

# ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

№ 6 (330)

НОЯБРЬ-ДЕКАБРЬ, 2019

ISSN 0044-3948

космонавтика  
астрономия  
геофизика

ПЕРВЫЕ ПОЛЕТЫ К ЛУНЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

ПЕРВЫЙ ПО ПРОГРАММЕ "ИНТЕРКОСМОС"

ВСЕЛЕННАЯ, НАРТЫ И СОВРЕМЕННАЯ НАУКА



ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА  
ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В КОСМОСЕ

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ  
СЛИВАЮЩИХСЯ ЧЕРНЫХ ДЫР

СИГНАЛ С ОБРАТНОЙ СТОРОНЫ

# НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ ЖУРНАЛЫ ТЕПЕРЬ ДОСТУПНЫ ВСЕМ



## Уважаемые коллеги!

Открыта подписка для физических лиц  
на номера 2019 г. научно-популярных журналов  
«Земля и Вселенная», «Природа»,  
«Энергия: экономика, техника, экология»

### **Журнал «Земля и Вселенная»**

Стоимость годового комплекта (6 номеров) 1200 руб.

#### **Редакция журнала**

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 42-31)

E-mail: zevs@naukaran.com

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

### **Журнал «Природа»**

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3000 руб.

#### **Редакция журнала**

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 41-71)

E-mail: priroda@naukaran.com

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

### **Журнал «Энергия: экономика, техника, экология»**

Стоимость полугодового комплекта (6 номеров) 1500 руб.

#### **Редакция журнала**

Тел.: +7 (495) 362-07-82

E-mail: energy@iht.mpei.ac.ru

ул. Красноказарменная, 17а

Журналы также можно приобрести в розницу в сети  
магазинов «Академкнига» по следующим ценам:

**«Земля и Вселенная» – 220 руб.**

**«Природа» – 270 руб.**

**«Энергия: экономика, техника, экология» – 270 руб.**

Реклама

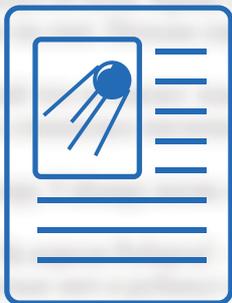


## Издательство “Наука” оказывает услуги:

- СОЗДАНИЕ ОРИГИНАЛ-МАКЕТА
  - редактирование
  - вёрстка
  - изготовление рисунков
- ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОФОРМЛЕНИЕ
- ВЕСЬ КОМПЛЕКС ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ УСЛУГ
- РАСПРОСТРАНЕНИЕ В РОЗНИЧНОЙ СЕТИ “АКАДЕМКНИГА”

Высокопрофессиональные специалисты “Науки”  
готовы к сотрудничеству

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



НАУКА

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

*Добро пожаловать  
в электронную библиотечную систему  
Издательства «Наука»!*

Электронная библиотечная система Издательства «Наука» – это простой и удобный доступ к огромной коллекции статей и книг, входящих в портфолио «Науки»

**Электронная библиотечная система это:**

- научная, научно-популярная и классическая литература, от статей до монографий
- оперативное обновление новинок благодаря тесной интеграции с редакционно-издательской системой «Науки»
- разветвленный тематический каталог
- простая и эффективная система поиска
- интуитивная и простая система оформления заказа и подписок
- прозрачная система статистики
- надежность доступа и стабильность работы

Реклама

*Присоединяйтесь к миру «Науки»!*

# ЗЕМЛЯ И

№6 (330)  
НОЯБРЬ-ДЕКАБРЬ, 2019

ISSN 0044-3948

космонавтика  
астрономия  
геофизика

# ВСЕЛЕННАЯ

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

## НОВОСТИ НАУКИ И ДРУГАЯ ИНФОРМАЦИЯ:

Местность, сформированная  
ледниками [14]

Первая межзвездная  
Геннадия Борисова [85]

Выходят новые фильмы  
“Жизнь замечательных идей” [107]

### На стр. 1 обложки:

Последовательность событий  
при взрыве сверхновой. Слева:  
массивная звезда, в недрах которой  
синтезированы тяжелые элементы  
вплоть до железа. В середине:  
процесс взрыва сверхновой,  
в ходе которого также могут  
рождаться элементы тяжелее  
железа, в частности, золото. Справа:  
остаток сверхновой после взрыва.  
Наблюдая за этими объектами, мы  
можем узнать многое о том, как во  
Вселенной рождаются химические  
элементы. Изображение: NASA/CXC/  
SAO/JPL-Caltech

## В НОМЕРЕ:

Колонка главного редактора	3
ЛУТОВИНОВ А.А. Периодическая система элементов в космосе: от Большого взрыва до слияния нейтронных звезд	5
ЖИЛКИН А.Г., БИСИКАЛО Д.В., КУРБАТОВ Е.П. Электро- магнитные проявления сливающихся черных дыр	18
ШЕВЧЕНКО В.В. Сигнал с обратной стороны	30

### Люди науки

ШТЕРН Б.Е. Медаль Поля Дирака за “русскую космологию”	44
--	----

### Аэрокосмическое образование

Периодическая система химических элементов и планеты Солнечной системы	15, 93
---	--------

### История науки

ГЕРАСЮТИН С.А. Первые полеты к Луне автоматических станций	51
ВЕДЕШИН Л.А. Первый по программе “Интеркосмос” (к 50-летию запуска международного спутника “Интеркосмос-1”)	64
ВИБЕ Д.З. Сто лет на страже неба (к юбилею Меж- дународного астрономического союза). Окончание	76

### In memoriam

Леонид Васильевич Ксанфомалити (28.01.1932–07.09.2019)	87
Владимир Михайлович Готлиб (03.03.1937–30.09.2019)	
Леонид Иванович Матвеев (20.12.1929–13.10.2019)	
Алексей Архипович Леонов (30.05.1934–11.10.2019)	

### Хроника сейсмичности Земли

СТАРОВОЙТ О.Е., ЧЕПКУНАС Л.С., КОЛОМИЕЦ М.В. Сейсмичность Земли в первом полугодии 2019 года	96
---	----

### Литературный космос

ЗЕЛЁНЫЙ Л.М. Вселенная, нарты и современная наука	99
Тейри и нарты. Пер. М.И. СИНЕЛЬНИКОВА	104

### Новые книги

ВИНОГРАДОВА С.Е. “И.С. Шкловский: Разум. Жизнь. Вселенная”	106
Указатель статей и заметок, опубликованных в 2019 году	108

© Российская академия наук, 2019

© Редколлегия журнала “Земля и Вселенная” (составитель), 2019

© ФГУП “Издательство “Наука”, 2019

Zemlya i Vselennaya (Earth and Universe); Moscow, Profsoyuznaya str., 90, f.1965, 6 a year; 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; Editor-in-Chief acad. L.M. Zelenyi; Deputy Editor O.V. Zakutnaya; Deputy Editor O.Yu. Malkov

## Редакционная коллегия:

главный редактор  
академик Л.М. ЗЕЛЁНЫЙ,  
зам. главного редактора  
академик В.М. КОТЛЯКОВ,  
летчик-космонавт  
П.В. ВИНОГРАДОВ,  
зам. главного редактора  
кандидат филолог. наук  
О.В. ЗАКУТНЯЯ,  
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,  
зам. главного редактора  
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  
С.П. ПЕРОВ,  
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

## IN THIS ISSUE:

Editorial	3
LUTOVINOV A.A. Periodical System of Elements In Space: From Big Bang to Merging Neutron Stars	5
ZHILKIN A.G., BISIKALO D.V., KURBATOV E.P. Merging Black Holes: Electromagnetic Manifestations	18
SHEVCHENKO V.V. The Signal From Farside	30
<b>People of Science</b>	
SHTERN B.E. The Dirac Medal 2019	44
<b>Aerospace Education</b>	
The Solar System and the Periodic Table	15, 93
<b>History of Science</b>	
GERASYUTIN S.A. First Interplanetary Stations' Flights to the Moon	51
VEDESHIN L.A. The First of <i>Intercosmos</i> (to the 50 <sup>th</sup> Anniversary of <i>Intercosmos 1</i> )	64
WIEBE D.Z. A One Hundred Years Watching the Sky (to the Anniversary of the International Astronomical Union). Final Part	76
<b>In Memoriam</b>	
Leonid V. Ksanfomality (28.01.1952–07.09.2019)	87
Vladimir M. Gotlieb (03.03.1937–30.09.2019)	
Leonid I. Matveenko (20.12.1929–13.10.2019)	
Alexey A. Leonov (30.05.1934–11.10.2019)	
<b>Chronicles of the Earth's Seismicity</b>	
STAROVOYT O.E., CHEPKUNAS L.S., KOLOMIETS M.V. Seismicity of the Earth in the First Half of 2019	96
<b>Space Fiction</b>	
ZELENYI L.M. The Universe, the Narts, and Modern Science	99
Teiry and Narts. Transl. by M.I. SINELNIKOV	104
<b>New Books</b>	
VINOGRADOVA S.E. <i>I.S. Shklovsky: Mind. Life. Universe</i>	106
2019 Author Index	108

## Колонка главного редактора

Уважаемые читатели, коллеги, друзья!

Перед Вами – уже шестой, завершающий выпуск журнала “Земля и Вселенная” 2019 года. Пишу Вам из дождливого октября в, надеюсь, снежный и морозный декабрь.

Октябрьские дни принесли давно ожидаемую новость – в списке “космических” Нобелевских премий добавилось два пункта. В 2019 г. лауреатами Нобелевской премии по физике стали швейцарские астрономы Мишель Майор и Дидье Кело за первое открытие экзопланеты у солнцеподобной звезды.

Трудно представить, что нога человека когда-нибудь ступит даже на самую близкую из тысяч уже открытых экзопланет, но сам факт, что мы смогли их открыть уже сейчас, используя технологии современной астрономии, заставляет нас вспомнить коперниканскую революцию в естествознании. Вспомним слова Канта о сильном благоговении и удивлении при размышлениях о звездном небе<sup>1</sup>.

С открытием экзопланет эти чувства становятся еще сильнее. Если раньше мы могли только догадываться, что наша планета не единственная во Вселенной, то теперь знаем это точно, и, что особенно важно, начинаем все более детально изучать эти, может быть, самые притягательные для нас объекты Вселенной. Ведь именно с планетами мы связываем



возможность найти внеземную жизнь и, глядя на звезды теперь, не можем не думать об этом.

Экзопланетной тематике мы напомним посвятить один из выпусков будущего 2020 года. К сожалению, по разным (и объективным, и субъективным) причинам российские астрофизики с опозданием включились в эту область исследований, но сегодня это отставание постепенно сокращается.

Вторую половину Нобелевской премии по физике получил американский ученый Джеймс Пиблс “за теоретические открытия в физической космологии”, как сказано в решении Нобелевского комитета. Работы Пиблса связаны с исследованиями ранней Вселенной сразу после ее рождения и становлением физической космологии как точной науки.

Космологии в этом году особенно повезло: всего два месяца назад исследователям-космологам вручили престижную медаль имени Дирака. На страницах этого выпуска об этом подробно рассказывает Борис Штерн. Заметим, что работы Дж. Пиблса во многом опираются на результаты, полученные в то же время Я.Б. Зельдовичем и его учениками. Здесь как раз уместно вспомнить обрванные слова Исаака Ньютона о “плечах

<sup>1</sup> “Две вещи наполняют душу всегда новым и все более сильным удивлением и благоговением, чем чаще и продолжительнее мы размышляем о них, — это звездное небо надо мной и моральный закон во мне”.

гигантов”, на которых стояли многие нобелевские лауреаты.

Большие надежды современная космология связывает с реализацией проекта космической астрофизической обсерватории “Спектр-РГ”, и о нем тоже надо сказать. 21 октября обсерватория вышла на рабочую орбиту вокруг точки Лагранжа  $L_2$  системы “Земля–Солнце”. Пока телескопы обсерватории работают в режиме калибровок и летных испытаний, но, мы надеемся, очень скоро начнется “рутинный” обзор неба в рамках основной научной программы. Мы, конечно, будем держать читателей в курсе открытий “Спектра-РГ”.

Год еще продолжается и его итоги мы вместе с вами обязательно подведем позже. Впрочем, два важных результата можно оценить уже сейчас. Это – начало обновления журнала, которое редакция начала в этом году. Начав с изменения оформления обложки и макета, мы переходим к постепенному пересмотру рубрик и расширению содержания. Кроме научно-популярных статей, мы хотели бы перейти к более широкому осмыслению той роли, которую космос играет в нашем мировоззрении.

В № 4 вы могли прочитать невыдуманную, но почти фантастическую историю, рассказанную Романом Арбитманом о том, как его забавную выдумку один из печально известных телевизионных каналов превратил в мрачный, громоздкий и постоянно тиражируемый миф. Мы обязательно познакомим Вас и с другими произведениями этого замечательного писателя.

А завершает этот выпуск поэтический перевод фрагментов карачаево-балкарского эпоса “Нарты”, блестяще выполненный прекрасным поэтом и переводчиком Михаилом Исааковичем Синельниковым. Думаю, вы разделите мое потрясение перед мудростью

и прозорливостью небольшого кавказского народа: несмотря на значительный возраст этого произведения, его сюжетные линии удивительно соответствуют современным представлениям о космосе.

Вы также могли заметить появление новой рубрики – “In Memoriam”, посвященной недавно ушедшим из жизни нашим коллегам, ученым и инженерам, посвятившим свою жизнь космосу. К глубокому сожалению, уходящий год в этом отношении был очень богат на потери, о чем вы можете судить хотя бы по этому выпуску.

Были изменения и внутри редакционного коллектива. В конце этого года из “Земли и Вселенной” ушла Людмила Владимировна Рябцева – заведующая редакцией с 2016 г., а до этого на протяжении многих лет – младший редактор. Не будет преувеличением назвать ее одной из “движущих сил” журнала. Во многом благодаря ей журналу удалось пережить эти непростые годы. Ее уход – большая потеря для редакции, но, к счастью, Людмила Владимировна находится в добром здравии, и мы от всей души желаем ей благополучия и благодарим за помощь, которую она продолжает оказывать по нашим просьбам.

Мы будем рады Вашим отзывам и предложениям: какие темы статей, журнальные рубрики и художественные материалы вы бы хотели увидеть в журнале в 2020 году.

Год был интересным и насыщенным, а его итог, пожалуй, можно определить – впереди нас ждет большая интересная работа. Желаю всем читателям успехов и новых достижений в будущем 2020 году.

*Главный редактор журнала  
“Земля и Вселенная”  
академик Лев Матвеевич Зелёный*

# ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ В КОСМОСЕ: ОТ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА ДО СЛИЯНИЯ НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД<sup>1</sup>



**А.А. ЛУТОВИНОВ,**

доктор физико-математических наук, профессор Российской Академии наук  
Институт космических исследований РАН

DOI: 10.7868/S004439481906001X

**Завершается 2019 год – год Периодической таблицы химических элементов, провозглашенный Генеральной Ассамблеей ООН. И если о свойствах элементов рассказывают химики, то ответ на вопрос, а как образовались химические элементы, дают астрофизики.**

**В изначальной модели Большого взрыва, предложенной в 1948 году Г. Гамовым, предполагалось, что большинство известных элементов возникло в первые минуты после Большого взрыва. Но достаточно быстро стало понятно, что это не совсем так – из-за отсутствия в природе стабильных элементов с массами 5 и 8 произвести в имеющихся на тот момент условиях элементы ещё более тяжелые было практически невозможно. Таким образом, согласно принятой на сегодняшний день модели, в первые несколько минут после рождения Вселенной появились лишь водород, гелий и немного лития, а большинство из остальных элементов Периодической системы являются продуктом звездного синтеза.**

**В этой статье кратко рассматриваются этапы эволюции звезд разных типов, в результате которых образуются разные химические элементы, а также то, как и с помощью каких инструментов ученые-астрономы научились достаточно точно определять качественный и количественный состав получившихся элементов.**

---

## ОБРАЗОВАНИЕ ЗВЕЗД И ЗВЕЗДНЫЙ НУКЛЕОСИНТЕЗ

---

Чтобы в ранней Вселенной смогли образоваться первые звезды, горячему газу необходимо было остыть. Долгое

время Вселенная была заполнена горячим, ионизированным веществом, которое находилось в равновесии с излучением. Только по прошествии почти четырехсот тысяч лет температура Вселенной упала до примерно 3000 К, что позволило электронам соединиться

<sup>1</sup> Статья основана на выступлении А.А. Лутовинова 29 января 2019 г. в штаб-квартире ЮНЕСКО в Париже (Франция) во время торжественной церемонии открытия Международного года Периодической таблицы химических элементов (ЗиВ, 2, 2019, с. 40).

с ядрами и образовать первые молекулы. Вселенная стала прозрачна для излучения, следы которого мы до сих пор можем наблюдать в виде так называемого микроволнового фона с нынешней температурой около 2,7 К.

Однако температура вещества в несколько тысяч градусов все равно слишком велика для того, чтобы из него сформировать плотное газовое облако, которое, при последующем сжатии (гравитационном коллапсе) сможет превратиться в звезду. Нужно было каким-то образом понизить температуру вещества и создать предпосылки для образования его начальных сгустков, которые могли бы стать “зародышами” будущих звезд.

Понижение температуры может идти достаточно эффективно с помощью пыли или многоатомных молекул тяжелых элементов, однако в ранней Вселенной ни того, ни другого не было. Согласно современным представлениям, эффективное охлаждение первичной материи осуществлялось молекулярным водородом, а неоднородности распределения темной материи обеспечили наличие гравитационных потенциальных ям, где это охлажденное вещество начинало скапливаться, тем самым формируя зачатки первых звезд.

По разным оценкам, первые звезды сформировались через 300–400 миллионов лет после Большого взрыва, хотя некоторые считают, что это произошло гораздо раньше – уже через 30–70 миллионов лет. Это довольно важный вопрос, так как от правильного ответа может зависеть дальнейшее построение модели развития Вселенной.

Первые звезды должны были быть очень большими: по некоторым оценкам, их массы могли достигать 300 или даже 500 масс Солнца (для сравнения, большинство современных звезд являются маломассивными объектами с массами, сравнимыми с солнечной или меньше). Они были чрезвычайно яркими и светили в миллионы раз ярче Солнца. Жизнь таких звезд была очень недолгой, буквально несколько миллионов лет: они очень быстро прогорали

и взрывались сверхновыми, при этом, возможно, некоторые из них, становились первыми черными дырами.

Источником энергии излучения звезд и их огромной светимости являются термоядерные реакции, протекающие в их недрах. Суть же заключается в том, что в ядре звезды из-за огромных давлений и температур создаются оптимальные условия для реакций термоядерного синтеза и образования новых элементов.

В самой первой, самой длинной фазе горит водород, в результате чего образуется гелий. Слово “горит”, впрочем, может ввести в заблуждение – речь идет не об окислении элементов (кислород ещё только предстоит создать). В результате такой ядерной реакции четыре протона (или ядра водорода) сливаются, образуя ядро гелия. На последующей стадии горения, которая составляет только последние десять процентов жизни звезд, два ядра гелия (“ $\alpha$ -частицы”) превращаются в бериллий  ${}^8\text{Be}$ , время жизни которого чрезвычайно мало ( $\sim 10^{-16}$  с). Однако в плотном и горячем ядре звезды этого времени может оказаться достаточно для того, чтобы образовавшийся-

*Источником энергии излучения звезд и их огромной светимости являются термоядерные реакции, протекающие в их недрах. Суть же заключается в том, что в ядре звезды из-за огромных давлений и температур создаются оптимальные условия для реакций термоядерного синтеза и образования новых элементов.*

ся бериллий успел захватить еще одну  $\alpha$ -частицу, превращаясь в углерод в так называемом тройном  $\alpha$ -процессе. Посредством дополнительных захватов  $\alpha$ -частиц ядра углерода превращаются в кислород и т.д. Примеры таких реакций приведены ниже:

- 3 атома гелия, сливающиеся с образованием атома углерода:  $3\ ^4\text{He} \rightarrow\ ^{12}\text{C}$ ;
- атом углерода + атом гелия, сливающиеся с образованием атома кислорода:  $^{12}\text{C} +\ ^4\text{He} \rightarrow\ ^{16}\text{O}$ ;
- атом кислорода + атом гелия, сливающиеся с образованием атома неона:  $^{16}\text{O} +\ ^4\text{He} \rightarrow\ ^{20}\text{Ne}$ ;
- атом неона + атом гелия, сливающиеся с образованием атома магния:  $^{20}\text{Ne} +\ ^4\text{He} \rightarrow\ ^{24}\text{Mg}$ , и т.д.

Таким образом, в результате процессов звездного нуклеосинтеза, теория которого впервые была опубликована в 1957 году, образуются все элементы в Периодической таблице, вплоть до железа, которое имеет наибольшую энергию связи на один нуклон.

Как только в центре звезды образуется железное ядро, нуклеосинтез прекращается, становится невозможным получать энергию путем дальнейших ядерных реакций, и звезда лишается источника энергии, необходимого для существования. Как следствие, звезда больше не может поддерживать состояние равновесия и начинает разрушаться под действием собственной гравитации. Происходит коллапс (сжатие), сопровождающийся гигантской вспышкой сверхновой.

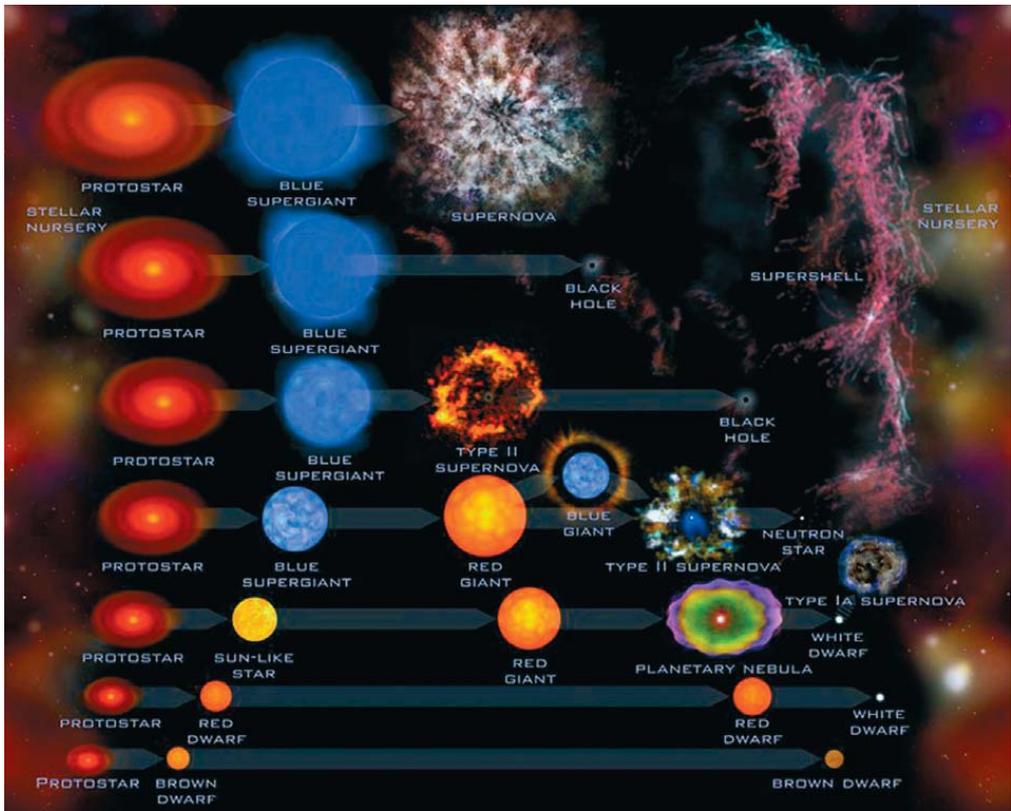
Такова была судьба самых первых массивных звезд, и такова судьба массивных звезд и в наши дни. Существенное отличие состоит в том, что “современные” массивные звезды могут иметь массы в 20–30 масс Солнца, что позволяет в результате финального коллапса образовать так называемую нейтронную звезду – чрезвычайно плотный объект

(плотность в центре может превышать ядерную в несколько раз) размером в 10–20 км и итоговой массой 1,2–2,0 массы Солнца. Существование последних оказывается чрезвычайно важным для производства сверхтяжелых элементов во Вселенной.

Во время взрыва сверхновой все образовавшиеся элементы попадают в межзвездную среду. “Смерть” первых звезд стала важной вехой в эволюции Вселенной, так как в результате она обогатилась углеродом, кислородом, азотом, железом и другими элементами. Все звезды в последующих поколениях формировались из газовых облаков, уже содержащих металлы, которые были получены, по крайней мере, от одного поколения звезд, взрывающихся в виде сверхновых.

Появление в ранней Вселенной тяжелых элементов кардинально изменило условия для последующего звездообразования. В присутствии металлов или пыли облака газа стали охлаждаться более эффективно, что привело к возможности образования звезд меньших масс. В отличие от массивных объектов время жизни таких звезд составляет миллиарды лет. Внутренних температур и давлений в таких объектах оказывается недостаточно для запуска реакций производства тяжелых элементов, поэтому, как правило, большая часть реакций заканчивается на образовании углерода. Таким образом, в конце своей долгой жизни звезды с малой массой превращаются в белые карлики (объекты, состоящие практически полностью из углерода с небольшой примесью кислорода, азота и, возможно, неона, имеющие радиус в несколько тысяч километров и предельно возможную массу 1,4 массы Солнца – так называемый предел Чандрасекара).

Но если белый карлик находится в двойной системе с обычной звездой, и существует перетекание вещества от



Эволюция звезд в зависимости от их начальной массы. Изображение Credit: NASA/CXC/M.Weiss

этой звезды к белому карлику, то масса последнего растёт и в какой-то может превысить предел Чандрасекара, что приведет к коллапсу белого карлика и термоядерному взрыву – вспыхнет сверхновая типа Ia, в процессе взрыва которой будут синтезированы тяжелые элементы. Учитывая преобладание звезд малой массы в современной Вселенной, считается, что железо в основном производится именно этим процессом, а не взрывом массивных звезд, как это было в ранней Вселенной.

Из ядерной физики известно, что элементы тяжелее железа образуются посредством захвата нейтронов затравочными ядрами, если окружающая среда обогащена нейтронами. Такие условия могут возникать при определен-

ных видах взрывов сверхновых. Например, если ядра железа чрезвычайно быстро бомбардируются большим количеством нейтронов, так что не успевают начать  $\beta$ -распад, то они захватывают больше нейтронов, создавая тяжелые, богатые нейтронами и нестабильные изотопы, которые потом превращаются в новые и более тяжелые элементы. Из-за быстрой бомбардировки этот процесс называется r-процессом. Приблизительно половина всех стабильных изотопов элементов, более тяжелых, чем цинк, производится таким образом.

Другая часть изотопов тяжелых элементов создается в так называемом s-процессе, где более медленная нейтронная бомбардировка (в течение

более длительного периода времени, чем процесс  $\beta$ -распада) приводит к последовательному накоплению тяжелых элементов. Этот процесс происходит в пульсирующих внешних оболочках некоторых звезд – красных гигантов.

## ИЗМЕРЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ОБРАЗОВАВШИХСЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВО ВРЕМЯ ВСПЫШЕК СВЕРХНОВЫХ

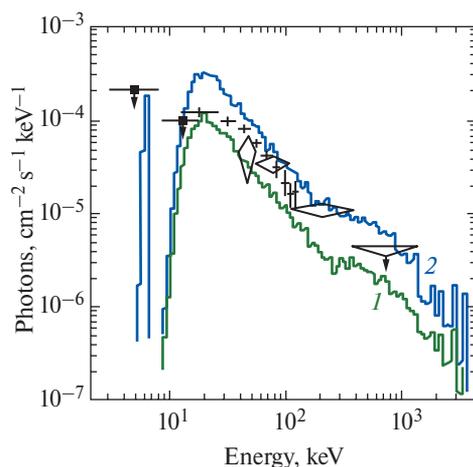
Как уже было сказано выше, взрыв сверхновой – финальная стадия существования звезды, при которой ее ядро коллапсирует под действием гравитации, а выделившаяся энергия выбрасывает внешнюю оболочку в пространство вместе с образовавшимися в ходе жизни звезды химическими элементами.

Чтобы убедиться в том, что мы правильно понимаем процессы, происходящих в недрах звезд, нужны экспериментальные данные об излучении, которое регистрируется от распадов различных радиоактивных элементов, образующихся во время вспышек сверхновых.

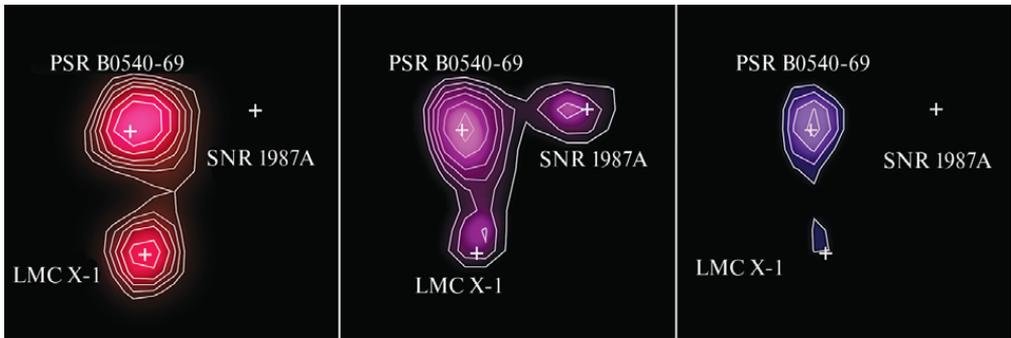
В частности, впервые распад радиоактивного никеля  $^{56}\text{Ni}$  в кобальт  $^{56}\text{Co}$  и далее в железо  $^{56}\text{Fe}$  был зарегистрирован в сверхновой SN1987A, которая вспыхнула в ближайшей к нам галактике Большое Магелланово Облако в феврале 1987 г. Как показывали теоретические расчеты, гамма-излучение, обусловленное распадом радиоактив-

ного кобальта  $^{56}\text{Co}$ , образовавшегося во время взрыва, должно выходить наружу сквозь расширяющуюся оболочку примерно через полгода после взрыва. Наблюдения, проведенные в августе 1987 г. советской обсерваторией РЕНТГЕН, установленной на модуле КВАНТ орбитальной станции МИР, позволили впервые зарегистрировать жесткое рентгеновское излучение из области этой сверхновой, с высокой точностью измерить ее спектр и получить оценки на количество произведенного во время вспышки сверхновой радиоактивного никеля и кобальта.

Спустя 25 лет сверхновая SN1987A вновь подарила российским ученым открытие. На этот раз от остатка вспышки удалось зарегистрировать излучение в линиях распада радиоактивного титана  $^{44}\text{Ti}$ , имеющего период полураспада ~85 лет. Измерения были проведены с помощью орбитальной обсерватории ИНТЕГРАЛ (ЕКА), позволившей зарегистрировать жесткое рентгеновское излучение от этого остатка в линиях радиоактивного распада  $^{44}\text{Ti}$  на энергиях 67,9 и 78,4 килоэлектрон-вольт (кэВ). Это было первое прямое доказательство образования титана в момент взрыва этой уникальной сверхновой. Измеренные потоки излучения на этих



Спектр Сверхновой SN1987A, измеренный обсерваторией РЕНТГЕН (крестики, ромбы). Гистограммами показаны результаты теоретических предсказаний спектра источника через 180 (синяя) и 240 (зеленая) дней после вспышки. Из работы Сюняева Р., Каниовского А., Ефремова В. и др., *Nature*, V. 330, 227 (1987)



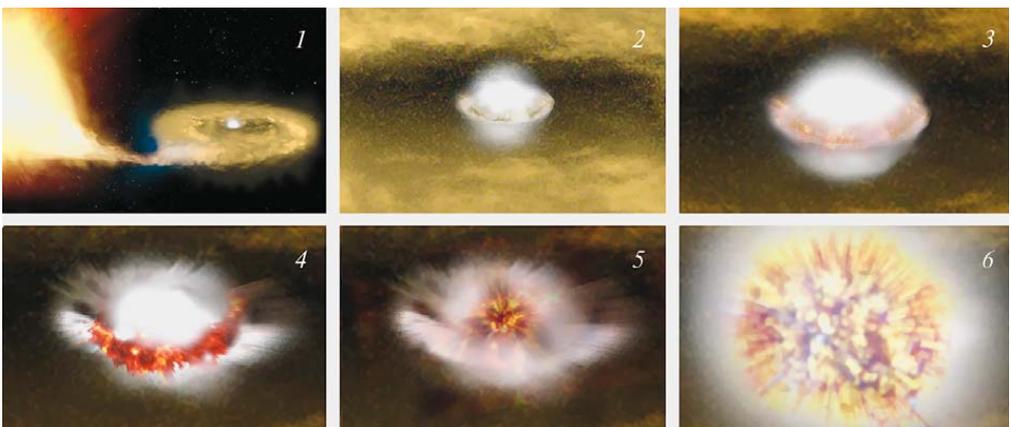
Изображения участка неба, содержащего остаток вспышки Сверхновой SN1987A, по данным обсерватории ИНТЕГРАЛ в разных энергетических диапазонах. Средняя панель соответствует диапазону энергий 65–82 кэВ, включающего обе линии распада радиоактивного титана  $^{44}\text{Ti}$ . Из работы Гребенева С.А., Лутовинова А.А., Цыганкова С.С., Винклера К., *Nature*, V. 490, 373 (2012) и сайта ESA

энергиях соответствуют массе синтезированного  $^{44}\text{Ti}$  около 0,0002 массы Солнца, что вполне достаточно для объяснения ее оптического и ультрафиолетового излучения, наблюдавшегося в течение последних 20 лет.

Сверхновая 1987A относится к так называемым сверхновым II типа, которые образуются в результате коллапса массивной звезды. Такие звезды к моменту вспышки прошли длительную эволюцию, и в их недрах в результате

реакций термоядерного горения образовались многие тяжелые элементы. Для сверхновых типа Ia ситуация была не столь очевидной вплоть до последнего времени.

Как уже отмечалось выше, сверхновые типа Ia являются результатом термоядерного взрыва углеродно-кислородного белого карлика. После взрыва происходит та же цепочка распадов, что и описанная выше при коллапсе массивной звезды: радиоактивный

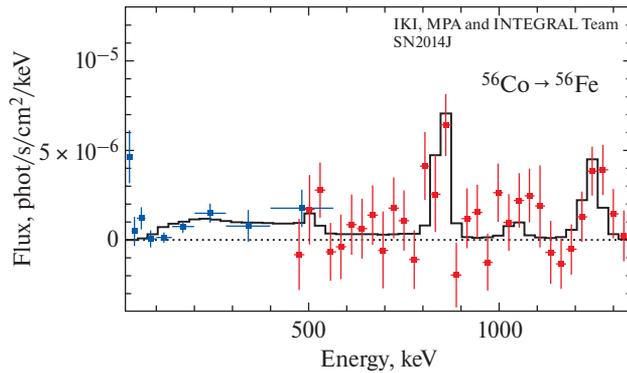
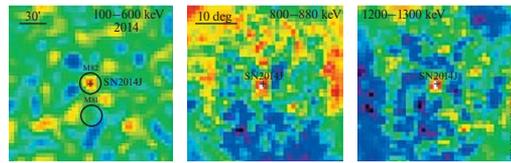


Последовательность событий при взрыве сверхновой SN2014J типа Ia. Во время аккреции вещества белым карликом в двойной системе вокруг его экватора накапливается вещество, что приводит к термоядерному взрыву. Изображение ESA/ATG medialab

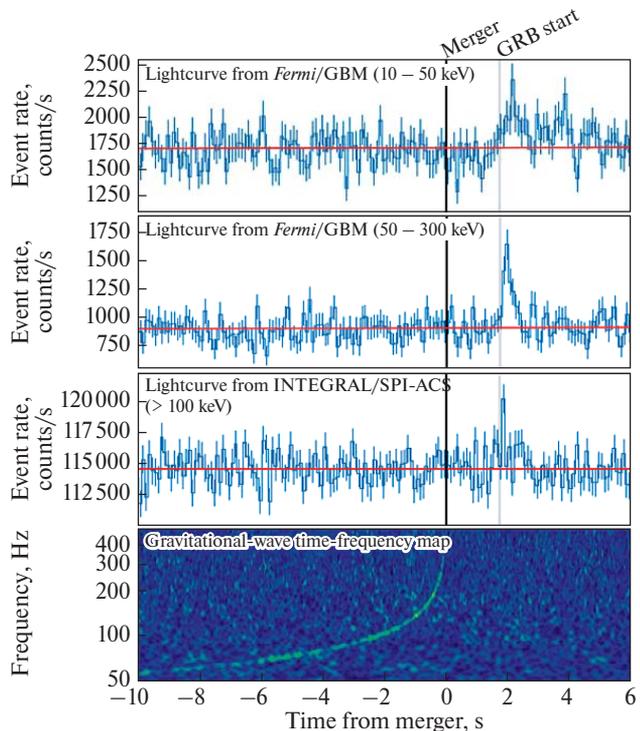
Наблюдения обсерватории  
ИНТЕГРАЛ сверхновой SN2014J.  
Изображение ИКИ РАН /  
Е. Чуразов, см. также  
Чуразов Е., Сюняев Р.,  
Изерн Дж. и др.  
*Nature*, V. 512, 406 (2014)

никель  $^{56}\text{Ni}$  превращается в кобальт  $^{56}\text{Co}$ , который затем распадается в железо, в ходе чего рождаются многочисленные гамма-фотоны. За всю космическую эру, то есть более полувека, не произошло ни одного взрыва сверхновой типа Ia ни в одной из ближайших к нам галактик, поэтому выше-сказанное оставалось на уровне теоретических расчетов и предположений.

Регистрация гравитационно-волнового события GW170817 (нижняя панель) и одновременного короткого гамма-всплеска (два верхних графика отражают данные космической гамма-обсерватории "Ферми", третий сверху график – данные обсерватории ИНТЕГРАЛ). Черная линия – момент слияния нейтронных звезд, серая – момент регистрации гамма-излучения. По горизонтали отложено время от момента слияния в секундах. Из работ Савченко В., и др. *The Astrophysical Journal Letters*, V. 848, L15 (2017) и Эбботт Б.П. и др. *The Astrophysical Journal Letters*, V. 848, L13 (2017)



Ситуация изменилась в январе 2014 г., когда в галактике M82 вспыхнула сверхновая SN2014J, относящаяся к типу Ia. Эта галактика расположена достаточно близко (11 млн световых лет), чтобы обсерватория ИНТЕГРАЛ смогла впервые напрямую обнаружить излучение от сверхновой и полностью подтвердить



теоретическую концепцию сверхновых типа Ia как гигантских термоядерных взрывов. В частности, с хорошей степенью достоверности было зарегистрировано излучение в двух наиболее мощных гамма-линиях распада радиоактивного кобальта  $^{56}\text{Co}$  на энергиях 847 и 1237 кэВ, а также континуум на энергии в сотни кэВ. Измеренный поток излучения свидетельствует, что в процессе взрыва было синтезировано около 0,6 массы Солнца радиоактивного никеля.

---

### СЛИЯНИЯ НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД – КЛЮЧЕВОЙ МЕХАНИЗМ ОБОГАЩЕНИЯ ВСЕЛЕННОЙ ТЯЖЕЛЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

---

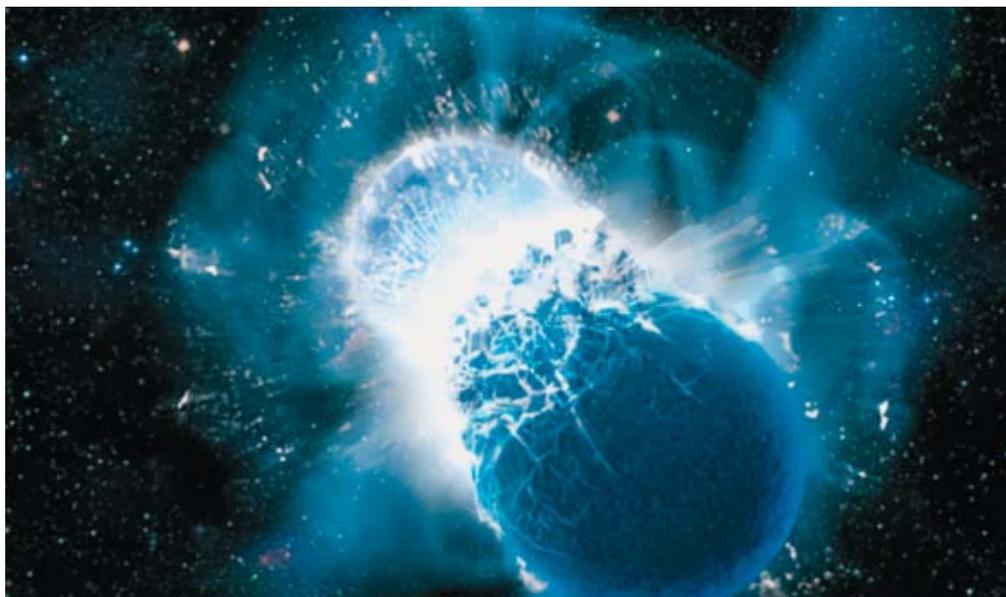
Как было сказано, нейтронные звезды представляют собой конечный этап эволюции массивных звезд. Они чрезвычайно компактны и имеют высокую плотность, в несколько раз выше ядерной. Точное уравнение состояния ве-

щества при таких экстремальных условиях неизвестно, при этом считается, что от дальнейшего коллапса нейтронная звезда удерживается давлением вырожденного газа нейтронов.

Если в течение эволюции массивной двойной системы и последовательных двух вспышек сверхновых система не разрушится, то могут образоваться две нейтронные звезды, которые будут вращаться друг вокруг друга. При этом они будут постепенно сближаться, теряя энергию в виде излучающихся гравитационных волн. Такая система может существовать сотни миллионов лет, пока звезды не сблизятся настолько, что под действием сил притяжения и приливных сил они не начнут разрушаться и не произойдет слияние, которое будет сопровождаться вспышкой гравитационно-волнового излучения и коротким гамма-всплеском. При этом во время слияния нейтронных звезд может образоваться значительное количество тяжелых элементов.

---

*Слияние двух нейтронных звезд. Рисунок NASA/Swift/Dana Berry*



Впервые такое событие было зарегистрировано 17 августа 2017 года, когда гравитационно-волновой сигнал был сначала обнаружен установками LIGO (США) и *Virgo* (Италия), а через ~1,7 секунды после этого орбитальные обсерватории ИНТЕГРАЛ (ЕКА) и “Ферми” (НАСА) наблюдали короткий гамма-всплеск. Практически сразу же стало понятно, что оба сигнала являются разными проявлениями одного и того же события, связанного со столкновением двух нейтронных звезд. Менее чем через 11 часов после этого оптические телескопы обнаружили новый объект на краю близкой к нам галактики NGC4993 и установили, что событие слияния нейтронных звезд произошло на расстоянии примерно 130 млн световых лет от нас.

Теоретические расчеты показывали, что во время такого слияния небольшая часть вещества нейтронной звезды будет выброшена в окружающее пространство, а благодаря огромной концентрации нейтронов в этом

облаке выброшенного вещества будет происходить синтез тяжелых элементов. Проведенные наблюдения блестяще подтвердили эту гипотезу, позволили диагностировать наличие тяжелых элементов в остатках от слияния. В частности, наблюдения, сделанные крупнейшими обсерваториями мира, такими как *Gemini* (США), VLT (Европа, Чили) и космическим телескопом им. Хаббла (HST, NASA), показали наличие недавно синтезированного материала, включая золото и платину, а также ряд радиоактивных элементов, таких как уран. Таким образом был получен ответ на загадку многих десятилетий – как в космосе производится около половины всех элементов тяжелее железа.

*Видеозапись лекции с русским синхронным переводом можно увидеть на сайте ЮНЕСКО. В обзоре используются материалы и иллюстрации с сайтов НАСА, ЕКА, LIGO/Virgo Caltech, ИКИ РАН.*

Редакция

Реклама

**Издательство** предлагает услуги по редакционно-издательской подготовке материалов, сборников, а также весь комплекс полиграфических услуг

**Издательство «Наука»** готово оказать услуги под ключ по организации и проведению семинаров, конференций, презентаций, выставок в конференц-залах и на экспозиционных площадках издательства по адресам:

г. Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1  
Московская обл., г. Люберцы, Октябрьский пр-т, д. 403

По всем интересующим вопросам обращайтесь по тел.: +7(495)276-7735  
Подробная информация на сайте [www.naukapublishers.ru/history/partnership](http://www.naukapublishers.ru/history/partnership)

## Информация

### Местность, сформированная ледниками

КА “Марс-Экспресс” (ESA) получил снимки области Столовых гор Дейтеронил (Deuteronilus Mensae), лежащей на границе между северными равнинами и южной горной системой.

Два полушария Марса резко различаются. Гладкие и более молодые равнины северного полушария лежат на 3 километра ниже древней, покрытой кратерами гористой местности южного полушария. Переходная область между ними весьма изрезана и изобилует интересными геологическими особенностями и формами рельефа. Прекрасным примером такой области являются Столовые горы Дейтеронил, изображения которых получила стереокамера высокого разрешения HRSC КА “Марс-Экспресс”.



Снимок Столовых гор Дейтеронил, полученный камерой высокого разрешения HRSC КА “Марс-Экспресс” (ESA) 25 февраля 2018 года. Разрешение оригинального изображения – 13 метров на пиксель. Центр кадра имеет координаты 44° северной широты, 25.5° восточной долготы. Север справа. Изображение ESA/DLR/FU Berlin, CC BY-SA 3.0 IGO

Область, представленная на снимке, демонстрирует многочисленные следы интенсивной и длительной эрозии: многочисленные утесы, каньоны, борозды и столовые горы (возвышенности с плоской вершиной и крутыми склонами). Такой ландшафт образуется под действием потоков (рек, селей, ледников), взрезающих уже существующий рельеф и прорывающих в нем сеть извилистых каналов. В области Столовых гор Дейтеронил основной движущей силой в изменении ландшафта стали ледники, медленное течение которых продолжалось на протяжении нескольких марсианских эпох.

Ледники “пропахали” в плоскогорье глубокие долины, оставив только отдельные столовые горы – участки, сложенные более прочным материалом. Гладкие отложения, покрывающие дно долин, говорят о том, что потоки были медленными и состояли скорее из замерзшей грязи: смеси водяного льда и каменных обломков.

Изучение этого региона с помощью КА MRO (NASA) показало, что содержание льда в грунте в некоторых местах достигает 90%. Это говорит о том, что эта область в целом может представлять собой остатки старого регионального ледяного щита. Когда-то он покрывал и плато, и северные равнины. Потом марсианский климат изменился, и лед стал смещаться и испаряться, медленно открывая каменную подстилающую поверхность.

По информации ESA

С новыми книгами  
Издательства “Наука”  
вы можете ознакомиться на сайте  
**naukabooks.ru**



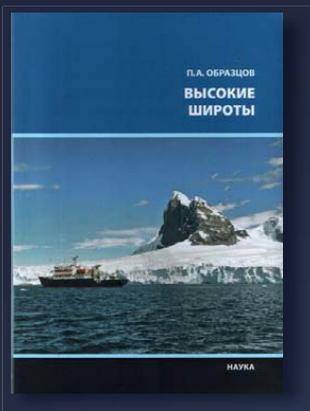
Капанадзе А.Л.

**Опытным путем:  
Эксперименты, изменившие мир.**

М.: Наука, 2019. - 319 с.

В книге рассказывается об основных вехах в развитии экспериментальных методов в самых разных областях наук о природе, человеке и обществе – физике, химии, астрономии, биологии, физиологии, медицине, археологии, социологии, психологии, экономике. Охвачен период с античных времен до наших дней. Читатель узнает о знаменитых и малоизвестных опытах, оказавших огромное влияние на формирование наших представлений о мире и о нас самих. Большое внимание автор уделяет не только истории приборов и технологий, но и истории идей. Затрагиваются проблемы отличия классического эксперимента от наблюдения (когда опыт «ставит» сама природа), преемственности технических инноваций, влияния общественного климата на работу экспериментатора, роли случайности в этой работе.

*Для широкого круга читателей.*



Образцов П.А.

## **Высокие широты.**

М.: Наука, 2018. – 192 с. – (Научно-популярная литература)

Книга повествует об открытии и освоении Арктики и Антарктики, этих двух полюсов холода и мужества, об отважных героях, благодаря которым человечество узнало о природе, животном мире самых северных и самых южных земель, а также о том, какая непростая и вместе с тем увлекательная жизнь идет сегодня в этих суровых, таинственных и манящих краях.

*Для широкого круга читателей.*



Верещагин Г.В., Аксенов А.Г.

## **Релятивистская кинетическая теория с приложениями в астрофизике и космологии.**

М.: Наука, 2018. — 471 с.

Релятивистская кинетика широко применяется в астрофизике и космологии. В последние годы интерес к этой теории вырос, поскольку появилась возможность ставить эксперименты при таких условиях, где релятивистские эффекты становятся существенными. Настоящая монография состоит из трех частей. В первой части представлены основные идеи и концепции, уравнения и методы теории, включая вывод кинетических уравнений из релятивистской цепочки Боголюбова, а также соотношение кинетического и гидродинамического описаний. Вторая часть – это введение в вычислительную физику, причем особое внимание уделяется численному интегрированию уравнений Больцмана и смежным вопросам, а также многокомпонентной гидродинамике. В третьей части дан обзор приложений, который охватывает вопросы ковариантной теории отклика, термализации плазмы, комптонизации в статических и динамических средах, кинетики самогравитирующих систем, образования структуры в космологии и излучения нейтрино при гравитационном коллапсе.

*Для студентов старших курсов университетов, аспирантов и исследователей, специализирующихся в области теоретической физики, астрофизики и космологии.*

# naukabooks.ru

Реклама

# ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПЛАНЕТЫ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

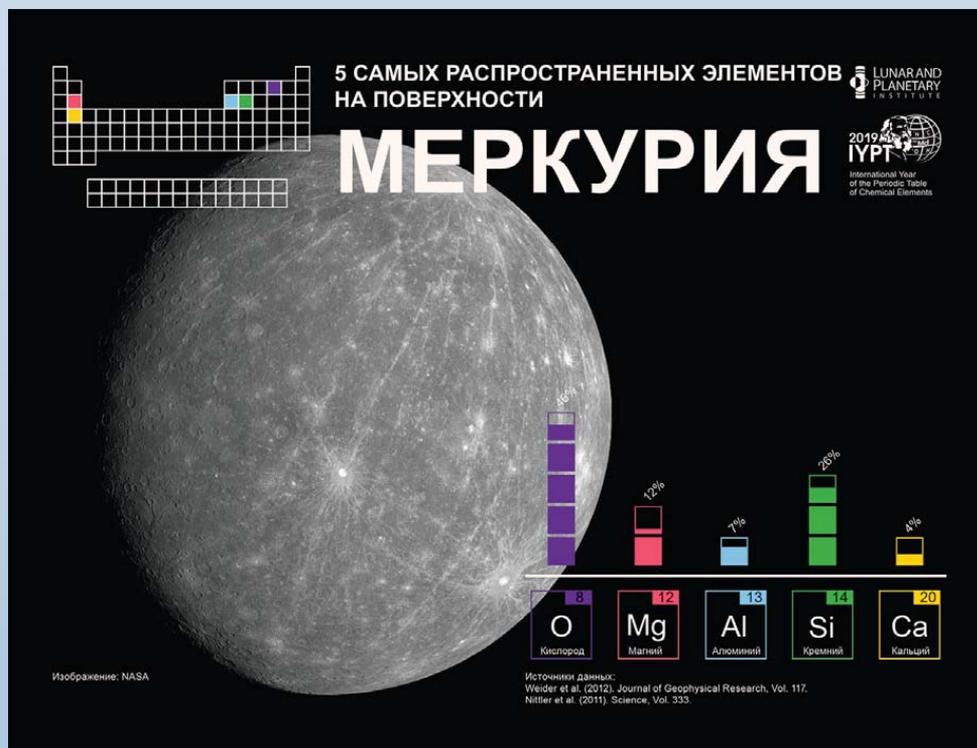
В честь международного года Периодической таблицы химических элементов Д.И. Менделеева, которой в 2019 г. исполнилось 150 лет, Лунно-планетный институт (Lunar and Planetary Institute, США) создал серию плакатов, где отмечены пять самых распространенных элементов на каждой планете Солнечной системы, а также Луны, Плутона и Цереры.

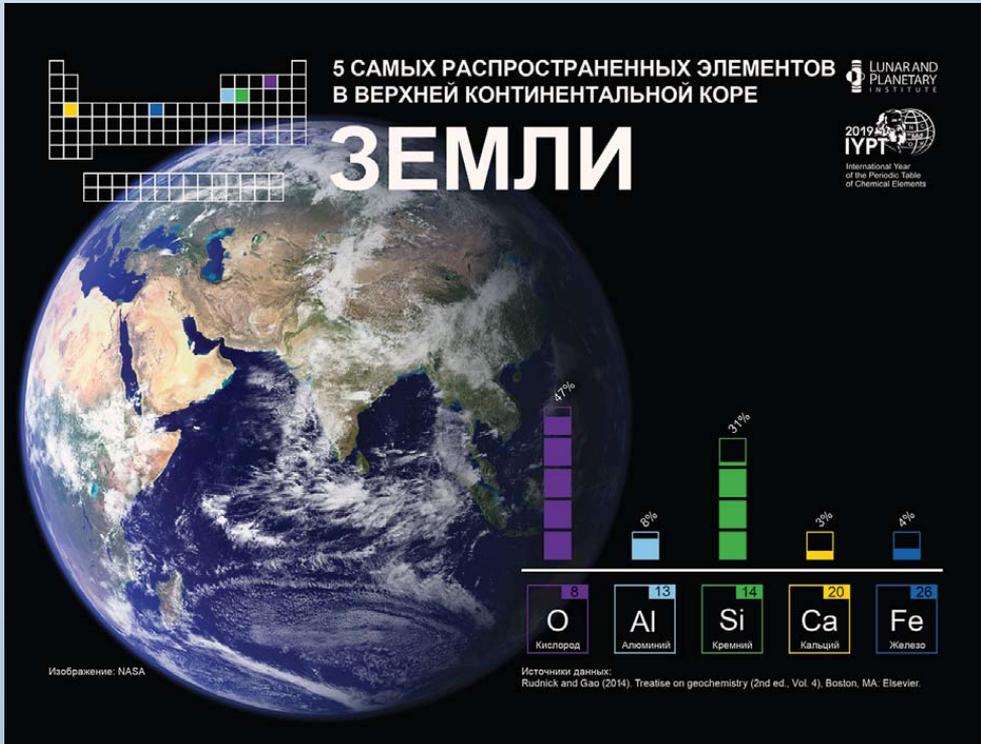
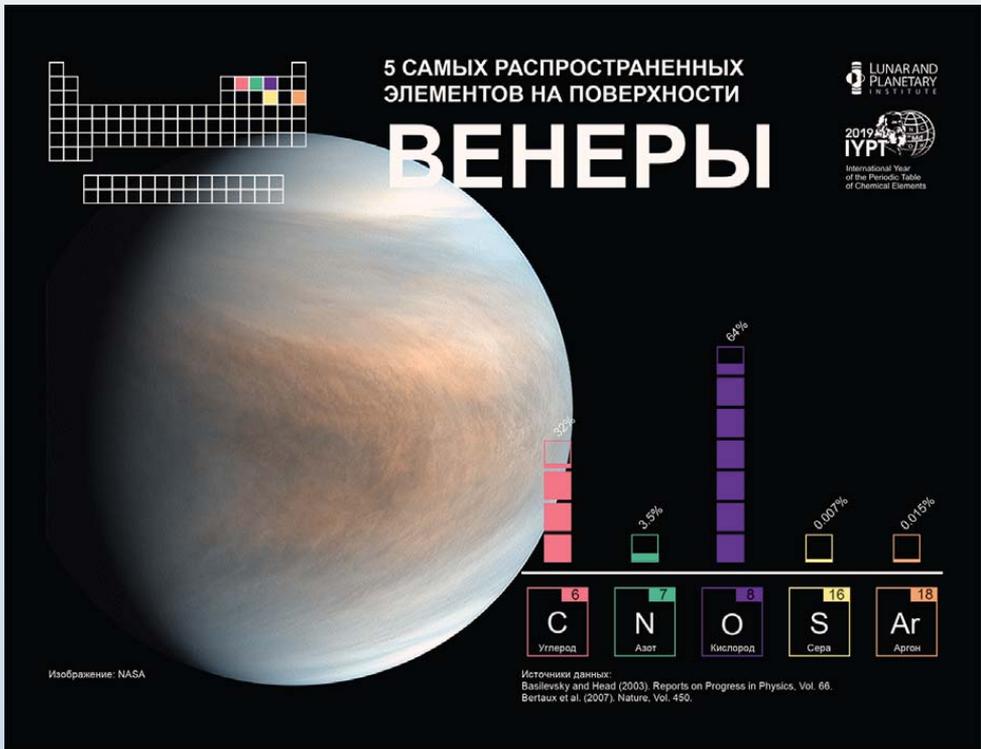
Публикуем лицевую сторону этих плакатов. В нижнем правом углу гистограммами обозначено процентное содержание 5 самых распространенных элементов на поверхности планет.

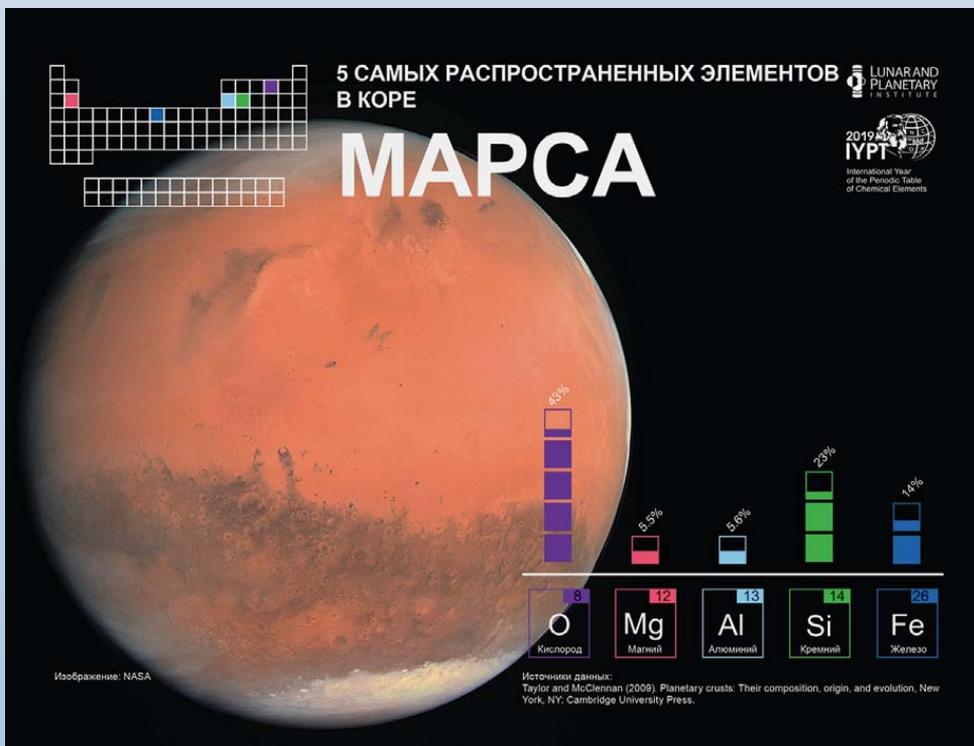
По адресу <https://www.lpi.usra.edu/education/IYPT/> можно загрузить полные версии плакатов в формате pdf. На их оборотной стороне опубликованы краткая информация о планете и биографии ученых, которые исследуют ее.

Редакция

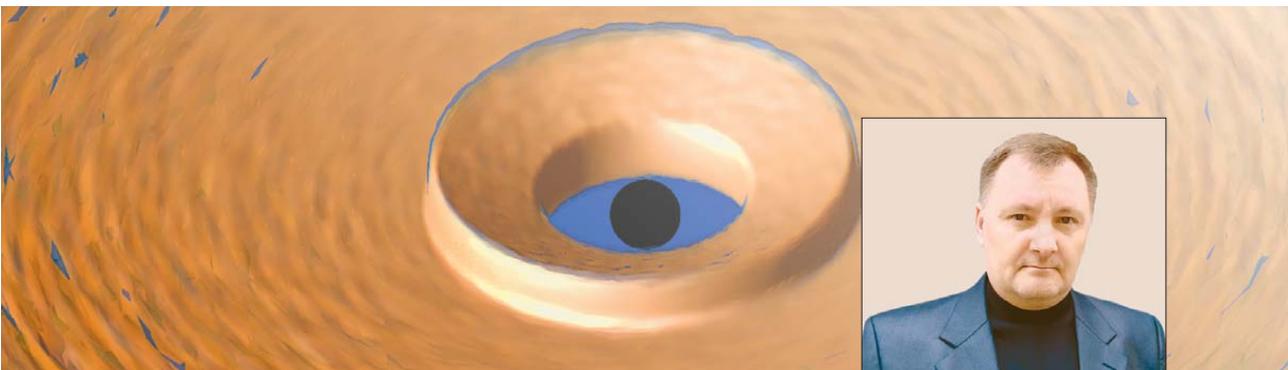
Начало. Продолжение см. на стр. 93







# ВОЗМОЖНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ СЛИВАЮЩИХСЯ ЧЕРНЫХ ДЫР



**А.Г. ЖИЛКИН,**

доктор физико-математических наук

**Д.В. БИСИКАЛО,**

член-корреспондент РАН

**Е.П. КУРБАТОВ,**

кандидат физико-математических наук  
Институт астрономии РАН

DOI: 10.7868/50044394819060021

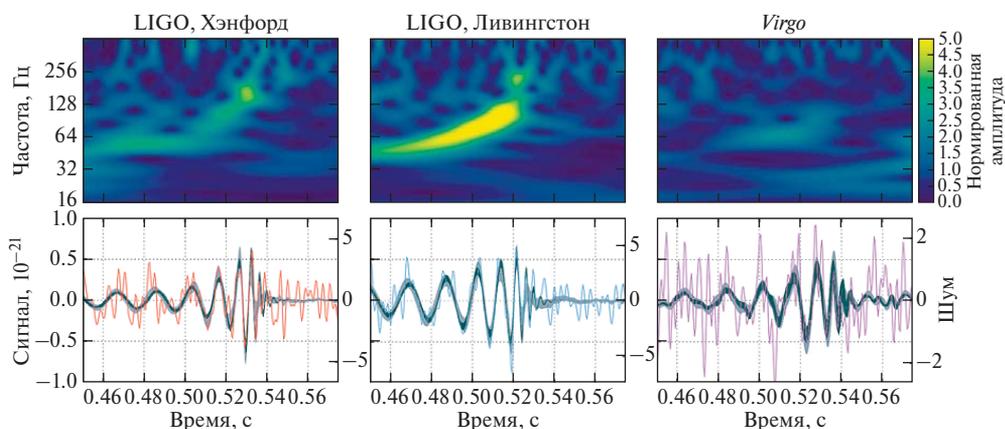
*К настоящему времени на детекторах LIGO и Virgo зарегистрировано несколько гравитационно-волновых всплесков, обусловленных слиянием двойных черных дыр. Принято считать, что черные дыры окружены аккреционными дисками (ЗиВ, 2016, № 6), поэтому такие события должны сопровождаться возмущением дисков и, возможно, увеличением электромагнитного излучения от этих объектов. Как показали численные исследования, проведенные в Институте астрономии РАН, рост светимости обеспечивается нагревом вещества ударной волной, возникающей в аккреционном диске вследствие потери массы центрального объекта в результате излучения гравитационных волн. Причем поярчание системы настолько велико, что может быть зарегистрировано современными рентгеновскими обсерваториями. Это открывает путь для действительно многоволнового исследования процессов слияния черных дыр или многоканальной астрономии (multi-messenger astronomy).*



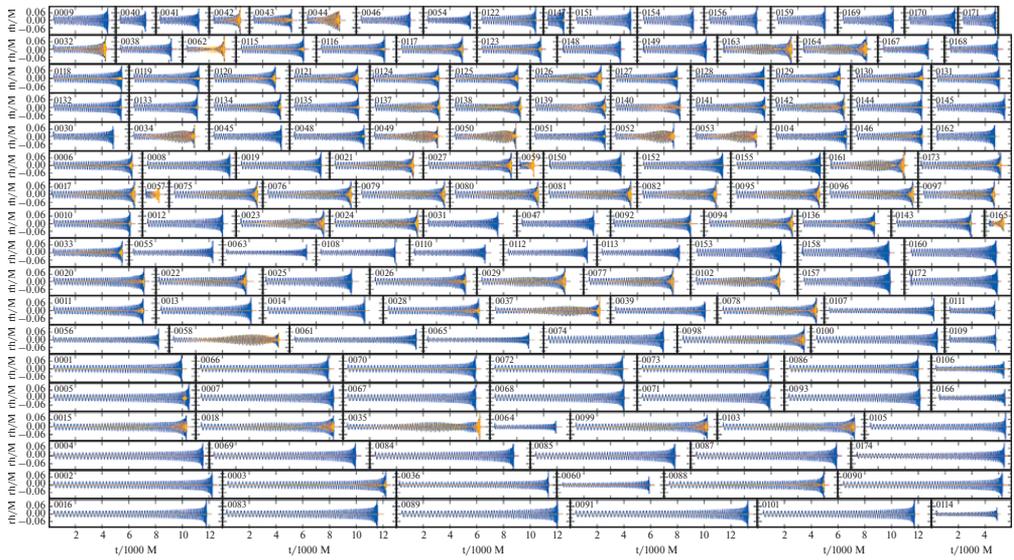
## ГРАВИТАЦИОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ

Почти пять лет назад (в 2015 г.) произошло уникальное, хоть и давно ожидаемое, событие – были экспериментально обнаружены гравитационные волны. С одной стороны, это открытие в очередной раз подтвердило справедливость Общей теории относительности. Ведь существование этих волн было предсказано А. Эйнштейном еще в 1916 г. С другой стороны, для наблюдательной астрономии появился еще один важнейший “канал” или “окно” для исследования Вселенной. Можно сказать, что это уже третий канал. Первый канал связан с детектированием электромагнитного излучения от космических объектов во всем диапазоне спектра – от радиоизлучения и вплоть до гамма-квантов. Второй канал определяется приходящими к нам из космического пространства различного рода частицами. К ним, в частности, относятся космические лучи и нейтрино.

В Общей теории относительности гравитационное поле возникает в результате искривления пространства-времени. Источником кривизны являются материальные частицы или тела, а также некоторые виды полей негравитационного происхождения, например, электромагнитное. Гравитационные волны представляют собой возмущения метрики пространства-времени, распространяющиеся на фоне невозмущенной метрики со скоростью света. Как правило, в качестве невозмущенного фона рассматривают метрику плоского (не искривленного) пространства-времени. Гравитационные волны (как, впрочем, и электромагнитные) обладают двумя степенями поляризации. Плоский невозмущенный фон можно связать с метрикой пространства-времени в том месте, где расположен наблюдатель, находящийся достаточно далеко от источника гравитационного излучения. С точки зрения такого наблюдателя гравитационное поле можно рассматривать в рамках приближенной, но более простой



Гравитационно-волновой сигнал от слияния двух черных дыр, зарегистрированный 14 августа 2017 г. на трех детекторах LIGO H1 (слева), LIGO L1 (в центре) и Virgo (справа). Вверху показаны результаты частотного анализа полученных сигналов. Внизу приведены исходные данные наблюдений, сложенные сигналы, а также оптимальным образом подобранные теоретические кривые. Из статьи Abbot et al., 2017



Каталог теоретических расчетов гравитационно-волновых сигналов от сливающихся черных дыр. Для каждого варианта цветом показаны две волновые формы, соответствующие двум типам поляризации в направлении, параллельном начальной плоскости орбиты двойной системы. Время показано в десятых долях секунды для двойной системы с полной массой в  $20 M_{\odot}$ . Из статьи Mroue et al., 2013

модели – линеаризованной теории гравитации. В этой теории гравитационное поле обладает энергией и импульсом (как, например, электромагнитное поле), но в ней не соблюдается принцип эквивалентности, который лежит в основе Общей теории относительности.

Ускоренное движение любого массивного тела вызывает возмущение метрики пространства-времени. При определенных условиях (например, в случае периодического движения) эти возмущения для удаленных наблюдателей будут проявляться в виде гравитационных волн. В частности, Земля, двигаясь по орбите вокруг Солнца, излучает гравитационные волны. Конечно, интенсивность этого гравитационного излучения пренебрежимо мала. Однако она возрастает с увеличением массы гравитирующих тел и с уменьшением расстояния между ними. Поэтому

в короткопериодических тесных двойных звездах, особенно в тех из них, которые содержат релятивистские компоненты (белые карлики, нейтронные звезды и черные дыры), этот эффект может оказывать существенное влияние на эволюцию их орбит. Эти выводы подтверждаются прямыми наблюдениями изменений периодов ряда пульсаров, например, пульсара PSR1913 + 16.

Одними из наиболее мощных источников гравитационного излучения являются двойные черные дыры. Такие объекты могут, например, формироваться в результате эволюции тесной двойной системы, изначально состоящей из массивных звезд. В центральных частях некоторых галактик могут находиться двойные сверхмассивные черные дыры. Примером такой галактики является лацерида OJ 287 массой компонентов  $18 \times 10^9 M_{\odot}$  и  $10^8 M_{\odot}$  (ЗиВ, 2016, № 4; 2018, № 1). В центре

нашей Галактики, по-видимому, находится сверхмассивная черная дыра массой около  $4 \times 10^6$  масс Солнца. В 2016 г. группа японских астрономов обнаружила вблизи центра Галактики еще один объект, предположительно являющийся черной дырой массой порядка  $10^5$  масс Солнца и расположенный на расстоянии примерно 61 пк от сверхмассивной черной дыры. Поэтому не исключено, что даже в нашей Галактике центральная черная дыра является двойной.

Излучение гравитационных волн двойной черной дырой приводит к потере углового момента (это происходит с точки зрения удаленного наблюдателя) и, как следствие, к их медленному, но неуклонному сближению. В конце концов, этот процесс приводит к слиянию черных дыр, в результате чего их горизонты событий объединяются и из двух черных дыр формируется одна. В рамках Общей теории относительности нет точного аналитического решения для описания этого процесса. Имеются лишь приближенные или численные решения. Однако, с точки зрения удаленного наблюдателя, фиксирующего гравитационное излучение, все выглядит так, как будто двойная черная дыра теряет массу-энергию. В результате, как показывают расчеты, масса продукта слияния двух черных дыр уменьшается на несколько процентов по сравнению с исходной полной массой.

Конечная стадия слияния черных дыр происходит очень быстро – за доли секунды. Гравитационный сигнал выглядит как синусоидальные колебания со все увеличивающейся частотой и амплитудой, которые в определенный момент резко затухают и

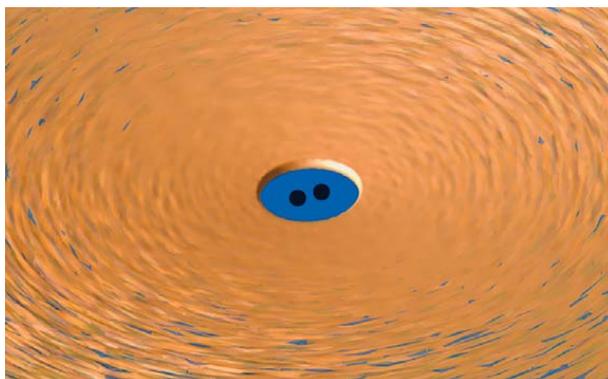
обрываются. По характеру этих колебаний с помощью теоретических моделей можно вычислить исходные массы каждой черной дыры и массу продукта их слияния. С 2015 г. на детекторах LIGO и *Virgo* было обнаружено несколько гравитационно-волновых событий, сопровождающих слияние двойных черных дыр (ЗиВ, 1999, № 3; 2010, № 3). Все эти объекты находились далеко за пределами нашей Галактики на расстояниях от нескольких сотен до нескольких тысяч мегапарсек от нас. Полученные данные соответствуют частоте слияний порядка 100 событий в год, происходящих в объеме в один гигапарсек, что намного реже, чем предсказывают популяционные модели.

---

## ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ И АККРЕЦИОННЫЕ ДИСКИ

---

В теоретических исследованиях одиночных черных дыр часто делается предположение о том, что эти объекты окружены аккреционными дисками, в которых вещество движется по почти кеплеровским орбитам. Процессы вязкого трения между соседними слоями диска приводят к тому, что внутренние слои (кольца) отдают часть своего углового момента внешним слоям (кольцам). В результате вещество диска постепенно продвигается поближе



---

Двойная черная дыра  
с аккреционным диском

к черной дыре, а угловой момент диска, наоборот, переносится к его периферии. Как только частицы диска достигают расстояния в три гравитационных радиуса (гравитационный радиус  $r_g = 2GM/c^2$ , где  $G$  – гравитационная постоянная,  $c$  – скорость света,  $M$  – масса черной дыры), они свободно падают внутрь черной дыры, поскольку внутри этой зоны, согласно Общей теории относительности, устойчивых круговых орбит уже не существует.

Если черная дыра входит в состав тесной двойной системы, то аккреционный диск вокруг нее может сформироваться в процессе обмена массой. Таких систем сейчас известно уже достаточно много. У одиночной черной дыры, не входящей в состав какой-либо двойной или кратной системы, аккреционный диск может возникнуть, например, при ее пролете сквозь плотное молекулярное облако и дальнейшем гравитационном захвате его вещества. В галактиках подобное явление по космическим меркам должно происходить достаточно часто. Другими источниками вещества аккреционного диска может быть плазма ветра от соседних астрофизических объектов или остатки разрушенной приливным воздействием звезды. Наверное, можно придумать и иные механизмы, приводящие к формированию аккреционных дисков вокруг черных дыр.

Сценарий формирования тесной пары черных дыр звездной массы из исходной тесной двойной системы, состоящей из звезд-гигантов, не оставляет возможности для существования общего для них аккреционного диска. Если он даже и формируется на некоторых стадиях эволюции из вещества

общей оболочки тесной двойной системы, то в дальнейшем он все равно будет неминуемо разрушен сильными звездными ветрами и вспышками сверхновых. Однако, если время жизни двойной черной дыры (то есть время до их слияния) достаточно велико, то некоторые из вышеперечисленных механизмов для одиночных черных дыр подходят и для случая двойных черных дыр. В частности, общий аккреционный диск может сформироваться при пролете системы сквозь молекулярное облако, из ветра от третьей звезды в иерархической системе, а также из остатков вещества близкой звезды, разрушенной приливными силами. Недавно был предложен сценарий, согласно которому двойная черная дыра появляется вследствие вращательной неустойчивости, развивающейся в процессе коллапса ядра очень массивной (масса больше  $100 M_{\odot}$ ) звезды. При этом общий аккреционный диск может формироваться из вещества оболочки исходной звезды.

Двойные сверхмассивные черные дыры могут возникать в процессе слияния дисковых галактик, если формирующаяся при этом новая галактика сохраняет достаточно большой угловой момент для поддержания своей дисковой морфологии. В упоминавшейся выше лацертиде OJ 287 наблюдательных проявлений общего аккреционного диска вокруг двойной сверхмассивной черной дыры пока не обнаружено. Полученные данные указывают лишь на то, что более массивная черная дыра в этой паре имеет собственный аккреционный диск. Однако общий диск может сформироваться из окружающего газо-звездного вещества галактики

*Сценарий формирования тесной пары черных дыр звездной массы из исходной тесной двойной системы, состоящей из звезд-гигантов, не оставляет возможности для существования общего для них аккреционного диска.*

в процессе аккреции на центральную двойную сверхмассивную черную дыру. При этом во внутренних частях диска звезды будут разрушаться приливными силами.

В центральной части нашей Галактики имеется газовый аккреционный диск радиусом примерно 600 пк и массой около  $2 \times 10^7 M_{\odot}$ . В центре аккреционного диска находится сверхмассивная черная дыра. Орбита второго массивного компонента, вращающегося вокруг сверхмассивной черной дыры, оказывается расположенной глубоко внутри центрального аккреционного диска. Следовательно, если этот второй объект также является черной дырой, то получается, что в центре нашей Галактики двойная черная дыра окружена общим аккреционным диском. Правда, расстояние между этими черными дырами достаточно велико и поэтому их слияние, к нашему счастью, произойдет еще очень нескоро – примерно через  $10^{27}$  лет.

Внутренний радиус аккреционного диска вокруг двойной черной дыры примерно в два раза превышает расстояние между центрами черных дыр. Процесс стремительного слияния черных дыр начинается, когда расстояние между ними составляет три гравитационных радиуса, вычисленного по их суммарной массе (гравитационный радиус аккретора). До этого момента сближение черных дыр происходит медленно и поэтому, благодаря действию вязких сил, диск успевает подстраиваться к изменяющемуся межкомпонентному расстоянию. Следовательно, можно считать, что непосредственно перед слиянием черных дыр внутренний радиус диска примерно в 6 раз превосходит гравитационный радиус аккретора. Это позволяет при описании свойств такого аккреционного диска пренебрегать релятивистскими эффектами и использовать теорию, развитую Н.И. Шакурой и Р.А. Сюняевым

еще в 1973 г. (ЗиВ, 2014, № 3). В рамках этой модели можно, в частности, оценить светимость исходного (до слияния черных дыр) диска. При этом оказывается, что светимость в мягком и среднем рентгеновском диапазонах составляет примерно  $10^{39}$  эрг/с.

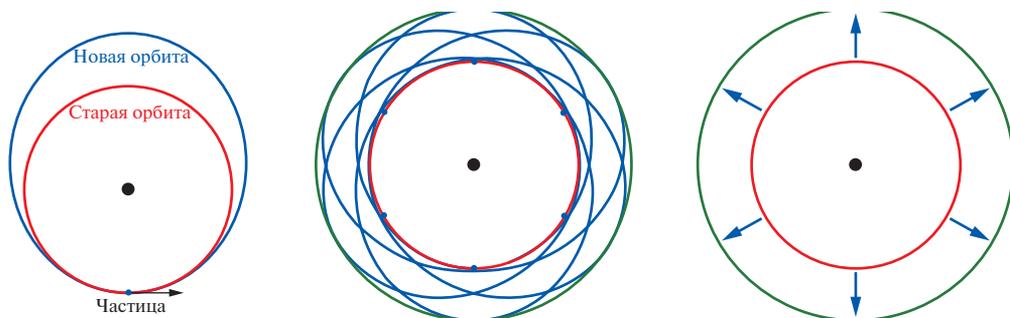
---

## АККРЕЦИОННЫЕ ДИСКИ И ПОТЕРЯ МАССЫ

---

В ряде теоретических работ было показано, что слияние двойной черной дыры и последующее гравитационно-волновое излучение может приводить к нескольким эффектам для аккреционного диска. Во-первых, потеря массы центральным объектом приводит к нарушению кеплеровского равновесия в диске и последующему возбуждению волн плотности большой амплитуды. Во-вторых, в зависимости от отношения масс сливающихся объектов и ориентации их собственных угловых моментов, гравитационно-волновое излучение может быть асимметричным. В результате вещество диска испытывает импульс отдачи, который может привести к возникновению сильных возмущений. В-третьих, изменения метрики пространства-времени в гравитационных волнах может непосредственно вызывать в диске дополнительные механические напряжения, которые будут постепенно диссипировать на вязкой шкале времени и нагревать вещество. Все эти явления приводят к электромагнитному отклику аккреционного диска.

В данной статье мы рассмотрим действие первого механизма, поскольку для его анализа все необходимые данные могут быть определены непосредственно из наблюдений. Представить себе, что происходит с аккреционным диском после потери массы центрального объекта в результате слияния



Возмущение орбитального движения частиц, вызванное потерей массы центрального объекта. Левая диаграмма демонстрирует изменение характера движения отдельной частицы. В центре показано формирование множества пересекающихся эллиптических орбит, соответствующих различным частицам. Правая диаграмма поясняет процесс эффективного расплывания круговой орбиты в кольцо конечной ширины

двойной черной дыры, можно на основе следующих простых соображений.

Допустим, что все частицы до момента слияния черных дыр находились на круговых орбитах. Рассмотрим некоторую частицу, радиус орбиты которой равен  $r_0$ . Ее полная энергия (сумма кинетической и потенциальной энергий) равна  $E_0 = -(1/2) GM_0/r_0$ , где  $M_0$  – начальная масса аккретора. После слияния масса центрального объекта стала равной  $M_1 = (1 - \xi)M_0$ , где  $\xi$  – доля массы, унесенная гравитационными волнами. Поскольку после потери массы аккретора скорость частицы не изменилась, то она уже не может далее продолжать двигаться по круговой орбите. Характер ее движения должен измениться, ведь после этого события скорость частицы оказывается больше, чем нужно для сохранения кругового движения. Нетрудно посчитать, что новая полная энергия частицы увеличится и станет равной  $E_1 = -(1/2 - \xi)GM_0/r_0$ . Отсюда видно, что в случае  $\xi < 1/2$  (теряется меньше половины массы) частица будет двигаться по эллипсу, в случае  $\xi = 1/2$  (теряется ровно половина массы) новой траекторией будет парабола, а в случае  $\xi > 1/2$  (теряется больше половины массы) частица

полетит по гиперболе. В зарегистрированных гравитационно-волновых событиях величина  $\xi$  составляла от 0,03 до 0,06. Следовательно, должен реализоваться первый случай.

В начальный момент времени, который соответствует моменту слияния и потери массы, частица окажется в периастре своей новой эллиптической орбиты. Эксцентриситет эллипса  $e = \xi/(1 - \xi)$ . Например, в случае  $\xi = 0,05$  получаем  $e = 0,053$ . Иначе говоря, орбита лишь слегка отклонится от круговой. Расстояние между апоастром и периастром эллипса составляет величину  $\Delta r = \xi/(1/2 - \xi)r_0$ , которая для случая  $\xi = 0,05$  равна  $0,11r_0$ .

Однако в аккреционном диске на начальной круговой орбите находилась не одна частица, а большое множество частиц. В результате потери массы центрального объекта все эти частицы изменят характер своего движения и перейдут на новые эллиптические орбиты. Первоначальное цельное кольцо из частиц, движущихся по одной и той же круговой орбите, превратится в большое количество пересекающихся друг с другом эллипсов, каждый из которых соответствует новой орбите одной из частиц. Можно сказать, что

первоначальное бесконечно тонкое кольцо расплывется в кольцо конечной ширины  $\Delta r$ . Ширина этого кольца прямо пропорциональна радиусу начальной круговой орбиты  $r_0$ . Поэтому внешние кольца будут расплываться сильнее, по сравнению с внутренними.

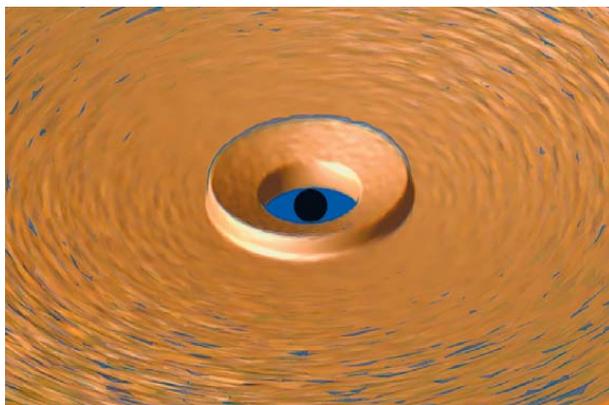
Но аккреционный диск состоит не из пыли, а из газа. В нем присутствуют эффекты газового давления. Поэтому расширившиеся внутренние кольца начнут толкать соседние наружные кольца. В результате в аккреционном диске возникнет нелинейное возмущение, которое будет распространяться с некоторой скоростью в радиальном направлении из внутренних его частей к периферии. Отсюда можно сделать вывод о том, что вследствие слияния черных дыр и последующей потери массы центрального объекта в аккреционный диск как бы будет “впрыснута” некоторая дополнительная энергия. Часть этой энергии будет потрачена на разгон вещества, другая часть перейдет в тепло, а какая-то часть уйдет в виде электромагнитного излучения. Для описания этого сложного процесса одной только гравитационной механики уже явно недостаточно. Для этого необходимо использовать более детальную гидродинамическую модель.

---

## ПОТЕРЯ МАССЫ И УДАРНЫЕ ВОЛНЫ

---

Более строгий анализ этой задачи, проведенный в рамках гравитационной гидродинамики, показал, что стремительный рост возмущений в аккреционном диске из-за потери массы центрального объекта приводит к формированию ударной волны или даже серии (цугу) распространяющихся друг за другом



*Формирование ударной волны в аккреционном диске в результате слияния черных дыр и потери массы*

ударных волн. Строго говоря, диск возмущается сразу во всех его точках, поскольку в момент слияния черных дыр и потери массы на любом расстоянии до аккретора в диске моментально нарушается баланс между гравитационной и центробежной силами. Однако наибольшие возмущения возникают в самых центральных его частях. Поскольку скорость распространения возмущений во внутренних частях больше, чем в наружных, внутренние возмущения догоняют наружные и усиливаются. В конце концов, амплитуда этих взаимодействующих между собой отдельных возмущений может возрасти настолько, что они вследствие нелинейных эффектов превратятся в ударную волну.

При определенном характере распределения плотности и температуры в начальном невозмущенном аккреционном диске ударная волна оказывается автомодельной. Это означает, что ее пространственный профиль в определенном смысле воспроизводит самого себя с течением времени. Иначе говоря, два пространственных профиля ударной волны (зависимости плотности, температуры и других величин от расстояния до центрального объекта), соответствующие

двум различным моментам времени, могут быть переведены друг в друга некоторым преобразованием подобия, то есть преобразованиями растяжения и сжатия как координаты, так и самих функций. В частности, расстояние, пройденное фронтом ударной волны за время  $t$ , описывается степенным законом  $t^{2/3}$ , а ее скорость затухает со временем как  $t^{-1/3}$ .

Автомодельное решение описывает только один специальный случай начального распределения величин в диске, который весьма близок к тому, что дает стандартная модель аккреционного диска, но не совпадает с ней точно. Поэтому для исследования отклика диска на потерю массы центрального объекта нами была разработана соответствующая численная модель. Эта модель с учетом всех необходимых эффектов получилась довольно сложной и громоздкой. Достаточно сказать, что технический отчет с описанием нашей численной модели содержит более 250 формул, многие из которых занимают несколько строк. Схема для вычисления пространственного распределения гидродинамических величин в диске в текущий момент времени построена таким образом, что в ней строго выполняются не только разностные аналоги законов сохранения массы, импульса и энергии, но и дополнительные соотношения, описывающие баланс по определенным видам энергии. Кроме того, в схеме точно выполняется закон сохранения углового момента. Это обстоятельство представляется важным, поскольку потеря массы сопровождается весьма бурными процессами, а плотность, температура и другие величины в диске изменяются с расстоянием до центрального объекта на много порядков.

Наша первая численная модель была относительно простой. В ней, в частности, не учитывалось давление излучения и предполагалось, что диск все время находится в вертикальном равновесии. При достаточно больших температурах,

которые, например, могут возникать за фронтом ударной волны, пренебрегать давлением излучения нельзя. Теплоемкость “смеси” газа и равновесного излучения больше, чем теплоемкость самого газа. Поэтому при учете давления излучения скачок температуры за ударной волной немного снижается.

К почти такому же эффекту приводит и учет вертикального уширения диска. В начальном состоянии аккреционный диск находился в вертикальном гидростатическом равновесии, когда на любой высоте над его плоскостью симметрии вертикальная компонента гравитационной силы уравновешивается вертикальной компонентой силы давления. Ударная волна, распространяющаяся по диску, нагревает вещество и, следовательно, разрушает это условие вертикального гидростатического равновесия. В вертикальном направлении возникает движение вещества, приводящее к некоторому “разбуханию” диска. Поскольку масса перераспределяется в большем объеме, то плотность вещества в плоскости симметрии диска немного уменьшается. Это, в свою очередь, приводит к адиабатическому охлаждению вещества, что вызывает обратный процесс – диск начинает снова поджиматься к плоскости симметрии. Таким образом, прохождение ударной волны по диску сопровождается вертикальными движениями колебательного характера, которые, впрочем, со временем постепенно затухают.

---

## УДАРНЫЕ ВОЛНЫ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ

---

Ударная волна, возникающая в аккреционном диске в результате слияния черных дыр и потери массы центрального объекта, приводит к нагреву вещества. Расчеты показали, что за фронтом

ударной волны температура может возрастать в несколько раз в зависимости от параметров модели. Это приводит к резкому увеличению яркости диска, что можно расценивать, как электромагнитный отклик системы на эффект слияния двойной черной дыры.

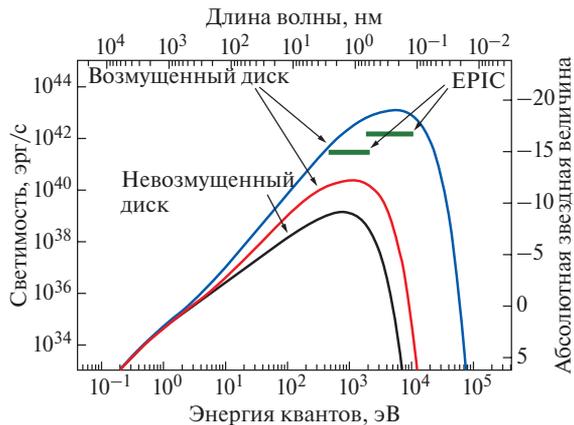
Спектр электромагнитного излучения в области энергий около десятка килоэлектрон-вольт определяется, в основном, тормозным излучением электронов и комптоновским рассеянием. Последний механизм способен существенно исказить планковский спектр, который характеризует равновесное излучение абсолютно черного тела. Комптоновское рассеяние приводит к перераспределению энергии фотонов в сторону больших энергий. Иными словами, этот эффект понижает интенсивность на длинах волн вблизи планковского максимума и вызывает появление “хвоста” в коротковолновой области. Однако, такая комптонизация спектра является эффективной только в оптически прозрачной среде. В случае же наших дисков можно показать, что среда является оптически толстой, как в центральных частях, так и на периферии. Искажение спектра в оптически тонком слое вблизи поверхности диска также оказывается несущественным, поскольку отношение геометрической толщины этого слоя к общей

толщине диска пренебрежимо мало на всех длинах волн. Таким образом, для расчета светимости можно полагать, что излучение с поверхности диска имеет всюду планковский спектр.

Профили температуры, полученные с помощью численного моделирования, позволяют построить теоретические кривые блеска, показывающие зависимость светимости аккреционного диска от времени. Очевидно, что основной вклад в поярчание вносят самые внутренние части диска, где температура и плотность достигают наибольших значений. В среднем рентгеновском диапазоне (энергия квантов до 10 кэВ) светимость невозмущенного диска в случае критического режима аккреции в нашей модели достигает  $10^{39}$  эрг/с. Эта величина сопоставима со светимостью рентгеновских пульсаров и даже так называемых ультра-ярких рентгеновских источников (ЗиВ, 2014, № 5; 2017, № 1). Если же аккреция является докритической, то светимость, конечно, существенно падает с уменьшением темпа аккреции.

Наши расчеты основывались на гидродинамической модели без учета процесса переноса излучения. Это приближение заведомо несправедливо на больших временах, поскольку радиативное (за счет излучения) охлаждение должно приводить к остыванию

Спектры электромагнитного излучения для двух моделей аккреционного диска с субкритическим режимом аккреции. На вертикальных шкалах указаны светимость (слева) и абсолютная болометрическая звездная величина (справа). Серым цветом показан спектр невозмущенного диска. Горизонтальными отрезками отмечены нижние пределы чувствительности детекторов EPIC космической обсерватории “XMM-Newton” (NASA-ESA)



диска после прохождения ударной волны и постепенному установлению нового равновесного состояния, при котором темп высвечивания энергии равен скорости вязкого нагрева. Оценки показывают, что с учетом реалистичных параметров аккреционного диска кривая блеска должна спадать за время порядка нескольких минут. Этот интервал времени соответствует продолжительности вспышки, которая сопровождает процесс слияния двойной черной дыры.

Примерно через полсекунды после момента слияния черных дыр нагрев вещества ударной волной приводит к резкому возрастанию светимости. В различных моделях, соответствующим различным вариантам диска, светимость возрастает на 1–4 порядка. Максимум потока излучения лежит в рентгеновском диапазоне. Если поток скорректировать на расстояние до источника гравитационных волн GW170814 в 540 Мпк, то интенсивность излучения от диска оказывается на пределе чувствительности инструмента EPIC космической обсерватории “XMM-Newton” (ЗиВ, 2011, № 2).

В гамма-диапазоне поток электромагнитного излучения на много порядков превышает поток от невозмущенного аккреционного диска и сравним с потоком от мягких гамма-источников. В экстремальном ультрафиолетовом диапазоне (10–100 эВ) поярчение диска может превышать порядок величины. В дальнем ультрафиолете светимость возрастает не более, чем в два раза. На больших длинах волн светимость диска практически не изменяется.

Нужно понимать, что, если бы данный объект оказался ближе к нам, то интенсивность соответствующих наблюдаемых электромагнитных проявлений увеличилась бы во много раз. Кроме того, приведенные выше оценки светимости являются весьма приближенными, поскольку расстояние до объ-

екта определено неточно. Минимальная и максимальная оценки расстояния до источника GW170814 различаются в два раза (ЗиВ, 2018, № 3). При этом изменению расстояния в два раза соответствует изменение видимой яркости в четыре раза или изменение блеска на полторы видимой звездной величины.

---

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ И ГРАВИТАЦИОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

---

Мы рассмотрели определенный сценарий слияния двух черных дыр, когда они окружены общим аккреционным диском. В результате излучения гравитационных волн масса центрального объекта уменьшается и аккреционный диск испытывает возмущение. Основным следствием этого возмущения является формирование ударной волны, распространяющейся от центра к периферии диска. Ударная волна нагревает вещество, что приводит к резкому росту потока электромагнитного излучения от диска. В рамках численной модели оказывается возможным рассчитать кривую блеска, спектр излучения, а также оценить продолжительность вспышки в предположении, что при снижении светимости до исходного значения вспышка заканчивается. Все эти электромагнитные проявления определяются характером источника гравитационного излучения.

Совместное детектирование гравитационного сигнала и сопутствующего ему электромагнитного излучения позволяет получить гораздо большее количество полезной информации об источнике. Ведь в этом случае мы исследуем астрофизический объект одновременно с помощью двух принципиально различных физических каналов – гравитационного и электромагнитного! Это не просто мультиспектральный метод исследования,

Таблица 1

Параметры сливающихся двойных черных дыр, по данным гравитационно-волновых наблюдений. Указаны: название объекта, массы компонент, относительное изменение массы, расстояние до объекта.

Объект	$M_1, M_{\odot}$	$M_2, M_{\odot}$	$DM / (M_1 + M_2), \%$	$D, \text{Мпк}$
GW150914	36	29	3,3–5,2	410
GW151226	14,2	7,5	2,9–5,5	440
GW170104	31,2	19,4	2,3–5,7	880
GW170608	12	7	2,8–5,1	340
GW170814	30,5	25,3	4,0–5,8	540

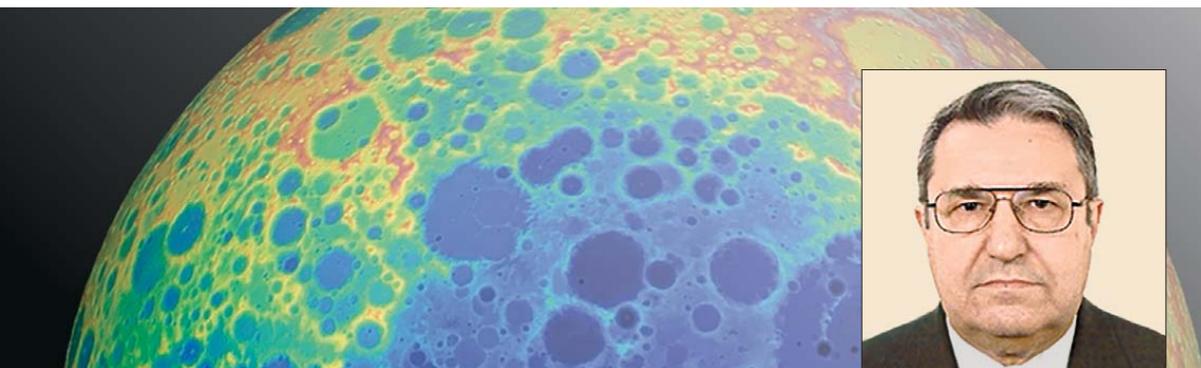
когда объект одновременно наблюдается в различных диапазонах спектра. Это уже, можно сказать, “мультиканальный” или “мультиоконный” подход. Используя подобные комплексные методы исследования, мы можем достичь гораздо более глубокого понимания природы таких астрофизических объектов. Очевидно, что исследования такого типа имеют большие и далеко идущие перспективы.

Гравитационно-волновое излучение может быть связано не только со слиянием черных дыр, но и со слиянием нейтронных звезд, а также пар “черная дыра–нейтронная звезда”. Если компонентом двойной системы является нейтронная звезда, то можно ожидать, что слиянию будет сопутствовать всплеск электромагнитного излучения в широком диапазоне длин волн, начиная от радио- и вплоть до гамма-диапазона. Такие вспышки могут продолжаться от секунды и менее (вспышки гамма-излучения), до дней, месяцев и даже лет (радиоизлучение от субрелятивистских истечений).

С учетом этих обстоятельств гравитационно-волновые наблюдения обсерваторий LIGO и *Virgo* сопровождаются электромагнитными наблюдениями многих других обсерваторий. Это делается как в режиме непрерывного обзора неба, так и по так называемым “алертам” – сигналам, которые рассылаются между обсерваториями автоматически и обрабатываются ими в режиме реального времени.

В сентябре 2015 г. обсерваторией LIGO был обнаружен гравитационно-волновой сигнал, которому было присвоено обозначение GW150914 (ЗиВ, 2016, № 4; 2018, № 4). Этот сигнал интерпретировали как событие слияния двойной черной дыры. Вместе с тем прибором GBM (Gamma-ray Burst Monitor), установленным на космической гамма-обсерватории “Ферми” (Fermi; ЗиВ, 2015, № 3), была детектирована короткая гамма-вспышка. При этом расположение источника гамма-излучения примерно соответствовало направлению на источник гравитационных волн. Следует заметить, однако, что амплитуда вспышки была довольно мала, а сам электромагнитный сигнал в существенной степени был зашумлен. При этом различные методы обработки такого слабого сигнала приводили к противоречивым выводам о том, имеется ли физическая связь между источником гравитационных волн и источником гамма-излучения. В результате дискуссии, развернувшейся в научной литературе, ученые пришли к компромиссному мнению, что в данном случае совпадение сигналов было случайным. Следующая серия наблюдений, планируемая на инструментах LIGO и *Virgo*, а также на космической гамма-обсерватории “Ферми”, возможно, позволит достичь большего уровня чувствительности при совместном детектировании гравитационно-волновых событий.

## СИГНАЛ С ОБРАТНОЙ СТОРОНЫ



**В.В. ШЕВЧЕНКО,**

доктор физико-математических наук

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ

DOI: 10.7868/50044394819060033

***Исследования обратной стороны Луны, начатые легендарным полетом автоматической межпланетной станции “Луна-3” 60 лет назад, ознаменовали начало нового пути в изучении ближайшего космоса. На этом пути было совершено уже много открытий. Но еще большее их число ожидает науку в будущем.***

---

### ПЕРВЫЙ ШАГ НА ДОЛГОЙ ДОРОГЕ

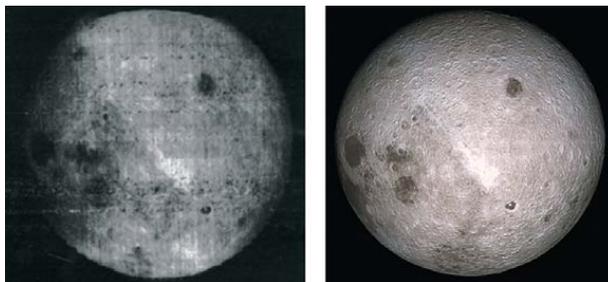
---

Первое фотографирование лунной поверхности из космоса автоматической межпланетной станцией (АМС) “Луна-3” стало ключевым шагом на длинной дороге к познанию Луны на современном уровне науки. Несмотря на громадные изменения в космической технике и космических технологиях, первые лунные снимки и сегодня являются достаточно качественными документами в истории изучения обратного полушария Луны. В этом можно наглядно убедиться, если сравнить обработанные современными компьютерными методами снимки, полученные в 1959 г. (ЗиВ, 2019, № 3), с результатами со-

временной съемки в том же масштабе и ракурсе, полученными американской АМС “Лунный орбитальный разведчик” (Lunar Reconnaissance Orbiter; ЗиВ, 2009, № 6, с. 99–102).

В планировании и осуществлении лунных космических программ ведущих космических держав на начальном этапе неизбежно присутствовали тенденции соревнования. После успешного осуществления миссии АМС “Луна-3” в NASA был выдвинут проект получения снимков лунной поверхности с максимально доступным разрешением. План эксперимента был прост: космический аппарат, оснащенный телевизионными камерами скоростной съемки, падает на лунную поверхность и производит съемку до последнего момента. Однако, прак-

Снимок обратной стороны Луны, обработанный современным компьютерным методом (ГАИШ МГУ, слева), и мозаика из современных снимков, полученных АМС "Лунный орбитальный разведчик" (фото NASA, справа). Следует обратить внимание на совпадение деталей обоих изображений



тическое выполнение этого плана оказалось более сложным. Запуски первых шести аппаратов серии "Рейнджер" (Ranger) оказались неудачными. Первые результаты были получены только АМС "Рейнджер-7", достигшей лунной поверхности 31 июля 1964 г. Телевизионный канал начал свою работу за 18 мин до разрушения аппарата при падении на лунную поверхность. Первое изображение было получено с высоты 2 110 км. Передача последующих 4 308 снимков произошла за последние 17 мин полета. Окончательное изображение, полученное и переданное на Землю непосредственно перед ударом космического аппарата со скоростью 2,62 км/с, отличалось максимально высоким разрешением.

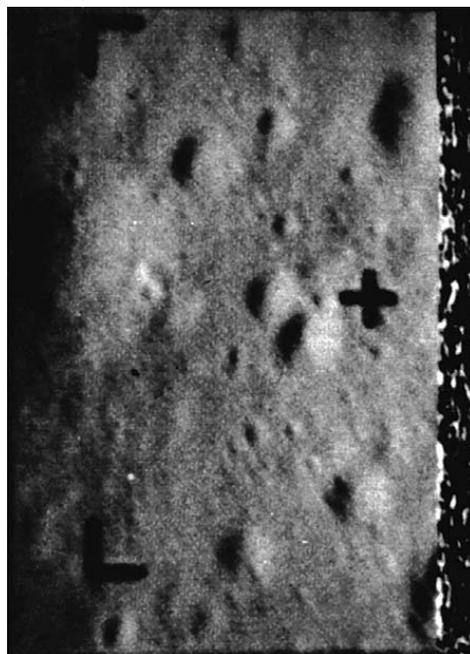
АМС "Рейнджер-7" упала на видимом полушарии Луны в районе между Океаном Бурь и Морем Облаков. Впоследствии эта территория была названа Морем Познанным.

Научным руководителем проекта "Рейнджер" был крупнейший ученый в области лунно-планетных исследований Джерард П. Койпер (ЗиВ, 2015, № 6). Его именем в свое время был назван один из астероидов, а также кратеры на Марсе, Меркурии и Луне. Одна из глобальных структур Солнечной системы – скопление малых тел за предела-

ми орбиты Нептуна – также была названа в честь ученого и известна как Пояс Койпера.

Вскоре после получения всех данных с борта АМС "Рейнджер-7" изображения в виде полного набора оригинальных фотографических снимков были оформлены в специальные наборы и распространены среди ведущих исследовательских организаций мира. Такой набор снимков был передан для изучения и в Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ.

Картографические съемки лунной поверхности, проведенные с борта кос-



Последний снимок, полученный АМС "Рейнджер-7", имел разрешение на лунной поверхности 0,5 м. Фото NASA

Область падения КА "Рейнджер-7".  
Фрагмент "Обзорной карты  
Луны". ГАИШ МГУ, ГЕОХИ РАН

мических аппаратов серии "Зонд", послужили исходным материалом для составления новых, более подробных карт Луны (ЗиВ, 2019, № 5). Перед началом осуществления лунных экспедиций по программе "Аполлон" руководитель этого проекта В. фон Браун обратился в Академию наук СССР с просьбой предоставить подготовленные в нашей стране карты лунной поверхности для использования в упомянутом проекте. В то время такими изданиями были карты, подготовленные в ГАИШ МГУ совместно с рядом производственных организаций, работавших в области геодезии и картографии. Эти материалы были переданы для использования в NASA и их качество получило высокую оценку специалистов.

## СОКРОВИЩА МОРЯ МОСКВЫ

В процессе изучения Моря Москвы, обнаруженного на первых снимках обратной стороны Луны (1959 г.), вы-



яснилось, что эта практически единственная полноценная структура морского типа на обратном полушарии представляет собой довольно сложное и весьма интересное формирование.

Прежде всего, было обнаружено, что Море Москвы является частью сложного многокольцевого образования, типичного для лунных бассейнов ударного происхождения.

Существование этой кольцевой структуры подтвердили более поздние измерения высот в процессе работы АМС "Лунный орбитальный разведчик".

Основная структура кольцевого образования расположена почти на 1 км ниже среднего уровня для Луны. Собственно Море Москвы лежит на 8 км ниже возвышенностей, составляющих внешнее кольцо бассейна диаметром 640 км. Возможно, что среднее кольцо структуры,



Участники проекта:  
специалист в области лунной картографии Э. Уитакер,  
научный руководитель проекта "Рейнджер" Д. Койпер и инженер Лаборатории реактивного движения Р. Хикок – обсуждают результаты полета "Рейнджер-7". На первом плане – модель космического аппарата "Рейнджер". 1964 г. Фото NASA

Атташе по культуре  
посольства США Г. Швейцер  
(в центре) вручает набор  
оригинальных материалов  
съемок, выполненных АМС  
"Рейнджер-7", ведущему  
специалисту в области лунно-  
планетных исследований  
Ю.Н. Липскому (слева). Справа –  
П.Г. Куликовский. ГАИШ МГУ, 1965 г.  
Фото Т.А. Бируля



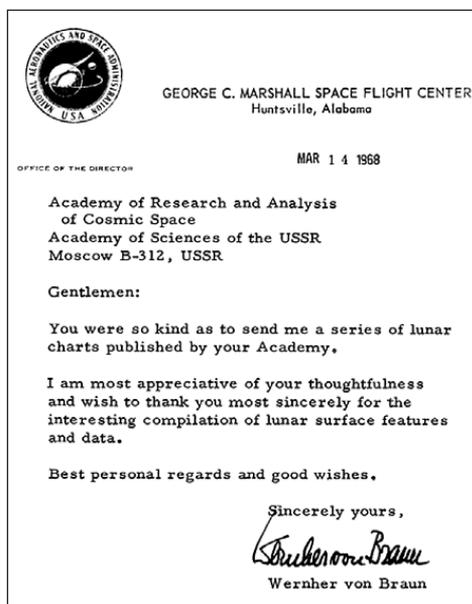
Копия письма В. фон Брауна  
с благодарностью за передачу лунных карт  
и с выражением высокой оценки качества  
этих материалов. Из архива В.В. Шевченко

диаметр которого достигает 430 км,  
сформировалось в процессе этого же  
ударного события.

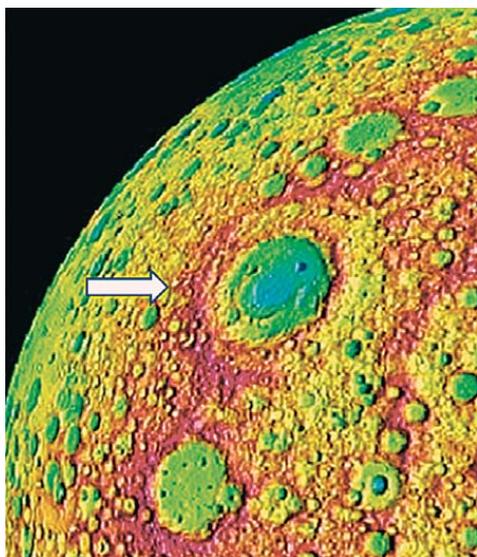
Современные исследования ведущих  
планетологов рассматривают два сце-  
нария формирования данной кольце-  
вой структуры. Один из них предпола-  
гает появление среднего кольца в про-  
цессе одного падения космического  
тела по траектории, имевшей значи-  
тельным наклон к лунной поверхности  
(косой удар).

Сценарий формирования бассейна  
меньшего размера в пределах старой  
и более крупной - уже существовавшей  
ранее – депрессии может указывать на  
падение двух ударников, следовавших  
по одной и той же траектории один за  
другим. Эта модель учитывает конфи-  
гурацию смещенного кольца, а также  
частичные остатки еще одного кольца  
между основным и наружным и удли-  
ненный характер дна всего бассейна.

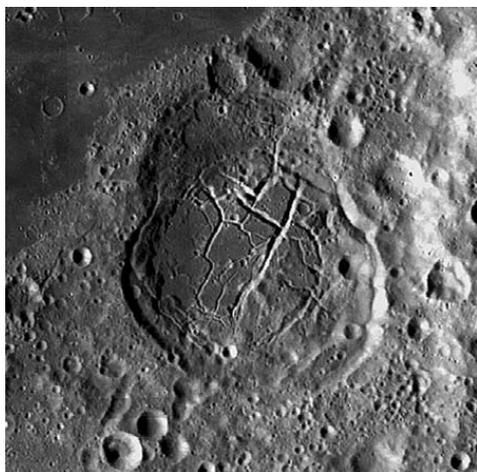
Результаты подсчета кратеров раз-  
личных размеров в пределах рассмат-  
риваемой области позволили заклю-  
чить, что падение крупного тела, об-  
разовавшего кольцевую структуру,  
произошло в эпоху, которая в лунной



Область Моря Москвы. При данном  
освещении четко просматривается  
внешнее кольцо бассейна. Снимок получен  
ИСЛ "Лунар орбитер-5". 1967 г. Фото NASA



Фрагмент карты высот обратного полушария Луны, полученной по данным измерений с помощью лазерного альтиметра, установленного на борту АМС "Лунный орбитальный разведчик". Кольцевая структура Моря Москвы указана стрелкой. Рисунок NASA



Кратер Комаров диаметром 80,4 км и глубиной 2,8 км. Возможно, примерно такие же разломы существуют под базальтовыми лавами Моря Москвы. Снимок сделан с борта АМС "Лунный орбитальный разведчик". Фото NASA

истории носит название Некторианского периода. Возраст этого события геологи оценивают величиной 3,9 млрд лет.

Морфологические особенности кратера Комаров, расположенного у юго-восточной окраины Моря Москвы, возможно, указывают на характер строения дна всей кольцевой структуры непосредственно перед началом ее заполнения потоками глубинных магматических интрузий. Логично предположить, что лавовые потоки выходили на поверхность именно через такие системы глубоких трещин, образовавшихся в процессе удара падавшего тела.

Последующие события вулканической деятельности, благодаря которым появились основные излияния базальтовой лавы, по оценкам исследователей, происходили в Позднеимбрийский период лунной истории.

Фотометрические и спектрональные измерения в области Моря Москвы, выполненные на основе современных снимков поверхности, показывают, что процесс заполнения дна кольцевой депрессии глубинными потоками лавы происходил в несколько этапов.

Интерпретация оптических свойств лунной поверхности в области разных лавовых потоков показывает, что эти районы имеют как различный химический состав, так и различный возраст выхода на поверхность. Застывшие лавовые потоки с более высоким значением альбедо (светлые), по оценкам исследователей, имеют возраст выхода на поверхность около 3,5 млрд лет. Основной химический состав этих образований соответствует базальтовым лавам.

Следы потоков с относительно низкой отражательной способностью (более темные) являются наиболее молодыми выходами на поверхность глубинных лав и характеризуются возрастом около 2,6 млрд лет.

Характерной особенностью химического состава лавовых потоков в Море Москвы является присутствие полевошпатовых минералов.

В последнее время изучение химического состава поверхностных пород в Море Москвы с помощью спектральной съемки с орбиты преподнесло исследователям еще один сюрприз. Во время работы на окололунной орбите индийской АМС «Чандраян-1» (2008–2009 гг.; ЗиВ, 2009, № 2, с. 90–91) установленный на ее борту высокочувствительный спектрограф показал значительные залежи в Море Москвы редкого минерала – розовой шпинели. Известный на Земле минерал шпинель является кристаллической формой оксида алюминия и магния (алюминат магния). Минерал имеет вулканическое происхождение. Чистые формы его кристаллов считаются драгоценными камнями. В Море Москвы области обнаружения розовой шпинели оказались небольших размеров – всего 1 км<sup>2</sup>. Предполагается, что эти поверхностные залежи сформировались под воздействием вулканического извержения, доставившего минерал из глубинных слоев Луны. Однако более точные данные о происхождении этой особенности лунного реголита получить пока не удалось.

Бассейн Моря Москвы представляет собой весьма интересную особенность Луны, которая дает возможность исследовать процессы ранней дифференциации лунной коры и последующий период более поздней магматической деятельности. Следует обратить внимание также на необычные свойства местной минералогии лунных пород, которые не были обнаружены во время коротких полетов по программам «Аполлон» и «Луна». Дальнейшее изучение этого района Луны может привести к еще более глубокому пониманию магматической истории земного спутника и дру-



*Область Моря Москвы. Наблюдается четкое различие в отражательных свойствах разных лавовых потоков, заполнивших внутреннюю депрессию кольцевой структуры Моря Москвы. Снимок получен в апреле 1970 г. с борта КК «Аполлон-13». Фото NASA*

гих тел Солнечной системы, которые в процессе своей эволюции проходили стадию дифференциации.

---

## САМЫЙ КРУПНЫЙ КРАТЕР СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

---

Любопытно, но самая крупная кольцевая структура Луны долгое время «скрывалась» от исследователей. Первые указания на ее существование были получены уже при фотографировании обратной стороны Луны АМС «Луна-3» в 1959 г. (ЗиВ, 2019, № 3). На восточном краю видимого диска угадывались окраинные структуры очень крупного образования, полные очертания которого скрывались за лимбом. При съемках обратного полушария Луны в 1965 г. АМС «Зонд-3» при-

знаки отдельных фрагментов крупной кольцевой структуры просматривались в области терминатора (ЗиВ, 2019, № 4). Но обнаружить полное изображение этого загадочного формирования опять не удалось.

В конце 1960-х гг. американские межпланетные станции серии “Лунар орбитер” (Lunar Orbiter) выполнили глобальное фотографирование Луны, но при интерпретации этих снимков образование без сплошного лавового покрова и резких границ не было зафиксировано.

Первые данные о рельефе этого образования были получены аппаратами “Зонд-6” (1968) и “Зонд-8” (1970) (ЗиВ, 2019, № 5). Исследования лунного лимба по новым снимкам показали, что в данном районе действительно существует громадная депрессия диаметром более 2 000 км и глубиной до 5–7 км.

Таким образом, о крупнейшей кольцевой структуре на Луне до 1990-х гг. было известно очень мало. Первые полные данные об этом образовании были получены только в результате съемок в 1994 г. с борта АМС “Клементина” (Clementine; ЗиВ, 1997, № 5), которая выполнила долговременные исследования с окололунной орбиты. Многозональная съемка, проведенная этим аппаратом, показала, что поверхность кольцевой структуры содержит больше FeO и TiO<sub>2</sub>, чем лунные материки, и поэтому более темная. Позже состав поверхности был уточнен с помощью гамма-спектрометра, установленного на борту АМС “Лунар проспектор” (Lunar Prospector, 1998 г.; ЗиВ, 2001, № 1).

Итак, природа и происхождение уникального образования, до сих пор условно называемого “бассейн Южный полюс – Эйткен” размером 3 500 км, остается одной из наиболее важных проблем в современных исследованиях Луны. Бассейн, который, по-видимому, по времени образования относится к Докектарскому периоду лунной истории

(около 3,9 – 4,3 млрд лет назад), является наиболее крупным кольцевым образованием не только на поверхности Луны, но и во всей Солнечной системе. Обращают на себя внимание не только его размеры в абсолютной шкале, но также и то, что его диаметр практически совпадает с диаметром самой Луны. Подобное соотношение не наблюдается на других телах Солнечной системы силикатного или ледяного состава.

Особенности строения лунного гигантского бассейна сразу же привлекли к себе особое внимание, поскольку появилась гипотетическая возможность обнаружить среди древних выбросов образцы пород нижних слоев коры или даже верхней мантии. Как полагают исследователи, история первых ~700 млн лет существования Луны как сформировавшегося небесного тела отмечена появлением на ее поверхности 43–45 ударных бассейнов диаметром более 300 км. Этот процесс способствовал экскавации и распространению по лунной поверхности фрагментов пород из глубинных слоев лунной коры. Тем более вероятным кажется отождествить и исследовать с помощью дистанционных или прямых методов подобные образцы внутри или в окрестностях бассейна Южный полюс – Эйткен, поскольку это образование относится к наиболее древним, имеет наибольшие размеры и, соответственно, его донные участки должны проникать на наибольшую глубину.

Вместе с тем детальные исследования структуры бассейна Южный полюс – Эйткен, выполненные в разное время, нельзя полагать завершенными и ряд вопросов строения и генезиса этого уникального образования требуют дополнительного изучения.

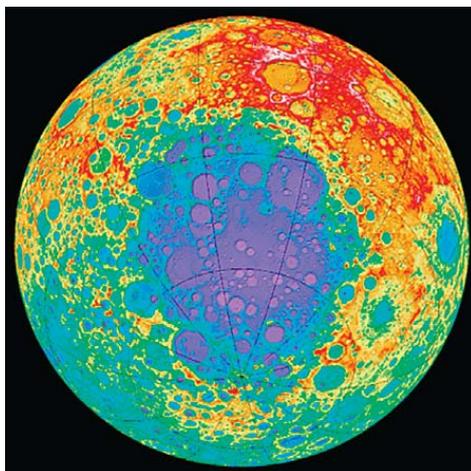
Предварительные оценки возраста данного образования сходятся на величине около 4 млрд лет. В течение последующих периодов лунной истории процессы модификации самой кольцевой

структуры и наложение многочисленных ударных кратеров более позднего происхождения в значительной степени исказили первоначальные формы бассейна. В связи с этим возникают трудности отождествления границ бассейна путем геологического дешифрирования по деталям окружающего рельефа. В большинстве случаев детали, относившиеся непосредственно к морфологии колец первоначальной структуры, полностью или почти полностью были разрушены в процессе возникновения более поздних кратерных форм.

Первая современная карта высот для большей части кольцевого образования была построена благодаря измерениям, полученным АМС "Клементина". Впоследствии другие орбитальные аппараты исследовали рельеф кольцевой структуры еще детальнее.

По первоначальным оценкам того времени поперечник гигантской впадины оценивался величиной около 2500 км. В ГАИШ МГУ были выполнены исследования мегарельефа обратного полушария с целью реконструкции самого внешнего кольца бассейна. Выяснилось, что внешнее кольцо бассейна прослеживается по системе возвышенностей в северо-западной, северной, северо-восточной и восточной части кольцевой структуры.

Основным выводом из анализа полученной рельефной модели является выделение кольца положительных форм рельефа, которые с большой долей вероятности соответствуют положению и размерам первоначального внешнего кольца сложной структуры бассейна. Наиболее сохранившиеся формы первоначальной структуры содержатся в северо-западном и северо-восточном сегментах кольца (направление на север вверху изображения). Хребтовая часть образования, располагающаяся между районом кратера Циолковский и южной окраи-



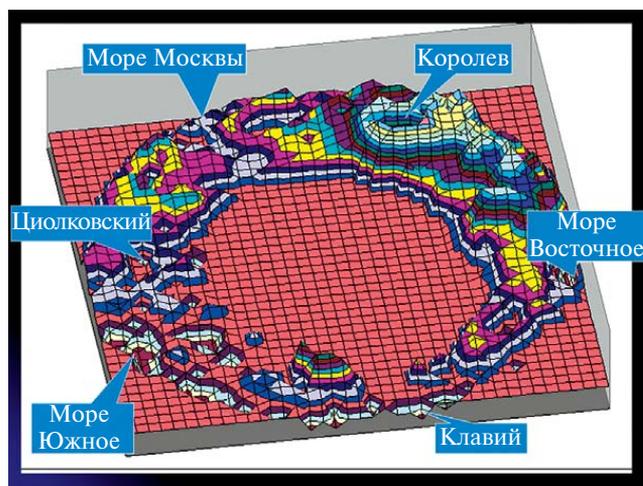
*Карта высот, основанная на данных, полученных АМС "Лунный орбитальный разведчик" (красным обозначены возвышенности, синим – низменности).*

*Рисунок NASA*

ной впадины Моря Москвы, достигает в своей наиболее возвышенной части около +3 км. Северо-восточный сегмент включает хребтовые участки с высотами до +7–8 км в области от района кратера Королёв до района западной окраины внутренней впадины Моря Восточного.

Предполагая наличие некоторой круговой симметрии первоначальной структуры внешнего кольца бассейна, можно оценить параметры общих размеров этого уникального по величине лунного образования. Если принять в качестве условной внешней границы образования срединную область протяженных хребтов, диаметр образования в среднем можно оценить величиной 3500 км.

Несмотря на то, что общий перепад высот в бассейне Южный полюс – Эйткен достигает значительной величины – более 16 км, первичное глубинное проникновение этой структуры оказывается относительно небольшим с учетом громадных размеров всего



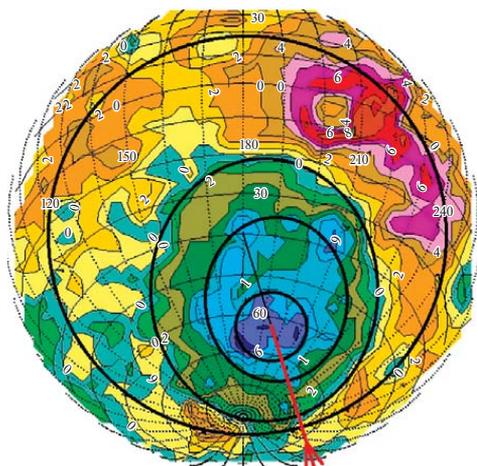
Структура внешнего кольца бассейна Южный полюс – Эйткен (3D-проекция). На изображении отмечено положение некоторых известных деталей рельефа лунной поверхности. Рельеф показан относительно нулевой поверхности, соответствующей сфере с радиусом 1738 км. Интервал сечения изогипс составляет 0,5 км. Вертикальный масштаб увеличен по сравнению с линейным масштабом. Гипсометрическая структура внутренней части депрессии не показана. ГАИШ МГУ, 2007 г.

образования. Существенное видоизменение структуры бассейна интенсивной ударной переработкой поверхности в течение миллиардов лет не уничтожило, однако, некоторые следы процесса его первоначального формирования. Многочисленные дистанционные исследования состава поверхностного материала внутри бассейна и в пределах его ближайших окрестностей показали, что породы первоначального ударного плавления составляют не менее 15% современного поверхностного реголита. Этот материал, в котором, согласно спектральным данным, преобладают нориты в сочетании с мафическими породами, возможно, представляет обнаженное в процессе формирования бассейна вещество нижней коры и верхней мантии Луны или переплавленный при ударе аналог этих пород.

В ГАИШ МГУ был проведен комплексный анализ особенностей распре-

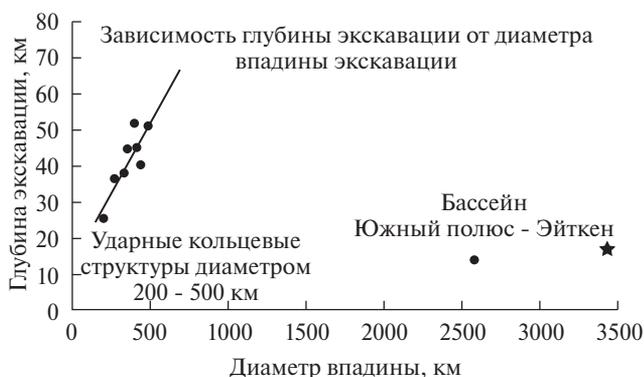
деления в пределах бассейна Южный полюс – Эйткен химического состава поверхностных пород и рельефа. В результате удалось выявить несколько колец, образующих эту структуру, и некоторые характеристики падавшего тела.

Уникальной особенностью рассматриваемого лунного образования является отличие от центрально-круговой симметрии в расположении внутренних колец бассейна. Подтверждением реальности такой модели строения бассейна является систематический четко выраженный сдвиг центров отдельных колец в одном направлении: к юго-востоку от центра внешнего кольца.



Многокольцевая структура бассейна Южный полюс – Эйткен и предполагаемое направление траектории падения гипотетического ударника. Система изолиний соответствует распределению высот деталей мегарельефа в данной области. ГАИШ МГУ, 2007 г.

Зависимость глубины  
экскавации от диаметра  
соответствующих  
крупных депрессий на  
лунной поверхности.  
Размеры бассейна Южный  
полюс – Эйткен указаны по  
результатам предыдущих  
исследований (точка)  
и согласно оценкам,  
сделанным в ГАИШ МГУ  
(звездочка)



Это направление составляет угол с плоскостью лунного экватора (или плоскостью эклиптики, что в первом приближении одно и то же) около  $75^\circ$ . Если предположить, что обнаруженное смещение центров внутренних депрессий явилось следствием косоного падения тела, образовавшего бассейн Южный полюс – Эйткен, то не исключено, что указанное направление можно интерпретировать как след траектории движения упавшего небесного тела непосредственно перед контактом с лунной поверхностью.

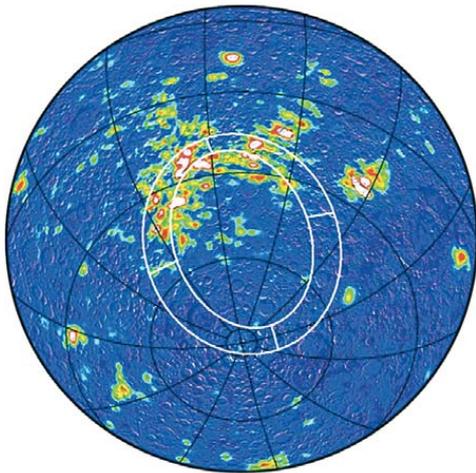
Не вдаваясь в подробности моделирования самого ударного процесса, можно указать на два достоверных факта. Гипотетический ударник двигался по траектории (или орбите) почти нормально ориентированной к плоскости эклиптики. Из известных нам к настоящему времени крупных объектов Солнечной системы такими орбитами обладают долгопериодические кометы или объекты Пояса Койпера, что, возможно, одно и то же. Поскольку астероиды или планетезимали прошлого имели орбиты, близкие к плоскости эклиптики (или к плоскости допланетного диска), это в значительной степени уменьшает вероятность ударного образования данного бассейна в результате падения таких тел.

В недавних работах ряда исследователей содержатся прямые указания на

то, что ударник, образовавший бассейн Южный полюс – Эйткен, относился к иной популяции тел, чем ударники, в результате падения которых возникли все другие лунные бассейны. Эти результаты можно обобщить на диаграмме зависимостей глубины экскавации значительных по размерам лунных депрессий от их размера.

В предыдущих работах рядом исследователей были высказаны утверждения, что уменьшение соотношения “глубина–диаметр” в ударных структурах происходит при прочих равных условиях в результате уменьшения плотности вещества ударника. Предполагается, что расчетная средняя плотность ударника может быть существенно меньше  $2 \text{ г/см}^3$ .

Исходя из этих двух положений, можно сделать гипотетический вывод, что уникальные особенности природы бассейна Южный полюс – Эйткен могут проистекать из необычного процесса его образования в результате падения тела кометного типа. В то же время, весьма распространенным представлением о природе тел Пояса Койпера является их классификация как ядер комет значительных размеров в неактивном состоянии. Оценки численности транснептуновых объектов говорят о весьма значительном их количестве (ЗиВ, 1999, № 5). Однако расположение этих объектов на периферии Солнеч-



Магнитные аномалии в области бассейна Южный полюс – Эйткен, обнаруженные по данным магнитометрических измерений с борта АМС “Лунар проспектор”. 1998 г. Иллюстрация NASA

ной системы накладывает общее ограничение на их суммарную массу, что неизбежно приводит к заключению о чрезвычайно малой средней плотности рассматриваемых объектов.

Обоснования того, что в предполагаемый период возникновения бассейна Южный полюс – Эйткен (около 4 млрд лет назад) среди основных типов ударников преобладали именно объекты Пояса Койпера или гигантские кометные тела из Облака Оорта, можно найти в работах ряда исследователей последних лет (ЗиВ, 2008, № 6).

В качестве подтверждения предлагаемой гипотезы могут рассматриваться и некоторые данные о магнитных аномалиях на лунной поверхности.

Авторы эксперимента по магнитометрическим измерениям с борта АМС “Лунар проспектор” и интерпретаторы его результатов считают, что наиболее заметное скопление аномалий в северной части бассейна Южный полюс – Эйткен могло появиться в результате выбросов

вещества ударника, имевшего сильную степень намагниченности. Следует напомнить, что лунные породы, как и вся Луна в целом, не обладают собственной намагниченностью. Распределение магнитных аномалий внутри кольцевой структуры и за ее пределами согласуется с моделью выбросов в северном и северо-западном направлениях при косом падении ударника. В этих исследованиях отмечается, что ударник мог падать под углом  $45^\circ$  к лунной поверхности со скоростью 15 км/с.

Появление магнитных аномалий в данном случае согласуется с известными фактами возникновения локальной намагниченности реголита в области диффузных структур (в англоязычной терминологии – swirls), которые по наиболее распространенной версии являются следами падений на лунную поверхность комет.

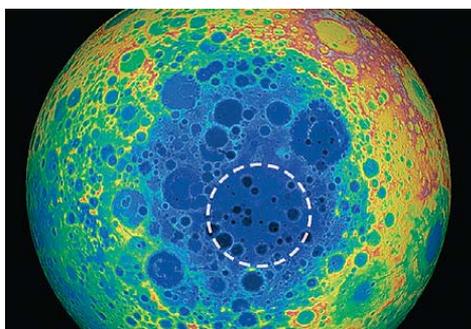
## ЗАГАДКИ ОБРАТНОЙ СТОРОНЫ ПРОДОЛЖАЮТ МНОЖИТЬСЯ

В январе 2012 г. на окололунную орбиту была выведена система из двух спутников, предназначенная для высокоточных измерений гравитационного поля Луны (ЗиВ, 2012, № 2, с. 35–36). По измерениям ИСЛ “GRAIL-A” и “GRAIL-B”, следовавших друг за другом по практически одной орбите, на расстоянии друг от друга от 175 до 225 км, была составлена карта аномалий гравитационного поля Луны. Среди всего огромного объема этой новой информации особой сенсацией оказалось обнаружение громадной гравитационной аномалии в центре бассейна Южный полюс – Эйткен. Авторы открытия предложили такое наглядное представление о загадном образовании – глыба металла в пять раз больше острова Гавайи, расположенная на глубине 300 км под лунной поверхностью.

Одним из первых объяснений происхождения такой гравитационной аномалии было предложено наличие “застывшего” в лунной мантии железно-никелевого ядра астероида, в результате падения которого около 4 млрд лет назад образовался бассейн Южный полюс – Эйткен.

Однако, такое простое объяснение противоречило многим уже установленным фактам, в том числе оно не согласовывалось с морфологической структурой бассейна.

Сознавая это, группа ученых предложила и другую версию происхождения необычной находки. Не исключено, что образование под самым большим лунным кратером – это плотное скопление оксидов, возникших на последних стадиях застывания глубинного океана лунной магмы. В публикации о новом открытии авторы выразили надежду, что благодаря дальнейшей работе космических миссий по изучению Луны они смогут со временем узнать больше о происхождении и составе открытой

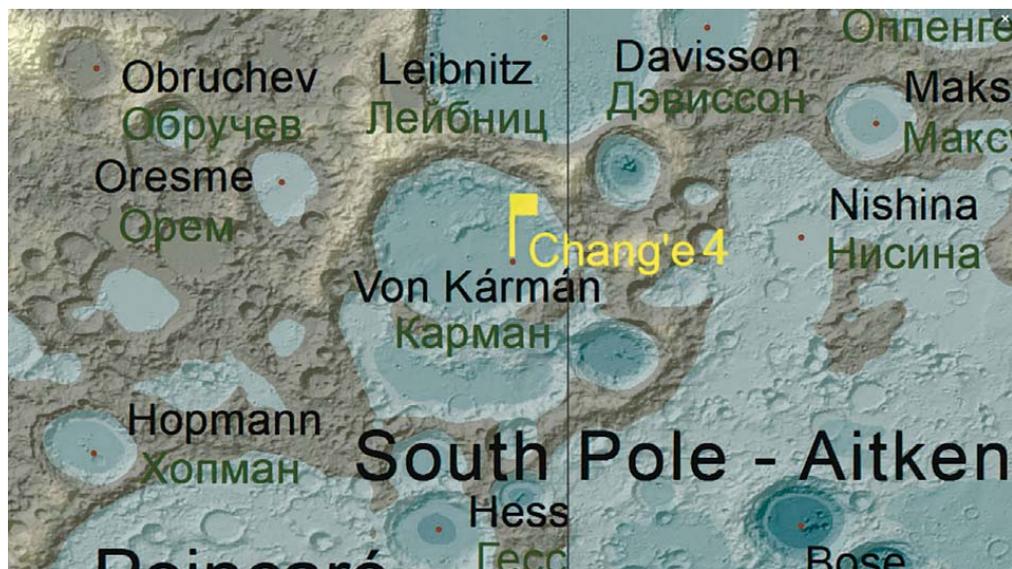


Положение гравитационной аномалии внутри бассейна Южный полюс – Эйткен. Иллюстрация NASA

ими аномалии. Они также добавили, что бассейн Южный полюс – Эйткен является одной из лучших естественных лабораторий для изучения катастрофических столкновений в прошлом лунно-планетной истории.

И в этом они, конечно, не ошиблись.

В начале января 2019 г. впервые в истории лунных исследований автоматическая станция “Чанъэ-4” (Китай; ЗиВ, 2019, № 1, с. 86–88), совершила



Место посадки АМС “Чанъэ-4” в кратере Фон Карман. Фрагмент “Обзорной карты Луны”. ГАИШ МГУ, ГЕОХИ РАН

мягкую посадку на обратной стороне Луны. Космический комплекс “Чанъэ-4” состоит из стационарной лунной станции, на борту которой находился луноход “Юйту-2”. Запущенный в декабре 2018 г. ИСЗ связи “Цюэцяо” выполняет роль спутника-ретранслятора для связи космического комплекса с Землей. Место посадки АМС “Чанъэ-4” было выбрано внутри бассейна Южный полюс – Эйткен в кратере Фон Карман диаметром 219 км.

Уже на начальной стадии новой миссии первые сигналы с обратной стороны Луны, поступившие на Землю, принесли очередную сенсацию. И эти данные опять касались внутреннего строения Луны и ее истории.

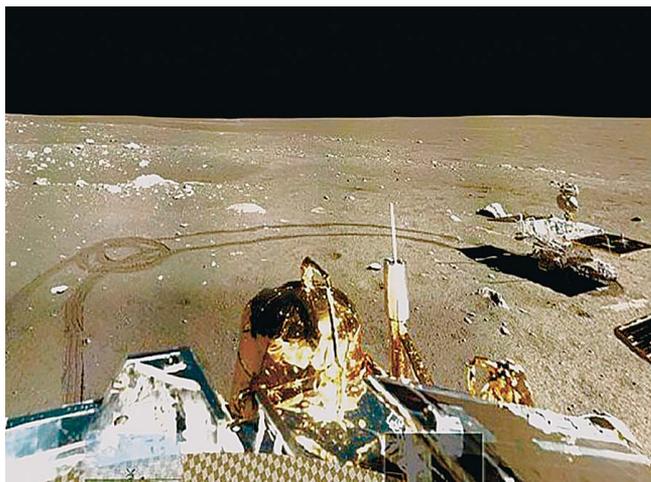
Согласно установленным на сегодня фактам, недра Земли и Луны формировались по разным сценариям. В отличие от нашей планеты недра ее спутника остыли достаточно быстро, через несколько десятков миллионов лет после формирования небесного тела. Это могло привести к тому, что в результате дифференциации лунные недра должны быть сложены из относительно однородных и одинаковых по составу пород. Чтобы проверить эти предположения, исследователям нужно было отыскать “видимые” следы лунной мантии

в достаточно глубоких и древних кратерах, полагая, что при своем возникновении эти образования могли достигнуть ее границы.

Однако за минувшие десятилетия ни один лунный зонд не смог найти достаточно существенных следов пород мантии в крупнейших кратерах на Луне. Это заставило ряд исследователей усомниться в справедливости принятой модели и искать иные версии механизмов формирования лунных недр.

До отправки “Чанъэ-4” на Луну у планетологов не было нужных данных, так как все образцы лунного вещества, доставленные на Землю, являются фрагментами лунной коры, в которых пироксен и оливин, две предполагаемых главных породы мантии, почти полностью отсутствуют.

Луноход “Юйту-2”, по словам китайских исследователей, натолкнулся на оба типа этих пород практически сразу же после того, как он покинул посадочный модуль и начал двигаться по дну кратера Фон Карман. Как предполагают исследователи, источником этих включений мог оказаться один из ближайших кратеров. В любом случае, это открытие больше не позволяет говорить о том, что мантия Луны не содержит оливина и пироксена. Дальнейшие эксперименты, которые китайские ученые планируют провести с помощью “Юйту-2”, помогут проверить и другие версии, описывающие рождение Луны, и понять, какая из них наиболее близка к реальности.



Посадочная станция “Чанъэ-4” и луноход “Юйту-2” на лунной поверхности. 2019 г. Фото NAOJ/CNSA



Восьмой лунный день пребывания посадочной станции “Чаньэ-4” и лунохода “Юйту-2” на обратной стороне Луны преподнес очередную неожиданную находку. В процессе своего движения луноход получил изображения необычного по виду вещества в одном из небольших ударных кратеров диаметром 2 м. Находка оказалась столь интригующей, что команда сопровождения лунохода выполнила довольно сложные перемещения аппарата, для того, чтобы получить более подробные и четкие изображения при наиболее благоприятных условиях освещения. Эти исследования были продолжены, и в сентябре текущего года китайские исследователи опубликовали серию снимков данного района.

После долгих усилий наиболее качественная информация была получена и передана на Землю. В своих первых комментариях специалисты Китайского национального космического управления (CNSA) определили неизвестную субстанцию как “гелеобразное вещество с необычной структурой и загадочным блеском”. Более подробные сведения, в том числе и результаты спектрального анализа, в первых сообщениях отсутствовали.

По мнению некоторых зарубежных исследователей, внешний вид вещества напоминает образец ударного стекла, найденный во время миссии “Аполлон-17” в декабре 1972 г. (ЗиВ, 1973, № 5). Как известно, удары метеоро-

*Следы шасси лунохода показывают, какие сложные маневры были выполнены аппаратом для более подробного изучения загадочной находки. Небольшой кратер, в котором было обнаружено необычное вещество, расположен справа от центра снимка. Фото NAOC/CNSA*

---

ритов, падающих с высокой скоростью, могут расплавлять вещество реголита, образуя стекловидные, магматические и кристаллические структуры.

Исследования обратной стороны Луны, начатые полетом АМС “Луна-3”, продолжаются и на этой долгой дороге нас, несомненно, ожидают еще многие открытия.



*Снимок изучаемого кратера, полученный луноходом “Юйту-2” с наиболее близкого расстояния. Внутри просматривается участок цветного изображения, по которому исследователи могут определить состав вещества. В нижних углах снимка видны изображения колес лунохода. Фото NAOC/CNSA*

---

## МЕДАЛЬ ПОЛЯ ДИРАКА ЗА “РУССКУЮ КОСМОЛОГИЮ”

Б.Е. ШТЕРН,

доктор физико-математических наук

Институт ядерных исследований РАН, Астрокосмический центр ФИАН

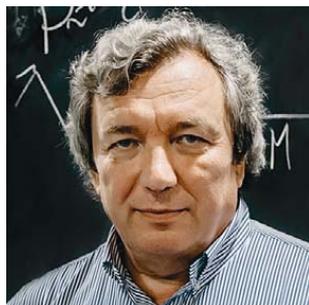
DOI: 10.7868/S0044394819060045

**В** текущем году медаль и премия имени Дирака, учрежденная Международным центром теоретической физики в Триесте, присуждена профессору Вячеславу Федоровичу Муханову, академику Алексею Александровичу Старобинскому и академику Рашиду Алиевичу Сюняеву. Официальная формулировка такова: “За выдающийся вклад в физику реликтового микроволнового излучения, экспериментальные исследования которого помогли превратить космологию в точную научную дисциплину путем сочетания физики микромира с исследованиями крупномасштабной структуры Вселенной”. Вообще говоря, очередная премия этим лауреатам – довольно обычная вещь, каждый из них получил по несколько престижных наград. И все же именно за этой стоит интереснейшая история, которую стоит еще раз рассказать. Попробуем объяснить, что

это за “выдающийся вклад”. У каждого из них он свой, но все трое связаны общей темой и исторической логикой.

Хронологически первой была работа Р.А. Сюняева и Якова Борисовича Зельдовича по акустическим осцилляциям – она дала мощный инструмент исследования ранней Вселенной: анизотропию реликтового излучения. Этот инструмент впоследствии подтвердил теоретические выводы Старобинского и Муханова, относящиеся к теории космологической инфляции.

История начинается с прорывной работы Андрея Дмитриевича Сахарова про акустические осцилляции в ранней Вселенной. В свои первые мгновения Вселенная не могла быть однородной: этому препятствовали квантовые флуктуации пространства – чем выше плотность энергии, тем сильнее эти флуктуации. Неоднородности в любой среде, где давление играет существен-



Лауреаты медали и премии Дирака 2019 года: профессор В.Ф. Муханов, академик А.А. Старобинский, академик Р.А. Сюняев. Фото: Википедия

ную роль, приводят к звуковым (акустическим) колебаниям среды. Ранняя Вселенная представляла собой смесь фотонов и барионов, выступающих как единая упругая среда. Давление обеспечивали фотоны – именно в них “сидела” основная плотность энергии Вселенной. Это называется “радиационно-доминированной стадией”, при которой скорость звука равнялась трети скорости света. Потом, когда Вселенная остыла из-за своего расширения, фотоны уступили первенство барионам, давление упало, скорость звука упала и волны фактически застыли.

Ключевой момент в работе Сахарова: все акустические колебания стартовали с общей фазы – это одновременно размороженные стоячие волны. В самые первые мгновения флуктуации плотности не могли колебаться, они были заторможены так называемым “хаббловским трением”. Уравнения колебаний упругой среды в расширяющемся пространстве аналогичны уравнению маятника с трением, причем “трение” пропорционально темпу расширения Вселенной. У всех была фаза 0: максимальная амплитуда и нулевая скорость изменения. Очень быстро темп расширения замедлился, хаббловское трение упало, и волны побежали: их фаза стала меняться. При этом те, у которых в любой данный момент фаза составляла  $\pi$ ,  $2\pi$ ,  $3\pi$  и т.п. имели максимальную амплитуду, а волны с фазой  $\pi/2$ ,  $3\pi/2$ ,  $5\pi/2$  – минимальную. Потом, когда основной энергетический бюджет переходит от излучения к веществу, скорость звука падает на порядки величины, волны снова застывают и “записываются” в виде неоднородностей Вселенной. Причем ампли-

туда неоднородностей в зависимости от их размера должна описываться осциллирующей функцией (одной из функций Бесселя) – бугры, соответствующие фазам с целым значением  $\pi$ , и провалы – с полусцелым. Этот эффект был назван сахаровскими осцилляциями, сейчас его чаще называют акустическими осцилляциями.

К сожалению, Сахаров делал свои расчеты для неправильной модели Вселенной – холодной и плотной. Эта модель была популярна у нас в начале 60-х гг., за нее активно ратовал Зельдович. Там тоже работал вышеописанный механизм: в холодной Вселенной скорость звука сначала равна трети скорости света, затем резко падает.

Сахаров рассмотрел и другой важнейший вопрос – о начальных флуктуациях плотности Вселенной. Начальные неоднородности нужны для образования структур – галактик и их скоплений. В изначально однородном расширяющемся пространстве никакие структуры не успевают образоваться. Сахаров не получил вдохновляющих результатов: у него неоднородности по размеру дорастали лишь до таких, которые могут сгуститься в карликовые звезды: ни о каких галактиках там речи идти не могло. Идея была провидческой, но до ее триумфа оставались десятилетия.



Академик Я.Б. Зельдович

После открытия реликтового излучения “холодная модель” отправилась в архив, уступив концепции горячей Вселенной. Там сценарий акустических волн прекрасно работал, но выглядел по-другому, надо было все пересчитывать. Первыми это сделали Р.А. Сюняев с Я.Б. Зельдовичем, опубликовав соответствующую статью в 1970 г. Получилась намного более впечатляющая картина: эффект акустических осцилляций не просто отражается в флуктуациях плотности, но еще должен быть записан в неоднородностях карты реликтового излучения, которые чувствительны к параметрам ранней Вселенной и, в принципе, могут наблюдаться. Правда, в статье отмечалось, что эффект мал, тем не менее, это сработало через много лет: с конца 1990-х гг. акустические осцилляции стали самым мощным инструментом в космологии. Через 40 лет после работы Сюняева и Зельдовича с помощью именно этого инструмента подтвердились выводы Старобинского и Муханова.

Этот же авторский коллектив подарил миру еще один полезный инструмент исследования в космологии: эффект Сюняева–Зельдовича. Скопления галактик заполнены горячим газом (температура порядка  $10^8$  К), который прекрасно виден в рентгене: частицы сталкиваются друг с другом, излучая рентгеновские фотоны (тормозное излучение). Но там есть и другой процесс: горячие электроны<sup>1</sup> рассеиваются на

фотонах реликтового излучения, пересекающих скопление и “подпикивают” их, передавая небольшую часть своей энергии. Тепловой спектр реликтового излучения немного деформируется: его низкоэнергетическое плечо (так называемая область Релея–Джинса) обедняется, а высокоэнергетическая часть (область Вина) – обогащается. Поэтому, если смотреть на небо в сантиметровых волнах, скопления галактик будут

выглядеть чуть холодней (тусклее) среднего фона, а если на волнах меньше миллиметра – теплей (ярче). С одной стороны, эффект вносит коррективы в карту реликтового излучения, которые необходимо учитывать. С другой стороны, он дает способ измерения и подсчета скоплений галактик в современной Вселенной. Этот инструмент в конечном счете дал дополнительную точку опоры в прецизионном измерении параметров Вселенной.

В 60-х и 70-х годах прошлого века в космологии сложилась противоречивая ситуация: с одной стороны – триумфальное подтверждение концепции Большого взрыва и модели горячей Вселенной, с другой – целый ряд парадоксов. Начальные условия Большого взрыва должны были быть настроены фантастически точно, чтобы получилась наша Вселенная – огромная, однородная, пригодная для житья. Кто установил такие начальные условия? Местоимение “кто” здесь не случайно – духовенство приветствовало теорию Большого взрыва, видя в ней научно обоснованный акт творения.

средняя энергия окружающих фотонов, поэтому и может часть ее отдать фотону при рассеянии. — *Прим.ред.*

*В 60-х и 70-х годах прошлого века в космологии сложилась противоречивая ситуация: с одной стороны – триумфальное подтверждение концепции Большого взрыва и модели горячей Вселенной, с другой – целый ряд парадоксов. Начальные условия Большого взрыва должны были быть настроены фантастически точно, чтобы получилась наша Вселенная*

<sup>1</sup> Термин “горячие” следует понимать в том смысле, что такие частицы обладают очень высокими энергиями. В данном случае, “горячий” электрон имеет энергию на много порядков выше, чем

Первые идеи по поводу механизма, который мог сыграть роль “божественного творения” безо всякого Творца, появились в 1970-х. Одним из первых, кто высказал правильные догадки, был наш соотечественник Эраст Борисович Глинер, работавший в Ленинградском Физико-техническом институте.

Вскоре после создания общей теории относительности Эйнштейн предложил ее модификацию: ввел в свои уравнения так называемый “лямбда-член”. Оригинальные уравнения связывали свойства пространства (метрику) с материей (тензор энергии-импульса). Эйнштейн добавил некую константу, действующую во всем пространстве, – она приводила к “саморасталкиванию” пространства. Так Эйнштейн пытался “спасти” стационарную Вселенную. В результате появилось космологическое решение де Ситтера: пустая Вселенная экспоненциально расширяется за счет расталкивающего действия лямбда-члена.

Э.Б. Глинер обратил внимание на то, что аналог лямбда-члена в ранней Вселенной можно получить из физики: если подставить в правую часть уравнений Эйнштейна скалярное поле (простейшее физическое поле с одной компонентой), заполняющее всю Вселенную, то оно абсолютно точно имитирует тот самый эйнштейновский лямбда-член. Тот самый, который Эйнштейн ввел для противодействия самотяготению Вселенной. Эйнштейн отказался от лямбда-члена, а он вернулся “через окно” – через теорию поля. Скалярное поле в отсутствие вещества дает точно такое же решение де Ситтера, как и лямбда-член Эйнштейна.

Сама по себе догадка Глинера была неудачно применена – использована в сце-



*Э.Б. Глинер, фотография начала 1970-х гг.*

нарии “отскока”, популярного в то время: Вселенная сжимается и, благодаря переходу на режим де Ситтера, переходит к расширению без сингулярности. Именно из-за этого Зельдович встретил идею Глинера в штыки: при сжатии Вселенной не может быть вакуума, хоть и со скалярным полем: там будет огромная энтропия, неустойчивости и огромное давление. Но вместе с водой, как оказалось, выплеснули и ребенка.

Следующий шаг сделал А.А. Старобинский. Он понял, что при очень быстром расширении Вселенной вакуум меняется: у него появляется ненулевая плотность энергии. Это похоже на динамический эффект Казимира: расширение пространства влияет на нулевые колебания вакуума. Он рассчитал эффект и показал, что даже без всяких скалярных полей в быстро расширяющейся Вселенной появляются силы, заставляющие ее расширяться по экспоненте – в режиме де Ситтера. Вдобавок он показал, как этот механизм приводит к большому взрыву: как экспоненциально расширяющаяся пустая Вселенная превращается в горячую плазму, продолжающую расширяться по инерции.

И опять этот замечательный механизм был вставлен в неправильный сценарий! В работе Старобинского то ли мир де Ситтера существовал изначально неопределенное время, то ли образовался в результате сжатия предшествующей Вселенной. Работа натолкнулась на критику, но ее уже восприняли куда серьезней, чем статью Глинера, поскольку здесь, независимо от сценария, был предложен новый красивый механизм. Я.Б. Зельдович высказался в том духе, что механизм Старобинского может описывать возникновение Вселенной из ничего. Главное то, что с помощью данного механизма все парадоксы решаются автоматически: Вселенная оказывается огромной и в среднем однородной – она за мгновения раздувается на много порядков величины, а трехмерное пространство с высокой точностью оказывается плоским, евклидовым.

Впоследствии этот механизм был назван космологической инфляцией (от слова *inflation* – раздувание). Модель Старобинского была признана не сразу, но сейчас она дает наилучшее согласие с данными, выглядит самой естественной и не требует введения новых сущностей. По своей природе “мотором”, раздувающим Вселенную в модели Старобинского, служит динамический эффект Казимира. Никаких дополнительных полей-инфлатонов не требуется. Ключевая работа Алексея Александровича об этом опубликована в 1980 г.

В.Ф. Муханов примерно в то же время сделал еще один важнейший шаг. Они вместе с Геннадием Васильевичем Чибисовым задались тем же вопросом, что и Сахаров в первой половине 60-х: как из квантовых эффектов получить неоднородности больших масштабов, достаточных для того, чтобы из них образовались галактики. Изначаль-

но неоднородности за счет квантовых эффектов рождаются микроскопическими, могут ли они из-за расширения Вселенной дорости до мегапарсеков, чтобы потом сгуститься из-за самогравитации и превратиться в галактики?

Пока Муханов с Чибисовым пробовали варианты Вселенной с обычным веществом, ничего не получалось. Конечно размеры возмущений оказывались маленькими, как и у Сахарова. Наконец, они прикинули, что происходит, если Вселенная стартовала с режима де Ситтера, и все получилось. Квантовые возмущения, растягиваясь экспоненциально, успевали дорости до любых размеров. И это был новый мощный аргумент: де ситтеровская стадия не толь-

ко решала парадоксы большой плоской однородной Вселенной, но и объясняла возникновение первичных неоднородностей больших масштабов, которые были нужны, как воздух, для понимания мира, в котором оказалась возможна жизнь.

То есть галактики, без которых невозможны звезды и жизнь, происходят от микроскопических квантовых флуктуаций вакуума. Эта идея вначале вызвала бурное противостояние части коллег, но вскоре стала общепринятой.

Муханов с Чибисовым быстро написали статью и отправили ее в международный журнал, но из-за проблем с английским у авторов и проблем с международными коммуникациями в стране, статья была опубликована только через два года (в 1982 г.). К тому времени теория инфляции (этот термин уже вошел в обиход) уже стала признанной, и статья потеряла приоритет.

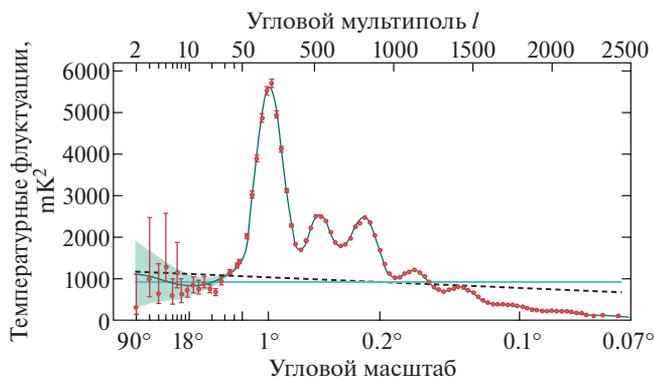
Но размер первичных неоднородностей – далеко не вся история. Еще важен их спектр: как меняется амплитуда неоднородностей с их размером. Естественным предположением был так называе-

*Галактики, без которых невозможны звезды и жизнь, происходят от микроскопических квантовых флуктуаций вакуума*

мый плоский спектр: амплитуда всех флуктуаций одинакова вне зависимости от размера. Так ли это? Здесь требовались аккуратные расчеты возмущений и конкретная модель космологической инфляции.

Тут надо упомянуть еще Владимира Николаевича Лукаша, который чуть раньше опубликовал работу по рождению неоднородностей метрики из нулевых флуктуаций вакуума, решив задачу в общем виде. Муханов, независимо решивший ту же задачу, пошел дальше и посчитал спектр возмущений в рамках конкретной модели. Это была именно модель Старобинского. Оказалось, что спектр близок к плоскому, но не совсем плоский: большие по размеру возмущения немного контрастнее, чем мелкие. Если говорить в терминах степенного показателя спектра, то одинаковый контраст на разных масштабах будет выражаться значением показателя, равным 1. Муханов вычислил, что в случае инфляции по сценарию Старобинского он должен быть равен 0,96. Грубо говоря, это отклонение происходит из-за того, что в тот момент, когда возникли квантовые флуктуации, давшие наблюдаемые неоднородности Вселенной, инфляция уже немного притормаживала, из-за чего возмущения, родившиеся раньше, оказались сильнее. Несмотря на свою малость, это очень важный эффект в смысле диагностики процессов, происходивших в первые мгновения. Единственный способ увидеть этот эффект – провести тонкие измерения неоднородностей реликтового излучения.

Статья В.Ф. Муханова и Г.В. Чибисова по спектру первичных возмущений плотности Вселенной была опубликована в “Журнале экспериментальной и теоретической физики” в 1981 г. и практи-



*Угловой спектр анизотропии реликтового излучения (разложение карты реликтового излучения по мультиполям). Кривая с провалами и максимумами – как раз и есть то, что называется “акустическими осцилляциями”. Точки – результаты измерений телескопом “Планк”, кривая – результат подгонки шестью параметрами в рамках модели  $\Lambda$ CDM. Горизонтальная прямая – плоский спектр первичных возмущений, чуть наклоненная пунктирная прямая – схематичное изображение спектра, вычисленного В.Ф. Мухановым*

чески сразу была признана научной общественностью. Трудно сказать, верили ли авторы тогда, в начале 1980-х, в то, что их выводы могут быть в обозримое время проверены наблюдениями. Тогда вообще не видели никаких неоднородностей реликтового излучения, никакой анизотропии. До открытия самого факта анизотропии оставалось больше 10 лет, до ее точных измерений – четверть века.

Продолжение этой истории, которое можно назвать триумфом, состоялось в 2000-х. В 2001 г. был запущен космический микроволновый телескоп WMAP (NASA), проработавший до 2009 г. Он получил великолепные карты реликтового излучения, где прекрасно были видны неоднородности разных масштабов – от 90 градусов до десятых долей градуса. Это “детский снимок” Вселенной, на которой ей всего 380 тысяч лет – тогда произошла рекомбинация водорода, и про-

странство стало прозрачным. На разложении этой карты по угловым мультиполям были прекрасно видны те самые акустические осцилляции, которые были предсказаны Сахаровым и более реалистичная теория которых разработана Сюняевым и другими авторами.

Но какой первичный спектр возмущений надо заложить, чтобы он с момента Большого взрыва до рекомбинации водорода переработался именно в такую картину? Вначале для описания результатов успешно использовался плоский спектр. Но еще до окончания работы WMAP все уверенней выявлялось отклонение – именно такое, как предсказано в статье Муханова и Чибисова: спектральный индекс 0.96 вместо тривиальной единицы.

В 2011 г. был запущен новый микроволновый телескоп “Планк” (ЕКА), превосходящий WMAP по чувствительности и угловому разрешению. Угловой спектр неоднородностей реликтового излучения показан на рисунке. Обратите внимание на фантастическое согласие теории (зеленая кривая) и экспериментальных точек. Подгонка точек сделана в рамках современной модели Вселенной, так называемой  $\Lambda$ CDM – с темной энергией ( $\Lambda$ ) и “холодной” темной материей. Для подгонки использовано всего 6 параметров (подогнать столь сложную кривую шестью параметрами – все равно, что убить шестью выстрелами 30 зайцев), причем полученные параметры совпали с предсказанными или полученными из других данных значениями.

Расчеты Муханова, сделанные в рамках модели Старобинского, подтвердились с еще большей точностью. Кстати, и сама модель Старобинского стала сильно выигрывать в достоверности по сравнению с более тривиальными моделями космологической инфляции.

Итак, измерения космических микроволновых телескопов WMAP и “Планк” в точности подтвердили предсказания

В.М. Муханова и А.А. Старобинского, сделанные за три десятка лет до того. Подтверждение было проведено с помощью эффекта, вычисленного Р.А. Сюняевым с Я.Б. Зельдовичем и другими космологами почти за 40 лет до этих измерений. Так что термин “триумф” применим к этой истории без всяких натяжек.

У теории космологической инфляции, кроме Муханова и Старобинского, есть и другие отцы. Прежде всего это Алан Гут и Андрей Дмитриевич Линде. Первый больше всех способствовал смене космологической парадигмы, написав настолько ясную хорошо аргументированную статью, что научная общественность поверила: нечто подобное должно работать. Он же ввел термин “инфляция”. Но сам сценарий, предложенный А. Гуттом, оказался неправильным. А.Д. Линде как раз разработал реалистичный сценарий под названием “хаотическая инфляция” – достаточно простой и естественный (1983 г.). Далее, Линде выдвинул сценарий “вечной инфляции” – мощнейшую концепцию в мировоззренческом плане.

Конечно, все пятеро упомянутых выше ныне здравствующих космологов (А. Гут, А.Д. Линде, В.Ф. Муханов, А.А. Старобинский, Р.А. Сюняев) получили уже много разных премий, причем большинство сравнительно недавно – после измерений угловой анизотропии реликтового излучения (впрочем, у Р.А. Сюняева немало премий за другие работы). Премии российским космологам за прорывные работы последней четверти прошлого века по-прежнему исправно присуждаются. С этими работами связана целая эпоха – период “бури и натиска” в космологии, в которой российские ученые сыграли чуть ли не ключевую роль. В “иконостасе” всех перечисленных не хватает лишь одной премии – Нобелевской. Пока не хватает. Я уверен, что наша космологическая школа ее заслужила.

## ПЕРВЫЕ ПОЛЕТЫ К ЛУНЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

DOI: 10.7868/S0044394819060057

**60 лет назад состоялись первые запуски к Луне советских и американских автоматических межпланетных станций.**

Академик Б.Е. Черток в мемуарах “Ракеты и люди” подробно рассказал, с чего начинался штурм Луны: “В январе 1958 г. М.В. Келдыш направил лично С.П. Королёву письмо с грифом “секретно”, в котором писал, что успешный запуск двух искусственных спутников Земли позволяет перейти к решению проблемы о посылке ракеты на Луну. В этом письме предлагались только два варианта:

“...1. Попадание в видимую поверхность Луны. При достижении поверхности Луны производится взрыв, кото-

рый может наблюдаться с Земли. Один или несколько пусков могут быть осуществлены без взрыва, с телеметрической аппаратурой, позволяющей производить регистрацию движения ракеты к Луне и установить факт ее попадания.

2. Облет Луны с фотографированием ее обратной стороны и передачей изображения на Землю. Передачу на Землю предлагается осуществить с помощью телевизионной аппаратуры при сближении ракеты с Землей. Возвращение на Землю материалов наблюдений является более трудной задачей, ее решение может



М.К. Тихонравов и С.П. Королёв на Всесоюзной конференции по ракетным исследованиям верхних слоев атмосферы. АН СССР, апрель 1956 г.

мыслиться только в дальнейшем.

Решение указанных задач связано с необходимостью преодоления ряда серьезных технических трудностей”<sup>1</sup>.

Первые документы по теме исследования Луны относятся к маю 1954 г. Например, в докладной записке “Об искусственном спутнике Земли” заместитель начальника НИИ-4 Минобороны СССР М.К. Тихонравов (соратник С.П. Королёва; ЗиВ, 2000, № 4), в разделе “Проблема достижения Луны”, отметил: “...каким должно быть изделие, чтобы в конце

активного участка была получена скорость 11,2 км/с, достаточная для достижения орбиты Луны, с условием или падения на нее, или облета вокруг нее с возможным возвращением на Землю”<sup>2</sup>. 25 сентября 1955 г., выступая на юбилейной сессии МВТУ

<sup>1</sup> Черток Б.Е. Ракеты и люди. Фили-Подлипки–Тюратам. 2-е изд., книга 2. М.: Машиностроение, 1999.

<sup>2</sup> Первый пилотируемый полет. Российская космонавтика в архивных документах. В 2-х книгах. Кн. 1. М.: Родина-МЕДИА, 2011. С. 41.



Главный конструктор С.П. Королёв  
и Президент АН СССР М.В. Келдыш

им. Н.Э. Баумана с докладом “К вопросу о применении ракет для исследования высоких слоев атмосферы”, С.П. Королёв также коснулся лунной темы, изложив характеристики полета к Луне. В апреле 1956 г. на Всесоюзной конференции по ракетным исследованиям верхних слоев атмосферы, проходившей в АН СССР, С.П. Королёв в числе перво-степенных задач поставил вопрос о полете на Луну: “Реальной задачей является разработка полета ракеты на Луну и обратно от Луны... Это перспективы реальные и не такие уж далекие”. В том же году Главный конструктор в записке “Ближайшие перспективы по изучению космоса”, относящейся к планам работы предприятия ОКБ-1 (ныне – РКК “Энергия” им. С.П. Королёва), написал важные пункты: “Исследование перспектив полета к Луне” и “Задачи по определению перспектив создания ракет для изучения Луны”<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Королёв С.П. и его дело. Свет и тени в истории космонавтики. Под общей редакцией академика Б.В. Раушенбаха, составитель Г.С. Ветров. М.: Наука, 1998. С. 198, 214–215.

В январе 1958 г. Главный конструктор выступил с докладом “О программе исследования Луны”, в котором обосновал предлагаемые М.В. Келдышем проекты. В начале марта 1958 г. С.П. Королёв и М.К. Тихонравов подготовили и представили в ЦК КПСС и Совет министров СССР записку “О перспективных работах по освоению космического пространства”. Постановлением Правительства от 20 марта 1958 г. “О запусках космических объектов в направлении Луны” (программа “Е”) предусматривалась разработка лунной станции, трехступенчатой ракеты 8К72 на базе ракеты Р-7 с целью достижения второй космической скорости полета и доставки станции на Луну (первый вариант) или облет ею Луны (второй вариант). Необходимо было создать особо точную систему управления полетом, новое наземное стартовое оборудование и измерительные пункты. Время на проектно-конструкторскую разработку, изготовление и отработку было минимальным: нужно было сохранить приоритет СССР в освоении космоса и исследовании Луны.

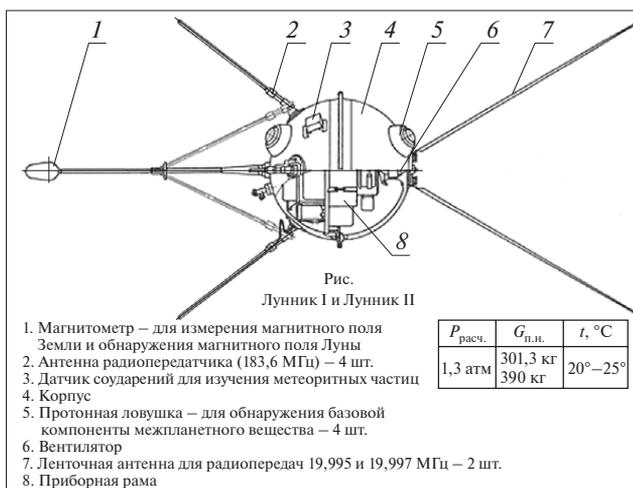
Предусматривалась разработка в ОКБ-1 нескольких типов автоматических лунных станций (они назывались “лунниками”) с различными задачами: Е-1 – попадание на Луну с доставкой на ее поверхность вымпела СССР (при скорости прилунения более 3 км/с); Е-2 – облет Луны и фотографирование ее обратной стороны с передачей изображения по радиоканалу на Землю; Е-2А – запасной вариант Е-2 (применялся другой тип фототелевизионного устройства); Е-3 – жесткая посадка на Луну с фиксацией события яркой вспышкой на лунной поверхности (этот тип не запускался). Постановлением от 2 сентября 1958 г. был запланирован запуск космической ракеты к Луне в сентябре 1958 г., тогда же были утверждены программы пусков станции Е-1 (вариант попадания) и станции Е-2А (вариант облета).

В те же годы в США в научных кругах и на высшем уровне обсуждались аналогичные планы запусков космических аппаратов к Луне. 25 февраля 1958 г. командование ВВС США, где разрабатывались лунные программы, обратилось к Конгрессу за поддержкой, чтобы запустить в этом году ракету к Луне. Помощник по исследованиям главы штаба ВВС генерал-лейтенант Д.Л. Путт попросил сенатский комитет по делам вооруженных сил одобрить такой проект. Ученый подразделения “Конвэйр” корпорации “Дженерал Дайнамикс” Краффт А. Эрике на конференции Ассоциации ВВС представил график полетов к Луне: в период с 1958 по 1964 г. – ракета подлетит близко к Луне, затем одна упадет на нее, другая облетит ее и совершит управляемую посадку на поверхности Луны. 27 марта 1958 г. армия и ВВС США по поручению министра обороны подготовили программу пусков к Луне<sup>4</sup>.

Президент Дуайт Эйзенхауэр одобрил план “Мона” под покровительством Агентства перспективных исследовательских проектов, в который входил запуск нескольких лунных автоматических станций серии “Пионер” (Pioneer). Они были запущены в 1958–1960 гг. с помощью ракет-носителей “Тор-Эйбл”, “Юнона-2” и “Атлас-Эйбл”, разработанных компаниями “Дуглас Эйркрафт”, “Крайслер” и “Конвэйр”.

В 1958–1960 гг. в СССР было принято девять пусков к Луне автоматических станций массой 280–390 кг (23 сентября, 11 октября и 4 декабря 1958 г.; 2 января, 18 июня, 12 сентября

<sup>4</sup> Афанасьев И.Б., Воронцов Д.А. “Первая космическая гонка: поединок за спутник”. М.: Фонд “Русские Витязи”, 2017.



Автоматическая лунная станция серии “Е”. 1958 г. Чертеж. РГАНТД



Краффт А. Эрике демонстрирует проекты ракет и космических аппаратов для полета к Луне. 1958 г.

и 4 октября 1959 г.; 15 и 19 апреля 1960 г.)<sup>5</sup>. Из девяти запусков один был частично удачным (“Луна-1” – пролет около Луны и первая искусственная планета Солнечной системы) и только два полета смогли полностью выполнить задачи (“Луна-2” достигла поверхности Луны, а “Луна-3” сфотографировала ее обратную сторону).

<sup>5</sup> Маров М.Я., Хантресс У.Т. Советские роботы в Солнечной системе. Технологии и открытия. 2-е изд. М.: Физматлит, 2017.



Аппараты первого типа "Пионер-0" – "Пионер-2" (США) для полетов к Луне. Фото NASA

Старт ракеты-носителя "Тор-Эйбл" с АМС "Пионер-0" на борту. Космодром Мыс Канаверал, 17 августа 1958 г. Фото NASA



В США по программе "Пионер" с аналогичными задачами полетов запущены с космодрома Мыс Канаверал тоже девять станций трех типов массой 6–168 кг, которые заканчивались авариями ракет-носителей или недобором скорости полета.

Аппараты первого типа ("Пионер-0" – "Пионер-2") имели форму двух усеченных конусов с цилиндрической вставкой между ними диаметром 73,6 см и массой 38 кг, корпус изготовлялся из стекловолокна. Система связи состояла из двух передатчиков, работавших на частотах 108,06 МГц (передача телеметрических данных) и 108,09 МГц (передача изображения обратной стороны Луны). Сигнал передавался через две штыревые антенны, расположенные в задней части аппарата. Питание обеспечивалось химическими батареями. Научное оборудование состояло из телевизионной системы для получения снимков обратной стороны Луны, ионизационной камеры для измерения космической радиа-

ции, трех магнитометров для измерения магнитного поля между Землей и Луной и обнаружения магнитного поля Луны, датчика микрометеоритов.

17 августа 1958 г. в США была предпринята первая попытка послать с мыса Канаверал в окрестности Луны зонд с научной аппаратурой. Она оказалась неудачной. Ракета-носитель "Тор-Эйбл" с АМС "Пионер-0" массой около 38 кг запускалась по программе Международного геофизического года, она пролетела всего 16 км: первая ступень взорвалась на 77-й секунде полета. 11 октября того же года была предпринята

вторая попытка запуска аналогичной станции "Пионер-1", также оказавшаяся неудачной – она не набрала необходимой скорости, достигнув высоты 113 800 км опять возвратилась к Земле и сгорела в атмосфере. 8 ноября "Пионер-2" не достиг цели, набрав высоту 1550 км<sup>6</sup>.

Второй тип аппаратов ("Пионер-3" и "Пионер-4"), запускаемые с помощью четырехступенчатой РН "Юнона-2", имел форму конуса высотой 58 см, диаметром 25 см и массой около 6 кг. Корпус был изготовлен из стекловолокна и покрыт золотой пленкой для электропроводности. Окраска из черных и белых полос нанесена для поддержания стабильной температуры от 10 до 50° С. На вершине конуса установлена штыревая антенна для связи

<sup>6</sup> Баевский А.В. "Космические автоматические аппараты США для изучения Луны и окололунного пространства (1958-1968 гг.). Космонавтика, т. 1". Серия "Итоги науки и техники". М.: ВИНТИ, 1971.

с Землей. В основании конуса находилось кольцо из ртутных батарей, обеспечивающих аппарат энергией. Передатчик массой 0,5 кг работал на частоте 960,05 МГц и излучал сигнал мощностью 0,18 Вт. В полете станция стабилизировалась вращением со скоростью 400 оборотов в минуту. На АМС устанавливалась телевизионная система с фотоэлектрическим датчиком, который должен был сработать от света Луны при подлете к ней для съемки<sup>7</sup>.

6 декабря 1958 г. стартовал “Пионер-3”, из-за преждевременного включения первой ступени программа полета не была выполнена, хотя станция достигла расстояния 102 300 км от Земли, передав ценные данные, полученные при прохождении радиационных поясов Земли как при движении в сторону Луны, так и при возвращении к Земле.

Частично удачным был запуск 3 марта 1959 г. “Пионера-4” массой 5,8 кг – он стал первым американским аппаратом, развившим вторую космическую скорость. Станция должна была пролететь мимо Луны на расстоянии около 24 тыс. км, но вторая ступень проработала на 1 с дольше, чем было запланировано, и расстояние пролета мимо Луны увеличилось до 60 тыс. км, поэтому АМС не смогла произвести съемку Луны из-за большой удаленности от нее. Так же как и “Пионер-3”, “Пионер-4” передал данные о радиационных поясах Земли, так как на его борту располагался счетчик Гейгера – Мюллера. После облета

<sup>7</sup> Гэтленд К., Шарп М. “Космическая техника” (пер. с англ.). М.: Мир, 1986.



Второй тип аппаратов “Пионер-3” и “Пионер-4” (а), запущенные с помощью РН “Юнона-2” (б). Фото NASA

Луны станция вышла на гелиоцентрическую орбиту, наземные станции наблюдения потеряли с ней связь на расстоянии 654 800 км от Земли.

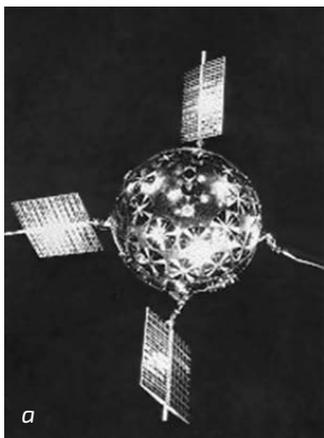
Третий тип аппаратов серии “Пионер П-3” массой 168 кг имел форму сферы диаметром 1 м, длина вместе с двигательной установкой – 1,4 м, размах солнечных батарей – 2,7 м. На корпусе из алюминиевого сплава массой 25,3 кг были укреплены четыре панели солнечных батарей, каждая размером 60 × 60 см. Внутри сферы большую часть объема занимали сферические топливные баки с гидразином и азотной кислотой, а также тормозной двигатель, который должен был замедлить скорость полета станции для выхода на окололунную орбиту. Вокруг бака с гидразином располагалась научная аппаратура, химические аккумуляторы, два 5-ваттных передат-



Конструктор, доктор Вернер фон Браун, ученые Джон Касани и доктор Джеймс Ван Аллен с макетом АМС "Пионер-4".  
1 марта 1959 г. Фото NASA

чика и системы управления. Научное оборудование состояло из ионизационной камеры и счетчика Гейгера – Мюллера для измерения общей радиации, осциллирующего контура для измерения излучения с низкой энергией, катушки магнитометра, датчика микрометеоритов и телевизионной камеры. Общая масса научных инструментов, включая электронику и блок питания, составила 55 кг.

24 сентября 1959 г. при попытке запуска станции серии "Пионер П-3" с помощью РН "Атлас-Эйбл" произошла авария



Третий тип аппаратов серии "Пионер П-3" массой 168 кг (а), которые запускались РН "Атлас-Эйбл" (б). Фото NASA



на участке выведения. 26 ноября станция упала в Атлантический океан в результате разрушения головного обтекателя во время старта. 25 сентября 1960 г. отказала вторая ступень "Эйбл" ракеты-носителя и станция сгорела в атмосфере. Последний запуск 15 декабря 1960 г. тоже не удался – ракета-носитель взорвалась на 68-й секунде полета на высоте 13 км.

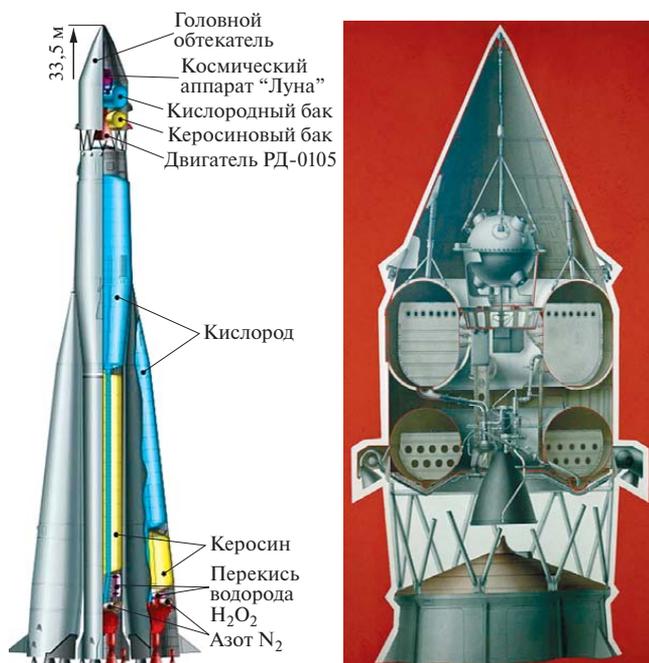
В результате в лунной гонке выиграл СССР, однако, как подчеркнул Б.Е. Черток: "В то время такие жесткие требования для нас были новыми и трудными... Но какая же это была адская, увлекательная и азартная работа!"<sup>8</sup>. В кратчайшие сроки параллельно с созданием автоматических станций и наземной инфраструктуры коллективами ОКБ-154 (главный конструктор С.М. Косберг, ныне КБ химавтоматики) и ОКБ-1 (ведущий конструктор М.В. Мельников) был разработан первый отечественный кислородно-керосиновый двигатель 8Д714 (РО-5, РД-0105), запускаемый в вакууме и предназначенный для третьей ступени ракеты-носителя "Восток-Л" (8К72). Ракетный блок "Е" (в его разработке от ОКБ-1 участвовали П.И. Ермолаев, С.С. Крюков, Я.П. Коляко и др.) имел начальную массу 8 т, в том числе массу топлива около

7 т, массу полезной нагрузки 350–450 кг, ЖРД массой 130 кг имел тягу 5 тс и время работы 454 сек. Блок "Е" устанавливался на вторую ступень, что привело к изменению весовых, инерционных и других характеристик центрального блока "Д". Поэтому попытки первых запусков объектов серии "Е-1" к Луне в 1958 г. окончились авариями.

<sup>8</sup> Черток Б.Е. Ракеты и люди. Лунная гонка. 2-е изд., книга 4. М.: Машиностроение, 1999.

Стабилизация блока “Е” осуществлялась специальными соплами на отработанном газе (после турбо-насосного агрегата) по командам автономной системы управления. Впервые предусматривалось поперечное деление ступеней ракеты с запуском двигателя в условиях вакуума. Система управления третьей ступенью разрабатывалась в ОКБ-885 (ныне Акционерное общество “Российские космические системы”) под руководством академика Н.А. Пилюгина. Как вспоминали ветераны ОКБ-1 – разработчики блока “Е”: «Самой трудной была задача “перехвата” управления после его отделения от центрального блока. Нельзя было допустить больших отклонений гиро-

скопов. Если они сядут на “упор”, управление будет потеряно. Выправить ступень, а затем надежно ею управлять в течение почти 6 минут разгона к Луне и точно выключить по набору нужной кажущейся скорости – такой была новая задача. На участке разгона, пока работают системы управления трех ступеней, в течение 725 секунд необходимо сформировать последующую траекторию полета так, чтобы попасть в центр видимого диска Луны» (ЗиВ, 1999, № 6). Отклонение времени старта с Земли от расчетного на 10 секунд или вектора скорости от расчетного направления на 1 угловую минуту привело бы к промаху на 200 км! Баллистики во главе с доктором физико-математических наук Д.Е. Охочимским (Отделение прикладной математики Математического института им. В.А. Стеклова), докторами технических наук С.С. Лавровым (ОКБ-1)



Схемы: а – трехступенчатой ракеты-носителя “Восток-Л” (ВК72) для запусков АМС “Луна” (серии Е-1 и Е-2); б – третьей ступени (блок “Е”) с АМС серии Е-1

и П.Е. Эльясбергом (НИИ-4) выполняли расчеты на первых ЭВМ.

Еще в 1955 г. в ОКБ-1 был создан отдел № 9 по проектированию космических аппаратов, им руководил доктор М.К. Тихонравов. В 1958–1959 гг. группе проектантов этого отдела во главе с Г.Ю. Максимовым удалось сконструировать несколько вариантов лунных станций. “Лунники” типа Е-1 и -1А (“Луна-1” и “Луна-2”) решали следующие задачи: отработка и проверка точности выведения аппаратов на межпланетные орбиты; проверка возможности поддержания радиосвязи с ними на значительных расстояниях; исследование свойств космического пространства между Землей и Луной и вблизи Луны<sup>9</sup>. Во время полета к Луне

<sup>9</sup> Ракетно-космическая корпорация “Энергия”. 1946 – 1996 гг. (сборник под редакцией В.П. Семёнова). М., 1996.



Конструкторы космических аппаратов  
М.К. Тихонравов и Г.Ю. Максимов. РГАНТД

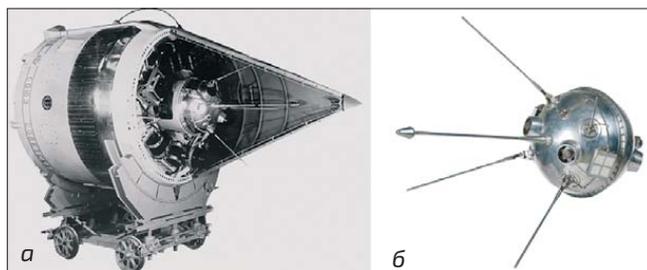
планировалось изучение магнитных полей Земли и Луны, радиационных поясов, космических лучей, метеорных частиц. Станции этой серии были просты по конструкции. Они представляли собой сферический герметичный контейнер массой 187 кг, состоящий из двух алюминево-магниевого полусфер радиусом 0,4 м, соединенных 48 болтами через шпангоуты диаметром 0,85 м. На верхней полусфере размещались четыре стержневые антенны радиопередатчика, работающего на частоте 183,6 МГц, две протонные ловушки для обнаружения межпланетного газа и два детектора (пьезоэлектрические “микрофоны”) для регистрации ударов микрометеоритных частиц. По радиоканалу осуществлялись контроль орбиты и измерение элементов траектории полета. К верхней полусфере крепился магнитометр для измерения магнитных полей Земли и Луны. На нижней полусфере размещались ионные и протонные ловушки для регистрации корпускулярного излучения Солнца, две ленточные антенны радиопередатчика, работающие на частоте 19,993 МГц, передающие данные о параметрах температуры и давления внутри контейнера и научную информацию. Внутри контейнера, заполненного азотом под давлением 1,3 атм, на приборной раме размещались два радиопередатчика, блоки приемников и траекторно-телеметрическая система,

источники питания (серебряно-цинковые аккумуляторы и окисно-ртутные батареи) и научная аппаратура, регистрирующая тяжелые ядра и фотоны в первичном космическом излучении, вариации интенсивности космических лучей и радиации. Температура приборов (+20°C) поддерживалась путем циркуляции газа в оболочке-радиаторе с помощью вентилятора. Станции “Луна-1-3” при запуске располагались в верхней части третьей ступени ракеты-носителя и закрывались сбрасываемым коническим обтекателем. На корпусе третьей ступени размещались два радиопередатчика с антеннами, радиосистема определения траектории полета, сцинтилляционные счетчики космических лучей и аппаратура для создания искусственной натриевой кометы. Общая масса научной аппаратуры не превышала 100 кг<sup>10</sup>.

Старт ракеты с автоматической лунной станцией в оптимальных условиях был возможен в один из трех-четырех заранее известных дней каждого месяца. Отклонение от заданной даты на несколько дней требовало уменьшения полезной нагрузки на десятки килограммов. По такой схеме запускались три первых лунника. Наведение ракеты-носителя на активном участке работы первой ступени проводилось автономной системой управления Н.А. Пилюгина (НИИ-885). На участке работы второй ступени дополнительно к автономной включалась более точная система радиоперехвата по направлению и дальности разработки Б.М. Коноплева, Э.М. Манукяна, М.И. Борисенко и Е.Н. Богуславского (НИИ-885), работой третьей ступени управляла автономная система управления блока “Е”, также разработанная Н.А. Пилюгиным.

<sup>10</sup> Вершинина Л.П. “Работы ОКБ-1 по исследованию Луны. 1954–1964 гг. (к 60-летию первых полетов к Луне)”. Киров, 2019.

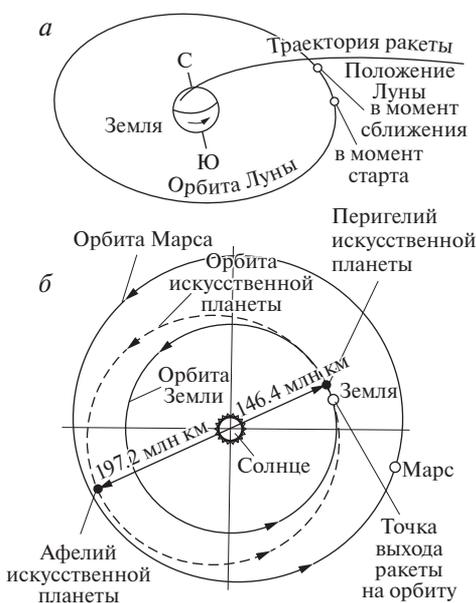
В СССР после трех неудач первый успешный старт в сторону Луны состоялся 2 января 1959 г. Это была “Луна-1” (серия E-1) длиной 1,8 м, диаметром 0,85 м, массой 361 кг, блок “E” имел конечную массу 1472 кг. Станция впоследствии получила название



“Мечта”. Впервые в мире она достигла второй космической скорости полета – 11,2 км/с. Система управления ракеты совместно с наземными радиотехническими средствами обеспечивала ее вывод на требуемую траекторию. Необходимо было достичь скорости, несколько превышающей параболическую. При старте с территории СССР (космодром Байконур) допустимыми считались ошибки: по времени – несколько секунд и по величине начальной скорости – не более нескольких метров в секунду. После выключения двигателя “Луна-1” отделилась от последней (третьей) ступени ракеты-носителя и летела рядом с ней.

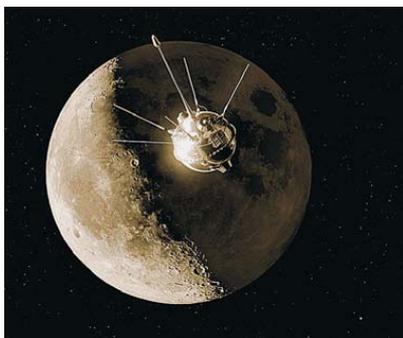
Станция и ступень ракеты вышли на гелиоцентрическую орбиту: перигелий – 146,4 млн км, афелий – 197,2 млн км, период обращения – 450 сут, наклонение орбиты к плоскости эклиптики – 1°. “Луна-1” достигла в районе Луны скорости около 2 км/с, но на Луну все же не попала из-за ошибки в циклограмме полета (двигатель третьей ступени ракеты включился позже расчетного времени). Через 34 ч после старта “Луна-1” и третья ступень ракеты пролетели около цели на расстоянии 6400 км, придя в расчетную точку раньше Луны, и стали первыми в истории искусственными планетами Солнечной системы. Внутри “Луны-1” находились сферический вымпел из стальных пятиугольных элементов с зарядом взрывчатого вещества внутри шара для их разброса и капсула, заполненная жидкостью, в которой раз-

Станция серия E-1 на третьей ступени (блок “E”) ракеты-носителя под головным обтекателем (а) и АМС “Луна-1” (б). РГАНТД



Схемы траектории полета АМС “Луна-1” (а) и орбиты искусственного спутника Солнца “Мечта” (б)

мещались алюминиевые полоски. На вымпелах и полосках были изображены герба, надпись “СССР” и дата запуска. К сожалению, доставить их на Луну в этот раз не удалось. Интересно, что полет станции могли видеть во многих странах благодаря созданию “искусственной кометы”. 3 января 1959 г. на расстоянии 113 тыс. км от



Станция "Луна-1" пролетает около Луны 4 января 1959 г. Рисунок



Вымпелы, доставленные на лунную поверхность АМС "Луна-2"

Земли в космос выбросили натриевое облако массой 1 кг с помощью специального устройства, установленного на третьей ступени ракеты-носителя, которая летела почти по той же траектории, что и отделившаяся от нее станция. Солнечное излучение вызвало свечение паров натрия, и это облако на фоне созвездия Водолея сфотографировали на Земле специалисты. С помощью приборов "Луны-1" впервые зарегистрирован внешний радиационный пояс Земли, установлено отсутствие лунного магнитного поля. Одно из основных достижений – открытие солнечного ветра, его параметры измерили ионные ловушки и счетчики заряженных частиц (ЗиВ, 2009, № 4).

Полет первого "лунника" показал, что попадание в Луну – это вопрос времени и шестой пуск закончился полным триумфом. 12 сентября 1959 г. к Луне стартовала "Луна-2" (копия "Луны-1") массой 390 кг; масса ступени Е без топлива составляла 1511 кг. Станция впервые проложила трассу Земля – Луна. Коррекция траектории не предусматривалась, поэтому для обеспечения попадания в Луну расчетные значения параметров движения в конце активного участка выдержаны исключительно точно. Ошибка скорости движения всего на 1 м/с привела бы

к отклонению точки встречи с Луной на 250 км. Обеспечение столь ювелирного управления представляет собой весьма сложную задачу. Для визуального наблюдения за полетом станции 12 сентября в 21 ч 39 мин 42 с на удалении около 150 тыс. км от Земли с помощью натриевого облака, так же как и при полете "Луны-1", была образована искусственная комета. Она наблюдалась и фотографировалась специалистами обсерваторий многих стран мира в течение 5-6 мин. На трассе перелета проводилось исследование магнитных полей Земли и Луны, радиационных поясов Земли, интенсивности солнечного и космического излучения, газовой компоненты межпланетного вещества, а также регистрировались тяжелые ядра космического излучения и метеорных частиц. "Луна-2" подтвердила, что у Луны отсутствует магнитное поле, вокруг нее нет радиационных поясов, ионизованная оболочка чрезвычайно разряжена, уточнена структура внешнего радиационного пояса Земли. Впервые испытана аппаратура слежения за траекторией полета. По мере приближения к лунной поверхности обнаружено небольшое увеличение концентрации газовой компоненты по сравнению с межпланетным пространством.

14 сентября 1959 г. в 00 ч 02 мин 24 с по московскому времени “Луна-2” достигла поверхности Луны в районе Моря Ясности вблизи кратеров Аристил, Архимед и Автолик. Место жесткой посадки – 30° с.ш. и 1° долготы. Скорость падения на Луну составила 3,3 км/с, угол – 60°. “Луна-2” разбилась, выполнив задачу полета. Место падения “Луны-2” было названо Заливом Лунника. Внутри станции находились вымпелы и капсула с обозначением страны и датой запуска, шар-вымпел был подорван, его пятиконечные элементы, а также полоски с надписями разлетелись и упали на Луну. Как показали данные параметров движения “Луны-2”, третья ступень ракеты также достигла поверхности Луны.

Следующему “луннику” предстояло передать на Землю снимки обратной, невидимой, стороны Луны! Траектория полета станции предусматривала облет Луны и фотографирование за ее диском, поэтому невозможно было сразу передать снимки. Специалисты решили посылать изображения по радиоканалу связи на приемные наземные станции при возвращении станции к Земле. С этой целью выделены и оснащены соответствующей аппаратурой два наземных измерительных пункта: основной – в Крыму (Симеиз) и второй – на Камчатке.

На станции “Луна-3” установили новую систему ориентации, созданную под руководством доктора технических наук Б.В. Раушенбаха. В нее входили отслеживающие Солнце и Луну



*Место падения АМС “Луна-2” на снимках спутника Земли*

оптические датчики и поддерживающие станцию в строго определенном положении микродвигатели ориентации (использовали сжатый азот), когда объектив фототелевизионного устройства (ФТУ) направлялся на Луну. В качестве источника энергоснабжения впервые использовались солнечные батареи. По заданию ОКБ-1 под руководством П.Ф. Брацлавца в ленинградском НИИ-380 (НИИТ) в очень короткие сроки разработали саморегулирующееся ФТУ “Енисей”. Комплекс ТВ-аппаратуры (главный конструктор И.Л. Валик) включал в себя: бортовое ФТУ,

работающее в двух режимах (медленном и быстром) и два типа наземной приемной аппаратуры (“Енисей-I” осуществлял быстрый режим получения снимков, “Енисей-II” – медленный). В медленном режиме работы ТВ-комплекса длительность передачи строки кадра равнялась 1,25 с, время передачи кадра – около 30 мин. Потенциальная разрешающая способность изображения – 1 тыс. элементов в строке. Аппаратура “Енисей-II” принимала кадры на пленку в медленном режиме при больших удалениях АМС от Земли (более 300 тыс. км). В быстром режиме на достаточно близком расстоянии от Земли (40–50 тыс. км) время передачи полного кадра не превышало 15 с. Фотоаппарат с длинно- и короткофокусными объективами (фокусные расстояния – 200 и 500 мм) проводил съемку на 35-мм пленку с автоматическим изменением экспозиции. Процесс начи-



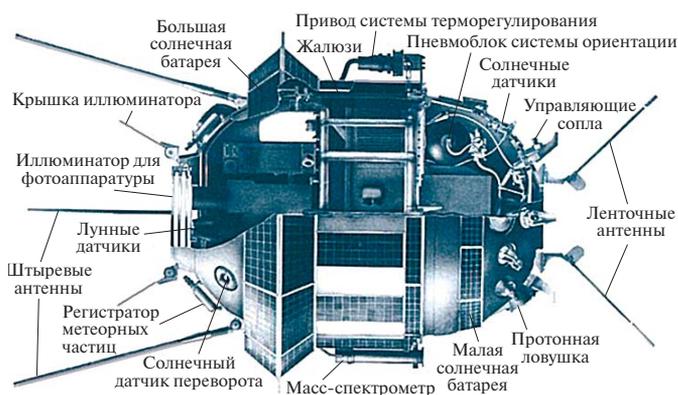
Астрофизик И.С. Шкловский и его сотрудники В.И. Мороз, В.Ф. Есипов, В.Г. Курт и П.В. Щеглов знакомятся с газетным сообщением о полете "Луны-2". 15 сентября 1959 г. Фото ИКИ РАН

нался сразу после получения команды о точном наведении ФТУ на Луну. Затем пленка поступала в устройство автоматической обработки, где проводились проявка, фиксирование, сушка, перемотка в специальную кассету и подготовка к передаче изображения. Передача изображения с борта на Землю осуществлялась по линии радиосвязи, которая также служила для измерения параметров движения самой станции и передачи телеметрических данных. По этой же радиолнии шли

команды управления бортовыми системами и приходили ответные команды. Для преобразования полученного на пленке изображения (негативного) в электрические сигналы использовались электронно-лучевые трубки и фотоэлектронный умножитель. Далее следовали электронная развертка луча, его усиление, формирование сигнала и передача информации по радиолнии на Землю. Применение полупроводников (транзисторов) вместо ламп тогда было связано с большим риском. Эту сложную комплексную радиосистему создали в НИИ-885 под руководством Е.Я. Богуславского.

"Луна-3" длиной 1,3 м, диаметром 0,95 м и массой 278,5 кг стартовала 4 октября 1959 г. с космодрома Байконур. Конечная масса третьей ступени ракеты-носителя с "Луной-3" составляла 1553 кг (масса научной и измерительной аппаратуры с источниками питания – 435 кг). Станция вышла на высокоэллиптическую орбиту ИСЗ высотой в перигее около 40 тыс. км, высотой в апогее 480 тыс. км, наклоном 75° и периодом обращения 22 300 мин (15 сут 11 ч 40 мин). 7 октября "Луна-3" с расстояния 65 200–68 400 км от Луны

Устройство АМС "Луна-3" (а) и ее бортовая фототелевизионная аппаратура "Енисей" (б)



а



б

сфотографировала за 40 мин ее обратную сторону (до Земли было около 470 тыс. км). В течение последующих 10 сут “Луна-3” в сеансах связи передала серию фотографий на Землю. Съемка производилась с выдержками 1/200, 1/400, 1/600 и 1/800 с. Удалось сфотографировать почти половину поверхности Луны, охватившей 30% видимой стороны (в краевой зоне изображения), и 70% никогда ранее не видимой с Земли области. По мере приближения станции к Земле контрастность принимаемых изображений увеличивалась, их качество улучшалось. В связи с ограниченными энергоресурсами “Луны-3”, а также по условиям приема информации, сеансы связи со станцией проводились, как правило, один раз в сутки. К сожалению, фотографии получились не очень резкими (более четкие изображения этого же района Луны сделала станция “Зонд-3” только в 1965 г.), однако на них удалось выявить некоторые большие образования. Оказалось, что на обратной стороне Луны преобладают горные районы и она сильно кратерированная, а морей мало. Неконтрастное изображение объяснялось недостаточной энергетикой радиолинии. С.П. Королёв был недоволен их качеством. Но именно они стали первыми и заслуженно признаны фотографиями века! На их основе в 1960 и 1967 гг. в ГАИШ МГУ выпущен Атлас обратной стороны Луны. Комиссия АН СССР присвоила некоторым образованиям в этом полушарии Луны наименования: Море Москвы с Заливом Астронавтов, Море Мечты и Краевое, кратеры Циолковского, Ломоносова, Менделеева, Королёва, Гагарина, Жюль Верна, Джордано Бруно. Международный астрономический союз утвердил предложенные названия лунных объектов. Все пленки с изображением лунной поверхности, полученные



Макет АМС “Луна-3” в экспозиции зала “Утро космической эры” в Мемориальном музее космонавтики. Фото С.А. Герасютина

на приемных комплексах “Енисей-I” и “Енисей-II”, были переданы для изучения в Пулковскую обсерваторию. На их основе в 1963 г. в ГАО АН СССР (Пулково) составлена уточненная схематическая карта обратной стороны Луны. В 1966 – 1967 гг. в нашей стране по материалам атласа и карты обратной стороны Луны опубликована первая полная карта Луны и создан лунный глобус.

“Луна-3” во время полета по высокоэллиптической околоземной орбите впервые измерила скорость и состав солнечного ветра, определила, что газовая оболочка Земли простирается до 20 тыс. км от Земли, а внешний радиационный пояс – до 57 тыс. км. Связь со станцией поддерживалась до 18 октября 1959 г. “Луна-3” совершила 11 оборотов вокруг Земли. 20 апреля 1960 г. она прекратила существование, войдя в плотные слои атмосферы.

Первый этап исследования Луны был выполнен советскими станциями серии “Луна”. Впереди были новые достижения в изучении Луны с помощью советских и американских автоматических станций.

*Герасютин С.А.*

## ПЕРВЫЙ ПО ПРОГРАММЕ “ИНТЕРКОСМОС”

(К 50-летию запуска международного спутника  
“Интеркосмос-1”)

Л.А. ВЕДЕШИН,

доктор технических наук  
ИКИ РАН

DOI: 10.7868/50044394819060069

**М**еждународное сотрудничество в космических исследованиях началось с запуска Советским Союзом в 1957 г. первого искусственного спутника Земли. Достаточно вспомнить, что он был запущен по программе Международного геофизического года (ЗиВ, 2007, № 4) и в наблюдении его движения и приеме радиосигналов участвовали станции многих государств. Это сотрудничество продолжало развиваться. Социалистическими странами была организована специальная система “Интеробс”, объединившая станции оптического наблюдения спутников. СССР принимал активное участие в деятельности Комитета ООН по использованию космического пространства в мирных целях, КОСПАР и других международных организаций, связанных с проведением космических исследований. Учитывая большую заинтересованность ученых и специалистов этих стран в проведении космических исследований, советское правительство в апреле 1965 г. предложило руководству социалистических стран объединить свои усилия в освоении космоса.

На встрече 13 апреля 1967 г. в Москве была принята программа совместных работ в области исследования и использования космического пространства в мирных целях (“Интеркосмос”)



Вице-президент АН СССР,  
академик Б.Н. Петров

с участием 9 стран: Болгария, Венгрия, ГДР, Куба, Монголия, Польша, Чехословакия, Румыния и Советский Союз. Участники этой встречи разработали широкую научную программу совместных работ в области космической физики, метеорологии, связи, биологии и медицины. Советский Союз безвоз-

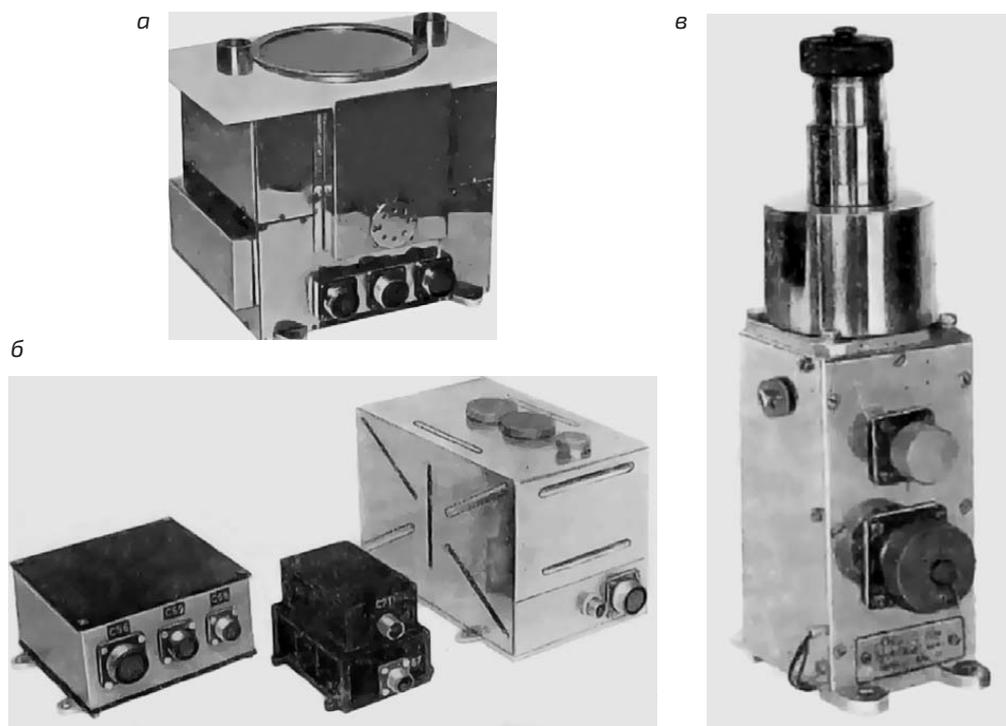
мездно предоставил ученым возможность установки научной аппаратуры для проведения научных и технических исследований и экспериментов на свою космическую технику: метеорологические и геофизические ракеты, ИСЗ, АМС и пилотируемые корабли. Для координации работ по международному сотрудничеству в космосе при АН СССР был создан Совет "Интеркосмос", который многие годы возглавлял крупный ученый в области механики и процессов управления, вице-президент АН СССР, академик Б.Н. Петров (ЗиВ, 2013, № 4). Он внес большой вклад в развитие международного сотрудничества в космосе: под его руководством были реализованы многие крупные проекты, такие как: "Союз-Аполлон", пилотируемые полеты космонавтов социалистических стран и Франции на советских космических кораблях и станциях, международные эксперименты на спутниках серии "Интеркосмос" и на автоматических межпланетных станциях к Луне, Марсу, Венере. После кончины Б.Н. Петрова в 1980 г. Совет "Интеркосмос" возглавил вице-президент АН СССР, академик В.А. Котельников (ЗиВ, 2008, № 5), под руководством которого существенно расширился круг прикладных научных исследований и экспериментов по международному сотрудничеству.

В своем выступлении на заседании президиума РАН, посвященном перспективе развития международного сотрудничества в космосе, заместитель предсе-



дателя Совета РАН по космосу академик Л.М. Зелёный дал следующую оценку работам по программе "Интеркосмос": "Космос по своей сути предназначен для мирного сотрудничества, в космосе нет границ. Недавно мы отметили 60-летнюю годовщину запуска первого искусственного спутника – он дал много не только науке, но и дипломатии: фактически перевел соревнование между СССР и США в мирную плоскость".

Начало работам по программе "Интеркосмос" положили исследования в области космической физики, включающие 19 тем, в том числе изучение ультрафиолетового и рентгеновского излучения Солнца. В октябре 1967 г. представители ГДР, СССР и ЧССР встретились в Москве в Физическом институте им. П.Н. Лебедева Академии наук СССР (ФИАН) с целью составления научной программы ориентированного на Солнце ИСЗ. На совещании был определен состав аппаратуры спутника, распределены взаимные обязательства по ее изготовлению, намечены важнейшие этапы работ и сроки проведения эксперимента.



Научная аппаратура, установленная на ИСЗ "Интеркосмос-1":  
 а, б – рентгеновский поляриметр и фотометр, в – Лайман-альфа фотометр

Основной задачей планируемых экспериментов на спутнике "Интеркосмос-1" было исследование интенсивности ультрафиолетового и рентгеновского излучения Солнца в условиях его спокойного состояния и во время вспышек, измерения спектрального состава и поляризации рентгеновского излучения во время вспышек, а также определение местоположения источника излучения и изучение влияния того и другого излучения на структуру верхней атмосферы Земли. Кроме того, были запланированы наблюдения оптических эффектов, вызываемых слоем высотного аэрозоля в верхней атмосфере. Прежде исследования высотного аэрозоля велись в основном наземными и ракетными методами, которые давали неполные результаты.

При подготовке "Интеркосмос-1" к запуску на космодроме специалисты ГДР, СССР и ЧССР принимали участие в монтаже и испытаниях своей научной аппаратуры, а также в приеме контрольной информации с приборов непосредственно после его запуска.

14 октября 1969 г. с космодрома Капустин Яр ракетой-носителем "Космос-2" (Н11К63) был запущен ИСЗ "Интеркосмос-1" (масса 260 кг, из них масса научной аппаратуры 20,5 кг), предназначенный для исследования ультрафиолетового и рентгеновского излучений Солнца и влияния этих излучений на структуру верхней атмосферы Земли. Спутник выведен на орбиту с параметрами: минимальное расстояние от поверхности Земли (в перигее) – 260 км, максимальное расстояние от поверхности Земли

(в апогее) – 640 км, начальный период обращения – 93,3 мин, наклонение орбиты – 48,4°.

В соответствии с научной программой в течение 1968 г. и первого полугодия 1969 г. участниками проекта был разработан и изготовлен ряд научных приборов в Центральном институте солнечно-земной физики Г. Герца Германской Академии наук в Берлине (под руководством профессора К.-Х. Шмеловского), в Астрономическом институте Академии наук ЧССР (доктор Б. Вальничек) и в ФИАН (профессор С.Л. Мандельштам).

Советскими учеными был создан рентгеновский поляриметр для поиска возможной поляризации рентгеновского излучения солнечных вспышек (диапазон измерения 0,6–0,8 Å). Другой советский прибор – рентгеновский спектрогелиограф – разработан для получения гелиограмм (определение структуры и размеров области вспышек и долгоживущих активных областей короны) методом сканирования диска Солнца в диапазоне длин волн 1,7–15 Å, как в условиях спокойного светила, так и при вспышках на нем. Два прибора изготовили чехословацкие специалисты: оптический фотометр для исследования излучения Солнца в двух спектральных диапазонах длин волн 4500 и 6100 Å и оптических эффектов, вызываемых слоем высотного аэрозоля в земной атмосфере, а также рентгеновский фотометр для измерений мягкого и жесткого рентгеновского излучения Солнца в нескольких участках спектра. Ученые ГДР подготовили Лайман-альфа фотометр для измерения излучения Солнца в линии лайман-альфа (1215,6 Å) при различных условиях солнечной активности,



*При подготовке ИСЗ “Интеркосмос-1” к запуску на космодроме Капустин Яр специалисты ГДР, СССР и ЧССР принимали участие в монтаже и испытаниях своей научной аппаратуры. Сентябрь 1969 г.*

особенно для измерения быстрых вариаций этого излучения, с разрешающей способностью по времени 0,5 с. Немецкие специалисты создали передатчик, предназначенный для непосредственной передачи данных, регистрируемых лайман-альфа фотометром, рентгеновским фотометром и его контрольным счетчиком (работал в международном диапазоне волн – около 136 МГц). В качестве приемника сигналов специального передатчика, работающего с фазовой модуляцией, специалистами ГДР был создан универсальный трехканальный телеметрический УКВ-приемник с полосой частот 135–138 МГц, имеющий приемную спиральную антенну и антенный усилитель. Такими телеметрическими приемниками были оборудованы обсерватории в Нойштрелице (ГДР), Красной Пахре (СССР), Ондражейове и Панска Весе (ЧССР).

Измерения на спутнике “Интеркосмос-1” позволили получить фотометрический профиль верхних слоев атмосферы (плотность и толщину слоя, размер и характер частиц), с помощью



*Монтаж ИСЗ "Интеркосмос-4" на ракету-носитель в Монтажно-испытательном корпусе космодрома Капустин Яр. Сентябрь 1970 г.*

которого уточнили их структуру. Одновременно с экспериментами на ИСЗ "Интеркосмос-1" обсерватории НРБ, ВНР, ГДР, ПНР, СРР, СССР и ЧССР проводили радиоастрономические, ионосферные и оптические наблюдения по согласованной программе. Для осуществления управления аппаратурой спутника в полете из представителей стран-участниц была создана группа оперативно-технического руководства. При принятии тех или иных решений, связанных с управлением отдельных систем или всего спутника, учитывалась текущая информация о состоянии солнечной активности, поступающая от наземных обсерваторий стран-участниц программы "Интеркосмос".

Задействованные радиотелескопы регистрировали всплески радиоизлучений, вызываемые потоками быстрых

частиц от вспышек на Солнце. С помощью классических солнечных телескопов хромосферные вспышки фотографировались с высоким разрешением. Серии таких снимков были использованы при обработке спутниковых данных для исследования процессов развития вспышек. Ионосферные станции регистрировали возмущения в ионосфере, вызываемые хромосферными вспышками. Сочетание измерений на спутнике и наземных наблюдений создали возможность для исследования процессов,

происходящих на Солнце, взаимное сопоставление и анализ которых способствовали более полному пониманию механизма изучаемых явлений.

В начале 1960-х гг. для выполнения исследований ультрафиолетового и рентгеновского излучений Солнца и его влияния на структуру верхней атмосферы Земли главным конструктором ОКБ-586 (ныне ОКБ "Южное", Днепропетровск) доктором технических наук В.М. Ковтуненко была сконструирована серия универсальных космических аппаратов серии ДС-3У. Спутники серии ДС создавались по заказу Академии наук СССР для комплексных исследований различных физических процессов, происходящих на Земле, в атмосфере Земли, на Солнце и других явлений в космическом пространстве. Кроме того, на них проводились испытания отдельных систем бортовой аппаратуры спутника с целью повышения ее эффективности. Успешные запуски в СССР специальных космических обсерваторий для изучения коротковолнового излучения Солнца "Космос-166" и "Космос-230",



Схема ИСЗ серии "Космос" типа ДС-УЗ для исследования коротковолнового излучения Солнца: 1 – отсек под электронный блок научной аппаратуры, 2 – экранно-вакуумная термоизоляция, 3 – панели солнечных батарей, 4 – датчики научной аппаратуры, 5 – солнечный датчик системы ориентации

ориентированных на Солнце, показали, что благодаря использованию особой формы спутника в виде волана, они могут ориентироваться относительно солнечного ветра. В связи с этим качеством конструкция космического аппарата ДС-3У была взята за основу при изготовлении спутника "Интеркосмос-1". Солнечная ориентация его датчиков научной аппаратуры на освещенной части орбиты обеспечивалась с помощью гироскопической системы ориентации и стабилизации с точностью 1–2°. На каждом витке после выхода спутника из земной тени он ориентировался на центр диска Солнца с определенной точностью на всей освещенной части орбиты. Три раза на протяжении каждого витка по команде от программного устройства система

ориентации автоматически переходила в режим сканирования диска Солнца, двигаясь в одном направлении с определенной угловой скоростью. Для обеспечения энергоснабжения бортовых систем на спутнике устанавливались аккумуляторные батареи, во время полета они подзаряжались от солнечных батарей. При прохождении спутника в зоне связи с наземными приемными станциями передача результатов научных



ИСЗ "Интеркосмос-11", запущен 17 мая 1974 г.



*Геофизическая ракета "Вертикаль-1".  
Запускалась с 1970 по 1983 г. с космодрома  
Капустин Яр*

измерений осуществлялась непосредственно через многоканальную высокоскоростную радиотелеметрическую систему. В Южном полушарии показания научной аппаратуры записывались на бортовое запоминающее устройство и затем передавались на Землю при прохождении в зоне видимости приемной станции. Выдача информации с запоминающего устройства осуществлялась по командам с Земли по командной радиолинии спутника.

Международные эксперименты по исследованию Солнца были продолжены на спутниках серии "ДС-У2-ИК" ("Интеркосмос-4, -7, -11 и -16") массой 320 кг (в том числе научные приборы – 36,8 кг), с их помощью получены новые данные, связанные с исследованием Солнца в период 11-летнего цикла солнечной активности. Поляризация жесткого рентгеновского излучения во время вспышки была впервые зарегистрирована на "Интеркосмосе-1". Затем она была подтверждена во время экспериментов, проведенных на других "солнечных" спутниках этой серии и данными Службы наблюдения Солн-

ца. Установлено, что степень поляризации при мощных вспышках на Солнце достигает 10–20%. В результате экспериментов получены рентгеновские спектрограммы многозарядных ионов в солнечных вспышках с высокой степенью разряжения, данные о динамике развития в рентгеновском спектре мощных протонных вспышек на Солнце, а также о распределении содержания озона и кислорода в атмосфере Земли.

28 ноября 1970 г. с космодрома Капустин Яр состоялся следующий запуск на высоту 500 км по программе "Интеркосмос" – геофизической ракеты "Вертикаль-1" с научной аппаратурой для исследования коротковолнового излучения Солнца, изготовленной учеными и специалистами Болгарии, Венгрии, Германии, Польши и Советского Союза. "Вертикаль-1" была создана в ЦКБЭМ (ныне РКК "Энергия" им. С.П. Королева) на базе геофизической ракеты Р5В под руководством Главного конструктора академика С.П. Королева. На ракетах устанавливались высотные астрофизические обсерватории массой около 1300 кг, поднимаемые на высоту 500 км. Более полные исследования верхней атмосферы и ионосферы были проведены 14 октября 1976 г. на ракете "Вертикаль-4", в отделяемом, ориентированном и стабилизированном контейнере которой размещалось более десятка сложных и разнообразных приборов, разработанных и изготовленных в Болгарии, ГДР, СССР и Чехословакии. В 1970–1983 гг. запущено 12 ракет серии "Вертикаль" для исследования УФ- и рентгеновского излучений Солнца, КВ-излучения солнечной короны, ионосферы, метеорного вещества. В 1970–1985 гг. были выполнены десятки международных экспериментов по изучению коротковолнового излучения Солнца, нижней атмосферы и ионосферы Земли с помощью метео-



Научные спутники "Интеркосмос-3" (а), "Интеркосмос-5" (б) и "Интеркосмос-14" (в) для изучения магнитосферы и ионосферы Земли, радиационной обстановки, космического излучения

рологических (М100 и МР-12) и геофизических ракет серии "Вертикаль", а также испытаны приборы перед установкой их на спутники серии "Интеркосмос".

В 1970–1975 гг. на спутниках серии "ДС-ЗУ-ИК" ("Интеркосмос-3, -5, -8, -10, -12, -13 и -14") учеными стран-участниц программы "Интеркосмос" были выполнены исследования магнитосферы и ионосферы, радиационной обстановки, космического излучения. Большой вклад в исследования космического излучения на ИСЗ "Интеркосмос-6" внесли ученые НИИЯФ МГУ профессор Н.Л. Григоров, научные сотрудники И.Д. Рапопорт, Р.А. Ныммик, А.Ф. Титенков и др.

В связи с юбилеем польского астронома Николая Коперника 19 апреля 1973 г. осуществлен запуск советско-польского спутника "Интеркосмос-9" ("Интеркосмос-Коперник-500", масса 256 кг) для изучения радиоизлучения Солнца, ионосферы и магнитосферы Земли. 19 апреля 1975 г. осу-

ществлен запуск с помощью РН "Космос-3М" первого индийского научного экспериментального ИСЗ "Ариабата" (масса 358 кг) по исследованию солнечно-земных связей. По просьбе правительства Болгарии в связи с 1300-летием Болгарского государства 7 августа 1981 г. с космодрома Плесецк с помощью РН "Восток-2М" был запущен советско-болгарский спутник "Интеркосмос-Болгария-1300" (масса 1500 кг) для изучения физических процессов в ионосфере и магнитосфере Земли. Большой вклад в эти фундаментальные исследования внесли ученые и специалисты Института космических исследований АН СССР профессор К.И. Грингауз, доктора физико-математических наук Ю.И. Гальперин, В.Г. Истомина, Н.Ф. Писаренко.

В 1976 г. в ОКБ "Южное" в интересах программы "Интеркосмос" был разработан более тяжелый космический аппарат – АУОС-3 (автоматическая универсальная орбитальная станция) массой около 800 кг, в том числе масса



*Ракета-носитель "Восток-2М" со спутником "Интеркосмос-Болгария-1300" ("Интеркосмос-22"). Космодром Плесецк, август 1981 г.*

---

научной аппаратуры до 400 кг. На борту первой АУОС ("Интеркосмос-15"), запущенной 19 июня 1976 г., успешно прошла испытания единая телеметрическая система, позволяющая осуществлять прием научной информации со спутников "Интеркосмос" непосредст-



*Чехословацкие специалисты проводят заключительные операции на спутнике АУОС ("Интеркосмос-15") на космодроме. Запущен 19 июня 1976 г.*

---

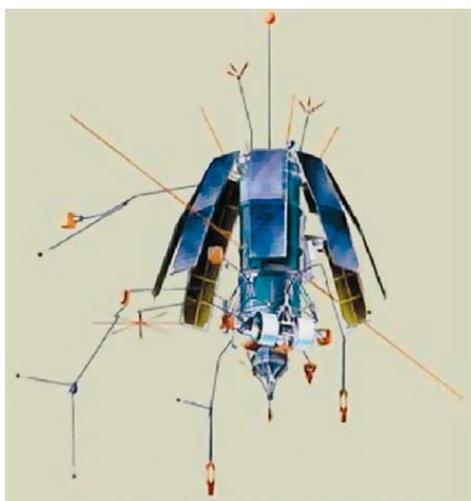
венно на территориях стран-участниц эксперимента. В 1977–1991 гг. с космодрома Плесецк с помощью ракеты-носителя "Космос-3М" (11К65М) были запущены научные спутники "Интеркосмос-17, -18, -19, -24 и -25". Выполнены десятки уникальных научных экспериментов по распределению энергичных заряженных и нейтральных частиц, магнитных полей, волновых процессов и тепловой плазмы в околоземном космосе.

Начиная с самых первых шагов в проведении совместных работ, программа "Интеркосмос" уверенно набирала темпы. С каждым годом создавались все более сложные приборы, ставились комплексные эксперименты, накапливался навык совместных работ. Традиционно сложившиеся научные школы в странах-участницах программы получили новый импульс развития благодаря возможности ставить эксперименты на советских ракетах и спутниках.

"Когда речь идет о сотрудничестве социалистических стран, – говорил на встрече с руководителями академий наук социалистических государств товарищ Л.И. Брежнев, – то происходит не просто сложение, а умножение сил. В полной мере это относится и к научным связям. Здесь особенно важно самое широкое, самое тесное сотрудничество, позволяющее рационально использовать огромные возможности науки, достижения научно-технической революции".

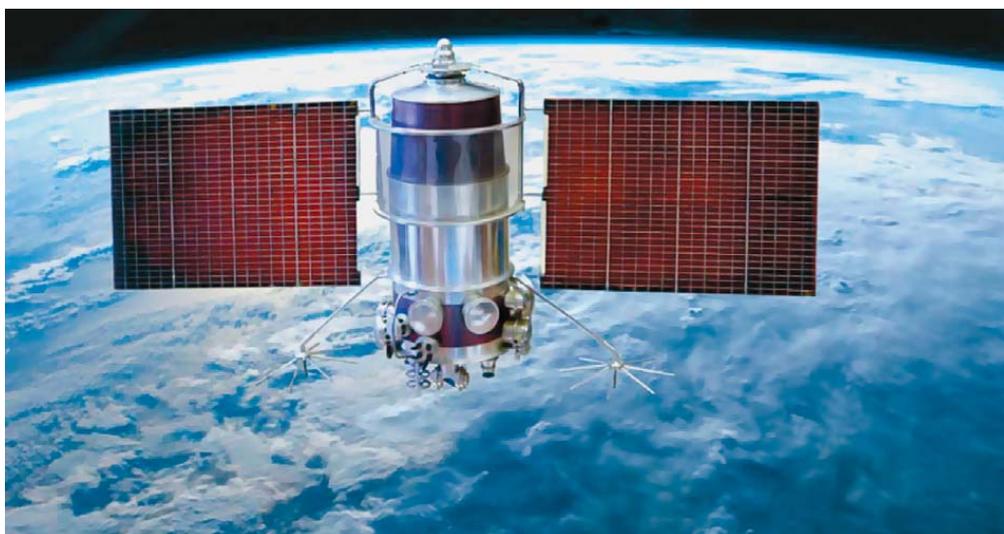
Последний спутник по программе "Интеркосмос" – "Интеркосмос-25" конструкции АУОС-3-АП-ИК массой 800 кг запущен 18 декабря 1991 г. на орбиту высотой в апогее 3071 км и в перигее 483 км по проекту АПЭКС. Одновременно с ним совершил полет субспутник "Магион-3" (ЧССР) массой 52 кг (из них 10 кг – масса научной аппаратуры). На борту спутника

были установлены: ускорители электронов и нейтральной плазмы, анализатор плотности электронов и ионов, измерители электрического поля, переменных электрических полей УНЧ-диапазона, фотометры и магнитометр. На борту “Магиона-3” располагались приборы: трехкомпонентный магнитометр, зонд Ленгмюра, анализатор электромагнитного спектра, радиоспектрометр и фотометр для измерений магнитного поля, температуры и концентрации холодной плазмы, концентрации потока электронов, энергий протонов в диапазоне 0,05–20 кэВ, электронов и протонов в диапазоне 20 кэВ – 1 МэВ, а также для регистрации электромагнитного излучения. На субспутнике проводились исследования и регистрации эффектов магнитосферно-ионосферного взаимодействия в условиях инжекции электронных и ионных пучков с борта ИСЗ “Интеркосмос-25”. Основные научные результаты проекта АПЭКС: обнаружены новые нелинейные электромагнитные структуры типа бесстолкновитель-



*ИСЗ “Интеркосмос-25” конструкции АУОС-3-АП-ИК с субспутником “Магион-3”, запущенные по проекту АПЭКС*

ных ударных волн; в полярной области открыты новые типы ионосферных провалов; доказано, что электронный модулированный пучок может быть использован для нелокального определения плотности электронов и вели-



*Первый экспериментальный спутник “Метеор” дистанционного зондирования Земли. Запущен 9 июля 1974 г.*



*Экипаж корабля "Союз-28" Владимир Ремек (Чехословакия), советские космонавты А.А. Губарев, Г.М. Гречко и Ю.В. Романенко на борту орбитальной станции "Салют-6" выполнили 2–10 марта 1978 г. ряд совместных технологических и медико-биологических экспериментов, предложенных советскими и чехословацкими учеными*

чины магнитного поля; изучены эмиссионные свойства электронных пучков; проведены измерения излучения модулированного пучка на отдаленном субспутнике. Впервые электромагнитное излучение модулированного электронного пучка зарегистрировано на субспутнике на расстояниях в десятки километров.

На спутнике "Метеор-Природа" в 1981 г. впервые по программе "Интеркосмос" учеными и специалистами Болгарии и СССР были выполнены эксперименты по изучению Земли из космоса.

Первый экспериментальный спутник дистанционного зондирования "Метеор" (№ 18; масса 2630 кг, в том числе масса приборов 1200 кг) был запущен 9 июля 1974 г. Впоследствии было запущено еще несколько спутников с научной аппаратурой для оперативного получения информации в целях прогноза погоды, контроля озонового слоя и радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве, а также мониторинга морской поверхности, ледового и снежного покровов в видимом, ИК- и микроволновом диапазонах. "Метеор" (№ 28), запущенный 29 июня 1977 г., и последующие спутники, стали выводиться на солнечно-синхронную орбиту для получения информации по одним

и тем же районам земной поверхности. Аналогичные исследования провели по проекту "Бхаскара" специалисты Индии и СССР: 7 июня 1979 г. и 20 ноября 1981 г. с космодрома Капустин Яр запущены два научных спутника массой по 442 кг. В создании космических аппаратов участвовали сотрудники КБ "Южное" В.М. Ковтуненко, А.М. Попель, Е.И. Уваров, В.И. Драновский, В.С. Гладилин, А.П. Шураев, В.С. Варьвин, Я.Н. Вовк, И.Н. Лысенко, Н.А. Шматок, Ю.В. Петров и др. Эксперименты по изучению Земли из космоса были продолжены в 1979–1991 гг. на спутниках серии АУОС "Интеркосмос-20 и -21", модуле "Природа" в составе пилотируемой орбитальной станции "Мир" с участием специалистов Болгарии, Венгрии, ГДР, СРР, СССР и ЧССР. Большой вклад в эти исследования внесли ученые и специалисты Института космических исследований АН СССР: профессор Я.Л. Зиман, доктор технических наук Г.А. Аванесов, доктора физико-математических наук В.С. Эткин и М.С. Малкевич, а также Института радиотехники и электроники АН СССР: профессор Н.А. Арманд, доктор физико-математических наук А.Е. Башаринов и доктор технических наук Б.Г. Кутуза.

Десятки научных экспериментов по программе "Интеркосмос" по изучению

околоземного космического пространства, Луны и планет Солнечной системы, медико-биологических процессов были выполнены в 1970–1991 гг. на спутниках серии “Метеор”, самоходных аппаратах “Луноход-1” и “Луноход-2”, АМС “Марс-3, -5, -6, -7”, “Венера-10, -13, -14” и “Вега-1, -2”, пилотируемых и беспилотных кораблях “Союз-19”, “Космос-792”, “Союз-22”, ИСЗ “Прогноз-2, -5, -6, -7, -8”, “Космос-900”, “Космос-936” и “Космос-1129” с участием специалистов Австрии, Венгрии, Германии, США, Франции, Чехословакии, Швеции путем установки отдельных научных приборов.

Обмен опытом и знаниями между многочисленными научными и производственными коллективами, постоянное расширение масштабов совместных работ позволили поднять сотрудничество стран социализма в космических исследованиях на еще более высокий научно-технический уровень. От автоматических спутников Земли к пилотируемым кораблям и далее, к долговременным научным орбитальным станциям со сменяемыми экипажами – такова логика развития космонавтики, поэтому закономерна инициатива Советского Союза, выступившего в 1976 г. с предложением об участии граждан стран-участниц программы “Интеркосмос” в пилотируемых полетах на советских космических кораблях “Союз” и орбитальных станциях “Салют” совместно с советскими космонавтами.

В 1978–1981 гг. состоялись полеты на станцию “Салют-6” космонавтов Чехо-

ловакии, Польши, ГДР, Болгарии, Венгрии, Вьетнама, Кубы, Монголии и Румынии для проведения совместных исследований физических процессов в космосе, биологических и медицинских экспериментов, работ по изучению Земли из космоса, космическому материаловедению. В 1982 и 1984 гг. на орбитальной станции “Салют-7” по программе “Интеркосмос” были также организованы совместные полеты советских космонавтов с французским, индийским и афганским, а также с сирийским космонавтами в 1987 г. на станции “Мир” для проведения медико-биологических, технологических, астрофизических и природно-ресурсных экспериментов.

Многолетние международные исследования и эксперименты по программе “Интеркосмос” (1967–1991) позволили сделать ряд научных открытий в изучении и практическом использовании околоземного космического пространства, Солнца, Луны, Марса, Венеры, провести сотни космических экспериментов, совместно создать десятки научных и технических приборов и устройств, обеспечивших успешную работу ученых, специалистов и космонавтов. Научные достижения СССР по программе “Интеркосмос” имели важное политическое значение и послужили примером для организации совместных исследований и экспериментов со многими странами: США, Францией, Швецией, Австрией, Индией, Афганистаном, Сирией. После распада СССР сотрудничество с этими странами продолжает осуществляться на двухсторонней основе.

# СТО ЛЕТ НА СТРАЖЕ НЕБА

(к юбилею Международного астрономического союза)<sup>1</sup>

Д.З. ВИБЕ,

доктор физико-математических наук,  
профессор Российской Академии наук  
Институт астрономии РАН

DOI: 10.7868/50044394819060070

## Часть 2: **LABOR ET PATIENTIA OMNIA VINCUNT**

---

### МАС НАВОДИТ ПОРЯДОК...

---

Первым астрономическим решением МАС стал современный список 88 созвездий. До этого особого порядка в созвездиях не было. Их границы в разных атласах рисовали по-разному, соответственно, одна и та же звезда в разных изданиях могла относиться к разным созвездиям. Встречались также звезды, одновременно относящиеся к двум созвездиям, как например  $\alpha$  And, входящая в астеризм прямоугольник Пегаса. МАС решил покончить с этой неразберихой – резолюцией первой Генеральной ассамблеи МАС, состоявшейся в 1922 г. в Риме, был утвержден список из 88 созвездий, подготовленный Генри Расселом (точнее, в списке Рассела было 89 созвездий, но Корабль Арго было решено убрать). Было также принято решение в дальнейшем использовать для созвездий либо полные латинские наименования, либо трехбуквенные латинские сокращения, предложенные тем же Расселом. Примечателен момент, что в резолю-

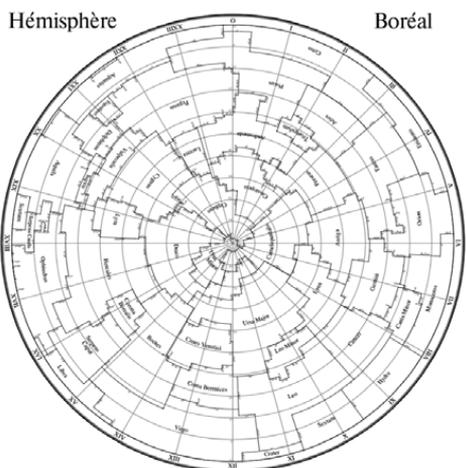
ции ассамблеи в числе авторов списка указан также Эйнар Герцшпрунг (ЗиВ, 1968, № 6). Однако он был недоволен этим фактом и даже написал письмо в журнал “The Observatory”, в котором отрекался от трехбуквенных обозначений и напоминал, что является автором списка *двухбуквенных* сокращений, которых вполне достаточно для работы и которые позволяют экономить бумагу и типографскую краску.

Границы созвездий были утверждены позже. За их разработку в 1925 г. взялся бельгийский астроном Эжен Дельпорте. На протяжении нескольких лет он разграничивал участки северного неба отрезками кругов склонений и прямых восхождений, исходя из главного требования: чтобы новые границы созвездий не привели к необходимости изменения обозначений переменных звезд и позволили свести к минимуму изменения обозначений И. Байера (ЗиВ, 1998, № 1) и Дж. Флемстида. В южном полушарии эта работа частично уже была проделана Бенджамином Гулдом. В 1928 г. МАС утвердил границы северных созвездий, предложенные Дельпорте, и попросил его привести в единую систему границы южных созвездий. Окончательные результаты, которыми мы пользуем-

<sup>1</sup> Окончание (начало статьи опубликовано в журнале “Земля и Вселенная”, 2019, № 5, с. 85–90).

ся и по сей день, были опубликованы в 1930 г. Правда, история с созвездиями на этом не закончилась. В 1922 г. МАС склонился в пользу трехбуквенных обозначений Рассела, поскольку двух букв Герцшпрунга было явно недостаточно. Однако со временем астрономам стало казаться, что и три буквы неудобны, поскольку не позволяют быстро определить полное название созвездия по аббревиатуре, и в 1933 г. МАС решил попробовать перейти на четырехбуквенные обозначения, но эта попытка не прижилась.

Среди астрофизических задач, стоявших перед МАС со дня основания, были попытки упорядочить используемые в астрономии фотометрические системы. Комиссия, занимающаяся этим вопросом, изначально поставила перед собой задачу не столько выработки стандартов, сколько разъяснения потенциальных проблем и обучения наблюдателей. И она осталась верна этой цели, хотя несколько раз предпринимались попытки силами МАС “законодательно” закрепить фотометрические стандарты. К сожалению, подобная “мягкотелость” привела к тому, что мы теперь имеем дело более чем с двумя сотнями различных фотометрических систем. Отчасти это связано и с тем, что развитие фотометрии, как правило, опережало понимание физики наблюдаемых объектов. По словам одного из участников процесса, “мы начали измерять, не понимая, что именно мы измеряем”. В результате многие принятые решения оказались не оптимальными, впоследствии различные специалисты дорабатывали их, каждый по-своему. Тем не менее МАС так и не решился вводить в этом важном деле какую-либо стандартизацию. В резолюции Генеральной ассамблеи МАС 2012 г. закреплена лишь просьба к разработчикам новых фотометрических систем не дублировать обозначения

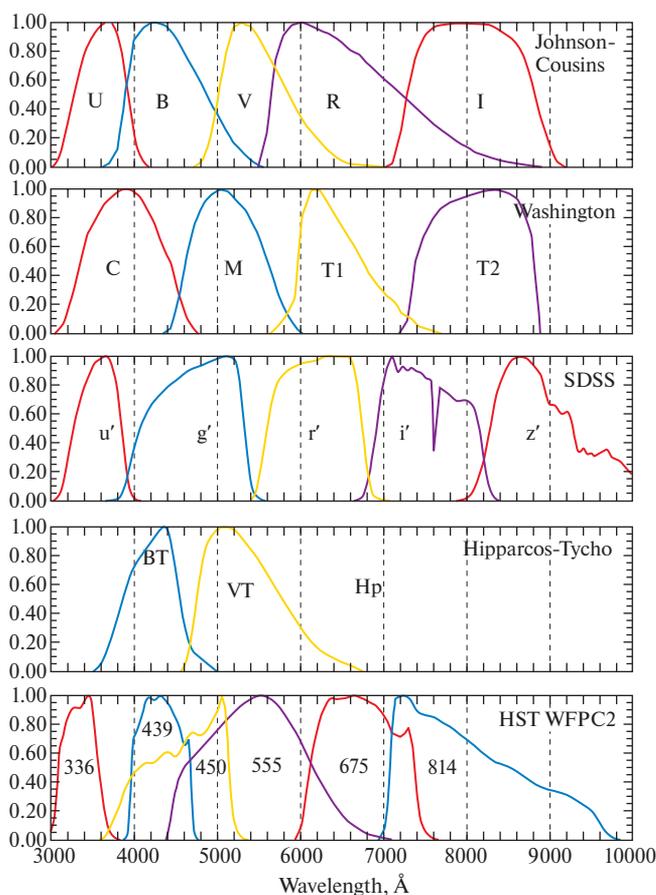


Границы и названия созвездий северного полушария

из существующих систем и в обязательном порядке публиковать все ключевые параметры полос новой системы.

Только в 2015 г. Международный астрономический союз наконец-то решил зафиксировать резолюцией понятие звездной величины. Теперь определения звездных величин выглядят так. Источник излучения нулевой абсолютной болометрической величины имеет светимость точно  $3,0128 \times 10^{28}$  Вт. Эта величина подобрана так, чтобы абсолютная болометрическая звездная величина Солнца максимально близко соответствовала общепринятому значению  $4,74^m$ . Источнику излучения нулевой видимой болометрической величины соответствует световой поток  $2,518\ 021\ 002 \dots \times 10^{-8}$  Вт м<sup>-2</sup>. В этой системе величин солнечная постоянная  $1361$  Вт м<sup>-2</sup> соответствует видимой болометрической величине Солнца  $-26,832^m$ . Впрочем, в резолюции и теперь указано, что это *рекомендованные* величины.

Начиная с резолюции 1928 г., МАС занимался стандартизацией спектральной классификации, обозначений раз-



Различные фотометрические системы

личных спектральных классов и спектральных линий. В частности, именно в этом документе формально закреплено использование римских цифр для обозначения степени ионизации химических элементов (I – нейтральный атом, II – однократно ионизованный атом и т.д.) и квадратных скобок для обозначения запрещенных линий. Например, запрещенная линия двукратно ионизованного кислорода и теперь обозначается [OIII].

С самого основания и по сей день на МАС лежит ответственность определения астрономических систем координат и связанных с ними параметров.

Координаты – краеугольный камень астрономии. Определение орбит тел Солнечной системы, исследование разнообразных звездных движений, измерение расстояний – все это требует знания точных положений астрономических объектов (на данный момент времени). Решение этой задачи связано с несколькими фундаментальными трудностями. Во-первых, на небе нет координатной сетки, и ее приходится строить, *приписывая* координаты опорным точкам, в роли которых в течение долгого времени по понятным причинам выступали звезды. Во-вторых, из-за прецессии эта виртуальная сетка еще и смещается со временем. В-третьих, опорные звезды обладают собственным движением. В результате систему координат приходится время от времени обновлять, и одна из ключевых задач МАС состоит в том, чтобы следить за этими обновлениями и официально вводить их в действие.

До 1998 г. система небесных координат строилась на основе фундаментальных каталогов (FK), последним из которых является каталог FK6. Однако, если раньше в астрометрии в качестве основной применялась система координат, основанная на каталоге FK5, то теперь за основу взята система координат ICRS (International Celestial Reference System), в которой в качестве опорных объектов используются квазары. Поскольку начало отсчета этой системы находится в барицентре Солнечной системы, она никак не зависит от

ординат приходится время от времени обновлять, и одна из ключевых задач МАС состоит в том, чтобы следить за этими обновлениями и официально вводить их в действие.

изменения положения оси вращения Земли. Так как собственные движения квазаров крайне малы, то менять эту систему придется очень нескоро. Однако она, конечно, будет обновляться. Обновления, а также параметры, необходимые для обеспечения связи ICRS с более привычными и практичными системами координат, утверждаются резолюциями МАС.

В 1961 г. МАС ввел в использование новую галактическую систему координат, в которой точка с нулевыми координатами совпадала с направлением на центр Галактики. Для полюса новой галактической системы были зафиксированы экваториальные координаты  $12^{\text{h}} 49^{\text{m}}$  и  $+27,4^{\circ}$ , а для центра Галактики –  $17^{\text{h}} 42,4^{\text{m}}$  и  $-28^{\circ} 55'$  (на эпоху 1950 г.).

Попутно МАС утверждает также некоторые астрономические константы и единицы измерения. В 1961 г. было зафиксировано определение ангстрема ( $10^{-10}$  м), в 1985 г. – расстояние до центра Галактики (8,5 кпк) и скорость галактического вращения Солнца (220 км/с). В 1976, 2009 и 2015 гг. фиксировались значения различных астрономических постоянных – масс и размеров Солнца и планет, скорости света, гравитационной постоянной и пр. В резолюции от 2012 г. МАС зафиксировал значение астрономической единицы. Мы часто для простоты говорим, что астрономическая единица есть среднее расстояние от Земли до Солнца или большая полуось земной орбиты, но эти параметры меняются со временем и потому не очень подходят на роль линейки. Согласно решению МАС, с 2012 г. астрономическая единица равна точно 149 597 870 700 м. МАС не оставляет попыток внедрить в астрономию систему единиц СИ. Резолюции на эту тему принимались в 1967 и 1988 гг. В последней было оптимистично написано, что переход к СИ не должен быть быстрым и может продлиться до 1991 г.

Насколько я могу судить по своему опыту, в 2019 г. эта цель не стала ближе.

Еще один крупный каталог, создание которого ведется под эгидой МАС, – Общий каталог переменных звезд (ОКПЗ). До начала Второй Мировой войны он поддерживался в Германии, за него отвечал Рихард Прагерр. Будучи евреем по национальности, он был вынужден в 1938 г. эмигрировать в США, где умер в 1945 г. После войны эту работу кто-то должен был продолжать, и за нее взялись советские астрономы Б.В. Кукаркин и П.П. Паренаго (ЗиВ, 2009, № 6; 1976, № 5; 2006, № 3). ОКПЗ и по сей день поддерживается усилиями ученых Института астрономии РАН и Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга (МГУ) и включает в себя информацию более чем о 52 тыс. объектов.

---

## СТРАСТИ ПО ПЛУТОНУ

---

С конца 1940-х гг. в рамках МАС (и, в основном, на деньги NASA) работает Центр малых планет (Minor Planet Center, MPC). Он, как и ОКПЗ, возник в результате необходимости переноса научной деятельности из Германии. В настоящее время (после нескольких перемещений) Центр малых планет находится в Смитсоновской астрофизической обсерватории и отвечает за сбор, обработку и распространение информации о малых телах Солнечной системы – астероидах, кометах, иррегулярных спутниках больших планет.

Именно с малыми, точнее, с не очень малыми телами оказался связан наиболее забавный эпизод в истории МАС – “разжалование” Плутона. Но начнем издалека. С самого момента основания МАС одной из его задач стала лунная номенклатура, то есть система именования деталей лунной поверхности. К 1922 г., когда в МАС

была создана соответствующая комиссия, элементы лунного рельефа называли “кто во что горазд”, и нередко были случаи, когда один и тот же элемент получал разные имена. Союз для начала взялся упорядочить ситуацию с Луной, и в 1935 г. был опубликован первый официальный список деталей лунной поверхности.

После начала космической эры ситуация осложнилась. Сначала понадобилось заняться именами элементов рельефа обратной стороны Луны (резюлюции на “лунную” тему принимались в 1961 и 1973 гг.), потом появились подробные снимки других тел Солнечной системы, да и само число этих тел стало стремительно расти. И все их нужно было как-то назвать! При этом важно отметить, что никто и никогда официально не давал Международному астрономическому союзу полномочного права именовать небесные объекты, тем не менее именно он со временем стал организацией, за которой признавалось это право.

Конечно, это не означает, что МАС сам придумывает все имена, но исторически сложилось так, что он их утверждает. В настоящий момент за это отвечают две рабочие группы: по номенклатуре малых тел и по номенклатуре планетной системы. В случае комет и астероидов ситуация довольно простая: кометы называются именами первооткрывателей, приоритетное право предложить имя для астероида дается человеку, открывшему астероид. Первооткрыватели пользуются также приоритетом в присвоении имен спутникам планет и астероидов, однако в этом случае уже нужно придерживаться определенных мифологических тем.

Сложнее обстоит дело с названиями элементов рельефа. В МАС разработана довольно разветвленная система правил, по которым следует называть разные геологические образования на разных планетах. Например, на Меркурии в именах кратеров предпочтение отдается композиторам, писателям и пр., на Венере любые детали рельефа должны быть связаны с женщинами (как реальными, так и мифическими).

А вот как быть с именами самих планет? На сайте МАС указано, что названия планет неоднократно упоминаются в резолюциях союза и потому как бы тоже союзом утверждены. Однако с 1930 г. в списках планет неизменно фигурировал Плутон, что по той же логике означает официальное закрепление за ним планетного статуса (при этом присвоение имени Плутону прошло “мимо” МАС). Строго говоря, сомнения в том,

что Плутон является полноценным представителем планетной семьи, высказывались с самого момента его открытия. Небольшой размер, большие эксцентриситет и наклонение орбиты – все это указывало на необычность объекта. Но кто знает, может быть, за орбитой Нептуна у планет так принято. И Плутон на протяжении многих десятилетий считался несомненной девятой планетой.

Но наступил 1992 г., когда за орбитой Нептуна был открыт еще один объект. Потом еще один. Потом еще. И со временем стало ясно, что Плутон является представителем большой и разнообразной группы транснептуновых объектов (ЗиВ, 2006, № 2). Самым заметным, но всего лишь одним из. Фактически, повторилась история с Церерой, которую тоже сначала считали

*Никто и никогда официально не давал Международному астрономическому союзу полномочного права именовать небесные объекты, тем не менее именно он со временем стал организацией, за которой признавалось это право*

полноценной планетой, но потом как-то быстро смирились с тем, что планетой ее называть нельзя. Наконец, в 2005 г. был обнаружен объект 2003 UB<sub>313</sub>, по размерам сопоставимый с Плутоном, и тут выяснилось, что присвоить имя этому объекту невозможно, потому что непонятно, по каким правилам его присваивать. Логика подсказывала, что если мы считаем планетой Плутон, то должны считать планетой и 2003 UB<sub>313</sub>, но проверить эту подсказку было невозможно, так как не было формального определения планеты.

Международный астрономический союз решил ликвидировать этот пробел. Тем более, что к выработке определения планеты подталкивали и открытия планетных систем у других звезд. Обычно проекты резолюций публикуются за месяцы до ассамблеи, чтобы дать ученым время на их обдумывание и обсуждение, но в этот раз о намерении МАС дать официальное определение термина “планета” ученые узнали только в первый день работы Генеральной ассамблеи МАС 2006 г. в Праге, поскольку один отрицательный опыт с покушением на планетный статус Плутона у МАС уже был. В 1999 г. глава Центра малых планет Брайан Марсден предложил присвоить Плутону “красивый” астероидный номер – 10 000. Это предложение попало в СМИ и породило шквал писем протеста, вынудив МАС выпустить специальный пресс-релиз об отсутствии намерения сделать Плутон астероидом.

Подготовка проекта соответствующей резолюции началась почти за два



*Комбинация снимков Плутона (на переднем плане) и Харона (на заднем плане), полученных межпланетной станцией “Новые горизонты” (NASA). NASA/JHUAPL/SwRI*

года до пражской ассамблеи в обстановке строгой секретности и велась с большими спорами и с обсуждением не только научных, но и социальных аспектов принимаемого решения. Но ситуация на самом деле была проста: придумать определение, которое сохраняло бы планетный статус только для Плутона, невозможно. Планет становится либо восемь, либо двенадцать с перспективами дальнейшего увеличения их количества. Чаша весов склонилась в пользу первого варианта, и на Генеральной ассамблее 2006 г., после новых бурных, уже открытых обсуждений, были приняты две резолюции, согласно которым количество больших планет сокращалось до восьми, а Плутон и еще несколько тел Солнечной системы получили статус карликовой планеты.

Это решение, с одной стороны, привлекло к МАС беспрецедентное внимание человечества, с другой стороны, вызвало ожесточенные споры, которые

так и не закончились. Отчасти проблемы связаны с тем, что новость распространилась в унижительной для Плутона формулировке о лишении его планетного статуса, хотя именно *такого* решения МАС не принимал. Больше того, в резолюции МАС Плутон назван прототипом новой категории небесных объектов, за которой несколькими годами позже было закреплено название “плутоиды” (ЗиВ, 2005, № 1).

Вполне объяснимо, что большая часть протестов исходила и исходит из США, поскольку Плутон был открыт американцем К. Томбо (1997, № 6; 2006, № 3) и на американской обсерватории. Кроме того, в январе того же 2006 г. из США к Плутону отправился АМС “Новые горизонты”, который продвигался как экспедиция к последней планете Солнечной системы, у которой еще не побывали земные космические аппараты (ЗиВ, 2015, № 6, с. 94–98; 2016, № 1, с. 16–20). Таким образом, решение МАС было воспринято еще и как удар по престижу этой экспедиции.

Основные возражения против решения МАС (помимо научного несовершенства резолюций) звучали так. Во-первых, в голосовании из более чем 10 тыс. членов МАС приняли участие всего 424 человека. Отчасти это было связано с тем, что голосование проводилось в последний день ассамблеи, когда большая часть участников уже разъехалась (я сам был в их числе), поскольку планы у всех строились заранее, а о голосовании стало известно только на самой ассамблее. Во-вторых, противники решения ставили под сомнение само право МАС давать не имена, а *определения* небесным объектам.

Эти сомнения привели и к конкретным результатам. Научный руководитель проекта “Новые горизонты” Алан

Стерн основал компанию “Uwingu”, которая с 2013 до 2017 г. предлагала всем желающим за скромную плату присвоить имена экзопланетам и кратерам на Марсе. К чести компании, заработанные средства шли исключительно на научные гранты и обеспечение ее деятельности. Международный астрономический союз неоднократно

критиковал деятельность “Uwingu”, но Стерн возражал, что если МАС не хочет использовать собранные “Uwingu” имена, пусть не использует, но запретить собирать их союз не властен. Кроме того, присваивая имена экзопланетам, “Uwingu” не стоит ни

у кого на пути, поскольку никто другой делать этого не собирается!

Вызов был принят. Международный астрономический союз действительно долгое время старательно уклонялся от присвоения имен чему-либо за пределами Солнечной системы, но пришло время занять позицию в этом вопросе. МАС решил, что исторические названия звезд должны остаться неизменными; за их компиляцию отвечает рабочая группа “Имена звезд”, которой удалось найти “традиционные” имена для 313 светил. А вот имена экзопланетам и их родительским звездам (если у звезды нет исторического имени) будут выбираться путем публичного голосования. Первая кампания *NameExoWorlds* прошла в 2015 г. По ее правилам, в конкурсе могли участвовать только группы (организации, клубы, кружки), зарегистрированные на сайте МАС. Впрочем, правила регистрации были весьма либеральными, и предназначалась эта процедура, главным образом, для отсева соискателей с гипертрофированными фантазией и чувством юмора. Конкурс оказался удачным. Всего было подано

*В резолюции МАС Плутон назван прототипом новой категории небесных объектов, за которой несколькими годами позже было закреплено название “плутоиды”*

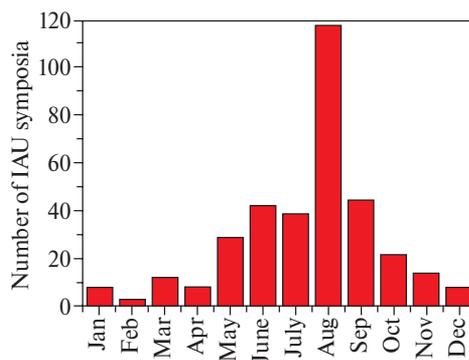
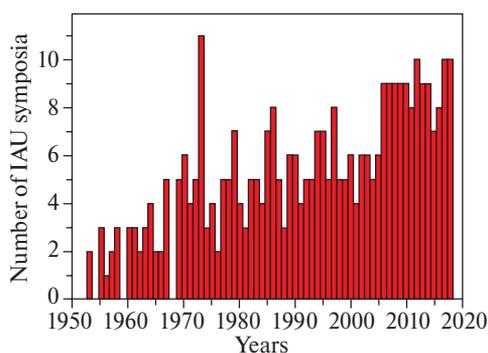
573 242 голоса из 182 стран и регионов. Больше всего голосующих оказалось в Индии, на втором и третьем местах – США и Испания. Новые имена обрели 14 звезд и 31 планета. Очевидно, что эта деятельность МАС будет продолжаться.

## АСТРОНОМИЯ И ОБЩЕСТВО

Важной стороной послевоенной деятельности Международного астрономического союза стала организация научных конференций. До войны казалось, что для общения астрономов друг с другом достаточно генеральных ассамблей. Однако после войны численность астрономов начала расти, и, чтобы охватить как можно больше народа, в 1948 г. союз несколько упростил правила индивидуального членства. Длительность ассамблей выросла до двух недель, но новые научные результаты, о которых хотелось рассказать на ассамблее, появлялись в таких количествах, что времени на общение и обсуждения практически не оставалось. Выход был найден в организации научных конференций нового типа – симпозиумов и коллоквиумов МАС, не таких масштабных, но посвященных исключительно науке. Первый

“нумерованный” симпозиум состоялся в 1953 г. в Нидерландах, и на сегодняшний день их прошло уже 350 (коллоквиумы оказались не столь живучи). Именно симпозиумы МАС являются сегодня наиболее важными и представительными научными конференциями. За право провести очередной симпозиум между комиссиями МАС идет довольно сильная конкуренция. Как правило, в год их организуется около десятка.

Значительные усилия МАС принимает в борьбе со световым и радио-загрязнением. Световое загрязнение является не только астрономической проблемой: как показывают многочисленные исследования, наше чрезмерное увлечение ночным светом приводит и к физиологическим последствиям. Кроме того, освещать Вселенную – значит понапрасну тратить весьма ощутимое количество энергии. Развитие радиосвязи создает проблемы для радиоастрономии, вынуждая астрономов всерьез рассматривать проекты радионаблюдений с обратной стороны Луны. Беспокоиться заставляет и освоение космического пространства, особенно появляющиеся время от времени проекты запуска “космических зеркал” для ночного освещения больших участков земной поверхности. В 1960-е гг.



Количество проведенных симпозиумов МАС по годам (слева) и среднее распределение симпозиумов в течение года (справа)

МАС участвовал в попытках противодействия проекту “Вестфорд”, который состоял в запуске в околоземное пространство полумиллиарда игловок-диполей для осуществления дальней радиосвязи. К сожалению, полномочия союза в этой области ограничиваются, главным образом, постоянным “выражением озабоченности” и привлечением внимания общественности.

В последние годы Международный астрономический союз начал переосмысливать свою роль в мире. В значительной степени это связано с осознанием того, что решение некоторых прошлых задач МАС (например, точного измерения времени) по объективным причинам перешло в другие организации. Попытки Союза координировать создание и использование крупных астрономических инструментов столкнулись с тем, что организации и консорциумы, выделяющие *очень* большие деньги на создание новых телескопов, предпочитают решать стратегические и тактические вопросы самостоятельно. Участие МАС в этих вопросах ограничивается сейчас “предоставлением площадок” (симпозиумов МАС) для их обсуждения – роль, впрочем, тоже весьма важная.

Одним из важных этапов “обновления” союза стало изменение его структуры, начавшееся в 2012 г. Вообще, разговоры о том, что система комиссий нуждается в пересмотре, велись в течение десятилетий. Она развивалась без особой логики. Иногда новым комиссиям присваивались новые номера, иногда новые комиссии наследовали номера прежних расформированных комиссий. Комиссии создавались по тематике (“Переменные звезды”), по пространственному расположению объектов (“Внегалактические туманности”), по методам их исследования (“Радиоастрономия”), что в результате приводило к значительному перекрытию их интересов. Первый шаг к реформе был сделан в начале 1990-х

гг.: в МАС была добавлена новая структурная единица – дивизион, объединяющий несколько комиссий (иногда одну). Таких дивизионов было к 2003 г. создано 12. Однако практика их работы показала, что, в общем-то, никаких проблем они не решают: все комиссии со всеми своими недостатками остались на месте, добавился только дополнительный административный уровень.

Поэтому в 2012 г. на Генеральной ассамблее в Пекине был предпринят более радикальный шаг: в МАС создавалось девять новых дивизионов, а вот комиссии для них предполагалось создать заново, собрав предложения современного астрономического сообщества. В 2015 г. проблема реформирования комиссий была решена самым радикальным образом: работа всех старых комиссий была прекращена, и вместо них были введены новые комиссии.

На сегодняшний день в составе Международного астрономического союза работает девять дивизионов, 35 комиссий и 53 рабочих группы. Список членов МАС включает в себя 13530 имен. В состав союза входят представители 107 стран, в том числе 82 национальных организаций.

Согласно новой концепции, МАС перестает быть исключительно профессиональной организацией, занятой решением исключительно профессиональных вопросов. Союз намерен играть все более значительную социальную и дипломатическую роль, отдавая все больше сил продвижению астрономии в массы, использованию астрономии в качестве развивающего фактора для тех стран и территорий, которые в этом нуждаются, а также в качестве стимула к изучению естественных наук вообще. Для этого в составе союза в последние годы были созданы новые подразделения-офисы: “Астрономия для развития” (Office of Astronomy for Development, OAD, совместно с Южно-Африканским

национальным исследовательским фондом), “Астрономия для образования” (Office of Astronomy for Education, OAE), “Продвижение астрономии” (Office for Astronomy Outreach, OAO, совместно с Национальной астрономической обсерваторией Японии) и “Молодые астрономы” (Office for Young Astronomers, OYA, совместно с Норвежской академией наук и искусств). Конечно же, МАС собирается и дальше бороться за равные права женщин-астрономов, которых в союзе все еще не больше 20%.

Глобальная задача МАС в стратегическом плане на следующее десятилетие (2020–2030 гг.) сформулирована так: посредством международного сотрудничества развивать и защищать астрономию во всех ее аспектах, включая исследования, обмен информацией, образование и развитие. Деятельность МАС предлагается сосредоточить вокруг восьми основных направлений:

I. Способствовать более эффективному обмену астрономическими данными среди профессиональных астрономов. Вообще, в мире сейчас много говорят о том, что научные данные и публикации должны стать общедоступными; Международный астрономический союз также предполагает работать в этом направлении.

II. Координировать профессиональную деятельность и взаимодействие

с другими областями науки на профессиональном уровне.

III. Присуждать премии и другие награды за выдающиеся достижения в области астрономии.

IV. Содействовать распространению инклюзивности в астрономии.

V. Способствовать продвижению и развитию следующих поколений астрономов и ученых. В 2018 г. на Генеральной ассамблее МАС в Вене был введен новый уровень членства в МАС – “Молодой член союза”. Предполагается, что это позволит привлечь к союзным делам молодых астрономов.

VI. Стимулировать использование астрономии в качестве инструмента глобального развития.

VII. Привлекать общественность к астрономии и астрономическим исследованиям.

VIII. Использовать астрономию в качестве инструмента преподавания и образования на школьном уровне.

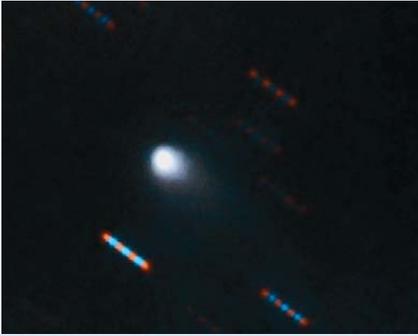
Как видите, из восьми задач к науке имеют прямое отношение только первые две, и выглядят они достаточно узко. Что делать, развитие науки пошло таким путем, что для решения в ней больших исследовательских задач нужны большие деньги, которых у Международного астрономического союза нет и, наверное, не будет. Но как знать, может быть, в будущем именно “социальные” роли выйдут на первый план?

## Информация

### Первая межзвездная Геннадия Борисова

В ночь с 29 на 30 августа 2019 г. любитель астрономии Геннадий Борисов обнаружил новую комету, которая оказалась первой межзвездной кометой, известной людям. Предыдущий гость из межзвездного пространства A/2017 U1 (Оумуамуа) не проявил никаких признаков кометной активности и был классифицирован как астероид (ЗиВ, 2018, № 2, с. 65–66).

В чем же уникальность открытия Геннадия Борисова? За последние четыре столетия астрономы обнаружили около 6,5 тысяч комет, но все они являются частью Солнечной системы и движутся вокруг Солнца по эллиптическим орбитам. Изредка та или иная комета сближается с одной из планет-гигантов (как правило, Юпитером), который возмущает ее



Снимок кометы C/2019 Q4 (Borisov) получен в ночь с 9 на 10 сентября 2019 г. с помощью мультиобъектного спектрографа телескопа Gemini North на Гавайях. Съемка велась через фильтры г и с (в красных и синезеленых лучах). Красно-синие штрихи – изображения фоновых звезд



Первооткрыватель первой межзвездной кометы рядом со своим телескопом

орбиту и, ускоряя ее своим гравитационным полем, “выбрасывает” из Солнечной системы. Орбиты таких комет становятся гиперболическими (незамкнутыми) с величиной эксцентриситета, лишь немного превышающей единицу (самая “гиперболическая” из всех выброшенных комет C/1980 E1 (Bowell) при вылете из Солнечной системы имела эксцентриситет орбиты, равный 1,0575, а как правило, эта величина еще меньше).

За 400 лет наблюдений среди этих 6,5 тыс. комет не нашлось ни одной с эксцентриситетом орбиты, значительно превышающим единицу, а значит – пришедшей из межзвездного пространства! Так было до 30 августа 2019 г., когда Геннадий Борисов обнаружил в созвездии Рыси крошечное туманное пятнышко.

Открытие кометы C/2019 Q4 (Borisov) – событие дважды уникальное. Оно было совершено любителем астрономии на любительском инструменте с апертурой всего 65 см – и это в эпоху таких мощных автоматических обзоров, как Pan-STARRS и Catalina! Однако удача любит подготовленных: Геннадий Борисов – опытный наблюдатель, до первой межзвездной открывший уже семь комет Солнечной системы. Его телескоп (F/1.5 системы Гамильтона) отличается светосилой и сравнительно широким полем зрения в 128 на 128 угловых минут – качествами, оптимальными для поиска тусклых диффузных объектов.

По последним данным, эксцентриситет орбиты C/2019 Q4 (Borisov) достигает  $3,64 \pm 0,15!$  “На бесконечности” она двигалась со скоростью  $33,8 \pm 0,6$  км/с относительно Солнца – то есть с типичной peculiarной скоростью звезд галактического диска. Сейчас комета приближается к Солнцу под углом  $44^\circ$  к эклиптике. 26 октября 2019 г. она пересечет эклиптику, пройдет

перигелий 8 декабря 2019 г. на расстоянии 2,02 а.е. от Солнца, а затем навсегда покинет Солнечную систему. Точка вылета находится в созвездии Телескопа.

Спектр кометы, полученный в видимых лучах 12 сентября 2019 г. на 10,4-метровом телескопе GTC на Канарах, является типичным для кометных ядер и астероидов с кометными орбитами. Размеры ядра пока очень неуверенно оценивают в 2–15 км.

Почему же любитель астрономии сделал то, что не удалось сделать профессиональным наблюдательным программам? Кроме огромного опыта и упорства Геннадия Борисова, сыграло свою роль и стечение обстоятельств. Комета пришла из-за Солнца: с 20 мая по 24 августа 2019 г. угловое расстояние между нею и Солнцем не превышало  $35^\circ$ , а до 20 мая она была еще слишком далеко, и ее видимый блеск не превышал +20m. Даже сейчас близость к Солнцу делает C/2019 Q4 (Borisov) трудной целью. Однако условия наблюдения быстро улучшаются, и можно надеяться, что вскоре мы узнаем о межзвездной гостье гораздо больше.

По материалам сайта [astronomy.ru](http://astronomy.ru), [minorplanetcenter.net](http://minorplanetcenter.net), [iopscience.iop.org](http://iopscience.iop.org), [gemini.edu](http://gemini.edu), [JPL NASA](http://JPL NASA)

## **ЛЕОНИД ВАСИЛЬЕВИЧ КСАНФОМАЛИТИ (28.01.1932–07.09.2019)**

**7** сентября 2019 г. из жизни ушел замечательный ученый – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник и руководитель лаборатории фотометрии и ИК-радиометрии отдела физики планет Солнечной системы ИКИ РАН Леонид Васильевич Ксанфомалити.

Леонид Васильевич родился в Керчи 23 января 1932 г. В Институт космических исследований Академии наук СССР он был приглашен в 1969 г., всего через четыре года после основания самого института. Ранее он работал в Абастуманской обсерватории, выполнял работы по поляриметрии Луны. Этому посвящена его кандидатская диссертация, которую он защитил в 1963 г. (тема “Поляриметрия Луны на основе электронной техники”). В 1977 г. Л.В. Ксанфомалити успешно защитил диссертацию на степень доктора физико-математических наук по теме “Тепловая асимметрия Венеры”.

В Институте космических исследований Леонид Васильевич вначале заведовал сектором спектроскопии в отделе астрофизики, а после образования в 1974 г. отдела физики планет и малых тел Солнечной системы – лабораторией спектроскопии в составе отдела.

Под его руководством были выполнены девятнадцать успешных космических экспериментов по исследованию Марса и его спутника Фобоса, а также Венеры и кометы Галлея (советские миссии серии “Марс” и “Венера”, международные программы “Вега” (1984–1986 гг.) и “Фобос” (1988–1989 гг.), подготовка миссии “Марс-96”).

Область профессиональных интересов Леонида Васильевича была не-



обычайно широка. Он отличался смелостью в выдвижении гипотез и нетривиальным подходом к решению задач. В 1978–1982 гг. в экспериментах, проведенных аппаратами “Венера”, им впервые была обнаружена электрическая активность атмосферы Венеры, подтвержденная впоследствии исследованиями на космических аппаратах США. Именно он впервые выдвинул концепцию вулканизма Венеры, получившую в дальнейшем подтверждение.

Последние годы Леонид Васильевич работал над исследованием планеты Меркурий и внесолнечных планет с помощью новых средств наземной астрономии. На основе результатов применения современных методов обработки изображений, полученных советскими межпланетными станциями серии “Венера”, он высказал сенсационную гипотезу о возможном обнаружении живых существ на поверхности планеты. Интерпретация объектов на Венере, сделанная Л.В. Ксанфомалити, вызывали и вызывают множество споров, но

очень жаль, что Леониду Васильевичу не удастся стать свидетелем новой отечественной экспедиции на Венеру.

Л.В. Ксанфомалити – заслуженный деятель науки Российской Федерации (1999), лауреат Государственной премии за результаты исследований на аппаратах “Венера-9” и “Венера-10” (1985), член Научного совета РАН по астробиологии, член Комиссии РАН по космической топонимике.

Леонид Васильевич Ксанфомалити был также замечательным популяризатором науки. Он автор более 300 научных публикаций, часто читал научно-популярные лекции, регулярно выступал в Московском планетарии,

выступал в средствах массовой информации, комментируя различные события, всегда ярко и образно. Его перу принадлежат, кроме научных работ, множество статей для научно-популярных журналов и несколько книг, которые уже стали “классикой жанра”: “Планета Венера”, “Планеты, открытые заново” (1985), “Спутники внешних планет и Плутон” (1987), “Парад планет” (1997).

Л.В. Ксанфомалити регулярно публиковал статьи и в нашем журнале. Его последняя статья “Розетта” исследует комету Чурюмова – Герасименко” в соавторстве с К.И. Чурюмовым и Л.М. Зелёным была опубликована в № 4, 2015 г.

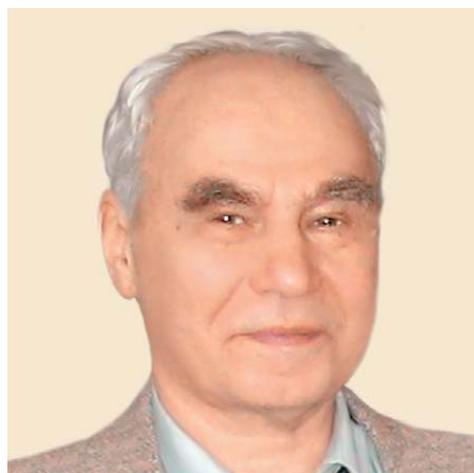
*In memoriam*

## **ВЛАДИМИР МИХАЙЛОВИЧ ГОТЛИБ** **(03.03.1937–30.09.2019)**

**30** сентября 2019 года ушел из жизни один из ведущих специалистов в области космических исследований Владимир Готлиб.

Владимир Михайлович Готлиб родился 3 марта 1937 г. В 1960 г. он окончил радиотехнический факультет Московского авиационного института и с этого времени начал работать в НИИ приборостроения, совмещая работу с обучением в аспирантуре. За время работы в НИИП он участвовал в первых советских космических проектах по исследованию Венеры и Марса.

В 1993 г. Владимир Готлиб перешел на работу в Институт космических исследований РАН, где проработал всю оставшуюся жизнь. В ИКИ РАН под руководством профессора В.М. Линкина он включился в работы по проекту “Марс-96”.



В.М. Готлиб участвовал во многих космических проектах. В их числе “Mars Surveyor Program-98” (атмосферный комплекс: лидар и датчики инфразвуковых и звуковых волн), “Модуль-М” (создание малого косми-

ческого аппарата на электрореактивной тяге), “Солнечный парус” (экспериментальный проект по использованию солнечного паруса как движителя в космическом пространстве), проект “New Horizons” (создание посадочного зонда на Плутон), “Met-Net” (создание метеорологической марсианской микростанции), “Фобос-Грунт” (комплекс приборов по исследованию состава и внутреннего строения спутника Фобоса).

Основной областью научных интересов В.М. Готлиба были радиофизика, а также исследование атмосфер планет радиотехническими методами. В последние годы большая часть его работы

была посвящена радиочастотному анализатору (РЧА) для малых научных космических аппаратов серии “Чибис”. Этот прибор был установлен, в частности, на микроспутнике “Чибис-М”, предназначенном для исследования грозовой активности из космоса. Микроспутник работал в 2012–2014 гг. Прибор РЧА обеспечивал регистрацию электромагнитных разрядов в довольно широком диапазоне частот с рекордно высоким временным разрешением, и в комплексе с другими приборами на борту микроспутника позволил существенным образом расширить наши представления о природе высокоатмосферных процессов.

*In memoriam*

## ЛЕОНИД ИВАНОВИЧ МАТВЕЕНКО (20.12.1929–13.10.2019)

**13** октября 2019 г. после тяжелой болезни ушел из жизни Леонид Иванович Матвеевко, заведующий лабораторией сверхдальней радиоинтерферометрии Института космических исследований РАН, лауреат Государственной премии, заслуженный деятель науки РФ, доктор физико-математических наук.

Леонид Иванович был всемирно известным специалистом в области радиоастрономии, изобретателем и основоположником метода радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой, сокращенно РСДБ. В 1962 г. им предложен принципиально новый метод сверхдальней радиоинтерферометрии, позволивший достичь очень высокого углового разрешения получаемых изображений.

В подобных исследованиях сегодня принимают участие практически все радиообсерватории мира. Кроме это-



го, метод сейчас стал основным для исследования тонкой структуры не только радиоисточников, но и объектов, которые наблюдаются в других диапазонах электромагнитного спектра: инфракрасном и оптическом. Выдающимся результатом, полученным с помощью

РСДБ-метода, стало наблюдение тени черной дыры, сделанное сетью инфракрасных телескопов, расположенных на разных континентах земного шара.

Леонид Иванович возглавлял первые в СССР РСДБ-исследования. Работы начинались в Физическом институте им. П.Н. Лебедева Академии наук. Затем это направление было передано во вновь создаваемый академический Институт космических исследований. Здесь, в отделе, который возглавлял И.С. Шкловский, Л.И. Матвеев создал лабораторию РСДБ, успешно развивавшую это направление.

Л.И. Матвеев предложил и развил методы исследования структуры радиисточников. Исследования Крабовидной Туманности внесли существенную коррекцию в наши представления об этом объекте, была обнаружена оболочка и установлена переменность радиоизлучения локальной структуры.

При непосредственном участии ученого создавался радиоинтерферометрический комплекс и проводились траекторные измерения первых космических ракет – “Лунников”. Этот опыт лег в основу измерительного комплекса Центра дальней космической связи.

В 1967 г. были проведены первые совместные РСДБ-наблюдения СССР–США. Леонид Иванович непосредственно уча-

ствовал в создании глобальной РСДБ-сети, которая объединила крупнейшие радиотелескопы мира. Этот метод им был успешно применен для определения траекторий движения аэростатных зондов в атмосфере Венеры в рамках проекта “Вега”. Под его руководством была создана сеть на основе отечественных радиотелескопов, значительно расширившая возможности глобальной сети. За эти исследования ему присуждена Государственная премия за 1986 г.

Аппаратурные и технологические разработки легли в основу создаваемого у нас в стране уникального комплекса координатно-временного обеспечения “Квазар-КВО”.

Результаты его исследований опубликованы в более чем 350 работах. Под руководством Л.И. Матвеев успешно защищены 10 кандидатских и одна докторская диссертация.

Профессор Л.И. Матвеев был членом Международного астрономического союза, Консорциума Европейской РСДБ-сети, Проблемного совета по астрономии РАН, а также многие годы входил в экспертный Совет Высшей аттестационной комиссии по физике, был заместителем главного редактора журнала “Письма в Астрономический журнал” и членом редколлегии журнала “Земля и Вселенная”.

*In memoriam*

## **АЛЕКСЕЙ АРХИПОВИЧ ЛЕОНОВ** **(30.05.1934–11.10.2019)**

**11** октября 2019 г. после продолжительной болезни на 86-м году жизни скончался член первого отряда космонавтов, один из пионеров звездной одиссеи, первый в истории космонавт, совершивший выход в открытый космос, дважды Герой Советского Союза, летчик-космонавт СССР, генерал-майор авиации Алексей Архипо-

вич Леонов. Руководство госкорпорации “Роскосмос” выразило искренние соболезнования в связи с этой большой потерей для мировой космонавтики.

Леонов Алексей Архипович (11-й отечественный космонавт, 15-й астронавт мира) родился 30 мая 1934 г. в с. Листвянка Кемеровской области в семье шахтера. В 1955 г. окончил 10-ю Воен-

ную авиационную школу первоначального обучения летчиков в Кременчуге. После окончания в 1957 г. Чугуевского военного авиационного училища летчиков, служил летчиком с декабря 1959 г. в авиационных частях ВВС, в том числе авиационном полку в составе Группы советских войск в Германии. В конце 1959 г. после жесточайшего медицинского отбора в отряд космонавтов приехал в феврале 1960 г. в Центральный авиационный госпиталь для прохождения окончательной медкомиссии. Передумал и хотел ехать назад в свою часть, но его уговорил остаться Ю.А. Гагарин. В марте 1960 г. Леонова зачислили в первый отряд космонавтов. В 1961–1965 гг. он проходил подготовку в составе экипажей космических кораблей-спутников “Восток-5” и “Восход-2”.

Первый полет совершил 18–19 марта 1965 г. в качестве второго пилота КК “Восход-2” (командир корабля – П.И. Беляев). Впервые в мире 18 марта 1965 г. вышел в открытый космос, удалился от корабля на расстояние до 5 м и провел вне шлюзовой камеры 12 мин 09 с, затем благополучно возвратился в кабину. Во время полета произошли отказы систем корабля, экипаж был на грани аварии. При возвращении на Землю пришлось применить ручное управление, корабль неправильно сориентировали и приземлились в сибирской тайге под г. Пермь. Космонавтам пришлось два дня ожидать спасателей в глубоком снегу и на морозе.

В 1968 г. Леонов окончил Военно-воздушную инженерную академию им. Н.Е. Жуковского по специальности “Конструкция и эксплуатация воздушно-космических аппаратов и двигателей к ним”, получил квалификацию “летчик-инженер-космонавт”. 4 апреля 1961 г. был назначен на должность кос-



*Алексей Архипович Леонов*

монавта и получил квалификацию “космонавт ВВС”, с 25 июня 1966 г. – заместитель командира 1-го отряда Центра подготовки космонавтов (ЦПК). В 1967–1970 гг. проходил подготовку по программе “Л-1” для облета Луны сначала в составе группы, а затем в качестве командира экипажа вместе с О.Г. Макаровым. В 1968 г. готовился по программе “Н-1–Л-3” с целью высадки на Луну. После гибели Ю.А. Гагарина в марте 1968 г. Алексей Леонов приложил большие усилия, чтобы память о подвиге первого космонавта планеты была увековечена.

В 1974 г. лунная программа была отменена, и он стал готовиться к полетам на орбитальных станциях. 21 марта 1969 г. Леонова назначили старшим инструктором-космонавтом, заместителем начальника 1-го управления ЦПК, 10 февраля 1970 г. – заместителем начальника ЦПК по летной подготовке космонавтов. В 1970–1973 гг. проходил тренировки в качестве командира дублирующего и основного экипажей КК “Союз-10” и “Союз-11” по программам полета на первой в мире орбитальной станции “Салют” вместе с В.Н. Кубасовым и П.И. Колодиным. Медиками

был отстранен от полета бортинженер корабля В.Н. Кубасов, и А.А. Леонов опять не полетел в космос. Сначала его назначили командиром первого экипажа на военную станцию серии “Алмаз” (“Салют-2”), но на орбите произошла ее разгерметизация и запуски экипажей не проводились. В сентябре 1972 г. он был назначен командиром экипажа КК “Союз” для автономного полета, но полет отменили. Алексей Архипович вновь стал готовиться для работы на следующей станции, но из-за аварии системы ориентации станция серии “Салют” (“Космос-557”) прекратила существование. В 1973–1975 гг. проходил подготовку в качестве командира основного экипажа по международной программе ЭПАС (экспериментальный полет кораблей “Аполлон” и “Союз”) вместе с В.Н. Кубасовым. 30 апреля 1974 г. Леонова назначили заместителем начальника ЦПК по космической подготовке, 30 марта 1976 г. – командиром отряда космонавтов.

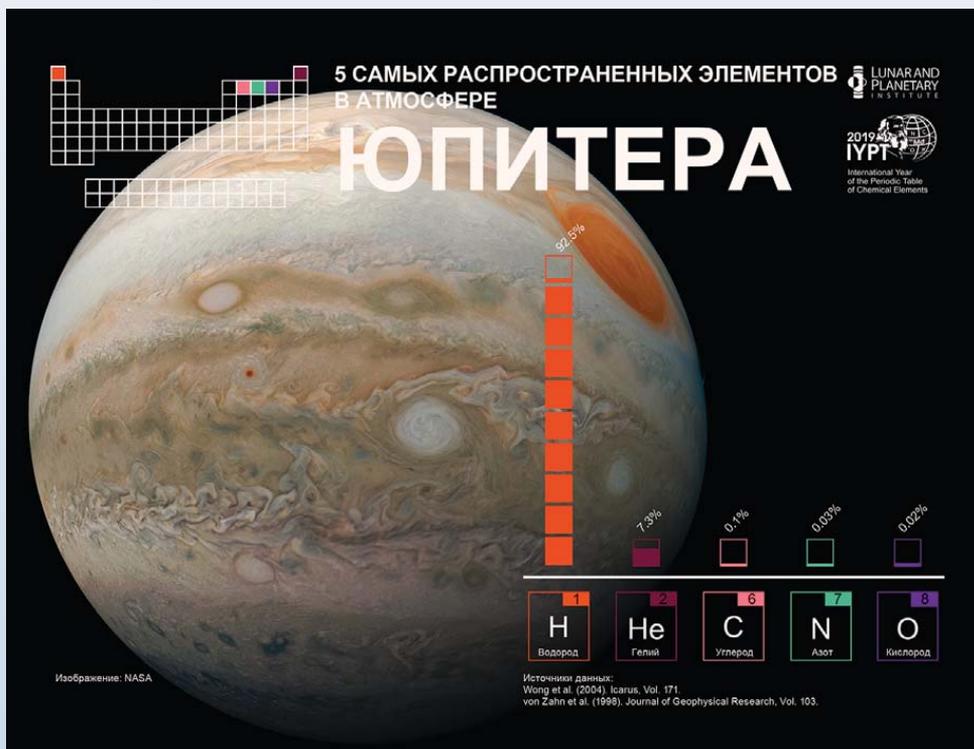
Второй полет Леонов выполнил 15–21 июля 1975 г. в качестве командира экипажа КК “Союз-19” по программе ЭПАС. Впервые корабли разных стран произвели стыковки на околоземной орбите, советский и американский экипажи выполнили совместные научно-технические эксперименты, астрофизические и медико-биологические исследования. Длительность двух полетов Леонова составила 7 сут 33 мин 08 с.

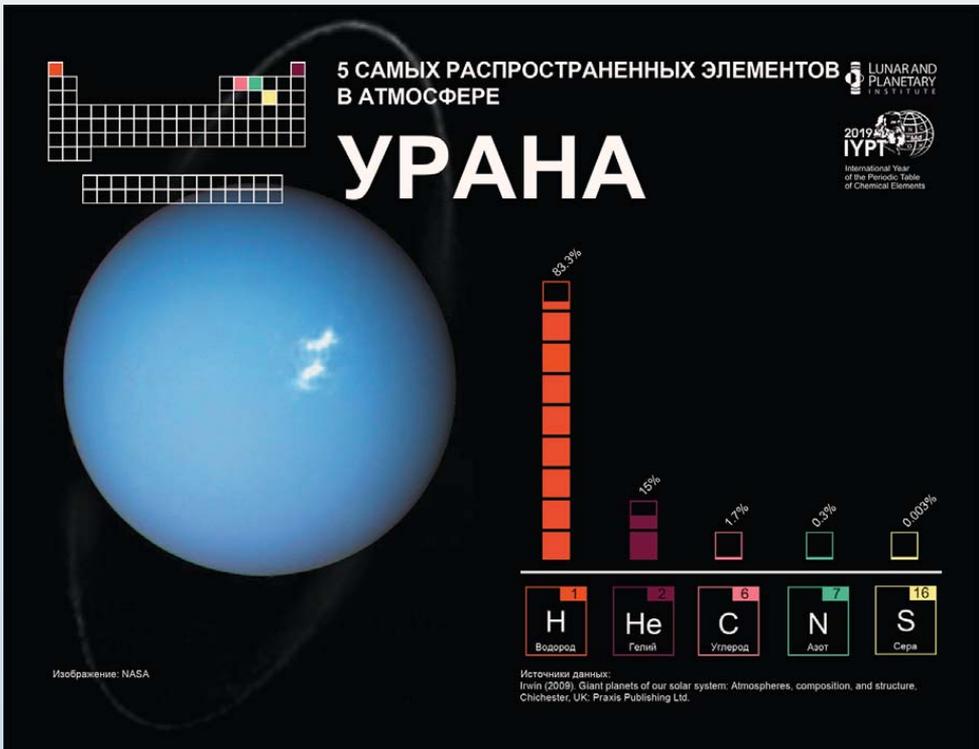
В 1981 г. Леонов окончил адъюнктуру при ВВИА им. Н.Е. Жуковского, защитил диссертацию и получил степень кандидата технических наук. 26 января 1982 г. Алексея Архиповича отчислили из отряда космонавтов в связи с назначением на должность первого заместителя начальника ЦПК им. Ю.А. Гагарина по летной и космической подготовке, на которой он служил до сентября 1991 г.

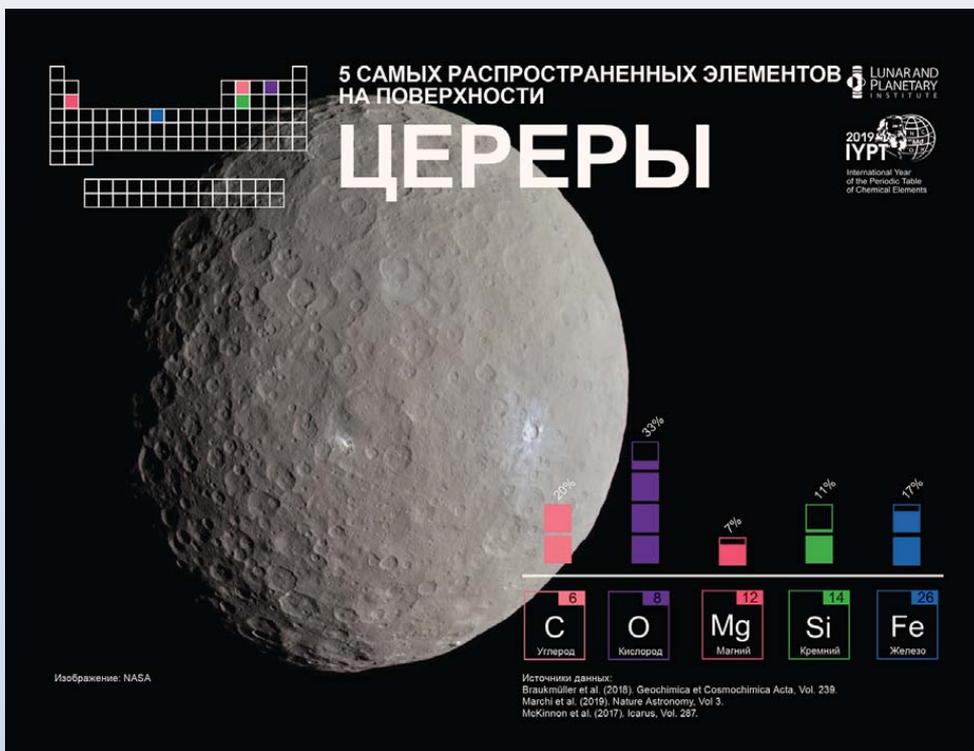
С 1991 г. Алексей Архипович работал одним из руководителей международной акционерной компании “Четек” и директором фирмы “Четек-космос”, с 1993 г. – президентом инвестиционного фонда “Альфа-капитал”, инвестиционной компании “Беринг-Восток”

и президентом компании “Восток-Капитал”, в 1997–2009 гг. – вице-президентом “Альфа-банка”, советником первого заместителя председателя совета директоров “Альфа-банка”. Занимался благотворительностью по программе “Линия жизни” – помощь детям с кардиологическими заболеваниями.

Действительный член Международной академии астронавтики, президент Международного фонда поддержки космонавтики, сопредседатель и член Исполнительного комитета Ассоциации исследователей космоса (The Association of Space Explorers). Имеет 4 изобретения и автор более 10 научных трудов. Дважды Герой Советского Союза (1965, 1975), заслуженный мастер спорта СССР (1965), почетный член Российской академии художеств (автор и соавтор с художником А.К. Соколовым многих живописных картин и восьми альбомов с рисунками на космическую тему). Награжден Золотыми медалями АН СССР им. К.Э. Циолковского и ФАИ им. Ю.А. Гагарина, орденами и медалями СССР, “За заслуги в развитии науки и перед человечеством” Чехословакии, медалью “Космос” (дважды) Международной академии астронавтики, двумя орденами Ленина, тремя орденами “За заслуги перед Отечеством”, многими наградами общественных организаций, иностранными орденами и медалями, премией Ленинского комсомола за книгу-альбом “Человек и Вселенная” (совместно с А.К. Соколовым, 1979), Государственной премией СССР (совместно с А.В. Филипченко, 1981) и премией Правительства РФ им. Ю.А. Гагарина в области космической деятельности (2011). Леонов удостоен звания Героя Болгарии и Вьетнама. Бронзовые бюсты космонавта установлены в Москве (на Аллее Героев космоса), в Кемерово и на родине космонавта в пос. Листвянка. Его именем названы кратер на обратной стороне Луны, малая планета, международный аэропорт в Кемерово и Планетарий Казанского федерального университета. Почетный гражданин 40 городов России, Болгарии, Казахстана, США и ФРГ.







## СЕЙСМИЧНОСТЬ ЗЕМЛИ В ПЕРВОМ ПОЛУГОДИИ 2019 ГОДА

DOI: 10.7868/50044394819060082

**В** январе – июне 2019 г. в Службе срочных донесений Геофизической службы РАН зарегистрировано и обработано более 2500 землетрясений, произошедших на земном шаре. Среди них 18 имели магнитуду  $M \geq 6,5$ .

На территории России в этот период наблюдалась сравнительно невысокая сейсмическая активность – сильных разрушительных землетрясений не отмечено, более пятидесяти были ощутимы, т.е. вызвали сотрясения земной поверхности с интенсивностью не более 4-х-5-ти баллов. Ощутимые землетрясения были в районе Камчатки, Курильских островов и на Сахалине.

4 марта 2019 г. в 13 ч 02 мин гринвичского времени (16 ч 02 мин московского времени) в районе озера Байкал произошло ощутимое землетрясение с магнитудой  $M = 4,6$ . Землетрясение ощущалось в селе Баргузин силой 5 баллов, в пгт. Усть-Баргузине, селах Уро и Суво силой 4–5 баллов, в поселках Куйтун, Сосново-Озерское и Хужир силой 4 балла, в г. Чита силой 3 балла и в пгт. Новоорловск, с. Онгурен силой 2–3 балла.

29 марта 2019 г. в 23 ч 32 мин гринвичского времени (30 марта в 2 ч 32 мин московского времени) на границе Россия – Монголия произошло ощутимое землетрясение с магнитудой  $M = 4,7$ . Очаг находился в Республике Бурятия на глубине 10 км, в 44 км к восток-северо-востоку от поселка Монды, в 147 км к западу от г. Слюдянка и в 193 км к запад-юго-западу от г. Иркутска. Землетрясение ощущалось в п. Монды силой 5 баллов, в пгт.

Кырены, с. Шимки силой 4–5 баллов, в г. Иркутске, Ангарске, Мегете, Шелехове, Усолье-Сибирском, Черемхово, Саянске, Карымске, Михайловке, Мальте, Зиме, Маркове силой 4 балла, в г. Слюдянке, Тырете 1-й, Среднем, Грановщине, Заларях, Белореченском, Шаманке силой 3–4 балла, в Хомутово, Братске, Боксоне, Хохорске силой 3 балла.

24 мая 2019 г. в 22 ч 34 мин гринвичского времени (25 мая в 1 ч 34 мин московского времени) в Дагестане произошло ощутимое землетрясение с магнитудой  $M = 4,6$ . Землетрясение ощущалось в г. Буйнакске силой 5–6 баллов, в г. Махачкале силой 3–4 балла. По данным РИА “Новости”, в результате землетрясения в Буйнакске пострадали две школы и два детских сада, характер разрушений незначительный: осыпалась штукатурка, потрескались стены, пострадавших нет.

25 июня 2019 г. в 9 ч 05 мин по Гринвичу (12 ч 05 мин московского времени) в районе Командорских островов произошло ощутимое землетрясение с магнитудой  $M = 6,2$ . Менее, чем через 18 ч, 26 июня в 2 ч 18 мин (5 ч 18 мин московского времени), произошел толчок с магнитудой  $M = 6,4$ . По данным Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН землетрясение 25 июня ощущалось в г. Усть-Камчатске силой 5 баллов, в с. Никольском силой 4 балла, землетрясение 26 июня ощущалось в тех же пунктах соответственно на балл меньше.

В первой половине 2019 г. были отмечены очень слабые сотрясения в Уральском регионе. Возможно, это



*Последствия землетрясения на острове Сулавеси 12 апреля 2019 г. с магнитудой  $M = 6,6$*

отголоски землетрясения 4 сентября 2018 г. (ЗиВ, 2019, № 3).

Разрушительные землетрясения происходили в Тихоокеанском секторе (Южные Сандвичевы острова, а также о-ва Тайвань, Сулавеси, Кермадек, Хонсю, Кюси, район Новой Гвинеи, Новой Британии, море Банда); в районе Центральной Америки (Перу, Эквадор, Чили, Бразилия).

Сильные толчки ощущались в г. Макассаре – административном центре провинции Южный Сулавеси. Здесь проживают около 1,3 млн жителей. Очаг подземного удара залегал на глубине 13 км, а эпицентр находился в 107 км к югу от населенного пункта Лувук и 85 км от острова Бангтай. После землетрясения жителям центрального Сулавеси была предложена эвакуация. Угроза цунами просуществовала только 40 мин, после этого предупреждение отменили. О жертвах и разрушениях ничего не сообщалось.

22 апреля 2019 г. разрушительное землетрясение магнитудой  $M = 6,1$  произошло в юго-западной части филиппинского о. Лусон. Очаг находился на

глубине 40 км, в 18 км к северо-востоку от г. Олонгапо, в 30 км к запад-юго-западу от г. Сан-Фернандо и в 70 км к северо-западу от г. Манилы, столицы Филиппин. По данным ТАСС, в результате землетрясения погибли 16 человек, около 90 пострадали. Сильнее всего пострадала провинция Пампанга, где были зарегистрированы все погибшие. Землетрясение привело к повреждению многих зданий и дорог, на некоторых строениях образовались трещины. Помимо этого, была разрушена часть конструкций международного аэропорта Кларк. Менее чем через сутки, в 612 км к юго-востоку от него 23 апреля 2019 г. произошло сильное землетрясение с магнитудой  $M = 6,6$ .

В Перу 26 мая произошло землетрясение с магнитудой  $M = 7,2$ , очаг которого находился на севере Перу, на глубине 100 км. Подземные толчки были зафиксированы рано утром, эпицентр землетрясения располагался в 180 км к восток-северо-востоку от г. Мойобамбы, в 307 км к север-северо-западу от г. Пукальпы и в 327 км к юго-западу от



Последствия землетрясения на острове Лусон 22 апреля 2019 г. с магнитудой  $M = 6,1$



Последствия землетрясения в Перу 26 мая 2019 года с магнитудой  $M = 7,2$

г. Икитос. По данным РИА “Новости”, в результате землетрясения два человека погибли и 15 пострадали, 291 зданию нанесен ущерб, 337 непригодны для жизни, ущерб причинен 63 учебным заведениям, одно разрушено, пострадали 27 центров здравоохранения, разрушилось два моста. Это уже второе сильное землетрясение в Перу с начала года. 19 января на севере страны были зафиксированы подземные толчки магнитудой  $M = 5,6$ . Землетрясение тогда произошло недалеко от границы с Эквадором.

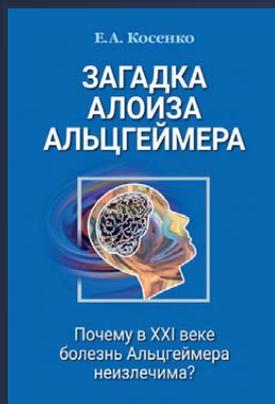
Сильное землетрясение с магнитудой  $M = 7,4$  произошло 14 мая 2019 г. в районе острова Новая Британия, Папуа-Новая Гвинея. Очаг находился у западного побережья о. Новая Ирландия на глубине 10 км, в 38 км к северу от г. Каита, в 44 км к северо-востоку от г. Кокопо, в 48 км к вос-

ток-северо-востоку от г. Рабаула. Землетрясение возникло в 70 км к северу от сильного землетрясения 29 марта 2015 г. в районе острова Новая Британия, Папуа-Новая Гвинея с магнитудой  $M = 7,2$ . Это сейсмически активный регион. В 2019 г. здесь имели место еще два более слабых толчка (с магнитудой  $M = 6,1$ ) 23 и 24 апреля 2019 г.

Параметры землетрясений представлены на информационном сервере Геофизической службы РАН (<http://www.ceme.gsras.ru>).

*О.Е. Старовойт,*  
кандидат физико-математических наук  
*Л.С. Чепкунас,*  
кандидат физико-математических наук  
*М.В. Коломиец,*  
Единая геофизическая служба РАН  
(ФИЦ ЕГС РАН)

С новыми книгами  
Издательства “Наука”  
вы можете ознакомиться на сайте  
**naukabooks.ru**



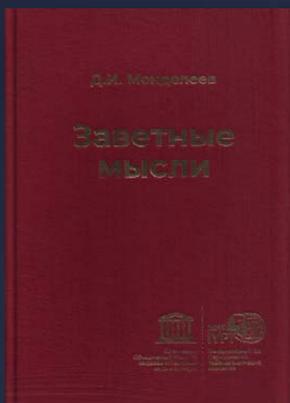
Косенко Е.А.

**Загадка Алоиза Альцгеймера. Почему в XXI в. болезнь Альцгеймера неизлечима?**

М.: Наука, 2019. — 319 с.

В монографии изложена актуальнейшая на сегодняшний день медико-биологическая проблема, связанная с болезнью Альцгеймера (БА), и предпринята попытка ответить на вопрос: почему заболевание, известное с начала XX в. и на изучение которого тратятся триллионы долларов, в настоящее время все еще остается неизлечимым, а имеющиеся антиамилоидные препараты приносят больше вреда, чем пользы? Для объяснения механизмов, лежащих в основе нейродегенерации при БА, формулируется «эритроцитарная гипотеза», согласно которой эритроциты рассматриваются не просто как клетки, переносящие кислород, а как клетки, от эндогенного метаболизма которых зависит адекватная доставка кислорода в ткани, и в частности в мозг. Именно функциональное несоответствие между эритроцитами и биоэнергетикой мозга, считает автор, лежит в основе гибели нейронов.

*Книга может быть интересна широкому кругу читателей – студентам, обучающимся по специальностям «биология», «биомедицина», а также физиологам, биохимикам научно-исследовательских лабораторий, преподавателям высших образовательных медицинских и биологических учреждений.*



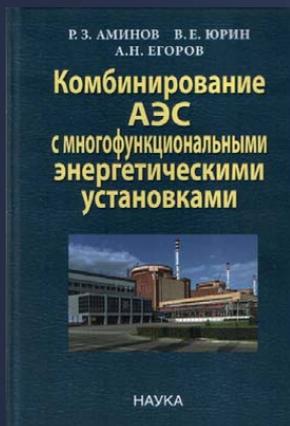
Менделеев Д.И.

### **Заветные мысли.**

М.: Наука, 2019. — 310 с.

Д.И. Менделеев в работе «Заветные мысли» рассуждает о желательных, на его взгляд, путях развития России в геополитической, экономической и научной областях. Круг анализируемых ученым вопросов чрезвычайно широк: государственное устройство, образование, народонаселение, внешняя торговля, взаимосвязь между просвещением и национальным богатством, баланс между промышленностью и сельским хозяйством и т.д. По существу, «Заветные мысли» – духовное завещание Д.И. Менделеева потомкам.

*Для широкого круга читателей.*



Аминов Р.З., Юрин В.Е., Егоров А.Н.

### **Комбинирование АЭС с многофункциональными энергетическими установками.**

М.: Наука, 2018. — 238 с.

В работе предложен новый взгляд на повышение безопасности АЭС. Разработаны и исследованы многофункциональные системы, включающие такие установки, как дополнительная паровая турбина, тепловые аккумуляторы, водородный комплекс и газотурбинные установки, позволяющие обеспечить надежное электроснабжение собственных нужд АЭС в аварийных ситуациях с обесточиванием. Исследован способ использования остаточного тепловыделения реакторов типа ВВЭР для генерации электроэнергии, необходимой для отвода остаточного тепловыделения в аварийных ситуациях с полным обесточиванием. Разработана система уравнений и построены скелетные таблицы свойств диссоциированного водяного пара, которые позволяют проводить промышленные термодинамические расчеты параметров рабочего тела водородных циклов. Исследованы процессы сжигания водорода в кислородной среде, а также определены ресурсные показатели основного оборудования водородного энергокомплекса, работающего в циклических режимах.

*Для научных работников, специалистов, аспирантов, студентов старших курсов теплоэнергетических специальностей.*

# naukabooks.ru

## ВСЕЛЕННАЯ, НАРТЫ И СОВРЕМЕННАЯ НАУКА

DOI: 10.7868/S00044394819060094

В 2019 г. из печати выходит перевод карачаево-балкарского эпоса “Нарты”, выполненный замечательным поэтом и переводчиком М.И. Синельниковым. Это произведение представляет национальный вариант хорошо известного и очень обширного “нартского” эпоса, включающего сказания разных народов Северного Кавказа, стихотворные и прозаические.

Чем же может быть интересно это мифопоэтическое произведение для читателей нашего журнала?

Некоторое время назад М.И. Синельников попросил академика Л.М. Зелёного, главного редактора журнала “Земля и Вселенная” написать предисловие к первой публикации, которая вышла в 2018 г. в журнале “Минги-Тау / Эльбрус”. Оказалось, что многие сюжеты и образы “Нартов” оказываются удивительно похожи на современные научные представления о появлении и эволюции Земли как планеты.

Ниже мы публикуем очерк Л.М. Зелёного с незначительными изменениями и сокращениями, а также, с любезного разрешения М.И. Синельникова, одну из песен эпоса.

Этим же материалом мы открываем новую рубрику “Литературный космос”, которая объединит предшествующие ей “литературные рубрики” журнала под более общим названием.

Редакция



Автор иллюстрации: Ф. Домогацкий

There are more things in heaven and earth, Horatio,  
Then are dreamt of in your philosophy...

Shakespeare, Hamlet, Act I, scene V

И в небе и в земле сокрыто больше,  
Чем снится вашей мудрости, Горацио...

В. Шекспир “Гамлет”,  
Акт I, сцена V. Перевод М. Лозинского

**М**еня сразу заворожило чтение грандиозного карачаево-балкарского эпоса “Нарты”. И дело здесь не только в удивительно точном, “раскачивающем сознание” ритме, найденном Михаилом Синельниковым.

Думаю, что профессиональные исследователи найдут множество интереснейших деталей в “Нартах”, сравнят их с эпосами других народов (для меня, к сожалению, единственные возникшие аллюзии были связаны с “Песней о Гайавате”), но я хотел бы сказать здесь только об одной, наверное, и не самой главной, особенности этого

эпоса – о “космическом сознании” его безвестных создателей.

Возможно, те, кто изучал этот эпос 50–60 лет назад, и не обратили бы особого внимания на многие загадочные

мотивы, о которых я буду говорить дальше. Думаю, что и через сотню лет внимательные читатели смогут заметить в нем и что-то совсем другое, чем потрясшие меня первые строки:

.....

*Так давно – до глухих, тёмных, бесчисленных лет,  
Лишь явился во тьме будущего просвет,  
Главный Тейри миры соединил и свёл,  
Сжал их в один комок, втиснул в один котёл.  
Не разойтись, не взмыть – намертво сплочено,  
Всё величайшее здесь в малое вмещено.  
Сплющил, сдавил миры и отпускает вдруг:  
Мощной волей Тейри создан Вселенной круг.  
Звёзды он разбросал бисером из горсти,  
Каждой движенье дал и прочертил пути.*

.....

Не знаю, как интерпретировали и комментировали бы переводчики и литературоведы эти строки в “до-Гамовскую” эпоху (нужно ли объяснять просвещенным читателям, что Георгий Гамов был первым, кто предложил модель Большого Взрыва, по-английски – Big Bang). Сейчас, когда представления о Большом Взрыве, расширяющейся (и даже с ускорением) Вселенной стали основной парадигмой современной астрофизики, остается только догадываться, как удалось безвестным авторам карачаево-балкарского эпоса так почувствовать главное: “...ни уюта, ни покоя во Вселенной нет”; она родилась, развивается и умирает по своим собственным, еще не вполне понятным

нам законам. Как это далеко от классических представлений о величественной мистерии вечной, спокойной и неизменной Вселенной. Что говорить, когда даже великий Эйнштейн не верил в расширяющуюся Вселенную и настойчиво, почти до конца своих дней, строил стационарную модель космоса.

Читатель с воображением, может быть, разглядит в этом отрывке и дополнительные детали Большого Взрыва: темные эпохи, эру излучения, эпоху звездообразования. Не буду дальше комментировать эти удивительные строки, сказано уже достаточно, чтобы вслед за булгаковским героем воскликнуть: “Как многое им удалось угадать!”.

.....

*Солнца мудрый Тейри солнечный свет явил,  
Почву – Тейри Земли – тучную сотворил,  
Вдунул Тейри Небес воздух, и вот когда  
Властью Тейри Воды сотворена вода.  
Вот Верховный Тейри одобрил течение дел  
И на Земле расцветить жизни он повелел.*

.....

Но Большим Взрывом только начинается цепочка дальнейших “воспоминаний о будущем”, которые внимательный читатель найдет в “Нартах”. После образования Вселенной появляется Земля и на ней создаются

условия, обеспечивающие возможность жизни.

На второй (после объяснения возникновения Вселенной) главный вопрос: “Откуда взялась жизнь на Земле?” – эпос опять дает “космический” ответ:

*Семя дальних миров. Семя близкой Луны...  
Вот какую судьбой земляне на свет рождены...*

Вновь настораживает неожиданный скачок представлений: вместо наивных средневековых теорий зарождения жизни (например, по ван Гельмонту<sup>1</sup>, жизнь может зародиться в темном шкафу из грязной рубашки и нескольких горстей пшеницы) к очень точно сформулированным в “Нартах” почти сегодняшним представлениям о панспермии – распространении “зародышей жизни” во Вселенной в виде спор или микроорганизмов метеоритами и космической пылью.

Космос нартов – не мирный небосвод Птолемея, напротив, он активно вмешивается в земные дела. Молодая Земля,

о состоянии которой мы и сейчас практически не имеем никакого представления, сотрясается от почти непрерывных метеоритных бомбардировок, содрогается от мощных землетрясений, страдает от цунами и мощнейших приливов, вызываемых тогда близкой к Земле Луной.

В мифологии нартов появляется “Красная земля”, предположительно, планета Марс. Оттуда прилетает Ёрюзбек, один из самых симпатичных и трагических персонажей эпоса. Несмотря на внушительные победы, одержанные им над врагами нартов, он остается на Земле чужаком, пришедшим из другой “биосферы”:

*Да только дать ему детей жизнь не могла,  
Не вспыхнуть семени его, оно – зола.  
Не обитателем Земли родился он,  
На Землю из иных миров спустился он.*

Ёрюзбеку, кстати, приходится возвращаться на Марс для того, чтобы покончить с врагом нартов – Красным Фуком. Читая описание “технологии”

этого путешествия, сразу же невольно вспоминаешь роман Жюль Верна “Из пушки на Луну”, только у Ёрюзбека другой маршрут – Красная Земля.

*Тут послала вещунья к Аликовым в дом,  
Чтоб искали орудье с широким жерлом:  
“Откопайте – она никуда не пропала!  
Жанболату велите стоять у запала.  
Надо пороха сорок батманов забить,  
Ёрюзбека – в стальное ядро посадить!”*

<sup>1</sup> Ян Баптист ван Гельмонт (1579–1644) — голландский естествоиспытатель, врач и теософ-мистик.

Среди волшебных персонажей эпоса о нартах есть конь Гемуда, напоминающий Конька-Горбунка из сказки Петра Ершова. Он с виду неказист, но умеет то, что не могут другие кони – плавать под водой и летать среди звезд. Его происхождение также “марсианское”. Он верный друг своего хозяина – Алаугана, хотя

обладает недоступным для последнего тайным знанием. Интересно, что способ передвижения Гемуды в пространстве-времени напоминает сверхсветовые полеты звездолетов в романах современных фантастов, а то и телепортацию, то есть мгновенное перемещение в нужное место во Вселенной.

---

*И сказал Гемуда: “Годы мчатся вперед!  
Коль короче мгновения будет полет,  
Время хлынет назад... Чем скорей, тем верней  
Мы пределы изведем меры своей!”*

---

Не знаю, как это прокомментировать, поскольку до начала XX века, то есть до публикации Альбертом Эйнштейном его знаменитой работы по специальной теории относительности вряд ли кто высказывал революционную мысль о том, что ход времени может зависеть от скорости движения.

И все же Марс, откуда прибыли такие столь необычные герои нартского эпоса, в целом недружелюбен к Земле, ведь вы-

ходцы с него приходят на Землю, чтобы поработить ее жителей. Думается, не случайно и в античной мифологии красная планета была названа Марсом – именем бога войны и связывалась с опасностью, тревогой и несчастьем. Кстати, вряд ли Герберт Уэллс, автор “Войны миров”, знал о существовании эпоса “Нарты”, однако его упыри-марсиане весьма напоминают харров, прибывших на Землю для ее завоевания.

---

*Все харры вышли из земли, им нет числа,  
И красной шерстью поросли у них тела.  
Они похожи на людей... Но эта рать  
Живое, мёртвое – подряд готова жрать.  
Гнездо их – Красная Земля, но гибель – тут,  
Им воздух тяжек, и они, задохшись, мрут.  
А те, что воздухом смогли дышать земным, –  
Поганым стало семя их, совсем дурным.*

---

Думаю, многие вспомнят, что и марсиане Уэллса в конце концов сгнули из-за земных вирусов. И опять в “Нартах” мы встречаемся с неожиданной догадкой о том, что биосферы разных планет, говоря современным языком, могут быть враждебны друг другу. Недаром ученые тех стран, которые планируют пилотируемые экспедиции на

Марс, серьезно задумались о строгих мерах соблюдения межпланетного карантина.

Последние несколько лет мне все больше приходится заниматься Луной и ее полярными областями. В перспективе планируется создать под поверхностью Луны базовые станции, где будут расположены научные приборы, а вре-

мя от времени их будут посещать космонавты. Поэтому особенно интересно мне было читать в “Нартах” о Луне.

В отличие от Марса, Луна у нартов – надежное, спокойное и хорошо оборудованное убежище.

*Вот они на Луне, чьё просторно дупло –  
Как прекрасна там жизнь, и без света светло!*

*Нас от порчи хранят семь железных завес,  
От камнепадов хранят, рушащихся с небес.  
Те, кто живут в дупле здесь, средь лунных полян,  
Не случайно они кличут себя – “айсан”.*

Чем-то это описание напоминает мне наши современные планы создания лунных поселений.

Эпические тексты по природе своей неисчерпаемы, они всегда таят загадки, и мы трактуем их в меру глубины своего культурного и научного знания. Читая сегодня “Нарты”, мы видим много неожиданных и необъяснимых аналогий с нашими современными знания-

ми о Вселенной и человеку. К чести переводчика нужно сказать, что те места, где эти аналогии могут вызвать особый интерес или показаться искусственно притянутыми к современным научным взглядам, даны в сносках в буквальном подстрочном переводе и выглядят в таком виде еще более поразительно. Например, один из героев эпоса обладает необычным кольцом:

*А на перстне есть девять камней огневых,  
От земель, что вокруг Солнца – от девятерых.*

К этому двустихию дается сноска: “В подлиннике – девять разных земель из округи Солнца”.

В заключение хочу вернуться к разговору о “космическом сознании”, с которого я начал эти заметки. Понимание того, что Космос – это важнейшая часть нашей жизни (причем не только в высоком духовном смысле, но и в самом повседневном) в европейском цивилизационном пространстве начинает складываться только в XX в., в особенности после работ Фёдорова, Циолковского, Вернадского. Много писалось в последние годы в связи со столетним юбилеем великого визионера К.Э. Циолковского о том, что ростки космического сознания, заботливо возвращав-

шиеся им, подготовили и блестящие успехи следующего поколения инженеров и ученых: Королёва, Янгеля, Келдыша и многих других...

Думаю еще, что найдутся внимательные исследователи мифологии и истории Кавказа, которые помогут раскрыть и эту загадку: как возник этот текст? Почему именно у карачаевцев и балкарцев, малых народов Северного Кавказа, региона, такого динамичного и “горячего” в геологическом и этническом отношении, родился такой великолепный эпос, со столь сложной и близкой к современным научным воззрениям системой взглядов и на земную жизнь, и на Космос, а также на их неразрывную связь друг с другом?

*Л.М. Зелёный, академик*

## Тейри и нарты<sup>1</sup>

*Перевод М.И. Синельникова*

Так давно – до глухих, темных, бессчетных лет,  
Лишь явился во тьме будущего просвет,

Главный Тейри<sup>2</sup> миры соединил и свел,  
Сжал их в один комок, втиснул в один котел.

Не разойтись, не взмыть – намертво сплочено,  
Все величайшее здесь в малое вмещено.

Сплющил, сдавил миры и отпускает вдруг:  
Мощной волей Тейри создан Вселенной круг.

Звезды он разбросал бисером из горсти,  
Каждой движенье дал и прочертил пути.

Миродержавный Тейри, чтобы не быть одному,  
Создал много тейри по образцу своему.

Создал и поручил все исполнять дела,  
Властвуют – ведь на то воля его была.

Выбранный им тейри принял над Солнцем власть,  
Черный Желмаууз<sup>3</sup> Солнце хочет украсть.

Солнцу Тейри велел прятаться, не попасть  
В злой разинутый зев, в черную эту пасть...

Так Верховный Тейри все предрешил, приказав  
Повиноваться Ему и усмирять свой нрав.

Солнца мудрый Тейри солнечный свет явил,  
Почву – Тейри Земли – тучную сотворил,

Вдунул Тейри Небес воздух, и вот когда  
Властью Тейри Воды сотворена вода.

Вот Верховный Тейри одобрил течение дел  
И на Земле расцветь жизни он повелел.

Каждый тейри во всех бросил семя-зерно,  
В каждом тейри оно было заронено,

Семя дальних миров, семя близкой Луны...  
Вот какую судьбой земляне на свет рождены.

Было сонмом тейри все решено наперед,  
Чтоб сотворенный род жил себе без забот.

Так порешили они, что опекать его  
Будет каждый тейри, каждое божество.

<sup>1</sup> Впервые опубликовано в журнале “Минги-Тау / Эльбрус” № 4 (2000), 2018. Далее примечания по этому изданию.

<sup>2</sup> Тейри (мн.ч. — “тейриле”) — общее название богов карачаево-балкарского языческого пантеона.

<sup>3</sup> Здесь — злой демон в образе дракона; в карачаево-балкарском фольклоре “желмаууз” имеет несколько ипостасей: злое божество, демон, дракон, старуха-людоедка.

Пусть же Солнца Тейри щедро дарит тепло,  
Дарит Тейри Земли всё, что на ней взошло.

Дарит Тейри Небес воздух краям земным,  
Дарит Тейри Воды синие воды им.

Первых землян тейри нартами нарекли,  
И тайнознание дано было сынам Земли.

Только покоя нет, жизнь не идёт на лад –  
Спорят земля с водой, буйствуют и бурлят.

О, не постичь, зачем волею злой судьбы  
Вся трясется земля, море встает на дыбы.

Мучаются семь лет – но не понять, хоть умри,  
Как им на свете жить – спрашивают у тейри.

Молвили божествам: “Дайте земле покой,  
И не душите ее гневной волной морской!”

Им помочь не смогли Тейри Земли и Воды,  
Только Солнца Тейри нартов спас от беды.

Солнца пылкий Тейри в чреве своем добыл  
Огненную руду из сокровенных жил.

То, что живило его и прибавляло сил,  
С неба обрушил он, в огненный дождь превратил.

Клиньями излилась пламенная струя,  
Клинья он в землю вбил, в твердь вогнал острия.

Недра пронзив зубцом, остывали они,  
Тверди земной крестцом, горами стали они.

Скрепцы свои вогнал Солнца Тейри везде,  
И наступил покой на земле и воде.

Вскоре инсанов<sup>4</sup> на свет нарты произвели,  
Сделали их людьми, жителями Земли.

Им помогали во всем, долго вели за собой,  
Позже – оставили их думать своей головой.

<sup>4</sup> Инсаны – обитатели Земли, разумные существа.

## “И.С. ШКЛОВСКИЙ: РАЗУМ. ЖИЗНЬ. ВСЕЛЕННАЯ”

DOI: 10.7868/50044394819060100

**В** октябре 2019 г. в творческой кооперации Института космических исследований РАН, Астрокосмического центра Физического института им. П.Н. Лебедева РАН и Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга выпущено второе издание сборника воспоминаний о выдающемся советском ученом, астрофизике Иосифе Самуиловиче Шкловском – “И.С. Шкловский: Разум. Жизнь. Вселенная”.

Имя И.С. Шкловского (01.07.1916–03.03.1985) не нуждается в особом представлении. Один из основателей современной астрофизики и “пионер” космической эры, замечательный ученый и писатель, основоположник крупнейшей научной школы отечественной (и не только) космической науки. Круг его научных интересов был поистине огромен: внегалактические объекты, звезды, планеты и солнечная корона, излучение ночного неба и полярные сияния. Он ввел в обращение термины “реликтовое излучение” и “презумпция естественности”, предложил идею “искусственной кометы” для отслеживания траектории лунных аппаратов. Написал девять книг и более трехсот научных статей. И.С. Шкловский – член-корреспондент Академии наук СССР, лауреат Ленинской премии, академик Международной академии astronautики (ИАА), член Национальной академии наук США, Королевского астрономического общества, других научных организаций.



На обложке книги  
“И.С. Шкловский:  
Разум. Жизнь. Вселенная” –  
автопортрет Иосифа  
Самуиловича, выполнен,  
предположительно,  
в 1937 г.

Пояснения требует название книги, о которой говорится в рецензии. Известно, что И.С. Шкловский одним из первых начал разрабатывать проблему SETI (Search for ExtraTerrestrial Intelligence) – поиска внеземной жизни и инопланетного разума. Этой теме посвящена его известнейшая книга “Вселенная, жизнь, разум”, которая впервые вышла в 1962 г. Книга выдержала несколько переизданий и сегодня стала основополагающим трудом в этой области.

Через десять лет после ухода из жизни Иосифа Самуиловича его коллеги издали сборник воспоминаний о нем, который получил название “И.С. Шкловский: Разум, жизнь, вселенная”, – метафорически поставив на первое место личность и идеи замечательного ученого. Сборник вышел малым тиражом в 1996 г. и стал библиографической редкостью.

В июне 2016 г. в ИКИ РАН прошла международная конференция “Всеволновая астрономия. Шкловский-100” в честь столетия со дня рождения ученого. В ходе конференции родилась идея переиздать этот сборник, тем более что многие ее участники (более 150 ученых из российских и зарубежных научных организаций) были авторами его материалов.

Работа над книгой заняла более трех лет. По сравнению с первым изданием 1996 г., существенно расширилось содержание: были добавлены пятнадцать новых статей, включая статьи известных

зарубежных ученых Б. Бёрка, Р. Вилебински, Ф. Дайсона, Я. Эйнасто и др. Более пятнадцати материалов были переработаны и дополнены авторами. Второе издание было значительно отредактировано.

Кроме этого, в новом издании впервые публикуются многие рисунки самого Иосифа Самуиловича. Они представляют новые грани его замечательного таланта,

не только ученого, но творца в самом широком смысле этого слова.

Книга будет интересна и полезна всем, кто интересуется астрономией, наукой о космосе и ее историей.

*И.С. Шкловский.* Разум. Жизнь. Вселенная. — М.: 2019. — 424 с.: ил. — ISBN 5-88929-006-1

*С.Е. Виноградова,*  
ИКИ РАН

## Информация

### Выходят новые фильмы “Жизнь замечательных идей”

В начале нового 2020 г. на канале “Культура” вновь выйдет в эфир цикл передач “Жизнь замечательных идей”, который производит телекомпания “Цивилизация”.

Цикл был задуман замечательным популяризатором науки Львом Николаевым и начат в 2008 г. при его непосредственном участии. В 2009 г. один из фильмов цикла “Ньютоново яблоко раздора” был удостоен высшей телевизионной награды России – ТЭФИ. К сожалению, в 2017 г. производство новых фильмов было приостановлено, но в эфире показывали повторы снятых ранее передач.

В течение нескольких лет шел поиск нового алгоритма этого цикла. В результате создатели цикла и отдел просветительских программ телеканала “Культура” пришли к совместному решению о необходимости поставить в центр новых выпусков тему “Как устроен мир”.

По их мысли, сегодня СМИ сосредоточились на прямых практических результатах научной деятельности, забыв “завет отцов” современного естествознания о том, что “нет ничего практичнее хорошей теории”. Вот об этих “хороших теориях”, без которых сегодня и шагу ступить нельзя, авторы намерены рассказать. Зритель должен понять, что в мире фундаментальной науки нет застывших догм: идет постоянная творческая эволюция, по-прежнему разыгрывается настоящая драма идей.

Научными консультантами цикла станут известные ученые и популяризаторы науки. Постоянный и главный сценарист программ – известный журналист, автор научно-популярных книг Марина Собе-Панек.

Обновленный цикл начнется с показа четырех фильмов, объединенных в группу “Новая физика”: “Квантовая теория”, “Теория относительности”, “Радиация” и “Реликтовое излучение”. Это будет попытка рассказать о прошлом и настоящем серьезных фундаментальных наук простым и понятным широкому зрителю языком.

*По информации телекомпании “Цивилизация”*



## УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ И ЗАМЕТОК, опубликованных в журнале “Земля и Вселенная” в 2019 г.

БАЗИЛЕВСКИЙ А.Т. Что мы видим на поверхности Луны?	4
БЫКОВ А.М. Космические позитроны	3
ВЕСЕЛОВСКИЙ М.И., КАПОРЦЕВА К.Б., ЛУКАШЕНКО А.Т. Проект “Дискавер”: наблюдение Земли и изучение космической погоды	2
ВЕСЕЛОВСКИЙ И.С., КАПОРЦЕВА К.Б. Полет к Солнцу	5
ГРАНКОВ А.Г., МИЛЬШИН А.А. О чем говорит собственное радиотепловое излучение океана?	1
ЖИЛКИН А.Г., БИСИКАЛО Д.В., КУРБАТОВ Е.П. Электромагнитные проявления сливающихся черных дыр	6
ИВАНОВ М.А. Неразгаданные тайны Луны	4
КОВАЛЕВ Ю.Ю. Семь лет “Радиоастрона”	5
ЛЕОНОВ В.А. Ресурсы ближнего космоса, или зачем нам Луна?	4
ЛУТОВИНОВ А.А. Периодическая система элементов в космосе: от Большого взрыва до слияния нейтронных звезд	6
МАЗУРОВ М.Е. Торнадо: его зарождение, свойства, распространенность	2
МИТРОФАНОВ И.Г. Об освоении Луны. Русский космизм, лунная гонка и открытие “новой Луны”	1
МИТРОФАНОВ И.Г., ЗЕЛЁНЫЙ Л.М. Об освоении Луны. Планы и ближайшие перспективы	4
НАРОЕНКОВ С.А., ШУСТОВ Б.М. Космические ресурсы	1
ПАНАСЮК М.И. Тяжелые ядра космической радиации и планирование космических миссий	2
ПАНАСЮК М.И. Тяжелые ядра космической радиации и планирование космических миссий (Часть 2)	3
ПОПОВА Е.П., ГАБИТОВ И.Р. Проект “Breakthrough Starshot”	3
УРАЛЬСКАЯ В.С. Некоторые итоги миссии “Кассини–Гюйгенс”	1
ФЁДОРОВ В.М. Астрономические причины изменения глобального климата	2
ШЕВЧЕНКО В.В., РОДИОНОВА Ж.Ф. 60 лет истории обратной стороны Луны	3
ШЕВЧЕНКО В.В. Как Море Восточное оказалось на западе (история обратной стороны Луны продолжается)	4
ШЕВЧЕНКО В.В. “Зонды” возвращаются	5
ШЕВЧЕНКО В.В. Сигнал с обратной стороны	6
ЯЗЕВ С.А. Комплексы активности на Солнце	2

### КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Колонка главного редактора	1
Колонка главного редактора	2
Колонка главного редактора	3
Колонка главного редактора	4
Колонка главного редактора	5
Колонка главного редактора	6

### СЛУЖБА СОЛНЦА

ИШКОВ В.Н. Солнце в августе – сентябре 2018 г.	1
ИШКОВ В.Н. Солнце в октябре – ноябре 2018 г.	2
ИШКОВ В.Н. Солнце в декабре 2018 г. – январе 2019 г.	3
ИШКОВ В.Н. Солнце в феврале – марте 2019 г.	4

## **ЛЮДИ НАУКИ**

ГАЛИЧИЙ В.А. Теоретическое наследие А.Л. Чижевского и его роль в развитии космической физиологии и биоритмологии	5
ГЕРАСЮТИН С.А. Исследователь тайн Солнца Альфред Фаулер	5
ГРИГОРЬЕВ А.И., ПОТАПОВ А.Н. Академик О.Г. Газенко – выдающийся ученый в области космической биологии и медицины	1
ДЛУЖНЕВСКАЯ О.Б. Алла Генриховна Масевич – выдающаяся женщина-астроном	1
ЕРЕМЕЕВА А.И. Игорь Тимофеевич Зоткин (к 90-летию со дня рождения)	5
ИОГАНСОН Л.И. В.В. Белоусов и его книга “Очерки истории геологии”	3
Юбилей Алины Иосифовны Еремеевой	4
ШТЕРН Б.Е. Медаль Поля Дирака за “русскую космологию”	6

## **IN MEMORIAM**

Алексей Архипович Леонов (30.05.1934–11.10.2019)	6
Владимир Михайлович Готлиб (03.03.1937–30.09.2019)	6
Георгий Георгиевич Манагадзе (25.08.1936–27.04.2019)	5
Леонид Васильевич Ксанфомалити (28.01.1932–07.09.2019)	6
Леонид Иванович Матвеев (20.12.1929–13.10.2019)	6
Николай Семёнович Кардашёв (25.04.1932–03.08.2019)	4
Роальд Саввович Кремнёв (13.07.1929 – 25.05.2019)	4

## **ИСТОРИЯ НАУКИ**

АНИСИМОВ С.В., ДМИТРИЕВ Э.М. Географическая обсерватория “Борок” – филиал Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН	2
БАРАБАНОВ С.И. К 60-летию Звенигородской обсерватории ИНАСАН	5
ВЕДЕШИН Л.А. Первый по программе “Интеркосмос” (к 50-летию запуска международного спутника “Интеркосмос-1”)	6
ВИБЕ Д.З. Сто лет на страже неба (к юбилею Международного астрономического союза)	5
ВИБЕ Д.З. Сто лет на страже неба (к юбилею Международного астрономического союза). Окончание	6
ГЕРАСЮТИН С.А. Первые полеты к Луне автоматических станций	6
ИВАНОВ К.И., БУРДАНОВ А.Ю. KPS-1b: первая экзопланета, открытая в рамках российского проекта	3
ШУБИН П.С. На заре лунной гонки...	4

## **К 90-ЛЕТИЮ МОСКОВСКОГО ПЛАНЕТАРИЯ**

РУБЛЁВА Ф.Б. Наука на колесах. Агитавтобус Московского планетария	5
---	---

## **СИМПОЗИУМЫ, КОНФЕРЕНЦИИ, СЪЕЗДЫ**

НЕФЕДЬЕВ Ю.А., ГАЛЕЕВ А.И., АНДРЕЕВ А.О. Пятая Международная школа-конференция “Космическая наука”	3
--	---

## **АСТРОНОМИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

РУБЛЁВА Ф.Б. Планетарий и астрономическое образование	1
---	---

## **ЭКСПЕДИЦИИ**

ЯЗЕВ С.А. Великое американское затмение	1
ЯЗЕВ С.А. Южноамериканское затмение-2019	5

## **АЭРОКОСМИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

БЕЛОГЛАЗОВА Е.Т. Уникальный космический центр в Кирове	2
ПАЙСОН Д.Б. Космос в презентациях: в помощь преподавателям	5
Периодическая система химических элементов и планеты Солнечной системы	6

## **ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ**

БЕКЯШЕВ Р.Х. Выбор монтировки любительского телескопа	3
ОСТАПЕНКО А.Ю. Фестиваль “Астрофест”: двадцать лет на службе астрономии	1
КОНОНОВ Д.А. Небесный календарь: март – апрель 2018 г.	1
КОНОНОВ Д.А. Небесный календарь: май – июнь 2018 г.	2
КОНОНОВ Д.А. Небесный календарь: июль – август 2018 г.	3
УСАНИН В.С. Метеорная астрономия	3

## **ЛЮБИТЕЛЬСКОЕ ТЕЛЕСКОПОСТРОЕНИЕ**

ГУРЕЕВ А.В., ГУРЕЕВ С.В. Любительская оптическая скамья TWILIGHT	2
--	---

## **ХРОНИКА СЕЙСМИЧНОСТИ ЗЕМЛИ**

СТАРОВОЙТ О.Е., ЧЕПКУНАС Л.С., КОЛОМИЕЦ М.В. Сейсмичность Земли во втором полугодии 2018 года	3
СТАРОВОЙТ О.Е., ЧЕПКУНАС Л.С., КОЛОМИЕЦ М.В. Сейсмичность Земли в первом полугодии 2019 года	6

## **ПО ВЫСТАВКАМ И МУЗЕЯМ**

ЭНГЕЛЬГАРДТ Л.Т. Музей А.Л. Чижевского в Калуге	1
---	---

## **КНИГИ О ЗЕМЛЕ И НЕБЕ**

ПЕРОВ С.П. Уроки Сергея Капицы	2
--------------------------------	---

## **ЛИТЕРАТУРНЫЙ КОСМОС**

ЗЕЛЁНЫЙ Л.М. Вселенная, нарты и современная наука	6
Тейри и нарты. Пер. М.И. Синельникова	6

## **ФАНТАСТИКА**

АРБИТМАН Р. Распиленная Луна доктора Каца	4
---	---

Указатель статей и заметок, опубликованных в журнале “Земля и Вселенная” в 2018 году	1
Указатель статей и заметок, опубликованных в журнале “Земля и Вселенная” в 2019 году	6

## **НОВОСТИ НАУКИ И ДРУГАЯ ИНФОРМАЦИЯ:**

### **Астрономия**

Бесследное уничтожение сверхмассивной звезды	5
Обнаружено сверхскопление Гиперион	1
Открыта экзопланета в Млечном Пути	5
Очень большой телескоп (VLT) в авангарде исследования экзопланет	3
Планы поиска жизни на Европе	2

Первая карта распределения воды в подповерхностном слое грунта Марса получена с помощью прибора FRIEND	3
Первая межзвездная Геннадия Борисова	6
Первые изображения черной дыры в высоком угловом разрешении	3
Пространственная локализация быстрого радиовсплеска	4
Самый удаленный объект в Солнечной системе	1
Темная материя в древней галактике	2
У Проксимы Центавра, возможно, обнаружена вторая планета	3

### **Космонавтика**

“Вояджер-2” достиг межзвездного пространства	1
Вторая индийская станция – на пути к Луне	4
Запуск китайской АМС “Чанъэ-4”	1
Миссия “Берешит”: неудачная посадка и успех популяризации	4
“Новые горизонты”: картинки с края света	2
Новый “Метеор” на орбите	5
NASA отправит винтокрылый аппарат на Титан	4
Обнаружен метан на Марсе?	4
OSIRIS-Rex исследует астероид Бенну	4
Первый год наблюдений TESS	5
“Хаябуса-2”: первые исследования астероида Рюгу	1
“Хаябуса-2”: образцы с астероида Рюгу	4
Экипаж SIRIUS-19 завершил четырехмесячный эксперимент	4
“ЭкзоМарс-2016” не нашел метан на Марсе	3
“Юнона”: облачность Юпитера	1

### **Геофизика**

Международный год Периодической таблицы химических элементов	2
--	---

### **Новые книги**

ЗЕЛЁНЫЙ Л.М. “Будущие космические проблемы и их решения”	5
ВИНОГРАДОВА С.Е. “И.С. Шкловский: Разум. Жизнь. Вселенная”	6
ЛЕВИТАН Е.П. “Сказочная Вселенная” (волшебная энциклопедия для детей о космосе)	4
ЧЕРЕПАЩУК А.М. Первая книга о многоканальной астрономии	5

Индекс 70336

## Земля и Вселенная, 6/2019

**Редакторы** С.А. Герасютин, О.В. Закутняя, Д.А. Кононов

**В подготовке номера участвовала** В.И. Ананьева

**Оператор ПК** Н.Н. Токарева

**Корректоры** А.Ю. Обод, С.О. Розанова

**Верстка макета** Н.В. Мелкова

### **Просим обращаться**

#### **по вопросам публикации материалов:**

(495)276-77-35 (доб. 42-31), e-mail: zevs@naukaran.com

#### **по вопросам сотрудничества:**

(495)276-77-35 (доб. 43-01 или 42-91),

e-mail: journals@naukaran.com

Журнал зарегистрирован Государственным комитетом

Совета министров СССР по печати 28 июня 1991 г.

Свидетельство о регистрации № 2119

[www.naukabooks.ru/zhurnali/katalog/zemlja-i-vselennaja/](http://www.naukabooks.ru/zhurnali/katalog/zemlja-i-vselennaja/)

*Все права защищены.*

*Перепечатка материалов возможна только с разрешения редакции.*

*Мнение редакции может не совпадать с мнением автора.*

*Все иллюстрации в статьях предоставлены авторами.*

*Ответственность за точность и содержание рекламных материалов несут рекламодатели*

12+

---

Сдано в набор 22.10.2019 г. Подписано к печати 23.12.2019 г.  
Дата выхода в свет 29.12.2019 г. Формат 70 × 100<sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Цифровая печать Усл.печ.л. 9.75 Уч.-изд.л. 10.0 Бум.л. 3.75  
Тираж 1000 экз. Зак. 71 Цена свободная

---

Учредители: РАН, ФГУП «Издательство «Наука»  
Редакция и издатель: ФГУП «Издательство «Наука»  
Адрес: 117997 Москва, ул. Профсоюзная, 90

---

Отпечатано в типографии ФГУП «Издательство «Наука»  
Адрес: 121099 Москва, Шубинский пер., 6

# АкадемКнига

Букинистический отдел осуществляет покупку и продажу научной литературы, книг по искусству, антикварных изданий, старинных открыток, гравюр и фотографий

Для оценки крупных библиотек выезжаем на дом

Принимаем заказы

Формируем библиотеки

Адрес: 101000, Москва, Б. Спасоглинишевский пер., 8, стр. 4

E-mail: [bukinist@naukaran.com](mailto:bukinist@naukaran.com)

Справки по телефону:

8 (495) 624-7219





## НОВИНКИ И АКЦИИ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ



[instagram.com/naukapublishers](https://www.instagram.com/naukapublishers)



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



[vk.com/naukapublishers](https://vk.com/naukapublishers)



- переплетные работы
- тиснение фольгой
- цифровая печать
- офсетная печать
- ламинирование
- цветоделение
- сканирование
- брошюровка
- лакирование
- цветопроба
- нумерация
- высечка
- верстка
- СТР

Типографии ФГУП "Издательство "Наука"  
[www.tnauka.ru](http://www.tnauka.ru)

- ▶ Разумная ценовая политика
- ▶ Высокое качество продукции
- ▶ Реальные сроки выполнения заказов
- ▶ Работа высококлассных профессионалов



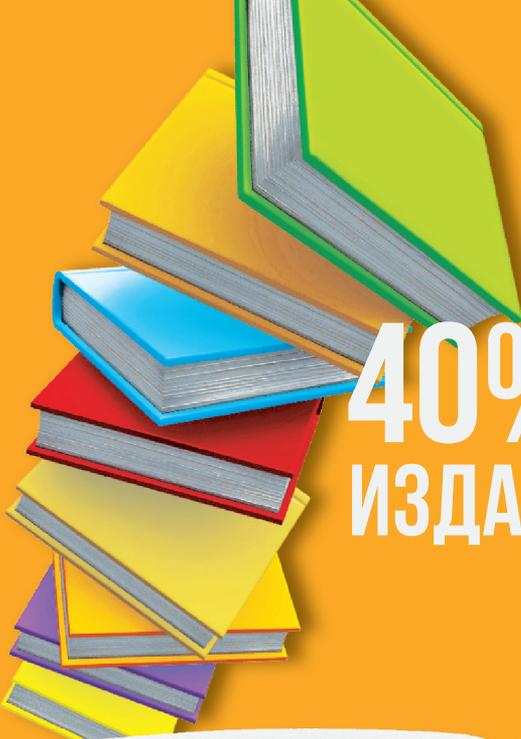
- ◆ Удобное месторасположение
- ◆ Тиражи от 20 экземпляров

- афиши
- календари
- удостоверения
- адресные папки
- визитные карточки
- фирменные бланки
- брошюры, журналы
- эксклюзивные издания
- полноцветные плакаты
- художественные альбомы
- книги в твердом переплете
- листовки, рекламные буклеты
- наклейки на бумажных материалах

Москва

Санкт-Петербург

Новосибирск



# 40% НА КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «НАУКА»

акция распространяется  
в сети магазинов «Академкнига»  
и в интернет-магазине [naukabooks.ru](http://naukabooks.ru)

## BOOK SALE

# ЕЩЁ БОЛЬШЕ КНИГ И БОЛЬШЕ СКИДОК

Реклама

акция распространяется  
в интернет-магазине [naukabooks.ru](http://naukabooks.ru)

