Владимировича вышло четыре номера альманаха.

Эдвард Владимирович был председателем Московского отделения Астрономо-геодезического общества; много сил он отдал сохранению исторического помещения общества для популяризации современной науки среди энтузиастов астрономии. Эдвард Владимирович был членом Международного астрономического союза (МАС); в 1973–1976 гг. исполнял обязанности вице-президента, в 1976–1979 гг. – президента; до 2015 г. был членом Комиссии по астрономическому образованию (Astronomy Education & Development), членом комиссии 12, Отделения II Солнце и Гелиосфера, отделения С (Education, Outreach and Heritage) МАС.

Преподавательская, научная и популяризаторская деятельность Эдварда Владимировича была отмечена знаком “Ветерана труда”, присвоением ему в 1999 г. звания Заслуженного

преподавателя МГУ, памятным знаком МГУ им. М.В. Ломоносова, медалями ВДНХ и медалью в память 850-летия Москвы, почетными грамотами и другими наградами.

От матери, Тамары Сергеевны, Эдвард Владимирович унаследовал любовь к классической музыке – он часто посещал консерваторию, любил при встречах музицировать со своим чешским коллегой Петром Хайнцелем, который играл на скрипке.

Светлая память об Эдварде Владимировиче – известном ученом, красивом и благородном человеке; по определению его французского коллеги Жана-Клода Виала, “умном и дружелюбном человеке”, “необыкновенном Учителе” (такое высокое звание он получил от своих учеников), о замечательном популяризаторе астрономии и его преданности этой науке навсегда останется в сердцах родных и близких, друзей и коллег.

Мы признательны детям Эдварда Владимировича Петру, Владимиру и Екатерине и Ольге Борисовне Смирновой, а также Лилии Константиновне Ковалевой (отдел кадров физфака МГУ) и Татьяне Викторовне Матвейчук (отдел кадров ГАИШ МГУ) за предоставление автобиографических данных.

*С.В. АЮКОВ,  
В.А. БАТУРИН,  
А.Б. ГОРШКОВ,  
И.С. КИМ,  
И.В. МИРОНОВА,  
ГАИШ МГУ*

### Система адаптивной оптики

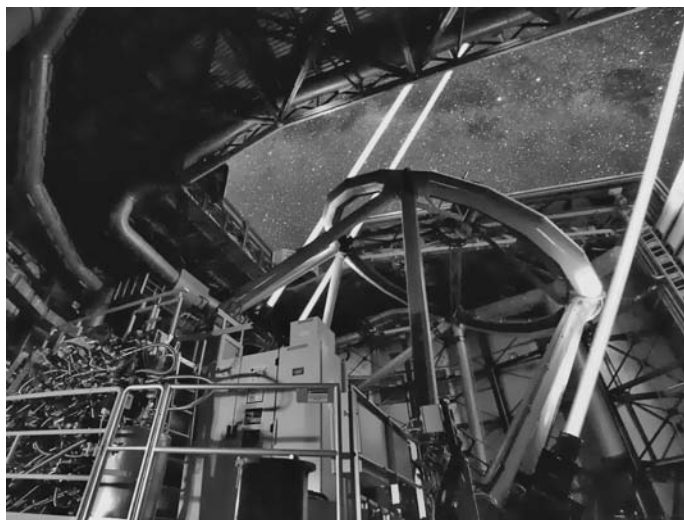
В результате серии испытаний новой системы адаптивной оптики на телескопах получены изображения небесных объектов, поражающих своим качеством: например, планетарные туманности IC 4406 в созвездии Волка и NGC 6369 в Змееносце. Система адаптивной оптики AOF (The Adaptive Optics Facility) – долгосрочный проект; его цель – обеспечить 8,2-м телескоп VLT (ESO) адаптивно-оптическим устройством для приемников, установленных на четвертом Основном телескопе (UT4), в частности, для спектрографа MUSE. Адаптивная оптика позволяет компенсировать “размывание”

изображений в атмосфере Земли, в результате чего приемник MUSE получает гораздо более четкие снимки (Земля и Вселенная, 2013, № 4), их контраст повышается вдвое, и MUSE может теперь исследовать еще более слабые небесные объекты.

Система AOF позволила добиться такого успеха в нескольких важных составных элементах: четырехлазерном устройстве формирования искусственных звезд 4LGSF и очень тонком деформируемом вторичном зеркале UT4. В 4LGSF используются четыре 22-ваттных лазерных пучка, вызывающие свечение атомов натрия в верхней атмосфере Земли. В небе появляются четыре светящиеся точки, имитирующие звезды. Датчики адаптивно-оптического модуля GALACSI, регистрируя световые сигналы от этих “искусственных звезд”, определяют параметры их атмосферных искажений. Компьютерные

системы AOF тысячу раз в секунду вычисляют и сообщают о коррекции, которую необходимо внести в форму гибкого вторичного зеркала телескопа для того, чтобы компенсировать атмосферные искажения. В частности, с помощью GALACSI осуществляется коррекция влияния атмосферной турбулентности над телескопом в слоях атмосферы высотой до одного километра. В зависимости от атмосферных условий, турбулентность может меняться с высотой, но большая часть возмущений происходит в приземном слое. Использование системы AOF практически эквивалентно “подъему” телескопа VLT еще примерно на 900 м.

Коррекции, которые с огромной скоростью непрерывно вносит в изображения телескопа AOF, улучшают его качество таким образом, что свет концентрируется в меньших по размеру участках приемника: в результате этого MUSE может “разрешать” более мелкие детали и регистрировать более слабые звезды, чем это было возможно ранее. Сейчас блок GALACSI обеспечивает коррекцию изображений на большом поле зрения. Но это лишь первый шаг в применении адаптивно-оптических методов для



Аппаратура системы адаптивной оптики AOF, установленная на 8,2-м телескопе VLT Европейской Южной Обсерватории. Фото ESO, Р. Бэкон.

MUSE: продолжается работа над введением второго режима работы GALACSI – режима “малого поля”, первые наблюдения в котором должны состояться в начале 2018 г. Он позволит корректировать турбулентность на любой высоте и получать изображения в малых полях с еще более

высоким разрешением.

Одна из главных научных задач новой системы – наблюдение слабых объектов дальней Вселенной в наиболее высоком качестве (это требует длительных многочасовых экспозиций). Ученых интересуют, в частности, небольшие, наиболее удаленные

галактики и туманности. Например, в сентябре 2017 г. с помощью адаптивной оптики AOF получен снимок планетарной туманности NGC 6369 (PK 2+5.1) “Вороний глаз”, или “Маленький призрак” (см. стр. 2 обложки, внизу).

*Пресс-релиз ESO,  
2 августа 2017 г.*

---

## Информация

---

### Уточнение сведений о квазарах

Неожиданные расхождения в данных высокоточных измерений, полученных международной сетью радиотелескопов и европейским оптическим космическим телескопом “Гайя”, позволят ученым определить свойства невидимых “хвостов” активных ядер галактик, которые выбрасываются сверхмассивными черными дырами. *“Без преувеличения можно сказать, что это – открытие нового направления в наблюдательной астрофизике. Сопоставление данных радиоинтерферометров и оптических телескопов поможет нам получить информацию об аккреционных дисках вокруг черных дыр и горячих джетах в центрах галактик в видимом свете. Теперь мы лучше понимаем, как они устроены и какие процессы там происходят”,* – сказал

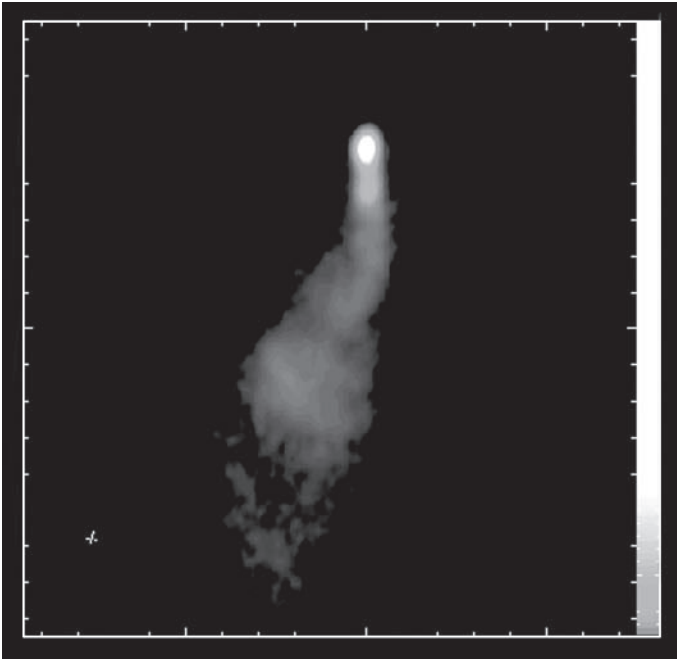
заведующий лабораторией Астрокосмического центра Физического института им. П. Н. Лебедева РАН (ФИАН), руководитель лаборатории фундаментальных и прикладных исследований релятивистских объектов Вселенной МФТИ доктор физико-математических наук Ю. Ю. Ковалёв.

Юрий Ковалёв и Леонид Петров (ФИАН и МФТИ) анализировали положения активных ядер далеких галактик, полученные независимо друг от друга радиоинтерферометрами со сверхдлинной базой (РСДБ) и космической астрометрической

обсерваторией “Гайя”, запущенной в 2013 г. (Земля и Вселенная, 2014, № 3). Главная задача обсерватории “Гайя” – составление нового каталога миллиарда звезд нашей Галактики с точными данными об их координатах и скоростях; кроме того, она обнаруживает внегалактические объекты. Сейчас в каталоге “Гайи” их более 100 тыс., в основном, это активные ядра галактик – квазары, в центре которых находятся сверхмассивные черные дыры, окруженные аккреционным диском. До сих пор исследования таких объектов с помощью



*Карта расположения наземных радиоинтерферометров.*



Изображение выбросов горячей плазмы в одном из далеких квазаров, полученное в радиодиапазоне и построенное с разрешением лучше одной миллисекунды дуги. Предоставлено Ю. Ю. Ковалёвым и астрономическим сообществом MOJAVE (<http://www.physics.purdue.edu/MOJAVE/>).

РСДБ позволяли получить угловое разрешение в сотни раз лучше, чем у оптических телескопов; поэтому именно в радиодиапазоне ученые могли разглядеть структуру джетов у квазаров. “Но в радиодиапазоне видно далеко не все; например, аккреционный диск сверхмассивной черной дыры ярк именно в оптике и ультрафиолете. Поэтому мы решили попробовать совместить данные из двух источников”, – пояснил Ю. Ю. Ковалёв. Обсер-

ватория “Гайя” не передает изображений (как, например, КТХ), она лишь фиксирует координаты центра яркости небесного объекта. Ю. Ковалёв и Л. Петров (совместно со студентом МФТИ Александром Плавиным) еще в начале 2017 г. сопоставили данные о координатах квазаров, по данным РСДБ и “Гайи”. Оказалось, что около 6% объектов продемонстрировали значительные расхождения: как правило, сдвиг положений соот-

ветствует направлениям джетов.

“Теперь, совместно используя данные о переменном излучении и положении квазаров по данным радиointерферометров и “Гайи”, мы сможем воссоздать и исследовать структуру сотен очень далеких квазаров на масштабах в несколько парсек, тысячных долей угловой секунды, которые недоступны для обычных оптических телескопов, и даже для Космического телескопа Хаббла”, – констатировал Ю. Ю. Ковалёв. В результате анализа данных у многих квазаров неожиданно обнаружили яркие (в видимом свете) яркие и протяженные выбросы. Не менее интересная задача: проследить, как будут меняться их положение и яркость со временем; проанализировать причины ярких вспышек, других процессов. Это в целом поможет понять физику аккреционных дисков и сверхмассивных черных дыр. У открытия есть и прикладной аспект: наблюдения квазаров с помощью РСДБ используются для создания системы отсчета в навигации. На основе этой системы, например, специалисты отслеживают движение континентов, измеряют параметры вращения Земли для системы ГЛОНАСС (Земля и Вселенная, 2006, № 1).

Пресс-релизы  
АКЦ ФИАН,  
7 сентября 2017 г.

## **База данных двойных звезд BDB**

О.Ю. МАЛКОВ,  
доктор физико-математических наук  
Д.А. КОВАЛЁВА,  
кандидат физико-математических наук  
П.В. КАЙГОРОДОВ,  
кандидат физико-математических наук  
Институт астрономии РАН (ИНАСАН)

---

Двойные и кратные звезды – весьма распространенные астрономические объекты: как минимум, половина звезд в нашей Галактике являются компонентами двойных систем или систем большей кратности (Земля и Вселенная, 1966, № 4). Кроме того, ввиду разнообразия своих наблюдательных проявлений двойные и кратные звезды предоставляют исследователям набор разнообразных данных, позволяющих получать ценную астрофизическую информацию о компонентах таких систем, об их формировании и эволюции. Так, компоненты двойной звезды имеют одинаковый возраст; кроме того, их исходный химический состав был одинаков в момент “рождения”, что делает их идеальной

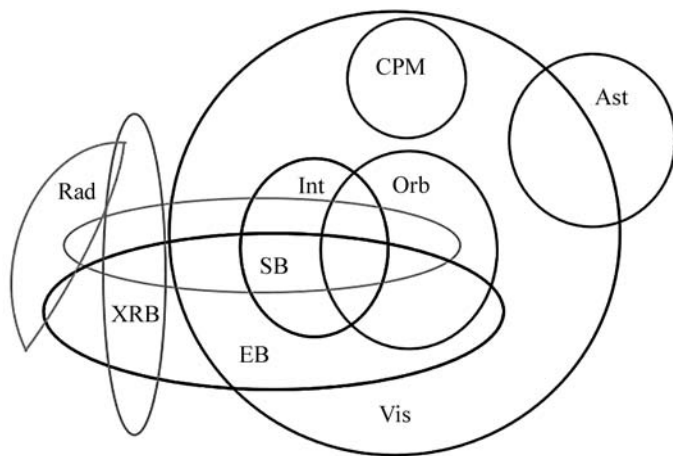
“лабораторией” для проверки эволюционных моделей звезд. Оба компонента двойной звезды находятся на одинаковом расстоянии от Земли, и их излучение испытывает одинаковое влияние межзвездной среды, что весьма важно для определения расстояний и оценки величины межзвездного поглощения. Только для компонентов двойных систем возможно получение точных оценок масс и радиусов звезд. Взаимодействие двойных звезд в процессе эволюции может сопровождаться выделением энергии как на их поверхности, так и в межзвездном пространстве – где возникают аккреционные диски, происходят выбросы плазмы (джеты), ударные волны и другие элементы течения. Однако то

разнообразие наблюдательных проявлений, по которым астрономы обнаруживают двойственность (или кратность) звезд, может и затруднять исследования.

### НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Свыше ста лет астрономы систематически наблюдают двойные звезды и уже много десятков лет вносят информацию о них в каталоги и базы данных. В зависимости от того, какие наблюдательные проявления двойной звезды позволяют отметить ее как двойную, ее относят к тому или иному типу. Самые распространенные типы двойных звезд: визуальные двойные (компоненты которых могут быть разделены на снимках), интерферометрические (отдельные компоненты

Связи между наблюдательными типами двойных систем. Пересечение фигур иллюстрирует тот факт, что двойная система может принадлежать двум и более наблюдательным типам: Vis – визуальные, CPM – пары с общим собственным движением, Ast – астрометрические, Orb – орбитальные, Int – интерферометрические, SB – спектроскопические, EB – затменные, XRB – рентгеновские, Rad – двойные в радиопулсарах.



которых наблюдаются с использованием интерферометров), затменные (двойственность которых проявляется в виде периодического изменения блеска), спектроскопические (регистрируемые по периодическому смещению спектральных линий) и некоторые другие. Отметим, что большинство каталогов и баз данных, содержащих информацию о параметрах двойных звезд, посвящены звездам одного или немногих близких типов.

Однако наблюдательный тип двойной звезды не является ее однозначной физической характеристикой – он зависит не только от параметров компонентов, но и от расстояния до звезды, от технических характеристик телескопа и его оборудования. Более того, одну и ту же двойную могут наблюдать разными способами, и она может принадлежать к нескольким типам.

Любой отдельно взятый каталог (или база данных двойных звезд) содержит ограниченный набор параметров, которые автор получает. При этом, например, информации, содержащейся в каталоге, посвященном затменным двойным (и, соответственно, получаемой по результатам исследования кривых блеска) может быть недостаточно для определения требуемых параметров (например, масс компонентов некоторой звезды). При этом в другом каталоге, где та же звезда представлена, к примеру, как спектроскопическая двойная, могут содержаться данные об амплитудах лучевых скоростей, позволяющих (совместно с данными первого каталога) вычислить массы.

Таким образом, для решения многих задач был бы полезен инструмент, позволяющий находить информацию об

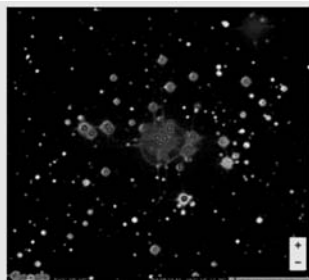
интересующем объекте в двойной или кратной звезде из всех доступных источников. До недавнего времени такого инструмента не существовало.

#### БАЗА ДАННЫХ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД

В рамках работ по теме “Российская виртуальная обсерватория” и в сотрудничестве с Безансонской обсерваторией Института UTINAM (Франция) в Институте астрономии РАН была создана База данных двойных и кратных звезд – BDB (Binary star Data Base; <http://bdb.inasan.ru>). Целью ее создания стало объединение информации из множества разнородных каталогов двойных и кратных звезд, а также разработка удобного инструмента для работы с данными каталогов.

Для того, чтобы объединить разнообразные данные разнородных





Components (c) and unresolved pairs (p):

IDs	Right Ascension	Proper motion RA (mas/y)	Magnitude	Spectral Type	Velocity amplitude (km/sec)	Systemic radial velocity (km/sec)	Source
46.828							
<b>BSDB J040751.38+621948.4:c3</b>							
SZ Cam A				O9.5V			GCVS
CCDM 04078+6220A, WDS 04078+6220C, SZ Cam A, SBC9 2052A, BSDB J040751.38+621948.4:c3	04 07 51.35 +62 19 59.4						ILB
SBC9 2052A					25.0	7.3	SB9
SBC9 2052A	04 07 51.39 +62 19 48.4						SB9
CCDM 04078+6220A, 03590N6204	04 07 51.44 +62 19 50.3	10.0 28.0	7.0	B			CCDM
SZ Cam A				O9.5V			CEV
WDS 04078+6220C, STF 485	04 07 51.352 +62 19 59.498		13.5				WDS

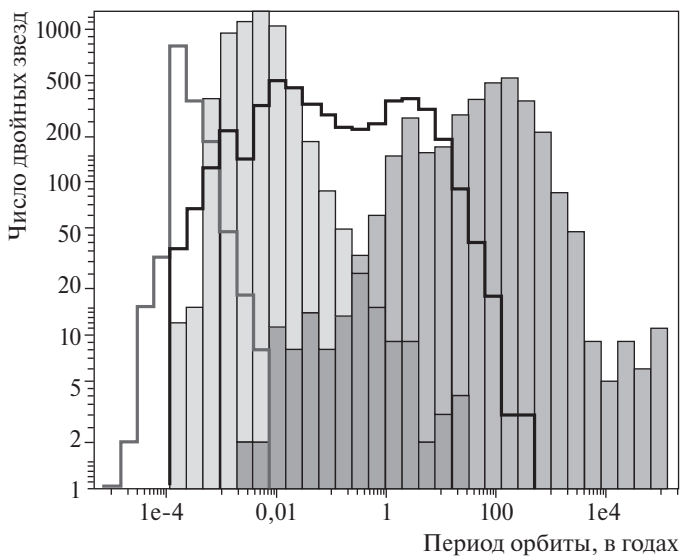
каталогов, потребовалось детально выяснить, каким же объектам какие из них принадлежат. Дело в том, что некоторые наблюдательные характеристики (например, периоды орбит) всегда относятся к двойной звезде как к паре. С другой стороны, приведенные в каталоге небесные координаты могут описывать как положение звезды в целом, так и ее компоненты по отдельности. Если кратная (например, тройная) звездная система является фотометрически неразрешенной, то в каталоге

можно будет найти показатель общего блеска всей системы; для фотометрически разрешенных компонентов показатели блеска будут их индивидуальными характеристиками. Итак, для того, чтобы правильно связать сведения, приведенные для двойных и кратных звезд различных наблюдательных типов в каталогах и базах данных, с объектами, к которым они относятся, авторы: 1) выделили три группы объектов в двойных и кратных системах: компоненты, пары и системы; 2) определили,

*Результат запроса к Базе данных двойных и кратных звезд ВДВ для звезды SZ Cam.*

какие параметры относятся к каждой из этих групп.

Еще одной проблемой, которую надо было решить, стало обозначение (или идентификация) объектов в двойных и кратных звездах. Разнообразие способов идентификации астрономических объектов связано с историей развития астрономии и с разно-



*Гистограмма распределения двойных звезд некоторых наблюдательных типов по периодам орбиты в годах (шкала логарифмическая). Черными контурами отображается распределение по периодам для спектрально-двойных, темно-серая заполненная – орбитальных двойных; бледно-серая заполненная – затменно-двойных; серая контурная – катаклизмических двойных. Хорошо видно, что разные проявления и возможности наблюдения двойственности характерны для разных наблюдательных периодов. Гистограмма построена по данным каталогов двойных звезд, включенным в каталог BDB.*

образом самих объектов, способов и целей их изучения. Так, в разных ситуациях для обозначения одной и той же звезды использовали ее принадлежность к созвездию, небесные координаты или номер в каком-либо каталоге. Поскольку количество объектов в каталогах со временем возрастает очень быстро, приходится изыскивать новые, более удобные и универсальные способы обозначения и одновременно стараться совмещать

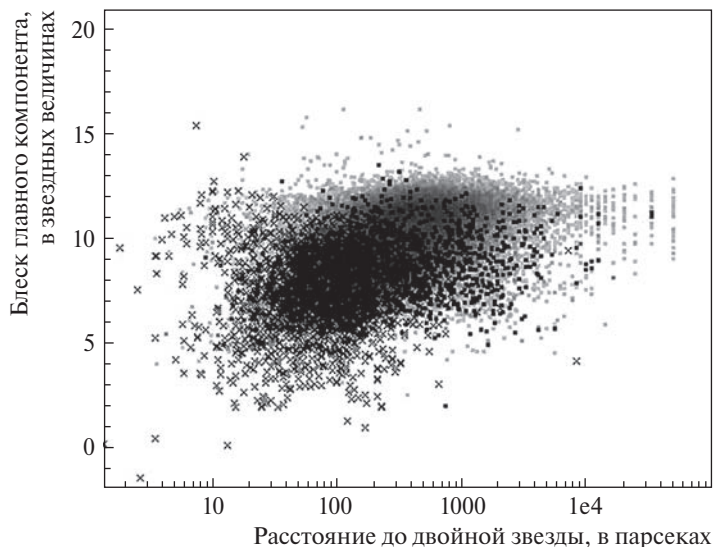
новые идентификаторы со старыми. Кросс-идентификация астрономических объектов (сопоставление идентификаторов, обнаружение обозначений одного и того же объекта в разных системах обозначений) – важная и часто решаемая задача. Наиболее интересные, популярные и яркие объекты могут иметь до нескольких десятков идентификаторов.

Однако кросс-идентификация двойных и кратных звезд – намного более сложная задача.

Исследователям до сих пор не удавалось изобрести такую систему обозначения компонентов, которая стала бы общепринятой. Если для двойных звезд традиционно добавляли к идентификатору системы в качестве суффиксов буквы А и В, то уже с тройными системами поступали по-разному. В тесных системах, когда оказывалось, что компонент А представляет собой на самом деле двойную звезду, новые два компонента получали обозначения Аа и Аб. Этот принцип, помимо прочего, отражал и тот факт, что кратные системы должны быть иерархическими, иначе они будут динамически нестабильными и просуществуют недолго. Исследователи же широких систем – где компоненты, как правило, наблюдаются по отдельности, а уровни иерархии не очевидны – обозначали вновь открытый компонент буквой С. Аналогично эти принципы распространялись на системы более высокой кратности, например, первая и последняя компоненты 107-кратного визуальных двойных WDS обозначались так: 19062-0453EHR 16AB и 19062-0453JNN10AG. Обе эти схемы неидеальны. Например, по мере открытия новых компонентов появляются трудно форматируемые обо-

значения типа Aa1, а в иерархических системах особенно высокой кратности (которые некоторые исследователи, впрочем, предпочитают называть, скорее, скоплениями) не хватает букв латинского алфавита.

Еще одной, дополнительной трудностью, присущей даже двойным системам, является порядок присвоения букв А (главному) и В (вторичному) компонентам, точнее – неоднозначность ответа на вопрос, какой компонент в паре является главным. Для исследователей визуально-двойных звезд это – более яркий компонент, для исследователей переменных звезд – более горячий. Оставим в стороне вопрос о порядке присвоения букв в парах с компонентами одинаковой яркости, а также то обстоятельство, что в разных фильтрах относительная яркость компонентов может быть разной. При моделировании тесных двойных систем принято считать главным компонентом более массивную на сегодняшний день звезду, а с точки зрения звездной эволюции, главный компонент – изначально более массивная звезда (из-за переноса массы в системе в процессе эволюции это могут быть разные компоненты). С точки зрения кинематики двойной системы, главный

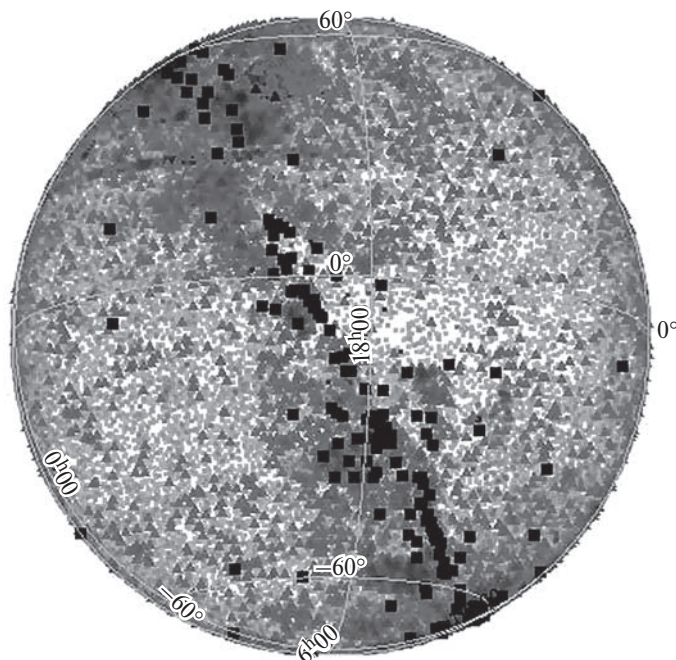


*Диаграмма распределения блеска главного компонента – расстояние до двойной звезды в парсеках (в логарифмической шкале) для некоторых наблюдательных типов звезд (по данным каталогов, входящих в BDB): бледно-серыми точками обозначены визуально-двойные; крестиками – орбитальные; черными точками – спектрально-двойные звезды. Видно, что в среднем орбитальные и спектрально-двойные звезды ярче и ближе, тогда как визуально-двойные могут наблюдаться на больших расстояниях и иметь слабый блеск. Это связано с различиями в методе обнаружения двойственности и в технике наблюдений.*

компонент – меньший по массе. Наконец, существуют задачи, для которых удобно считать главным компонентом больший по размерам. Все эти обстоятельства приводят к тому, что компоненты (и сами системы) двойных и кратных звезд получают в различных каталогах весьма различные обозначения, присваиваемые им в соответствии с различными схемами.

Для того, чтобы правильно “связывать” характеристики объектов

с объектами, к которым они относятся, потребовалось провести полное кросс-отождествление всех двойных и кратных звезд в используемых каталогах. Нами был создан каталог всех основных обозначений известных к настоящему времени объектов в двойных и кратных системах, учитывая наблюдательные характеристики: ведь одни идентификаторы могут относиться к компонентам, другие – к парам, третьи – к системам



*Карта небесной сферы, на которой показано распределение двойных звезд некоторых наблюдательных типов: бледно-серые точки – визуально-двойные; серые треугольники – затменно-двойные; черные квадраты – рентгеновские двойные. Наибольшее число звезд тяготеет к плоскости галактики; особенно ярко эта концентрация видна для относительно немногочисленных рентгеновских двойных.*

в целом. Каталог мы назвали ILB (Identification List of Binaries – список идентификаторов двойных звезд); он растет и развивается, во-первых, за счет открытия новых двойных звезд и новых компонентов; во-вторых, за счет добавления новых систем идентификации. В основном его создание завершено. Каталог ILB является основой, с помощью которой в каталоге BDB данные корректно связываются с объектами, которые они описывают. Объединение данных

каталогов звезд различных наблюдательных типов позволяет исследовать двойные звезды с орбитальными периодами в диапазоне более чем восьми порядков: от долей часа до тысяч и десятков тысяч лет.

Сегодня база данных BDB содержит данные всех основных каталогов двойных и кратных звезд для 110 тыс. звездных систем всех наблюдательных типов (с кратностью от 2 и выше). Сделать запрос в BDB можно по идентификатору объекта, либо по параметрам – по

координатам, звездным величинам, спектральным классам, орбитальным характеристикам.

На запрос о любом объекте в составе двойной или кратной системы (это может быть система в целом, пара или компонент) пользователь BDB получает список идентификаторов и “связанных” объектов (и относящихся к ним данных). При этом соответствующая двойная или кратная звезда одновременно визуализируется при помощи схемы расположения компонентов, нанесенной на фон Google Sky (<http://www.google.com/sky/>). Это позволяет при необходимости уточнить взаимное расположение компонентов. Просмотрев список данных, имеющих в каталогах для запрошенной звезды, пользователь может перейти непосредственно к посвященным ей записям в оригинальных каталогах.

Несмотря на распространенность двойных и кратных звезд и на огромный интерес, представляющий их изучение для решения многих важных астрономических задач, до недавнего времени относившиеся к ним астрономические данные, накопленные в многочисленных каталогах и базах данных, не могли использоваться комплексно. Трудность автоматического сбора и обработки характери-

стик двойных и кратных звездах была связана с разнородностью данных о них и отсутствием единой системы идентификации объектов в таких звездах. Авторы ре-

шают эти проблемы в рамках создания Базы данных двойных и кратных звезд BDB. Этот международный проект развивается в русле идей Виртуальной

обсерватории и является первым специализированным инструментом для работы с информацией о двойных и кратных звездах.

## НОВЫЕ КНИГИ

### Как получали имена созвездия

Недавно вышла книга Ричарда Аллена “Звезды. Легенды и научные факты о происхождении астрономических имен” (перевод с англ. Е. В. Ломановой), М.: Центрполиграф, 2016 г. Это – необычная книга для тех, кто интересуется красотой и чудесами звездного неба. Изучив труды древних авторов, автор написал увлекательную историю о том, как люди разных культур давали имена созвездиям; как в течение многих веков их описывали в литературе и какими они представлялись в устных преданиях; о том, какие невероятные ассоциации вызывали звезды у античных народов. На ее



страницах рассказывается о том, как появились солнечный и лунный зодиаки, что сказано о звездах в Библии и в других священных книгах, в поэзии и прозе.

Книга разбита на четыре части: “Солнечный зодиак”, “Лунные дома”, “Созвездия”, “Галактика. Млечный Путь”.

В предисловии автор пишет: *“Эта книга предназначена не для профессиональных астрономов, которых, как правило, мало интересуют древние обозначения предмета их исследований – в своей работе они предпочитают буквы, цифры и круги. Тем не менее, многие великие ученые считали, что вопрос о происхождении названий звезд заслуживает их внимания, они уделили много времени исследованию проблемы названий звезд: ...по сути своей, исследованию созвездий, а изучать их историю стоит уже потому, что во все времена дух человеческий занимался вопросом, который представляет для него самый главный интерес, – усыпанное звездами небо”.*

Книга рассчитана на всех, кто интересуется астрономией.

## **Глобальное потепление и его возможные причины**

А.И. ХЛЫСТОВ,  
кандидат физико-математических наук  
ГАИШ МГУ

Р.К. КЛИГЕ,  
доктор физико-математических наук  
Географический факультет МГУ

В.С. СИМКИН

---

**В статье рассматриваются наиболее вероятные эндогенные (внутренние) и экзогенные (внешние)**

**факторы, которые могут вызвать изменения климата Земли с периодами от нескольких до сотен тысяч лет.**

**Обсуждается вопрос о состоятельности гипотезы антропогенного глобального потепления.**

### ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ

Несмотря на трудности в получении экспериментального материала, связанные как с ошибками измерений, так и с недостаточной плотностью сети метеостанций, большинство экспертов считают установленным фактом глобальный рост поверхностной температуры Земли с 1860 г. по 2015 г. примерно на 0,8 °С. Реконструкции хода средней температуры Земли за последнюю тысячу лет по ширине колец деревьев и некоторым другим источникам показали,

что в последние 150 лет рост температуры заметно усилился. Особенно быстрый подъем температуры наблюдается с 1985 г. Многие климатологи считают, что такое беспрецедентное за последние 440 тыс. лет глобальное потепление с высокой вероятностью связано с антропогенным ростом концентрации углекислого газа в атмосфере Земли, усилившим парниковый эффект. Это мнение базируется на построенных в последние десятилетия моделях взаимодействия атмосферы, океана и суши. В них

учитывались не только естественные факторы, но и дополнительное влияние углекислого газа на рост температуры. Утверждается, что только в “дополнительных” моделях результаты расчетов соответствуют наблюдениям.

Имеющиеся в настоящее время разнообразные модели, учитывающие антропогенный парниковый эффект, показывают, что если не будут приняты кардинальные меры по ограничению техногенных эмиссий диоксида углерода (CO<sub>2</sub>) на Земле, то к 2050–2070 гг. его

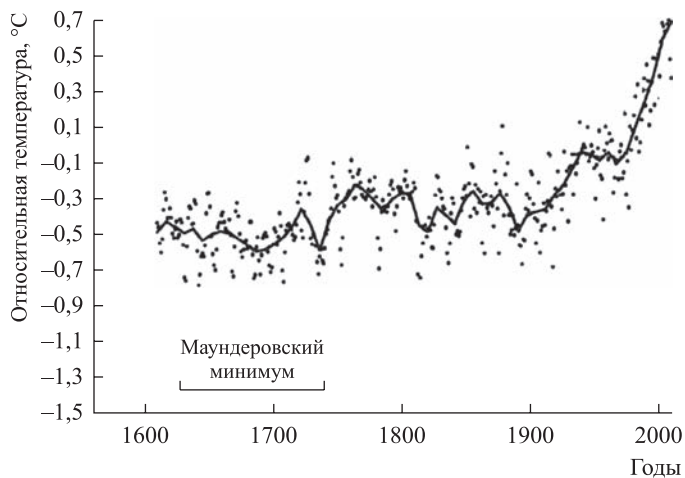


График изменения температуры на Земле с 1600 по 2010 гг. Указаны наблюдаемые (точки) и сглаженные средние значения приземной температуры (<http://dx.doi.org/10.4236/ns.2013.510136>).

В.М. Котлякова в № 4, 2017 журнала). Оказалось, что на протяжении 440 тыс. лет колебания температуры — от ледниковых эпох к периодам между ними — составляла около 10 °С, что на 1,5–2 °С превышает глобальную температуру в современную эпоху. Следовательно, рост температуры на Земле в последние 150 лет пока еще не вышел за рамки естественных процессов, характерных для всей последней геологической эпохи. В то же время наблюдаемый в настоящее время рост концентрации парниковых газов в атмосфере беспрецедентен для последних 440 тыс. лет. Современная концентрация CO<sub>2</sub> в атмосфере (379 ppm в 2005 г.) значительно превышает пределы естественных колебаний за последние 440 тыс. лет (180–300 ppm). Еще одним фундаментальным результатом является тот факт, что в течение данного времени изменения концентрации парниковых газов всегда следовали за колебаниями температуры, а не предвараляли их, причем сдвиг

концентрация удвоится, а температура вырастет на 1,5–6 °С. Большие погрешности делаемых оценок объясняются чрезвычайной сложностью климатообразующих процессов.

Главную неопределенность в расчеты вносит процесс моделирования отклика атмосферы на изменение концентрации парниковых газов — в первую очередь, двуокиси углерода. Так, по некоторым оценкам, океанический фитопланктон удаляет из атмосферы около половины углекислого газа. Однако увеличение фитопланктона, в свою очередь, зависит от температуры воды. Наличие многих других положительных и отрицательных обратных связей делает построение климатических моделей нетривиальной задачей. Если бы глобальное потепление полностью объяснялось антропогенными причинами, то

существовала бы тесная корреляция между повышением средней температуры Земли и мировым потреблением всех видов топлива. С 1860 г. по 2000 г. прослеживается только общая тенденция увеличения средней температуры Земли с ростом потребления топлива. Наблюдаемые значительные локальные повышения (и понижения) средней температуры Земли в рамках техногенной деятельности человека не объясняются, их следует приписать каким-то естественным причинам.

Чтобы оценить, насколько уникальны современные изменения климата, следует их сравнить с результатами исследований ледникового керна из скважины глубиной 3623 м на станции “Восток” в Антарктиде, полученными В.М. Котляковым (Земля и Вселенная, 2017, № 2; см. статью

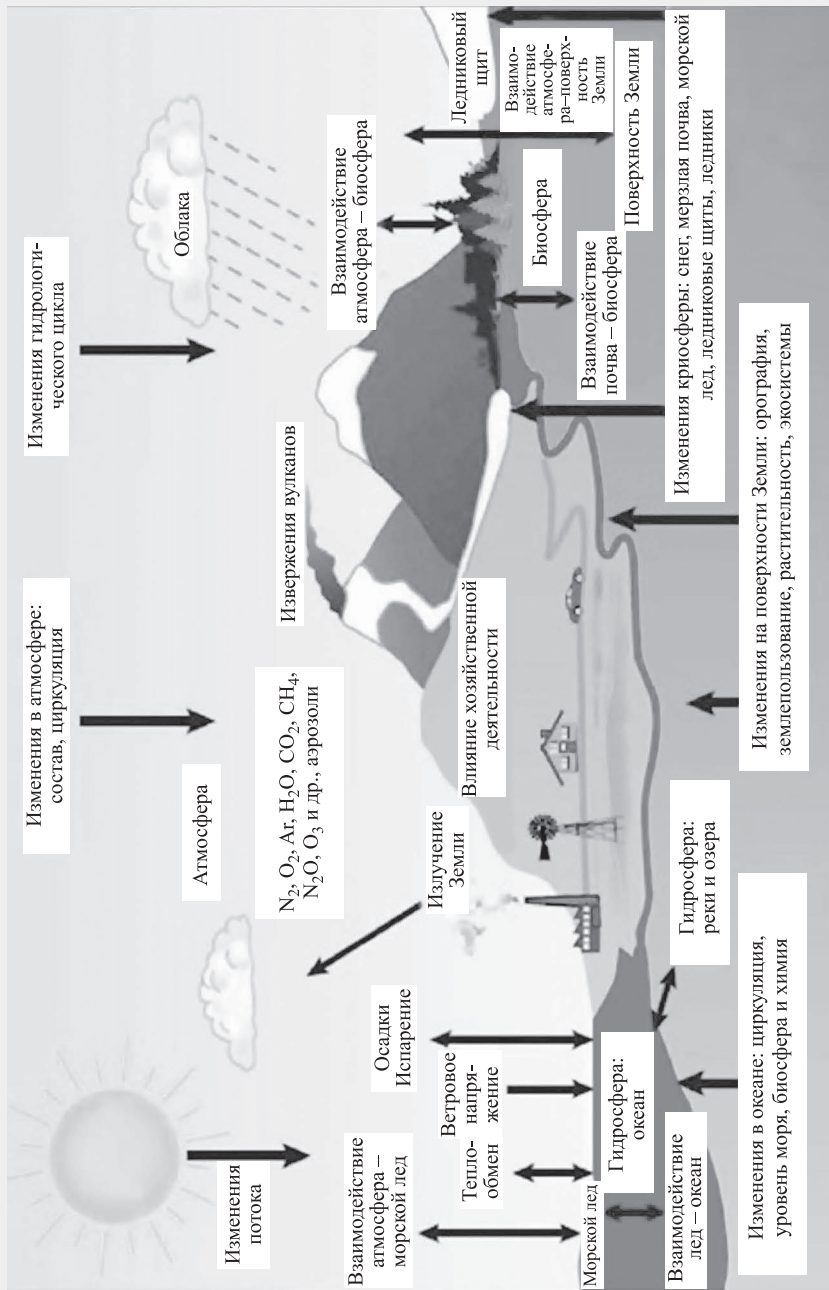


Схема взаимодействия составляющих климатической системы и основных климатообразующих процессов (по данным Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, М.: Росгидромет, 2008).



по времени составлял несколько сотен лет. Такая последовательность событий ставит под сомнение возможность влияния производственной деятельности человека на глобальное потепление климата.

#### ВУЛКАНИЗМ И КЛИМАТ

Серьезные исследования последствий вулканической активности, оказывающей влияние на работу глобальной климатической системы, начались сразу после 27 августа 1883 г., когда в Индонезии произошла одна из крупнейших природных катастроф в истории человечества – извержение вулкана Кракатау, унесшего жизни более 36 тыс. человек. Перед извержением остров Кракатау имел высоту около 800 м и размеры  $5 \times 9$  км. В результате взрыва, имевшего силу примерно 200 мегатонн в тротиловом эквиваленте, почти весь остров ушел под воду. Наряду с локальными

последствиями взрывного извержения, выброшенные на высоту 55 км пемза и мелкий пепел создали глобальный антипарниковый эффект за счет возросшего альbedo Земли. Это привело к тому, что через год после извержения средняя температура в мире снизилась на  $1,2$  °C. Нормальные значения температуры восстановились только через 5 лет. Все эти годы даже в Европе во время заката лучи Солнца создавали на небосклоне пурпурно-бриллиантовый отблеск, что указывало на присутствие в атмосфере вулканической пыли.

По предположениям вулканологов, остров Кракатау возник в 535 г. в результате взрывного извержения еще более мощного вулкана. Произошло обрушение крупного участка поверхности, и образовался Зондский пролив, разделивший острова Яву и Суматру. В недавно изученных колонках

антарктического и гренландского льда в слоях, относящихся к 535–536 гг.н.э., отмечен скачок концентрации сульфатов, которые могли попасть в лед только из атмосферы. Это указывает на высокую концентрацию в атмосфере кислотных аэрозолей, обычно вулканического происхождения. По свидетельству дошедших до нас письменных источников, на протяжении 18 месяцев после катастрофического извержения 535 г. темные тучи закрывали солнечный свет, люди по всей планете страдали от голода и болезни. Затем наступили 30 лет невиданной засухи и наводнений, уничтоживших значительную часть населения Земли. В наше время катастрофа подобного масштаба может произойти в результате взрыва Йеллоустонского супервулкана в США.

Считается, что глобальное похолодание в Европе в 1315–1317 гг., вызвавшее “Великий голод”,

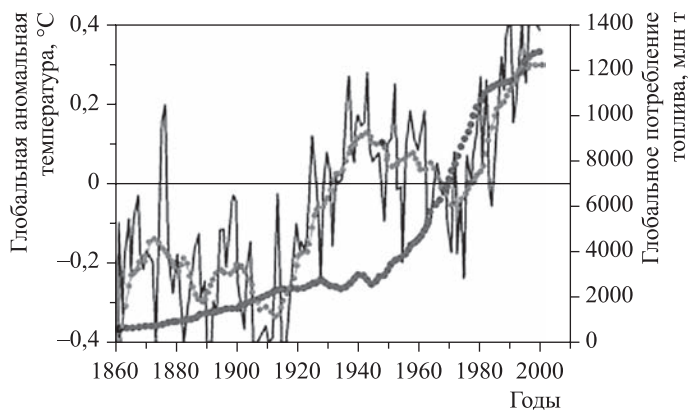


График зависимости роста глобальной температуры и мирового потребления топлива с 1860 г. по 2000 г. (Котляков В.М. О причинах и следствиях современных изменений климата // Солнечно-земная физика. 2012. Вып. 21). На правой оси – мировое потребление топлива (в млн тонн).

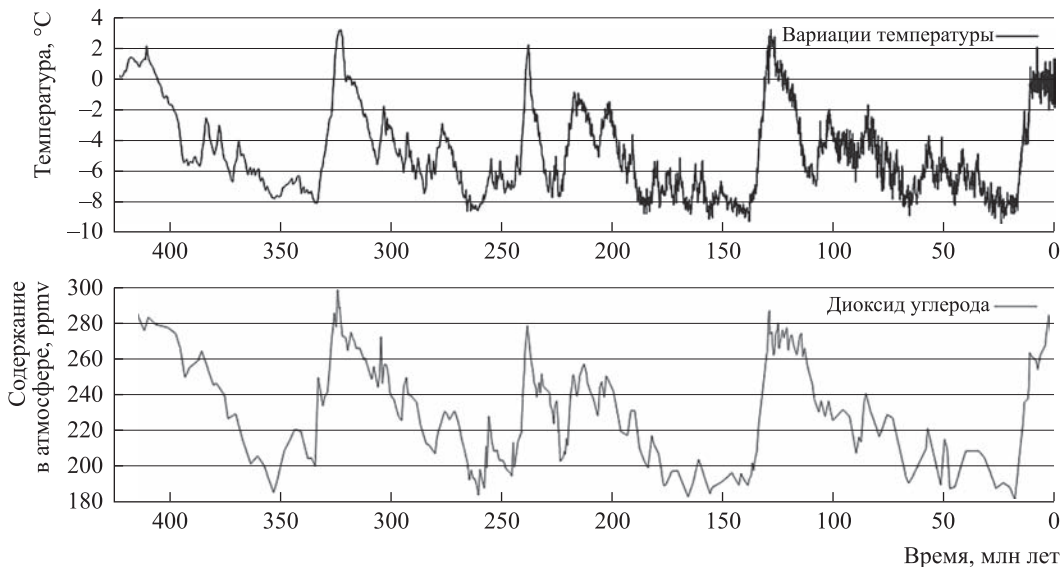


График зависимости колебания температуры (2-й график сверху) и содержания  $\text{CO}_2$  (3-й график) за последние 440 тыс. лет (Котляков В.М. О причинах и следствиях современных изменений климата // Солнечно-земная физика. 2012. Вып. 21).

также было следствием продолжавшегося пять лет извержения вулкана Кахароа в Новой Зеландии. А экстремально холодные зимы в Северной Европе и гибель урожая винограда на юге в 1601–1602 гг., а также сильный голод на Руси в 1601–1603 гг., давший начало “смутному времени”, могли быть результатом сильнейшего за историческое время извержения вулкана Уайнапути в Перу 19 февраля 1600 г. Печально известному 1816 г. с необычайно холодным летом, когда погибли урожаи в Европе, Канаде и в США, получившему название “год без лета” (или “год нищеты”) предшествовало катастрофическое извержение вулкана

Тамбора в Индонезии 10–11 апреля 1815 г.

По данным Смитсоновского института (<http://volcano.si.edu>), за последние 10 тыс. лет было зафиксировано извержение 1509 вулканов. Наиболее достоверными считаются данные с 1600 г. по 2013 г. В эти годы наблюдался непрерывный рост извержений – от 2–3 в 1600 г. до 50 – в 2013 г. Отмечается, что в современный период суммарные выбросы углекислоты вулканами в 100 раз меньше антропогенных, поэтому вулканический парниковый эффект не может способствовать повышению глобальной температуры. Антипарниковый эффект (понижение температуры)

за счет вулканической пыли и диоксида серы ( $\text{SO}_2$ ) перестает действовать через несколько лет после извержения. Таким образом, можно сделать вывод: влияние каждого сильного вулканического извержения на глобальный климат ограничено временем пребывания аэрозольного загрязнения в стратосфере и не превышает четырех-пяти лет. Чтобы похолодание климата длилось несколько тысяч лет, необходимо условие, при котором в течение всего этого времени (или, по крайней мере, в начале, до образования покровных ледников) каждый год взрывалось по нескольку вулканов такой мощности, как

Кракатау. Такого в геологической летописи не зафиксировано.

#### ПОДВОДНЫЕ ВУЛКАНЫ

Существует еще один важный аспект, связанный с вулканической активностью, который необходимо учитывать при расчетах теплового баланса земной поверхности. Это – вулканические выбросы, происходящие на дне океанов и морей. Извержения подводных вулканов, расположенных в очень глубоких местах океана, обычно незаметны, так как большое давление воды препятствует взрывным извержениям. Именно поэтому вплоть до конца XX в. подводные вулканы были мало изучены. Существующая в настоящее время база данных дна Тихого океана, созданная на основе анализа альтиметрических материалов, содержит информацию о примерно 150 тыс. подводных гор, многие из которых – действующие вулканы. Если произойдет усиление вулканической активности на обширном пространстве океанического дна, то это неизбежно приведет к потеплению Мирового океана и таянию льдов в Северном Ледовитом океане и ледников в Гренландии и Антарктиде. В результате уровень Мирового океана повысится и давление на дно возрастет,

что уменьшит поступление горячей вулканической магмы в океан; температура океана и воздуха начнет понижаться, и Северный Ледовитый океан снова покроется льдом. В Гренландии, Антарктиде, а также в приполярных областях Америки и Евразии возобновится рост ледников. Поскольку запаасаемая в ледниках вода изымается из океана – его уровень понизится, давление на дно уменьшится, и вулканическая активность снова начнет нарастать. Таким способом может осуществляться саморегулирующаяся цикличность великих оледенений. Известно, что в геологическом прошлом амплитуда колебаний уровня океана достигала 100–150 м. Если скорость изменения уровня океана была порядка 1 мм в год (современное значение – 1,7 мм в год), то для периода цикла великих оледенений получается значение порядка 100 тыс. лет. Как раз именно с таким периодом и происходили колебания температуры и концентрации  $\text{CO}_2$  в плейстоцене.

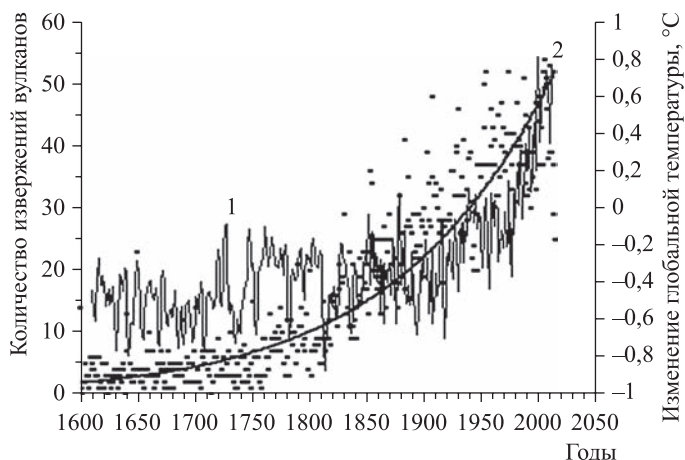
Поскольку причина надводного и подводного вулканизма общая – движение литосферных плит – можно предполагать, что изменения интенсивностей подводного и надводного вулканизма со временем происходят синхронно.

Следовательно, оба этих процесса можно описать одной и той же математической функцией. Это делает возможным использовать более достоверную базу данных о надводных вулканах при поисках корреляций тех или иных процессов на Земле с подводным вулканизмом. Пользуясь этим, мы провели сравнение изменения глобальной температуры с количеством надводных вулканических извержений и пришли к выводу, что наблюдаемое с конца XVIII в. быстрое глобальное потепление, по-видимому, в значительной мере обусловлено естественной причиной – нарастающей активностью подводных вулканов.

#### СОЛНЕЧНАЯ ЦИКЛИЧНОСТЬ И ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ

В литературе уже давно обсуждается вопрос о возможном влиянии солнечной активности на климатические изменения. Так, еще в 1801 г. знаменитый астроном Вильям Гершель (Земля и Вселенная, 2008, № 6) пытался сопоставить количество солнечных пятен с ценами на пшеницу в Англии, справедливо полагая, что цены зависели от урожайности, которая, в свою очередь, могла определяться солнечной активностью, индикатором которой считается количество пятен

График наблюдаемых изменений глобальной температуры (кривая 1; <http://dx.doi.org/10.4236/ns.2013.510136>) и количества вулканических извержений (точки и аппроксимирующая кривая 2; по данным Смитсоновского института, <http://volcano.si.edu>). Быстрое потепление хорошо коррелирует с нарастающей активностью подводных вулканов.



на Солнце. До начала 1980-х гг., из-за нехватки фундаментальных знаний, вопрос о воздействии солнечной активности на климат оставался вне сферы внимания климатологов и астрофизиков. Ситуация кардинально изменилась в 1976 г., когда американский астроном Джон Эдди впервые обратил внимание на совпадение по времени “минимума Маундера” (почти полное отсутствие пятен с 1645 по 1715 г.; Земля и Вселенная, 2001, № 2; 2011, № 1) с серединой “малого ледникового периода” — необычайно холодной погоды в Европе и Северной Америке с XVI в. до начала XIX в. — льдом сковало русла рек Темзы и Дуная, замерзала вода в каналах Голландии, а зимние заморозки стали поражать даже северную Италию.

В 2000 г. голландский астроном К. де Ягер пер-

вым при изучении солнечно-климатических связей обратил внимание на то, что нужно учитывать две магнитно-активные области на поверхности Солнца: экваториальную зону — где проявляются тороидальные (вытянутые по долготе) магнитные поля — и полярную — связанную с полоидальными (проходящими через полюса Солнца) полями. Согласно теории магнитного динамо, в экваториальной зоне образуются солнечные пятна и “факелы”, а в полярной зоне возникают полярные “факелы”. К. де Ягер исследовал связь этих проявлений солнечной активности со среднегодовой приземной температурой. В результате проведенных расчетов он пришел к выводу, что изменение температуры Земли между 1600 г. и первой половиной XX в. примерно на 40% определялось солнечной

активностью. Он также отметил, что рост температуры, начавшийся примерно в начале XX в., по-видимому, — несолнечный и имеет другое — скорее всего, антропогенное происхождение.

#### ВАРИАЦИИ СОЛНЕЧНОЙ ПОСТОЯННОЙ

Солнечная постоянная — это суммарный поток солнечного излучения, проходящий через площадку в  $1 \text{ м}^2$ , ориентированную перпендикулярно потоку и расположенную на расстоянии 1 а.е. (астрономическая единица, равная 150 млн км) от Солнца внеземной атмосферы. Косвенными методами установлено, что 4 млрд лет назад солнечная светимость была примерно на 30% ниже современной. Это означает, что на масштабах времени порядка сотен и тысяч лет ее изменением можно пренебречь. До начала космической эры



*Замерзшая Темза. Картина художника Абрахама Хондиуса (1677). Британский музей в Лондоне.*

(начавшейся 4 октября 1957 г.) определение величины суммарного потока солнечного излучения проводилось с поверхности Земли и потому результаты измерений были отягчены ошибками из-за атмосферных помех. К настоящему времени получен непрерывный ряд измерений солнечной постоянной, выполненных с 1978 г. по 2010 г. несколькими специальными космическими аппаратами для 21–23 циклов солнечной активности. Среднее внеатмосферное

значение солнечной постоянной оказалась равным  $1367 \text{ Вт/м}^2$ , ее вариации в течение 11-летнего цикла солнечной активности имеют амплитуду около  $1 \text{ Вт/м}^2$  – то есть 0,07% от ее величины (<http://www.pmodwrc.ch>). Такие малые изменения солнечной постоянной не могут быть причиной холодных периодов наподобие “малого ледникового”, поскольку модельные расчеты таких похолоданий требуют ее вариаций не менее 1%.

#### ГАЛАКТИЧЕСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ И КЛИМАТ

Результаты проведенных в последнее десятилетие исследований свидетельствуют о тесной связи площади облачного покрова, количества осадков и температуры тропосферы с интенсивностью галактических космических лучей (ГКЛ). Взрывы сверхновых звезд, а также квазары и пульсары – основной источник ГКЛ. В них ядра атомов водорода и гелия ускоряются до очень высоких энергий,

порядка  $10^{12}$  МэВ. Проходя через атмосферу Земли, частицы взаимодействуют с атомами и молекулами воздуха, в результате чего образуются вторичные космические лучи – преимущественно нейтроны. Сравнение особенностей поведения долговременного ГКЛ, начатое в конце 1950-х гг. с помощью Всемирной сети станций с нейтронными мониторами показало, что в потоке ГКЛ наблюдается отчетливый 11-летний цикл, находящийся в противофазе с солнечным циклом. Объясняется это тем, что по пути из межзвездного пространства к Земле ГКЛ проходят сквозь гелиосферу – околосолнечное пространство, заполненное движущимся в радиальном направлении от Солнца ионизованным газом – солнечным ветром. Он содержит в основном ядра атомов водорода и электронов. Захватывая и унося с собой солнечное магнитное поле, солнечный ветер создает в околосолнечном пространстве межпланетное магнитное поле (ММП). В период высокой солнечной активности скорость и плотность солнечного ветра значительно возрастает, а его магнитное поле усиливается и становится сильно неоднородным. Такое магнитное поле затрудняет проникновение частиц космических лучей в гелиосферу.

В результате в периоды высокой активности Солнца поток ГКЛ снижается на 10–15% по отношению к его значению в минимумах циклов.

Рассмотрим процессы, протекающие в тропосфере под воздействием ГКЛ в минимуме солнечного цикла. Проходя через атмосферу Земли, вторичные нейтроны быстро теряют энергию в результате многократных столкновений с аэрозольными частицами и “прилипают” к ним, создавая дополнительные ядра конденсации. Образующиеся на них мелкодисперсные капли воды формируют облака, сильнее отражающие солнечный свет, чем облака из более крупных капель. В результате альбедо Земли увеличивается и температура падает. Кроме того, за счет снижения количества водяного пара, “перешедшего” в капельно-жидкое состояние, уменьшается парниковый эффект, что приводит к дополнительному понижению температуры. Предполагается также, что мелкодисперсные капли воды за счет меньшего веса быстро поднимаются на большую высоту, в результате чего в тропосфере возникает завихренность, генерирующая повышенную циклоническую активность.

При повышенной солнечной активности, когда поток ГКЛ ослаблен, количество ядер

конденсации снижается, и облаков становится меньше. Возросшая освещенность земной поверхности повышает приземную температуру, что приводит к усилению парникового эффекта за счет дополнительного испарения воды. В результате приземная температура еще больше повышается.

Таким образом, можно ожидать, что вблизи максимумов солнечных циклов ясных дней летом и зимой должно быть больше, а осадков – меньше. При этом летние температуры должны быть выше многолетних средних значений, а зимы – более холодными. В минимумах циклов (когда возросший поток ГКЛ образует большее количество ядер конденсации) лето должно быть преимущественно дождливым и прохладным, а зима – снежной и с умеренными морозами. В тех случаях, когда по диску Солнца проходит корональная дыра (обширная область на Солнце с “открытыми” магнитными полями), происходит усиление солнечного ветра, и в течение нескольких суток процессы в тропосфере протекают по сценарию повышенной солнечной активности. Если минимум солнечного цикла вместо обычных нескольких лет растянется на несколько десятков лет (как это было для “минимума Маундера”), то может наступить

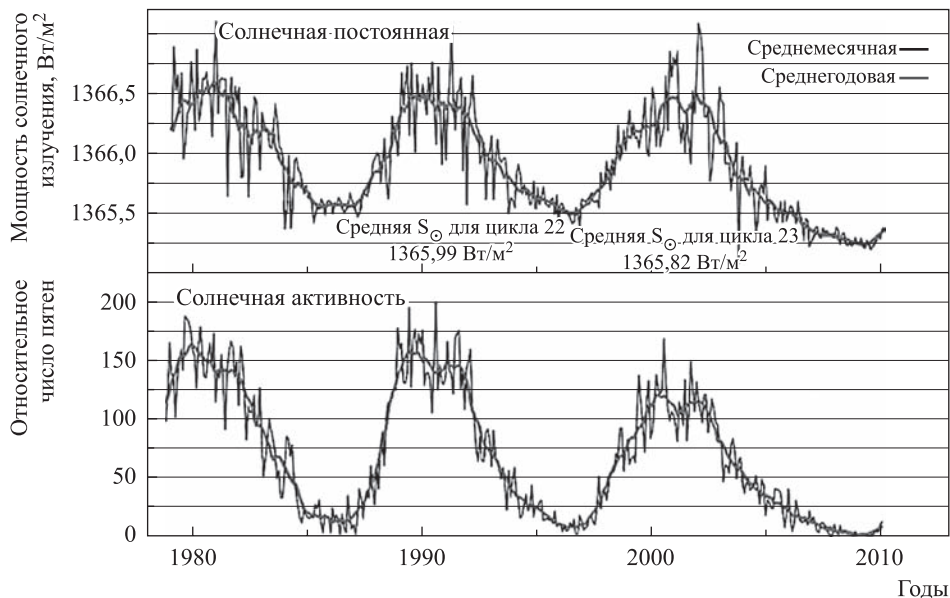


График зависимости результатов спутниковых измерений солнечной постоянной, выполненных с помощью спутников и чисел Вольфа (по данным сайта Мирового радиационного центра, Швейцария: [www.rpodwrc.ch](http://www.rpodwrc.ch)). По оси ординат отложены значения солнечной постоянной.

очередной "малый ледниковый период".

#### "ОРБИТАЛЬНАЯ" ТЕОРИЯ КЛИМАТА

Инсоляции Земли зависят не только от активности Солнца, но и от некоторых элементов орбиты Земли. Первым "орбитальную" гипотезу изменения климата высказал в 1842 г. французский математик Ж. Адемар, а в 1875 г. был опубликован фундаментальный труд на эту тему английского ученого Дж. Кролля. Но наиболее заметный вклад в развитие орбитальной теории внес сербский исследователь М. Миланкович, который в 1930 г. провел расчеты приходящей на

Землю солнечной радиации с учетом медленных вариаций эксцентриситета, наклона оси вращения и долготы перигелия земной орбиты, происходящими с периодами от десятков тысяч до 100 тыс. лет. Он предположил, что именно эти процессы приводили в прошлом к повторяющимся великим оледенениям. Однако на основании анализа климатообразующих процессов можно сделать вывод, что причиной великих оледенений с периодом порядка 100 тыс. лет могли быть не только медленные изменения элементов орбиты Земли (экзогенные процессы), но также и извержения

подводных вулканов (эндогенные процессы).

Отдельного внимания заслуживает необычно быстрый рост приземной температуры, которой принято связывать с антропогенными выбросами двуокси углерода, в последние 150 лет. Действительно, на основании изучения ледяных кернов из глубоких скважин Антарктиды и Гренландии утверждается, что наблюдаемый в настоящее время рост концентрации парниковых газов в атмосфере беспрецедентен для последних 440 тыс. лет. Тем не менее, несмотря на это, глобальная температура в современную эпоху все еще на 1,5–2 °C ниже,

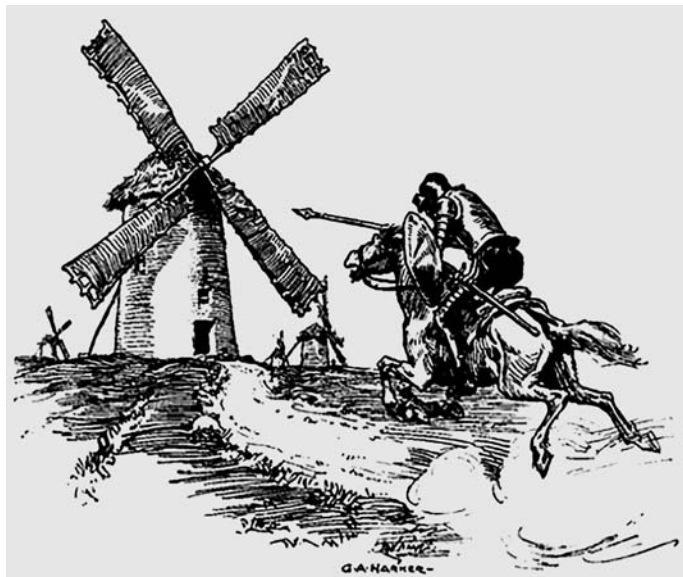


Иллюстрация Дж. Харкера к роману Мигеля де Сервантеса "Хитроумный идальго Дон Кихот Ламанчский" (1605, 1615).

и таяние арктических льдов указывают на то, что в ближайшем будущем глобальное потепление должно прекратиться и на смену ему придет очередной период похолодания. Следовательно, прежде чем проводить в жизнь дорогостоящие проекты по сдерживанию глобального потепления, необходимо убедиться, что это не будет напоминать сражение с ветряными мельницами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 15-05-07590).

чем была в три предыдущие междуледниковые эпохи, предшествовавшие голоцену. А это значит, что колебания температуры на Земле пока еще "не выходят за рамки" естественных изменений, характерных для всей последней геологической эпохи (Котля-

ков В.М., 2012). К этому следует добавить, что, согласно проведенному авторами анализу, основной причиной современного глобального потепления может быть подводный вулканизм. Усилившиеся в последнее время сокращение ледовых покровов



## Великое американское затмение

С.А. ЯЗЕВ,  
доктор физико-математических наук  
директор Астрономической обсерватории ИГУ  
ИСЗФ СО РАН, Иркутск

---

21 августа 2017 г. состоялось очередное полное солнечное затмение, заранее позиционировавшееся в СМИ как “Великое американское затмение” – подобно “Великому русскому затмению”

Это явление стало повторением через сарос “европейского” затмения 11 августа 1999 г. По продолжительности это было не “великое”, а вполне рядовое событие: длительность полной фазы явления не превысила 2 мин 40 с. В текущем столетии самое долгое полное солнечное затмение зарегистрировано в акватории Тихого океана 22 июля 2009 г. – 6 мин 39 с.

РЕКОРДЫ ЗАТМЕНИЯ – 2017

Тоталити (так называли это явление в американской прессе) стало рекордным по числу

31 июля 1981 г. Если полоса затмения 1981 г. проходила по территории СССР, то в 2017 г. увидеть полную фазу затмения можно было только на территории США. Лунная тень пробежала от запада до

фотографировавших его наблюдателей: несколько миллионов человек прибыли в полосу затмения из соседних штатов, приехали из других стран и континентов. Места в гостиницах, расположенных поблизости от полосы полной фазы и в ее пределах, были забронированы за много месяцев и даже больше чем за год. Сотни тысяч (если не миллионы) желающих увидеть астрономическое явление на своих и арендованных автомобилях и домах на колесах двинулись в сторону полосы полной фазы, образовав гигантские пробки на дорогах

востока страны – через Орегон, Айдахо, Вайоминг, Небраску, Канзас, Миссури, Иллинойс, Кентукки, Теннесси, Джорджию, Северную и Южную Каролину.

еще за сутки до события; еще никогда в полосе затмения не было такого количества наблюдателей, вооруженных современной фототехникой – от обычных мобильных телефонов до профессиональных камер на портативных телескопах с часовым ведением.

Вдоль полосы полной фазы – от западного до восточного побережья США – разместились пункты, откуда велась организованная NASA прямая интернет-трансляция. Она превратилась в многочасовое шоу, где работали опытные телеведущие и давали комментарии специалисты.



Карта прохождения лунной тени с запада до востока США во время полного солнечного затмения 21 августа 2017 г. Указаны часовые зоны по Всемирному времени; параллельные линии – фазы затмения; в центре полосы звездочкой отмечена точка максимальной продолжительности полной фазы.

По мере движения тени Луны с запада до востока США включалось изображение с очередного пункта, что позволило желающим во всем мире несколько раз увидеть в реальном времени волнующие моменты

уменьшения солнечного “серпа”, возникновения эффекта “четок Бэйли” и “бриллиантового кольца”, а также появления солнечной короны.

Кроме того, была организована прямая трансляция с борта специ-

ального самолета, летевшего вдоль полосы вслед за тенью, – это позволило несколько увеличить продолжительность наблюдаемой с борта полной фазы затмения. Столь масштабная демонстрация полного солнечного затмения в режиме онлайн была осуществлена впервые, хотя телевизионные трансляции в прямом эфире были организованы еще на сарос раньше, в августе 1999 г., – например, в Румынии.

Несмотря на проблемы с интернетом в пределах полосы, о которых сообщали многие наблюдатели, в социальных сетях уже через несколько минут после затмения начали появляться фотографии короны. Методы сложения и обработки цифровых изображений, которыми



В континентальной части США первыми встретили затмение жители г. Портленд (штат Орегон) в 9 ч 04 мин утра (19 ч 04 мин по московскому времени).

*Летающий самолет на фоне солнечной короны. Кадр из видеозаписи, произведенной вблизи г. Мадрас (штат Орегон). Фото М. Гаврилова.*

---

еще несколько лет назад владели немногие мастера, сегодня стали доступными многим желающим. Это позволило энтузиастам наблюдений солнечных затмений довольно быстро (уже спустя несколько дней после события) разместить в Сети комбинированные изображения, синтезированные на основе суммирования десятков (иногда – многих десятков) отдельных цифровых кадров, которые позволили сравнительно адекватно отобразить тонкую структуру солнечной короны.

Множество оригинальных и комбинированных фотографий высокого качества (о таком его уровне еще недавно могли только мечтать профессионалы) можно найти, например, в группе Solar Eclipse Chasers (преследователи солнечных затмений) социальной сети Facebook.

С погодой в целом повезло: на большей части полосы наблюдателям удалось увидеть корону, и даже дым от лесных пожаров в штате Орегон не помешал людям увидеть астрономическое явление.

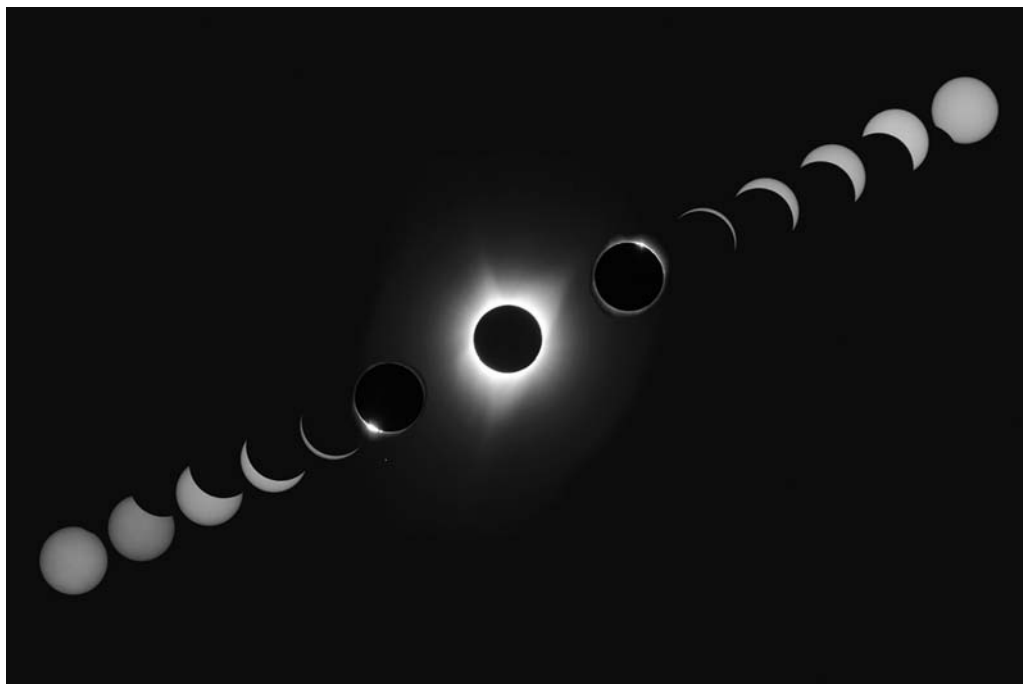


#### КАЗУСЫ ЗАТМЕНИЯ

Постоянные упоминания в американских СМИ о будущем затмении привели к возникновению ажиотажа. Некоторых “охотников за затмениями”, сумевших более, чем за год, забронировать гостиничные номера, оповестили о том, что их бронирование (стоимостью 80–100 долларов в сутки) аннулировано, и им предлагалось заново бронировать номер примерно за тысячу долларов в сутки. После многочисленных жалоб расследованием этих случаев занялись юридические службы США. Сообщалось о сотнях отказов и аннулировании забронированной аренды автомобилей в компании “Hertz” (штат Орегон)

ввиду того, что их не хватало на дату уникального природного явления. Компания “Амазон” была вынуждена возратить платежи за наводнившие рынок некачественные защитные очки и солнечные фильтры, предназначенные для наблюдений частных фаз затмения. Распространялось сообщение о туристах, отправившихся в полосу затмения, чтобы зачать “звездного ребенка” во время полной фазы.

Фактически “массовые наблюдения” великого американского затмения в США превратились в грандиозное дорогостоящее шоу. Впрочем, можно заметить, что отношение к затмению как к шоу – это гораздо лучше, чем пропаганда астрологической



концепции, традиционно связывающей с затмениями разнообразные негативные явления,

происходящие на Земле. Миллионы людей увидели непосредственно и в ходе трансляции

*Частные и полная фазы солнечного затмения 21 августа 2017 г. Коллаж А. Мананникова.*

---



непередаваемое зрелище, не ассоциируя его с неприятностями, которые традиционно предсказывались астрологами.

#### РОССИЯНЕ НА ЗАТМЕНИИ

Свидетелями затмения стали и многочисленные россияне, прибывшие в США: так, например, большая экспедиция успешно проведена Клубом научных путешествий “Астроверты” (<http://sciencetravel.ru/>)

---

*На затмение приходили любители с крупными телескопами и профессиональной съемочной техникой.*

Моменты второго и третьего контактов затмения. Коллаж из двух фотографий, сделанных А. Мананниковым с помощью фотокамеры "Canon 650D" ( $F = 250\text{ мм}$ , экспозиции  $1/3200\text{ с}$  и  $1/1600\text{ с}$ , ISO 100). Съемка проводилась вблизи г. Мадрас (штат Орегон).

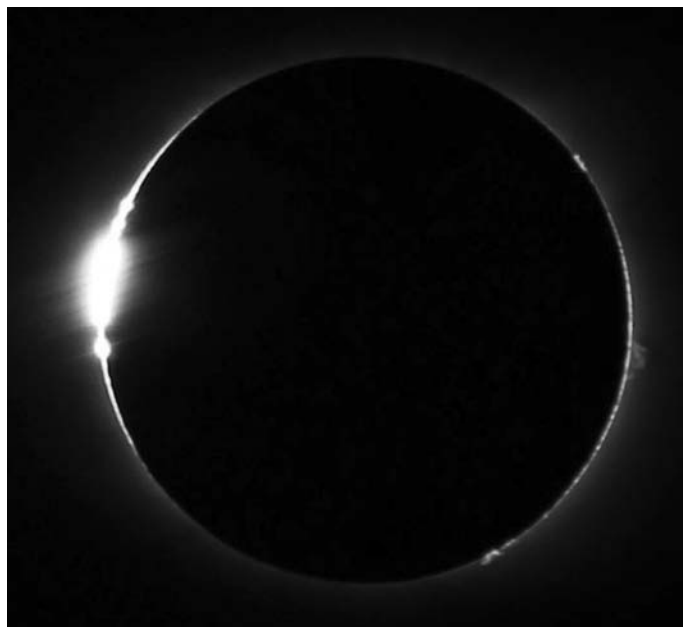
---

под руководством известного "охотника за затмениями" – астронома-любителя Станислава Короткого. В составе экспедиции работали 18 человек (17 из России и 1 из Беларуси), они выбрали для наблюдательного пункта г. Глендо (штат Вайоминг). Участник экспедиции Михаил Семёнов выполнил высококачественные видеосъемки полной фазы затмения с помощью телескопа-апохромата "Sky-Watcher ED80" ( $D = 80\text{ мм}$ ,  $F = 600\text{ мм}$ ,  $F/d = 7,5$ , фотокамера "Canon 6D" работала в прямом фокусе). Видеоролик доступен по адресу: <https://www.youtube.com/watch?v=12WH4SJQQMg>.

Станислав Короткий провел съемки короны

---

Солнечная корона во время полного затмения 21 августа 2017 г. Снимок получен Э. Ивановым (Болгария) с помощью фотокамеры "Canon EOS70D" ( $F = 400\text{ мм}$ , экспозиция  $1/4\text{–с}$ , ISO 100). Съемка проводилась вблизи г. Мадрас (штат Орегон).



сериями из трех кадров, удваивая экспозицию от  $1/1000$  до 1 секунды. Всего за 2 мин 30 с было получено 115 кадров, 95 из которых были использованы Александром Юфе-

ревым для создания прекрасного композиционного изображения верхней короны Солнца (см. стр. 1 обложки).

Александр Мананников из подмосковного



г. Раменское получил серию впечатляющих кадров, находясь в 2 км севернее г. Мадрас (штат Орегон).

Команда иркутских наблюдателей (Даниил Мячин, Сергей Евчик, Виктор Рябенко) осуществили цикл наблюдений в штате Вайоминг с применением поляризационной оптики.

Михаил Гаврилов из подмосковной Черноголовки получил видеозапись хода полной фазы затмения. Он работал в составе группы болгарских наблюдателей под руководством известного астрофотографа Эмила Иванова. Несомненно, приведенный список российских наблюдателей далеко не полон.

#### КОРОНА – 2017

Несколько слов о свойствах короны в августе 2017 г. Солнечное затмение 21 августа 2017 г. произошло на 117 солнечном обороте (104 месяце) от начала 24-го цикла солнечной активности; к этому времени цикл уже давно уверенно “шел на спад”: прошло уже 40 месяцев после максимума, отмеченного в апреле 2014 г. (Земля и Вселенная, 2014, № 4).

Согласно классификации А.Т. Несмяновича, вид солнечной короны на данной фазе (спада цикла) должен соответствовать третьему, предминимальному типу ее структуры, для

которого характерны хорошо развитые лучевые структуры в околополярных областях Северного и Южного полушарий Солнца. Кроме того, следовало ожидать заметного наклона корональных лучей (продолжений корональных стримеров) к плоскости солнечного экватора (обычно на фазе максимума цикла корональные лучи располагаются практически радиально). Первый указанный признак действительно наблюдается даже на оригинальных фотографиях и, тем более, на композиционных изображениях вблизи полюсов нашего светила: отчетливо видны ярко выраженные системы полярных “перьев” (или “щеточек”) – полярные лучевые структуры, протягивающиеся не менее чем на диаметр светила от края солнечного диска. Что же касается второго признака, то здесь ситуация иная: высокие корональные структуры Южного полушария оказались практически радиальными.

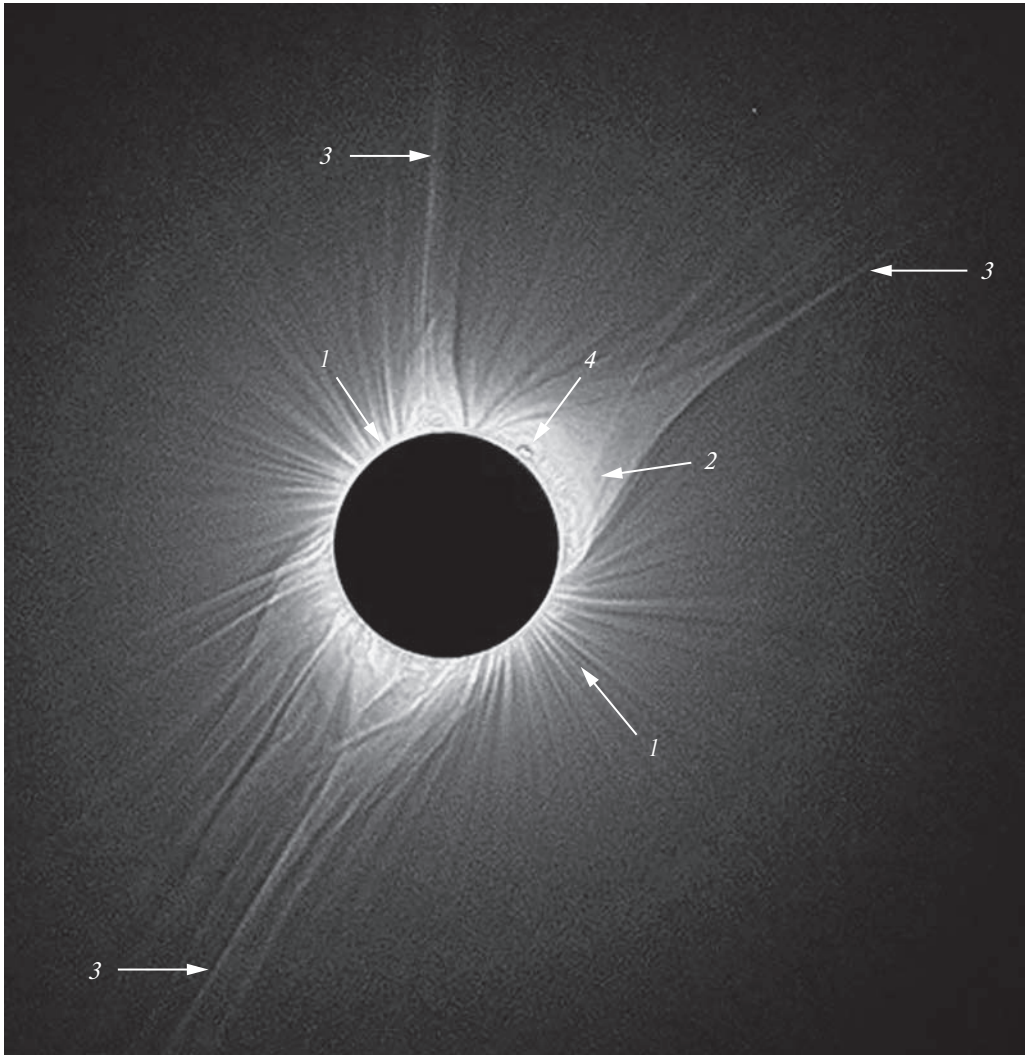
Близок к радиальному и высокий корональный луч на западном лимбе Солнца к северу от экватора, и лишь на восточном лимбе Северного полушария наблюдаются менее яркие структуры, отклоняющиеся от радиального направления в сторону экватора.

Такой вид короны характерен для второго, промежуточного (последнего) типа ко-

роны по А.Т. Несмяновичу. Можно констатировать, что перестройка тонкой структуры короны происходит медленнее, чем можно было ожидать.

Анализируя ход чисел Вольфа во время текущего цикла, мы уже отмечали (Земля и Вселенная, 2016, № 5), что он развивается по типу 16-го (1923–1933), либо 14-го (1901–1913). Продолжительность 16-го цикла составила 10,2 лет, и, в случае повторения паттерна, можно было бы ожидать окончания нынешнего цикла весной 2019 г. Однако если на фазе роста 24-й цикл практически повторял ход 16-го, то после фазы максимума развитие активности происходит скорее по образцу 14-го, продолжительностью 12 лет. Развитие 24-го цикла по сходному сценарию должно привести к минимуму не ранее начала 2020 г.

Замедленное развитие структуры короны свидетельствует в пользу реализации более продолжительного варианта (по сценарию 14-го цикла). С нашей точки зрения, в пользу этого прогноза говорят и существенная северно-южная асимметрия развития активности в цикле, и пример 23-го цикла (когда неожиданно “неминимальный” вид короны во время затмения 29 марта 2006 г. оказался предвестником “затянувшейся” почти на



*Тонкая структура солнечной короны: 1 – северная и южная системы полярных перьев (“щеточек”), 2 – корональный стример, 3 – корональные лучи, 4 – хромосферный протуберанец в основании стримера. Снимок получен С. Коротким с помощью фотокамеры “Canon 6D”, объектив “Sigma” ( $D = 70\text{--}300$  мм,  $F = 100$  мм, диафрагма 5,6, ISO 200), составлен А. Юферевым из 95 обработанных изображений. Съемка проводилась в г. Глендо (штат Вайоминг).*

три года фазы спада). Бурный всплеск пятнообразования и вспышечной активности, отмеченный в начале сентября 2017 г., вскоре после затмения, также может сви-

детельствовать в пользу реализации варианта “длинного” текущего цикла солнечной активности. С нашей точки зрения, вид короны в 2016 г. (Земля и Вселенная, 2017,

№ 1) и в 2017 г. предвещает относительно высокую продолжительность как фазы спада, так и всего 24-го солнечного цикла в целом, – не менее 12 лет, а, возможно, и больше.

## Планетарий и астрономическое образование

Астрономия – одна из древнейших наук, ее развитие тесно связано с развитием человечества. Сегодня она переживает период бурного расцвета. Астрономию

без преувеличения называют флагманом в области современного естествознания: в отличие от других фундаментальных наук, астрономия является еще и важным эле-

ментом культуры общества, она определяет мировоззрение человека и понимание его места в мире.

Отсутствие предмета “Астрономия” в обязательной школьной программе на протяжении многих лет сказалось на заметном падении уровня астрономической грамотности выпускников (Земля и Вселенная, 2009, № 5; 2010, № 1; 2011, № 3).

Обратимся к истории Московского планетария – первого в нашей стране и одного из старейших в мире – открытого в 1929 г. (Земля и Вселенная, 2012, № 1). В самом начале работы здесь читали всего три лекции по астрономии: “Был ли сотворен мир в шесть дней?”, “Земля – шар” и “Строение Вселенной”. Тематика лекций из года в год развивалась: если



*Лекция в Звездном зале.  
1956 г.*



*Лекция в малом зале. Лектор И.Ф. Шевляков. 1957 г.*

в 1929–1930 гг. в репертуаре было всего три темы, то уже в 1939 г. число их достигло сорока. Среди них: “Строение Вселенной”, “Происхождение и развитие Солнечной системы”, “Строение Солнца”, “Луна и ее движение”, “Кометы и метеоры”, “Затмения”. Популярность московского звездного дома росла, количество посетителей увеличивалось год от года: если в 1929 г. их было около 120 тысяч, то к 1932 г. цифра выросла до 660 тысяч!

В 1932 г. профессор МГУ М.Е. Набоков прочитал первую учебную лекцию по астрономии с применением аппарата “планетарий”. В этот период апробированных учебников и программ еще не существовало. Перед лекторами Планетария возникали многочисленные методические трудности, в решении которых оказали большую помощь профессора МГУ Константин Львович Баев (1881–1953) и Михаил Евгеньевич Набоков (1887–1960). Тогда, в 1932 г., учебная работа впервые была отделена от массовой и приобрела свойственную ей специфику. Вскоре Министерство образования ввело новую дисциплину в школьную программу обучения, и астрономия



на долгие годы стала любимым предметом старшеклассников.

Начиная с осени 1943 г., учебная работа получила новое направление. По инициативе Московского планетария и в соответствии с пожеланиями городского отдела народного образования вместо эпизодических лекций были введены циклы лекций, которые соответствовали всему школьному курсу астрономии. Если в военные и первые послевоенные годы в связи с нехваткой учителей астрономии учебные лекции в Московском планетарии были по решению Московского городского отдела

народного образования обязательными для старшеклассников московских школ, то начиная с 1950 г., его посещение стало необязательным. Планетарий поэтому получил постоянную возможность именно помогать учителям школ в преподавании астрономии. В 1970-е – 1980-е гг. лекции в помощь изучающим астрономию в школе проводились циклами по 10 лекций, одинаковыми для учащихся всех школ, при условии пяти посещений Планетария. Каждое из таких посещений сопровождалось чтением двух лекций, согласно тематическим планам. В год проводилось до тысячи



*Школьники старших классов у глобуса звездного неба. Лектор Р.И. Цветов. 1951 г.*

лекций и около 500 тыс. посещений.

В Советском Союзе на протяжении 20 лет Московский планетарий был единственным. Но уже в 1948–1949 гг. были открыты планетарии в Костроме, Барнауле, Иркутске. Затем в Саратове, Горьком (Нижегород) и в Ярославле. В 1952 г. заработал первый планетарий на Украине – в Киеве. В 1954 г. с помощью Московского планетария был построен и открыт большой (купол диаметром 23 м)

планетарий в Волгограде, а в 1959 г. – в Ленинграде.

Учебная работа проводилась во многих планетариях Советского Союза: лекторы и методисты проводили занятия с учетом требований, заложенных в программе школьного курса астрономии, они соответствовали содержанию и построению учебника. С полным основанием можно считать, что именно работа планетариев в большей степени содействовала упрочению астрономии как учебного предмета в средней

школе и тому, что многие десятки тысяч молодых людей, слушавших лекции, вступили в жизнь с ясными представлениями об окружающем мире.

Работу, которую проводили планетарии в помощь преподаванию астрономии, для краткости называли учебной. Но это не были учебные занятия в общепринятом смысле, скорее – внешкольная работа, призванная дополнять и расширять программу школы.

Учебные лекции планетария не заменяют классных занятий, его задача заключается в том, чтобы помогать учащимся в освоении курса астрономии с помощью тех наглядных пособий, приборов и инструментов, которых нет в школе. Важно отметить, что в работу планетария оперативно добавляется информация из новостей астрономии и результаты космических исследований. Новые данные немедленно включаются в содержание лекции и сопровождаются необходимыми иллюстрациями. Этого не может учесть учебник, а зачастую и учитель. На учебных лекциях особое внимание уделяется мировоззренческим выводам, которые позволяют

формировать научную картину мира.

В настоящий момент приходит понимание со стороны общественности и руководителей органов образования того, что астрономическое образование вновь станет необходимой и неизбежной составной частью общего образования выпускников школ. Роль астрономического образования обусловлена значением и местом, которое оно занимает в системе наук XXI в. и исключительным по мощи мировоззренческого потенциала. Немаловажно и то, что возникший у ребенка интерес к астрономии необходимо трансформировать в дальнейшем в увлечение особенным по своему содержанию учебным предметом: это и мотив к учебе, и к самостоятельному получению информации из научно-популярных ресурсов.

В марте 2016 г. Московский планетарий инициировал сбор подписей в поддержку возвращения астрономии как отдельного предмета в школьную программу. Всего за полгода было собрано более 30 тысяч подписей. Министр образования и науки РФ Ольга Юрьевна Васильева

заявила о необходимости вернуть уроки астрономии в обязательную школьную программу. Коллектив Планетария горячо поддержал это заявление. Мы считаем, что астрономическое образование – необходимая составная часть общего образования школьников.

Планетарий является специализированным научно-просветительским учреждением, он многофункционален и технически наполнен. Нашими сотрудниками разработаны научно-методические и технологические решения, направленные на создание уникального образовательного ресурса. Особенность планетария, в отличие от

других досуговых организаций, заключается в его возможности дополнять теоретические знания практическими, опытными познаниями; в наличии уникальных наглядных пособий и инструментов, таких как: проектор звездного неба любительские и профессиональные телескопы, приборы и экспонаты музеев. Такой мощный образовательный ресурс позволяет знакомить посетителей не только с основами науки астрономии, он способствует формированию научной картины мира у подрастающего поколения и пониманию устройства мироздания и своего места во Вселенной у всех посетителей.



*Школьники 5–6 классов на астрономической площадке. 1955 г.*



*Посетители в Звездном зале у аппарата "Планетарий", 1955 г.*

Создание, организация и проведение научно-популярных лекций и программ в области астрономии, наук о Земле и космических исследований, доступное объяснение и популяризация современных достижений науки и техники, формирование научного мировоззрения у посетителей – вот основные задачи, которые решают в Московском планетарии на высоком профессиональном уровне. Для реализации поставленных задач в Планетарии разрабатываются методики, проводятся популярные и образовательные лекции, аудиовизуальные программы,

полнокупольные фильмы, учебные циклы лекций (разработан и внедрен цикл из 12 лекций для школьников 3–11 классов "Звездные уроки" – "Юный астроном", "Мир Урании", "Мир Солнечной системы", "Мир звезд"), учебные экскурсии;

– организуются вечера встреч "Трибуна ученого" и другие формы выступлений представителей научной общественности;

– организуются и проводятся учебные и любительские наблюдения в Обсерватории, познавательные экскурсии на астрономической площадке "Парк неба";

– организуются и проводятся учебные теорети-

ческие и практические занятия в астрономическом кружке;

– создаются методические разработки и проводятся интерактивные занятия для детей 5–8 лет в Театре Увлекательной Науки "В гостях у Звездочета". Разработаны и внедрены 7 занятий по естественно-научному направлению: "Семья Солнышка", "Сказки неба", "Проделки Луны", "Живые часы и компасы", "Приключения капельки воды", "Секреты Радуги", "Путешествие солнечного лучика".

Планетарий ориентирован на разные возрастные и социальные категории посетителей.

Однако целевая аудитория – школьники. Для организованных школьных групп подготовлена специальная экскурсионная программа. Все экскурсии разделены на обзорные, тематические и учебные.

Учебные экскурсии разработаны в соответствии с программами общеобразовательных школ по окружающему миру, географии, физике и астрономии. Каждая учебная экскурсия отвечает определенной теме, содержит информацию об определенных экспонатах, проводится по определенному маршруту, в соответствии с логикой раскрытия темы экскурсии и расположением площадок. Образовательный эффект достигается за счет воздействия на все сферы восприятия школьников: визуальную, интеллектуальную, художественную и эмоциональную. Экскурсии являются своеобразными познавательными путешествиями, которые погружают посетителей в романтику древней и вечно юной науки о звездах – астрономии.

Научное путешествие начинается в классическом музее Урании. Здесь представлены



постоянные экспозиции по истории астрономии, истории Планетария, истории развития инструментов и методов познания Вселенной. Сменные экспозиции астрономической и космической тематики дополняют и развивают постоянную экспозицию. Путешествие продолжается в Большом Звездном зале – главной аудитории Планетария. Сеанс состоит из двух частей – звездного обозрения и полнокупольного фильма. В летний период путешествие в мир науки завершается в Парке неба, где проводятся экскурсии и наблюдения в телескоп.

В музейном корпусе расположен интерактивный музей “Лунариум” с экспонатами, демонстрирующими и моделирующими различные физические явления и процессы. Интерактивные экскурсии в залах “Лунариума” являются хоро-

шим неформальным дополнением к школьной программе. Ученик вовлекается в контакт с экспонатами, может увидеть науку “изнутри”, самостоятельно провести увлекательные опыты, получить результат.

Программы и фильмы Большого Звездного зала, учебные фильмы 4D кинотеатра и Малого Звездного зала создают у школьника сильный эмоциональный фон, позволяющий ярко, наглядно и прочно донести и закрепить знания. Примеры тематических и учебных экскурсий: “Как измерили Землю и небо”, “Что такое вооруженный глаз”, “Физические явления в природе – наблюдения, опыты и открытия”, “Электромагнетизм”, “Великие географические открытия”, “Астрономия и мореплавание”, “Атмосфера и гидросфера. Климат Земли”, “Миры Солнечной системы”, “Плазма в космосе и на Земле”,



“Объекты глубокого космоса”, “Телескопы на Земле и в космосе”, “Живая планета”, “Самое интересное о метеоритах”.

Учебные программы предполагают проведение экскурсии в музей Урании и просмотр научно-популярного полнометражного фильма в Большом Звездном Зале. Приведем примеры: экскурсия “Миры Солнечной системы” плюс просмотр полнометражного фильма “Путешествие по Солнечной системе”; экскурсия в “Лунариуме” плюс просмотр тематического фильма в 4D кинотеатре или в Малом Звездном зале; экскурсия “Постижение космоса” в “Лунариуме”, тематический стереофильм “Прост-

ранство: постигая космос” в 4D кинотеатре; экскурсия “Межпланетный экспресс” в “Лунариуме” плюс тематический полнометражный фильм “Город Солнца” (производство Московского планетария) в Малом Звездном зале.

Ежедневно проводятся в среднем 50 учебных программ, лекций и тематических экскурсий для организованных групп школьников.

Московский планетарий возрождает историческую традицию и представляет гостям новый формат изучения звездного неба в виде “живой” лекции – “Небесного обозрения”. Формат “живых” лекций существовал в Планетарии до рекон-

*В музее Урании у телескопа ЗТШ. 2017 г.*

струкции и пользовался неизменной популярностью у посетителей. Перед показом полнометражного фильма лектор приглашает зрителей в увлекательную прогулку по звездному небу, рассказывая о самых ярких и заметных звездах, о созвездиях и тех астрономических событиях и явлениях, которые можно наблюдать в тот день и вечер, когда состоится лекция. Таким образом, каждая лекция является оригинальной и неповторимой. “Живая” лекция позволяет сообщать самую актуальную

информацию о новых открытиях в области астрономии и держать посетителей в курсе современных исследований Вселенной.

Опыт успешной работы Московского планетария показывает возрастающий интерес к астрономии среди самых разных слоев населения: к нам приходят люди всех возрастов и разного социального статуса – родители с детьми, молодежь, школьники, люди старшего поколения. Для каждой категории посетителей Планетарий предлагает интересные программы.

---

*У глобуса Яна Гевелия.  
2017 г.*

Большой популярностью пользуется проект Театра Увлекательной Науки “В гостях у Звездочета”, ориентированный на детей 5–8 лет, своя аудитория у лектория выходного дня “Звездные уроки” – для родителей с детьми.

Необычайный интерес вызвал новый проект “Популярная астрономия для начинающих” – количество желающих принять в нем участие в 10 раз превысило возможности нашей площадки. В результате было сформировано несколько потоков вместо одного. В программе предусмотрены лекции и практические занятия. На занятиях “студенты” знакомятся с картой звездного неба, получают навыки поиска

созвездий и навигационных звезд, изучают методы астрономических исследований. Специальное занятие проходит под куполом Большого Звездного зала. Завершается курс двумя практическими занятиями по наблюдению Луны, звезд и планет с помощью любительских и профессиональных телескопов.

Тематика экскурсий и программ в Московском планетарии постоянно развивается, расширяется спектр предложений для целевой аудитории – школьников. В новом 2017–2018 учебном году мы предлагаем два новых образовательных проекта для школьников, они называются Лаборатория Увлекательной Науки



(ЛУНА) и Школа Увлека- тельной Науки (ШУН).

Для тех, кто по ка- ким-либо причинам не может часто посещать Планетарий, есть возмож- ность пригласить лектора в школу. Московский пла- нетарий возрождает еще одну многолетнюю тра- дицию выездной рабо- ты со школой, которая зарождалась в далеких 1940-х гг. и существовала до конца 1990-х гг. Выезд- ные лекции по астроно- мии помогают сэкономить время и получить необхо- димые знания, достовер- ную объективную инфор- мацию по теме лекции в привычной обстановке

школьного класса при бо- лее тесном контакте лек- тора с аудиторией. За- нятия сопровождаются красочными презента- циями. В процессе лек- ции (или сразу после нее) у школьников есть воз- можность задать вопросы лектору и получить ква- лифицированный ответ.

Ежегодно в начале но- вого учебного года Мо- сковский планетарий ор- ганизует ознакомитель- ные встречи-конферен- ции для педагогов и пред- ставителей образова- тельных учреждений. На таких встречах участ- ники получают подро- бную информацию о новых

экскурсионных и лекцион- ных программах, о филь- мах и образовательных проектах, которые пред- лагает Планетарий школе в новом учебном году.

Планетарий не должен заменять школьные уро- ки по астрономии, но он может оказать неоцени- мую помощь как учителю, так и ученику в достиже- нии самой прекрасной из наук – астрономии.

*Ф.Б. РУБЛЁВА,  
научный директор  
Московского планетария  
Лауреат Премии  
правительства  
Российской Федерации  
в области образования*

---

## *Информация*

---

### **Международный договор о строительстве лунной станции**

25 сентября 2017 г. Рос- сийская Федерация и США подписали договор о сов- местной работе над проек- том NASA по строитель- ству первой лунной стан- ции, которая станет ча- стью более долгосрочного проекта, – пилотируемой

экспедиции на Марс. Меж- дународная база предназ- ченная для исследований Луны людьми и роботами, способная быть промежу- точной остановкой для кос- мических кораблей, – наи- более вероятная преемница Международной космиче- ской станции (общая стои- мость 100 млрд долларов); это – крупнейший в мире космический проект. Пред- полагается совместно соз- давать ракетно-космиче- ские системы и технологии, необходимые для подготов- ки научных программ ор- битальных лунных стан- ций и баз на поверхности Луны. Роскосмос и NASA договорились о стандартах

для стыковочного модуля лунной станции, он будет разрабатываться на основе российских систем. Россия и США обсудили вопрос об использовании рос- сийских ракет-носителей “Протон-М” и “Ангара”, а также космических аппа- ратов при создании инфра- структуры лунного космо- порта. Основные работы запланированы на середи- ну 2020-х гг., они оцени- ваются в несколько сотен миллиардов долларов.

*Пресс-релиз  
Госкорпорации “Роскос- мос” и NASA,  
27 сентября 2017 г.*



## Курганский планетарий: дорога к звездам

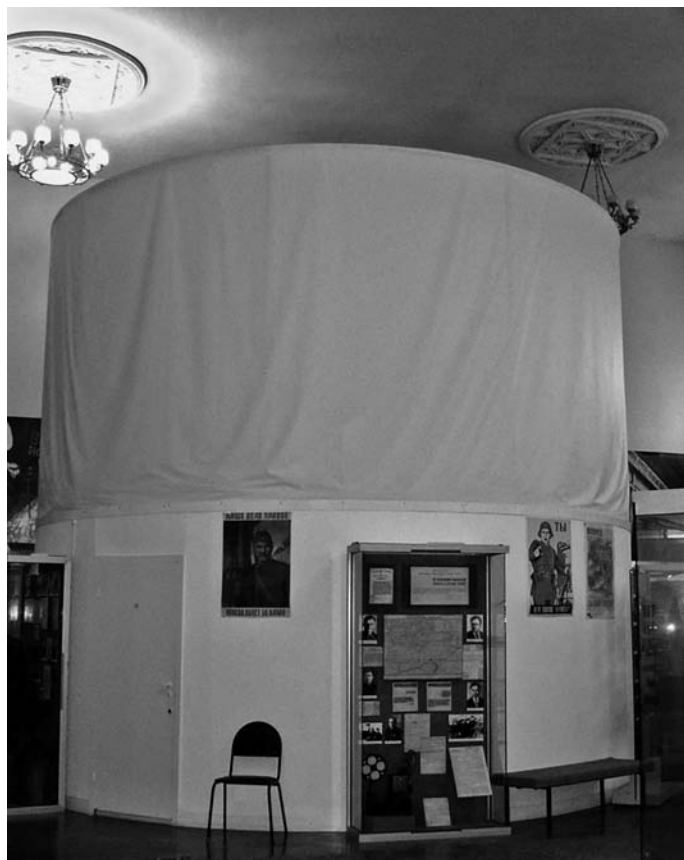
*“Планетарий – это школа, театр и кино одновременно, школьный класс под небесным сводом и спектакль, в котором актерами являются небесные тела”.*

*Сванте Элис Стрёмгрен,  
астроном*

Планетарий в г. Кургане впервые начал свою работу в далеком 1957 г. в здании церкви Александра Невского, где в советское время размещался областной краеведческий музей. Для демонстрации звездного неба здесь был установлен проекционный аппарат “УП-2”, изготовленный на московской опытно-экспериментальной фабрике.

В 1976 г. при содействии Всесоюзного общества “Знание” вместо “УП-2” в зале Планетария была оборудована новая оптическая система Малый Цейсс немецкой фирмы “Carl Zeiss Jena”.

Уникальные возможности немецкого проектора позволили любоваться полной иллюзией ночного неба. Был приобретен комплект отечественных проекционных



*Общий вид Планетария.*



*Установленный в Планетарии оптико-механический проектор звездного неба Малый Цейсс немецкой фирмы "Carl Zeiss Jena".*

двадцать лет (!) в День космонавтики – 12 апреля 2011 г. – в музее состоялось торжественное открытие нового Планетария. Правда, новым был только купол, оборудование осталось прежним – гости Планетария словно совершили путешествие назад, в прошлое...

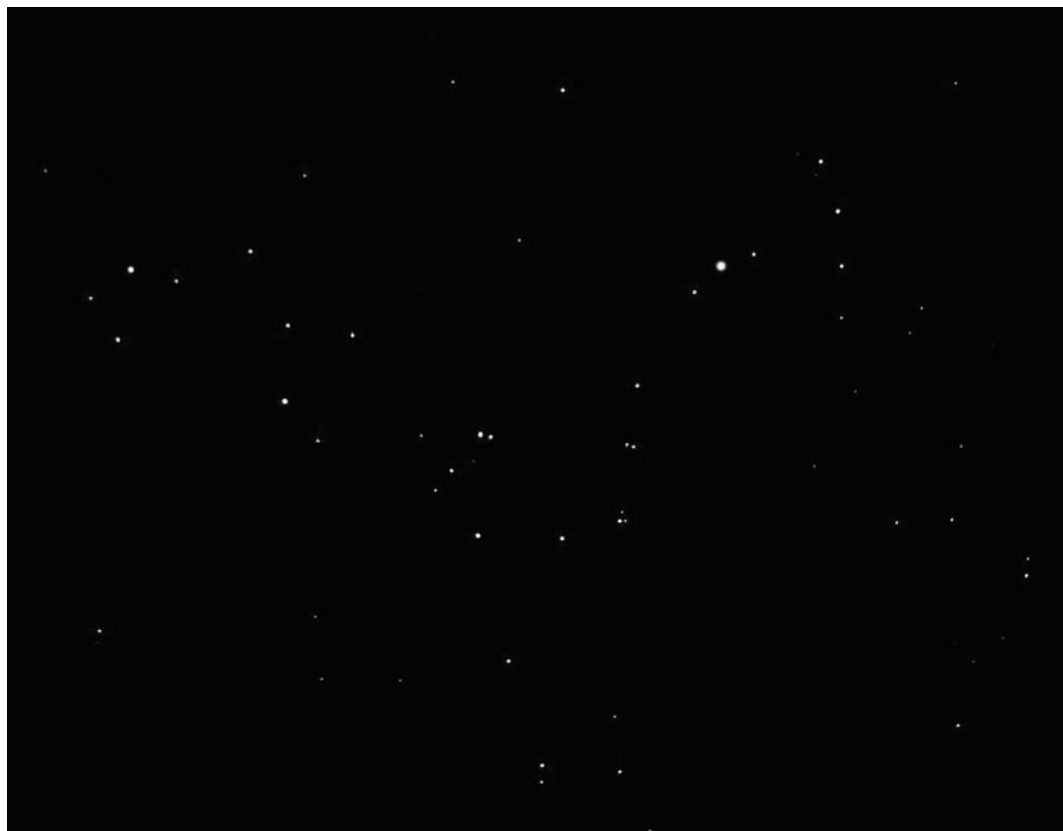
За двадцать лет, пока Планетарий находился в забвении, многое изменилось: поменялись технологии (а с ними и люди), простого рассказа о звездах и планетах теперь недостаточно. Посетители, искушенные красивыми картинками плазменных панелей и мобильных устройств, ждали от сеансов большей динамики и зрелищности. Все это могло дать современное оборудование. Но, увы, музей не располагал средствами для его приобретения.

Имея богатый опыт чтения научно-популярных лекций о космосе с использованием диапозитивов, доставшихся от советского прошлого, лекторам Планетария пришлось искать другие способы для того, чтобы донести информацию до слушателей. В какой-то степени отсутствие техно-

аппаратов. Астрономическим наблюдениям стали доступны не только звезды и планеты, но и разнообразные явления (солнечное и лунное затмение, северное сияние, гало, молния, полет болида), а также демонстрация достижений советской космонавтики – стыковка кораблей "Союз" и "Аполлон", групповой полет космических кораблей, старт ракет-носителей с космодрома Байконур, передвижение лунохода по поверхности Луны.

На протяжении трех десятилетий Планетарий, являясь частью областного краеведческого музея, открывал свои двери всем любителям астрономии и космонавтики Кургана и Курганской области. Приезжали также посетители из соседних областей.

Однако после того как в 1991 г. здание церкви была возвращено русской православной церкви, а краеведческий музей переехал в другое здание Планетарий надолго перестал существовать. Только спустя



*Звездный купол Планетария.*

логий, применяемых в Планетариях нового поколения, удалось компенсировать с помощью компьютера и мультимедийного проектора. Создание увлекательных красочных мультимедийных программ стало тем единственным выходом, который позволил вернуть публику в Планетарий.

И, хотя вернуться к показателям посещаемости Планетария в 1970-е – 1980-е гг. пока не удастся, но радуется и вселяет надежду то, что сегодня к нам приходят люди

разных возрастов и профессий – и в одиночку, и целыми семьями: кому-то достаточно одного сеанса, другие посещают Планетарий регулярно, выбирая определенные темы или программы. Публика, ожидающая бесконечного праздника, отпала сама собой, остались самые верные – умеющие слушать и слышать. Камерная обстановка Планетария помогает зрителям стать непосредственными участниками мероприятия, проявить свои способности и таланты.

Конечно, самыми благодарными посетителями сеансов были и остаются дети, воспитанники детских садов и младшие школьники. Их богатая фантазия и бескрайнее воображение восполняют недостатки “искусственной Вселенной”: скучные астрономические факты превращаются в яркие запоминающиеся образы, а купол Планетария – в бесконечное межзвездное пространство. Специально для ребят придуманы викторины и творческие конкурсы, открываются



*Молния над тропическим лесом. Спецэффект на куполе.*

выставки, знакомящие детей со строением Солнечной системы, рассказывающие о прославленных исследователях космоса. На сеансах в Планетарии часто можно видеть радостные лица посетителей, ждущих космического чуда.

Несмотря на то, что курс астрономии был

исключен из обязательной школьной программы еще в 1993 г., не угас интерес к космосу и у старших школьников. На лекциях в Планетарии они получают компетентные ответы на любые вопросы: почему звезды мерцают? как долго проживет солнце? чем опасны астероиды? что

находится за пределами нашей галактики? одиноки ли мы во Вселенной? Несомненно, формирование всесторонне развитой личности не может происходить без познания современной астрономической картины мира и места человека в ней.

Труднее было привлечь в Планетарий более взрослую аудиторию – учащихся вузов, средних специальных и высших учебных заведений. Увеличить количество студентов на сеансах стало возможным благодаря тесному сотрудничеству с их преподавателями: совместно были разработаны тематические лекции, проводились семинары и астрономические олимпиады.

Важно отметить, что новой формой работы Планетария стала его выставочная деятельность: в период с 2012 по 2016 г. состоялись около 30 различных выставок: красочные и эмоциональные выставки детских рисунков и аппликаций, сложные по задумке и техническому воплощению экспозиции студенческих



*На сеансе в Планетарии.*



*Выставка работ участников городского творческого конкурса “Тайны Вселенной” в зале Планетария.*

работ, экспонировались результаты труда фотографов-профессионалов и любителей.

Сегодня принято говорить о том, что современных подростков не привлекает профессия космонавта, о которой мечтал в Советском Союзе каждый мальчишка. Но, рассматривая художественные композиции ребят, становится понятно, что и сегодняшнему поколению интересна космическая тематика: они читают научно-фантастические произведения, смотрят фильмы и пытаются переосмыслить увиденное творчески. Вероятно, в глубине души мальчишки и девочки все же мечтают

посмотреть на Землю из космоса, совершить путешествие на Луну или на Марс и хоть на миг оказаться в странных и прекрасных мирах Млечного пути.

Ни одно праздничное событие краеведческого музея не обходится теперь без специальной программы, подготовленной сотрудниками Планетария. Например, традиционными и очень популярными стали сеансы во время проведения всероссийской акции “Ночь музеев”: приглушенный свет, мерцание звезд... Таинственная обстановка сама собой располагает к встрече с таинственным и прекрасным миром звезд,

созвездий и галактик, с героями греческой и восточной мифологии в романтические вечерние часы. Ежегодно в День города в Планетарии проходит показ музыкальной видеопрограммы, неизменно собирающей десятки гостей.

Интерес к Планетарии и его работе, несмотря на трудности, остается довольно высоким. Используя все доступные средства, стремясь разнообразить формы деятельности, лекторы стараются пригласить на сеансы как можно больше посетителей. Под руководством курганского режиссера Романа Мухортова в 2014 г. о Планетарии снят доку-



*Гости Планетария изучают осколок метеорита, упавшего в Каргапольском районе Курганской области в 1963 г.*

ментальный фильм “Дотянуться до звезд”, а в 2015 г. – познавательный видеосюжет о метеоритах “Вслед за упавшей звездой!”.

Однако время диктует свои правила. Нельзя не обращать внимания на те качественные изменения, которые произошли в ряде планетариев нашей страны за последние десять лет. Надо признать и тот факт, что

Курганский Планетарий (почти ничем не уступавший другим планетариям в советский период) сегодня в своем техническом развитии и сервисе значительно отстает. Постепенно приходит понимание того, что расширение купола, обустройство зала удобными креслами, приобретение профессиональной цифровой проекционной системы,

добавление в музейную экспозицию “интерактивного компонента” (игровой зоны для детей и взрослых) позволило бы выйти на совершенно иной уровень, а музею и городу – получить “планетарий XXI века” – универсальный звездный зал, отвечающий всем современным стандартам и требованиям. В таком планетарии можно было бы органично совмещать проведение научно-популярных лекций для целевой аудитории с коммерческими показами научно-популярных программ для широкой публики.

Остается надеяться, что “дорога к звездам”, на которую сотрудники Планетария и его посетители вступили более полувека назад, больше никогда не прервется. А, значит, – все еще впереди!

*И.О. БОЛОГОВ,  
Ю.Н. ДАНИЛОВА  
научные сотрудники  
Курганского областного  
краеведческого музея  
Фото А. Голикова,  
М. Морозовой*

### Запуск китайской космической обсерватории

Китай запустил 15 июня 2017 г. с космодрома Цзюцюань с помощью РН “СЗ-4В” (“Long March-4B”) свою первую космическую рентгеновскую обсерваторию “Хуэйянь” (прозорливость), или “НХМТ” (Hard X-ray Modulation Telescope – модуляционный телескоп жесткого рентгеновского излучения) для наблюдения за высокоэнергетическими небесными телами: например, за черными дырами, нейтронными звездами, пульсарами

и гамма-всплесками. Исследования позволят пролить свет на процесс возникновения черных дыр и сильных магнитных полей нейтронных звезд. В задачи “НХМТ” вошли: наблюдение областей Вселенной, где был зарегистрирован приход гравитационных волн, обзоры нашей Галактики и выявление происходящих в ней различных сложных процессов. Обсерватория будет также вести периодическое сканирование полосы вдоль галактической плоскости и района Магеллановых Облаков, осуществляя поиск новых транзиентных источников, а также мониторинг диффузного фона. Планируется проверить использование рентгеновских пульсаров

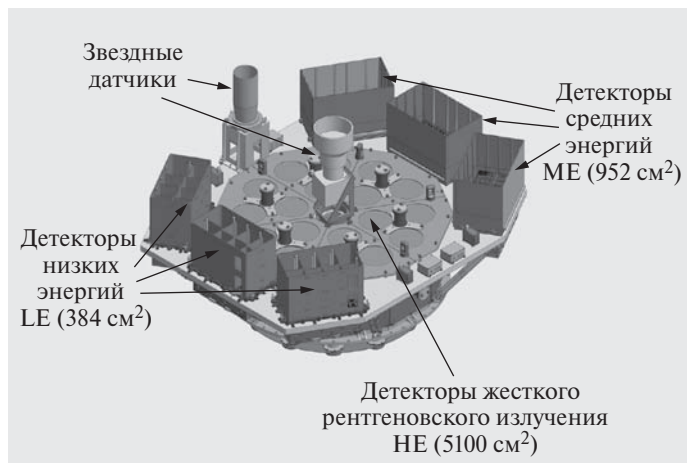
для автономной навигации обсерватории.

Обсерватория вышла на околоземную орбиту высотой  $536 \times 546$  км, наклоном  $43,02^\circ$  и периодом обращения 95,36 мин. Орбита обсерватории выбрана с таким расчетом, чтобы она проходила под радиационными поясами Земли, а научная аппаратура в минимальной степени подвергалась воздействию энергичных частиц Бразильской магнитной аномалии.

Обсерватория “НХМТ” размером  $2,8 \times 2,1 \times 2,0$  м и стартовой массой 2500 кг (масса научной аппаратуры 981 кг) работает в диапазоне от 1 до 250 кэВ. Телескоп оснащен тремя приборами: формирователем изображения жесткого рентгеновского диапазона HE с 18 блоками детекторов (диапазон энергий – 20–250 кэВ, суммарная собирающая площадь –  $5100 \text{ см}^2$ , поле зрения –  $5,7^\circ \times 1,1^\circ$ ), детекторами с коллиматорами средних энергий ME (5–30 кэВ,  $952 \text{ см}^2$ , поле зрения –  $4^\circ \times 1^\circ$ ) и детекторами с коллиматорами низких энергий LE (1–15 кэВ,  $384 \text{ см}^2$ , поле зрения –  $6^\circ \times 4^\circ$ ). В одном модуле ME находятся по 8 детекторов, 6 модулей образуют одно приемное устройство, в одном блоке установлены три устройства. Каждый из трех блоков LE имеет по 8 коллиматорных ячеек, содержащих по 4 детектора. У телескопа есть возможность детектирования гамма-всплесков путем регистрации жесткого



Космическая рентгеновская обсерватория “Хуэйянь” (“НХМТ”) во время проведения испытаний. Фото CASC.



*Размещение научной аппаратуры на панели инструментов космической обсерватории “Хуэйянь” (“HXMT”). Рисунок ИНЕР.*

Телескоп создан в Институте физики высоких энергий (ИНЕР) Китайской академии наук и в Центре астрофизики Университета Цинхуа, космический аппарат изготовлен Китайской корпорацией космической науки и техники (CASC).

рентгеновского и мягкого гамма-излучения в диапазоне от 200 кэВ до 3 МэВ.

По сравнению с аналогичными аппаратами иностранного производства, обсерватория “HXMT” имеет

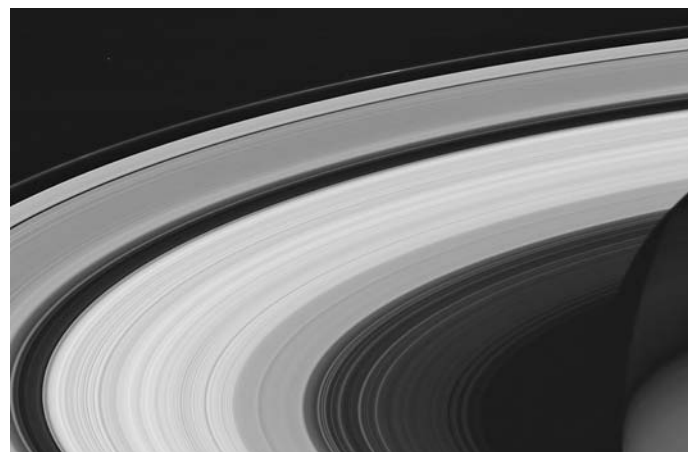
большую зону обнаружения и более широкий энергетический диапазон, что дает ей ряд преимуществ в наблюдении за черными дырами, излучающими рентгеновские лучи.

## *Информация*

### **Прощай, “Кассини”!**

15 сентября 2017 г. АМС “Кассини” (“Cassini”) разрушилась в атмосфере Сатурна

(продолжая в последние моменты собирать научную информацию о планете), выполнив свою историческую миссию (Земля и Вселенная, 2017, № 5, с. 40–43). В течение 20 лет станция пролетела 7,8 млрд км. Единственный искусственный спутник



*Кольца Сатурна. Один из последних снимков АМС “Кассини”, полученных 13 сентября 2017 г.; сделан с расстояния 1,1 млн км до Сатурна. Фото NASA/JPL.*

*Пресс-релизы  
ИНЕР и CASC,  
информационного агентства  
“Синьхуа”;  
журнал “Новости космонавтики”, 2017. № 8.*

Сатурна, АМС “Кассини”, передала более 453 тыс. снимков и огромный объем информации о планете-гиганте, ее кольцах и спутниках (Земля и Вселенная, 2008, № 2). Одна из самых интригующих находок – открытие на спутниках Сатурна Энцеладе и Титане океанов, в которых может существовать жизнь (Земля и Вселенная, 2012, № 6, с. 22–26). Станция в ходе финального погружения в атмосферу планеты передала последние снимки Титана и колец, измерила параметры атмосферы Сатурна. В этом международном проекте участвовало 27 стран. Общая стоимость проекта на момент его завершения составила 3,9 млрд долларов.

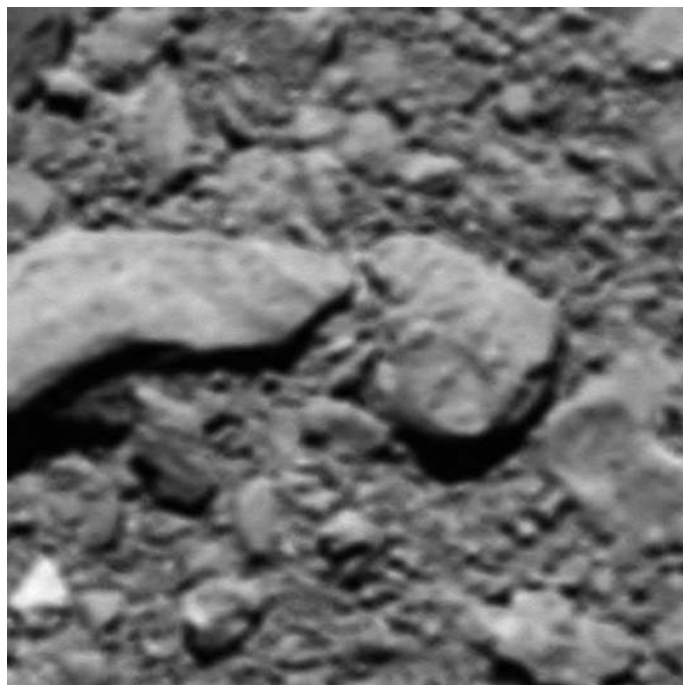
*Пресс-релиз NASA,  
16 сентября 2017 г.*



## Сюрприз с “Розетты”

Анализируя последние телеметрические данные, полученные 30 сентября 2016 г. от АМС “Розетта” (“Rosetta”) после схода с орбиты кометы 67P/Чурюмова–Герасименко, ученые смогли восстановить последний снимок с изображением места падения станции (Земля и Вселенная, 2017, № 1, с. 36–37).

Напомним, что после 12,5 лет космического путешествия и 2 лет исследования кометы Чурюмова–Герасименко АМС “Розетта” завершила свою историческую миссию, упав на участок поверхности ядра кометы, где находятся несколько древних впадин. За время своей работы аппарат передал на Землю огромное количество изображений и других данных о комете (Земля и Вселенная, 2013, № 1; 2015, № 1, с. 42–44; 2015, № 4). Недавно неожиданно был обнаружен еще один, последний снимок участка ядра



*Участок поверхности ядра кометы Чурюмова–Герасименко. Последний снимок АМС “Розетта”, переданный 30 сентября 2016 г. Фото ESA.*

кометы, отправленный на Землю в момент разрушения станции в результате удара о ее поверхность. Инженеры ESA смогли восстановить из неполных данных это удивительное фото. Высота, с которой был сделан этот

снимок над поверхностью ядра кометы, составила всего лишь 17,9–21,0 м, в то время как предыдущий – с высоты 23,3–26,2 м.

*Пресс-релиз ESA/NASA,  
29 сентября 2017 г.*

### Необычный объект в Главном поясе астероидов

С помощью Космического телескопа Хаббла научная группа, возглавляемая астрономами из Германии, открыла объект 288P необычного класса; он расположен в Главном поясе астероидов между орбитами Марса и Юпитера. Этот объект, с яркой комой и длинным “хвостом”, представляет собой первый

известный науке двойной астероид, который можно также отнести к классу комет. В сентябре 2016 г., незадолго до того как астероид 288P приблизился к Солнцу, он подлетел достаточно близко к Земле. Снимки этого объекта выявили, что на самом деле он представляет собой не один, а два астероида – почти одинаковых по массе и размеру, обращающихся друг относительно друга на расстоянии примерно в 100 км. Обнаружена его значительная активность, а также признаки сублимации водяного льда под действием солнечных лучей – подобно тому, как формируется хвост кометы.

Находящийся на поверхности астероидов лед не сохранился до наших дней со времен формирования Солнечной системы, однако он способен оставаться довольно длительное время под слоем огнеупорных пород толщиной всего лишь в несколько метров. Можно сделать вывод о том, что возраст двойной системы 288P составляет не более чем 5 тыс. лет; она сформировалась, вероятно, в результате распада более крупного астероида, под поверхностью которого на большой глубине был заключен водяной лед.

*Журнал “Nature”, 2017.  
Т. 549. № 7672.*

### Новая гипотеза о происхождении пояса астероидов

Ученые Шон Рэймонд и Андре Изидоро из Университета Бордо (Франция) представили результаты компьютерного моделирования предполагаемого сценария и новую гипотезу, объясняющую происхождение Главного пояса астероидов.

Согласно современной теории, пояс астероидов был когда-то гораздо более “густонаселенным”, однако

гравитационное притяжение Юпитера “вытолкнуло” примерно 99% его материала во внешнюю часть Солнечной системы и за ее пределы (Земля и Вселенная, 2008, № 6). В новой теории предлагается, что изначально на месте пояса было пустое пространство, которое заполнялось постепенно материалом, поступающим со стороны планет внутренней и внешней частей Солнечной системы. Расположенные ближе к планетам земного типа астероиды (класса S) имеют тенденцию содержать силикаты, характерные для вещества планет внутренней части Солнечной системы. Напротив, астероиды со стороны планет-гигантов (класса C) содержат больше углерода,

характерного для материала внешних планет. Это свидетельствует о том, что астероиды формировались из материала планет, выбрасываемого в пояс астероидов в ходе эволюции нашей планетной системы.

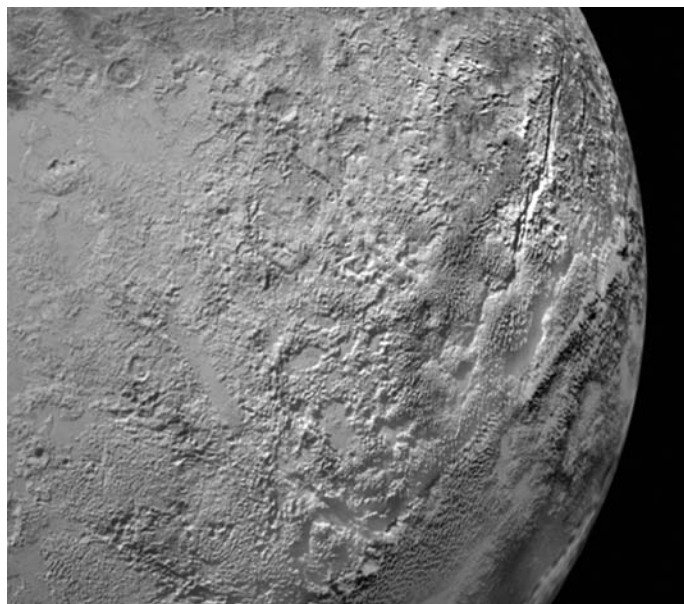
Для проверки своей гипотезы ученые построили компьютерную модель, имитирующую раннюю Солнечную систему, где область нынешнего пояса астероидов была оставлена пустой. Моделирование показало, что формирование диска, напоминающего нынешний пояс, из материала планет внешней и внутренней частей Солнечной системы оказывается возможным.

*Журнал  
“Science Advances”,  
15 сентября 2017 г.*

### Карты Плутона

В июле 2015 г., во время пролета около системы Плутона, АМС “Новые горизонты” (“New Horizons”), передала важные данные для понимания этого далекого мира (Земля и Вселенная, 2015, № 6, с. 94–98; 2016, № 1, с. 16–20; 2016, № 2, с. 106–107; 2017, № 1, с. 94–95); сотрудники NASA и ученые до сих пор анализируют полученную информацию. На основе фотографий составлены различные тематические карты Плутона и Харона. При создании карт Плутона были определены самые яркие объекты: равнины, плоскогорья, кратеры, горные хребты (см. стр. 3 обложки, внизу). В присвоении названий географическим объектам мог принять участие любой человек, зайдя на сайт: <http://www.ourpluto.org/home>; число участников составило более 500 тыс. человек. Предложенные обозначения проверяла специальная комиссия Международного астрономического союза (МАС).

7 сентября 2017 г. МАС одобрил 14 имен некоторых топографических объектов на Плуtone, предложенных научной группой проекта “Новые горизонты”: теперь его “сердце”, к примеру, будет официально носить имя первого советского



*Ландшафт Плутона. Заметны низменности, разломы, впадины и возвышенности, покрытые метановым льдом. Снимок получен в июле 2015 г. АМС “Новые горизонты”. Фото NASA/JPL.*

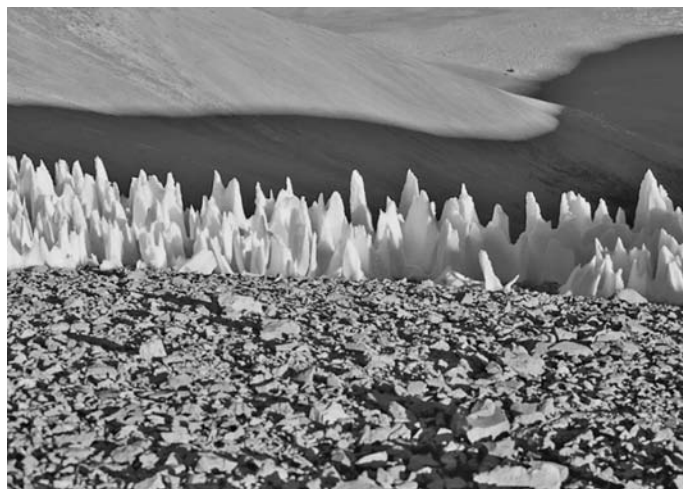
искусственного спутника Земли, 60-летие запуска которого отмечалось 4 октября 2017 г. “*Те имена, которые мы выбрали и которые одобрил МАС, стали нашим знаком почтения в адрес тех людей и миссий, которые проложили дорогу для нашего исторического путешествия к Плутону, самого далекого мира, который пока удалось изучить человечеству*”, – заявил руководитель проекта “Новые горизонты” Алан Стерн. Получив снимки Плутона, ученые выбирали имена для форм рельефа, которые они ожидали открыть на его поверхности. В целом она соответствует той, которая была озвучена во время голосования: имена богов, героев и мест, связанных с подземным

миром; а также ученых, путешественников, космических аппаратов.

На карту Плутона попал первооткрыватель Плутона Клайд Томбо (Земля и Вселенная, 2006, № 3): его именем назван регион, включающий в себя “сердце” планеты и ряд гор. Крупнейшие равнины и низменности в Северном и Южном полушариях Плутона ученые назвали именами космических аппаратов – советского “Спутника”, американских “Вояджеров” и японского “Хаябуса”. Помимо имени К. Томбо, на поверхности Плутона были увековечены древнеримский поэт Вергилий и средневековый географ Мухаммад аль-Идриси; недавно скончавшийся астроном Джеймс Эллиот;

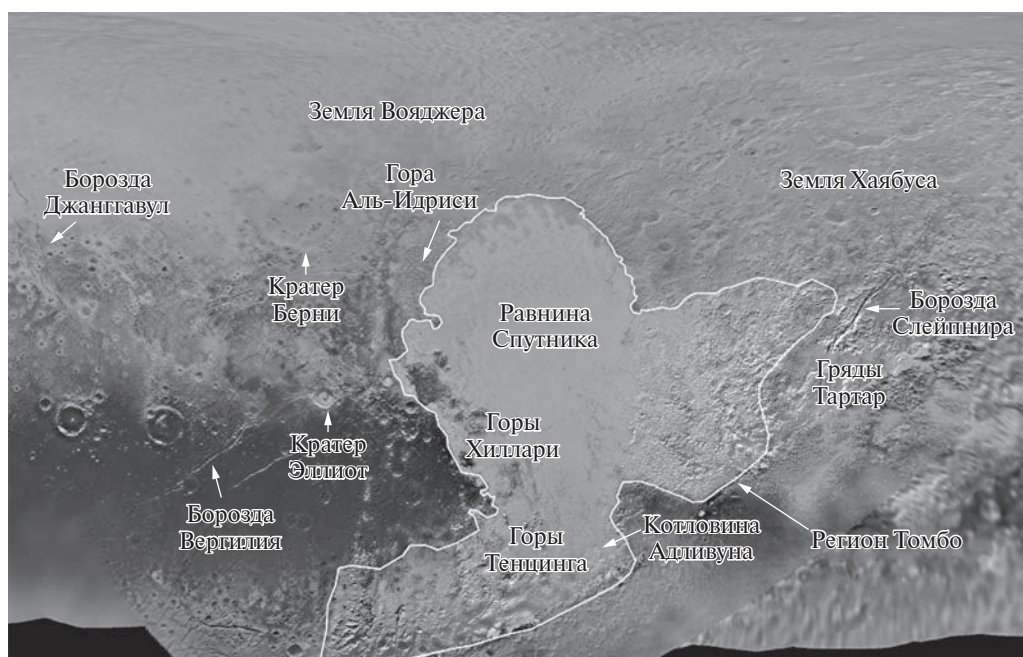
(11-летняя девочка Венеция Берни предложила назвать открытую им планету в честь бога загробного царства); первые покорители Эвереста альпинисты Тенцинг Норгей и Эдмунд Хиллари. Именами В. Берни и Дж. Эллиота названы самые крупные кратеры, а фамилии путешественников получили самые высокие горы. Впадины и сети каньонов на Плуtone названы в честь божества подземного мира в мифологии эскимосов Адливуна; скандинавского восьминогго коня Слейпнира, принадлежавшего богу Одину; трио лодочников Джанггавул из сказаний аборигенов Австралии, перевозивших усопших в загробный мир.

Среди множества открытий на Плуtone поражают снимки с изображением



странных формирований – хребтов, похожих на огромные ледяные лезвия. Ученые считают, что эти структуры почти полностью созданы из метанового льда и появились в результате особой разновидности эрозии – сублимации.

*Ледяные отложения в форме острых пиков, вытянувшихся до 1,5 м (в Чили). На Плуtone подобные образования возвышаются на сотни метров.*



*Карта участка Плутона с наименованием объектов, утвержденных МАС. NASA.*

Хребты расположены возле экватора и имеют высоту небоскребов. Почему они сформировались как пики, а не плоские капли на поверхности? – Дело в том,

что в течение миллионов лет Плутон прошел сквозь череду климатических изменений: когда температура поднималась, то лед испарялся. Аналогичные

структуры можно найти на Земле, недалеко от экватора (например, в Чили), но в меньшем масштабе.

*Пресс-релиз NASA/JPL,  
27 сентября 2017 г.*

## Информация

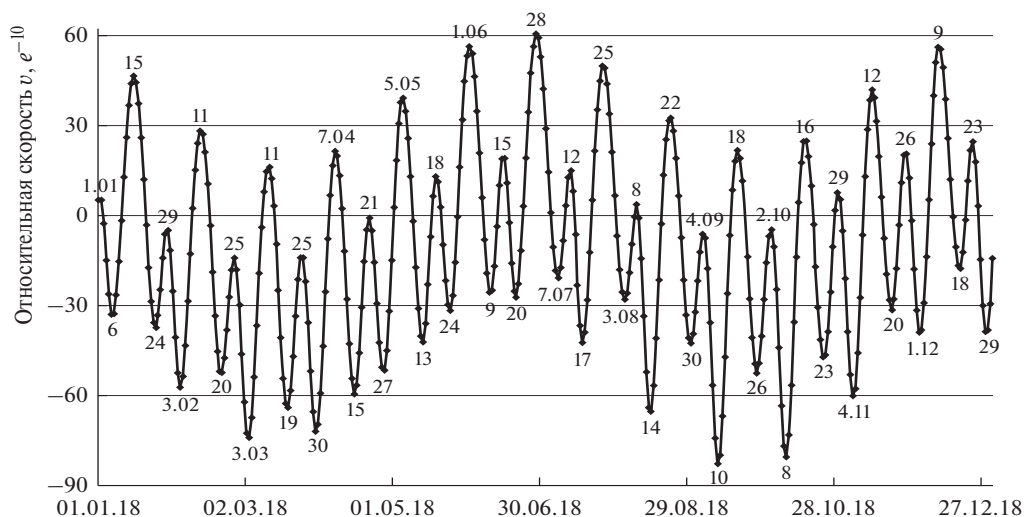
### Прогноз изменчивости естественных синоптических периодов в 2018 г.

В нашем журнале (Земля и Вселенная, 2017, № 2) был опубликован график приливных колебаний скорости вращения Земли в 2017 г. Авторы подготовили аналогичный график для 2018 г. Читатель может

воспользоваться информацией о метеорологических параметрах (температуре, давлении, влажности и ветре), регулярно публикуемых на сайте метеорологических новостей: <http://hmn.ru>. Можно убедиться в справедливости “привязки” реальных изменений погоды с экстремумами периодической кривой (максимумами и минимумами – для этих дат, указанных на графике, первая производная скорости вращения Земли равна 0). Замечено также, что в точке “перегиба” каждого участка кривой между

максимумом и минимумом погода также меняется примерно в 30% случаев (вторая производная скорости вращения Земли равна 0). Предполагается публикация в нашем журнале статьи о синхронизации лунно-солнечными приливами процессов в других геосферах, в техносфере и биосфере.

*С.П. Перов,  
доктор физико-математических наук  
Н.С. Сидоренков,  
доктор физико-математических наук*



*Прогноз приливных колебаний скорости вращения Земли в 2018 г. Составил Н.С. Сидоренков.*

## НЕБЕСНЫЙ КАЛЕНДАРЬ: март–апрель 2018 г.

Таблица 1

### ОСНОВНЫЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ

Дата	Время, ч	Событие
<b>Март</b>		
2	0	<b>Полнолуние</b>
4	13	Нептун вступает в соединение с Солнцем
7	8	Луна проходит в 4° севернее Юпитера
9	9	Юпитер переходит от прямого движения к попятному
9	11	<b>Луна в последней четверти</b>
10	0	Луна проходит в 4° севернее Марса
11	2	Луна проходит в 2° севернее Сатурна
11	9	Луна в апогее
15	13	Меркурий в наибольшей восточной элонгации (18°)
17	13	<b>Новолуние</b>
18	21	Луна проходит в 4° южнее Венеры
19	20	Меркурий проходит в 3,8° севернее Венеры
20	16	<b>Весеннее равноденствие</b>
22	18	Меркурий переходит от прямого движения к попятному
24	15	<b>Луна в первой четверти</b>
26	16	Луна в перигее
28	14	<i>Покрытие Луной звезды Регул (α Льва)</i>
31	12	<b>Полнолуние</b>
<b>Апрель</b>		
1	17	Меркурий в нижнем соединении с Солнцем
2	15	Марс проходит в 1,3° южнее Сатурна
3	16	Луна проходит в 4° севернее Юпитера
7	12	Луна проходит в 2° севернее Сатурна
7	17	Луна проходит в 3° севернее Марса
8	6	Луна в апогее
8	7	<b>Луна в последней четверти</b>
14	4	Меркурий переходит от попятного движения к прямому
16	1	<b>Новолуние</b>
17	22	Луна проходит в 6° южнее Венеры
18	1	Сатурн переходит от прямого движения к попятному
18	13	Уран в соединении с Солнцем
19	4	<i>Покрытие Луной звезды Альдебаран (α Тельца)</i>
20	14	Луна в перигее

Таблица I (окончание)

Дата	Время, ч	Событие
22	11	<b>Луна в первой четверти</b>
24	20	<i>Покрытие Луной звезды Регул (α Льва)</i>
29	20	Меркурий в наибольшей западной элонгации (27°)
30	0	<b>Полнолуние</b>
30	19	Луна проходит в 4° севернее Юпитера

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

Таблица II

## ЗФЕМЕРИДА СОЛНЦА

Дата	α		δ		45°		55°		65°		
					восход	заход	восход	заход	восход	заход	
	ч	м	°	'	ч:м	ч:м	ч:м	ч:м	ч:м	ч:м	
Март	1	22	47	-07	47	06:40	17:49	06:52	17:37	07:12	17:16
	11	23	24	-03	55	06:22	18:03	06:27	17:57	06:36	17:48
	21	00	00	+00	02	06:03	18:16	06:02	18:17	05:59	18:19
	31	00	37	+03	57	05:44	18:28	05:36	18:36	05:22	18:50
Апрель	10	01	13	+07	45	05:26	18:41	05:11	18:56	04:45	19:22
	20	01	50	+11	20	05:08	18:54	04:47	19:15	04:08	19:54
	30	02	28	+14	37	04:52	19:06	04:24	19:35	03:31	20:27

*Примечание.* В таблице дано среднее солнечное время.

**Пример.** Определить время захода Солнца 7 апреля 2018 г. в Ростове-на-Дону (широта – 47°17', долгота – 2°39М, 2-я часовая зона – московское время UT + 3'). Пользуясь *Таблицей II*, интерполируем по широте значение времени захода Солнца на 7 апреля, получаем 18<sup>ч</sup>40<sup>м</sup>. Вычтем из него долготу места, прибавим 3<sup>ч</sup>, получим 19<sup>ч</sup>01<sup>м</sup>.

Таблица III

## ЗФЕМЕРИДЫ ПЛАНЕТ

Дата	α		δ		m	d	F	Продолжительность видимости для разных широт, ч			Период видимости	
	ч	м	°	'				45°	55°	65°		
	<b>Меркурий</b>											
Март	1	23	24,6	-04	45	-1,3	5,3	0,93	–	–	–	
	11	00	25,2	+03	56	-0,9	6,4	0,64	1,1	1,2	1,2	вечер
	21	00	55,6	+09	17	0,8	8,7	0,23	0,7	0,7	0,3	вечер
	31	00	43,3	+08	03	5,3	11,0	0,01	–	–	–	
Апрель	10	00	20,0	+03	04	2,9	11,1	0,08	–	–	–	
	20	00	22,4	+00	43	1,0	9,5	0,27	–	–	–	
	30	00	50,3	+02	20	0,3	7,9	0,44	–	–	–	

Таблица III (окончание)

Дата	$\alpha$		$\delta$		m	d	F	Продолжительность видимости для разных широт, ч			Период видимости	
	ч	м	°	'				45°	55°	65°		
<b>Венера</b>												
Март	1	23	33,9	-04	19	-3,9	10,1	0,98	0,9	0,9	0,7	вечер
	11	00	19,3	+00	48	-3,9	10,3	0,97	1,2	1,3	1,4	вечер
	21	01	04,6	+05	55	-3,9	10,4	0,96	1,5	1,6	1,8	вечер
	31	01	50,5	+10	49	-3,9	10,6	0,94	1,7	1,9	2,2	вечер
Апрель	10	02	37,6	+15	17	-3,9	10,9	0,93	2,0	2,2	2,7	вечер
	20	03	26,3	+19	07	-3,9	11,2	0,91	2,2	2,5	3,2	вечер
	30	04	16,7	+22	08	-3,9	11,6	0,89	2,5	2,8	3,7	вечер
<b>Марс</b>												
Март	1	17	16,6	-22	47	0,8	6,7	0,89	3,9	3,1	0,9	утро
	11	17	43,1	-23	16	0,7	7,2	0,89	3,8	2,9	-	утро
	21	18	07,1	-23	31	0,5	7,7	0,88	3,8	2,7	-	утро
	31	18	31,6	-23	33	0,3	8,4	0,88	3,7	2,6	-	утро
Апрель	10	18	55,3	-23	25	0,1	9,1	0,88	3,7	2,5	-	утро
	20	19	17,9	-23	09	-0,1	10,0	0,88	3,8	2,4	-	утро
	30	19	39,0	-22	47	-0,3	11,0	0,88	3,9	2,4	-	утро
<b>Юпитер</b>												
Март	1	15	23,1	-17	21	-2,0	39,0	0,99	6,7	6,3	5,3	утро
	11	15	23,5	-17	21	-2,1	40,2	0,99	7,1	6,6	5,4	утро
	21	15	22,7	-17	16	-2,2	41,4	1,00	7,4	6,8	5,5	утро
	31	15	20,6	-17	07	-2,2	42,5	1,00	7,8	7,1	5,6	ночь
Апрель	10	15	17,4	-16	54	-2,3	43,4	1,00	8,2	7,4	5,7	ночь
	20	15	13,3	-16	37	-2,3	44,1	1,00	8,6	7,7	5,8	ночь
	30	15	08,6	-16	18	-2,3	44,6	0,99	8,9	7,8	5,6	ночь
<b>Сатурн</b>												
Март	1	18	30,6	-22	22	0,6	15,9	1,00	2,5	1,7	-	утро
	11	18	33,4	-22	20	0,5	16,1	1,00	2,9	1,9	-	утро
	21	18	35,7	-22	18	0,5	16,4	1,00	3,2	2,2	-	утро
	31	18	37,3	-22	17	0,5	16,7	1,00	3,6	2,4	-	утро
Апрель	10	18	38,2	-22	16	0,5	17,0	1,00	3,9	2,7	-	утро
	20	18	38,5	-22	15	0,4	17,2	1,00	4,3	2,9	-	утро
	30	18	38,0	-22	16	0,4	17,5	1,00	4,7	3,2	-	утро

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

### ВИДИМОСТЬ ПЛАНЕТ

**Меркурий** в начале марта удаляется от Солнца, но при этом становится ближе к Земле. С 10 марта по вечерам планета начинает появляться на небосводе, до 22 марта она

перемещается по созвездию Рыб. 15 марта Меркурий окажется в наибольшей восточной элонгации (18°). 19 марта, после захода Солнца, Меркурий пройдет на западной стороне



горизонта, в  $3,8^\circ$  севернее Венеры; недалеко от планет будет находиться “молодая” Луна. 22 марта Меркурий переходит от прямого движения к попятному, заканчивается его вечерняя видимость. Видимый угловой диаметр планеты увеличивается с  $6,4''$  до  $8,7''$ , а блеск уменьшается с  $-0,9^m$  до  $+0,8^m$ .

**Венера** в марте и в апреле продолжает удаляться от Солнца, но становится ближе к Земле; видна в вечернее время. Наблюдать ее можно на разных широтах нашей страны, начиная с 1 марта в течение  $0,9-0,7$  ч и до 30 апреля – период видимости составляет  $2,5-3,7$  ч. Видимый угловой диаметр Венеры в этот период немного увеличивается – с  $10,1''$  до  $11,6''$ ; блеск составит  $-3,9^m$ . Планета сначала перемещается по созвездию Водолея, 3 марта переходит в созвездие Рыбы, 12 марта на двое суток зайдет в созвездие Кита и затем снова перемещается по созвездию Рыбы; 30 марта перейдет в созвездие Овна, а 19 апреля – в созвездие Тельца. 23–24 апреля Венера проходит примерно в  $4^\circ$  южнее рассеянного звездного скопления Плеяды, в конце апреля она окажется примерно в  $7^\circ$  к северо-западу от рассеянного звездного скопления Гиады.

**Марс** продолжает удаляться от дневного светила и виден утром. Он перемещается по Южному полушарию небесной сферы сначала по созвездию Змееносца, а 11 марта переходит в созвездие Стрельца. В северных широтах нашей страны Марс можно видеть только в начале марта, не более  $0,9$  ч. В средних широтах продолжительность его нахождения на небе уменьшается с  $3,1$  ч (1 марта) до  $2,4$  ч (30 апреля), в южных

широтах составляет от  $3,7$  до  $3,9$  ч. Марс постепенно становится ближе к Земле, его видимый угловой диаметр в этот период растет с  $6,7''$  до  $11,0''$ , блеск составляет от  $+0,8^m$  до  $-0,3^m$ . 2 апреля планета окажется в  $1,3^\circ$  южнее Сатурна. Луна пройдет недалеко от Марса 10 марта и 7 апреля.

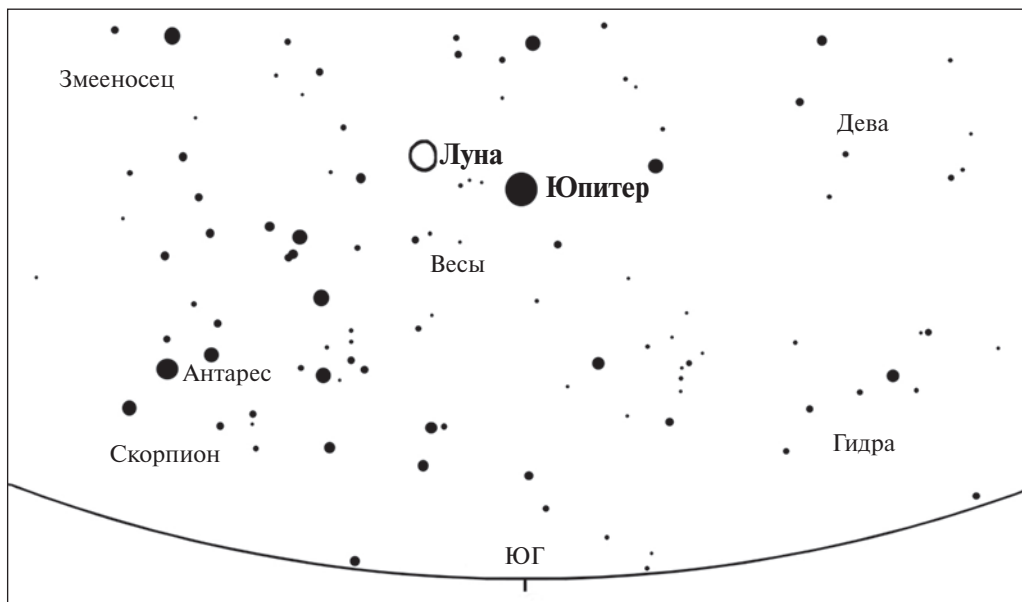
**Юпитер** в начале марта виден в утреннее время суток, а в конце марта и в апреле – уже в ночное; он перемещается по созвездию Весов. 9 марта планета-гигант переходит от прямого движения к попятному. На северных широтах нашей страны продолжительность видимости Юпитера увеличивается с  $5,3$  ч 1 марта до  $5,8$  ч 20 апреля и немного сокращается до  $5,6$  ч 30 апреля; на средних широтах увеличивается с  $6,3$  ч 1 марта до  $7,8$  ч 30 апреля; на южных широтах – с  $6,7$  ч до  $8,9$  ч соответственно. Видимый угловой диаметр планеты-гиганта в этот период времени возрастает с  $39,0''$  (1 марта) до  $44,6''$  (30 апреля). Блеск Юпитера в этот период времени увеличивается с  $-2,0^m$  до  $-2,3^m$ . Луна пройдет недалеко от планеты-гиганта 7 марта, 3 апреля и 30 апреля.

**Сатурн** в марте–апреле перемещается по созвездию Стрельца и виден утром в средних и южных широтах России. Продолжительность видимости планеты-гиганта увеличивается: в средних широтах – с  $1,7$  ч (1 марта) до  $3,2$  ч (30 апреля) и в южных широтах – с  $2,5$  ч до  $4,7$  ч соответственно. Видимый угловой диаметр Сатурна увеличивается с  $15,9''$  (1 марта) до  $17,5''$  (30 апреля), блеск в этот период немного уменьшается: с  $0,6^m$  до  $0,4^m$ . 18 апреля он переходит от прямого движения к попятному. Луна пройдет недалеко от Сатурна 11 марта и 7 апреля.

### ПОКРЫТИЯ ЯРКИХ ЗВЕЗД ЛУНОЙ

В марте и в апреле произойдут несколько покрытий Луной ярких звезд Альдебаран ( $\alpha$  Тельца)  $0,9^m$  и Регул ( $\alpha$  Льва)  $1,4^m$  на отдельных террито-

риях России. Эфемериды приведены для некоторых городов России, время указано Всемирное.



Вид южной части звездного неба в Москве 4 апреля 2018 г. в 3<sup>ч</sup> 00<sup>м</sup> по московскому времени. Отмечено положение Юпитера, Луны и звезды Антарес ( $\alpha$  Скорпиона).

Таблица IV

**ПОКРЫТИЯ ЗВЕЗД ЛУНОЙ И ПОЯВЛЕНИЕ ИХ ИЗ-ЗА ЛУНЫ**

Город	Покрытие звезд Луной			Появление звезд из-за Луны		
	час	мин	сек	час	мин	сек
<b>Покрытие Луной звезды Регул 28 марта</b>						
Архангельск	13	18	54	13	29	29
Мурманск	13	12	48	13	47	31
Петропавловск-Камчатский	14	36	43	15	25	22
Салехард	13	27	15	13	42	43
Якутск	14	04	39	14	47	58
<b>Покрытие Луной звезды Альдебаран 19 апреля</b>						
Барнаул	03	51	01	04	18	55
Екатеринбург	03	50	21	04	33	29
Кемерово	03	53	40	04	23	57
Красноярск	03	59	52	04	23	18
Курган	03	48	22	04	29	27
Новосибирск	03	51	32	04	23	58
Омск	03	48	14	04	26	18
Салехард	04	03	16	04	51	04
Томск	03	53	46	04	27	18
Тюмень	03	50	19	04	32	52
Ханты-Мансийск	03	55	12	04	39	59

Город	Покрытие звезд Луной			Появление звезд из-за Луны		
	час	мин	сек	час	мин	сек
<b>Покрытие Луной звезды Регул 24 апреля</b>						
Барнаул	21	04	19	–	–	–
Кемерово	20	58	07	–	–	–
Новосибирск	21	00	21	–	–	–
Омск	21	05	57	21	21	13
Салехард	20	39	34	21	07	36
Томск	20	56	09	–	–	–
Тюмень	21	05	10	21	15	35
Ханты-Мансийск	20	51	37	21	15	29

*В.И. ЩИВЬЁВ*  
г. Балашиха,  
Московская область

## Информация

### Полет к астероиду

Запущенная 8 сентября 2016 г. АМС “Osiris-Rex” (США) направляется

к астероиду Бенну (1999 RQ36), диаметром около 560 м, для его исследований (Земля и Вселенная, 2017, № 2, с. 36–38). 22 сентября 2017 г. станция “использовала” нашу планету для выполнения гравитационного маневра, пролетев на скорости

примерно 31 тыс. км/ч над Антарктикой на расстоянии 17237 км от Земли. Таким образом, ее скорость выросла на 3,778 км/с, и она вышла на траекторию полета к астероиду. Согласно плану, станция должна достичь этого небольшого астероида в августе 2018 г.; в июле 2020 г. – отобрать с его поверхности несколько образцов грунта для возврата на Землю. Если все пройдет успешно, то ученые должны получить эти образцы к 2023 г.

Древний астероид Бенну может содержать ценные сведения о формировании протопланетного диска и планет. Считается, что он сформировался 4,5 млрд лет назад и является остатком элементов, использовавшихся при строительстве Солнечной системы.



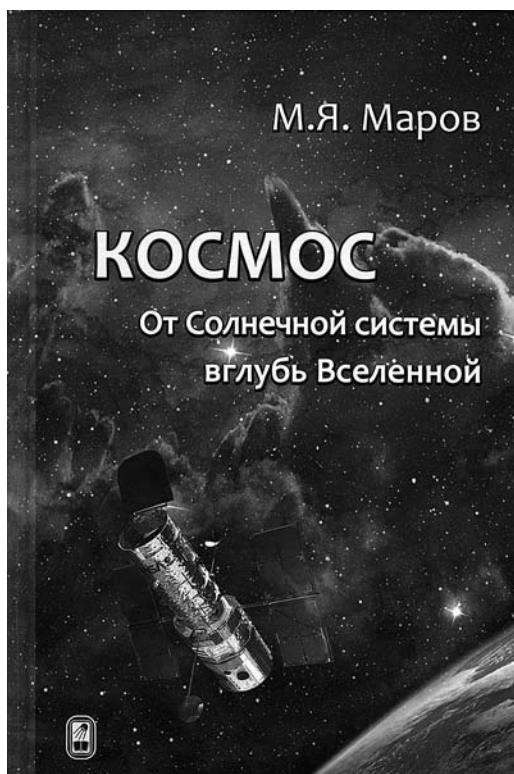
АМС “Osiris-Rex” пролетает около астероида Бенну. Рисунок NASA.

*Пресс-релиз NASA,  
23 сентября 2017 г.*

## **Космос во всем его многообразии**

В настоящее время в нашей стране и за рубежом публикуется немало книг по космической тематике. Среди них есть сугубо научные, рассчитанные на подготовленных читателей, а также популярные – для школьников, студентов, и вообще людей, увлекающихся наукой. Интерес к этим книгам среди читательской аудитории сегодня как никогда высок. С одной стороны, он вызван осознанием важности влияния космоса на жизнь людей и процессы на Земле, с другой – это дань значительному прогрессу, достигнутому в последние годы в изучении разнообразных космических объектов и явлений; и, в-третьих, – это просто интерес людей к еще плохо понятым явлениям окружающего нас физического мира.

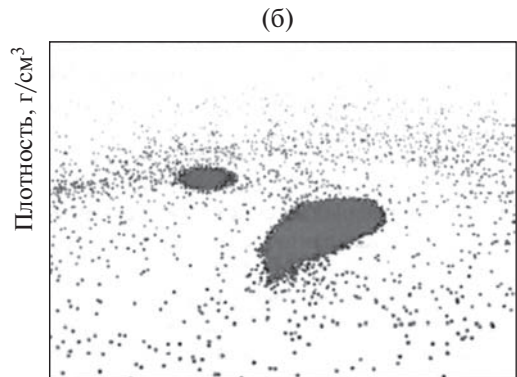
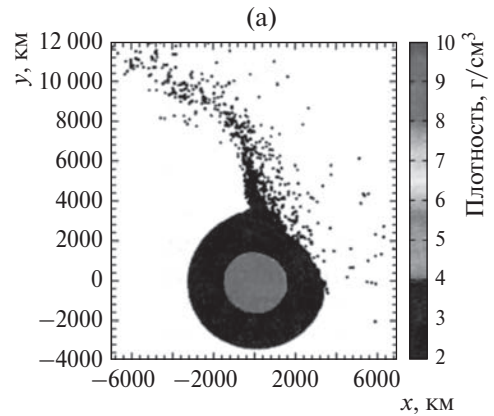
Необходимо, однако, заметить, что авторы подавляющего большинства книг о космосе рассматривают лишь ограниченное число фактов или явлений, в результате чего тематика таких книг имеет довольно узкий характер. На этом фоне публикация книги академика М.Я. Марова (“Космос: от Солнечной системы вглубь Вселенной”. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2016, 532 с.), в которой предпринята попытка рассказать о космосе как о целостном объекте изучения во всем его разнообразии – событие явно неординарное. По широте обсуждаемых вопросов, глубине их анализа и мастерству изложения эта книга (среди других книг по космической тематике) пожалуй, не имеет себе равных. Поэтому, по нашему убеждению, она не



должна пройти мимо внимания научной общественности.

В своей книге академик М.Я. Маров популярно рассказывает о космосе и связанных с его изучением насущных вопросах современного научного знания. С этой целью автор “привлекает” большой объем информации из астрономии, астрофизики, физики элементарных частиц, общей теории относительности, планетологии, космологии, биологии и других наук. При

Модели образования Луны и Земли: (а) – диаграмма образования Луны по сценарию мегаимпакта, согласно модели У. Хартмана и Д. Уарда (1975); (б) – диаграмма происхождения системы Луна–Земля из общей протопланетной туманности, согласно гипотезе Э.М. Галимова и А.М. Кривцова. Гипотеза мегаимпакта хорошо объясняет объемную плотность и динамику системы Земля–Луна, но не согласуется с геохимическими данными, которым лучше соответствует гипотеза образования Луны и Земли из общей протопланетной туманности.



этом он излагает не только факты, получившие объяснение, но и указывает на проблемы, которые предстоит еще решать.

Поэтому книга академика М.Я. Марова может рассматриваться не только как увлекательный рассказ о космосе, но и как обзор широкого круга вопросов космического естествознания, сделанный профессиональным исследователем – общепризнанным специалистом в этой области.

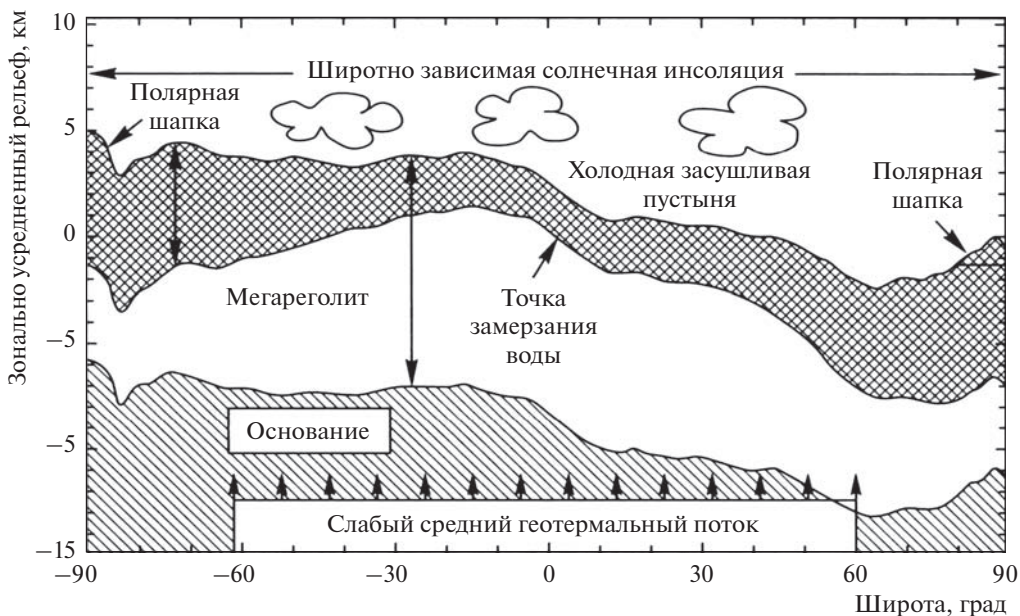
Академик М.Я. Маров – один из первопроходцев в изучении и освоении космоса, тесно сотрудничавший с академиками С.П. Королёвым, М.В. Келдышем и Г.И. Петровым. Ему принадлежит ведущая роль в разработке и осуществлении многолетней программы космических исследований в СССР. При его непосредственном участии проведены пионерские исследования Венеры и Марса, получившие мировое признание. Он – лауреат Ленинской, Государственной и Демидовской премий, заслуги ученого отмечены правительственными наградами и множеством международных премий и медалей. М.Я. Маров – главный редактор журнала “Астрономический вестник. Исследования Солнечной системы”.

Написание книги имеет свою историю: в 1981 г. М.Я. Маров опубликовал небольшую книгу “Планеты Солнечной системы” объемом 13,9 печатных листов (тираж 87 500 экз.); она очень

быстро была распродана. В 1986 г. вышло ее второе, доработанное и дополненное издание – почти таким же тиражом, так же быстро разошедшееся. Книга была переведена также на испанский и немецкий языки.

И вот теперь, спустя 30 лет, – большая книга, в 36,85 печатных листов. В ней приведены последние данные по изучению не только Солнечной системы, но также звезд, галактик и Вселенной в целом. Книга богато иллюстрирована, легко и с интересом читается и вполне доступна читателям со средним образованием. Основой монографии послужил “Курс лекций по астрофизике и космофизике”, которые Михаил Яковлевич более 25 лет читает студентам Международного космического университета.

Нет сомнений – эту книгу ждет не меньший читательский интерес, чем к двум предыдущим. Многие читатели, интересующиеся науками о космосе и



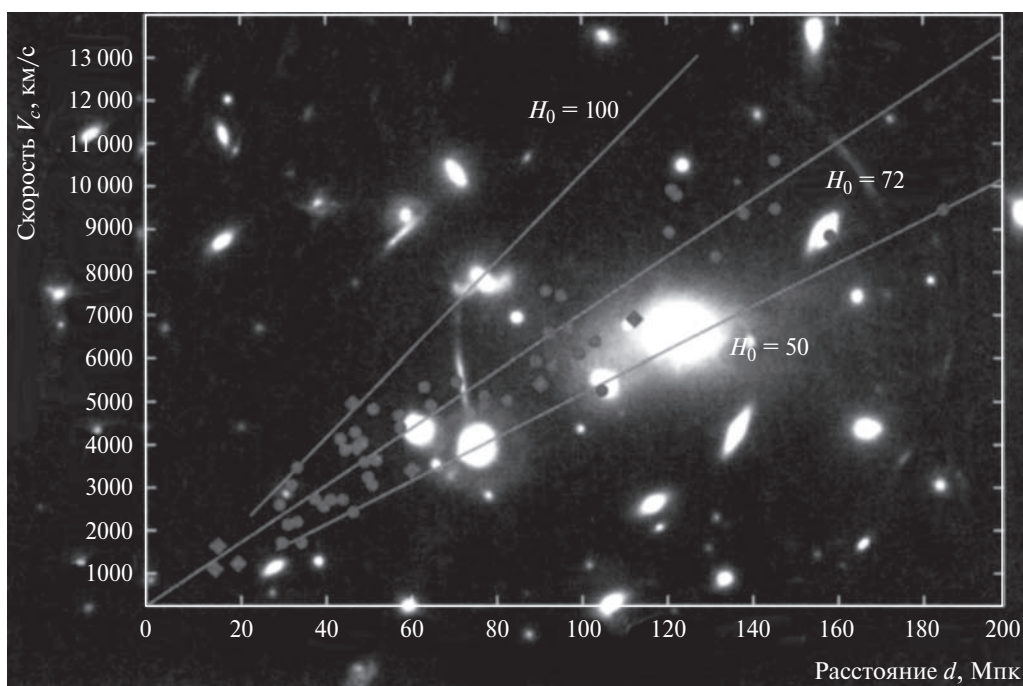
Схематичное представление современной гидрологической системы на Марсе. Система охватывает различные области Северного и Южного полушарий, начиная от подповерхностной зоны до мегареолитовых и криосферных слоев (ниже и выше точки заморзания воды) и вплоть до тропосферы/облаков, с учетом полярных шапок. По данным Дж. Хеда (Университет Брауна, США).

их проблемами, с удовольствием приобрели бы эту книгу, а для специалистов, профессионально занимающихся этими вопросами, она вполне могла бы стать настольной. Однако, к сожалению, книга издана тиражом всего лишь 300 экземпляров...

В первых главах книги изложены сведения о Солнечной системе (глава 1) и ее объектах: планетах земной группы (глава 2), планетах-гигантах (глава 3), малых телах Солнечной системы — астероидах, кометах и межпланетной пыли (глава 4) и самом Солнце (глава 5). Последующие главы посвящены вопросам образования и эволюции звезд (глава 6), экзопланетам (глава 7), общим вопросам образования и эволюции планет (глава 8), вопросам зарождения на планетах жизни (глава 9). А в двух последних главах книги М.Я. Маров излагает имеющиеся представления

о нашей и других галактиках (глава 10) и обсуждает наиболее интригующие сегодня научное сообщество вопросы происхождения и эволюции Вселенной (глава 11). Тем самым академик М.Я. Маров поднимает почти все вопросы, составляющие предмет космического естествознания.

В настоящее время вряд ли кого-то нужно убеждать в том, что на современном этапе развития космического естествознания происходит интеграция ранее самостоятельных научных направлений, причем наиболее быстрый рост знания идет «на стыке» ранее независимых научных дисциплин. Эта тенденция находит отражение и в книге М.Я. Марова, где данные астрономии интерпретируются в тесной связи с вопросами, изучаемыми науками о космосе: астрофизикой, космологией, планетологией, космогонией,



Диаграмма, поясняющая значение константы Хаббла ( $H_0$ ). По горизонтальной оси – расстояние до галактик (в  $H_0$ ), по вертикальной – скорость убегания (км/с). Наклон прямой соответствует значению  $H_0$  (скорость, нормированная на Мпк). Фактическая величина, согласно современным данным (Дж. Фацио; по результатам космической обсерватории “Планк”, ESA), составляет  $H_0 = 72,8 \pm 2,4$  км/с/Мпк.

астробиологией, а также с разными областями теоретической физики (включая общую и специальную теории относительности, физику элементарных частиц, квантовую теорию поля).

В предисловии к книге М.Я. Маров признается, что в процессе ее написания ему потребовалось переосмыслить и рассмотреть с единых позиций основы фундаментальных знаний о ближнем (Солнечная система) и далеком (Вселенная) космическом окружении. Ставя такую задачу, М.Я. Маров понимает, что эмпирические факты, находящиеся в ведении разных наук, невозможно не только объяснить, но даже связно изложить, без опоры на некую исходную систему представлений. Вопрос состоит в том – на каких идеях строится эта система.

В книге М.Я. Марова таких основных идей две. Первая – известная космогоническая гипотеза Канта–Лапласа (XVIII в.), вторая идея – гипотеза космологического взрыва Вселенной, основанная на общей теории относительности.

Согласно гипотезе Канта–Лапласа, Солнце и планеты возникли в результате конденсации вещества первичного газопылевого облака. В настоящее время не подлежит сомнению, что данный процесс обязательно включает стадию возникновения около молодой звезды аккреционного диска, из вещества которого затем образуются планеты. Построена теоретическая модель, позволяющая изучать процессы формирования планет на этой стадии.

В соответствии со второй гипотезой, пользующейся сегодня широ-

кой популярностью у астрофизиков и астрономов, Вселенная возникла 13,7 млрд лет назад в результате взрыва. До того вещество Вселенной было сосредоточено в крайне малом объеме и имело огромную плотность. После взрыва оно начало очень быстро расширяться и эволюционировать, превращаясь сначала в элементарные частицы, а затем в звезды и галактики. Считается, что в настоящее время наблюдаемая часть Вселенной на 4% состоит из известных частиц, а остальное вещество – из так называемых темной материи (24%) и темной энергии (72%), физическая природа которых пока не известна науке (Земля и Вселенная, 2012, № 5).

Следует, однако, отметить, что обе гипотезы логически не связаны между собой и (что не менее важно) не лишены внутренних противоречий. Так, применительно к образованию Солнечной системы гипотеза Канта–Лапласа испытывает трудности с объяснением происхождения внешних и внутренних планет, пояса астероидных тел, наблюдаемых комет. Главная трудность идеи космологического взрыва Вселенной состоит в неустановленной пока природе “темной материи” и “темной энергии”.

По мнению ряда исследователей, нерешенность последнего вопроса является одной из наиболее трудных и принципиальных проблем современной космологии. Правда, остается надежда эту проблему устранить, дополнив космологические представления инфляционной моделью Вселенной, а также физикой элементарных частиц и квантовой теорией поля. Достоинство космологической гипотезы состоит еще и в том, что, по мнению физиков-теоретиков, она позволяет

продвинуться в построении теории “Великого объединения”, единообразно описывающей четыре типа взаимодействия сил в природе: сильного, слабого, электромагнитного и гравитационного.

Все эти нерешенные вопросы вполне доступно и на высоком профессиональном уровне обсуждает М.Я. Маров в книге. Вместе с тем ряд важных направлений космического естествознания оставлен автором без внимания: к ним, в частности, мы относим вопросы, находящиеся на стыке астрономии с науками о Земле и, в первую очередь, с наиболее древней из них – геологией.

Как бы там ни было, в книге М.Я. Марова с позиций, общепринятых сегодня в космогонии и космологии представлений, систематизирован и проанализирован огромный объем физической информации о разных космических телах и процессах. Поэтому данная книга может рассматриваться как необходимый шаг на пути создания нового научного направления, связанного с изучением космоса как единого объекта природы во всем его многообразии.

В связи с включением предмета “Астрономия” в программу средней школы эта книга может стать хорошим подспорьем для учителей астрономии и физики, а также для старших школьников, стоящих перед выбором жизненного пути.

Остается лишь порекомендовать М.Я. Марову переиздать книгу большим тиражом, а издательству улучшить качество иллюстраций.

Выражаю благодарность и.о. главного редактора журнала “Земля и Вселенная” С.П. Перову за полезные обсуждения.

*А.А. БАРЕНБАУМ,  
кандидат физико-математических наук  
Институт проблем нефти и газа РАН*



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

*Дорогие читатели!*

*Напоминаем, что подписаться на журнал  
“Земля и Вселенная” вы можете с любого  
номера по Объединенному каталогу*

*“Пресса России”*

*(I полугодие 2018 г.) во всех отделениях связи.*

*Подписаться можно и по интернету,  
воспользовавшись каталогом журналов  
на сайте “Почта России”.*

*Подписной индекс – 70336.*

**Заведующая редакцией** Л.В. Рябцева

**Зав. отделом космонавтики и геофизики** С.А. Герасютин

**Художественный редактор** О.Н. Никитина

Оператор ПК Н.Н. Токарева

Корректоры Р.В. Молоканова, Т.И. Шеповалова

Обложку оформила О.Н. Никитина

Адрес редакции: 117997 Москва, Профсоюзная ул., 90

Телефон: 8(495) 276-77-28 доб. 42-31 или 42-32

E-mail: zevs@naukaran.com

---

Сдано в набор 27.01.2018 г. Подписано к печати 29.01.2018 г. Дата выхода в свет 30.01.2018 г.

	Формат 70 × 100 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	Цифровая печать	
Усл.печ.л. 9.1	Усл.кр.-отт. 2.5 тыс.	Уч.-изд.л. 12.3	Бум.л. 3.5
Тираж 24 экз.	Зак. 1873а	Бесплатно	

---

Учредители: Российская академия наук, Президиум

---

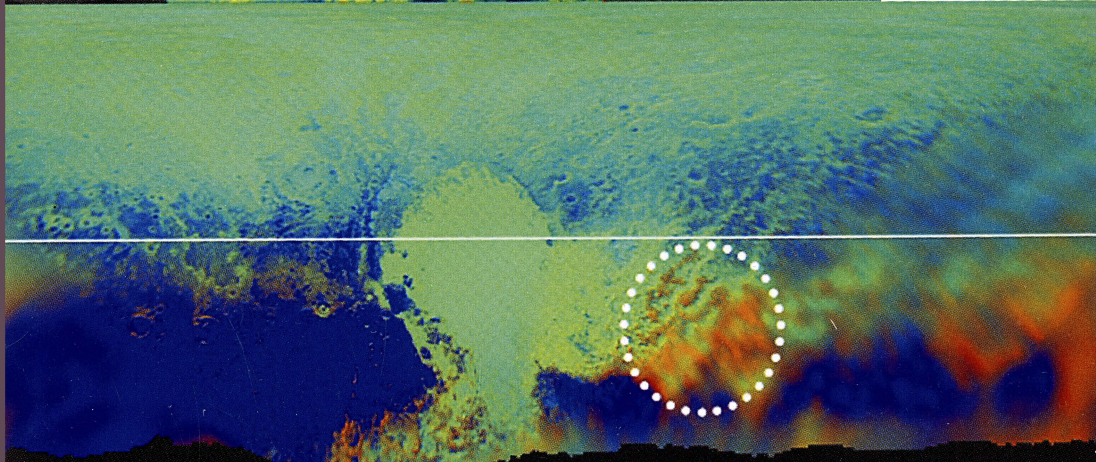
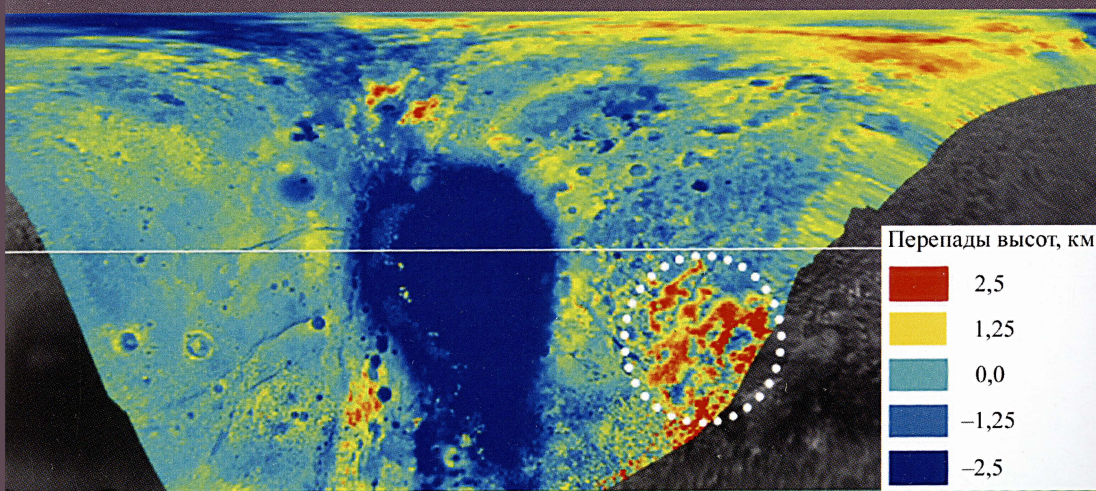
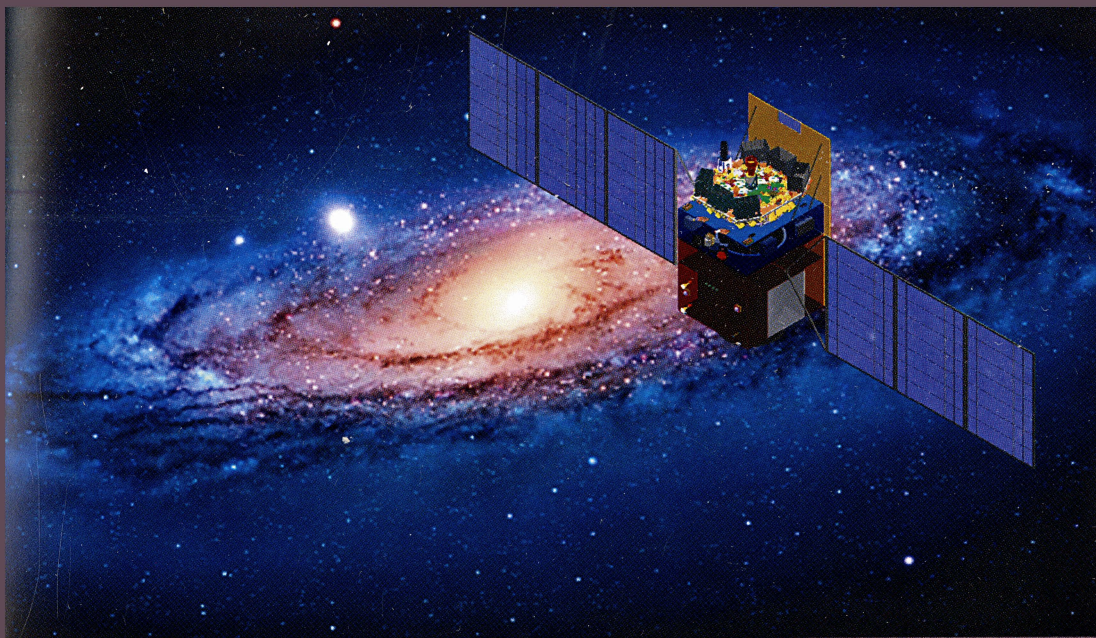
Издатель: Российская академия наук

Исполнитель по контракту № 27-ЭА/17 ООО «Издательство РИПОЛ МЕДИА»

Оригинал-макет подготовлен ФГУП «Издательство «Наука»

Отпечатано в ФГУП «Издательство «Наука» по заказу ООО «Издательство РИПОЛ МЕДИА»

**16+**





"НАУКА"  
Индекс 70336