

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

№4 (352)

ИЮЛЬ-АВГУСТ, 2023

астрономия
геофизика
космонавтика

ISSN 0044-3948



**60 лет рентгеновской астрономии:
первый прорыв в исследованиях
черных дыр**

**Космический телескоп
Джеймса Уэбба: год первый**

**Открытые вопросы космологии:
параметр Хаббла**

МНОГОЛИКИЙ «ИНТЕРКОСМОС»

**ТРАНЗИТЫ ВЕНЕРЫ: КАК ОПРЕДЕЛЯЛОСЬ
РАССТОЯНИЕ ДО СОЛНЦА**

**ПАМЯТИ ЛЕГЕНДЫ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ
ЖУРНАЛИСТИКИ ВЛАДИМИРА ГУБАРЕВА**

издательство

НАУКА

— 1727 —

Издательство «Наука» оказывает услуги:

- **СОЗДАНИЕ ОРИГИНАЛ-МАКЕТА**
редактирование
вёрстка
изготовление рисунков
- **ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОФОРМЛЕНИЕ**
- **ВСЬ КОМПЛЕКС ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ УСЛУГ**
- **РАСПРОСТРАНЕНИЕ В МАГАЗИНАХ
«АКАДЕМКНИГА»**

Высокопрофессиональные специалисты «Науки»
готовы к сотрудничеству

naukapublishers.ru

Тел.: +7 (495) 276-7735

Реклама

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ ЖУРНАЛЫ ТЕПЕРЬ ДОСТУПНЫ ВСЕМ



Уважаемые коллеги!
Открыта подписка для физических лиц
на номера 2023 г. научно-популярных журналов
«Земля и Вселенная», «Природа»,
«Энергия: экономика, техника, экология»

ЖУРНАЛ «ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ»

Стоимость годового комплекта (6 номеров) 1650 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 42-31)

E-mail: zevs@naukapublishers.ru

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

ЖУРНАЛ «ПРИРОДА»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3840 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 41-71)

E-mail: priroda@naukapublishers.ru

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

ЖУРНАЛ «ЭНЕРГИЯ: ЭКОНОМИКА, ТЕХНИКА, ЭКОЛОГИЯ»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3840 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 магазинах «Академкнига» по следующим ценам:**

«Земля и Вселенная» — 310 руб.

«Природа» — 360 руб.

«Энергия: экономика, техника, экология» — 360 руб.

**Выпуски и статьи журналов в электронном
виде можно приобрести на сайте libnauka.ru**



СТОИМОСТЬ ОДНОГО ВЫПУСКА/СТАТЬИ ЖУРНАЛА В ЭЛЕКТРОННОМ ВИДЕ, ИЗДАННОГО В 2023 ГОДУ

Журнал	Выпуск (руб.)	Статья (руб.)
«Земля и Вселенная»	255	90
«Природа»	315	90
«Энергия: экономика, техника, экология»	315	90

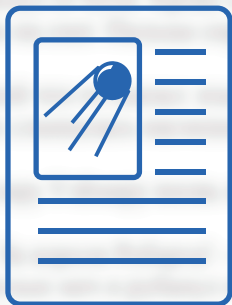
Подписаться можно в редакциях
указанных журналов.

Убедительная просьба связаться
с редакциями перед визитом.

**В случае возникновения вопросов можно также обращаться
в Управление по выпуску журналов ФГБУ «Издательство «Наука»:**

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 43-01)

E-mail: journals@naukapublishers.ru



НАУКА

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 ВСЕЛЕННАЯ

№4 (352)
ИЮЛЬ-АВГУСТ, 2023

ISSN 0044-3948

астрономия
геофизика
космонавтика

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

На обложке:

Часть эмиссионной туманности
NGC3524 в созвездии Киль.
Изображение получено
с помощью камеры JWST NIRCam.
Изображение: NASA, ESA, CSA,
STScI

В НОМЕРЕ:

Колонка главного редактора	3
ЧЕРЕПАЩУК А.М. 60 лет рентгеновской астрономии: первый прорыв в исследованиях черных дыр	9
АКИМКИН В.В. Космический телескоп Джеймса Уэбба: год первый	28
САЖИНА О.С. Открытые вопросы космологии: параметр Хаббла	36

История космонавтики

МАРИНИН И.А. Многоликий «Интеркосмос»	50
---------------------------------------	----

История науки

ЯЗЕВ С.А. Транзиты Венеры: как определялось расстояние до Солнца	61
--	----

Люди науки

АРМАНД Р.П. Памяти легенды отечественной журналистики Владимира Губарева	73
--	----

Любительская астрономия

СОЛОМОНОВ Ю.В. Неприметный Заяц	88
Table of Content	95

Earth&Universe: Astronomy, Geophysics, Cosmonautics
Bimonthly popular scientific magazine of the Russian Academy of Sciences & NAUKA Publishing.
Founded 1965.

Published by NAUKA Publishing, Profsoyuznaya Str., 90, 117997, Moscow, Russia.

Редакционная коллегия:

главный редактор
академик Л.М. ЗЕЛЕНЬИЙ,
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,
член-корр. РАН
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,
член-корр. РАН
К.А. ПОСТНОВ,
доктор физ.-мат. наук
М.В. РОДКИН,
научный директор
Московского планетария
Ф.Б. РУБЛЕВА,
член-корр. РАН
А.Л. СОБИСЕВИЧ,
член-корр. РАН
О.Н. СОЛОМИНА,
академик В.А. СОЛОВЬЕВ,
академик
А.М. ЧЕРЕПАЩУК,
доктор физ.-мат. наук
В.В. ШЕВЧЕНКО,
член-корр. РАН
Б.М. ШУСТОВ

Editorial Board:

Editor-in-chief
Acad. Dr. Lev M. ZELENYI
Acad. Dr. Anatoly M. CHEREPASCHUK
Dr. Konstantin V. IVANOV
Pilot-cosmonaut Alexander Yu. KALERI
Dr. Olga Yu. LAVROVA
RAS Corr. Member Dr. Alexander A. LUTOVINOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Oleg Yu. MALKOV
Dr. Igor G. MITROFANOV
Acad. Dr. Igor I. MOKHOV
RAS Corr. Member Dr. Igor D. NOVIKOV
RAS Corr. Member Dr. Konstantin A. POSTNOV
Dr. Mikhail V. RODKIN
Faina B. RUBLEVA
Dr. Vladislav V. SHEVCHENKO
RAS Corr. Member Dr. Boris M. SHUSTOV
RAS Corr. Member Dr. Alexey L. SOBISEVICH
RAS Corr. Member Dr. Olga N. SOLOMINA
RAS Corr. Member Dr. Vladimir A. SOLOVYEV
Pilot-cosmonaut Pavel V. VINOGRADOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Olga V. ZAKUTNYAYA

Колонка главного редактора

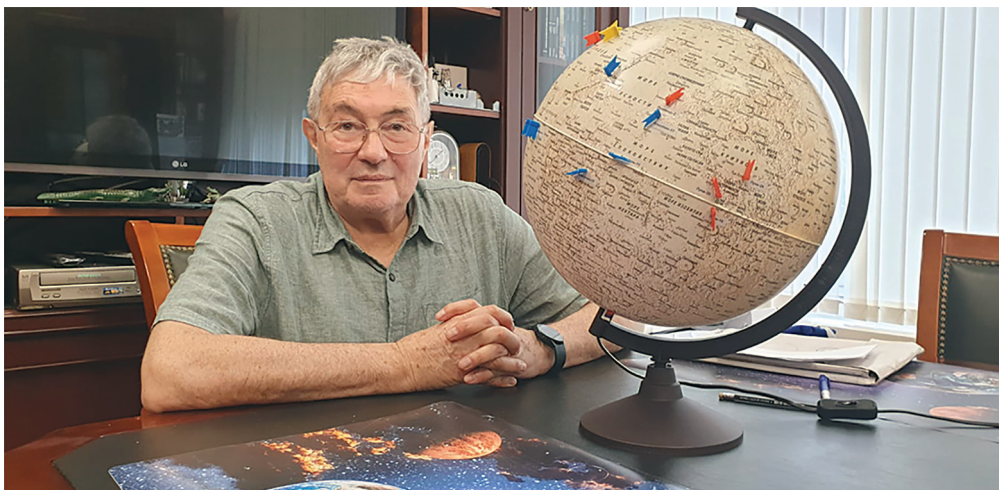


Фото: Павел Шубин, ИКИ РАН. 2023 г.

Дорогие читатели, коллеги, друзья!

Начинать эту колонку мне тяжело – я и не только я, многие мои коллеги и просто люди, которым небезразлична космонавтика, надеялись, что в эти дни мы уже будем обсуждать первые результаты, полученные нашей российской миссией «Луна-25» на поверхности Луны. После успешного преодоления этапов старта в ночь на 11 августа, перелета и выхода на орбиту искусственного спутника Луны казалось, что совсем чуть-чуть – и заветная цель будет достигнута. К сожалению, днем 19 августа станция не смогла перейти на предпосадочную орбиту – как следует из полученных данных, двигатели проработали дольше, чем было необходимо, поэтому торможение оказалось слишком длительным и станция врезалась в Луну.

Через несколько дней после этого печального события 23 августа мы в прямом эфире стали свидетелями того, как индийская посадочная станция *Chandrayaan 3* успешно села на поверхность Луны в южной околополярной области, не далеко от запланированного места посадки «Луны-25».

По стечению обстоятельств это был день моего рождения. Конечно, я ожидал другого подарка, но посадка индийской станции в приполярной области стала для меня радостным и долгожданным событием – началом нового этапа исследования и освоения Луны, на этот раз – окрестности ее полюсов. Я и мои коллеги из ИКИ РАН первыми сформулировали эту цель еще в 2010 году, и «процесс пошел»: вслед за индийским аппаратом в ближайшее время ожидаются посадки американских и китайских аппаратов (стартовавший 6 сентября этого года японский аппарат SLIM тоже должен сесть на Луну, но в другом районе). На южной полярной Луне скоро станет тесновато, и я очень надеюсь, что и наша страна займет достойное место в этом, происходящем на наших глазах, новом рывке человечества в космос.

Посадочный модуль «Викрам» и лунноход «Прагьян» успешно отработали на Луне до наступления лунной ночи. Хотя они не были предназначены для того, чтобы пережить лунную ночь, но разработчики надеются, что им удастся оживить аппаратуру лунным утром.

Посмотрим – и от души пожелаем нашим индийским коллегам успеха. Они тоже прошли через горечь неудачи – предыдущий посадочный аппарат *Chandrayaan 2*, а вернее, его посадочный модуль, разбился в 2019 г. при попытке посадки (при этом орбитальный аппарат успешно работает до сих пор). О первых результатах работы индийских аппаратов на поверхности Луны мы планируем рассказать в ближайших номерах.

К сожалению, мы не стали первыми в этой «мини-гонке» к южному полюсу Луны, но я уверен, что останавливаться не надо. Мы видели, что приборы и системы «Луны-25» успешно включались во время перелета. Мы получили первые данные с некоторых научных инструментов и первые фотографии Луны через 50 лет после «крайней» советской лунной миссии «Луна-24». Это совсем немного, но без этих малых первых шагов не будет следующих.

И самое главное, что это понимают, как мне кажется, все. В первые дни после аварии ко мне в прямом смысле слова на улице подходили незнакомые люди, которые узнавали меня по выступлениям в СМИ, и говорили, что они очень сильно переживают и сочувствуют неудаче, но просят не сдаваться и продолжать лунную программу. Получил много писем и от друзей, и совершенно незнакомых людей со словами ободрения и поддержки. Не скрою, такое отношение очень помогло пережить первые, самые тяжелые дни потери, но для меня это было очень важно еще и потому, что я убедился – наш народ вовсе не потерял интерес к космосу и очень ждет успехов России на этом трудном и важном поприще.

Может быть, именно поэтому меня порадовало и то, как на неудачу отреагировало руководство ракетно-космической отрасли. Юрий Иванович Борисов, глава Госкорпорации «Роскосмос» почти сразу же в своих выступлениях и позже на рабочем совещании

стал говорить о возможности повторения миссии «Луны-25». Возможно ли это и в какие сроки, сейчас обсуждается, но если говорить о научной нагрузке, то все приборы, которые полетели к Луне на станции, существуют в двух экземплярах, и поэтому повторение миссии вполне можно состояться в обозримые сроки – через несколько лет.

Я не буду пока говорить о дальнейших планах, но вспомню историю, свидетелем и в каком-то смысле участником которой был я сам. В 1996 г. году Европейское космическое агентство запускало миссию *Cluster* – «рой» из четырех космических аппаратов для исследования магнитосферы Земли. Запуск состоялся на новой в то время ракете-носителе *Ariane 5* и окончился аварией: через 37 с после старта ракета взорвалась, и обломки спутников упали в болота, окружавшие космодром во Французской Гвиане. Но миссия на этом не закончилась. Ученые ЕКА твердо заявили «*CLUSTER will not end like that*» («*Cluster* не закончится таким образом»), и ЕКА нашло деньги на ее полное повторение. Второй запуск, вернее, два вторых запуска 16 июля и 9 августа 2000 г. прошли успешно. В этот раз в космос аппараты вывели с космодрома Байконур наши проверенные ракеты-носители «Союз», и уже больше 20 лет спутники *Cluster* исследуют магнитосферу Земли. И я, и мои коллеги из ИКИ активно работали с данными этой четверки, возродившейся, как Феникс, из пепла неудачи. В космической отрасли всегда существовала достойная традиция не опускать руки после неудачи и в конце концов добиваться успеха. Дорогу осилит идущий.

В завершение мы приведем короткую хронику этих «девяти дней одного года» с 11 по 19 августа.

Главный редактор
журнала «Земля и Вселенная»
академик Лев Матвеевич Зелёный

МИССИЯ «ЛУНА-25». ОТ СТАРТА И ДО ЗАВЕРШЕНИЯ

Хроника миссии 11–19.08.2023

(по сообщениям Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос», ИКИ РАН, ИПМ РАН)

11 августа 2023 г. ракета «Союз-2.1б» с разгонным блоком «Фрегат» и автоматической станцией «Луна-25» стартовала с космодрома Восточный в 02:10:57 декретного московского времени (ДМВ). Ракета-носитель отработала в штатном режиме, разгонный блок отделился от третьей ступени ракеты, и в 03:31 ДМВ «Луна-25» была выведена на траекторию перелета к Луне. После отделения от разгонного блока станция была взята на управление.

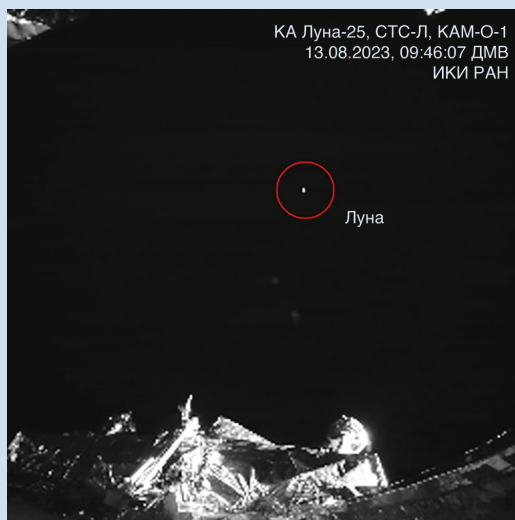
12 августа 2023 г. была проведена первая коррекция траектории перелета к Луне. Двигательная установка станции включилась в 16:00 ДМВ и проработала 46 секунд.

13 августа 2023 г. были проведены первые включения комплекса научной аппаратуры, созданного в ИКИ РАН. Служебная телеметрическая информация со всех приборов показала их штатное функционирование.

14 августа 2023 г. была проведена вторая коррекция траектории перелета к Луне. Двигательная установка станции включилась в 06:40 ДМВ и проработала 24.3 секунды. Все системы «Луны-25» функционировали штатно, связь со станцией была устойчивой. В этот же день был завершен экспресс-анализ телеметрической информации и данных измерений научных приборов на борту станции, выполненных 13 августа



Старт РН «Союз-2.1б» с разгонным блоком «Фрегат» и АМС «Луна-25» с космодрома Восточный 11.08.2023. Фото космического центра «Восточный» (ЦЭНКИ)



Снимки Земли и Луны, выполненные камерами комплекса СТС-Л на борту КА «Луна-25» во время перелёта к Луне 13.08.2023, с расстояния около 310 тыс. км от Земли. Фотография: ИКИ РАН

в двух сеансах первых включений на расстоянии от Земли около 310 тыс. км. Все приборы показали полную работоспособность. Камеры бортового телевидения СТС-Л получили первые снимки из космоса. К вечеру этого дня были опубликованы первые фотографии, полученные обзорными и стереокамерами.

16 августа 2023 г. были произведены два включения двигательной установки. Первое включение было выполнено в 11:57 ДМВ корректирующим тормозным двигателем и длилось 243 секунды, второе – двигателями мягкой посадки и длилось 76 секунд. В 12:03 ДМВ впервые в современной истории России автоматическая станция была вы-

КА Луна-25 СТС-Л КАМ-С № 05
15.08.2023 00:00:22 ДМВ
0017_TASK0005_IC2_FORMAT28_N000_FULL
ИКИ РАН



Снимок в научном формате, полученный одной из стереокамер комплекса СТС-Л автоматической станции «Луна-25» 15 августа 2023 года в 00:00:22 ДМВ на этапе перелета с расстояния около 380 тыс. км от Земли. Фотография: ИКИ РАН

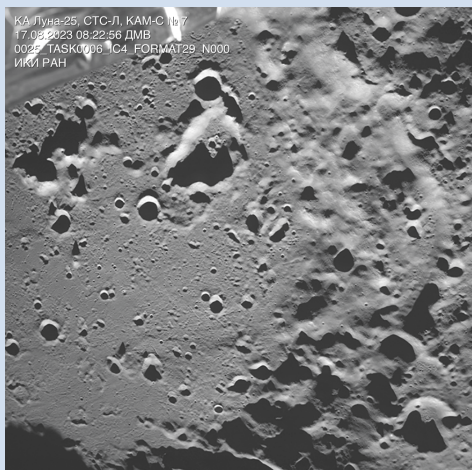
ведена на орбиту искусственного спутника Луны.

В этот же день был опубликован первый цветной снимок, полученный стереокамерами комплекса СТС-Л 15 августа на перелете станции к Луне.

17 августа 2023 г., когда станция «Луна-25» продолжала полет по орбите искусственного спутника Луны, было проведено включение научных приборов. В частности, камеры СТС-Л передали первый снимок, сделанный с обратной стороны Луны. На фото представлен кратер Зеeman.

После обработки полученных данных с комплекса научной аппаратуры были представлены результаты их включения.

- В энергетическом спектре гамма-лучей нейтронный и гамма-спектрометр АДРОН-ЛР зарегистрировал наиболее интенсивные линии химических элементов лунного грунта.
- Впервые на орбите Луны был включен ионный энерго-масс-анализатор АРИЕС-Л, предназначенный для изучения приповерхностной ионной экзосферы в приполярной области



Снимок аппаратурой СТС-Л космического аппарата «Луна-25» района кратера Зеeman на обратной стороне Луны, полученный 17 августа 2023 г. в 08:22:56 ДМВ во время полета по орбите искусственного спутника Луны. Фотография: ИКИ РАН

Луны. Полученные данные позволили выбрать оптимальный режим работы прибора на поверхности Луны для измерения энергетических спектров частиц в диапазоне энергий от 10 эВ до 3000 эВ.

- Прибор ПмЛ, предназначенный для регистрации микрочастиц, левитирующих у поверхности Луны, и определения параметров окружающей плазмы, зарегистрировал событие удара микрометеорита. Скорее всего, этот микрометеорит принадлежит метеорному потоку Персеиды, который космическому аппарату «Луна-25» удалось успешно пересечь во время перелёта к Луне.

По результатам обработки двух кадров съемки Луны, сделанных 17 августа посадочными камерами системы СТС-Л, специалистами ИКИ РАН и Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК) проведена привязка к цифровой модели рельефа. Эта технология позволит в будущем существенно повышать точность знания орбиты космического аппарата.

18 августа 2023 г. двигательной установкой автоматической станции была выполнена коррекция орбиты длительностью 40 секунд. Ее целью было обеспечение наилучших условий для последующего построения предпосадочной орбиты. Коррекция прошла штатно, все бортовые системы «Луны-25» работали нормально, связь со станцией была устойчивой.

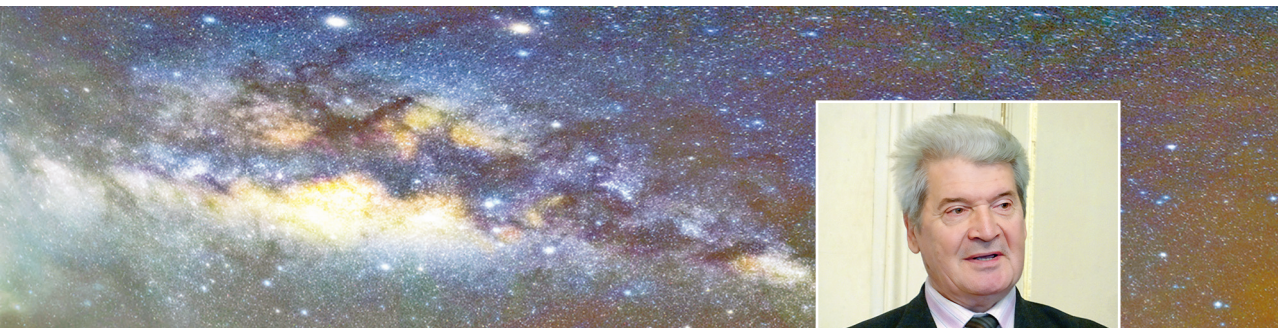
19 августа 2023 г. в 14:10 ДМВ был выдан импульс для перехода на предпосадочную орбиту. В ходе выполнения операции на борту автоматической станции произошла нештатная ситуация, которая не позволила выполнить маневр с заданными параметрами. Тормозной импульс пока неизвестным причинам длился в 1.5 раза дольше, чем требовалось. Около 14:57 ДМВ связь с автоматической станцией «Луна-25» прервалась.

21 августа 2023 г. было опубликовано сообщение о том, что математическое моделирование траектории движения космического аппарата «Луна-25», проведенное специалистами Баллистического центра ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, позволило определить время и место его встречи с Луной: 14:58 ДМВ, 42-километровый кратер Pontecoulant G, расположенный в южном полушарии вблизи древнего цирка Понтекулан.

На снимке этого участка лунной поверхности, сделанном космическим аппаратом LRO (NASA) **24 августа 2023 г.**, было обнаружено появление нового небольшого кратера (в сравнении со снимком от 27 июня 2020 г.). Действительно ли кратер появился в результате падения «Луны-25», предстоит еще уточнить.

Причинами нештатной длительности торможения, приведшего к потере «Луны-25», занимается специальная сформированная межведомственная комиссия, которая на момент написания этой колонки продолжает свою работу.

60 ЛЕТ РЕНТГЕНОВСКОЙ АСТРОНОМИИ: ПЕРВЫЙ ПРОРЫВ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ЧЕРНЫХ ДЫР



ЧЕРЕПАЩУК Анатолий Михайлович,

академик

Государственный астрономический институт
им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

DOI: 10.7868/50044394823040011

В 2022 г. исполнилось 60 лет эпохе рентгеновской астрономии.

19 июня 1962 г. с борта американской ракеты «Аэробы» с помощью счетчика Гейгера группой ученых под руководством профессора Рикардо Джаиккони (в будущем Нобелевского лауреата) был открыт первый компактный рентгеновский источник Sco X-1, расположенный за пределами Солнечной системы на расстоянии около 9 тыс. св. лет (2800 пк)¹. Этот источник отождествили с голубой переменной звездой $\sim 12^m$ V818 Sco в созвездии Скорпиона. До этого с помощью ракетных экспериментов (земная атмосфера непрозрачна для рентгеновских

квантов) измерили лишь рентгеновское излучение от Солнца, точнее, солнечной короны. Оказалось, что наблюдаемый поток рентгеновского излучения от Солнца в миллион раз слабее потока его оптического излучения. Поэтому наблюдать рентгеновское излучение от звезд, которые удалены от нас на расстояния в миллионы раз больше, чем Солнце, длительное время казалось делом безнадежным.

Луна – второй ближайший к нам небесный объект, ее поверхность лишена атмосферы, поэтому бомбардируется высокоэнергичными частицами космических лучей, что приводит к формированию рентгеновского излучения. Р. Джаиккони удалось заинтересовать американское военное ведомство идеей регистрации рентгеновского излучения от Луны. Именно для решения этой задачи реализовали ракетный экс-

¹ *Giacconi R., Gursky H., Paolini F.R., Rossi B.B.* Evidence for X-rays from sources outside the solar system. *Phys. Rev. Lett*, 1962. Vol. 9. № 11. P. 439–443.

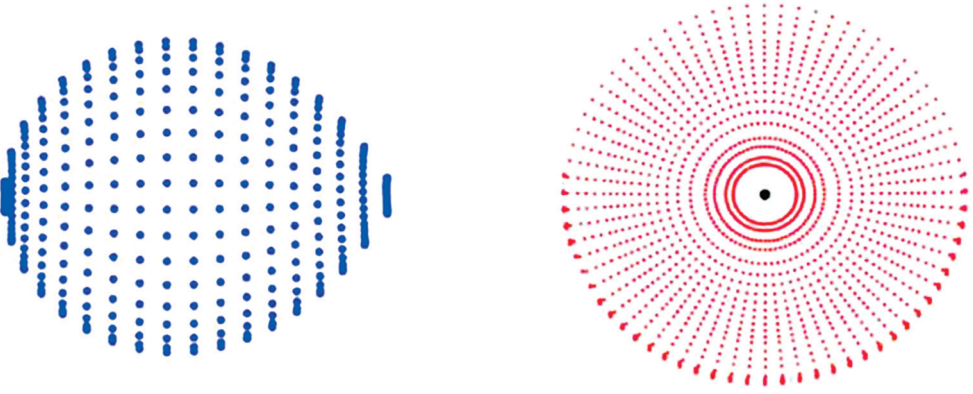


Рис. 1. Схематическая модель рентгеновского источника Sco X-1: оптическая звезда спектрального класса M2V заполняет свою полость Роша и истекает на НЗ, вокруг которой образовался аккреционный диск. Из статьи Cherepashchuk A.M., Khruzina T.S., Bogomazov A.I. Parameters of the X-ray binary system Scorpius X-1. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2021. Vol. 508. Issue 1. P. 1389

перимент 1962 г. От Луны рентгеновское излучение зарегистрировано не было, но неожиданно удалось открыть компактный рентгеновский источник Sco X-1. Изучение параллакса и собственного движения переменной звезды V818 Sco – оптического двойника источника Sco X-1, показало, что расстояние до него превышает сотни парсек, т. е. объект Sco X-1 расположен далеко за пределами Солнечной системы. Но тогда при наблюдаемом рентгеновском потоке рентгеновская светимость Sco X-1 должна быть необычайно велика, более 10^{37} эрг/с, что на 10 порядков больше рентгеновской светимости солнечной короны ($\sim 10^{27}$ эрг/с).

Природа рентгеновского источника Sco X-1 казалась загадочной. В 1964 г. два выдающихся ученых – Я.Б. Зельдович и Е.Е. Салпитер (США) опубликовали пионерские работы, в которых сделали заключение, что при несферической аккреции вещества на черную дыру может выделяться огромная энергия, в десятки раз большая, чем энергия, выделяемая при термоядерных реакциях. После этого ученые

стали задумываться о том, что огромная рентгеновская светимость источника Sco X-1 может быть связана с аккрецией вещества на релятивистский объект – нейтронную звезду (НЗ) или черную дыру (ЧД)². Наиболее четко эта идея изложена в статье И.С. Шкловского в 1967 г.³, который предложил для Sco X-1 модель двойной системы, где оптическая звезда-донор вещества, питает аккрецию на НЗ.

Однако ввиду сильной иррегулярной переменности объекта Sco X-1 = V818 Sco длительное время не удавалось обнаружить следы его периодической переменности, характерные для модели двойной системы. Поэтому

² Попов С.Б. Черные дыры и нейтронные звезды в эллиптических галактиках // Земля и Вселенная. 2003. № 3; Черпащук А.М. Гравитационные волны и черные дыры // Земля и Вселенная. 2016. № 4; Потехин А.Ю. Физика нейтронных звезд // Земля и Вселенная. 2018. № 4; Постнов К.А., Черпащук А.М. Черные дыры... // Земля и Вселенная. 2021. № 1.

³ Shklovsky I.S. On the Nature of the Source of X-ray Emission of Sco X-1. *Astrophysics Journal*, April 1967. T. 148 (1). P. L1–4.

И.С. Шкловский в дальнейшем отказался от модели Sco X-1 как двойной системы. И только в 1975 г., спустя 13 лет после открытия (!) двойственность источника Sco X-1 была доказана как фотометрическим, так и спектральными методами. Оказалось, что источник Sco X-1 представляет собой маломассивную (масса оптической звезды $\sim 0.4 M_{\odot}$) рентгеновскую двойную систему (РДС) с аккрецирующей НЗ. Открытие источника Sco X-1 положило начало исследованиям тесных двойных систем (ТДС) на качественно новом уровне. В случае РДС, состоящих из оптической звезды-донора вещества и аккрецирующего релятивистского объекта, рентгеновские и оптические наблюдения прекрасно дополняют друг друга. Рентгеновские наблюдения позволяют обнаружить аккрецирующий релятивистский объект, а оптические – по движению оптической звезды – пробного тела в гравитационном поле этого объекта, дают возможность определить его массу.

Известно, с учетом эффектов ОТО Эйнштейна, что если в конце эволюции массивной звезды масса ее коллапсирующего ядра превышает $3 M_{\odot}$, то образуется ЧД; если же масса этого ядра менее $3 M_{\odot}$, то образуется нейтронная звезда или белый карлик. Поэтому возможность «взвешивать» релятивистские объекты делает ТДС мощным инструментом для отождествления компактных рентгеновских источников с НЗ и ЧД. Таким образом, с началом эпохи рентгеновской астрономии ТДС стали передним фронтом современной астрофизики⁴.

⁴ Засов А.В., Постнов К.А. Общая астрофизика. Фрязино: Век-2, 2006; Черепацук А.М. Оптические исследования рентгеновских двойных систем и ядер галактик // Земля и Вселенная. 2010. № 3.

ЭПОХА UHURU: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОПТИЧЕСКИЕ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ

12 декабря 1970 г. на околоземную орбиту запустили первый специализированный американский рентгеновский спутник UHURU (Explorer-42; научный руководитель Р. Джаакони), который открыл свыше 300 рентгеновских источников, большинство из которых оказались РДС, содержащими аккрецирующие НЗ и ЧД. Началась эра систематических рентгеновских исследований Вселенной.

Рентгеновская астрономия имеет широкий спектр исследований: от горячего газа в скоплениях галактик и в остатках вспышек сверхновых до наблюдений

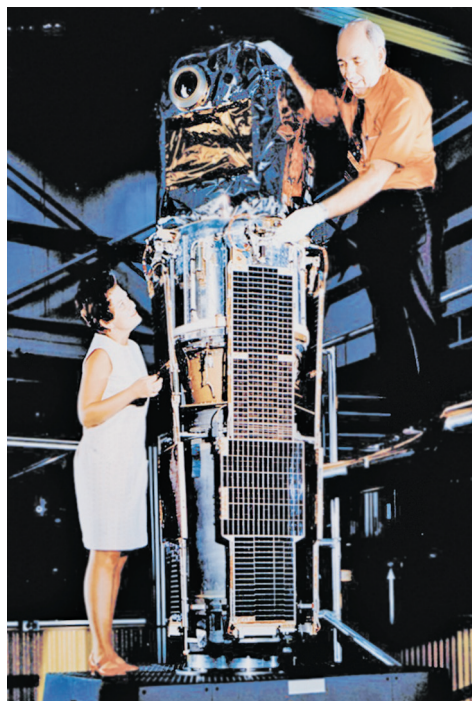


Рис. 2. Подготовка американского рентгеновского спутника UHURU к запуску. 1970 г. NASA

компактных рентгеновских источников в двойных системах. В статье остановимся лишь на одной проблеме: исследование РДС с НЗ и ЧД.

Одновременно с началом систематических рентгеновских исследований в 1971–1973 гг. в работах Н.И. Шакуры и Р.А. Сюняева, Дж. Прингла и М. Риса (Англия), И.Д. Новикова и К.С. Торна (США) была развита теория дисковой аккреции вещества на релятивистские объекты⁵. Эта теория позволила быстро понять природу компактных рентгеновских источников, открытых UHURU, как аккрецирующих НЗ и ЧД в двойных системах. Примерно в эти же годы в работах Б. Пачинского (США), А.В. Тутукова и Л.Р. Юнгельсона, Е. Ван Ден Хейвела (Нидерланды) получила развитие теория эволюции ТДС с обменом масс вплоть до самых поздних стадий, когда формируются двойные НЗ и ЧД. В этих работах в результате анализа авторы пришли к выводу, что стадия РДС является естественной ступенью эволюции массивной ТДС, за которой следует стадия двойной ЧД, двойной НЗ, либо стадия пары НЗ плюс ЧД. Отмечалось, что из-за потери энергии на излучение гравитационных волн двойные релятивистские объекты могут сливаться и формировать всплески гравитационно-волнового излучения, что недавно подтвердилось на практике. Это класс ТДС на поздних стадиях эволюции, когда в системе завершился первичный обмен масс. Первые РДС, открытые с UHURU, показали удивительные особенности: рентгеновские пульсации, рентгеновские затмения и эффекты прецессии аккреционного диска.

В 1971 г. группа UHURU опубликовала результаты наблюдений первой открытой затменной РДС CenX-3 с рент-

геновским пульсаром⁶. Орбитальный период рентгеновского источника $P_{orb} = 2.1$ суток, период рентгеновских пульсаций (период вращения сильно намагниченной аккрецирующей НЗ) $P_{puls} = 4.8$ с. Рентгеновское затмение имеет П-образную форму, рентгеновский поток в фазах затмения спадает почти до нуля. Все это говорит о том, что рентгеновский источник имеет относительно малые размеры, а затмевающий объект – оптическая звезда, имеет почти нулевую рентгеновскую светимость.

В 1972 г. вышла статья группы UHURU о результатах наблюдений второй затменной РДС HerX-1⁷. Орбитальный период рентгеновских затмений $P_{orb} = 1.7$ суток, период рентгеновских пульсаций $P_{puls} = 1.2$ с. Внезатменный рентгеновский поток системы HerX-1 регулярно меняется с периодом $P_{pre c} \cong 35$ суток, соответствующим прецессии аккреционного диска вокруг нейтронной звезды, который не лежит в плоскости орбиты.

В 1971 г. с помощью геофизических ракет открыт и подтвержден на спутнике UHURU первый кандидат в ЧД в РДС Cyg X-1 (V1357 Cyg)⁸. Рентгеновские затмения в системе отсутствуют, признаков рентгеновского пульсара не найдено, наблюдается быстрая иррегулярная рентгеновская переменность на временах вплоть до 10^{-3} с.

⁶ *Giacconi R., Gursky H., Kellogg E., Schreier E., Tananbaum H.* Discovery of Periodic X-Ray Pulsations in Centaurus X-3 from UHURU. *Astrophysical Journal*, 1971. Vol. 167. P. L67.

⁷ *Tananbaum H., Gursky H., Kellogg E.M., Levinson R., Schreier E., Giacconi R.* Discovery of a Periodic Pulsating Binary X-Ray Source in Hercules from UHURU. *Astrophysical Journal*, 1972. Vol. 174. P. L143.

⁸ *Лайтман А.П., Сюняев Р.А., Шакура Н.И., Шациро С.Л., Эрдли Д.М.* Современное состояние данных о Лебедь X-1 // *Успехи физических наук*. Ноябрь 1978. Т. 126. Вып. 3. С. 515–526.

⁵ *Шакура Н.Л.* Как создавалась теория дисковой аккреции // *Земля и Вселенная*. 2014. № 3.

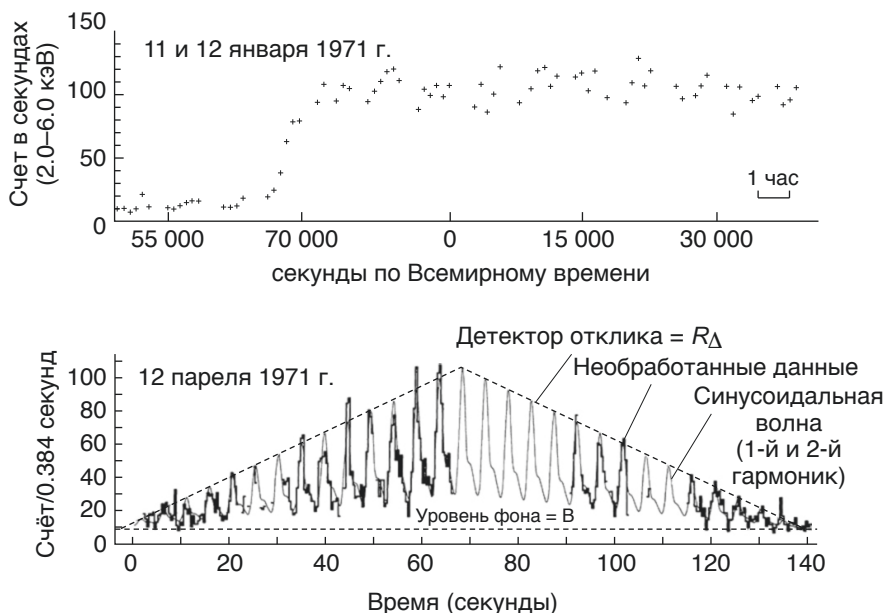


Рис. 3. Кривая рентгеновского затмения (вверху) и кривая рентгеновских пульсаций (внизу) для системы CenX-3. Амплитуда рентгеновских пульсаций промодулирована диаграммой направленности рентгеновского телескопа (в действительности, амплитуда рентгеновских пульсаций постоянна во времени). Из статьи Giacconi et al., 1971. *ApJ* 167. L67

После этих открытий встала острая необходимость оптического отождествления рентгеновских источников. Это оказалось непростой задачей, поскольку 95% квадрат ошибок, реализуемый рентгеновским телескопом UNURU, имел размеры около одного квадратного градуса. Внутри него имеются сотни звезд, и нужно выбрать среди них одну, которая физически связана с рентгеновским источником. Одним из методов отождествления является метод, основанный на поиске периодической переменности звезд в квадрате ошибок. Та звезда, у которой оптический период переменности совпадает с рентгеновским, и может рассматриваться как оптический партнер рентгеновского источника.

Первая попытка оптического отождествления РДС сделана для CenX-3 в работе И.С. Шкловского, Ю.Н. Еф-

ремова и А.М. Черепашука в 1972 г.⁹ Мы нашли в квадрате ошибок CenX-3 затменную переменную LRCen, орбитальный период которой с точностью 0.4% совпадал с периодом этой системы. В нашей работе подчеркивалось, что совпадение периодов с точностью 0.4% не очень хорошее, и необходимо убедиться в дальнейших наблюдениях в точном совпадении периодов. К сожа-

⁹ Shklovsky I.S., Cherepashchuk A.M., Efremov Yu.N. Optical Counterpart of Cen X-3. *Nature*, 1972. Vol. 236. Issue 5348. P. 448. Хотя журнал *Nature* предназначен для публикации экспресс-информации, наша статья была опубликована с большой задержкой, причем в одном номере опубликовали сразу две статьи об оптическом отождествлении: наша и еще одного, американского, ученого (не буду из деликатности называть его фамилии). Все это, по-видимому, отражает борьбу за приоритет в такой актуальной области науки, как рентгеновская астрономия.

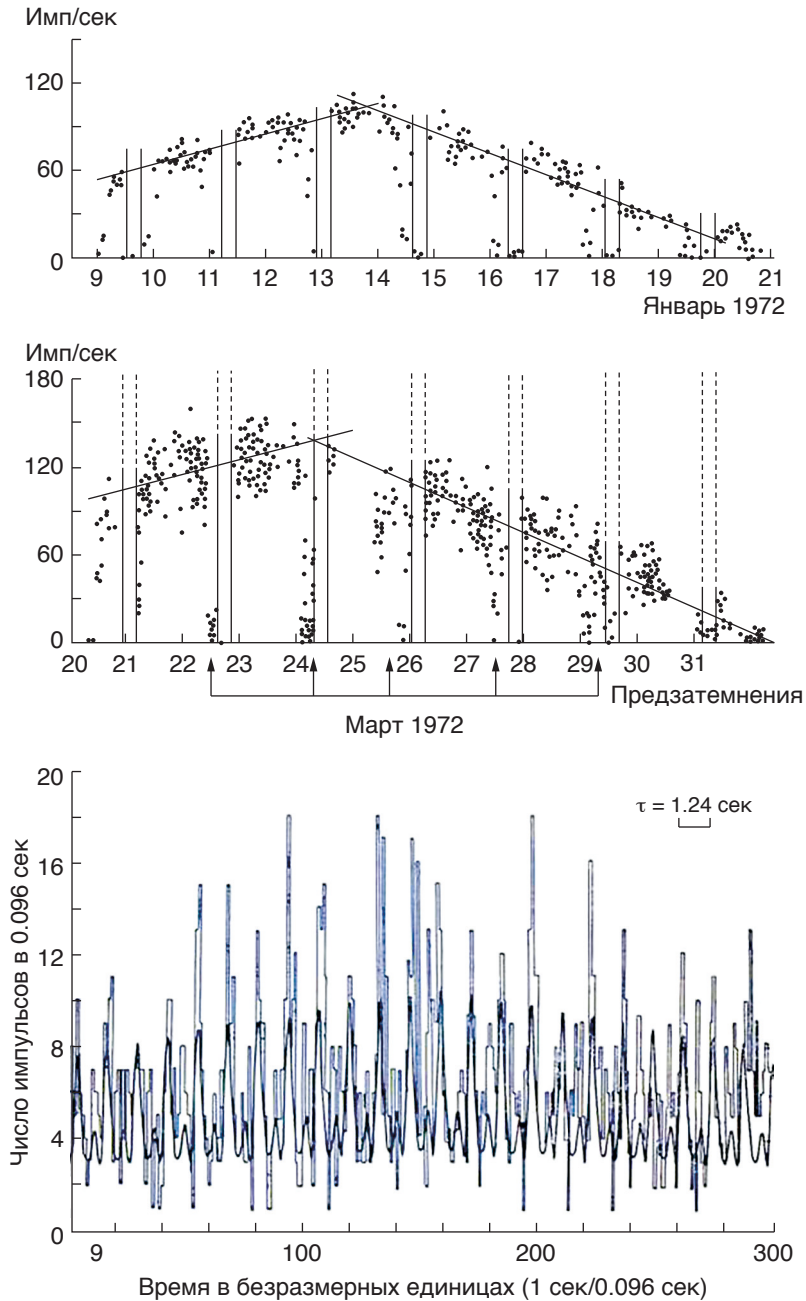


Рис. 4. Кривые рентгеновских затмений (вверху) и кривая рентгеновских пульсаций (внизу) для системы HerX-1. Помимо затменной переменности с периодом $\sim 1^d.7$ видна также переменность с периодом $\sim 35^d$, вызванная прецессией аккреционного диска вокруг нейтронной звезды. Из статьи Tananbaum et al., 1972. *ApJ* 174. L143

лению, дальнейшие наблюдения показали, что различие в 0.4% в рентгеновском и оптическом периодах систем CenX-3 и LRCen является значимым, поэтому затменная двойная система LRCen оказалась не связанной с рентгеновским источником CenX-3. Лишь три года спустя В. Кшеминским (США) выполнено оптическое отождествление рентгеновского источника CenX-3. Как оказалось, трудности отождествления CenX-3 связаны с тем, что рентгеновский источник и оптический двойник в данном случае находились за пределами 95% квадрата ошибок спутника Uhuru.

Первое же настоящее оптическое отождествление сделано для РДС HerX-1 сотрудником ГАИШ МГУ Н.Е. Курочкиным. По фотопластинкам коллекции ГАИШ он измерил блеск, как считалось ранее, неправильной переменной звезды HZHer, расположенной в соответствующем квадрате ошибок, и свернул все измерения блеска с известным из рентгеновских данных орбитальным периодом $P_{orb} = 1.7$ суток. Получилась регулярная кривая блеска, имеющая вид одной волны за период, амплитудой около 2^m . В работе А.М. Черепашука и др.¹⁰ эта переменность оптического двойника источника HerX-1 была интерпретирована как эффект отражения, точнее, эффект рентгеновского прогрева оптической звезды спектрального класса F5 мощным рентгеновским излучением аккрецирующей нейтронной звезды. Поскольку оптическая светимость звезды F5 в данном случае составляет $\sim 10^{35}$ эрг/с,

¹⁰ Cherepashchuk A.M., Efremov Yu.N., Kurochkin N.E., Shakura N.I., Sunyaev R.A. On the Nature of the Optical Variations of HZ Her = Her X1. Information Bulletin on Variable Stars, 1972. № 720. 1.

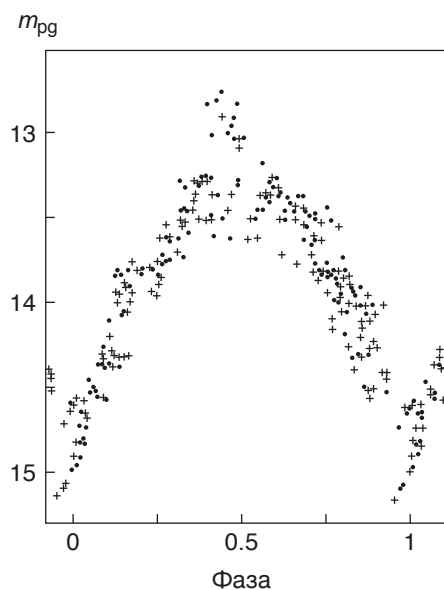


Рис. 5. Оптическая кривая блеска рентгеновской двойной системы HerX-1=HZHer, обусловленная эффектом отражения, точнее, эффектом рентгеновского прогрева оптической звезды мощным излучением аккрецирующей нейтронной звезды. Видна одна волна за орбитальный период $1^d.7$ с амплитудой ~ 2 звездных величин. Из статьи Cherepashchuk et al., 1972. IBVS № 720

а рентгеновская светимость компактного объекта $\sim 10^{37}$ эрг/с, сторона звезды, обращенная к рентгеновскому источнику, прогретая рентгеном, имеет температуру на много тысяч градусов выше, чем противоположная сторона. При орбитальном движении звезда поворачивается к наблюдателю то прогретой, то непрогретой частью, что приводит к изменениям блеска звезды почти на 2^m . Спектральный класс оптической звезды меняется при этом от F5 до W0. Полгода спустя появилась статья Дж. Бакалл и Н. Бакалл, в которой они также отождествили рентгеновский источник HerX-1 с переменной звездой

HZHer, тем самым подтвердив наш результат¹¹. Система HZHer оказалась первым примером среди известных ТДС, когда почти 100% ее переменности обусловлено эффектом отражения (в классических ТДС амплитуда эффекта отражения обычно не превышает нескольких процентов). Теория эффекта отражения, точнее, рентгеновского прогрева оптических звезд в ТДС развита в 1973 г. М.М. Баско и Р.А. Сюняевым. В 1974 г. Ю.Н. Гнедин и Р.А. Сюняев предсказали существование циклотронных линий в спектрах рентгеновских пульсаров – проявление сильных магнитных полей у нейтронных звезд.

Оптическое отождествление «кандидата № 1» в ЧД Cyg X-1 было выполнено с помощью радиоастрономических наблюдений. Стандартный метод, основанный на равенстве оптического и рентгеновского периодов переменности в данном случае не подходит ввиду того, что в системе Cyg X-1 отсутствуют рентгеновские затмения. Помогла радиоастрономия. Во время резкого изменения рентгеновского спектра Cyg X-1 наблюдалась вспышка радиоизлучения. Поскольку квадрат ошибок радиоинтерферометра порядка секунды дуги, в этой области обнаружили голубую звезду ~ 9^m спектрального класса В0Ib. В линиях поглощения в спектре этой звезды обнаружены эмиссионные компоненты. Так как одиночные звезды спектральных классов О-В в частотах линий поглощения водорода и гелия, как правило, не имеют эмиссионных деталей, это дало основания отождествить рентгеновский источник Cyg X-1 с переменной звездой V1357 Cyg.

¹¹ Bahcall J.N., Bahcall N.A. The Period and Light Curve of HZ Herculis. *Astrophysical Journal*, 1972. Vol. 178. P. L1.

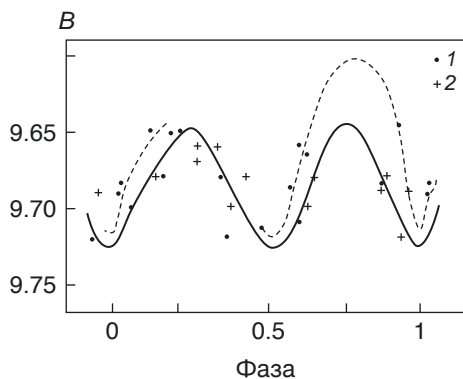


Рис. 6. Оптическая кривая блеска рентгеновской двойной системы Cyg X-1 – первого кандидата в черные дыры, обусловленная эффектом эллипсоидальности оптической звезды. Видна двойная волна за орбитальный период, амплитудой, не превышающей 0.1 звездной величины. Из статьи Лютый и др., 1973. *Астрон. ж.* 50, 3

В 1972 г. Н.Л. Вебстер и П. Мардин измерили доплеровские смещения линий в спектре V1357 Cyg и показали, что система Cyg X-1 является ТДС с орбитальным периодом $P_{orb} = 5.6$ суток и полуамплитудой лучевых скоростей ~70 км/с. Это свидетельствовало о том, что оптическая звезда В0Ib вращается вокруг невидимого массивного спутника. Функция масс оптической звезды оказалась равной $0.2 M_{\odot}$.

Оптические фотометрические наблюдения V1357 Cyg, выполненные В.М. Лютым на Крымской станции ГАИШ, обнаружили переменность блеска этой системы с орбитальным периодом 5.6 суток, найденным по спектральным данным. Кривая блеска V1357 Cyg, в отличие от системы HZHer, имела вид двойной волны за орбитальный период (два максимума и два минимума). Амплитуда оптической переменности V1357 Cyg не превышала 0.1^m (а у системы HZHer,

как уже упоминалось, эта амплитуда достигает 2^m). В работе В.М. Лютого, Р.А. Сюняева и А.М. Черепашука, опубликованной в 1973 г., оптическая переменность V1357 Cyg была интерпретирована как проявление эффекта эллипсоидальности оптической звезды¹². Поскольку в отличие от системы Her X-1, оптическая светимость сверхгиганта B0Ib много больше светимости рентгеновского источника, эффект рентгеновского прогрева оптической звезды относительно мал. В то же время из-за приливного воздействия релятивистского объекта оптическая звезда имеет несферическую, эллипсоидальную форму. Орбитальное движение звезды B0Ib приводит к изменению проекции ее фигуры на картинную плоскость, что вызывает оптическую переменность в виде двойной волны за период сравнительно небольшой амплитуды. Амплитуда эллипсоидальной переменности зависит от наклона плоскости орбиты системы к картинной плоскости. Это позволило нам дать оценку наклона орбиты $i \cong 30^\circ$ и оценить массу релятивистского объекта, используя наблюдаемую функцию масс системы Cyg X-1: $M_x > 5.6 M_\odot$, что превышает абсолютный верхний предел $3 M_\odot$ для нейтронных звезд, предсказываемый ОТО. Поэтому пришли к выводу о том, что релятивистский объект в системе Cyg X-1 является черной дырой, – это одна из первых оценок массы ЧД в системе Cyg X-1 – «кандидате № 1» в ЧД. Годом позднее Б. Пачинский оценил массу ЧД в системе Cyg X-1, используя информацию о расстоянии до этой системы $d \cong 2$ кпк.

¹² Лютый В.М., Сюняев Р.А., Черепашук А.М. Природа оптической переменности HZ Геркулеса = Геркулес X-1 и V1357 Лебедя = Лебедь X-1 // *Астрономический журнал*. 1973. Т. 50. С. 3.

ПЕРВЫЕ ТРУДНОСТИ С ОТКРЫТИЕМ ЧЕРНЫХ ДЫР

Поскольку один из первых открытых рентгеновских источников оказался двойной системой, содержащей ЧД, у ученых появилась уверенность в том, что скоро им удастся открыть множество черных дыр и доказать справедливость ОТО Эйнштейна, которая предсказывает их существование.

Как известно, под ЧД понимается объект, точнее, область пространства-времени, у которой гравитационное поле настолько сильно, что даже свет, распространяющийся в вакууме со скоростью 300 000 км/с, не может вырваться из нее на пространственную бесконечность, то есть вторая космическая скорость для ЧД равна скорости света. В центре ЧД расположена сингулярность, куда сколлапсировало вещество, ее образующее. Плотность материи в сингулярности достигает 10^{95} г/см³. При такой чудовищно большой плотности (плотность ядерной материи в H3 $\sim 10^{15}$ г/см³) известные законы физики уже неприменимы, и как предполагают, здесь царят законы квантовой гравитации, которые к настоящему времени неизвестны. Сингулярность в центре ЧД окружена горизонтом событий, радиус которого r_h для невращающейся, шварцшильдовской ЧД равен гравитационному радиусу $r_g = 2GM/c^2$, где M – масса ЧД, c – скорость света, G – ньютоновская постоянная тяготения. Горизонт событий – не твердая поверхность, а световая поверхность в пространстве-времени, которая может быть устранена выбором системы отсчета (например, для наблюдателя, свободно падающего на ЧД, явления на горизонте событий отсутствуют). Для неподвижного далекого наблюдателя ход времени на горизонте событий останавливается: чтобы заметить какое-либо шевеление на гори-

зонте событий, необходимо прождать все бесконечно большое время существования нашей Вселенной.

Свойства ЧД столь необычны, что в их существование верится с трудом. Даже великий Эйнштейн, создатель ОТО, из которой следует существование ЧД, до конца жизни не верил в существование ЧД в природе. В своей работе, опубликованной в 1939 г., он писал: «Основным результатом проведенного исследования является четкое понимание того, что в реальном мире отсутствуют шварцшильдовские сингулярности». Как уже упоминалось, сингулярность и горизонт событий – важнейшие особенности ЧД. В существование ЧД не верили и астрофизики. Например, выдающийся английский астрофизик, создатель основ теории внутреннего строения звезд Артур Эддингтон в 1934 г. заявил: «Я думаю, что должен существовать закон Природы, который бы не допускал, чтобы эволюция звезды шла столь абсурдным образом» (с коллапсом в НЗ или ЧД).

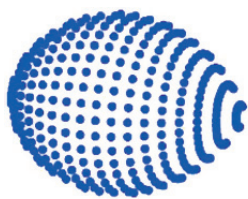
В конце 1970-х – начале 1980-х гг. проходила особенно острая дискуссия между сторонниками ЧД (Я.Б. Зельдович, Л.П. Гришук) и противниками ЧД (А.А. Логунов, создавший свою релятивистскую теорию гравитации, в которой отвергается существование ЧД) как на заседаниях научного семинара на физическом факультете МГУ, так и на страницах журнала «Успехи физических наук». Это удивительно, но ярким противником ЧД в начале 2000-х гг. оставался профессор М.Е. Герценштейн, несмотря на то, что он, совместно с В.И. Пустовойтом в 1962 г. предложил идею лазерной гравитационно-волновой антенны. Именно эта идея была положена в основу создания американской наземной обсерватории LIGO, на которой в 2015 г. открыли первый всплеск гравитационно-волнового излучения от

слияния ЧД в двойной системе (1)¹³, что послужило доказательством существования ЧД звездных масс.

Как уже упоминалось выше, в начале 1970-х гг. в связи с открытием «Кандидата № 1» в ЧД рентгеновского источника Cyg X-1 среди ученых царил большой оптимизм в отношении открытия в недалеком будущем большого числа ЧД звездных масс. Однако этот оптимизм постепенно сменился пессимизмом ввиду того, что целых 11 лет рентгеновский источник Cyg X-1 оставался единственным известным кандидатом в ЧД. В большинстве же случаев в открытых РДС обнаруживались нейтронные звезды – рентгеновские пульсары или рентгеновские барстеры 1-го типа (это явление связано с термоядерным взрывом вещества, накопленного при аккреции, на поверхности НЗ).

Особенно большое разочарование в проблеме поиска ЧД наступило после того, как Б. Пачинский с соавторами в 1974 г. предложили для Cyg X-1 модель тройной системы с нейтронной звездой. В этой модели большая функция масс системы Cyg X-1 связана с наличием двух нормальных массивных звезд со значительной разницей в массах (поэтому линии в спектре менее массивной звезды трудно заметить). Аккреция вещества звезд идет на третью компоненту системы – НЗ, вокруг которой и формируется рентгеновское излучение. Поскольку до 20% ТДС при более тщательном исследовании оказываются тройными или кратными, такая модель Cyg X-1 вполне имеет право на существование. После этой работы, которая «ликвидировала» единственного кан-

¹³ Черпацук А.М. Гравитационные волны и черные дыры // Земля и Вселенная. 2016. № 4; Триумф мировой науки // Земля и Вселенная. 2018. № 3. С. 3–8; Постнов К.А. Гравитационные волны – вестники космических катастроф // Земля и Вселенная. 2018. № 3. С. 10–25.



Оптическая звезда

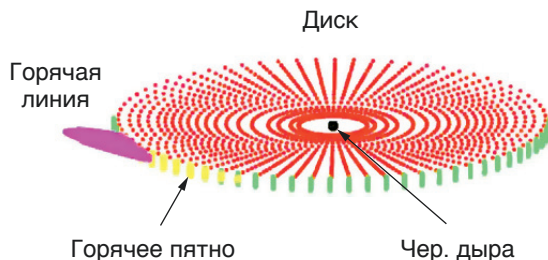


Рис. 7. Схематическая модель маломассивной рентгеновской двойной системы – рентгеновской новой в спокойном состоянии KV UMa (ХТЕ J1118+480) в Большой Медведице. Оптическая звезда заполняет свою полость Роша и истекает на черную дыру, вокруг которой образовался диск с горячим пятном и горячей линией на внешней границе

дидата в ЧД, особенно активизировались противники существования ЧД, что привело к отмеченным выше научным дискуссиям. И только в 1983 г. группой канадских астрономов (Энн Каули и др.) найден второй кандидат в ЧД – РДС LMCX-3, расположенная в другой галактике – Большом Магеллановом Облаке. Орбитальный период этой системы $P_{orb} \cong 1.7$, второй компаньон – оптическая звезда спектрального класса $\sim V$ с массой $\sim 6 M_{\odot}$, масса ЧД $M_{ЧД} \cong 9 M_{\odot}$.

В 1986 г. Мак-Клинтон и Ремиллард (США) открыли черную дыру ($M_{ЧД} \cong 8 M_{\odot}$) в маломассивной РДС A0620–00 со спутником – маломассивной ($\sim 1 M_{\odot}$) оптической звездой спектрального класса К. Это стало сюрпризом для ученых, которые старались искать ЧД в массивных РДС со спутниками – массивными О-В звездами. И они просчитались! Дело в том, что в 1970-е гг. ученые предполагали, что ТДС рождаются преимущественно парами звезд примерно равных масс (отношение масс компонент близко к единице). Поскольку ЧД рождаются при коллапсах ядер массивных звезд ($\sim 20\text{--}40 M_{\odot}$), исследователи старались искать ЧД именно в массивных РДС. Однако в дальнейшем детальные статистические исследования показали, что распределение

ТДС по отношению масс их компонент весьма широкое, и отношение масс компонент в ТДС, близкое к единице, ничем не выделено. Но главное то, что время ядерной эволюции маломассивных звезд в тысячи раз длиннее, чем время ядерной эволюции массивных звезд. Если маломассивная звезда в РДС заполняет свою полость Роша, то она питает аккрецию вещества на релятивистский объект в тысячи раз дольше, чем массивная звезда. Поэтому вероятность обнаружить аккрецирующую ЧД в маломассивных РДС много больше, чем в массивных. И действительно, большинство ЧД звездных масс (более 70%) открыто в маломассивных РДС.

Отметим также открытие в 1979–1981 гг. объекта SS433 – первой массивной РДС в режиме сверхкритической аккреции (Б. Маргон и др., 1979; А. Каули и др., 1980; А.М. Черепашук, 1981)¹⁴. Этот режим предсказали в пионерской работе Н.И. Шакура и Р.А. Сюняев¹⁵ по теории дисковой аккреции вещества на релятивистские объекты.

¹⁴ Черепашук А.М. SS433: новые результаты, новые проблемы // Земля и Вселенная. 1986. № 1.

¹⁵ Shakura N.I., Sunyaev R.A. Black holes in binary systems. Observational appearance. Astronomy and Astrophysics, 1973. Vol. 24. P. 337.

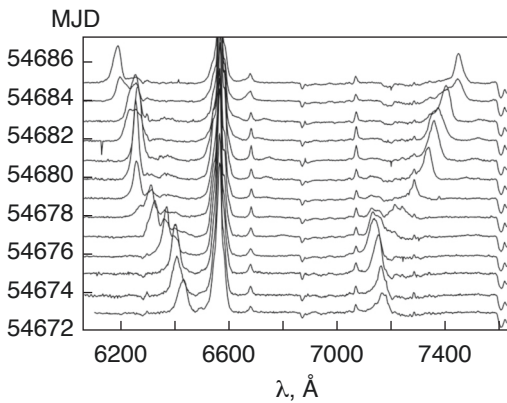


Рис. 8. Система SS433: слева – ее спектр, полученный на Кавказской Горной обсерватории ГАИШ МГУ в различные ночи. Видна стационарная эмиссионная линия $H\alpha$ ($\lambda \cong 6563 \text{ \AA}$) и подвижные эмиссии $H\alpha$, перемещающиеся по спектру с периодом прецессии сверхкритического аккреционного диска 162.3 дня. Подвижные эмиссии $\pm H\alpha$ возникают во внешних частях релятивистских джетов ($v = 80\,000 \text{ км/с}$), которые перпендикулярны к аккреционному диску и отслеживают его прецессию. Из статьи Черепашук и др., 2018, *Астрон.ж.* 95, 780; справа – компьютерная модель системы SS433 с прецессирующим сверхкритическим аккреционным диском и релятивистскими джетами. Из статьи Cherepashchuk et al., 2020, *New Astronomy Rev.* 89, id:101452

Если темп поступления вещества в аккреционный диск очень большой (что может случиться, когда массивная звезда заполняет или переполняет свою полость Роша), то вещество диска становится непрозрачным для рентгеновского излучения, формирующегося в его центральных частях. Поэтому на месте рентгеновского источника формируется оптически яркий объект с мощным ветром – такими свойствами обладает объект SS433. Это массивная затменная РДС на продвинутой стадии эволюции со сверхкритическим аккреционным диском и релятивистскими ($v \cong 80\,000 \text{ км/с}$) джетами. Орбитальный период SS433 $P_{\text{orb}} \cong 13.1$ суток. Диск и джеты прецессируют с периодом $P_{\text{prec}} \cong 162.3$ суток, что приводит к появлению в спектре системы «подвижных» эмиссий водорода и нейтрального гелия, перемещающихся по спектру с периодом 162.3 суток на громадную величину порядка 1000 \AA . Именно на-

личием этих подвижных эмиссионных линий объект SS433 и привлек к себе внимание. Наличие подвижных линий в спектре SS433 настолько удивительное и неожиданное, что в первых пресс-релизах об открытии SS433 (которые, к счастью, не успели попасть в научные публикации) предполагалось, что SS433 – это сигнал внеземной цивилизации, которая светит нам лучом сверхмощного перестраиваемого лазера. Открытие оптических затмений в SS433, сделанное в 1981 г. А.М. Черепашуком, показало, что внеземная цивилизация здесь ни при чем, а объект SS433 представляет собой пекулярную ТДС.

ПРОЦВЕТЕНИЕ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ АСТРОФИЗИКИ

Оптические отождествления РДС и исследование их оптических проявлений (эллипсоидальности и отражения) при-

вели к развитию эффективных методов определения масс НЗ и ЧД в рентгеновских двойных системах. С другой стороны, запуск многочисленных космических рентгеновских обсерваторий (например, таких, как HEAO-2 «Эйнштейн», «Квант» на станции «Мир», «Гранат», ROSAT, XMM-Ньютон, «Чандра», NuSTAR и др.) привел к расцвету исследований в области рентгеновской астрономии и открытию многих тысяч рентгеновских двойных систем разных типов, и также к определению масс многих десятков НЗ и ЧД. Особо следует отметить запуск российской космической рентгеновской обсерватории «Спектр-РГ» (научный руководитель академик Р.А. Сюняев)¹⁶, а также ISPE (NASA), которая реализует наблюдения не только интенсивности и спектра рентгеновского излучения, но и его линейной поляризации. С борта обсерватории «Спектр-РГ» удалось зарегистрировать около миллиона компактных рентгеновских источников, в большинстве случаев представляющих собой аккрецирующие сверхмассивные ЧД в ядрах галактик, а также НЗ и ЧД в РДС. Все это составило прочный наблюдательный базис для астрофизики высоких энергий и релятивистской астрофизики.

В конце 1990-х – начале 2000-х гг., в связи с появлением мощных суперкомпьютеров, развивались методы трехмерного газодинамического моделирования ТДС, что позволило глубже понять физику процессов во взаимодействующих двойных системах (А.А. Боярчук, Д.В. Бисикало, В.М. Четкин и др.). Статистические исследования и сценарный подход к эволюции ТДС с обменом масс привели к развитию методов популяционного синтеза

для ТДС вплоть до самых поздних стадий (В.Г. Корнилов, В.М. Липунов). С использованием методов популяционного синтеза, В.М. Липунов, К.А. Постнов и М.Е. Прохоров в ГАИШ в 1997 г. сделали важное предсказание о том, что первыми в гравитационно-волновом эксперименте LIGO будут открыты сливающиеся ЧД, а не НЗ, что получило блестящее подтверждение на практике.

РАЗНООБРАЗИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ДВОЙНЫХ СИСТЕМ

Как уже упоминалось, РДС принадлежат к классу ТДС на поздних стадиях эволюции, т.е. систем, в которых завершился первичный обмен масс: первоначально более массивная звезда закончила передачу своей массы менее массивной. Эволюционный остаток первоначально более массивной звезды в ходе дальнейшей эволюции может сформировать релятивистский объект – НЗ или ЧД. РДС делятся на два больших класса: массивные рентгеновские двойные со спутниками – массивными ($M > 5 M_{\odot}$) звездами ранних спектральных классов А-В-О и WR, а также маломассивные РДС со спутниками – маломассивными ($M < 1 M_{\odot}$) звездами поздних спектральных классов К-М. Различие в массах звезд-доноров вещества обуславливает различия в эволюционных путях этих взаимодействующих ТДС. Первичный обмен масс в предшественниках маломассивных РДС из-за большой разницы в начальных массах компонент проходит в стадии с общей оболочкой в системе. В случае массивных РДС общая оболочка на стадии первичного обмена масс не образуется, и система эволюционирует как полуразделенная. Перечислим кратко свойства основных типов рентгеновских двойных:

¹⁶ *Дутовинов А.А.* Телескоп ART-XC им. М.Н. Павлинского обсерватории «Спектр-Рентген-Гамма» // Земля и Вселенная. 2022. № 4.

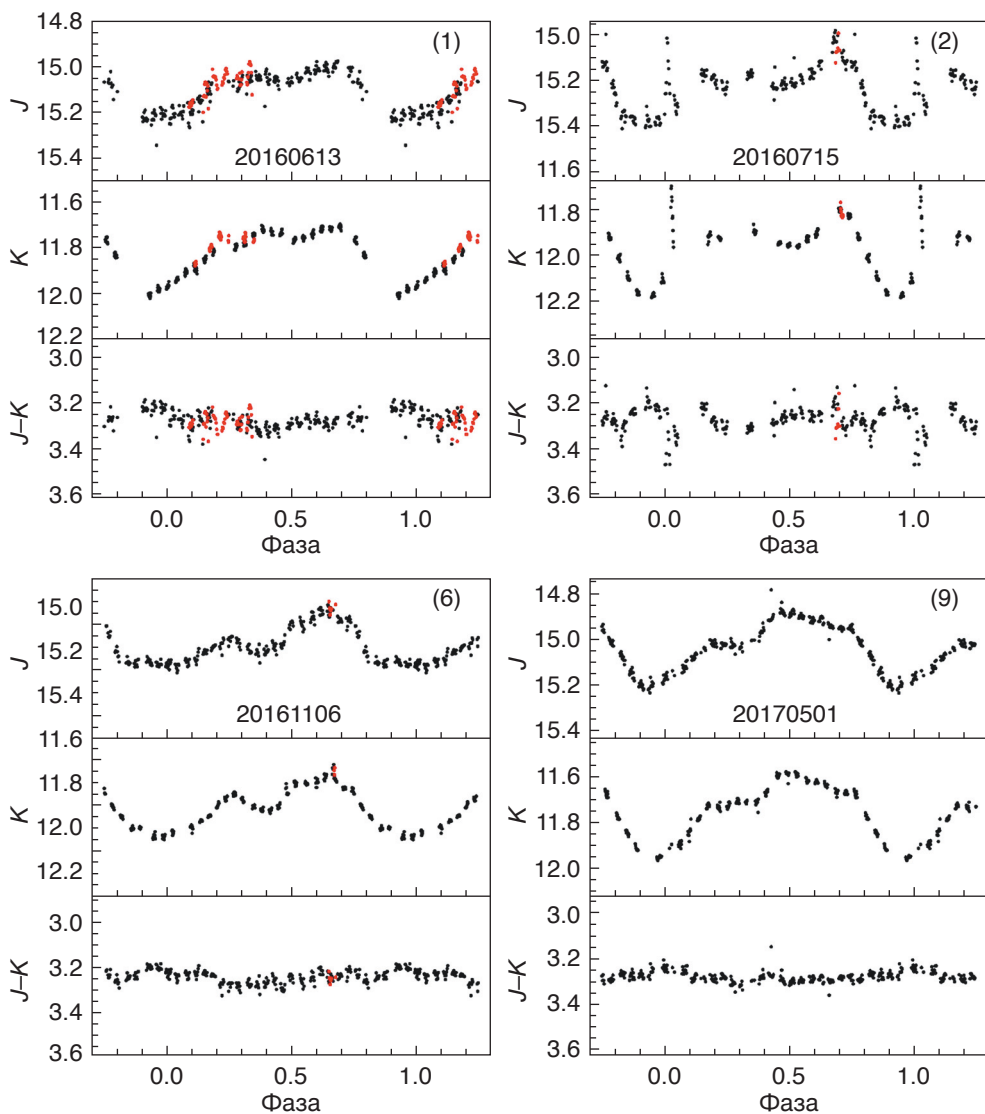


Рис. 9. Диаграммы инфракрасных орбитальных кривых блеска микроквазара *Cyg X-3* ($WR + c$, $P_{orb} \cong 4.8$ часа), полученные на 2.5-м телескопе Кавказской Горной обсерватории ГАИШ МГУ в фильтрах J и K для разных эпох (указаны рядом с кривыми блеска). Видна значительная переменность кривых блеска от эпохи к эпохе, а также уменьшение показателя цвета J-K («поголубение») в фазе $\phi = 0$, когда звезда WR повернута к наблюдателю непрогретой частью (рентгеновский источник расположен сзади звезды WR). Из статьи Antokhin et al., 2022, *APJ* 926, id:123

а) массивные транзиентные РДС с быстровращающимися Ве-звездами. Если на стадии первичного обмена масс первоначально менее массивная звезда накопила много не только

массы, но и углового момента, последняя становится быстровращающейся Ве-звездой с мощным экваториальным ветром (дискообразной оболочкой). Когда, двигаясь по эллиптической

орбите, релятивистский объект погружается в плотные слои дискообразной оболочки, идет активная аккреция вещества оболочки на релятивистский объект (НЗ или ЧД) и формируется мощная вспышка рентгеновского излучения ($L_x \cong 10^{38}$ эрг/с) длительностью порядка месяца. При этом сама звезда-донор не заполняет полость Роша. Орбитальные периоды таких систем 10–1000 суток, эксцентриситеты орбит $e = 0.2–0.8$;

б) квазистационарные массивные РДС. В данном случае оптическая звезда близка к заполнению своей полости Роша и истекает на релятивистский объект, формируя вокруг него аккреционный диск. Оптические звезды – О-В гиганты и сверхгиганты, релятивистские спутники – НЗ или ЧД. Орбитальные периоды $P_{orb} = 1.4–9$ суток, $e = 0$, $L_x = 10^{36}–10^{39}$ эрг/с. Примеры систем с черными дырами: Cyg X-1, LMCX-3, LMCX-1, M33X-7 и др.;

в) объект SS433. Система находится на стадии завершения вторичного обмена масс. Спектральный класс звезды-донора A7I, релятивистский объект с большой вероятностью является ЧД. Рентгеновская светимость $L_x = 10^{36}$ эрг/с, оптическая светимость сверхкритического аккреционного диска $L_{opt} = 10^{39}$ эрг/с. В последние годы появляется все больше аргумен-

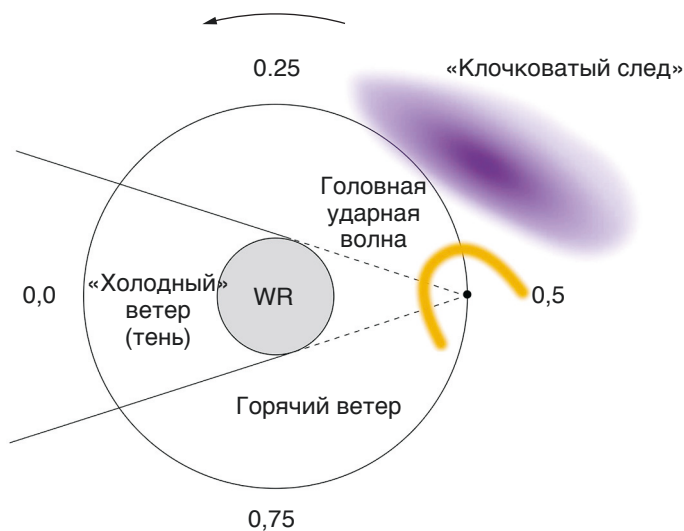


Рис. 10. Схематическая модель системы Cyg X-3, используемая для интерпретации ее орбитальных инфракрасных и рентгеновских кривых блеска. Рентгеновское излучение формируется при аккреции звездного ветра звезды WR на релятивистский объект. Отмечены головная ударная волна, сформированная при орбитальном движении релятивистского объекта в высокоскоростном звездном ветре звезды WR, а также клочковатая уплотненная часть ветра WR (clumpy trail), образованная при взаимодействии релятивистских джетов с ветром WR. Эти структуры обуславливают anomalous поведение показателя цвета J-K с фазой орбитального периода. Из статьи Antokhin et al., 2022, APJ 926, id:123

тов в пользу того, что SS433 является представителем широкого класса ультраярких рентгеновских источников – ULX, у которых рентгеновская светимость достигает огромных значений (до 10^{42} эрг/с). В этих системах, как и в SS433, идет сверхкритическая аккреция на ЧД или на сильно намагниченную НЗ;

г) рентгеновские двойные системы типа WR+c, где c – релятивистский объект, а WR – звезда типа Вольфа-Райе, гелиевый остаток первоначально массивной звезды. Это системы, находящиеся на стадии после завершения вторичного обмена масс, когда истекающая звезда-донор потеряла свою водородную оболочку. Релятивистский объект –

НЗ или ЧД, $L_x = 10^{38} - 10^{39}$ эрг/с. Примеры систем: Cyg X-3 (WN4-8+c, $P_{orb} = 4.8$ часа), IC10X-1 (WNE+c, $P_{orb} = 1.5$ суток), NGC300X-1 (WN5+c, $P_{orb} = 1.3$ суток);

д) рентгеновские новые состоят из маломассивной К-М звезды, которая заполняет свою полость Роша, и релятивистской компоненты – НЗ или ЧД. Рентгеновские вспышки, длительносью порядка месяца – это результат нестабильности в диске вокруг релятивистского объекта $P_{orb} = 0.2 - 33.5$ суток, $e = 0$;

е) яркие квазистационарные РДС галактического балджа, в котором оптические G-M-звезды заполняют свою полость Роша. Релятивистские компоненты – НЗ, $P_{orb} < 10$ суток, $e = 0$, $L_x = 10^{36} - 10^{38}$ эрг/с. Пример – система Sco X-1. В системах этого типа наблюдаются квазипериодические осцилляции рентгеновского потока (QPO) с частотами в герцы и десятки герц. Наблюдаются также высокочастотные QPO с частотами до 1 кГц;

ж) рентгеновские барстеры – это звезды поздних спектральных классов, заполняющие свои полости Роша, в паре с НЗ. От этих объектов наблюдаются короткие вспышки рентгеновского излучения длительносью от 1 до 40 секунд, рентгеновская светимость в максимуме вспышки $L_x \cong 10^{37}$ эрг/с. Существуют рентгеновские вспышки 1-го и 2-го типов. Первый тип – термоядерный взрыв накопленного на поверхности НЗ вещества при аккреции, второй тип – неустойчивость в аккреционном диске;

з) ультрамягкие рентгеновские источники – это маломассивные звезды, заполняющие свою полость Роша, в паре с аккрецирующим белым карликом. Особенность этих систем – огромная рентгеновская светимость ($L_x = 10^{37} - 10^{38}$ эрг/с) и очень мягкий рентгеновский спектр ($kT = 20 - 50$ эВ). В них проявляется стационарное тер-

моядерное горение вещества, накопленного на поверхности белого карлика. Поскольку радиус белого карлика в тысячу раз больше радиуса НЗ, излучение происходит с большой поверхности, что и обуславливает мягкий рентгеновский спектр.

Конечные стадии эволюции массивных РДС приводят к формированию двойных ЧД, двойных НЗ или пар НЗ + ЧД. Слияние релятивистских объектов в таких двойных системах приводит к формированию всплесков гравитационно-волнового излучения, которое регистрируется современными наземными гравитационно-волновыми обсерваториями типа LIGO, Virgo и др. Дальнейшая эволюция маломассивных РДС должна приводить к формированию пар типа «белый карлик + релятивистский объект», или пары из двух белых карликов.

НЕКОТОРЫЕ ВАЖНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО РЕНТГЕНОВСКИМ ДВОЙНЫМ СИСТЕМАМ

Рентгеновские двойные системы исследуются уже свыше 60 лет. За этот период получены уникальные научные результаты, имеющие принципиальное значение, как для релятивистской астрофизики, так и для фундаментальной физики: 1) открыто несколько тяжелых НЗ с массами, близкими к $2 M_{\odot}$, что важно для уточнения уравнения состояния нейтронного вещества; 2) средняя масса около сотни измеренных НЗ (рентгеновских пульсаров, рентгеновских барстеров 1-го типа, радиопулсаров) составляет $1.45 M_{\odot}$; 3) миллисекундные пульсары в среднем на $0.13 M_{\odot}$ более массивны, чем секундные (в основном по радио данным), это отражает эффект накопления вещества НЗ при «раскрутке» пульсара во время обмена масс в ТДС;

4) не обнаружено корреляции между массами ЧД и массами звезд-доноров в рентгеновских двойных системах; 5) количество открытых ЧД в РДС не возрастает при уменьшении массы ЧД, что удивительно, поскольку наличное число звезд в Галактике очень сильно возрастает с уменьшением массы звезды, скорее всего, масса ЧД определяется не только массой родительской звезды, но и другими факторами (магнитное поле ядра звезды, его вращение, различные неустойчивости, возникающие при коллапсе ядра звезды и т.п.); 6) распределения масс ЧД в массивных и маломассивных РДС различаются, ЧД в маломассивных РДС концентрируются к среднему значению $\sim 8 M_{\odot}$, в то время как в массивных РДС это распределение имеет широкий диапазон $4-20 M_{\odot}$. Это различие отражает отмеченное выше различие эволюционных путей массивных и маломассивных рентгеновских двойных систем, кроме того, намечается провал в распределении масс релятивистских объектов в диапазоне

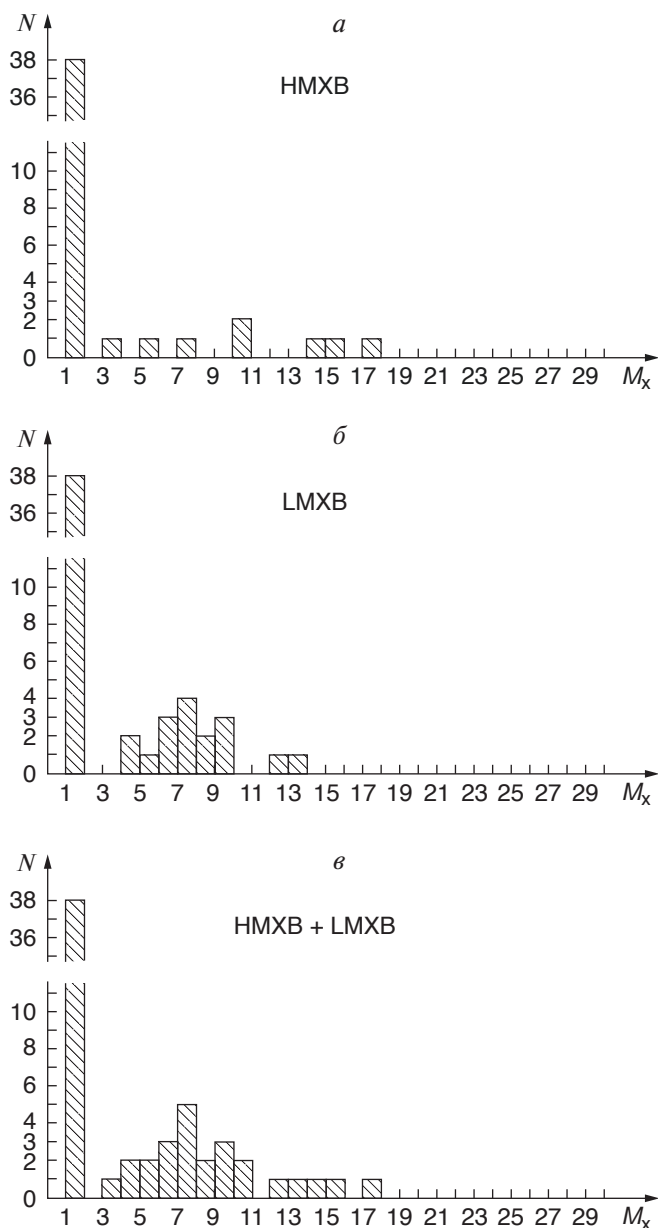


Рис. 11. Распределение масс нейтронных звезд и черных дыр: а – в массивных рентгеновских двойных системах (High-Mass X-ray Binary – HMXB) со спутниками – массивными оптическими O-B и WR звездами; б – в маломассивных рентгеновских двойных системах (Low-Mass X-ray Binary – LMXB); в) – суммарное распределение масс черных дыр и нейтронных звезд (в массивных и маломассивных рентгеновских двойных системах). Высокий пик в левой части рисунка соответствует нейтронным звездам. Из монографии «Многоканальная астрономия...» Фрязино: Век-2, 2019. С. 463

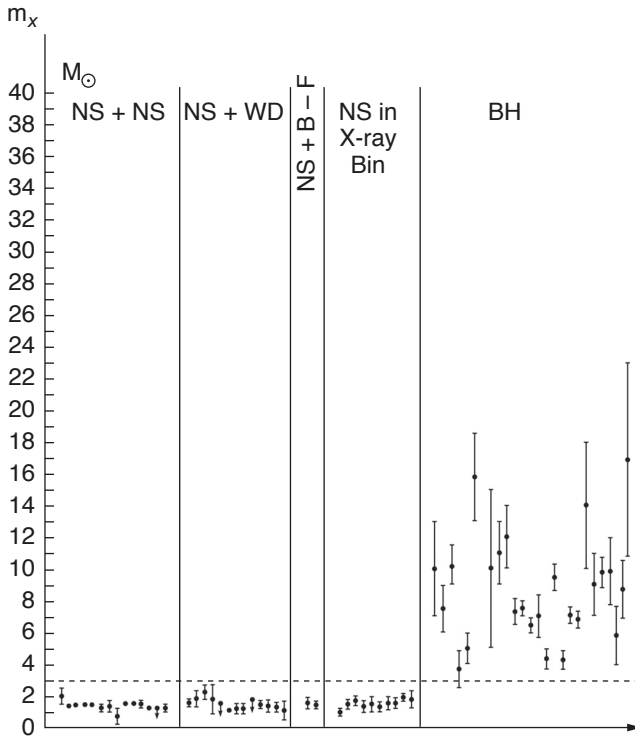


Рис. 12. Измеренные массы нейтронных звезд (NS) и черных дыр (BH) в двойных системах. Здесь NS+NS обозначает радиопульсар в паре с нейтронной звездой, NS+WD – радиопульсар в паре с белым карликом, NS+B-F – радиопульсар в паре с невырожденной звездой спектрального класса B-F, NS in X-ray Bin – рентгеновский пульсар в двойной системе. Штриховая горизонтальная прямая отсекает значение массы $3M_{\odot}$ – абсолютный верхний предел массы нейтронной звезды, предсказываемый ОТО. Из монографии «Многоканальная астрономия...» Фрязино. Век-2. 2019. С. 464

2–4 M_{\odot} – в этом интервале не наблюдается ни НЗ, ни ЧД. Данный факт накладывает ограничения на механизмы образования релятивистских объектов в конце эволюции массивных звезд; 7) ЧД и НЗ в РДС различаются не только по массам, но и по наблюдательным проявлениям в полном согласии с предсказаниями ОТО.

Во всех, примерно ста случаях, когда компактный объект показывает признаки наблюдаемой поверхности (рентгеновский пульсар, рентгенов-

ский барстер 1-го типа, радиопульсар) его масса не превышает $3 M_{\odot}$ – абсолютного верхнего предела массы НЗ, предсказываемого ОТО. В то же время, ни один из свыше 30 «взвешенных» массивных ($M > 3 M_{\odot}$) рентгеновских источников – кандидатов в ЧД – не показывает признаков наблюдаемой поверхности (не является ни рентгеновским пульсаром, ни рентгеновским барстером 1-го типа, ни радиопульсаром). Это фундаментальный и очень красивый результат, полученный после длительных исследований РДС – косвенное свидетельство отсутствия наблюдаемых поверхностей у кандидатов в ЧД и аргумент в пользу наличия у них горизонтов событий, предсказываемых ОТО¹⁷. К сожалению, этот замечательный результат не может служить окончательным доказательством существования ЧД, поскольку

и некоторые НЗ могут не показывать признаков наблюдаемых поверхностей, в этих случаях с ЧД можно спутать тяжелую НЗ. Кроме того, очевидно, что нельзя окончательно судить о природе объекта по отсутствию у него каких-либо признаков. В этой связи хороший пример в свое время привел академик Я.Б. Зельдович. Ученые проводили

¹⁷ Новиков И.Д. Новый этап развития общей теории относительности // Земля и Вселенная. 2020. № 4.

археологические раскопки в Греции с целью доказать, что в Древней Греции использовалась телефонная связь. Они искали провода от телефонной связи и не нашли их. На этой основе был сделан вывод о существовании в Древней Греции беспроводного телефона, то есть телеграфа (а в наше время можно сказать, что там использовался интернет)... Для окончательного доказательства существования ЧД необходимо пронаблюдать особенности, специфичные для ЧД.

Окончательные доказательства существования звездных ЧД пришли из гравитационно-волновых исследований. Недавнее построение группой Event Horizon Telescope теней от ЧД в центрах нашей Галактики и галактики M87 окончательно доказало существование сверхмассивных ЧД.

ТРИУМФ ЧЕРНЫХ ДЫР

Эра рентгеновской астрономии обеспечила первый прорыв в исследованиях ЧД. В результате накоплены богатые данные о наблюдательных проявлени-

ниях большого числа аккрецирующих ЧД и НЗ, которые оказались прекрасно согласующимися с предсказаниями ОТО. Развилась новая наука – релятивистская астрофизика, которая обогатила наши знания о высокоэнергичных процессах во Вселенной. В дальнейшем, начиная с 2015 г., последующая эра гравитационно-волновой астрономии путем наблюдения процессов слияния ЧД и НЗ в двойных системах, которые прекрасно описываются с помощью ОТО, позволила получить окончательные доказательства существования ЧД звездных масс во Вселенной и с помощью электромагнитного канала изучить процессы нуклеосинтеза при слиянии НЗ. Получение изображений теней от сверхмассивных ЧД с угловым разрешением $\sim 10^{-5}$ секунды окончательно решило проблему их существования.

Можно с удовлетворением заключить, что 60 лет рентгеновских исследований обеспечили «золотую эру» для ТДС и привели к получению фундаментальных научных результатов первостепенного значения.

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-зале и на экспозиционных площадках издательства по адресу:

г. Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1

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

КОСМИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП ДЖЕЙМСА УЭББА: ГОД ПЕРВЫЙ



АКИМКИН Виталий Викторович,

кандидат физико-математических наук

Институт астрономии РАН

DOI: 10.7868/50044394823040023

Космический телескоп им. Джеймса Уэбба (JWST) был запущен больше года назад – 25 декабря 2021 года. В первые полгода шла кропотливая работа по разворачиванию телескопа и настройке его инструментов, а с середины 2022 года стала выполняться научная программа первого цикла наблюдений. Сейчас уже можно уверенно поздравить астрофизиков – они получили в свое распоряжение крупнейший космический телескоп для наблюдений в ближнем и среднем инфракрасном диапазоне. А всех нас обязательно ждут сюрпризы – их не избежать, когда появляются принципиально новые возможности для наблюдений за Вселенной.

Телескоп Джеймса Уэбба называют преемником телескопа Хаббла. Это верно лишь отчасти, поскольку возможности этих двух телескопов скорее дополняют друг друга. Человеческий

глаз воспринимает электромагнитное излучение в очень узком диапазоне длин волн от 0.4 до 0.75 микрон. Доступный спектральный диапазон для телескопа Хаббла от 0.1 до 2 мкм, то есть он включает все видимое человеческим глазом излучение, частично захватывая по краям ультрафиолетовое и инфракрасное излучение. Инструменты Уэбба разработаны для работы в диапазоне от 0.6 до 28 мкм, то есть глубоко в инфракрасной области, что дает принципиально новые возможности. Так, например, облака космической пыли сильно поглощают оптическое излучение, но хорошо пропускают сквозь себя инфракрасное излучение удаленных объектов. А эффект космологического красного смещения, сдвигающий излучение далеких галактик в инфракрасную область, позволяет наблюдать за самыми первыми объектами после Большого взрыва. Тем самым

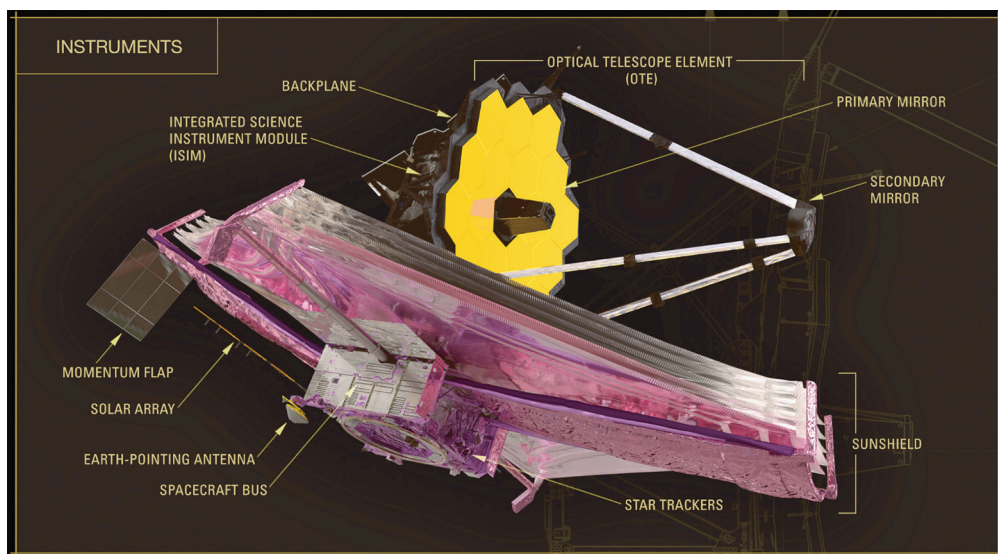


Рис. 1. Основные элементы конструкции телескопа JWST. Стрелками отмечены главное зеркало, состоящее из 18 шестиугольных сегментов (primary mirror), вторичное зеркало (secondary mirror), расположенное на трех штангах и перенаправляющее излучение в модуль научной аппаратуры ISIM позади главного зеркала. Снизу от солнцезащитного экрана (sunshield) расположены антенна связи, солнечная панель (solar array), навигационные датчики (star trackers) и солнечный парус для компенсации давления излучения на солнечные панели (momentum flap). Источник: <https://webb.nasa.gov/factsheet>

наблюдения в инфракрасном диапазоне позволяют изучать Вселенную глубже как в пространстве, так и во времени.

Из-за того что JWST предназначен для высокочувствительных наблюдений в инфракрасном свете, принципиально важно избегать присутствия рядом любых нагревающих и нагретых тел, приводящих к помехам в этом диапазоне длин волн. К этим телам относятся Солнце, Земля, Луна и... сам телескоп. Первая часть проблемы помех решается перемещением телескопа с околоземной орбиты в окрестность точки Лагранжа L2¹, а вторая – охлаждением

телескопа. JWST оборудован многослойным тепловым экраном, закрывающим зеркала и научную аппаратуру от теплового воздействия со стороны Солнца, Земли и Луны. Такое пассивное охлаждение позволяет снизить температуру телескопа до 30–40 К в тени. Этого достаточно, чтобы тепловое излучение от конструкций самого телескопа не мешало наблюдениям в ближнем инфракрасном диапазоне до 5 мкм. Для наблюдений в среднем инфракрасном диапазоне вплоть до 28 мкм часть приемной аппаратуры дополнительно активно охлаждается до 6 К. Поскольку телескоп жестко связан с тепловым

¹ Точка Лагранжа L2 системы Солнце-Земля расположена на расстоянии 1.5 млн км от Земли в противоположном от Солнца направлении. Ее окрестности часто используются для

размещения космических обсерваторий. Сейчас в окрестности точки L2 также находится телескоп «Спектр-РГ» и аппарат Gaia, а ранее находились телескопы Herschel и Planck.

экраном и всегда должен находиться на его теневой стороне, в каждый момент времени для наблюдений доступны лишь объекты на части небесной сферы (около 40%), а полное покрытие небесной сферы возможно за полгода.

СЕРДЦЕ JWST – БЛОК НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ

Так же как мечтой географа является карта масштабом 1:1, мечта астрофизика – получить спектр объекта с абсолютно всеми мельчайшими особенностями в нем. Обе мечты упираются в их практическую реализацию. Определение интенсивности приходящего излучения в заданных направлении, длинах волн и моментах времени ограничено чувствительностью научных приборов. Если вырезать из спектрального диапазона слишком узкий участок, то количества приходящих от объекта фотонов будет недостаточно для надежного отделения сигнала от фоновых шумов. Мерой способности различать соседние детали в спектре (например, линий излучения атомов и молекул) называют разрешающей способностью прибора и обозначают $R = \lambda/\Delta\lambda$, где λ – длина волны наблюдения, а $\Delta\lambda$ – минимальная разница между соседними различимыми деталями. Выделяют спектроскопию высокого ($R > 10\,000$), среднего ($1000 < R < 10\,000$) и низкого разрешения ($R < 1000$). В так называемых фотометрических наблюдениях используются фильтры, пропускающие относительно широкий диапазон длин волн, и точность воспроизведения спектра минимальна ($R < 10$). Однако иногда фотометрия – единственная практическая возможность получить информацию о самых тусклых источниках. Реализовать мечту о бесконечной разрешающей способности вряд ли возможно, но приблизиться к ней

можно путем повышения чувствительности аппаратуры.

Крупное зеркало, экранирование от засветки Земли и глубокое охлаждение позволяют максимально улучшить шансы детектирования слабых сигналов, за которыми могут скрываться громкие открытия. Разнообразие объектов, доступных для наблюдений телескопом JWST, отражается в разнообразии его научных инструментов. Различные режимы наблюдений позволяют подобрать наилучшую комбинацию спектрального, временного и пространственного разрешения для каждого объекта наблюдений. На борту JWST расположились четыре научных прибора. Три из них (NIRCam, NIRSpec и FGS/NIRISS) – это инструменты ближнего инфракрасного диапазона, которые позволяют детектировать фотоны с длиной волны до 5 мкм. Инструмент MIRI – единственный инструмент обсерватории для наблюдений в среднем инфракрасном диапазоне от 5 до 28 мкм.

NIRCAM

Камера для наблюдения в ближнем инфракрасном диапазоне NIRCam стала первым научным инструментом, задействованным в работе JWST. Чтобы превратить набор из 18 маленьких телескопов в единое 6.5-метровое зеркало, их поверхности должны быть выровнены относительно друг друга с точностью около 1/100 толщины человеческого волоса. Контроль за выравниванием и единой фокусировкой всех сегментов основного зеркала стал ключевой задачей для NIRCam на этапе введения телескопа в эксплуатацию. Корректировка положения зеркал не заканчивается после «приемки» телескопа и проводится по необходимости в течение всего времени его работы.



Рис. 2. Изображение газопылевой туманности Столпы Творения в видимом свете (слева, телескоп Hubble) и в ближнем инфракрасном диапазоне (справа, телескоп JWST). Из-за лучшей прозрачности пылевых облаков в инфракрасном диапазоне хорошо видны формирующиеся в них звезды. Лучи у ярких звезд являются артефактами изображений и возникают из-за рассеяния света на конструкции телескопов. В случае телескопа Hubble их четыре, а у JWST – 6 ярких и 2 тусклых. Источник: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2022/nasa-s-webb-takes-star-filled-portrait-of-pillars-of-creation>

Поскольку данная функция чрезвычайно важна, NIRCam представляет собой не одну камеру, а две практически идентичных камеры на случай выхода одной из них из строя.

Камера NIRCam является основным поставщиком прекрасных фотографий с Уэбба, однако эстетика является лишь побочной составляющей ее научных возможностей. Для многих научных задач важно знать не только как выглядит объект исследования, но и как именно он выглядит на различных длинах волн. Для этого NIRCam использует 29 фильтров, вырезающих из всего доступного ей спектрального диапазона от 0.6 до 5 микрон кусочки шириной до нескольких сотых долей микрона. Такие фильтры могут показать, как и где именно излучают конкретные атомы молекулы в космосе, например, водород, метан, вода и угарный газ.

Возможности NIRCam далеко не ограничены простой фотометрией статических объектов. Существует еще четыре режима наблюдения. Несмотря на название, NIRCam – это не только камера для получения изображений, но и спектрограф с разрешающей способностью около $R \sim 1400$. Она также может проводить фотометрический и спектроскопический мониторинг ярких переменных источников. Одним из приложений такого режима наблюдений является определение химического состава экзопланет в моменты их прохождения на фоне своих родительских звезд. Еще один режим наблюдений – коронография, используемый для получения изображения тусклого объекта рядом с ярким (например, планеты около звезды). Чтобы засветка от яркого близкого источника не засвечивала изображение, свет от него перекрывается специальной маской.

NIRSPEC

Прибор NIRSpec – мощный спектрограф с разрешающей способностью от R~100 до R~2700, что отлично подходит для анализа физических свойств широкого класса астрофизических объектов, определения их температуры, массы и химического состава. Это первый инструмент в космосе с возможностью так называемой панорамной спектроскопии, позволяющей одновременно получать спектры объектов в широком поле зрения. Для этого поле зрения нарезается на узкие полоски, свет от каждой из которых затем разлагается в спектр и анализируется. Также на NIRSpec есть уникальный прибор для одновременного наблюдения за сотнями объектов. В таком режиме используется сетка из 248 000 микроскопических электромеханических затворов, которые можно открыть и закрыть по желанию так, чтобы они пропускали свет лишь от малых участков внутри поля зрения телескопа. С помощью этих затворов можно анализировать спектр конкретных галактик в гигантских скоплениях. Например, в недавних наблюдениях скопления SMACS0723 в спектрах отдельных галактик хорошо видна одна и та же последовательность – одна линия излучения водорода, за которой идут две линии ионизированного кислорода. Однако их положение в спектре все время разное: космологическое красное смещение тем сильнее, чем дальше свет шел от галактики к нам. Для близких объектов эти линии должны находиться в видимой области около длины волны 0.5 мкм, а для самых далеких галактик на изображении они смещаются в инфракрасную область за длину волны 4 мкм.

MIRI

Инструмент MIRI – это единственный прибор на Уэббе, позволяющий получать изображения и спектры объектов с разрешающей способностью от 100 до 3200 в средней инфракрасной области от 5 до 28 микрон. Так же как камера NIRCam – не только камера, но и спектрограф – спектрограф MIRI обладает возможностью получения изображений, в том числе коронографических. В список его научных задач входит получение прямых изображений молодых экзопланет и спектроскопия их атмосфер, обнаружение и характеристика первых галактик на больших красных смещениях, анализ теплой пыли и молекулярного газа в молодых звездах и протопланетных дисках.

Сама возможность таких наблюдений обязана сверх-глубокому охлаждению его детекторов до температуры 6 градусов по шкале Кельвина (–267 по Цельсию). Такое охлаждение необходимо для работы любого инфракрасного телескопа. Так, например, для охлаждения телескопов *Spitzer* и *Herschel* использовался жидкий гелий. Поскольку он испаряется, время работы телескопов ограничено его запасом. Бака гелия на борту хватило почти на шесть лет работы телескопа *Spitzer* и на четыре года работы телескопа *Herschel*. К счастью, для охлаждения MIRI используется принципиально другой подход с замкнутым циклом без испарения в открытый космос, поэтому время работы телескопа не будет ограничено запасом гелия. Это похоже на работу домашнего холодильника, где хладагент также не теряется. Одно из ключевых требований к системе охлаждения Уэбба также аналогично требованию к домашним холодильникам – быть максимально тихим, то есть не передавать существенных колебаний

GALAXY CLUSTER SMACS 0723

WEBB SPECTRA IDENTIFY GALAXIES IN THE VERY EARLY UNIVERSE



Рис. 3. Скопление галактик SMACS0723. Спектрограф NIRSpec наблюдал одновременно за 48 галактиками среди тысяч далеких галактик на изображении. Линии излучения водорода и кислорода, отмеченные красными и синими полосками, смещены в спектре тем сильнее направо в красную сторону спектра, чем моложе и дальше от нас находится галактика. Источник: https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Webb/First_images_from_Webb_telescope_reveal_unseen_Universe

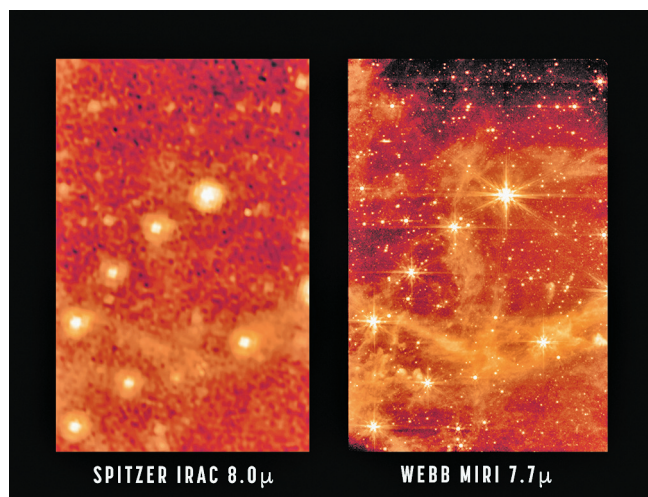


Рис. 4. Изображения части Большого Магелланова Облака, полученные на телескопе Spitzer диаметром 85 см (слева) и телескопе Уэбба диаметром 6.5 м (справа). Крупное зеркало позволяет не только собрать больше света и обнаружить слабые источники, но и улучшает четкость изображения (угловое разрешение).
Источники: <https://blogs.nasa.gov/webb/2022/05/09/miris-sharper-view-hints-at-new-possibilities-for-science/>

на конструкцию телескопа. «Качка» на телескопе от вибраций системы охлаждения не должна мешать системе наведения держать галактику в затворе камеры шириной с волос человека в течении нескольких часов!

NIRISS/FGS

В дополнение к трем описанным выше крупным приборам Уэбба есть еще один комплекс не менее важных инструментов FGS/NIRISS. Это пара из двух независимых приборов – датчика точного наведения FGS и спектрографа NIRISS. Датчик FGS используется для навигации телескопа. Его большое поле зрения позволяет следить сразу за несколькими яркими звездами с известными координатами и тем самым контролировать ориентацию телескопа в пространстве и непрерывное сопровождение объектов наблюдений. Возможности NIRISS, помимо фотометрии и спектроскопии низкого разрешения ($R \sim 150-700$), включают интерферометрию, позволяющую использовать законы оптики для получения еще более четкого изображения. В этом режиме применяется специальная маска, закрывающая 11 из 18 сегментов

зеркала и превращающая оставшиеся 7 сегментов в мини-интерферометр. Использование такого режима наблюдений может помочь открыть новые экзопланеты, прячущиеся в ярком свете своих звезд.

НАУЧНАЯ ПРОГРАММА ПЕРВОГО ГОДА НАБЛЮДЕНИЙ

Как и в случае любого крупного телескопа, телескоп Уэбба имеет заранее спланированную программу наблюдений. Эта программа делится на так называемые циклы наблюдений обычной продолжительностью в один земной год (но не обязательно совпадающими с календарным годом). Первый цикл наблюдений JWST идет с лета 2022 года и заканчивается в июне 2023 года. Во время выполнения текущего цикла наблюдений объявляется сбор заявок на следующий цикл. Все поданные заявки проходят рецензирование и из них выбираются лучшие, которые можно успеть реализовать в течение одного года.

Расписание первого цикла наблюдений формировалось задолго до запуска телескопа. В нем было предусмотрено три вида наблюдательных программ:



Рис. 5. Часть эмиссионной туманности NGC3324 в созвездии Киль, изображение которой было получено с помощью камеры JWST NIRCam. Одно из первых изображений, опубликованное в первом цикле наблюдений в рамках программы директорского времени. Источник: <https://webbtelescope.org/contents/media/images/2022/031/01G77PKB8NKR7S8Z6HBXMYATGJ>

– директорское время, в рамках которого были реализованы демонстрационные наблюдения, показывающие ключевые возможности обсерватории. Эти наблюдения не имеют эксклюзивного времени доступа (данные доступны сразу всем желающим);

– гарантированное время, отданное в распоряжение команд разработчиков инструментов. Всего за первые три цикла планируется реализовать более 100 таких программ, что займет около 15% всего наблюдательного времени;

– общее время, выделяемое на основе оценки научной значимости поступивших заявок. Это основной канал реализации наблюдений с эксклюзивным временем доступа для авторов заявок в течение одного года.

Часть первых результатов уже была анонсирована в пресс-релизах, но это лишь вершина айсберга. Финальный продукт исследовательской деятель-

ности – публикация статьи в научном журнале. Этому предшествует длительный процесс рецензирования – ключевого этапа научного контроля качества, когда новые данные тщательно анализируются другими экспертами перед их официальной публикацией. Поэтому несмотря на то, что запуск JWST состоялся уже больше года назад, лавина новых открытий еще только надвигается. А благодаря разнообразию научных приборов на борту JWST, эта лавина пройдет по многим разделам астрофизики – от самых первых галактик во Вселенной до объектов Солнечной системы.

Список рекомендованных источников:

- 1) Официальная обновляемая коллекция изображений JWST: <https://www.flickr.com/photos/nasawebbtelescope>

ОТКРЫТЫЕ ВОПРОСЫ КОСМОЛОГИИ: ПАРАМЕТР ХАББЛА



САЖИНА Ольга Сергеевна,

доктор физико-математических наук

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

МОРГУНОВА Арина Владимировна,

Большая российская энциклопедия

DOI: 10.7868/50044394823040035

Стандартная космологическая модель, построенная на основе решения А.А. Фридмана уравнений общей теории относительности и современных наблюдательных данных, хорошо описывает состав и эволюцию нашей Вселенной. Модель включает в себя определенное соотношение обычного и темного вещества, излучения и кривизны пространства-времени, темную энергию, а так же ряд космологических параметров, численные значения которых получаются из сопоставления этой модели с большим количеством независимых разноплановых наблюдений, проводимых с помощью наземных и космических телескопов. Один из основных космологических параметров – это параметр Хаббла, который характеризует темп расширения нашей Вселенной. Значения параметра Хаббла,

вычисленные для современного момента времени по наблюдательным данным близкой и дальней Вселенной, значительно отличаются. Эта проблема носит название «Hubble tension» и до сих пор не решена космологами.

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ОСНОВЫ КОСМОЛОГИИ

Космология, созданная в начале прошлого столетия на стыке нескольких научных дисциплин, прежде всего астрономии, теоретической физики и физики элементарных частиц, изучает всю Вселенную в целом и способна воссоздать развитие нашей Вселенной на протяжении почти 14 млрд лет, начиная от нескольких мгновений после ее рождения и до сегодняшнего момента времени.

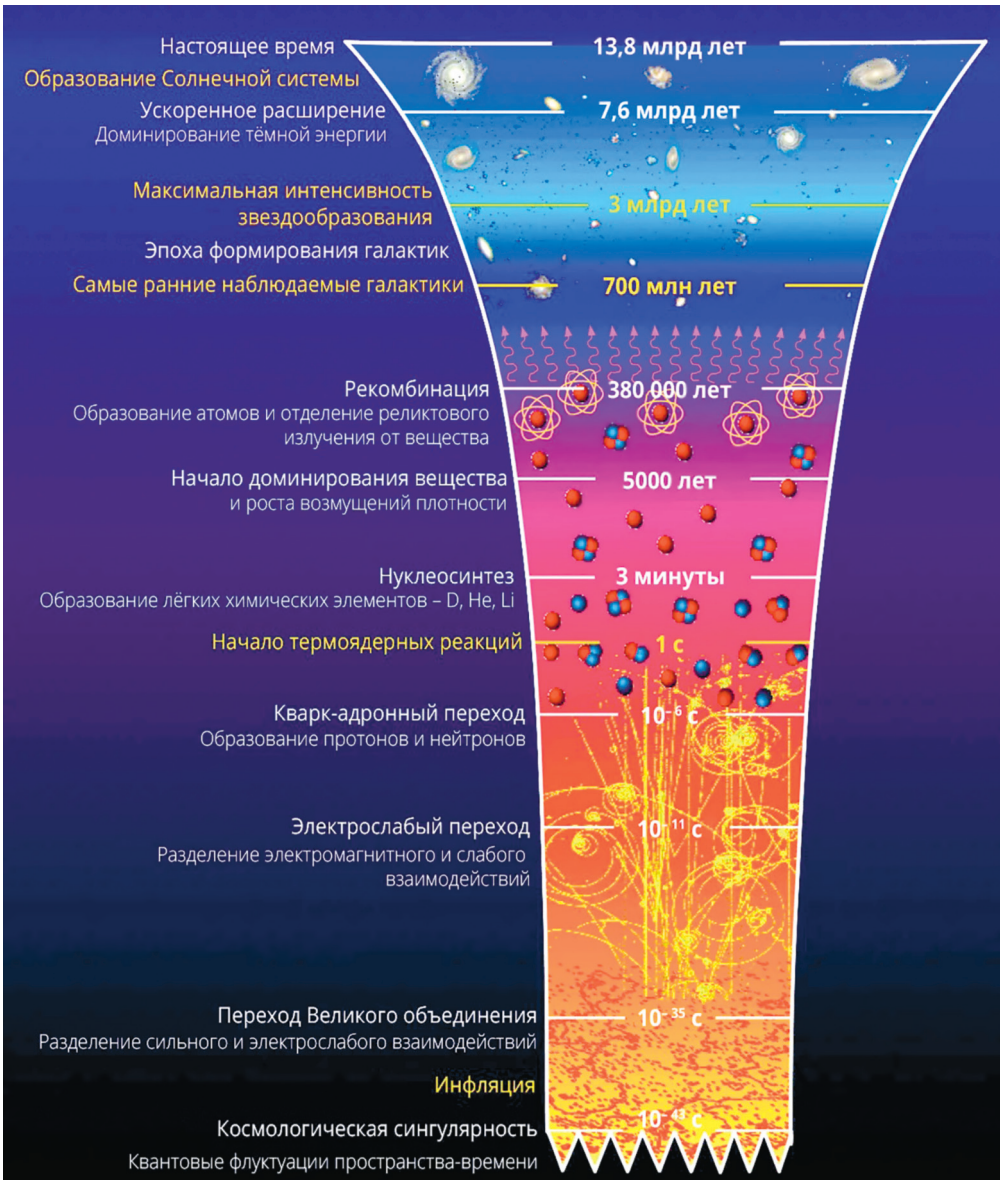


Рис. 1. Краткое схематическое изображение основных этапов эволюции Вселенной в рамках теории Большого взрыва. Источник: Сажин М.В., Сажина О.С. Теория Большого взрыва // Большая российская энциклопедия: научно-образовательный портал. URL: <https://bigenc.ru/c/teoriia-bol-shogo-vzryva-217844/?v=5978050> (Дата публикации: 09.06.2022; дата обновления: 17.01.2023)

Теоретическая космология заглядывает на сотни миллиардов лет в будущее, прогнозируя закат нашего мира или, быть может, его обновление в новом цикле. Она способна строить пред-

положения и о том, что было до Большого взрыва, какие пространства и измерения могли существовать тогда, когда все управлялось квантовыми флуктуациями пены пространства-времени.



Рис. 2. Яков Борисович Зельдович.
Источник: <https://photo.sai.msu.ru/RelativisticAstrophysics/zeldovich>

Несмотря на головокружительные теоретические перспективы, космология, как и любая строгая наука, прежде всего основывается на наблюдательных и экспериментальных данных. Только такие свидетельства можно считать достоверным знанием о нашем мире.

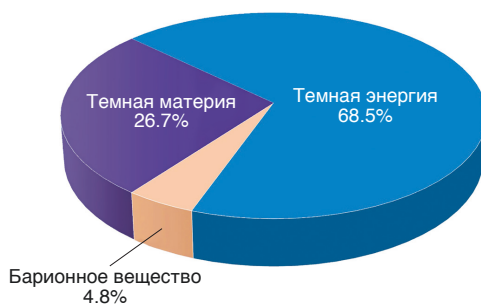
Космология обладает рядом отличительных свойств по сравнению с другими науками. Во-первых, это гигантские временные и пространственные масштабы, которыми она оперирует. Во-вторых, для космологии характерен отход от изучения циклических, повторяющихся процессов, которые имеют место в окружающем нас мире и в естественных науках, его описывающих. Наконец, космология – это, по словам выдающегося советского физика и астронома Я.Б. Зельдовича, «ускоритель бедного человека».

Действительно, ранняя Вселенная предоставляет наблюдателям возмож-

ность изучения физических процессов при таких высоких энергиях, которые никогда не будут доступны на земных ускорителях. Так, спустя 10^{-35} с после рождения Вселенной в Большом взрыве образовался избыток вещества над антивеществом с характерной энергией порядка 10^{25} эВ. Теория великого объединения – предмет давних и пока безуспешных поисков специалистов по физике элементарных частиц – определяется энергией того же порядка. Для сравнения, максимальная энергия, достижимая на Большом адронном коллайдере (БАК, англ. LHC) на 2022 г. составляет не более 10^{13} эВ.

Наблюдательные тесты предоставляют уверенность в том, что космология, современная формулировка принципов которой дается Стандартной космологической моделью, правильно предсказывает наиболее интересные высокоэнергетические

Рис. 3. Диаграмма, показывающая относительный состав современной Вселенной согласно совместным наблюдательным данным об анизотропии реликтового излучения (космическая обсерватория Planck), сверхновых звездах SNe Ia и др. Источник: Сажина О.С. Стандартная космологическая модель // Большая российская энциклопедия: научно-образовательный портал. URL: <https://bigenc.ru/c/standartnaia-kosmologicheskaja-model-e0e084/?v=5783441> (Дата публикации: 20.12.2022)



физические процессы. Напомним, что Стандартная космологическая модель носит название Λ CDM-модель, что означает, что в ней, помимо вещества и излучения (4.8%), представлена темная энергия (68.5%) в форме космологического Λ -члена, отвечающего за ускоренное расширение нашей Вселенной, а также холодная темная материя (26.7%). Наша Вселенная, согласно этой модели, евклидова, т. е. пространственно-плоская.

Ключевые тесты современной Стандартной космологической модели следующие:

1. Наблюдаемое расширение Вселенной, в том числе наблюдаемое современное ускоренное расширение (и косвенно подтверждаемое ускоренное расширение ранней Вселенной, называемое инфляцией).

2. Наблюдаемое реликтовое излучение и его анизотропия.

3. Наблюдаемая крупномасштабная структура Вселенной.

4. Согласие с наблюдениями предсказанного теорией изобилия некоторых легких химических элементов.

В современную Стандартную космологическую модель также входят понятия темной материи и темной энергии, несмотря на гипотетическую возможность их замены модифицированными законами гравитации.

ЗАКОН ХАББЛА

Наша Вселенная расширяется, и это самый первый и важнейший наблюдательный тест космологии, обособивший ее в отдельную науку.

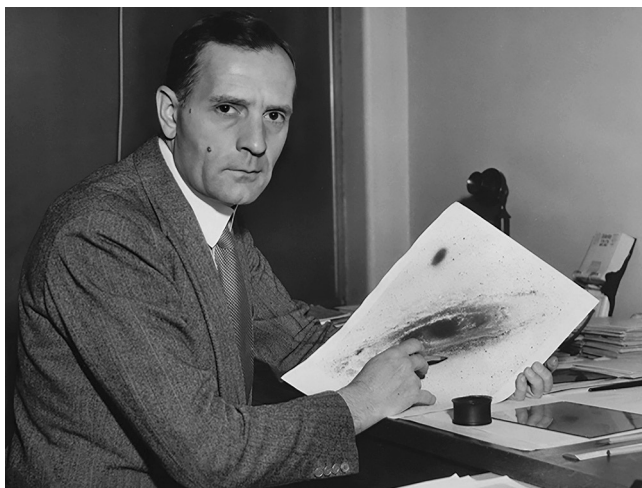


Рис. 4. Эдвин Хаббл. Источник: <https://hdl.huntington.org/digital/collection/p15150coll2/id/170/rec/145>

Американский астроном Эдвин Хаббл, в честь которого назван космический телескоп, *Hubble Space Telescope* (HST), впервые установил этот факт в 1929 г., построив диаграмму зависимости скорости далеких галактик от расстояния до них. Оказалось, чем дальше от нас находится галактика, тем быстрее она удаляется. Найденное соотношение получило название закона Хаббла:

$$v = H \cdot r$$

Тангенс угла наклона линии, показывающей связь скорости v и расстояния r , был назван постоянной Хаббла H , а позже, когда выяснилось, что эта величина зависит от времени t – параметром Хаббла, $H = H(t)$. Так, в рамках Стандартной космологической модели параметр Хаббла имеет смысл отношения скорости изменения характерного линейного размера во Вселенной к самому этому размеру. Этот характерный линейный размер называется «масштабный фактор» и описывает глобальную динамику Вселенной. Другими словами, параметр Хаббла есть отношение производной масштабного фак-



Рис. 5. Космологическая модель А.А. Фридмана в представлении художника. Источник: Сажина О.С., Сажин М.В. Космологическая модель Фридмана // Большая российская энциклопедия: научно-образовательный портал. URL: <https://bigenc.ru/c/kosmologicheskaja-model-fridmana-4feea8/?v=3487137> (Дата публикации: 26.05.2022)

тора по времени к самому масштабному фактору. Принятая размерность параметра Хаббла – это км/с/Мпк, другими словами, обратная величина параметра Хаббла имеет размерность времени и может служить грубой оценкой возраста нашей Вселенной.

Закон Хаббла – первое наблюдательное подтверждение однородной и изотропной теоретической модели А.А. Фридмана, которую он получил в 1922 г. на основе решения уравнений общей теории относительности Альберта Эйнштейна применительно ко всей Вселенной.

Закон Хаббла применим только для определенного интервала космических расстояний. Нижняя граница интервала определяется тем, что планетные системы, звезды, галактики и скопления галактик являются гравитационно связанными и поэтому не разлетают-

ся друг от друга. Верхняя граница интервала менее очевидна: она определилась тогда, когда наблюдения показали нелинейность закона Хаббла на сверхбольших масштабах и, следовательно, изменение указанной простой формулы.

Вне зависимости от линейности или нелинейности закона Хаббла, при построении диаграммы Хаббла (т. е. зависимости скорости внегалактического объекта (галактики) от расстояния до него) скорость и расстояние необходимо определять отдельными методами. Таким образом, для определения параметра Хаббла в современный момент времени t_0 : $H(t_0) = H_0$, что является предметом обсуждения данной статьи, необходимо уметь вычислять скорости и расстояния до космических объектов.

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ДАЛЕКОЙ ГАЛАКТИКИ

Скорости галактик вдоль луча зрения измеряются по эффекту Доплера. Напомним суть этого эффекта. Излучение с длиной волны λ_e , испущенное галактикой, удаляющейся от наблюдателя со скоростью v , в системе отсчета наблюдателя имеет длину волны λ_0 , которая определяется простым соотношением:

$$\lambda_0 = \lambda_e \left(1 + \frac{v}{c} \right) = \lambda_e (1 + z),$$

где c – скорость света, а $z = (\lambda_0 - \lambda_e)/\lambda_e$ – красное смещение галактики. Наименование «смещение» обусловлено тем, что в спектрах излучения далеких галактик линии всех химических элементов смещены так, что длина волны каждой линии (λ_0) больше, чем у соответствующего элемента в земной лаборатории (λ_e), то есть линии всех элементов в спектре смещены в сторону красного цвета. Для определения красного смещения (или, что то же самое,

скорости) какой-либо галактики регистрируется его спектр и сравнивается с лабораторным спектром соответствующих химических элементов. По разнице длин волн наблюдаемых и лабораторных линий определяется красное смещение z галактики и, следовательно, скорость ее убегания v .

ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ В КОСМОСЕ

Измерять в космосе расстояния до различных астрономических объектов гораздо труднее, чем измерять их скорости. Для правильного измерения расстояния вводится понятие лестницы (или шкалы) космических расстояний, основной принцип построения которой заключается в следующем. В зависимости от удаленности объекта, до которого хотят измерить расстояние, используются разные методы и разные наборы так называемых «стандартных свечей» – особых объектов, расстояние до которых может быть определено с высокой точностью исходя из их известных физических свойств. Каждая следующая ступень «лестницы» калибруется данными предыдущих ступеней – таким образом, возникает согласованная шкала расстояний, от масштабов Солнечной системы до всей видимой Вселенной.

В пределах Солнечной системы используются методы лазерной локации и радиолокации, а также измерение расстояний с помощью космических искусственных спутников.

На масштабах нашей Галактики эффективны кинематические методы: метод тригонометрического параллакса и метод собственных движений. По изменениям годичного параллакса можно с помощью радиоинтерферометра со сверхдлинной базой (РСДБ) определять расстояния до звезд на-

шей Галактики, а также расстояния до компактных радиоисточников (мазеров, радиопульсаров). По собственным движениям можно определять расстояния до движущихся звездных скоплений, а также до звезд цефеид, сопоставляя изменение физического и углового диаметра этих переменных звезд. Эффективен этот метод и для определения расстояния до объекта, находящегося на орбите очень массивного объекта. Используется также метод статистического параллакса, основанного на анализе проекций на небесную сферу скоростей отдельных звезд скопления. Так, космические телескопы Европейского космического агентства *Hipparcos* и *GAIA* (1989 и 2013 гг. запуска соответственно) позволяют получать расстояния до звезд всей нашей Галактики.

Для измерения расстояний, превышающих тысячи парсек, используется метод фотометрического параллакса. Его суть заключается в следующем. Источник света излучает фотоны. Мощность источника в оптике называют его светимостью и измеряют в ваттах. Чем дальше от наблюдателя расположен источник света, тем меньше его яркость. Фотометрические инструменты (например, глаз человека или оптический телескоп) измеряют не мощность источника, а поток фотонов, достигающих приемника. Поток обратно пропорционален квадрату расстояния до источника. Таким образом, если наблюдатель изначально знает светимость источника и может измерить поток света от этого источника, то он может вычислить расстояние до этого источника. Светимость каждого источника, необходимую для вычисления его фотометрического параллакса, знать, очевидно, невозможно. Тем не менее можно приблизительно определить светимость некоторой хорошо известной популяции источников –

«стандартных свечей». Следовательно, измеряя поток излучения от «стандартных свечей», можно определять фотометрическое расстояние до них, а также до объектов, рядом с которыми они находятся или которым принадлежат.

Для определения далеких галактических и внегалактических расстояний, фигурирующих, в том числе, в законе Хаббла, существует более десятка различных методов. Отметим несколько основных.

Первый – по переменным звездам цефеидам, которые обладают известной светимостью. С их помощью можно определять расстояния до ближайших галактик по известной эмпирической зависимости «светимость – период пульсации»: чем ярче звезда, тем больше период переменности ее блеска. Зная светимость и измеряя наблюдаемый поток излучения (или, что то же самое, видимую звездную величину), можно определить фотометрическое расстояние до цефеиды. Если цефеида находится в другой галактике, то расстояние до нее есть фотометрическое расстояние до этой галактики. Цефеиды позволяют измерять расстояния примерно до 15 Мпк. Кроме цефеид, индикаторами расстояний служат углеродные звезды асимптотической ветви гигантов – очень яркие красные гиганты, удобные широкой распространенностью в галактиках разных типов и обладающие хорошо изученными физическими свойствами.

Следующий метод – по сверхновым звездам типа Ia (SNe Ia). При вспышке блеск такой звезды увеличивается на десятки звездных величин и в максимуме становится сопоставимым с блеском целой галактики, а значит, заметен на огромных расстояниях. Общепринятая теоретическая модель таких сверхновых – это термоядерный взрыв звезды белого карлика массой около 1.4 массы Солнца (так называемый предел Чандрасекара). Светимость в максимуме блеска сверхновой измеряется с большой точностью (до 0.1 звездной величины) и постоянна с точностью 10%. Зная светимость SNe Ia и измеряя ее поток, можно найти расстояние до этой сверхновой и, следовательно, до галактики, которой она принадлежит, а измеряя ее спектр, можно узнать и ее скорость, что позволит вычислить темп расширения Вселенной.

Итак, для построения шкалы расстояний с ростом измеряемых масштабов последовательно используются разные методы, каждый последующий калибруется предыдущим. Расстояние до сверхновых SNe Ia калибруется с помощью цефеид. Зависимость светимости далеких цефеид от их периодов калибруется, например, по данным нашей Галактики путем вычисления тригонометрических параллаксов принадлежащих ей цефеид или по данным галактики Большое Магелланово Облако (БМО), а также по наблюдениям галактики NGC4258, расстояние до

Эффект Сюняева–Зельдовича – это искажение анизотропии реликтового излучения, происходящее из-за прохождения реликтовых фотонов через горячий газ скоплений галактик. Фотоны реликтового излучения рассеиваются свободными электронами газа таким образом, что их частота уменьшается в направлении на скопление галактик и, следовательно, снижается температура ансамбля реликтовых фотонов. Эффект Сюняева–Зельдовича очень важен для обнаружения далеких скоплений галактик и, конечно, важен для проверки разных космологических моделей. Эффект был предложен Я.Б. Зельдовичем и Р.А. Сюняевым в 1969 г., а зарегистрирован в 1978 г.

Комптон-эффект – это рассеяние коротковолнового электромагнитного излучения на свободных заряженных частицах, в результате чего происходит изменение длины волны рассеянного излучения. Открыт в 1922 г. А. Комптоном.

которой известно из независимых радионаблюдений расположенных в ней областей мегамазерного излучения.

Отметим также эмпирический метод Талли-Фишера для определения фотометрического расстояния до галактик.

Стоит упомянуть и два принципиально иных метода, основанных на наблюдениях анизотропии реликтового излучения, самого первого излучения Вселенной, родившегося через 380 тыс. лет после Большого взрыва, когда плазма ранней Вселенной остыла настолько, что позволила фотонам распространяться свободно. Рождение реликтового излучения называют моментом рекомбинации.

Так, положение первого пика (так называемого акустического пика, поскольку образование спектра обуславливается распространением звуковых волн плотности в плазме ранней Вселенной) в спектре анизотропии реликтового излучения определяет расстояние только до одного единственного космологического объекта: источника реликтового излучения, называемого поверхностью последнего рассеяния.

Второй метод определения космических расстояний, связанный с анизотропией реликтового излучения, основаный на эффекте Сюняева–Зельдовича.

Этот метод позволяет определять расстояния до скоплений галактик: фотоны реликтового излучения рассеиваются на электронах газа в скоплениях галактик за счет комптон-эффекта, что приводит к изменению температуры реликтового излучения в длинноволновой (релей-джинсовской) части спектра.

Для данного скопления галактик по анизотропии реликтового излуче-

ния и известной светимости в рентгеновском диапазоне можно оценить расстояние до этого скопления по его угловому размеру.

Завершая разговор об определении расстояний до космических объектов, отметим, что в последнее время развивается направление определения расстояний до объектов с помощью гравитационных волн, что может быть использовано для независимой калибровки всех ступеней космической шкалы расстояний.

ЗАКОН ХАББЛА В СТАНДАРТНОЙ КОСМОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Упомянутый выше закон Хаббла в простой линейной форме указывает на расширение Вселенной по инерции, что верно только до некоторых масштабов. До 1998 г. считалось, что наша Вселенная расширяется с замедлением – это, казалось бы, подтверждалось простыми физическими соображениями. Действительно, пусть в шаре с радиусом от наблюдателя до галактики, движение которой измеряют, находится вещество, воздействующее на галактику силой притяжения. Галактика движется по инерции в силу некоего начального «толчка», но из-за гравитационного влияния она должна замедлять свое движение.

Однако это оказалось не так. Примерно 7.6 млрд лет после Большого взрыва расширение Вселенной по инерции сменилось ускоренным расширением, которое продолжается в настоящее время. Ускоренное расширение было обнаружено в 1998 г. при



Рис. 6. Нобелевская премия за открытие ускоренного расширения Вселенной, 2011 г. Сол Перлмуттер, Брайн Шмидт, Адам Рисс. Источник: <https://www.intechopen.com/chapters/41230>

интерпретации результатов независимых наблюдений сверхновых звезд SNe Ia двумя группами наблюдателей: *Supernova Cosmology Project* (SCP) под руководством С. Перлмуттера и *High-Z SN Search Team* (HZT) под руководством А. Рисса и Б. Шмидта.

Первое возможное объяснение полученных результатов заключается в том, что астрономы открыли новый вид материи, обладающий свойством антигравитации, который «расталкивает» вещество. Исследовать такую материю в лаборатории невозможно, потому что она, обладая отрицательным давлением, неустойчива. Изучать ее свойства можно только по космологическим проявлениям.

Второе объяснение заключается в том, что вне наблюдаемой нами части Вселенной существуют некоторые дополнительные физические силы, вызывающие ускоренное расширение нашей Вселенной. В частности, закон всемирного тяготения может быть сложнее, чем мы до сих пор считали. Так, гравитационная сила двух пробных частиц может содержать два слагаемых: первое – хорошо известная ньютоновская гравитационная сила, а второе – произ-

ведение новой фундаментальной константы, Λ -члена, на расстояние между частицами.

Причиной ускоренного расширения современной Вселенной называют темную энергию. И она, как следует из вышесказанного, может оказаться проявлением нового вида материи, т. е. реального физического поля, обладающего определенной связью давления и плотности (так называемым уравнением состояния). Темная энергия может зависеть от времени. Современная Стандартная космологическая модель содержит темную энергию в виде некоей новой фундаментальной физической постоянной – Λ -члена, введенного ранее Эйнштейном совсем для других целей, затем им же изгнанного из уравнений, а теперь чудесным образом вернувшегося. Важно подчеркнуть, что при имеющейся на 2023 г. точности наблюдательных данных, пока могут иметь место все указанные модели темной энергии.

Параметр Хаббла определяет темп расширения Вселенной. Следовательно, при его вычислении для современного момента времени следует учитывать зависимость масштабного факто-

ра от времени и от параметров заполняющего Вселенную видов материи. Поскольку с расширением Вселенной плотность заполняющего ее излучения падает быстрее (как четвертая степень масштабного фактора, с учетом падения частоты излучения), чем плотность заполняющей ее материи (как куб масштабного фактора), а плотность темной энергии в Стандартной космологической модели вообще не меняется, то в разные эпохи Вселенная расширялась по-разному. Необходимо также учесть, что материя состоит как из обычной, барионной материи, так и из темной материи, состав которой неизвестен, но известно ее относительное количество, и о которой можно судить только по ее гравитационному взаимодействию с обычной материей.

ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРА ХАББЛА

Первой численной оценкой современного темпа расширения Вселенной можно считать величину $H_0 = 625$ км/с/Мпк, полученную Ж. Леметром в 1927 г. Хаббл при наблюдательном выводе своего закона получил современное значение параметра Хаббла примерно

500 км/с/Мпк. Позднее, с появлением нового метода, основанного на анализе анизотропии реликтового излучения, интервал возможных значений H_0 сократился до 45–150 км/с/Мпк. С улучшением точности измерений уменьшалась ошибка в определении, однако необъяснимым образом росло несоответствие значений, получаемых разными методами.

Рассмотрим, как с 2000 по 2021 г. менялась величина параметра Хаббла, вычисленная для сегодняшнего момента времени на основе сопоставления со Стандартной космологической моделью различного рода наблюдений, базирующихся на различных ступенях шкалы космических расстояний.

2000 г. 72.0 ± 8.0 км/с/Мпк. С помощью телескопа HST уточнены фотометрические расстояния до сверхновых SNe Ia путем калибровки по цефеидам и с помощью метода Талли–Фишера.

2006 г. 76.9 ± 10.7 км/с/Мпк. Расстояния до 38 скоплений в пределах красных смещений $0.14 < z < 0.89$ определены по данным рентгеновских наблюдений телескопа «Чандра» и проанализированы совместно с результатами исследования эффекта Сюняева–Зельдовича в радиодиапазоне.

Барионные акустические осцилляции (BAO) – это волны плотности вещества в эпоху, близкую к эпохе рекомбинации. Эти волны дают характерный «отпечаток» на более поздней кластеризации вещества на размерах, равных размеру так называемого звукового горизонта на момент рекомбинации. На картах анизотропии реликтового излучения можно видеть области с разной плотностью (т. е. флуктуации плотности), которые представляют собой звуковые волны, распространявшиеся в плазме. Звуковой горизонт – это расстояние, которое прошла звуковая волна за время от Большого взрыва и до эпохи рекомбинации, и этот горизонт определяет угловой масштаб областей анизотропии реликтового излучения. Измерения BAO вдоль луча зрения дают ограничение на произведение параметра Хаббла на сопутствующий звуковой горизонт на конец эпохи рекомбинации. В свою очередь, данные космической обсерватории Planck дают независимые ограничения на этот звуковой горизонт путем сопоставления со Стандартной космологической моделью. Таким образом данные BAO могут быть переведены в данные измерений для параметра Хаббла.

2013 г. 69.32 ± 0.80 км/с/Мпк. Результат анализа анизотропии реликтового излучения по данным космической обсерватории WMAP. Ограничения на космологические параметры получены из принципа наилучшего соответствия наблюдательных данных Стандартной космологической модели.

2016 г. 76.2 ± 3.4 км/с/Мпк. В проекте *Cosmicflows* для определения расстояний до спиральных галактик используется эмпирическая зависимость Талли–Фишера для отношения светимости галактики и скорости ее вращения. Полученные расстояния использованы для калибровки светимости цефеид и сверхновых SNe Ia.

2016 г. 67.6 ± 0.7 км/с/Мпк. H_0 получено в рамках спектроскопического обзора барионных акустических осцилляций (проект BOSS). Был проведен анализ анизотропии кластеризации галактик по исследованным радиальным направлениям. Результат был дополнен данными по сверхновым SNe Ia.

2017 г. 71.9 ± 3.0 км/с/Мпк. H_0 и другие космологические параметры определены на основании анализа трех изображений квазаров, испытавших множественное гравитационное линзирование, а также в результате исследования временной задержки в кривых блеска при эффекте сильного гравитационного линзирования. Данные были получены в проекте COSMOGRAIL. Полученные кривые блеска являются результатом 13-летних наблюдений.

2017 г. 70.0 ± 12.0 км/с/Мпк. Был использован метод «стандартной сирены», в качестве которой выступила гравитационная волна от двух слившихся нейтронных звезд. На выходе было получено фотометрическое расстояние до исследованного объекта GW170817.

2018 г. 73.24 ± 1.7 км/с/Мпк. Были уточнены параллаксы цефеид Млечного Пути на основании данных GAIA

и фотометрии, полученной телескопом HST. Получена калибровка светимости сверхновых SNe Ia и получены улучшенные фотометрические расстояния.

2018 г. 68.9 ± 4.7 км/с/Мпк. Радиоинтерферометром VLBI был исследован объект GW170817, представляющий собой две сливающиеся нейтронные звезды. В роли «стандартной свечи» выступила гравитационная волна, зарегистрированная ранее детекторами LIGO и *Virgo*. Был проведен анализ наблюдений джета, возникшего в результате слияния нейтронных звезд, что позволило уточнить значение H_0 .

2018 г. 67.66 ± 0.42 км/с/Мпк. Финальные результаты обработки данных, полученных космической обсерваторией *Planck* в ходе четырехлетней миссии. Параметр H_0 , как и ряд других космологических параметров, был определен в ходе анализа анизотропии реликтового излучения. Все значения получены в модели Λ CDM.

2019 г. 74.3 ± 1.42 км/с/Мпк. Результат получен на основании наблюдений телескопом HST 70 долгопериодических цефеид в БМО, расстояние до которого уточнено до 1.3% благодаря наблюдениям затменных двойных звезд. Прошедшее калибровку отношение «период-светимость» для этих цефеид позволило уточнить внегалактическую шкалу расстояний и откалибровать светимости сверхновых SNe Ia. Комбинация различных методов дает оценку современного значения параметра Хаббла, группирующуюся вблизи значения 74 км/с/Мпк.

2019 г. 68.0 ± 4.2 км/с/Мпк. Независимый метод получения параметра Хаббла в современный момент времени, основанный на анализе затухания гамма-излучения в результате фотон-фотонного взаимодействия в межгалактической среде. Степень

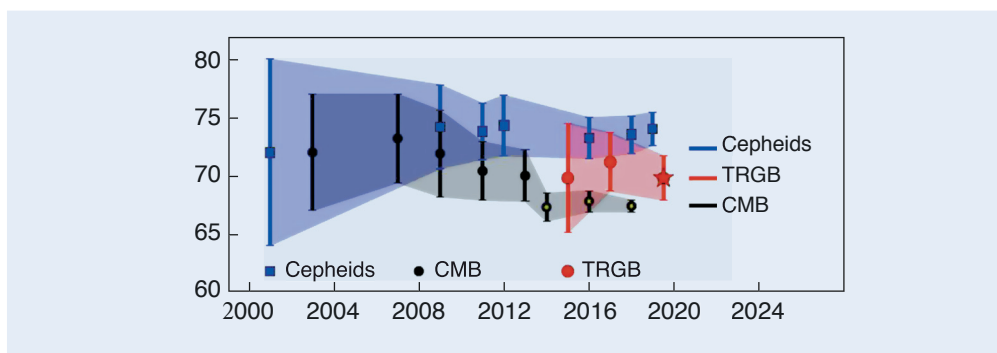


Рис. 7. Результаты по определению значения параметра Хаббла в современный момент времени, показывающие, насколько расходились измерения по анизотропии реликтового излучения (CMB, черные точки) и по цефеидам (Cepheid, синие точки). Красные точки получены в результате измерений с использованием вершины ветви красных гигантов (TRGB). По горизонтальной оси отложен год публикации соответствующих данных. По вертикали отложено значение параметра Хаббла в современный момент времени, в км/с/Мпк. Звездочкой указано наилучшее значение, полученное по данным TRGB. Источник: Freedman et al., 2019 <https://arxiv.org/abs/1907.05922>

проявления этого эффекта вдоль луча зрения зависит от скорости расширения Вселенной и ее состава. Наблюдения проводились на телескопе Черенкова и *Fermi-LAT*.

2019 г. 67.8 ± 1.3 км/с/Мпк. В работе использован метод инвертированной лестницы расстояний. Для калибровки светимостей сверхновых SNe Ia используются измерения абсолютных расстояний, полученные путем анализа BAO.

2019 г. 69.8 ± 0.8 км/с/Мпк. Расстояния до сверхновых SNe Ia были откалиброваны с помощью данных о фотометрии звезд, расположенных на вершине ветви красных гигантов на диаграмме Герцшпрунга–Рассела (метод TRGB).

Фотометрический нуль-пункт был скорректирован с помощью модуля расстояния до БМО, которое было получено из наблюдений двойных затменных систем и параллакса, измеренного HST. С новым релизом данных проекта GAIA возможно будет уточнить фотометрический нуль-пункт с помощью

параллакса, измеренных для красных гигантов, находящихся в нашей Галактике.

2019 г. $H_0 = 68.44 \pm 1.41$ км/с/Мпк. Получены ограничения на H_0 для Стандартной космологической модели. Для анализа применялись результаты 11-ти измерений BAO, данные по угловым размерам 120-ти квазаров (QSO), а также результаты 31-го измерения параметра Хаббла.

2019 г. $H_0 = 70.3 \pm 1.36$ км/с/Мпк. Комплексный подход к определению на основании анализа значений фотометрических расстояний до SNe Ia, BAO, задержки времени в эффекте сильного и слабого гравитационного линзирования.

2019 г. $H_0 = 73.3 \pm 1.8$ км/с/Мпк. Был применен метод, свободный от космологических параметров. Его основа – анализ временных задержек при распространении света, которые проявляются в результате сильного гравитационного линзирования 6-ти квазаров.

2019 г. $H_0 = 73.5 \pm 1.4$ км/с/Мпк. Был усовершенствован метод определе-

ния расстояния до галактики NGC4258 по угловому диаметру, что позволило откалибровать расстояния до цефеид, служащих индикаторами расстояний до сверхновых SNe Ia. Совместно с данными о параллаксах цефеид в нашей Галактике и данными наблюдений затменных двойных звезд в БМО.

2020 г. $H_0 = 73.9 \pm 3.0$ км/с/Мпк. Геометрическими методами были получены расстояния до галактик, содержащих мегамазеры. Эти расстояния не зависят от каких-либо индикаторов расстояний и от данных по анизотропии реликтового излучения. Полученное значение зависит от углового размера наблюдаемых галактик, величины их красного смещения и пекулярных скоростей.

2020 г. $H_0 = 75.3 \pm 1.9$ км/с/Мпк. Анализ данных по временной задержке в эффекте сильного гравитационного линзирования и фотометрических расстояний до SNe Ia.

2020 г. $H_0 = 75.8 \pm 5.1$ км/с/Мпк. Для определения фотометрических расстояний до галактик в качестве «стандартных свечей» были приняты сверхновые типа II. Расстояния были откалиброваны с помощью цефеид и ветви красных гигантов.

2020 г. $H_0 = 67.6 \pm 4.3$ км/с/Мпк. Ограничение, полученное методом «стандартной сирены». Гравитационная волна, зарегистрированная в результате слияния двух черных дыр, дала возможность прямого измерения фотометрического расстояния до источника.

2020 г. $H_0 = 69.6 \pm 1.8$ км/с/Мпк. Анализ барионных акустических осцилляций (данные *Planck* и eBOSS), дополненных данными по гравитационному линзированию и сверхновым SNe Ia.

2021 г. $H_0 = 73.5 \pm 5.3$ км/с/Мпк. Альтернативный подход анализа ани-

зотропии реликтового излучения, не учитывающий размер звукового горизонта. Ограничения получены из анализа эффекта слабого гравитационного линзирования анизотропии реликтового излучения на галактиках совместно с данными по сверхновым SNe Ia.

2021 г. $H_0 = 71.8 \pm 3.9$ км/с/Мпк. Проведен анализ временной задержки при эффекте сильного квадрупольного гравитационного линзирования для 8-ми систем.

2021 г. $H_0 = 72.1 \pm 2.0$ км/с/Мпк. Светимость красных гигантов в методе TRGB была откалибрована с помощью геометрического параллакса, полученного телескопом GAIA для самого массивного в Млечном Пути шарового звездного скопления ω Cen. Этот кластер содержит более ста красных гигантов требуемой светимости. Полученные результаты были применены для калибровки светимостей сверхновых SNe Ia.

2021 г. $H_0 = 69.6 \pm 1.8$ км/с/Мпк. Расстояния до сверхновых SNe Ia уточнены посредством калибровки расстояний до цефеид. Для этого, совместно с результатами фотометрии, полученной телескопом HST, были уточнены параллаксы 75-ти цефеид, входящих в состав Млечного Пути (GAIA). На выходе было получено улучшенное соотношение периода и светимости цефеид, благодаря которому и была откалибрована внегалактическая шкала расстояний.

ПРОБЛЕМА ВЕЛИЧИНЫ ПАРАМЕТРА ХАББЛА В СОВРЕМЕННЫЙ МОМЕНТ ВРЕМЕНИ

Параметр Хаббла, измеренный космическим аппаратом *Planck* в ранней Вселенной при $z \approx 1100$ и пересчитанный

на современный момент времени с помощью Стандартной космологической модели, есть

$$H_0 = 67.4 \pm 0.5 \text{ км/с/Мпк},$$

что значимо отличается от значения параметра Хаббла, полученного по наблюдениям сверхновых звезд (по разным данным около 74 км/с/Мпк). Разница средних значений этого параметра превышает ошибку измерений почти в пять раз. Это недопустимо большое отличие указывает на существование проблемы в космологии, которая требует решения. Данная ситуация получила название «Hubble tension» и многими космологами считается одной из самых важных проблем современной космологии.

Однако не все ученые рассматривают «Hubble tension» как проблему. В частности, делаются попытки «примирить» данные по анизотропии реликтового излучения, с одной стороны, и по цефеидам и сверхновым, с другой стороны, путем учета данных по красным гигантам.

Некоторые астрономы считают, что в измерениях присутствуют неучтенные ошибки и, следовательно, параметр Хаббла в современный момент времени имеет одну и ту же величину, и, таким образом, Стандартная космологическая модель не требует уточнения.

Решение проблемы «Hubble tension» может скрываться и в природе темной материи. Так, в работе А.Д. Долгова и др. показано, что темная материя может оказаться составной, т. е. иметь две формы, по-разному эволюционирующие при расширении Вселенной. Устойчивая форма темной материи является доминирующей, в то время как другая, нестабильная часть распадается между эпохой рекомбинацией и современной эпохой.

Кроме того, предлагается ряд моделей, обобщающих Стандартную космологическую модель путем введения вместо космологической постоянной нового поля, обладающего зависящим от времени уравнением состояния. Для удобства построения соответствующих математических моделей, призванных расширить Стандартную космологическую модель, в уравнении состояния темной энергии, связывающее ее давление и плотность, вводится параметр, зависящий от масштабного фактора.

На настоящий момент проблема так и не решена.

Благодарности

Авторы благодарят А.Д. Долгова и Л.М. Зелёного за полезные замечания.

Литература

1. «Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters» arXiv:1807.06209v3
2. «Planck 2013 results. XVI. Cosmological parameters» arXiv:1303.5076v3
3. Моргунова А.В., Сажина О.С. Исследование несоответствий наблюдательных данных в космологии на примере параметра Хаббла // Пространство, время и фундаментальные взаимодействия. 2020. № 4. С. 23–49.
4. Сажина О.С. Стандартная космологическая модель // Большая российская энциклопедия: научно-образовательный портал. URL: <https://bigenc.ru/c/standartnaia-kosmologicheskaja-model-e0e084/?v=5783441> (Дата публикации: 20.12.2022).
5. Сажина О.С. Ускоренное расширение современной Вселенной // Большая российская энциклопедия: научно-образовательный портал. URL: <https://bigenc.ru/c/uskorennoe-rasshirenie-sovremennoi-vselennoi-03aa93/?v=4812151> (Дата публикации: 08.09.2022).
6. Bruno Leibundgut. Modern Cosmology – nearly perfect but incomplete. European Southern Observatory (ESO) and Technical University Munich (TUM) Spatium 472021.
7. Герштейн С.С. Эффект Комптона // Большая российская энциклопедия: научно-образовательный портал – URL: <https://bigenc.ru/c/effekt-komptona-dd270c/?v=7235328> (Дата публикации: 12.05.2023).

МНОГОЛИКИЙ «ИНТЕРКОСМОС»

МАРИНИН Игорь Адольфович,

академик Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского

DOI: 10.7868/50044394823040047

45 лет назад, в 1978 году, с космодрома Байконур стартовала ракета-носитель «Союз», которая вывела на околоземную орбиту космический корабль «Союз-28». На его борту, кроме советского космонавта Алексея Губарева, был космонавт-исследователь из Чехословакии Владимир Ремек. Этот полет стал первым в серии полетов космонавтов социалистических стран по программе «Интеркосмос», а Ремек стал представителем третьей, после СССР и США, страны, пославшей своего представителя в космос. Но этому полету предшествовала почти десятилетняя совместная работа ученых и конструкторов девяти стран.

ЗАРОЖДЕНИЕ ПРОГРАММЫ

Началось все в далеком 1965 г., когда с целью объединения усилий социалистических стран в исследовании и использовании космического пространства Советский Союз сделал соответствующие предложения Албании, Болгарии, Венгрии, Вьетнаму, ГДР, Китаю, Кубе, Монголии, Польше, Румынии, Чехословакии и Югославии. Заманчивое предложение приняли все, кроме Албании, Вьетнама, Китая и Югославии.

В следующем, 1966 г. в СССР при Академии наук для координации работ в области освоения космоса между странами был создан «Совет по международному сотрудничеству в области исследования и использования косми-

ческого пространства в мирных целях», получивший позже название Совет «Интеркосмос». Председателем этого Совета был назначен академик Борис Николаевич Петров. В Болгарии, Венгрии, ГДР, Кубе, Монголии, Польше, Румынии и Чехословакии тоже были созданы рабочие Комиссии или Комитеты, отвечающие за выполнение договоров и соглашений по отдельным космическим проектам и темам.

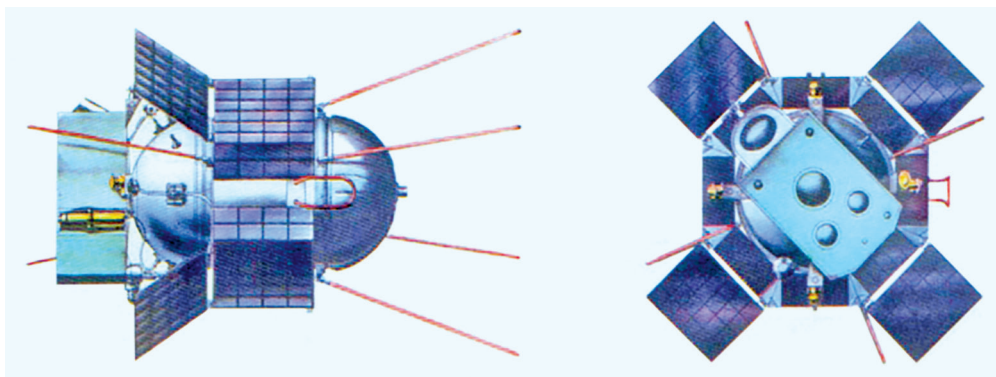
Летом 1967 г. на совещании представителей девяти стран была разработана и принята единая Программа работ в космосе, предусматривающая совместную разработку научной аппаратуры и бесплатную установку ее на советских спутниках. За каждой страной были закреплены определенные направления исследований по космической физике и астрофизике, биологии и медицине, а с 1974 г. – по дистанционному зондированию Земли и метеорологии.

В 1970 г. на совещании Координационных советов стран-участниц, проходившем в польском Вроцлаве, этой программе было присвоено название «Интеркосмос».

СПУТНИКИ «ИНТЕРКОСМОС»

Работы по Программе начались в том же 1967 г. и уже через полтора года, 19 декабря 1968 г., был запущен спутник «Космос-261» с советской аппаратурой для изучения полярных сияний и ио-

Спутник «Космос-261», созданный на базе стандартной платформы ДС-У2-ГК в ОКБ-586 в Днепропетровске под руководством главного конструктора М.К. Янгеля массой 335 кг, был запущен с космодрома Плесецк ракетой-носителем «Космос-2» (11К63). Сошел с орбиты 12 февраля 1969 г.



Спутник «Космос-261» (ДС-У2-ГК) для комплексных исследований верхних слоев атмосферы Земли и природы полярных сияний, который начал программу «Интеркосмос» в 1968 г.

«Интеркосмос-1» (ДС-У3-ИК-1) запущен 14 октября 1970 г. с космодрома Капустин Яр ракетой-носителем «Космос-2» (11К63) на орбиту с наклоном 48.4° , апогеем 626 км, перигеем 254 км. Спутник имел массу 303 кг. Сошел с орбиты 2 января 1970 г.

носферы Земли, созданной в Институте физики атмосферы и Научно-исследовательском институте «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха (современное название). В обработке информации, кроме советских, впервые приняли участие ученые НРБ, ВНР, ГДР, ПНР, СРР и ЧССР.

А вот первым спутником, аппаратура которого для изучения процессов на Солнце в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах, была не только из Советского Союза, но также из ГДР и ЧССР, стал спутник «Интеркосмос-1», созданный там же, в Днепропетровске¹.

Всего по программе «Интеркосмос» было успешно запущено 24 космических аппарата. Один пуск 3 июня 1975 г. с космодрома Капустин Яр ока-

зался неудачным из-за аварии ракеты-носителя «Космос-3М» (11К65М).

Еще один космический аппарат, запуск которого был произведен РН «Циклон-3» с космодрома Плесецк 18 декабря 1991 г., тоже получил название «Интеркосмос» (№ 25), хотя к этому времени все страны-участницы программы «Интеркосмос» отказались от социалистической ориентации. Тем не менее по инерции ученые и конструкторы России, Болгарии, Германии, Польши, Румынии, Украины и Чехии подготовили и поставили для запуска соответствующую аппаратуру. Кроме этих стран к проекту этого научного спутника были привлечены США, Франция и Индия.

Спутник «Интеркосмос-25» продуктивно работал по изучению магнитосферы и ионосферы Земли. На нем

¹ См. статью Ведешина Л.А. Первый по программе «Интеркосмос» // Земля и Вселенная. № 6. 2019.

Таблица. Спутники серии «Интеркосмос»

Порядковый №, заводской индекс	Дата запуска	РН	Космодром	Орбита	Страны-участницы (кроме СССР). Предмет исследования
1 ДС-УЗ-ИК-1	14-10-1969	Космос-2 (11К63)	Капустин Яр	254 × 626 км. 48.4°	ГДР, ЧССР. Солнце и верхние слои атмосферы Земли
2 ДС-У1-ИК-1	25-12-1969	Космос-2 (11К63)	Капустин Яр	200 × 1178 км. 48.4°	НРБ, ГДР, ЧССР. Ионосфера и внешняя атмосфера Земли
3 ДС-У2-ИК-1	07-08-1970	Космос-2 (11К63)	Капустин Яр	207 км × 1320 км. 49°	ЧССР. Радиационные пояса и низкочастотные колебания верхней ионосферы Земли
4 ДС-УЗ-ИК-2	14-10-1970	Космос-2 (11К63)	Капустин Яр	263 км × 668 км. 48.5°	ГДР, ЧССР. Солнце и его воздействие на радиационные пояса Земли
5 ДС-У2-ИК-2	02-12-1971	Космос-2 (11К63)	Капустин Яр	205 км × 1200 км. 48.4°	ЧССР. Магнитосфера и ионосфера Земли
6 13КС «Энергия»	07-04-1972	Восход (11А57)	Байконур	203 км × 256 км. 51.8°	ВНР, ПНР, ЧССР. Космические лучи сверхвысоких энергий и метеорное вещество в околоземном пространстве
7 ДС-УЗ-ИК-3	30-06-1972	Космос-2 (11К63)	Капустин Яр	267 км × 568 км. 48.5°	ГДР, ЧССР. Протонные вспышки на Солнце, поглощение солнечного излучения верхней атмосферой Земли, мягкое и жесткое рентгеновское излучение Солнца
8 ДС-У1-ИК-2	30-11-1972	Космос-2 (11К63)	Плесецк	214 км × 679 км. 71°	ГДР, НРБ, ЧССР. Ионосфера и верхней атмосферы в авроральной области
9 «Коперник-500» ДС-У2-ИК-8	19-04-1973	Космос-2 (11К63)	Капустин Яр	202 км × 1552 км. 48.5°	ПНР, прием данных в СССР и ЧССР. Ионосфера Земли и спорадическое радиоизлучение Солнца
10 ДС-У2-ИК-3	30-10-1973	Космос-3М (11К65М)	Плесецк	265 км × 1477 км. 74.0°	ГДР, ЧССР. Ионосферно-магнитосферные связи в высоких широтах
11 ДС-УЗ-ИК-4	17-05-1974	Космос-3М (11К65М)	Капустин Яр	484 км × 526 км. 50.7°	ГДР, ЧССР. Коротковолновое ультрафиолетовое и рентгеновское излучение Солнца и его излучение на верхнюю атмосферу Земли

Таблица. Продолжение

Порядковый №, заводской индекс	Дата запуска	РН	Космодром	Орбита	Страны-участницы (кроме СССР). Предмет исследования
12 ДС-У2-ИК-4	31-10-1974	Космос-3М (11К65М)	Плесецк	264 км × 708 км. 74.1°	ВНР, ГДР, НРБ, СРР, ЧССР. Изучение ионосферы и магнитосферы Земли и потоков микрометеоритов
13 ДС-У2-ИК-5	27-03-1975	Космос-3М (11К65М)	Плесецк	284 км × 1687 км. 82.9°	ЧССР. Радиационные пояса и их связи с низкочастотными электромагнитными излучениями в околоземной плазме
14 ДС-У2-ИК-6	11-12-1975	Космос-3М (11К65М)	Плесецк	345 км × 1707 км. 74.0°	ВНР, НРБ, ЧССР. Распределение низкочастотных излучений в околоземном пространстве и их связь с ионосферной плазмой, микрометеорные частицы
15 АУОС-3-Т-ИК	19-06-1976	Космос-3М (11К65М)	Плесецк	487 км × 521 км. 74°	ВНР, ГДР, ПНР, ЧССР. Испытания новой спутниковой платформы АУОС-3 и Единой телеметрической системы (ЕТМС), созданной кооперацией стран-участниц программы «Интеркосмос»
16 ДС-У3-ИК-5	27-07-1976	Космос-3М (11К65М)	Капустин Яр	465 км × 523 км. 50.6°	ГДР, ЧССР и Швеция. Рентгеновское и ультрафиолетовое излучение Солнца, поляризация спектральных линий, верхняя атмосфера Земли, поглощение в ней солнечного излучения различных диапазонов
17 АУОС-3-Р-Э-ИК	24-09-1977	Космос-3М (11К65М)	Плесецк	468 км × 519 км. 83°	ВНР, СРР, ЧССР. Космические лучи, потоки микрометеоритов в околоземном пространстве, радиационная обстановка, противорадиационная защита в космосе
18 АУОС-3-М-ИК	24-10-1978	Космос-3М (11К65М)	Плесецк	407 км × 768 км. 83°	ВНР, ГДР, ПНР, СРР, ЧССР. Изучение магнитосферы Земли. Впервые субспутник «Магион-1»

Таблица. Окончание

Порядковый №, заводской индекс	Дата запуска	РН	Космодром	Орбита	Страны-участницы (кроме СССР). Предмет исследования
19 АУОС-3-И-ИК	27-02-1979	Космос-3М (11К65М)	Плесецк	502 км × 966 км. 74°	ВНР, ГДР, НРБ, ПНР, ЧССР. Ионосфера Земли
20 АУОС-3-Р-П-ИК	01-11-1979	Космос-3М (11К65М)	Плесецк	467 км × 523 км. 74°	ВНР, ГДР, СРР, ЧССР. Мировой океан, сбор информации с буев, атмосфера и магнитное поле Земли
21 АУОС-3-Р-П-ИК	06-02-1981	Космос-3М (11К65М)	Плесецк	475 км × 520 км. 74°	ВНР, ГДР, СРР, ЧССР. Отработка методик исследования суши, океана и атмосферы
22 «Интеркосмос-Болгария-1300» СП-I (ИК-Б-1300)	07-08-1981	Восток-2М (8А92М)	Плесецк	825 км × 906 км. 81.2°	НРБ. На основе советской платформы «Метеор-2». Ионосфера и магнитосфера
23 «Прогноз-10», «Интершок» СО-МН [№] 510	26-04-1985	Молния-М (8К78М)	Байконур	421 км × 200 520 км. 65°	ГДР, ПНР, ЧССР. Советско-чехословацкий эксперимент «Интершок»: изучение ударной волны и магнитопазы, радиационная обстановка, авроральное километровое радиоизлучение
24 АУОС-3-АВ-ИК	28-09-1989	Циклон-3 (11К68)	Плесецк	500 км × 2500 км. 82.5°	ВНР, ГДР, НРБ, ПНР, СРР, ЧССР. Прием научной информации осуществлялся также в США, Бразилии, Канаде, Финляндии, Японии и Новой Зеландии. Магнитосфера и ионосфера Земли, возбуждение ОНЧ-волн в магнитосфере с фиксацией эффектов на субспутнике «Магион-2», влияние сейсмических и погодных явлений на ионосферу

произвели эксперимент АПЭКС по изучению воздействия на околоземное пространство модулированных электронных и ионных пучков, излучаемых с борта космического аппарата. Результаты фиксировались на субспутнике «Магион-3».

Научные приборы стран-участниц программы «Интеркосмос» размещались не только на специально созданных для них спутниках, но и на других спутниках, созданных в рамках советской космической программы. Это космические аппараты серий «Космос», «Прогноз», «Метеор», «Молния» и «Горизонт», а также межпланетные станции «Венера-15, -16» и «Вега-1, -2». Медико-биологические исследования странами программы «Интеркосмос» проводились и на спутниках серии «Бион».

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ РАКЕТЫ ПРОГРАММЫ «ИНТЕРКОСМОС»

В рамках программы «Интеркосмос» проводились и запуски геофизических ракет серии «Вертикаль» с научными приборами стран-участниц. Первая из них, «Вертикаль-1», вышла за пределы атмосферы в 1970 г. В общей сложности было произведено 11 пусков таких ракет.

Всего же до начала 1990-х гг. было запущено около ста различных объектов космического назначения, на которых выполнялись совместные международные исследования по программе «Интеркосмос».



Эмблема программы «Интеркосмос»

ПИЛОТИРУЕМЫЕ ПОЛЕТЫ ПО ПРОГРАММЕ «ИНТЕРКОСМОС»

В 1976 г. СССР выступил с новой инициативой по расширению взаимодействия ученых соцстран в освоении космоса, включающей пилотируемые полеты представителей этих стран на советских космических кораблях и орбитальных станциях в 1978–1981 гг. Болгария, Венгрия, ГДР, Куба, Монголия, Польша, Румыния и Чехословакия поддержали эту инициативу. На совместном совещании было решено, что в группу для первых полетов в 1978 г. войдут космонавты ГДР, Чехословакии и Польши, так как их ученые и конструкторы наиболее активно работали в программе с 1967 г. и были готовы к быстрому формированию и подготовке научных

Известны две версии причины того, почему первым полетел представитель Чехословакии:

1 версия: ученые и конструкторы ЧССР наиболее оперативно сформировали научную программу для полета своего космонавта.

2 версия: полет космонавта ЧССР в космос, первым после СССР и США, считать извинением советского правительства за подавление советскими войсками «Пражской весны» 1968 года.

Экипажи с космонавтами набора 1976 г. по программе «Интеркосмос»



*Алексей Александрович Губарев,
Владимир Ремек*



*Петр Ильич Климук,
Мирослав Гермашевский*



*Зигмунд Йен,
Валерий Федорович Быковский*

программ для своих космонавтов. Представители остальных стран совершат полеты в 1979–1981 гг.

В ноябре 1976 г. в Москву для окончательного отбора уже советскими специалистами прибыли по четыре представителя ГДР, ЧССР и Польши.

1 декабря 1976 г. в Москве завершился набор первой группы кандидатов в космонавты по программе «Интеркосмос». В нее вошли летчики Владимир Ремек и Олдржих Пелчак из Чехословацкой Советской Социалистической Республики, Мирослав Гемашевский и Зенон Янковский из Польской Народной Республики, Зигмунд Йен и Эберхард Кёльнер из Германской Демократической Республики. 4 декабря 1976 г. все они приступили к общекосмической подготовке в ЦПК им. Гагарина, экзамены по которой успешно сдали в конце мая 1977 г.

В июне 1977 года были сформированы и в августе приступили к подготовке шесть международных экипажей:

ЧССР Алексей Александрович Губарев
и Владимир Ремек,
Юрий Федорович Исаулов
и Олдржих Пелчак;
ПНР Петр Ильич Климук и Мирослав
Гермашевский,
Валерий Николаевич Кубасов
и Зенон Янковский;
ГДР Валерий Федорович Быковский
и Зигмунд Йен,
Виктор Васильевич Горбатко
и Эберхард Кёлнер.

Командиров экипажей назначила советская сторона, а решение, кто из космонавтов той или иной страны будет включен в основной, а кто – в дублирующий экипаж, принимали представители этих стран.

В декабре 1977 г., после неудачного полета корабля «Союз-25», когда при возникшей внештатной ситуации не

имеющие опыта космических полетов В.В. Коваленок и В.В. Рюмин не смогли состыковать корабль с орбитальной станцией «Салют-6», было принято решение: «В каждом экипаже должен быть летавший космонавт». В результате во втором советско-чехословацком экипаже нелетавший Юрий Исаулов был заменен опытным Николаем Рукавишниковым. Остальные международные экипажи дошли до космических полетов без изменений.

Владимир Ремек и Алексей Губарев на корабле «Союз-28» стартовали с Байконура 2 марта 1978 г. Через сутки корабль состыковался со станцией «Салют-6», где гостей встретили Юрий Романенко и Георгий Гречко. После почти восьмисуточного полета, выполнив всю международную научную программу из шести экспериментов, Губарев и Ремек возвратились на Землю. Этим первым пилотируемым полетом по программе «Интеркосмос» Чехословакия, благодаря Советскому Союзу, стала третьей страной, представитель которой поднялся в космос.

Четвертой страной, представитель которой совершил космический полет, стала Польская Народная Республика. «Союз-30» с Петром Климуком и Мирославом Гермашевским на борту стартовал 27 июня того же 1978 г. Через сутки на «Салюте-6» их встретили Владимир Коваленок и Александр Иванченков. Проработав в космосе 7 суток и 22 часа, Петр Климук и Мирослав Гермашевский успешно приземлились.

Зигмунд Йен, представитель пятой страны, «поднявшейся» в космос, – Германской Демократической Республики, стартовал вместе с советским коллегой Валерием Быковским на «Союзе-31» 26 августа 1978 г. Проработав на «Салюте-6» вместе с Владимиром Коваленком и Александром Иванченковым неделю, они успешно приземлились 3 сентября.

Второй набор космонавтов по программе «Интеркосмос»

Тем временем остальные пять стран социалистического содружества провели набор во вторую группу кандидатов для полетов по программе «Интеркосмос». В этот раз полеты космонавтов предполагалось проводить в алфавитном порядке названий стран: Болгария, Венгрия, Куба, Монголия и Румыния.

В марте 1978 г. по два представителя Народной Республики Болгарии и Венгерской Народной Республики прису-

пили сразу к ускоренной подготовке в составе экипажей, так как их полет намечался на 1979 г.:

- НРБ Николай Николаевич Рукавишников и Георгий Какалов, Юрий Викторович Романенко и Александр Панайотов Александров;
- ВНР Валерий Николаевич Кубасов и Берталан Фаркаш, Владимир Александрович Джанибеков и Бела Мадьяри.

По одной из версий, решение проводить полеты "в алфавитном порядке" было принято, чтобы поставить на последнее место полет представителя Румынии, так как в это время с главой этой страны Николае Чаушеску складывались сложные отношения.

А кандидаты в космонавты Республики Куба, Монгольской Народной Республики и Социалистической Республики Румыния Лопес Фалькон, Тамайо Мендес, Жугдердэмидийн Гуррагчаа, Майдаржавын Ганзориг, Думитру Дорин Прунариу и Думитру Дедиу, полеты которых намечались на 1980–1981 гг., приступили к общекосмической подготовке.

В октябре 1978 г. были сформированы советско-кубинские экипажи, так как советско-кубинский полет должен был состояться сразу после советско-венгерского, во второй половине 1979 – начале 1980 г.:

Куба Юрий Викторович Романенко и Арнальдо Тамайо Мендес, Евгений Васильевич Хрунов и Хосе Лопес Фалькон.

10 апреля 1979 г. первый космонавт Болгарии Георгий Какалов, которому незадолго до полета из-за неблагозвучности официально заменили фамилию на Иванов, стартовал на «Союзе-33» вместе с командиром экипажа Николаем Рукавишниковым. На борту станции

«Салют-6» их ждали Владимир Ляхов и Валерий Рюмин. Но на следующий день стыковка корабля и станции не состоялась. Когда до станции оставалось менее 4 км, отключился основной двигатель и корабль пронесся в нескольких метрах от солнечных батарей станции. При попытке повторной стыковки выяснилось, что произошла авария основного двигателя и повторная стыковка невозможна. На следующие сутки, 12 апреля 1979 г., Рукавишников запустил дублирующий двигатель, спускаемый аппарат «Союза-33» успешно приземлился. Космонавты при этом испытали 8–10-кратные перегрузки, но травм не получили.

У конструкторов НПО «Энергия» возникли опасения, что двигатель корабля «Союз-32», на котором должен был вернуться на землю основной экипаж «Салюта-6» В. Ляхов и В. Рюмин, тоже может оказаться дефектным. В результате было принято стратегическое решение: на замену «Союза-32» на орбиту отправить «Союз-34», предназначенный для полета советско-венгерского экипажа, в беспилотном варианте.

Дублер болгарского космонавта Георгия Иванова Александр Александров все же слетал в космос спустя девять лет, но уже не по программе «Интеркосмос», а по программе «Шипка» и не на «Салют-6», а на орбитальный комплекс «Мир».

Так и было сделано. Дублирующий советско-болгарский экипаж остался на Земле, а советско-болгарскую научную программу пришлось выполнить основному экипажу «Салюта-6» Владимиру Ляхову и Валерию Рюмину.

В результате этого решения график полетов по программе «Интеркосмос» был пересмотрен, а полет советско-венгерского и советско-кубинского экипажей был отложен. Кроме того, в принятую очередность полетов вмешалась политика. В ноябре 1978 г., когда космонавты первых трех соцстран уже совершили космические полеты, а космонавты еще пяти стран уже находились на подготовке, глава Советского Союза Леонид Брежнев и глава Демократической Республики Вьетнам Ле Зуан договорились о полете в космос вьетнамского космонавта, и по алфавиту он должен был состояться после венгерского, уже в 1980 г. Потому отбор кандидатов в космонавты был очень скоротечным и готовились кандидаты от Вьетнама по ускоренной программе.

В апреле 1979 г. в ЦПК прибыли на подготовку два ветерана вьетнамо-американской войны: Герой Вооруженных Сил Вьетнама Фам Туан, сбивший американскую летающую крепость В-52D и Буй Тхай Лиём, сбивший американский F-4E.

Их общекосмическая подготовка завершилась в октябре 1979 г. и они продолжили подготовку в экипажах:

Вьетнам Виктор Васильевич Горбатко
и Фам Туан,
Валерий Федорович
Быковский и Буй Тхай Лиём.

Полет отложенного почти на год советско-венгерского экипажа состоялся с 26 мая по 3 июня 1980 г. на корабле «Союз-36». Валерий Кубасов и Берта-лан Фаркаш успешно проработали на «Салюте-6» вместе с Леонидом Поповым и Валерием Рюминым и вернулись на Землю на «Союзе-35», оставив свой корабль долгожителям станции. Правда, и здесь не обошлось без осложнений: на спускаемом аппарате отказали двигатели мягкой посадки, а космонавты отделались легкими ушибами.

Через два месяца, оттеснив советско-кубинский экипаж, стартовал советско-вьетнамский. Полет первого вьетнамского космонавта Фам Туана состоялся с 23 по 31 июля 1980 г. Стартовав на корабле «Союз-37» вместе с Виктором Горбатко, он успешно проработал неделю на станции «Салют-6» вместе с Леонидом Поповым и Валерием Рюминым и успешно приземлился на корабле «Союз-36».

Через полтора месяца, 19 сентября 1980 г., на «Салют-6» прибыл «Союз-38» с советско-кубинским экипажем. Юрий Романенко и Арнальдо Тамайо Мендес неделю отработали на станции вместе с Поповым и Рюминым и возвратились на Землю 26 сентября 1980 г.

Из-за войны с США Вьетнам в 1967 г. не вошел в программу «Интеркосмос» и сделал это только в мае 1979 г., уже после того, как его кандидаты в космонавты месяц готовились в ЦПК.

Тем временем кандидаты в космонавты Монголии и Румынии завершили общекосмическую подготовку и в октябре 1980 г. тоже начали готовиться в экипажах:

Монголия	Владимир Александрович Джанибеков и Жукдэрдэмидийн Гуррагчаа, Владимир Афанасьевич Ляхов и Майдаржавын Ганзориг;
Румыния	Евгений Васильевич Хрунов и Дорин Прунариу, Юрий Викторович Романенко и Думитру Дедиу.

В декабре 1980 г., когда до старта оставалось около четырех месяцев, произошла «нештатная ситуация» в первом советско-румынском экипаже. Евгения Васильевича Хрунова за нарушение режима подготовки заменили Леонидом Ивановичем Поповым, недавно вернувшимся из длительного полета.

22 марта 1981 г. на корабле «Союз-39» в космос вместе с командиром Владимиром Джанибековым отправился монгольский космонавт Жукдэрдэмидийн Гуррагчаа. Неделю они вместе с основным экипажем Владимиром Коваленком и Виктором Савиных выполняли научную программу на борту станции «Салют-6». 30 марта 1981 г. успешно приземлились на территории Казахстана.

Последним пилотируемым полетом по программе «Интеркосмос» стал полет румынского космонавта Думитру Дорина Прунариу. С 14 по 22 мая 1981 г. он вместе с Леонидом Поповым совершил недельный полет на корабле «Союз-40» и станции «Салют-6». После выполнения всех запланированных экспериментов они успешно возвратились на Землю. Через четыре дня на Землю вернулись космонавты основного экипажа Владимир Коваленок и Виктор Савиных.

Полетом советско-румынского экипажа завершились пилотируемые поле-

ты по программе «Интеркосмос», а полетом корабля «Союз-40» – эксплуатация кораблей «Союз» (серии 11Ф615), которым на смену пришли новые корабли «Союз-Т» (11Ф732).

Советско-румынский экипаж также стал последним экипажем посещения станции «Салют-6». Через год ей на смену пришла новая станция «Салют-7». На нее продолжили летать международные экипажи, но уже по другим программам.

Совет по космосу «Интеркосмос» при АН СССР работал по автоматическим космическим аппаратам не только с социалистическими странами, но и привлекал капиталистические, а также развивающиеся страны по двусторонним программам.

Например, сотрудничество с Францией по двусторонним договорам началось с 1966 г. после визита в СССР президента Франции Шарля де Голля. Французские приборы устанавливались на советские спутники, межпланетные станции и даже луноходы. Потому первым космонавтом из капиталистической страны, поднявшимся в космос на советском корабле и работавшим на станции «Салют-7», стал Жан-Лу Кретьен². Затем настала очередь лететь на «Салют-7» индийца Ракеша Шармы. А Фарис Мухаммед из Сирии (программа «Маред»), Александр Александров из Болгарии («Шипка»), Ахад Моманд из Афганистана (программа «Шамшад») летали уже на орбитальный комплекс «Мир». На втором полете Жан-Лу Кретьена, также на станцию «Мир», по программе «Арагац» в 1988 г. закончились полеты, организованные Советом по космосу АН СССР. Все дальнейшие международные полеты осуществлялись новой организацией – Главкосмос СССР, а позже – другими организациями.

² См. статью Ю.В. Масловой «Человек идет сквозь звезды» (ЗиВ. № 3. 2023).

ТРАНЗИТЫ ВЕНЕРЫ: КАК ОПРЕДЕЛЯЛОСЬ РАССТОЯНИЕ ДО СОЛНЦА

ЯЗЕВ Сергей Арктурович,

доктор физико-математических наук

Иркутский государственный университет,

Институт солнечно-земной физики СО РАН

DOI: 10.7868/S0044394823040059

Прохождения планеты Венеры по диску Солнца происходят редко – парами с интервалом 8 лет и длительным промежутком времени между парами – от 105.5 до 121.5 лет. Поскольку увидеть подобное явление можно только с помощью телескопа, история наблюдений прохождений Венеры по диску Солнца (транзитов) началась лишь в XVII веке. Главной целью таких наблюдений являлось определение расстояния от Земли до Солнца.

НАСКОЛЬКО ДАЛЕКО СОЛНЦЕ?

Расстояние от Земли до Солнца «служит мерой, при помощи которой астрономы измеряют не только различные расстояния в нашей планетной системе, но вообще все расстояния в мировом пространстве», – писал немецкий астроном Иозеф Иоганн Литров (1781–1840) в книге «Тайны неба» (русское издание 1902 г.). Не зная расстояний, невозможно правильно оценивать и размеры небесных тел в Солнечной системе.

«Это самая главная и фундаментальная величина в астрономии, и каждая ошибка в определении ее повторится и увеличится тысячу раз на тысячу спо-

собов в определениях размеров планетных и звездных систем. Поэтому-то определения расстояния до Солнца Эри¹ называл самой благородной задачей астрономии. Но в то же время это одна из самых трудных задач», – сказано в книге Агнесы Кларк «Общедоступная история астрономии в XIX столетии», изданной в Одессе в 1913 г.

Астрономы на протяжении двух тысячелетий пытались определить расстояние до Солнца, применяя разные косвенные методы. Разброс полученных данных был весьма велик.

У этой, казалось бы, чисто астрономической задачи были вполне конкретные практические приложения. Уточнение расстояния до Солнца должно было улучшить прогноз положений Луны, Солнца и планет на небе, что увеличило бы критически важную точность навигационных мореходных таблиц. Ошибки в измерении долготы во время плаваний не раз приводили к тяжелым последствиям, включая кораблекрушения, а точность определения долготы зависела, в том числе от

¹ Джордж Эри (1801–1892) – английский астроном и математик, директор Гринвичской обсерватории.



Иоганн Кеплер первым в мире рассчитал моменты транзитов Венеры в XVI и XVII вв. Портрет неизвестного автора, 1620 г.

знания расстояния до Солнца. В том числе и поэтому многие европейские монархи поддерживали усилия астрономов в решении этой важной задачи.

Великий немецкий астроном Иоганн Кеплер (1571–1630) на основе своих таблиц, в которых были занесены параметры движения Венеры (он назвал эти таблицы Рудольфовыми в честь короля Германии, императора Священной Римской империи Рудольфа II) впервые в истории указал, что Венера будет проходить на фоне диска Солнца 6 декабря 1631 г., а затем 6 июня 1761 г. Эти расчеты Кеплер опубликовал в 1627 г. Увы, сам он не увидел первый предсказанный им транзит, уйдя из жизни в 1630 г.

Наблюдения в 1631 г. не состоялись – так сложилось, что транзит Венеры не наблюдал ни один астроном в мире.

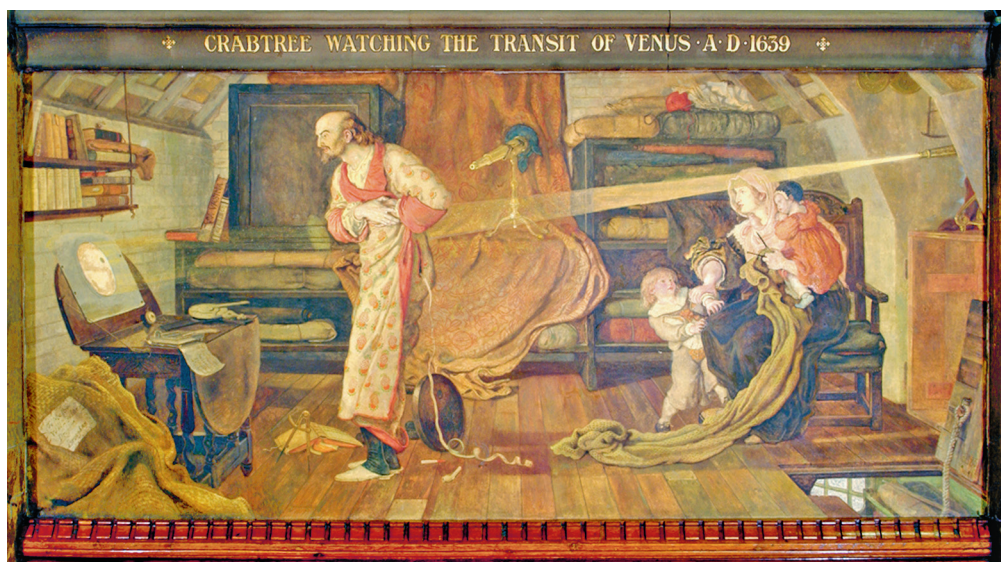
НАБЛЮДЕНИЯ ТРАНЗИТА 1639 Г.

Кеплер пропустил в своих расчетах транзит Венеры 1639 г. Но молодой английский астроном Джереми Хоррокс (1618–1641), пользовавшийся таблицами Ландсберга, сделал вывод, что 4 декабря 1639 г. Венера пройдет точно между Солнцем и Землей и будет видна на фоне диска светила. Хоррокс предупредил об этом своего друга, астронома Уильяма Крабтри (1610–1644), жившего неподалеку.

В назначенный день Хоррокс спроектировал изображение Солнца, создаваемого его телескопом, на светлый экран. К сожалению, наблюдения мешали облака, но в просветах Венера все-таки появилась на фоне солнечного диска! Она выглядела как крошечный, четко очерченный черный кружок на ярком диске дневного светила. Это было первое в истории человечества наблюдение транзита Венеры. Его видели всего два человека во всем мире – англичане Хоррокс и Крабтри. Согласно оценке, сделанной Хорроксом по результатам его наблюдений, расстояние до Солнца составило 95 млн км (теперь мы знаем, что это всего 63% от правильного значения). Наблюдения показали, что планета Венера выглядит крошечной по сравнению с Солнцем, – ранее считалось, что она несколько больше.

КАК ОПРЕДЕЛИТЬ РАССТОЯНИЕ ДО СОЛНЦА?

Попытки европейских астрономов уточнить расстояние до Солнца продолжались. В 1672 г. во время противостояния Марса итальянский астроном Джованни Кассини (1625–1712) в Париже и его помощник Жан Рише в Южной Америке (Кайенна во Французской Гвиане, где сейчас размещен



Уильям Крабтри наблюдает транзит Венеры в 1639 г. Фреска Форда Мэддокса Брауна, 1888 г. Астроном изображен пожилым, хотя к моменту наблюдений ему было 29 лет.

космодром Европейского космического агентства) выполнили синхронные наблюдения, из которых получили для расстояния до Солнца значение 140 млн км. В том же году английский астроном Джон Флемстид (1646–1719) из данных собственных наблюдений вывел величину 131.5 млн км. Агнеса Кларк в уже упомянутой «Общедоступной истории астрономии» сообщает, что в те же времена Жан Пикар² получил 66 млн км, а Лагир – 219 млн км. Разброс в оценках был громадным! Актуальность точного определения расстояния до Солнца нарастала. Человечество по-прежнему не знало, насколько удалено от нас Солнце.

Англичанин Джеймс Грегори³ в своей книге «Optica Promota», изданной в 1663 г., указал, что прохождение

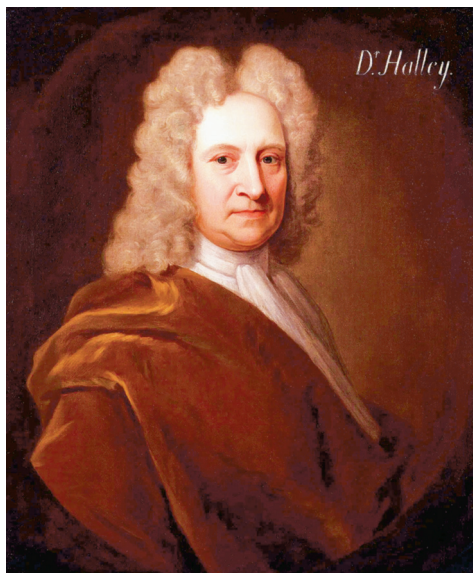
² Пчёлв Е.В. Жан Пикар (к 375-летию со дня рождения) // Земля и Вселенная. 1996. № 2. С. 30–32.

³ Джеймс Грегори (1638–1675) – математик, оптик, астроном, разработчик одного из вариантов зеркального телескопа. Исаак Ньютон называл его одним из своих учителей.

Меркурия или Венеры по диску Солнца можно использовать для определения расстояния до Солнца. Эту идею попытался претворить в жизнь еще один английский астроном Эдмонд Галлей⁴ в 1677 г., наблюдая транзит планеты Меркурий по диску Солнца на далеком острове Святой Елены. Галлей решил применить предложение Грегори, но Меркурий оказался не очень удобным объектом для решения непростой задачи. И тогда Галлей написал подробную инструкцию – как использовать для определения расстояния до Солнца будущий транзит Венеры в 1761 г.

Эти рекомендации были опубликованы в 1691–1716 гг. в трех его научных статьях. Галлей закончил свою последнюю статью о будущем транзите следующими словами: «Я самым на-

⁴ Эдмонд Галлей (1656–1742) – английский астроном, друг Исаака Ньютона, в честь которого названа знаменитая комета Галлея: Еремеева А.И. Эдмунд Галлей // Земля и Вселенная. 1982. № 4. С. 46–49; Козенко А.В. Эдмунд Галлей // Земля и Вселенная. 2006, № 4.



Эдмонд Галлей – автор метода определения расстояния до Солнца с помощью наблюдений прохождения внутренних планет по диску Солнца. Портрет Ричарда Филипса, около 1722 г.

стоятельным образом рекомендую этот способ всем астрономам, которым после моей смерти представится случай наблюдать это явление. Пусть же они вспомнят мой совет и действительно с особенным вниманием отнесутся к этим наблюдениям, для чего я от всей души желаю, чтобы неблагоприятная

погода не помешала их наблюдениям, и чтобы они приобрели себе бессмертную славу и почести, если им удастся с большею против прежней точностью определить истинные размеры планетных орбит нашей солнечной системы» (перевод приват-доцента Пулковской обсерватории А.А. Иванова, 1902).

Галлей скончался в 1742 г. в возрасте 85 лет – за 19 лет до еще далекого транзита 1761 г. Он адресовал свои тексты новому поколению астрономов.

В чем заключался смысл метода Галлея? Если наблюдать транзит Венеры из разных точек Земли на разных широтах, то в один и тот же момент времени для разных наблюдателей Венера будет проектироваться на разные участки диска Солнца. Метод Галлея иллюстрируется рисунком из книги М. Вильгельма Мейера «Мироздание», изданной в России в 1902 г.

Два наблюдателя в точках А и В видят Венеру на солнечном диске соответственно в точках d и с. Кеплер предлагал зафиксировать моменты времени, когда Венера будет входить на диск Солнца и когда она будет сходить с него. Для каждого пункта продолжительность пребывания Венеры на диске Солнца будет разной, поскольку для разных пунктов будет различаться длина пути Венеры по диску Солнца. Это позволит определить расстояние ds, а значит, и угол при Венере, под которым с Венеры видно расстояние между пунктами наблюдений на Земле

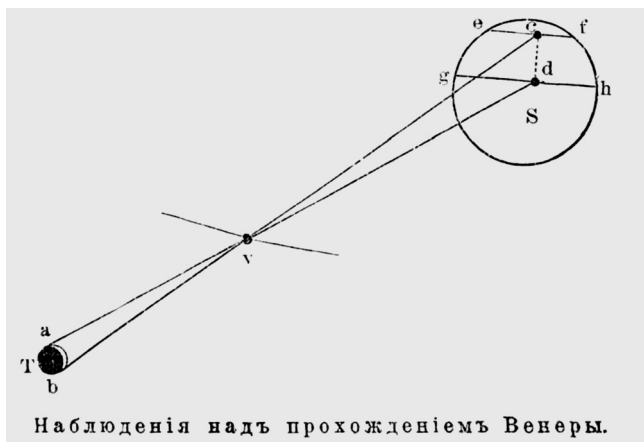


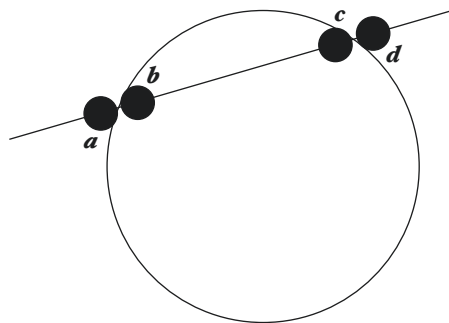
Схема определения расстояния до Солнца по параллактическим наблюдениям Венеры во время транзита из книги М. Вильгельма Майера «Мироздание», 1902 г.

(этот угол называется параллаксом). По параллаксу Венеры можно вычислить расстояние от Земли до Венеры, а затем по третьему закону Кеплера найти расстояние от Земли до Солнца. Чем больше будет расстояние между пунктами А и В на Земле, тем точнее и надежнее станут измерения.

Для метода Галлея было не так важно точно определить моменты второго и третьего контактов (когда крошечный диск Венеры внутри касался восточного края диска Солнца во время входа на диск и во время схода с диска на западном краю): важен промежуток времени между входом и сходом. Сравнение величины этих промежутков времени при наблюдениях в разных пунктах дало бы возможность решить задачу⁵.

Для реализации плана Галлея нужно было, кроме того, знать географические координаты наблюдателей. К XVIII веку непростая методика точного определения широты и долготы по небесным светилам была уже отработана астрономами.

Расчеты Галлея показывали, что транзит 1761 г. должен продолжаться примерно в течение шести часов. На территории большей части Европы это явление ожидалось в ночь с 5 на 6 июня. Это означало, что большинство европейских астрономов не увидит транзит, либо увидят только конец явления утром, когда Солнце взойдет над горизонтом уже с Венерой на диске. Для полноценных наблюдений всего явления от начала до конца следовало отправляться на восток – например, в Азию, в акваторию Индийского океана или в Индонезию. Мож-



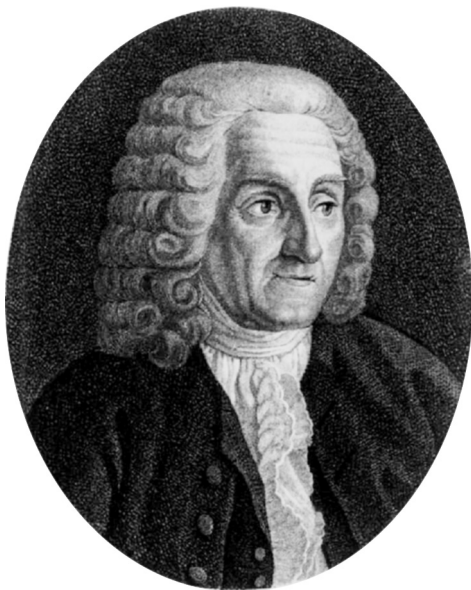
Четыре контакта во время транзита Венеры. Из книги Йозефа Иоганна Литрова «Тайны неба», 1902 г.

но было наблюдать транзит на высоких северных широтах, где ночь в июне бывает совсем короткой, – но там и Солнце окажется низко над горизонтом, что ухудшит качество изображения в телескопе. При этом чем дальше друг от друга оказались бы разнесены пункты наблюдений к северу и к югу от экватора, тем точнее оказался бы результат.

Модификацию метода Галлея позднее предложил Жозеф-Николя Делиль (1688–1768)⁶. Его подход предусматривал точное определение моментов контактов Венеры с краем Солнца. В разных пунктах контакты будут видны в разные моменты времени из-за ненулевого параллакса, – значит, по разности моментов времени можно определить сам параллакс, а следовательно, и расстояние до Солнца. При этом важно максимально синхронизировать часы во всех пунктах наблюдений. Для XVIII в., задолго до того, когда было изобретено радио, это было не легкой технической задачей.

⁵ Подробное решение этой задачи приведено в статье: Зелёный Л.М. Ломоносов М.В. У истоков исследования планетных атмосфер и философии русского космизма // Земля и Вселенная. 2022. № 3. С. 63–82.

⁶ Французский астроном, геодезист и картограф, в 1726–1747 гг. работал в России по приглашению Петра I: Козенко А.В. Жозеф-Николя Делиль (к 325-летию со дня рождения) // Земля и Вселенная. 2013. № 3. С. 42–49.



Жозеф Николя Делиль – инициатор и руководитель проекта определения расстояния до Солнца во время транзита Венеры в 1761 г. Гравюра Конрада Вестермайра, 1803 г.

Жозеф Делиль опубликовал свой метод и подробные инструкции для наблюдателей в научных статьях, напечатанных в 1743, 1747 и 1753 гг. Именно Делиль стал координатором, выражаясь сегодняшним языком, первого международного глобального сетевого астрономического проекта, когда десятки наблюдателей из разных стран Европы отправились наблюдать транзит Венеры в разные концы света. К этому грандиозному, не знавшему себе равных проекту, присоединилась и Россия. Российское государство выделило средства для организации двух экспедиций (в действительности, трех – с учетом миссии француза Шаппа д'Отероша, которую также спонсировала Российская империя) на восток, в Сибирь, где должны были наблюдаться и вступление Венеры на диск Солнца, и сход ее с диска пример-

но через шесть часов 6 июня 1761 г. Для России, продолжавшей жить по юлианскому календарю, это должно было случиться утром 26 мая.

НАБЛЮДЕНИЯ ТРАНЗИТА 1761 Г.

В наблюдениях транзита 1761 г. участвовали 122 наблюдателя в 62 пунктах, разбросанных по всему миру. Французская морская экспедиция под руководством Гийома ле Жантиля отправилась к берегам Индии, а Александр Пингре оборудовал наблюдательный пункт на острове Родригес в Индийском океане. Англия направила на наблюдения фрегат «Нарвал», на борту которого находились геодезисты и астрономы Чарльз Мэйсон и Джереми Диксон, развернувшие наблюдения на юге Африки. Будущий директор Гринвичской обсерватории англичанин Невил Маскелайн отбыл на остров Святой Елены. В городе Вардё (Норвегия) готовился к наблюдениям директор Венской обсерватории Максимилиан Хелл. Шведский естествоиспытатель Торнберн Бергман наблюдал в родной Упсале, финский астроном и математик Андерс Планман – в Финляндии, шведский астроном Пер Варгентин – в Стокгольме, итальянский астроном Паоло Фризи – в Болонье. Наблюдения проводились в Париже, Гринвиче, Риме, Геттингене, Пекине и других пунктах.

Руководитель проекта Жозеф Делиль отправил в сибирский город Тобольск французского астронома аббата Шаппа д'Отероша. Узнав об этом, президент Петербургской академии наук Кирилл Григорьевич Разумовский (1728–1803) распорядился готовить для наблюдений в Сибири сразу две российские экспедиции. Приводим фрагменты документа, подписанного Разумовским: «Из записок Французской королевской Академии наук усмотрел я,

что приготовления начаты делать их астрономами немалые к наблюдению знатного на небе явления, то есть прохождения планеты Венеры мимо Солнца, которое прежде 120 лет, как астрономы уверяют, в Англии впервые и случайно было усмотрено, а ныне будущего 1761 года мая 26 числа наблюдено быть может, и сие знатное и полезное дело необходимо Ея Императорскаго Величества Санкт-Петербургская Академия Наук принять должна не в меньшем уважении, как и французская, тем наипаче, что в тех же французских записках усмотрено, что господин Жантиль, астроном французский, отправился уже для сего наблюдения в Индию, а аббат Шапп готовится будто ехать в Сибирь, какое намерение Французской Академии показалось мне для Санкт-Петербургской Ея Императорского Величества Академии наук весьма предосудительно, чего ради не меньшая польза в мореплавании и в других по астрономии объяснениях как честь и слава Академии Санкт-Петербургской требуют того, чтобы сие провести дело самим, без помощи французских астрономов... Но дабы сие предприятие столь же бесплодно не учинилось как в 1740 году г-ном Делилом при прохождении планеты Меркурий мимо Солнца, то весьма бы не худо было две таковые экспедиции в Сибирь отправить, то есть одну в Тобольск, а другую в другое Сибирское место, которое за способнейшее изобретет ... Эпинус⁷. И хотя мне самому сведомо, что Академия трудность будет иметь приискать другого обсерватора и за краткостию времени инструментов к тому надобных упова-

⁷ Франц-Ульрих Теодор Эпинус (1724–1802) являлся директором астрономической обсерватории Санкт-Петербургской Академии наук: *Еремеева А.И.* Петербургский астрофизик XVIII в. // *Земля и Вселенная.* 1975. № 1. С. 62–66.



Президент Санкт-Петербургской академии наук и гетман Украины Кирилл Григорьевич Разумовский – автор решения об организации сибирских астрономических экспедиций в 1761 г. Луи Токке «К.Г. Разумовский с гетманской булавой», 1758 г.

тельно не достанет, однако канцелярия Академии Наук имеет крайнее приложить попечение, невозможно ли будет всех вышеупомянутых трудностей одолеть и отправить неотменно в Сибирь две, а не одну экспедицию... »

Истории драматических экспедиций в Сибирь посвящены книги Н.И. Невской,⁸ А.Б. Кузнецовой⁹, С.А. Язева и Ю.С. Каравановой¹⁰, по-

⁸ *Невская Н.И.* Никита Иванович Попов. Л.: Наука, 1977.

⁹ *Кузнецова А.Б.* Первые определения параллакса Солнца астрономами Петербургской академии наук в 1761–1769 гг. (по архивным материалам). Отв. ред. В.К. Абалякин. СПб.: Нестор-история, 2009.

¹⁰ *Язев С.А., Караванова Ю.С.* Иркутский транзит. Под науч. ред. Н.Н. Самуся. Иркутск: изд. ИГУ, 2021.



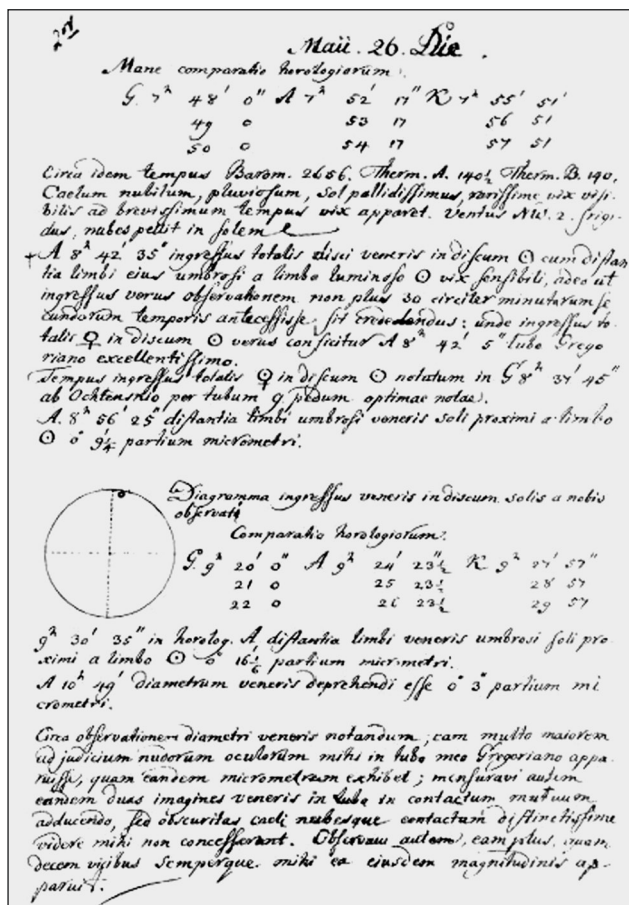
Вид башни в Иркутске, с которой Н.И. Попов вел наблюдения транзита Венеры. Башню предоставил и позволил перестроить под обсерваторию архиепископ Иркутский и Нерчинский Софроний. Реконструкция Ольги Грабовской

этому в данной статье подробное описание этой миссии опущено. Кратко укажем, что во время непродолжительных просветов в тучах С.Я. Румовский в Селенгинске не успел выполнить необходимые измерения. Группе Н.И. Попова в Иркутске, несмотря на плохую погоду, удалось выполнить наблюдения: «...Напоследок, сквозь дождь, сквозь густые облака, сквозь дурной ветер и пыль, и дым от горящих кругом лесов, при прохождении Венеры через Солнце, приметил все, что ни наипущее астроно-

мическое дело в прогалязинах¹¹ хотя и редко, однако несколько раз бывших, о чем явствует обсерваторский журнал...». Так описывал наблюдения своей команды Никита Иванович Попов¹². Иркутские обсерваторы смогли восемь раз зафиксировать в разрывах между облаками положение планеты на диске светила, каждый раз успе-

¹¹ Так сказано у Н.И. Попова в книге А.Б. Кузнецовой. В книге Н.И. Невской написано «в прогалязинах».

¹² *Невская Н.И.* Никита Иванович Попов. Л.: Наука, 1977.



Страница из журнала наблюдений Н.И. Попова. 1761 г.
Текст на латинском языке

вая измерить расстояние от маленького черного шарика Венеры до края диска Солнца с помощью сетки нитей микрометра, находившихся в поле зрения их привезенных из Петербурга телескопов. Измерения заносились в журнал, и позже по известной методике можно было рассчитать угловую скорость движения Венеры...

Успешными оказались и наблюдения аббата Шаппа в Тобольске.

В Санкт-Петербурге погода не помешала астрометрическим наблюдениям транзита, которые провели А.Д. Кра-

ильников и Н.Г. Курганов в башне Кунсткамеры, а И.А. Браун – из своего дома. М.В. Ломоносов, нацеленный на попытку обнаружить на Венере атмосферу¹³, также наблюдал транзит Венеры у себя дома на Морском проспекте через специально приготовленное слабо закопченное стекло¹⁴.

¹³ Невская Н.И. Источники по истории астрономии России XVIII в. Т. 1. СПб.: Наука, 2000.

¹⁴ Еремеева А.И. Михаил Васильевич Ломоносов (к 300-летию со дня рождения) // Земля и Вселенная. 2011. № 6. С. 36–46.



Михайло Васильевич Ломоносов принимал деятельное участие в подготовке сибирских экспедиций 1761 г. Гравюра 1757 г.

Обработка результатов наблюдений была выполнена в Париже. Из-за множества объективных и субъективных факторов разброс данных оказался значительным. Как указывает Йозеф Иоганн Литров, расстояние от центра Земли до центра Солнца получится «25 783, или 22 918 земных радиусов, смотря по тому, примем ли мы для параллакса Солнца 8 угловых секунд или 9 угловых секунд». Соответствующий разброс в значениях вычисленного расстояния до Солнца составил 18 млн километров или примерно одну девятую часть всего расстояния. Такая низкая точность была неприемлемой.

НАБЛЮДЕНИЯ ТРАНЗИТА 1769 ГОДА

Советский астроном Б.А. Воронцов-Вельяминов (1904–1994)¹⁵ указывал, что проект 1761 г. дал «неоценимый опыт» при подготовке следующей кампании в проведении наблюдений транзита Венеры 1769 г. Они были гораздо лучше организованы, в них приняли участие большее количество наблюдателей – в том числе знаменитый английский мореплаватель Джеймс Кук, выполнивший наблюдения на острове Таити. Ко времени транзита были подготовлены тщательные инструкции для наблюдателей с учетом первого опыта 1761 г.

В России были организованы целых восемь наблюдательных пунктов, – один в Санкт-Петербурге и семь на севере России и в Сибири, включая Якутск. В экспедиции в Колу (прежнее название Мурманска) снова участвовал С.Я. Румовский. Подготовку экспедиций курировала лично императрица Екатерина II, она распорядилась о закупке в Париже и Лондоне современных телескопов и угломерных инструментов. Более того, императрица сама вместе со своей свитой наблюдала транзит Венеры в деревне Верхняя Бронная в обсерватории, специально выстроенной для Ее Величества. Знаменитый математик Леонард Эйлер

¹⁵ *Еремеева А.И.* Борис Александрович Воронцов-Вельяминов – старейшина нашей астрономии (к 90-летию со дня рождения); *Архипова В.П., Докучаева О.Д., Костякова Е.Б.* Жизнь в науке // Земля и Вселенная. 1994. № 3. С. 36–44.

(1707–1783)¹⁶ разработал форму журнала наблюдений, инструкцию для наблюдателей и установил требования подготовить научный отчет в течение десяти суток после дня наблюдений.

К сожалению, в наблюдениях не приняли участия М.В. Ломоносов (после тяжелой болезни он скончался в 1765 г.) и Н.И. Попов, подавший в вынужденную отставку из Академии наук за год до транзита.

По результатам обработки наблюдений 1769 г. стало окончательно ясно, что параллакс Солнца лежит в пределах от восьми до девяти угловых секунд¹⁷. Так, например, Планман получил для параллакса Солнца значение 8.4, Лаланд – 8.5, Лексель – 8.68, Хелл – 8.7 угловых секунд. Разброс значений, полученных разными наблюдателями, по-прежнему оставался большим, при этом точность разных наблюдений была различной.

Спустя полвека немецкий астроном Иоганн Франц Энке (1791–1865) обработал 250 наблюдений 1761 и 1769 гг., включая данные, полученные русскими астрономами, с помощью новых математических методов. Он педантично работал несколько лет, и в 1822 г. вывел среднее значение для солнечного параллакса, равное 8.577 угловых секунд. Заметим, что на 60 лет раньше, 13 октября 1762 г. Н.И. Попов, выступая на академической конференции в Санкт-Петербурге, доложил вычисленное им по результатам собственных иркутских наблюдений значение параллакса Солнца. У него получилось

8.27 угловой секунды, что выглядит неплохо по сравнению с известным на сегодня значением – 8.794!

Вычисленное Иоганном Энке значение параллакса соответствовало расстоянию до Солнца, равному 153.5 млн км с возможной ошибкой ± 700 тыс. км. Эта величина несколько десятилетий считалась правильной.

НАБЛЮДЕНИЯ ТРАНЗИТОВ 1874 И 1882 ГГ.

Спустя еще полвека астрономы наблюдали транзиты Венеры в 1874 и в 1882 гг. На этот раз был использован недавно появившийся метод астрофотографии. На основе изображений на фотопластинках, полученных французскими, английскими и американскими астрономами, был сделан вывод о том, что параллакс Солнца находится в пределах от 8.84 до 8.86 угловых секунд.

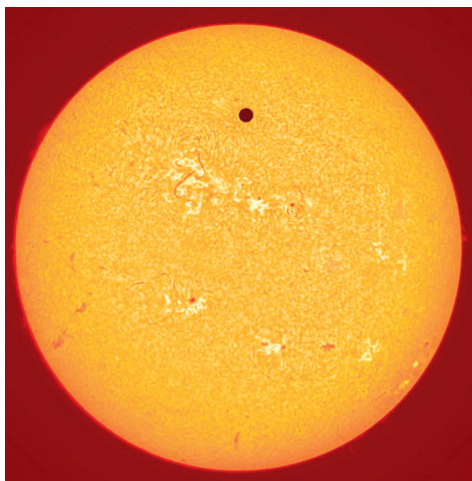
Американский астроном и математик Саймон Ньюком (1835–1909) обработал данные наблюдений четырех транзитов XVIII и XIX вв. и получил

*Прохождение Венеры по
диску Солнца 6 июня 2012 г.
Снимок астрономической обсерватории
Иркутского государственного
университета*



¹⁶ Козенко А.В. Леонард Эйлер (к 300-летию со дня рождения) // Земля и Вселенная. 2007. № 3.

¹⁷ Кузнецова А.Б. Первые определения параллакса Солнца астрономами Петербургской академии наук в 1761–1769 гг. (по архивным материалам). Отв. ред. В.К. Абалакин. СПб.: Нестор-история, 2009.



Прохождение Венеры по диску Солнца 6 июня 2012 г. в свете линии водорода H_{α} . Снимок Байкальской астрофизической обсерватории Института солнечно-земной физики СО РАН

параллакс, равный 8.79 угловых секунды. В 1961 г. была впервые проведена радиолокация Венеры, что позволило определить расстояние до планеты с точностью до 2000 км (диаметр самой Венеры вшестеро больше и составляет 12 100 км). Это позволило подтвердить и уточнить значение расстояния от Земли до Солнца.

НАБЛЮДЕНИЯ ТРАНЗИТОВ 2004 И 2012 ГГ.

Транзиты Венеры 2004 и 2012 гг. фотографировались огромным количеством астрономов – как профессионалов, так и любителей. Но на этот раз никакие фундаментальные задачи в процессе этих наблюдений не решались. К моменту транзитов XXI в. параметры орбиты Венеры были хорошо известны, атмосфера планеты уже была подвергнута тщательным прямым и дистанционным исследовани-

ям, а среднее расстояние от Солнца до Земли было известно с высокой точностью.

Задачу определения расстояния между Солнцем и Землей астрономы решили окончательно, и наблюдения двух пар транзитов Венеры в XVIII–XIX вв. внесли определяющий вклад в достижение этой цели. Много лет человечество пользовалось значением астрономической единицы, полученным именно в результате наблюдений (порой драматичных) транзитов Венеры.

В настоящее время средний параллакс Солнца считается равным 8.794 угловых секунды. В 2012 г. на XXVIII Генеральной Ассамблее МАС в Пекине было принято решение определить на основе всех имеющихся данных среднее расстояние от Солнца до Земли (астрономическую единицу) как 149 597 870 700 метров.

Теперь среднее расстояние от Солнца до Земли – 149.6 млн км – знает (точнее, должен знать) каждый школьник. Определением этой величины астрономы занимались более трех веков, а если вспомнить измерения Аристарха Самосского – то более двух тысячелетий. Трудно назвать другую задачу в истории астрономии, решение которой потребовало бы стольких усилий, ресурсов и труда. Эпопея 1761 г. явилась первым шагом на этом нелегком пути, и российские астрономы приняли достойное участие в этом непростом проекте.

Как сказал американский астронавт Нил Армстронг, 20 июля 1969 г. впервые ступая на поверхность Луны, «это был маленький шаг одного человека, но гигантский скачок для всего человечества». Международная наблюдательная астрономическая кампания 1761 г. стала первым маленьким шагом всего человечества на пути познания масштабов Солнечной системы.

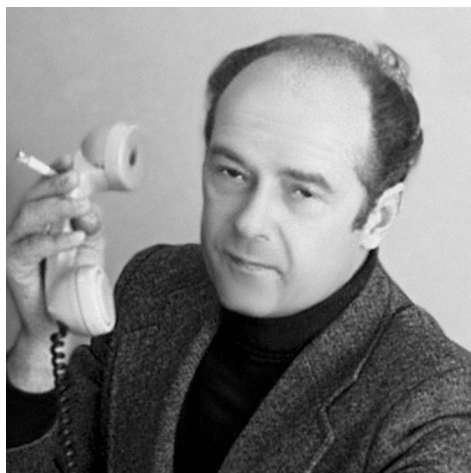
ПАМЯТИ ЛЕГЕНДЫ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЖУРНАЛИСТИКИ ВЛАДИМИРА ГУБАРЕВА

АРМАНД Рене Павловна,

журналист, писатель, член Российского союза писателей

DOI: 10.7868/50044394823040060

Владимир Степанович Губарев (1938–2022) – выдающийся писатель, драматург, журналист начал заниматься научной журналистикой в 1959 г., еще будучи студентом технического вуза – Московского инженерно-строительного института им. В.В. Куйбышева (МИСИ, ныне НИУ МГСУ). После запуска первого искусственного спутника Земли 4 октября 1957 г. началась космическая эра. Об этом беспрецедентном событии в истории человечества, которое произошло в Советском Союзе, необходимо было сообщить в подробностях всему мировому сообществу. Стало ясно, что необходима подготовка журналистов, способных разбираться в сложнейших научно-технических вопросах. На самом высоком уровне советского руководства было решено привлечь к работе в средствах массовой информации молодых энергичных выпускников технических вузов. Так, студент МИСИ Владимир Губарев в возрасте 21 года сменил свою будущую профессию строителя на научную журналистику. В 1959 г. он становится сотрудником газеты «Комсомольская правда», освещая актуальные вопросы науки и освоения космоса. С космодромов, из космических центров СССР, США, Франции, Индии, социалистических стран шли его репортажи. Он встречался с выдающимися учеными и конструкторами, бе-



Журналист Владимир Губарев. 1970-е гг.

седовал с космонавтами и астронавтами. При участии молодого журналиста на страницах «Комсомольской правды» рождалась своеобразная летопись исследования космического пространства. За 15 лет репортерской работы Владимир Губарев стал опытным «газетным волком». Он возглавил отдел науки в «Комсомолке», затем был назначен заместителем главного редактора. В 1976 г. журналист получил предложение перейти в главную партийную газету «Правда», где в течение двадцати пяти лет заведовал отделом науки. Из «Правды» Губарев уволился в 1991 г. в знак протеста против передачи прав

на издание газеты греческому предпринимателю.

За годы журналистской работы Владимир Степанович Губарев написал множество статей по самой разной научной тематике – о геологии, природопользовании, минерально-сырьевых ресурсах страны, управлении горной промышленностью в экстремальных природно-климатических условиях Севера. Вместе с директором Геологического института Кольского филиала АН СССР Игорем Бельковым в 1981 г. сопровождал канадских геологов в Апатитах и Хибинах. 12 августа 1981 г. в «Правде» была опубликована статья Губарева об этой экспедиции под заголовком «Камни Кейв», впоследствии вошедшая в сборник «Восхождение к подвигу» (1985). Губареву также принадлежат множество интеллектуальных и научно-популярных работ по проблематике научного прогресса, ответственности науки и ученых перед человечеством.



Владимир Губарев осваивал разные жанры литературной работы. Писал научно-популярные книги, повести, статьи, репортажи и очерки, фантастические рассказы, пьесы. В 1974 г. за создание цикла очерков и репортажей о советской программе освоения космоса и активную пропаганду достижений науки и техники совместно с журналистом Ярославом Головановым был удостоен премии Ленинского комсомола. С 1970-х гг. стал постоянным автором журнала «Наука и жизнь».

В 1985 г. в СССР состоялась премьера художественного фильма «Корабль пришельцев», поставленного на киностудии им. М. Горького. Автором сценария, написанного по мотивам своей фантастической повести «Легенда о пришельцах» был журналист Владимир Губарев. В основу сюжета легли реальные события, происходившие 22 декабря 1960 г. в связи с неудачным запуском четвертого советского беспилотного корабля-спутника с двумя собаками на борту, упавшего в районе Подкаменной Тунгуски. Фильм поставил известный актер Сергей Никоненко, на режиссерском счету которого к тому времени было уже шесть художественных лент, в главной роли снимался Олег Табаков. Фильм имел зрительский успех.

Вскоре после премьеры фильма, весной 1986 г., Губарев дебютировал как драматург. Свою первую пьесу «Саркофаг» он написал в начале мая 1986 г., через несколько дней после возвращения из командировки в Чернобыль, куда по поручению ЦК КПСС возил группу журналистов. Пьеса была написана в рекордно короткий срок, всего за два дня. Литератору удалось отразить те глубокие впечатления, кото-

Афиша художественного фильма
«Корабль пришельцев». 1985 г.



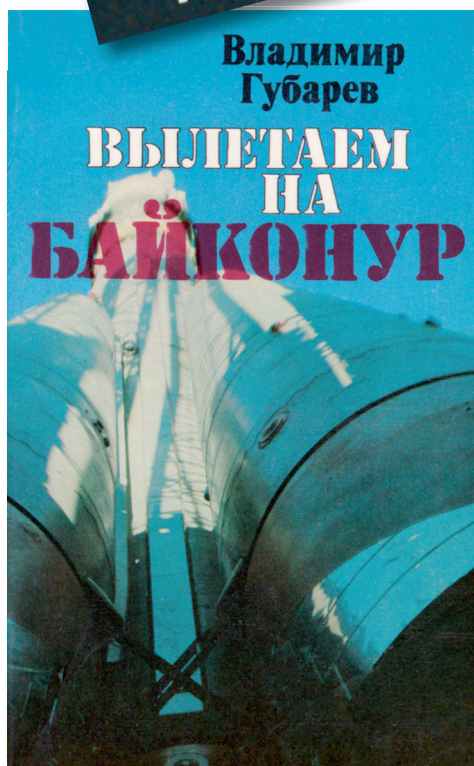
Афиша «Саркофаг». 2017 г.



Сцена из спектакля
 «Саркофаг». 1987 г.

рые потрясли членов экспедиции из Москвы на месте чернобыльской катастрофы. Спектакли по пьесе Владимира Губарева «Саркофаг» шли на сценах 56 театров мира. Главную роль врача в одном из театров Франции сыграла Марина Влади. Зарубежные театральные критики писали об уникальности пьесы, написанной журналистом, своими глазами видевшим последствия катастрофы. Международное театральное сообщество наградило журналиста престижной премией имени выдающегося актера Лоуренса Оливье.

Еще работая в газете в качестве журналиста и редактора, Губарев приобрел новый статус – писателя. Он стал автором множества книг об отечественной науке (57) и судьбах ученых (14). В 1962 г. вышла его первая книга по космонавтике «Дорогами Вселенной». В 1976 г. газетный журналист дебютировал на телевидении как автор сценариев в документальном цикле «Наша биография». За эту работу Губарев в 1978 г. был удостоен Государственной премии СССР. В 2005 г. награжден орденом Ю.А. Гагарина Федерации



Одни из первых книг В.С. Губарева:
«Космическая трилогия» (1973),
«Космические мосты» (1976)
и «Вылетаем на Байконур» (1979)

космонавтики России за популяризацию ракетно-космической техники и космонавтики, в 2018 г. удостоен почетного звания «Легенда российской журналистики».

В 2004 г. телеканал «Россия – Культура» принял к производству заявку на еженедельную программу цикла о науке и ученых. Авторская программа Владимира Губарева «Реальная фантастика» выходила в эфир в течение трех телевизионных сезонов. 100 выпусков с сюжетами из истории отечественной науки имели высокий рейтинг зрительских просмотров.

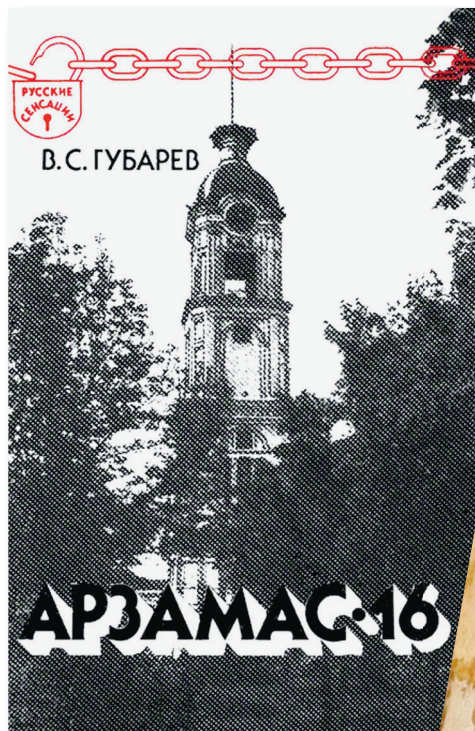
В. Губарев – автор ряда книг по космонавтике и о людях, создающих современную космонавтику, среди них «Человек. Земля. Вселенная» (1969), «Повесть о первом луноходе» и «Космический



перекресток» (1971), «От Коперника до «Коперника»» и «Космическая трилогия» (1973), «Ариабата» и «Космические мосты» (1976), «Конструктор: несколько страниц из жизни М.К. Янгеля» (1977), «Вылетаем на Байконур» (1979), «Поехали!: документальные очерки о космосе и космонавтах» (1981), «Утро космоса: Королёв и Гагарин» (1984), «Век космоса: страницы летописи» (1986), «Южный старт» (1998), «Мечта о Вселенной. Судьба науки и ученых в России» (2002), «Русский



Обложки книг В.С. Губарева:
 «Южный старт» (1998),
 «Русский космос:
 секретные технологии империи»
 (2006),
 «Тайны Гагарина:
 мифы и правда о первом полете»
 (2011)



Книги, в которых
В.С. Губарев рассматривал
проблемы ядерной физики
«Арзамас-16» (1992) и создание
ракетно-ядерного щита
страны «Ракетный щит
империи» (2006),
«Царь-бомба» (2017)

космос: секретные технологии империи» (2006), «Тайны Гагарина: мифы и правда о первом полете» (2011, 2014).

Кроме космонавтики, в книгах Губарев освещал проблемы ядерной физики («Арзамас-16», 1992; «Ядерный век. Чернобыль», 1996; «Секретный атом», 2006; «Секретные академики», 2008), ракетно-ядерного щита страны («Ядерный век. Бомба», 1995; «Белый архипелаг Сталина», 2004; «Ракетный щит империи», 2006; «Царь-бомба», 2017), электроники («Страна лилипутов: очерки об электронике», 1965), генетики («Нить жизни: очерки о генетике», 1968). Губарев написал множество интеллектуальных и научно-популярных работ по проблематике научного прогресса, ответственности науки и ученых перед человечеством («XX век. Исповеди: судьба науки и ученых в России», 2000; «Агония Средмаша: от Чернобыля до Чубайса», 2006; «Убийство РАН: новейшая история науки в России», 2014; «Секретные академики: кто сделал СССР сверхдержавой», 2015).

Последняя статья В.С. Губарева «Три Звезды Героя: знания и страсти. Несколько страниц из жизни великого ученого нашей Родины М.В. Келдыша» была опубликована в 2021 г. в нашем журнале¹.

В 2023 г. к 85-летию писателя В.С. Губарева наш журнал ниже публикует расшифровку записи телевизионной программы «Приключения на лунной дороге» из цикла «Реальная фантастика». Материал подготовлен постоянным редактором-консультантом этого проекта от телеканала «Россия-Культура» Р.П. Арманд².

¹ Земля и Вселенная. 2021. № 1. С. 86–100; № 2. С. 79–92.

² Полная версия документальной повести «Реальная фантастика российской науки» опубликована на авторской странице Рене Арманд по адресу: www.Proza.ru



Владимир Губарев на пресс-конференции. 2010-е гг.

«В.С. Губарев. Когда впервые разрешили приоткрыть завесу секретности над космическими исследованиями Луны?

Конечно, после запуска нашего искусственного спутника. Я прекрасно помню день, когда главный редактор «Комсомольской правды» Алексей Иванович Аджубей пригласил нас с моим коллегой и товарищем Ярославом Головановым в свой кабинет, чтобы дать одно интересное поручение, связанное с лунной программой.

2 января 1959 года советская космическая ракета с красивым названием «Мечта» была запущена в сторону Луны – и промазала мимо нее. Корольев жутко расстроился. Естественно, информация была закрытой. Об этом космическом происшествии Хрущёв рассказал дочери Раде и зятю, Алексею Аджубею³, во время традиционного совместного воскресного обеда. Алексей Иванович, который фонтанировал идеями, тут же предложил поставить перед читателями «Комсомолки» вопрос: Не рано ли нам заигрывать с Луной?

³ А.И. Аджубей (1924–1993) – главный редактор газеты «Комсомольская правда» в 1957–1959 гг.



Писатель и журналист Ярослав Голованов

Рада Никитична, которая была в то время заведомо в журнале «Науки и жизнь», поддержала мужа. Хрущёв одобрительно кивнул. Валяйте!

За темы науки в «Комсомолке» отвечали мы с Ярославом Головановым. Слава был старше меня на четыре года. Закончил ракетный факультет МВТУ имени Баумана, и в 1958 году, так же, как и я, был отобран из числа кандидатов на должность литературного сотрудника «Комсомолки». Аджубей поручил нам организовать письмо от какого-нибудь читателя в газету. Текст, естественно, мы набросали сами. Он был кратким и едким. «Не рано ли заигрывать с Луной, если мы живем бедно и впроголодь? Не лучше ли те огромные средства, которые идут на космос, потратить на производство колбасы?» Это был холодный душ во время всеобщего ликования, которое выражалось во взаимных поздравлениях руководителей партии и правительства и создателей космических аппаратов, один из которых впервые в истории достиг поверхности Луны. До публикации письма в «Комсомольской правде» газетные полосы остальных изданий пестрели высокопарными заголовками. «СССР стал берегом Вселенной» и «Социализм – стартовая площадка в космос». Эти фразы были сказаны самим Хрущёвым, и, естественно, пресса тут же

растиражировала их, превратив в крылатые выражения. И вдруг на фоне всеобщего восхищения нашими успехами в космосе раздался разумный, казалось бы, возглас: «А не рано ли?». После этой публикации, организованной по распоряжению Аджубея, «из народа» завязалась оживленная читательская дискуссия. Письма в редакцию приходили мешками. Одни были за лунную программу, другие – против. Коллективный отзыв написали ученые: «Человек тем и отличается от свиньи, что иногда поднимает голову и смотрит на звезды». Академики процитировали древнегреческого философа Платона. И одержали в дискуссии победу. Их точку зрения поддержало большинство читателей, которые писали в редакцию, что «заигрывать с Луной надо».

Да, не было колбасы, не хватало молока и масла, да, страна бедствовала, но над всеми этими проблемами повседневной жизни сиял космический подвиг народа, и он согревал душу, возвышал ее. Это было то время, когда духовное властвовало над телесным, что было необычно, а потому прекрасно! Во многом именно общественное мнение проложило путь нашим многочисленным лунникам и автоматическим станциям. А наш луноход удостоился чести войти не только в историю науки, но и поэзии – помните «лунный трактор» у Владимира Высоцкого?

Помню, как мы с моей будущей женой Светой, влюбленная пара, сидели на лавочке, смотрели на Луну с восторгом, стихи читали. Луна казалась такой таинственной, загадочной. Мы рассуждали о том, как когда-нибудь на Луну полетит человек... Сейчас мы с моей женой Светланой Олеговной у нас в Переделкино смотрим на эту Луну, и я знаю, что она исхожена вдоль и поперек, изъезжена, и знаю кем, и знаю когда. И знаю, что на Луне нет жизни, даже микробов. Но кое-что

интересное исследователи все же там обнаружили.

Сегодня лунные исследования стали приоритетными в космических программах многих стран. Такую информацию распространили США, Китай, Япония, Европейское космическое агентство и даже Индия. Предполагается построить на Луне поселения, научные станции и даже промышленные предприятия. Фантазии? Отнюдь! После многолетнего затишья к Луне вновь приковано внимание исследователей. А им в затылок дышат предприниматели и деловые люди, готовые приступить к освоению лунных ресурсов сразу же, как только «добро» дадут ученые. Торговля участками на Луне идет весьма бойко. Цена на них, в том числе и тех, что находятся на обратной, то есть невидимой стороне Луны, выросла в десятки раз. Что же случилось? Почему Луна становится «научной модницей» в других странах?

В России скептики задают вопрос – не поздно ли нам заигрывать с Луной? Самый авторитетный эксперт в вопросах изучения Луны – академик Эрик Галимов, считал, что поздно или не поздно заигрывать с Луной – это не тот вопрос. Однозначно, исследование Луны продолжать необходимо. По вопросу возобновления лунной программы академик Эрик Михайлович Галимов сделал доклад на заседании Президиума Академии наук, я конспектировал это яркое выступление. Есть смысл процитировать для телезрителей некоторые мысли ученого: «На передний план выходит использование ресурсов околоземного пространства. Речь, прежде всего, идет о Луне. Имеются серьезные проекты ее использования в будущей энергетике. Считается, что земные источники энергии не справятся с потребностями производства к середине двадцать первого века. Один из возможных путей решения проблемы



Академик Эрик Галимов. 2000-е гг.

связан с использованием гелия-3 в термоядерном синтезе, с его добычей и доставкой с Луны. Кроме того, Луна может быть использована в качестве форпоста исследования дальнего космоса, базы для мониторинга астероидной опасности, контроля за развитием критических ситуаций на Земле. До 1996 года деньги вкладывали преимущественно в проект “Марс-96”. По финансовому состоянию того времени проект был нам явно не по силам. Но зарубежные партнеры, уже вложившие немалые суммы, всячески лоббировали этот проект и заставляли вкладывать все новые средства. После гибели “Марса-96” все усилия сконцентрировались на астрофизической программе “Спектр”. На средства, которые расходуются на один “Спектр”, можно было бы сделать три запуска на Луну⁴. Конечно, на разных этапах могут

⁴ Лескова Н.Л. Интервью с академиком Э.М. Галимовым // Земля и Вселенная. 2012. № 3. С. 41–51.

выделяться приоритетные проекты. Но ведь не до абсурда, не до полного обескровливания других направлений, как это случилось с планетными исследованиями». От участников заседания посыпались вопросы. Почему такое предложение поступило от директора академического Института геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского? В этот момент я понял, что большинство академиков вообще не в курсе проблем по другим направлениям, не относящимся к их научным интересам. Они просто не знали, что Эрик Галимов опубликовал почти 500 работ по вопросам химической эволюции Земли и происхождению Луны. Есть такая международная научная организация – Ассоциация космохимии. Академика Галимова избрали вице-президентом этой Ассоциации – это не просто почетная должность, а возможность для ученого быть в курсе последних исследований и участвовать в международных проектах. Поэтому от его идеи вновь вернуться к лунной программе, нельзя было просто отмахнуться.

Пока шло заседание, я вспоминал все, что узнал о лунной программе с тех пор, как в газете мне поручили заниматься космонавтикой. Плановые исследования Луны Сергей Павлович Королёв, насколько мне известно, начал еще до полета Гагарина. В течение трех лет, начиная с 1961 года по заданию «Комсомолки» я часто ездил в Ленинград. В сверхсекретный институт, где создавалась аппаратура для космических аппаратов. Именно там конструкторы разрабатывали первый лунный телерепортер. Он должен был

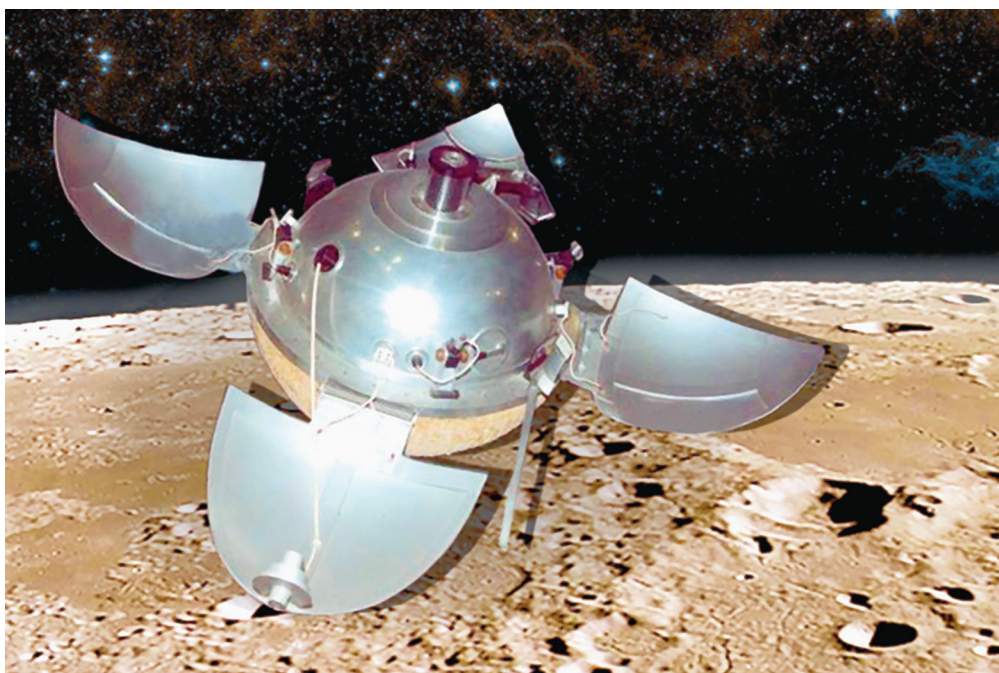
передать панораму лунной поверхности на Землю. Эксперимент проходил в двух соседних лабораториях, где установили передающие и принимающие телекамеры. Из одной лаборатории в другую шел телесигнал. Я помню, начиналось с того, что передавали портрет Хрущёва. А потом, когда Никиту Сергеевича сняли с должности, то решили передавать в качестве телевизионного сигнала герб Советского Союза.

История исследований Луны была драматичной: Королёва и его команду преследовали неудачи. Восемь космических аппаратов погибло, не долетев до Луны, я уже не говорю о сорвавшихся стартах. Но Сергей Павлович был настойчив, он стремился достичь цели – высадиться на Луне раньше, чем это удастся американцам.

Со мной в это время произошла очень любопытная история. Я был на конгрессе в Варне, и там мы встречались с американскими учеными, в том числе и теми, которые занимались Луной. Мы вели вполне товарищеские от-

кровенные разговоры, и я как-то сказал, что в моем распоряжении нет ни одного снимка поверхности Луны, которые я мог бы опубликовать в газете. После возвращения в Москву меня неожиданно пригласили в американское посольство и выдали пакет, который пришел из NASA. К моему удивлению, в этом пакете оказались фотографии поверхности Луны. Почему эти снимки представляли огромный интерес? Дело в том, что не было ясно, какая поверхность на Луне: одни ученые предполагали, что там очень толстый слой пыли, а другие считали, что Луна твердая. Сергею Павловичу нужно было обязательно выяснить, какая же на самом

История исследований Луны была драматичной: Королёва и его команду преследовали неудачи. Восемь космических аппаратов погибло, не долетев до Луны, я уже не говорю о сорвавшихся стартах. Но Сергей Павлович был настойчив, он стремился достичь цели – высадиться на Луне раньше, чем это удастся американцам.



Макет спускаемого аппарата советской автоматической станции «Луна-9»

деле поверхность на Луне, иначе неясно, как посадить аппарат. На большом совещании по вопросам освоения Луны Королёв сказал: «Будем делать аппарат для твердой Луны». В зале поднялся шум: одни ученые поддерживали Королёва, другие были против. Дискуссия затянулась, но ни у одного из оппонентов не было никаких доказательств, только предположения. Тогда Главный конструктор оторвал листок газеты и написал: «Луна твердая. Королёв». И в ОКБ-1 сделали аппарат с расчетом посадки на твердую поверхность.

Американцы тоже не знали ответа на этот вопрос, и поэтому они сделали целую серию аппаратов в двух вариантах – для твердой и мягкой поверхностей. Они всегда исследовали космос очень последовательно. Если мы прыгали через несколько ступенек сразу, то американцы следовали своей поговорке: Step by step – шаг за шагом.

Их аппараты постепенно приближались к поверхности Луны и передавали снимки на Землю – вот эти снимки я и получил в американском посольстве. С тех пор мне регулярно присылали все материалы NASA, связанные с Луной. В рубрике «Клуб любознательных» мы несколько раз напечатали фотографии Луны, сделанные с помощью американских аппаратов серии «Сервейер». В редакции шутили, что за это нас всем штатом зачислят в американские шпионы. Но публикации прошли, казалось бы, незамеченными. И вдруг мне раздается звонок из Военно-промышленной комиссии Совета Министров: «Товарищ Губарев, откуда у вас эти снимки?» Я им объяснил, что, мол, так и так, мне присылают из NASA через американское посольство. На том конце провода на секунду повисло молчание, потом мой собеседник неожиданно перешел на ты: «Значит, так.

Впредь, как только получишь очередную корреспонденцию из NASA, сразу же сообщаем нам, не вскрывая конверт. Иначе пеняй на себя». С тех пор за этими пакетами из NASA, которые приходили на мое имя, немедленно приезжал офицер фельдсвязи, который забирал этот пакет и вез в ВПК. Только потом, много лет спустя, я выяснил, что эти фотографии немедленно отправлялись Королёву. Но к этому времени наш собственный аппарат для изучения поверхности Луны уже был готов. По сути дела, конструкция была очень простая, это был мячик со сдвинутым центром тяжести. Он должен был выброситься на поверхность Луны, попрыгать и потом остановиться. После того, как он останавливался, распаивались дверцы, оттуда высывались телекамеры и проходила телесъемка. К сожалению, Сергею Павловичу не удалось осуществить эту посадку. В декабре 1965-го «Луна-8» не затормозила, врезавшись с огромной скоростью в лунную поверхность, и разбилась. Вскоре после этого события, в канун нового 1966 года, мой коллега по «Комсомольской правде» Ярослав Голованов позвонил Королёву, чтобы поговорить о перспективах лунной программы. Сергей Павлович ответил: «Я сейчас ложусь на небольшую операцию, сразу после Нового года, а где-то после 10-го числа мы встретимся». Но Сергей Павлович не вернулся из больницы. Во время операции его жизнь оборвалась – это была тяжелая утрата.

Менее чем через месяц после смерти Королёва мы в Центре дальней космической связи наблюдали за полетом «Луны-9». 3 февраля 1966 года впер-

вые на Луну опустилась наша автоматическая станция, раскрылись лепестки, оттуда вылезли телекамеры, и была снята первая панорама лунной поверхности⁵. Мы видели эту панораму, видели эту успешную посадку. Раздались аплодисменты. Главный теоретик космонавтики Мстислав Всеволодович Келдыш поднял руку, привлекая к себе внимание: «Товарищи! Сегодня мы стали свидетелями очередного научного достижения. И я предлагаю посвятить этот полет памяти одного из авторов, который совсем немного не дождал до сегодняшнего торжества, – памяти Сергея Павловича Королёва!» Раздались одобрительные возгласы. Кому-то из ответственных лиц поручили связаться с отделом пропаганды ЦК КПСС и сообщить об этом единодушном решении. Но в официальном сообщении, подготовленном в ЦК, появился другой текст. Что этот успешный полет осуществлен в честь очередного съезда партии. Снимки лунной панорамы отправили по инстанциям на со-

гласование. С таким трудом добытая лунная панорама, выдающееся достижение советской космической науки, вместо того, чтобы ее немедленно обнародовали, задержалась в кабинетах чиновников. Что там согласовывать? Луна и есть Луна, другого кадра нет, он был единственный. В это же время эту же лунную панораму принял в обсерватории в Лондоне астроном Бернард Ловелл. Руководимая им обсерватория

Мстислав Всеволодович Келдыш поднял руку, привлекая к себе внимание: «Товарищи! Сегодня мы стали свидетелями очередного научного достижения. И я предлагаю посвятить этот полет памяти одного из авторов, который совсем немного не дождал до сегодняшнего торжества, – памяти Сергея Павловича Королёва!» Раздались одобрительные возгласы.

⁵ Родионова Ж.Ф. «Луна-9»: первая мягкая посадка на Луну // Земля и Вселенная. 2006. № 2. С. 44–51.



Посадка на Луну автоматической станции «Луна-24» 18 августа 1976 г. Рисунок

Джодрелл-Бэнк активно участвовала в слежении за советскими космическими аппаратами. В лондонской обсерватории стали ждать официального сообще-

ния от Советского Союза о сделанном открытии. Проходят сутки, Москва молчит. Проходят вторые сутки, Москва молчит. И тогда Ловелл решаетея

опубликовать ту панораму, которую он получил с Луны. Это вызвало, конечно, всемирную сенсацию, и первая панорама, наша панорама, появилась в Лондоне. Но Ловелл не знал частоту разверстки. Поэтому она у него получилась сжатая. На самом деле, лунная поверхность была гораздо шире, и уже нам удалось опубликовать эту панораму через сутки после того, как это сделал Ловелл. Было тягостно и стыдно, что даже такой явный успех нашей космонавтики в исследованиях Луны обернулся провалом. Первый в науке всегда первый. А мы свое первенство уступили Западу – из-за чиновников, которые двое суток не могли согласовать разрешение на публикацию панорамы Луны.

С тех пор к Луне было осуществлено несколько десятков пусков. В науке создается такое представление, что мы знаем о Луне все, что особого интереса для исследователей там нет. Доказали, что Луна не полая, что это не искусственное тело. А такая идея тоже была в начале 60-х годов, когда вдруг появилась неожиданная гипотеза, что Луна – это космический корабль инопланетян, который летает вокруг Земли. И, кстати сказать, во время первых полетов, вполне серьезно рассматривалась идея зондировать Луну и выяснить, что там внутри. В конце концов, поставили сейсмографы, и выяснили, что у Луны есть такое же ядро, как у Земли, только меньших размеров. Наука после серии блестящих космических полетов к Луне потеряла интерес к нашему естественному спутнику.

От этих мыслей меня отвлекло выступление академика Николая Анфимова, его слова были пронизаны горечью: «Сегодня существует огромная

дистанция между научно-техническими возможностями российской космической техники и финансовыми ресурсами, которые могут быть использованы на их претворение в жизнь. В результате вместо трех-четырех пусков в год по фундаментальным космическим исследованиям наша страна осуществляет один пуск космического аппарата научного значения в несколько лет». В таком же духе выступил и академик Михаил Маров: «Мы потеряли аппарат “Марс-96”, который создавался многие годы. Такое иногда происходит в ракетной технике, и не только у нас, а и у американцев, европейцев, японцев.

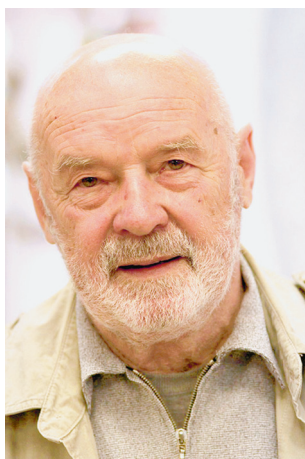
Но то, что произошло у нас, сразу развалило всю программу. Американцы, потеряв три аппарата, сохранили тем не менее финансирование и саму планетную программу. А мы, по существу, прекратили финансирование. Если его не будет, то нынешнее наше отставание от американцев в 15 лет молниеносно увеличится до двадцати пяти».

Мне вспомнились те времена, когда академики Келдыш и Королёв не просили, а именно требовали у правительства финансирования космических проектов, от которых зависело будущее нашей космонавтики. И добивались очевидных успехов в космическом соревновании.

Пока я набрасывал в блокноте свои записи о лунной программе, заседание Президиума Академии наук завершилось. Я пригласил Эрика Галимова, с которым мы называем друг друга просто по именам, выпить в буфете кофе и продолжить разговор о Луне. Он охотно согласился, я спросил: «Эрик, почему не утихает интерес к Луне?» Академик ответил: «На Луну надо

Доказали, что Луна не полая, что это не искусственное тело. А такая идея тоже была в начале 60-х годов, когда вдруг появилась неожиданная гипотеза, что Луна – это космический корабль инопланетян, который летает вокруг Земли.

обязательно лететь, появляется все новая информация. В частности, стало известно, что на Луне, особенно в районе полюсов, есть остатки воды. То есть, есть какие-то соединения, которые могут образоваться только при наличии воды. И это имеет очень важное значение, потому что, если мы найдем воду на Луне, на Венере или на Марсе, то это даст возможность узнать, как образовалась наша Солнечная система, узнать, что происходило с Землей на самых первых этапах ее развития⁶. В общем, очень важно выяснить, есть ли на Луне вода. Я предлагаю провести оригинальный и очень простой эксперимент – надо посадить на Луне три аппарата-автомата. Сделать это не сложно – у нас есть для этого завод межпланетных автоматических станций. Один аппарат посадить на полюсе, другой – в средней части Луны, а третий – чуть севернее. Этот треугольник, который образуется на Луне, даст возможность изучить разницу в химическом составе лунного грунта в трех разных районах, тогда можно сказать, есть там вода или нет. Это открытие, если оно действительно состоится, будет иметь принципиальное значение. Я пробиваю этот проект уже несколько лет. Но пока, к сожалению, ко мне не прислушиваются. Дело в том, что у нас очень мало денег на межпланетные космические исследования, сейчас мы надеемся запустить новый аппарат в сторону Марса. Это очень дорогой проект, который



Владимир Губарев
16 мая 2011 г.

не предполагает получения больших научных результатов, потому что американцы провели на Марсе массу очень интересных исследований, и естественно, они опережают нас⁷. А вот шанс вырваться вперед в лунной программе у России есть, тем более, что американцы тоже не забывают об исследованиях Луны. Соединенные Штаты к 2020 году собираются открыть лунную базу. И тоже будут искать лунные озера. Но у нас в Академии

все процессы происходят очень медленно, решения принимаются неторопливо, и на этот раз начальники взяли паузу».

От редакции. Очень долгую паузу взяло руководство. За это время не стало академика Эрика Галимова. 25 января 2022 г. ушел из жизни писатель и телеведущий Владимир Губарев⁸. А программа «Реальная фантастика» в который раз оправдала свое название, то, что казалось фантастикой – стало реальностью. Первая миссия российской лунной программы «Луна-25» стартовала 11 августа 2023 г. К сожалению, она завершилась аварией (см. Колонку редактора). Но мы надеемся, что программа будет продолжена и принесет много новых знаний о Луне и Солнечной системе⁹.

⁷ Галимов Э.М. Замыслы и просчеты // Фундаментальные космические исследования в России последнего десятилетия. М., 2013. С. 273–283.

⁸ Владимир Степанович Губарев (26.08.1938–25.01.2022) // Земля и Вселенная. 2022. № 2. С. 105–106.

⁹ Митрофанов И.Г., Зелёный Л.М. Об освоении Луны. Планы и ближайшие перспективы // Земля и Вселенная. 2019. № 4. С. 16–35.

⁶ Галимов Э.М. Происхождение Луны. Российская концепция против американской // Земля и Вселенная. 2005. № 6. С. 12–21.

НЕПРИМЕТНЫЙ ЗАЯЦ

СОЛОМОНОВ Юрий Владимирович,

Московское общество любителей астрономии

DOI: 10.7868/50044394823040072

В русских народных сказках довольно часто фигурируют заяц, лиса и волк. Есть созвездия, названные в честь этих персонажей, и на небе. Лисичка введена в 1690 г. Яном Гевелием, и хотя сама по себе она неприметное созвездие, но широко известно благодаря яркому астеризму Вешалка и планетарной туманности M27 «Гантель» (NGC6853). Созвездие Волка появилось еще раньше – в I в. н. э. Оно довольно велико и содержит множество ярких туманных объектов, но с территории России не видно. Созвездие Зайца (Lepus), состоящее из 72 звезд, занимает на небе Северного полушария площадь в 290.3 квадратного градуса, оно расположено между созвездиями Ориона и Голубя. В России это созвездие видно хорошо, особенно зимними ночами, но в силу своих скромных размеров (лишь слегка превосходит Лисичку) и отсутствия ярких звезд и туманных объектов о нем редко и очень кратко пишут в популярной астрономической литературе. Эта статья должна заполнить данный пробел.

КАК «ЗАЯЦ» ПОЯВИЛСЯ НА НЕБЕ?

Древние греки связывали созвездие Зайца с разными богинями. Одни полагали, что заяц – символ плодovitости и является тотемным животным богини красоты Афродиты. Другие относили его к Артемиде и Гере, они считались, как и заяц, связанными с Луной –

вероятно, что здесь идет смесь легенд восточной Азии о лунном кролике и греческих мифах. Третьи решили, что за его быстроту зверя вознес на небо Гермес – бог торговли и счастливого случая, хитрости и воровства, юношества и красноречия. Чуть позже появилась легенда, что заяц – это одна из добыч охотника Ориона.

Автором созвездия Зайца называют поэта Арата Солийского, жившего в III в.¹ От него оно попало в каталог Птолемея «Альмагест» около 140 г. н. э.² У китайцев в этом месте никакого Зайца не было, а эта часть неба входила в Белого тигра Запада, арабы видели здесь всего лишь часть созвездия Ориона, выделяя небольшую область, как Верблюдов. Наиболее выдающейся работой польского астронома Яна Гевелия (1611–1687) считается атлас звездного неба «Уранография», изданный в 1690 г. после смерти Гевелия его женой Эльжбетой³. На 56 гравюрах отображены 1564 звезды, он вводит 11 новых созвездий, из них сохранились до нашего времени 8: Жираф, Малый Лев, Гончие Псы, Единорог, Ящерица, Щит, Лисичка и Секстант. Изображения выполнены с точностью в одну угловую минуту – предельную для бумажных атласов. Фактически, Гевелий создал

¹ Казаков Е.В. Средневековые созвездия: в поисках забытых смыслов // Земля и Вселенная. 2022. № 4. С. 83–98.

² Еремеева А.И. Клавдий Птолемей // Земля и Вселенная. 2012. № 4. С. 32–45.

³ Лунин А. Консул гданьского магистрата // Земля и Вселенная. 1982. № 5. С. 52–56.



Один из листов атласа звездного неба «Уранография» Яна Гевелия 1690 г.
 В его центре – созвездие Зайца, сверху – Ориона, справа – Большого Пса, внизу – Голубя
 (с оливковой ветвью – знаком мира), слева – Эридана

карту, которая по точности не уступает современным. Немецкий астроном Иоганн Байер (1572–1625) в своем атласе 1603 г. «Уранометрия»⁴ отметил 14 звезд, которые отнес к созвездию Зайца. В звездном атласе британского астронома, основателя и первого директора Гринвичской обсерватории Джона Флемстида (1646–1719), опубликованный посмертно в 1729 г., отмечено уже 19 звезд в созвездии Зайца.

Самая яркая звезда из созвездия Зайца – это α (2.6^m), находящаяся на

расстоянии примерно 2218 св. лет от нас. По склонению она находится примерно на той же высоте, что и Сириус, располагаясь западнее него. Она имеет собственное имя Арнеб, что в переводе с арабского языка и означает Заяц (средневековые арабские астрономы активно пользовались каталогом Птолемея, так что мелкий ушастый зверек сместил привычных верблюдов). Арнеб – красный гигант – старая умирающая звезда, превосходящая наше Солнце по размеру в 77 раз и в 11 500 раз ярче! Свой путь звезда должна закончить грандиозным взрывом и загореться сверхновой.

Вторая по яркости звезда – β Зайца носит название Нихал (2.8^m)

⁴ Пчёллов Е.В. Иоганн Байер // Земля и Вселенная. 1998. № 1. С. 44–48. Кузьмин А.В. Загадка «Уранометрии» И. Байера // Земля и Вселенная. 2007. № 4.

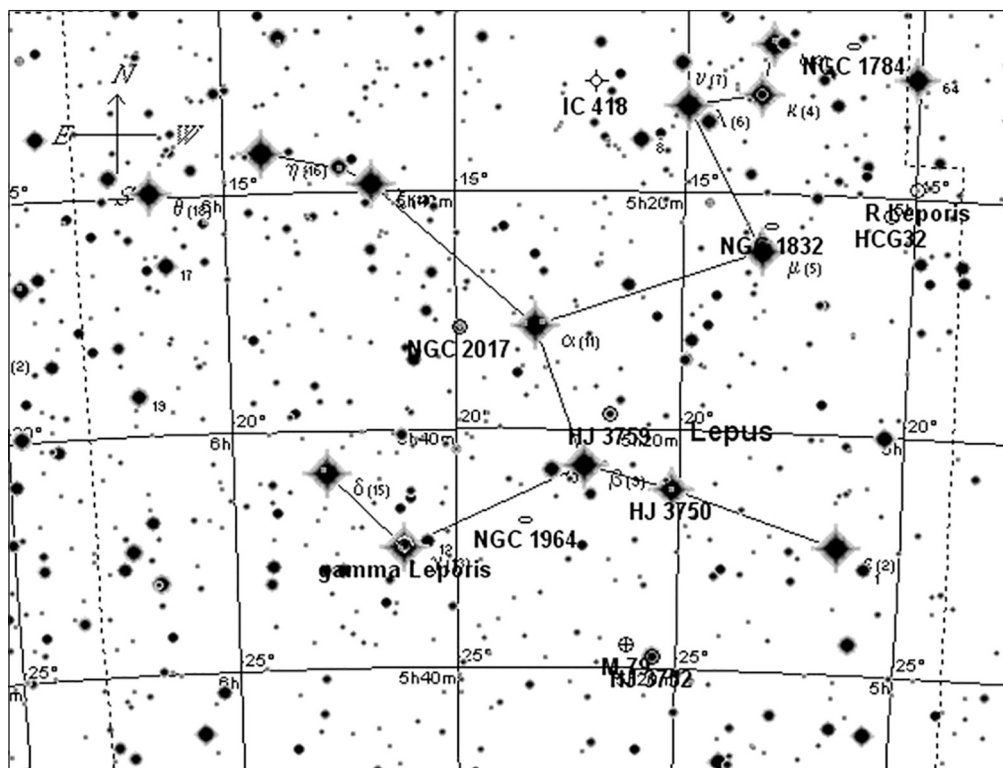


Созвездие Зайца из атласа «Зеркало Урании» Александра Джеймисона 1824 г.
Слева от него находится созвездие Большого Пса, внизу – Голубя

и является отсылкой к арабской истории неба о верблюдах, это кратная система, состоящая из пяти звезд. Главный компонент системы – желтая звезда-гигант, которая превосходит наше Солнце по диаметру в 16 раз, чем подобна самой яркой звезде α Возничего Капелле, расположенной к нам значительно ближе – ее свет идет до нас 42.2 года, а от Нихала – 159 лет. Второй компонент системы (B) удален от главной звезды на расстояние в 2.2" и обладает блеском в 7.5^m. Компоненты C и D имеют блеск 12^m и располагаются от главной звезды на 58.5" и 210.4" соответственно. Компонент E, несмотря на то, что обладает блеском 10.5^m, был отождествлен с системой недавно. Удален он главной звезды на расстояние в 242.8". Немногие видимые невооруженным глазом звезды могут похвастаться такой свитой, раз-

ве что Кастор – звезда α из созвездия Близнецов, да и δ Змеи.

Еще одна интересная двойная звезда в созвездии – κ Зайца. Яркий компонент (4.4^m) имеет голубоватый цвет, на расстоянии в 2.2" можно найти спутник белого цвета. Удивительно! Но данная звезда мало изучена. Расстояние до нее в разных источниках указывается от 550 до 750 св. лет. Кстати, это самая далекая звезда Зайца, видимая невооруженным глазом – все остальные значительно ближе. Между прочим, любители астрономии тоже подкидывают загадки об этой паре – кто-то пишет, что цвет яркого компонента синий, как у аметиста, другие наоборот, описывают звезду белой. Не все наблюдатели разделяют и вторичный компонент, поэтому иногда попадает информация, что расстояние между звездами стало уже менее 2".



Карта созвездия Зайца, созданная Крисом Марриоттом с использованием программы SkyMap Pro 10. 2007 г.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЕЗДЫ

Третья по яркости звезда в Зайце – ζ (3.5^m), не удостоилась собственного имени, зато имеет пылевой диск и целый пояс астероидов. Подобные пояса известны также у ярких Веги (α Лиры) и Фомальгаута (α Южной Рыбы). Собственно, и открыт был пояс тогда же, когда и диск у последней, 40 лет назад с помощью американского космического телескопа IRAS, а пояс астероидов обнаружили американские астрономы в 2001 г. с помощью крупнейшего на тот момент телескопа мира диаметром зеркала 10 м, названного в честь мецената Уильяма Кека. Так что с точки зрения любительских

наблюдений данная звезда совсем не интересна.

В отличие от ζ Зайца, звезда с обозначением R имеет собственное имя Малиновая звезда Хайнда – такое название она носит за характерный цвет и в честь открывателя британского астронома Джона Рассела Хайнда (1823–1895), впервые обнаружившего данную звезду в 1845 г. Звезда R Зайца яркая, с заметным малиновым оттенком, она легкодоступна для наблюдения в бинокль. В пике блеска, достигающем 5.4^m , ее можно увидеть даже невооруженным глазом. В минимуме ее блеск падает до 10.5^m (видимо, поэтому она не попала ни в каталог Баеира, ни Флемстида – ее не заметили). Она



Малиновая звезда Хайнда, или R Зайца.
Фотография Мартина Пью. 2018 г.

относится к миридам⁵, полный период изменения блеска равен 432.5 дней. Довольно удачным для наблюдения звезды стал 2022 г., тогда пик блеска пришелся на начало марта (до порога видимости невооруженным глазом не дошло), в 2023 г. он пришелся на светлый июнь, когда звезда располагается на небе совсем рядом с Солнцем. Так что придется подождать пару лет, когда пики блеска будут приходиться на темные ночи поздней осени и зимы.

В созвездии присутствует и другая переменная типа Миры – Т Зайца довольно старая звезда, удаленная от нас на расстояние в 500 св. лет, период изменения ее блеска около 372 дней. Вот только в пике блеска она бывает не ярче 7.5^m, а в минимуме падает в блеске за 14^m.

Интересна звезда 17 или SS Зайца – ее блеск меняется с 4.82^m до 5.06^m, без четкого периода. Все дело в том, что она относится к типу симбиотических звезд, где обычно один компонент –

⁵ Мириды – класс пульсирующих звезд – красных гигантов, находящихся на последних этапах эволюции, названных по имени двойной звезды Миры (о Кита). Период их пульсации может составлять от 80 до 1000 дней.

это красная звезда, а другой – белая (обычно карлик) или голубая. Когда на белой звезде происходит выброс вещества, которое достигает спутника, то тот начинает менять свой блеск, иногда на 2–3^m. Впрочем, ничего столь масштабного у SS Зайца за последние, вероятно, 200 лет отмечено не было.

У RX Зайца амплитуда сильнее – это красный пульсирующий гигант, меняющий блеск с 7.5^m до 5.0^m, что позволяет увидеть эту звезду невооруженным глазом во время пика блеска. Однако, четкого периода изменения у нее нет. Ранее эта звезда была подобна нашему Солнцу, но переработав весь водород в гелий, стала красной. У нее пока не сильная амплитуда изменения блеска, но со временем, в течение миллионов лет амплитуда будет возрастать, и звезда станет типичной долгопериодической звездой типа Миры.

ОБЪЕКТЫ ГЛУБОКОГО КОСМОСА

Самый известный объект в созвездии Зайца – шаровое скопление M79 (NGC1904), находящееся на расстоянии около 40 тыс. св. лет от Земли. Оно открыто французским астрономом Пьером Мешеном в 1780 г., а на отдельные звезды его разделил Вильям Гершель (1738–1822)⁶. Интегральный блеск скопления равен 8^m, а угловой диаметр – около 8.7'. M79 интересно тем, что располагается от большинства шаровых звездных скоплений в совершенно противоположной области неба. Предполагается, что скопление является остатком некогда поглощенной Млечным Путем галактики, которую называют галактикой Большого Пса. Впрочем, это лишь гипотеза и вполне возможно, есть и какой-то другой механизм

⁶ Еремеева А.И. Вильям Гершель // Земля и Вселенная. 2008. № 6.

образования этой плотной группы звезд. От нас М79 удалено на расстояние в 42 тыс. св. лет.

Менее известна планетарная туманность IC418 поперечником 0.3 св. лет, находящаяся примерно в 2000 св. лет в нашей Галактике. Она открыта на фотопластинках почти на 100 лет позже шарового скопления М79, которые астроном Вильямина Флеминг (США) получила в 1891 г. Блеск туманности равен 9.7^m , а угловой размер $14'' \times 11''$. Она носит неформальное название Спирограф из-за сложной структуры, похожей на рисунок, который создается с использованием спирографа.

Имеются в границах созвездия Зайца и галактики, доступные для наблюдения любителям астрономии: NGC1954 обладает блеском 11.8^m и довольно приличными угловыми размерами $4.2' \times 2.0'$. Она открыта 14 декабря 1786 г. Вильямом Гершелем. В 2010, 2011 и 2013 гг. астрономы обнаружили в ней три сверхновые, но ни одна из них не стала ярче 15.6^m . Другая относительно яркая галактика NGC1964, открытая Вильямом Гершелем в 1784 г. в созвездии Зайца, имеет блеск на целую величину ярче, чем у NGC1954, да и по угловому размеру она чуть-чуть больше: $5.6' \times 1.8'$. У NGC1964 яркое и плотное ядро, которое находится внутри пятнистого овального диска, окруженного спиральными рукавами с яркими звездными областями.

Чуть слабее блеск у NGC1744 (около 11.5^m), находящейся приблизительно в 32 млн св. лет от нас, однако для ее успешного наблюдения нужно прозрачное небо, галактика имеет довольно приличный угловой размер ($7.4' \times 3.5'$) и не высокую поверхностную яркость. NGC1832 тоже имеет блеск около 11.5^m ,

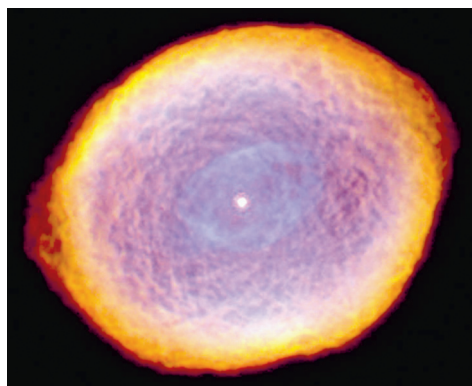


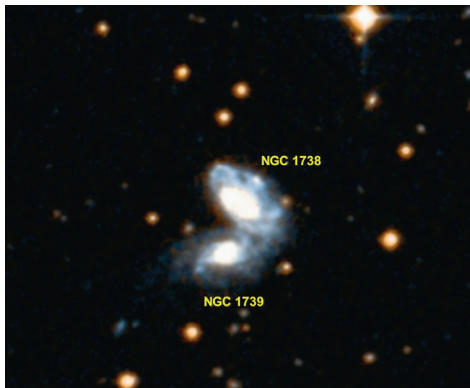
Шаровое звездное скопление М79. Изображение скомбинировано из двух снимков, сделанных Космическим телескопом Хаббла в 1995 и 1997 гг.

но при этом меньший угловой размер $2.6' \times 1.7'$, что возможно сделает ее более простой для поисков.

Галактика NGC1888, расстояние до которой оценивается примерно в 113.5 млн св. лет, хотя и имеет блеск около 12^m , выигрывает у других более высоким склонением – она расположена в северной части созвездия. Представляет собой спиральную галактику, видимую с ребра, из-за чего кажется вытянутым туманным пятном с угловыми размерами $3.0' \times 0.8'$. Это взаимодействующая галактика,

Планетарная туманность IC418. Фото Космического телескопа Хаббла. 2013 г.





Взаимодействующая пара галактик NGC1738/1739. Изображение из цифрового атласа Центра астрономических данных Страсбурга

рядом с ней можно заметить эллиптическую NGC1889, которая мало чем отличается от звезды – ее блеск равен 13.1^m , а угловой размер $0.6' \times 0.4'$. Вильям Гершель, который открыл NGC1888 в конце января 1785 г., так и не смог разглядеть NGC1889, видимо, приняв ее за обычную звезду. Но в 1851 г. британский астроном Вильям Парсонс (1800–1867)⁷ обратил внимание на туманность, которая окружает «звезду», а другой британский астроном Джон Дрейер (1852–1926) описал эту пару как двойную туманность. В дальнейшем астрономы установили, что NGC1888 и 1889 являются взаимодействующими галактиками.

Спиральные галактики NGC1738/1739 – еще одна пара взаимодействующих галактик в созвездии Зайца, из-за чего они сильно деформированы, правда, их блеск не ярче 13^m . Они открыты в 1885 г. американским астрономом Ормондом Стоуном (1847–1933).

Спиральная галактика с перемычкой NGC1784 будет интересна для наблюдателей с апертурами от 250 мм. Несмотря на блеск в 12^m , она выглядит лишь

⁷ Еремеева А.И. Вильям Парсонс (к 125-летию со дня рождения) // Земля и Вселенная. 2015. № 6. С. 39–49.

как туманное пятно $4.1' \times 2.6'$, но в различные инструменты можно попытаться разглядеть большое темное кольцо газа в восточной части галактики.

В границах созвездия Зайца галактик достаточно много. В каталоге NGC/IC в нем имеется 46 объектов внегалактической природы, которые были открыты к концу XIX в. В начале XXI в. в границах созвездия Зайца их отмечено более 8 тысяч! Однако все эти объекты слабее 13^m , так что доступны для уверенного наблюдения только в крупные инструменты с апертурой от 200 мм.

МЕТЕОРНЫЕ ПОТОКИ

Несмотря на скромные размеры, созвездие Зайца имеет радианты метеорных потоков, которые носят название не Зайциды, а Лепориды от его латинского названия. Они, как и само созвездие, не столь приметны. Октябрьские Лепориды, как можно понять из названия, действуют в этом месяце, а их пик происходит вблизи 15 числа. Активность метеоров довольно низкая, и лишь фотонаблюдения и патрули за ночь «вылавливают» единичные метеоры, иногда довольно яркие. Кто является их прародителем, до сих пор не известно.

В конце марта действует другой метеорный поток с обозначением мю-Лепориды, он связан с кометой 252P/Linear, открытой 7 апреля 2000 г., его зенитное число невелико – обычно 2–5 метеоров в час, да и то не всегда. Обнаружили этот поток только в 2016 г. новозеландские астрономы.

29 июля 2017 г. астрономы занимались поиском дневного метеорного потока (с помощью радиосредств) с радиантом в созвездии Зайца, который могла породить комета C/2015 D4, открытая российским астрономом Геннадием Борисовым. Но, по-видимому, результат был отрицательным, так как новый поток не внесен в базы данных.

EARTH & UNIVERSE

4 (352), 2023

July–August

TABLE OF CONTENT:

Lev M. ZELENYI Editorial	3
Anatoly M. CHEREPASCHUK Sixty Years Of X-Ray Astronomy: First Breakthrough in the Studies of Black Holes	9
Vitaly V. AKIMKIN James Webb Space Telescope: Its First Year	28
Olga S. SAZHINA Hubble Parameter As an Open Question of Cosmology	36
History of Cosmonautics	
Igor A. MARININ Many Facets Of <i>Interkosmos</i> Program	50
History of Science	
Sergey A. YAZEV Venus Transits: the Way They Measured the Distance to the Sun	61
Literary Space	
Rene P. ARMAND In the Memory of Vladimir Gubarev	73
Amateur Astronomy	
Yuri V. SOLOMONOV An Unnoticeable Lepus	88
Table of Content	91

Cover image: the edge of a nearby, young, star-forming region NGC 3324 in the Carina Nebula captured in infrared light by the Near-Infrared Camera (NIRCam) on NASA's James Webb Space Telescope. Image courtesy: NASA, ESA, CSA, STScI

Индекс 38808

Земля и Вселенная, 4/2023

Заведующая редакцией А.Ю. Обод

Редакторы С.А. Герасютин, Д.А. Кононов, О.С. Сажина

Корректор С.О. Розанова

Верстка макета Н.В. Мелкова

Просим обращаться

по вопросам публикации материалов:

+7(495) 276-77-35 (доб. 42-31), e-mail: zevs@naukapublishers.ru

по вопросам сотрудничества:

+7(495) 276-77-35 (доб. 43-01 или 43-02),

e-mail: journals@naukapublishers.ru

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/

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 03.07.2023 Подписано к печати 09.08.2023

Дата выхода в свет 24.08.2023 Формат 70 × 100¹/₁₆

Цифровая печать Усл.печ.л. 7.8 Уч.-изд.л. 7.8 Бум.л. 3.0

Тираж 1000 экз. Заказ № 26 Цена свободная

Учредители: РАН, ФГБУ «Издательство «Наука»

Редакция и издатель: ФГБУ «Издательство «Наука»

Адрес: 117997 Москва, ул. Профсоюзная, 90

Отпечатано в типографии ФГБУ «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

Справки по телефону:

8 (495) 624-7219



ИЗДАТЕЛЬСТВО
НАУКА
— 1727 —



НОВИНКИ И АКЦИИ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ



vk.com/naukapublishers



t.me/naukapublishersru

ИЗДАТЕЛЬСТВО
НАУКА
— 1727 —

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

Типография ФГБУ «Издательство «Наука»
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



«Наука»
Индекс 38808

издательство

НАУКА

— 1727 —

ISSN 0044-3948



9 770044 394007