

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

№ 3 (333) МАЙ-ИЮНЬ, 2020

ISSN 0044-3948

космонавтика
астрономия
геофизика

Нам 55 лет!

«ГЛАЗ НЕБЕСНЫЙ»

ВОЙНА И МИР ОБСЕРВАТОРИИ ПИК-ДЮ-МИДИ

РИМСКИЕ СОЗВЕЗДИЯ: ТЕМНОЕ ПРОШЛОЕ, КОРОТКАЯ ЖИЗНЬ



**ЭКЗОТАРИУМЫ ДРУГИХ СОЛНЦ:
КРУПНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ИЗУЧЕНИИ
ВНЕСОЛНЕЧНЫХ ПЛАНЕТ**

АНТИСТРЕСС-РАСКРАСКА В ПОДАРОК

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ ЖУРНАЛЫ ТЕПЕРЬ ДОСТУПНЫ ВСЕМ



Уважаемые коллеги!

Открыта подписка для физических лиц
на номера 2020 г. научно-популярных журналов
«Земля и Вселенная», «Природа»,
«Энергия: экономика, техника, экология»

Журнал «Земля и Вселенная»

Стоимость годового комплекта (6 номеров) 1200 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 42-31)

E-mail: zevs@naukaran.com

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

Журнал «Природа»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3000 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 41-71)

E-mail: priroda@naukaran.com

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

Журнал «Энергия: экономика, техника, экология»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3000 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 362-07-82

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

ул. Красноказарменная, 17а

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

«Земля и Вселенная» – 220 руб.

«Природа» – 270 руб.

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

реклама

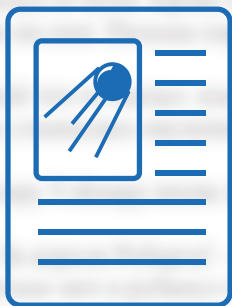


Издательство “Наука” оказывает услуги:

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

Высокопрофессиональные специалисты “Науки”
готовы к сотрудничеству

naukapublishers.ru



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

№3 (333)
МАЙ-ИЮНЬ, 2020

ISSN 0044-3948

космонавтика
астрономия
геофизика

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

На стр. 1 обложки:

Вид обсерватории Пик-дю-Миди в Пиренеях. Панорама получена из 12 фотографий. Справа – огни города Тарб (Франция) на расстоянии около 35 км, слева в низине – огни испанских городов. В небе можно различить дугу Млечного пути.
Фотография: Patrick Lécureuil

В НОМЕРЕ:

Колонка главного редактора	3
ГАДЕЛЬШИН Д.Р., ВАЛЯВИН Г.Г. Экзотариумы других солнц: крупные достижения в изучении внесолнечных планет	5
ШАЙХИСЛАМОВ И.Ф., ХОДАЧЕНКО М.Л. Горячие экзопланеты, новый класс планет, наблюдательные проявления и методы исследования	20
ИВАНОВ П.Б. «Горячие Юпитеры»: орбитальная эволюция, волны в звездах и приливы	30
АНАНЬЕВА В.И., ТАВРОВ А.В., ПЕТРОВА Е.В., КОРАБЛЁВ О.И. Зоны обитаемости. От Солнечной системы к экзопланетам	37
Обсерватории, институты	
ЛИСОВ И.А. «Глаз небесный»	46
Мнение	
ШУБИН П.С. Непреодолимая «вторая ступень»? О проблемах современной популярной литературы	53
Обсерватории, институты	
СОЛОМОНОВ Ю.В., ЕРХОВА Н.Ф. Война и мир обсерватории Пик-дю-Миди (к 150-летию основания)	56
История науки	
ЯЗЕВ С.А., ГОЛОВКО А.А. 80 лет наблюдений солнечных пятен в Иркутске	73
КАЗАКОВ Е.В. Римские созвездия: темное прошлое, короткая жизнь	79
In Memoriam	
Олег Васильевич Верходанов (17.03.1965–05.04.2020)	93
Александр Аронович Гурштейн (21.02.1937–03.04.2020)	93
Хроника сейсмичности Земли	
СТАРОВОЙТ О.Е., ЧЕПКУНАС Л.С., КОЛОМИЕЦ М.В. Сейсмичность Земли во втором полугодии 2019 года	95
Новые книги	
ДЕГТЯРЁВ А.О., ПОЛЯЧЕНКО В.А., СМИРИЧЕВСКИЙ Л.Д. «Алмазы» без грифа «Секретно»	99
Table of Content and Selected Abstracts	109

© Российская академия наук, 2020

© Редколлегия журнала «Земля и Вселенная» (составитель), 2020

© ФГУП «Издательство «Наука», 2020

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

Editorial Board:

Editor-in-chief
Acad. Dr. Lev M. ZELENYI
Acad. Dr. Anatoly M. CHEREPASCHUK
Dr. Konstantin V. IVANOV
Pilot-cosmonaut Alexander Yu. KALERI
Deputy Editor-in-chief
Acad. Dr. Vladimir M. KOTLYAKOV
Dr. Olga Yu. LAVROVA
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
Dr. Stanislav P. PEROV
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. Vladimir A. SOLOVYEV
Pilot-cosmonaut Pavel V. VINOGRADOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Olga V. ZAKUTNYAYA

Колонка главного редактора

Дорогие читатели, коллеги, друзья!

Эту колонку я пишу в преддверии Дня космонавтики и впервые за долгие годы в далеко не радужном весеннем настроении. COVID-19 показал беззащитность нашей цивилизации не только перед опасностями астероидной бомбардировки, мощными землетрясениями и извержениями вулканов, но и, к сожалению, перед возникшими, казалось бы, ниоткуда, вирусами.

Надеюсь, что к моменту, когда наш третий выпуск 2020 г. окажется у вас в руках, кризис выйдет из режима катастрофического развития, ситуация стабилизируется и мы начнем подводить первые горькие итоги происходящей сейчас трагедии. Она разрушит еще много наших ближних и среднесрочных планов, осложнит международное сотрудничество и разработку новой космической техники. Но наука – особенно космическая – НЕ уйдет на карантин! Уже возобновились прерванные на несколько дней сеансы связи с дорогими сердцу всех плазменщиков четырьмя спутниками европейского проекта *Cluster*. В условиях самоизоляции и дистанционной работы специалисты ИКИ РАН и НПО им. С.А. Лавочкина, работающие с астрофизической обсерваторией «Спектр-РГ», к 1 апреля завершили обзор половины небесной сферы, и в этих данных, в частности, российский рентгеновский телескоп ART-XC зафиксировал пробуждение черной дыры вблизи центра Галактики.

Продолжается, несмотря на все сложности, и программа работ на Международной космической станции. Новая ракета-носитель «Союз-2.1а» для первого запуска на ней пилотируемого корабля «Союз МС-16» с тремя членами экипажа успешно стартовала 9 апреля с космодрома Байконур и достигла Международной космической станции. На корабле «Союз МС-16» на МКС прибыли трое членов экипажа: российские космонавты Анатолий Иванишин и Иван Вагнер, а также американский

астронавт Крис Кэссиди. 17 апреля на Землю вернулся экипаж «Союза МС-15»: космонавт Роскосмоса Олег Скрипочка, астронавты NASA Эндрю Морган и Джессика Меир.

День космонавтики – традиционный повод подвести итоги и поговорить о будущем. Для планирования попробуем взять средний срок в 50 лет – думаю, что на таком масштабе последствия этого года уже не будут столь заметны. Сначала, для сравнения, я вернусь на полвека назад – в 1970 г., который еще хорошо помню, и попытаюсь представить, что бы ответил на подобный вопрос четверокурсник МФТИ, к тому времени ставший дипломником ИКИ АН СССР.

Детство – отрочество – юность тогдашнего поколения советских школьников прошли под знаком научной фантастики. Иван Ефремов, а потом братья Стругацкие, Рэй Бредбери, Станислав Лем и другие (включая тщательно отбираемую для перевода американскую фантастику) сформировали наше видение будущего даже не на сто, а на целых двести лет вперед. Оно было похоже на «космические оперы»: с ракетами, бороздящими межзвездные пространства, встречами со странными, но добрыми внутри инопланетянами, а чтобы не тратить время на дорогу – с нуль-транспортировкой в другие галактики. Картинка приближающегося третьего тысячелетия была в целом светла и оптимистична.

На такой высокой ноте все тогда начиналось. Но если бы в 1970 г. была написана подобная колонка, то глядя на нее сегодня, мы бы удивились собственной наивности, поняв, насколько та картина будущего далека от действительности и как «тектонически» сместились научные приоритеты за прошедшие полвека.

Список главных тем будущего пятидесятилетия, сочиненный в 1970 г., удивил бы нас отсутствием тех задач, которыми сейчас занимается боль-

шинство космических ученых. Мало кто из них думал тогда о том, чтобы исследовать экзопланеты (которым посвящен этот номер ЗиВ), изучать темную материю и темную энергию, которые определяют сегодня научную «повестку дня». Даже Солнце представлялось тогда гораздо более спокойной и устойчивой плазменной системой, чем сегодня, когда нам удалось рассмотреть его с близкого расстояния.

В ограниченном формате редакторской колонки я хотел бы поговорить только о наиболее близких мне сейчас планетных исследованиях, и об их ретроспективе и проекции в будущее.

Думаю, что в ближайшей перспективе с ускоряющимся темпом будут продолжаться исследования Солнца и объектов внутри Солнечной системы (включая малые планеты). Меня особенно интересуют будущие исследования объектов пояса Койпера и облака Оорта. Это ведь не только остатки славных тысячелетий рождения нашей Солнечной системы, оказавшиеся сейчас на ее «задворках». Вместе с более близкими к Земле малыми телами из пояса астероидов между Марсом и Юпитером они – главные источники астероидно-кометной опасности, которая «редко, но метко» может действительно приводить не только к региональным, но и глобальным катастрофам. По сравнению с ними, простите за возвращение к теме, нынешняя пандемия покажется не столь глобальной неприятностью. Сегодня уже на уровне комитетов ООН идут довольно интенсивные переговоры о международных системах противодействия АКО, хотя разработка способов воздействия на траектории этих тел потребует не одного десятилетия.

Я с нетерпением жду результатов исследований юпитерианских спутников Европы и Ганимеда, которые готовятся нашими коллегами из NASA и ЕКА, а также российских (в планируемом серьезном сотрудничестве с NASA) исследований Венеры. Хочу верить, что «время ожидания» для результатов этих миссий не превысит

десяти лет, и надеюсь увидеть их еще своими глазами.

И Юпитер, и Европа – цели для автоматических зондов. А что же человек? Здесь прогнозировать сложнее. Скажу честно, основных открытий в космосе я жду не от пилотируемых программ, а от все более интеллектуальных многофункциональных космических роботов, которые десятилетиями могут работать как внутри Солнечной системы, так и за ее пределами. Пилотируемая космонавтика, уверенно освоившая околоземные орбиты, вряд ли продвинется намного дальше них. Какие объективные задачи и цели есть для человека вне Земли?

Ответ на этот вопрос, видимо, находится на Луне. Для космонавтов на нашем спутнике найдется много важных задач: на лунных станциях планируется установить научное оборудование для многих технологических, астрофизических, селенологических и геофизических исследований. Но и там постоянное присутствие человека не нужно, оборудование должно работать в основном в автоматическом режиме – так что хорошо известный нам по освоению Арктики и Антарктики вахтовый метод должен быть использован и для освоения Луны, которую можно будет по праву назвать тогда седьмым континентом Земли.

И, как я думаю, орбитой Луны и, может быть, Марса, и ограничен предел проникновения человека в дальний космос. Полет к Марсу, столь притягательный для любого романтика, таит огромную реальную опасность для здоровья космонавтов, которому угрожают космические лучи. Удастся ли решить эту проблему, хотя бы для кратких полетов на Красную планету, тоже покажет ближайшее будущее.

Трудно предсказывать, особенно будущее, и я был бы рад, если бы мои, достаточно консервативные, прогнозы на 2070 г. не оправдались. Впрочем, все зависит в конечном счете от нас – так что давайте работать!

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

ЭКЗОТАРИУМЫ ДРУГИХ СОЛНЦ: КРУПНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ИЗУЧЕНИИ ВНЕСОЛНЕЧНЫХ ПЛАНЕТ



ГАДЕЛЬШИН Дамир Раелович,

кандидат физико-математических наук

ВАЛЯВИН Геннадий Геннадьевич,

кандидат физико-математических наук

Специальная астрофизическая обсерватория РАН

DOI: 10.7868/50044394820030019

Исследования экзопланет – новое направление в астрономической науке. Прошло всего 25 лет с момента первых достоверно подтвержденных обнаружений планет, обращающихся в системах других звезд. Открытие экзопланет стало возможным благодаря постройке инструментов нового поколения, чья стабильность и чувствительность позволили серьезно рассчитывать на расширение знаний об окружающем нас мире.

Внастоящее время экзопланетология переживает невероятный подъем, достигнуты очень большие успехи в изучении планетных систем. Количество открытых и подтвержденных планет перевалило за 4000. Они демонстрируют огромное разнообразие по величинам расстояния от своих родительских звезд, эксцентриситетам орбит, степени нагрева поверхности, массам, возрасту и ряду других

параметров. Открыты планеты самых разных типов, многие из которых не представлены в Солнечной системе. Открыты многопланетные системы, в которых количество известных планет не уступает количеству планет в Солнечной системе. Родительские звезды экзопланет также разнообразны, кроме того, открыты планеты в системах не только одиночных, но и двойных и кратных звезд.

У многих экзопланет есть атмосферы, в некоторых из которых зарегистрированы линии нескольких химических элементов. Для каких-то планет даже составлены грубые температурные карты поверхности.

Несмотря на все это, исследования чужих миров еще только начинаются. В частности, интереснейший вопрос о жизни на экзопланетах еще только предстоит изучить. Несомненно, он связан с самими планетами и их эволюцией.

ЧТО ТАКОЕ ЭКЗОПЛАНЕТА?

Несмотря на то, что четкое определение понятия «планета» существует с 2006 г., когда оно было официально утверждено участниками 26-й Ассамблеи Международного астрономического союза, оно не может включать в себя экзопланеты, поскольку те обращаются не вокруг Солнца. И до сих пор точного определения для внесолнечных планет не существует.

Однако в 2001 г. рабочей группой Международного астрономического союза было дано временное определение понятию «планета», которое не привязано к конкретной звезде.

«Планетами» или «экзопланетами» (*exo* – древнегреческое «вне», «за пределами») являются объекты, истинная масса которых ниже предельной массы для термоядерного синтеза дейтерия. В настоящее время эта предельная масса, вычисленная для объектов солнечной металличности, составляет 13 масс Юпитера. Планеты обращаются по орбите вокруг какой-либо звезды или звездного остатка,

«Планетами» или «экзопланетами» (exo – древнегреческое «вне», «за пределами») являются объекты, истинная масса которых ниже предельной массы для термоядерного синтеза дейтерия. В настоящее время эта предельная масса, вычисленная для объектов солнечной металличности, составляет 13 масс Юпитера

а способ их образования не важен. Минимальная масса, требуемая для того, чтобы внесолнечный объект считался планетой, должна быть такой же, как и в нашей Солнечной системе.

Субзвездные объекты, истинная масса которых выше предельной массы для термоядерного синтеза дейтерия, являются «коричневыми карликами», независимо от того, как они образовались, и где они находятся. По современным представлениям, масса коричневых карликов лежит в диапазоне 0.012–0.08 массы Солнца.

Свободно плавающие объекты в молодых звездных скоплениях с массой ниже предельной массы для термоядерного синтеза дейтерия «планетами» также не являются – это «субкоричневые карлики».

ИЗ ИСТОРИИ ОТКРЫТИЯ ЭКЗОПЛАНЕТ

Тысячи лет ученые, философы и писатели пытались понять устройство нашей Вселенной, задавались вопросом о месте человечества в ней. Некоторые мыслители прошлого задолго до появления современных средств и методов

исследования даже высказывали мнение о том, что звезды представляют собой далекие солнца, вокруг которых могут вращаться планеты, подобные Земле и другим планетам Солнечной системы. Одним из таких мыслителей был итальянский монах, философ и поэт Джордано Бруно, живший в XVI веке. Он предполагал, что жизнь есть не только на Земле, что она распространена в бесконечной Вселенной на планетах с разнообраз-

ными условиями, что формы, которые она принимает, бесконечно многообразны. Он также считал, что жизнь неизбежно порождает разум, причем разумные существа других планет совсем не должны походить на людей. В настоящее время истинность многих удивительных утверждений Бруно подтверждается современной наукой.

С момента появления астрофизики и новых методов исследования небесных объектов в XIX веке в течение почти ста лет неоднократно предпринимались попытки обнаружить планеты у других звезд. Большинство сообщений об открытиях до 1995 г. оказались ошибочными. Только два из них гораздо позднее были признаны мировым научным сообществом как реальные: в 1988 г. канадские астрономы Б. Кэмпбелл, Г. Уолкер и С. Янг сообщили об обнаружении массивной планеты у главного компонента двойной звезды Гамма Цефея (открытие было окончательно подтверждено лишь в 2003 г.); в 1992 г. польским астрономом А. Вольщаном с помощью радиотелескопа Аресибо были открыты две планеты суперземной массы у миллисекундного пульсара PSR1257+12.

Но о первом недвусмысленном открытии объекта планетной массы, обращаемого вокруг нормальной звезды главной последовательности, было объявлено швейцарскими астрономами Мишелем Майором и Дидье Кело в октябре 1995 г.¹ С помощью спектрографа

¹ См. статью К.А. Постнова «Наша Вселенная и другие земли», ЗиВ, №1, 2020 — Прим. ред.

С момента появления астрофизики и новых методов исследования небесных объектов в XIX веке в течение почти ста лет неоднократно предпринимались попытки обнаружить планеты у других звезд. Большинство сообщений об открытиях до 1995 г. оказались ошибочными. Только два из них гораздо позднее были признаны мировым научным сообществом как реальные

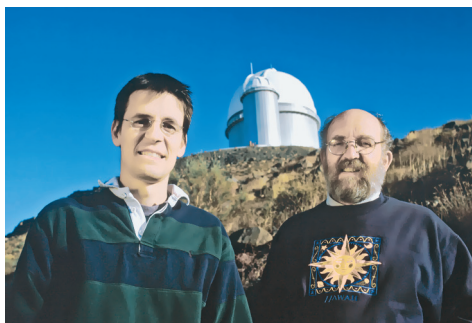
ELODIE, установленного на 1.93-метровом телескопе обсерватории Верхнего Прованса во Франции, они обнаружили синусоидальные доплеровские колебания солнцеподобной звезды 51 Пегаса, удаленной на расстояние 50 световых

лет от Земли. Эти колебания нельзя было объяснить известными физическими причинами, поэтому швейцарцы предложили единственно возможное объяснение – что их вызывает гравитация массивной планеты, которая движется по орбите с периодом около 4.2 суток. Такой короткий период означает, что планета должна располагаться экстремально близко к своей звезде – примерно в 0.05 астрономической единицы (для сравнения, Меркурий – ближайшая к Солнцу планета нашей системы – рас-

полагается почти в 0.39 а.е. от Солнца, и совершает один оборот по орбите за 88 суток). Амплитуда колебаний говорила о том, что планета должна иметь массу около 0.5 массы Юпитера. Впоследствии такие экзопланеты стали относить к типу «горячие юпитеры».

Научное сообщество в целом не сразу приняло такое объяснение, поскольку существование планеты на подобной орбите не предсказывалось имеющимися в то время моделями образования планетных систем. Современные же модели предполагают, что горячие юпитеры рождаются в протопланетных дисках относительно далеко от родительских звезд, а затем в результате различного рода взаимодействий мигрируют к центру системы.

Майор и Кело опубликовали свой результат в ноябре 1995 г. в журнале *Nature*. Почти сразу же после этого их



Дидье Кело и Мишель Майор на фоне 3,6-метрового телескопа обсерватории Ла-Силья. Фотография Европейской южной обсерватории (ESO)

открытие было независимо подтверждено американскими астрономами Джеффри Марси и Полом Батлером при помощи инструментов Ликской обсерватории в Калифорнии. Для Марси и Батлера достижение их европейских коллег стало большим ударом, поскольку они начали мониторинг большого количества близких звезд с целью обнаружить экзопланеты на много лет раньше. Но они ожидали, что новые планеты будут иметь длительные орбитальные периоды наподобие периодов планет-гигантов Солнечной системы, поэтому просто отбрасывали короткие периоды колебаний как ошибочные. Справедливости ради стоит отметить, что в последующие годы американцам удалось обнаружить сотни экзопланет.

В октябре 2019 г. «за открытие экзопланеты, обращающейся вокруг звезды солнечного типа» Майор и Кело были удостоены Нобелевской премии по физике.

ВАЖНЫЕ ВЕХИ В ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ ЭКЗОПЛАНЕТ

Указаны даты выхода соответствующей публикации. Ссылки на некоторые публикации приведены в конце статьи.

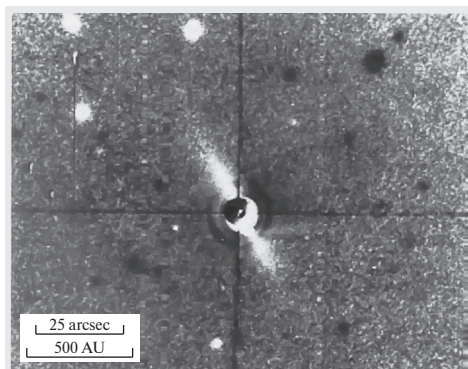
1) **Декабрь 1984 г.** Используя 2,5-метровый телескоп обсерватории Лас-Кампанас, американские астрономы впервые получили оптическое изображение осколочного диска звезды Бета Живописца.

2) **Август 1988 г.** Канадские астрономы заподозрили существование экзопланеты в системе двойной звезды Гамма Цефея, но твердо это было установлено существенно позже.

3) **Январь 1992 г.** Польский радиоастроном открывает две очень странные планеты суперземной массы, обращающиеся вокруг нейтронной звезды PSR1257+12. Вероятно, что эти планеты образовались из части вещества сверхновой и являются планетами второго поколения, либо они являются остатками ядер газовых гигантов, переживших сверхновую, либо же возникли из вещества диска, образовавшегося в результате «мягкого» слияния двух белых карликов.

4) **Ноябрь 1995 г.** Открытие швейцарцами первого горячего юпитера у звезды главной последовательности 51 Пегаса методом лучевых скоростей.

Первое изображение газопылевого диска у другой звезды, сделанное в обсерватории Лас-Кампанас. Диск Беты Живописца виден нам с ребра. Для масштаба указаны отрезки размером 25 угловых секунд и 500 а.е. Рисунок из статьи В.А. Smith & R.J. Terrile 1984



Оно почти сразу было подтверждено независимой группой астрономов из США.

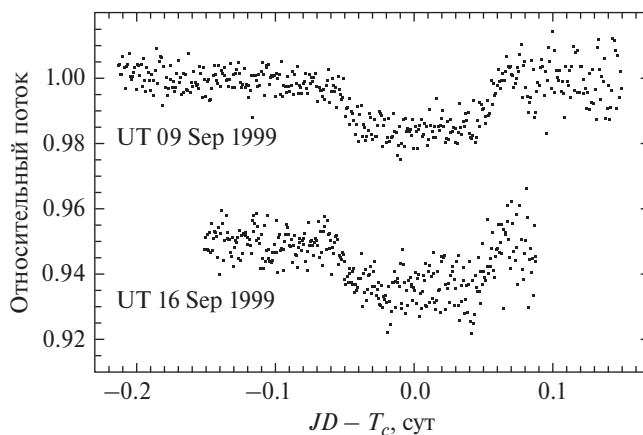
5) **Декабрь 1999 г.** Открытие первой многопланетной системы у звезды Ипсилон Андромеды.

6) **Январь 2000 г.** Сразу две группы астрономов из США независимо друг от друга сообщили о первом обнаружении транзитов горячего юпитера

HD209458 b осенью 1999 г., причем их статьи вышли в одном номере издания *The Astrophysical Journal*. Открытие первой транзитной планеты развеяло все оставшиеся сомнения относительно происхождения большинства вариаций лучевых скоростей звезд, подобных тем, что наблюдаются у 51 Пегаса, и придало мощный импульс для крупномасштабных усилий по поиску и изучению транзитных экзопланет, ведь с этого момента стало возможным определять средние плотности экзопланет и накладывать ограничения на их химический состав.

7) **Декабрь 2001 г.** Открытие первой экзопланеты в зоне обитаемости солнцеподобной звезды HD28185. Эта планета представляет собой газовый гигант, который гораздо массивнее Юпитера, но если вокруг него обращается один или несколько крупных спутников, то они могут быть кандидатами в обитаемые миры.

8) **Март 2002 г.** Первая регистрация следов атмосферы в трансмиссионном спектре уже упоминавшегося (см. п. 6) горячего юпитера HD209458 b – были обнаружены линии поглощения дублета натрия на длине волны 589.3 нм. Это замечательное открытие продемонстрировало возможности изучения химического состава и строения атмосферы экзопланет.

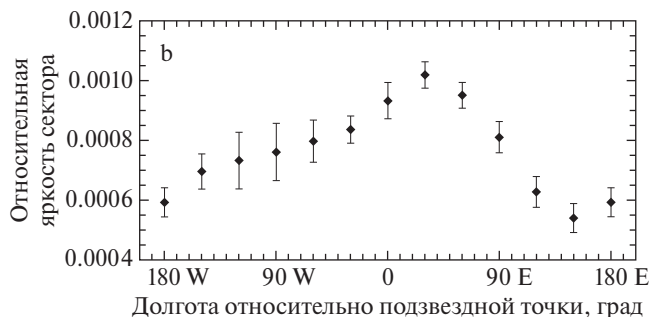
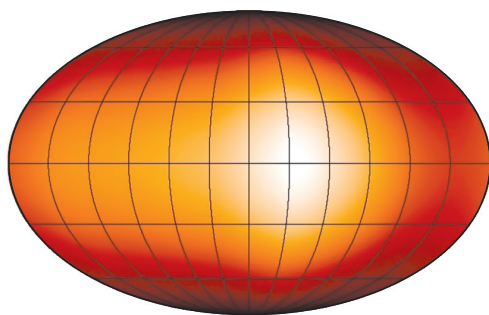


Кривые блеска HD209458, полученные группой Дэвида Шарбонно с использованием красного фильтра, близкого к джонсоновскому R. Видимые здесь провалы блеска являются первыми известными транзитами экзопланеты. Рисунок из статьи D. Charbonneau et al. 2000

Трансмиссионный спектр представляет собой распределение глубин транзитов планеты в зависимости от длины волны электромагнитного излучения.

9) **Ноябрь 2005 г.** Первое открытие планеты типа «суперземля», которая обращается вокруг обычной звезды GJ 876. Суперземлями называются планеты, массы которых лежат в диапазоне между массой Земли (крупнейшей планеты земного типа Солнечной системы) и массой Урана (наименьшей из планет-гигантов Солнечной системы).

10) **Декабрь 2006 г.** Запуск первого космического телескопа CoRoT, основной задачей которого являлся поиск транзитных экзопланет. Аппарат был сконструирован Национальным центром космических исследований Франции и несколькими научно-исследовательскими центрами других стран Европы при участии Европейского космического агентства. Диаметр входного зрачка телескопа составлял 27 см. CoRoT не был предназначен для поиска долгопериодических планет –



Распределение яркости по «поверхности» HD189733 b. Рисунок из статьи Н.А. Knutson et al. 2007

наблюдения велись на нескольких различных участках неба с продолжительностью по 150 и по 30 суток. Также он мог находить только достаточно крупные тела – в несколько раз больше Земли. За 6 лет работы с его помощью удалось обнаружить 34 транзитные экзопланеты, которые впоследствии были подтверждены наземными исследованиями.

11) **Май 2007 г.** С помощью данных космического телескопа «Спитцер» (Spitzer, NASA), работавшего в инфракрасном диапазоне, впервые была построена карта распределения температур по «поверхности» горячего юпитера HD189733 b. Как и большинство других подобных планет, он всегда повернут одной стороной к родительской звезде, но самая горячая область его облачного покрова оказалась заметно смещена относительно подзвездной точки

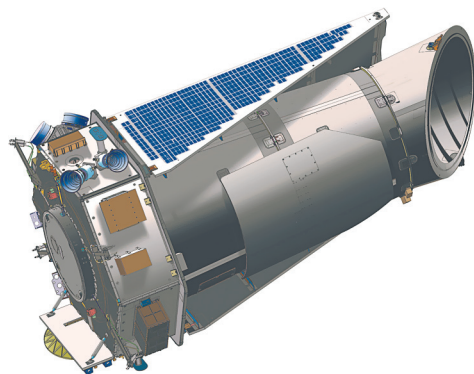
по долготе на восток. Это означает, что в атмосфере экзопланеты существуют мощные ветровые течения, эффективно переносящие тепловую энергию с дневной стороны на ночную.

12) **Ноябрь 2008 г.** Получено первое прямое изображение планеты у другой звезды. На снимках с космического телескопа им. Хаббла планета видна как слабый объект, располагающийся вблизи внутреннего края пылевого диска звезды Фомальгаут.

13) **Март 2009 г.** Запуск космической обсерватории NASA «Кеплер» (Kepler) на гелиоцентрическую орбиту. Ее основным предназначением являлся поиск экзопланет транзитным методом (другой важной задачей было изучение звезд, например, методами астросейсмологии). С этого момента начинается эпоха массового открытия экзопланет с самыми разнообразными размерами, в том числе очень небольшими.

Диаметр входного отверстия телескопа равен 1 м. Научная аппаратура

Телескоп «Кеплер». Изображение NASA

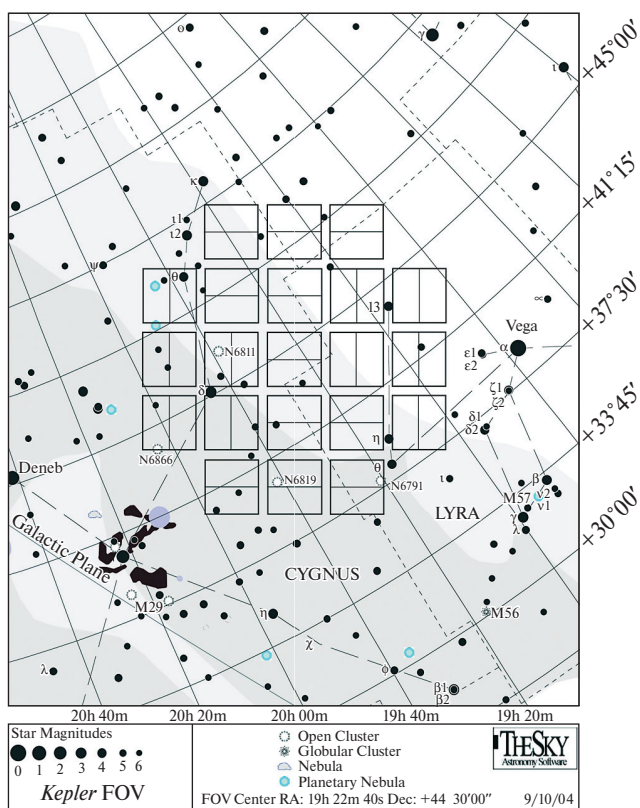


«Кеплера» включала светоприемник, состоящий из 42 ПЗС-матриц с общим разрешением 95 млн пикселей. Поле зрения телескопа, пригодное для исследований, покрывало область неба площадью 105 квадратных градусов.

Продолжительность основной миссии «Кеплера» составила почти ровно 4 года – с мая 2009 по май 2013 г., но после ее окончания научная программа была продолжена в рамках расширенной миссии «К2». В октябре 2018 г. NASA объявило об окончании работы телескопа в связи с исчерпанием топлива на борту.

Без преувеличения, собранные аппаратом данные позволили совершить революционный скачок в нашем понимании устройства планетных систем, а чрезвычайно разнообразие физико-химических и орбитальных свойств экзопланет превзошло все ожидания. За почти 10 лет работы «Кеплера» учеными разных стран мира было опубликовано около 3000 статей в рецензируемых изданиях, но анализ данных телескопа продолжается и сегодня.

14) **Декабрь 2009 г.** Первое открытие транзитного «мининептуна». Планета обращается вокруг звезды – красного карлика GJ 1412, и впервые была детектирована сетью роботизированных телескопов проекта MEarth. Мининептуны – новый тип экзопланет, массы которых лежат в диапазоне значений суперземель. В отличие от планет земной группы (или скалистых планет) мининептуны содержат много летучих веществ в своем составе, например,



Область наблюдения «Кеплера» на карте неба в рамках основной миссии охватывала часть созвездий Лебедя, Лыры и Дракона. Размеры кружков обозначают звездную величину. Значки используются для обозначений (сверху вниз): открытых скоплений, шаровых скоплений, туманностей, планетарных туманностей. Координаты центра поля зрения: RA 19 ч 22 м 40 с Dec. +44 30' 00".
Изображение NASA

воду, метан, аммиак, водород и гелий, которые значительно увеличивают оптический радиус планеты.

15) **Октябрь 2010 г.** Открытие первой мультитранзитной системы Kepler-9, в которой транзитными являются сразу несколько планет.

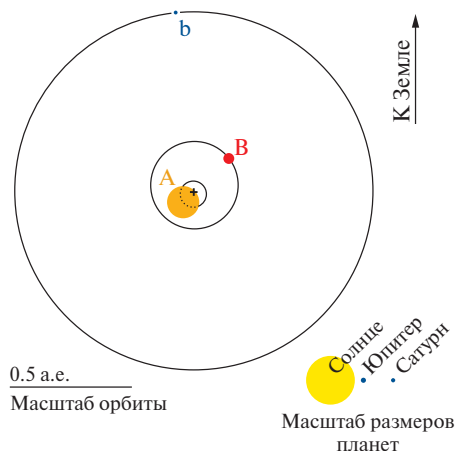
16) **Февраль 2011 г.** Открытие невозмущенной системы Kepler-11 с шестью транзитными мининептунами,

орбиты которых упакованы в пределах 0.5 а.е. от родительской звезды, показало, насколько плоскими бывают планетные системы. И хотя орбиты планет Солнечной системы наклонены друг к другу в пределах нескольких градусов, внешний наблюдатель никогда бы не увидел транзитными более трех планет в ней одновременно.

В последующие годы «Кеплером» и другими проектами было обнаружено множество плоских компактных мультитранзитных систем. По плотности упаковки некоторые системы сравнимы скорее не с Солнцем и его планетами, а с Юпитером и галилеевыми спутниками – в них орбиты сразу четырех, пяти или даже шести планет располагаются в пределах 0.1–0.2 а.е. от родительской звезды.

17) **Сентябрь 2011 г.** Открытие первой транзитной планеты, обращающейся вокруг тесной двойной звезды Kepler-16, состоящей из компонентов, принадлежащих главной последовательности. Орбита планеты в этой системе наклонена к плоскости орбиты родительской пары всего на 0.5° , что говорит об образовании ее из общего для двух звезд протопланетного диска.

Схема системы Kepler-16. Рисунок из статьи L.R. Doyle et al. 2011



В настоящее время обнаружено уже более десяти аналогичных систем, где планеты обращаются вокруг пары звезд как целого.

18) **Январь 2014 г.** Открытие первой сверхраздутой планеты суперземной массы в системе Kepler-87 явилось большой неожиданностью для астрономов – как и открытие некоторых других типов экзопланет – и никак не предсказывалось теориями формирования планетных систем. В отличие от мининептунов такие планеты включают в себя очень много водорода и гелия: их массовая доля может составлять более половины полной массы планеты (против нескольких процентов у мининептунов).

В настоящее время обнаружено уже больше десятка подобных экзопланет.

19) **Апрель 2014 г.** Обнаружена первая землеразмерная планета в зоне обитаемости красного карлика (Kepler-186).

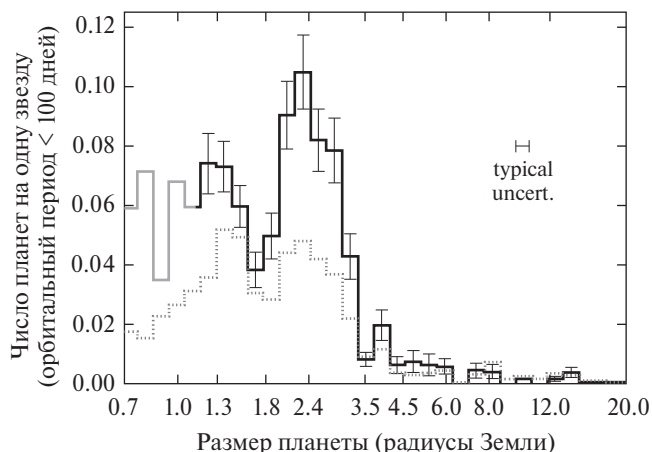
20) **Август 2016 г.** Обнаружен потенциальный аналог Земли в системе ближайшей к Солнцу звезды – Проксимы Центавра (Proxima Centauri b).

21) **Сентябрь 2017 г.** В распределении более чем 2000 экзопланет «Кеплера» по размерам обнаружен значительный недостаток планет с радиусами 1.5–2 радиуса Земли, который впоследствии назовут «зазором Фултона» (по имени астронома, открывшего явление). Этот «зазор» разделяет две популяции экзопланет по составу: те из них, радиусы которых меньше 1.5 радиуса Земли, вероятнее всего, относятся к скалистым планетам; а те из них, радиусы которых превышают 2 радиуса Земли, с большой вероятностью являются мининептунами. И хотя со все возрастающим количеством планет с измеренными плотностями «граница» между планетами разных типов была определена еще в 2013–2014 гг., вывод о ее существовании был подкреплён с появлением надежных данных о расстояниях

до звезд «Кеплера» от космического телескопа *Gaia*.

При этом, согласно более поздним расчетам, зазор Фултона не может быть объяснен только фотоиспарением (испарением под действием излучения звезды) внешних оболочек мининептунов. По-видимому, имеют значение и начальные факторы, вроде испарения оболочек с активных горячих ядер, образования планет в богатых и бедных летучими веществами областях протопланетных дисков (и их миграции), эрозии атмосфер в результате серии столкновений протопланет.

22) **Февраль 2018 г.** Открыта восьмая планета у звезды Kepler-90. Таким образом, эта система по количеству известных планет сравнялась с Солнечной. Совершенно очевидно, что некоторые планетные системы могут

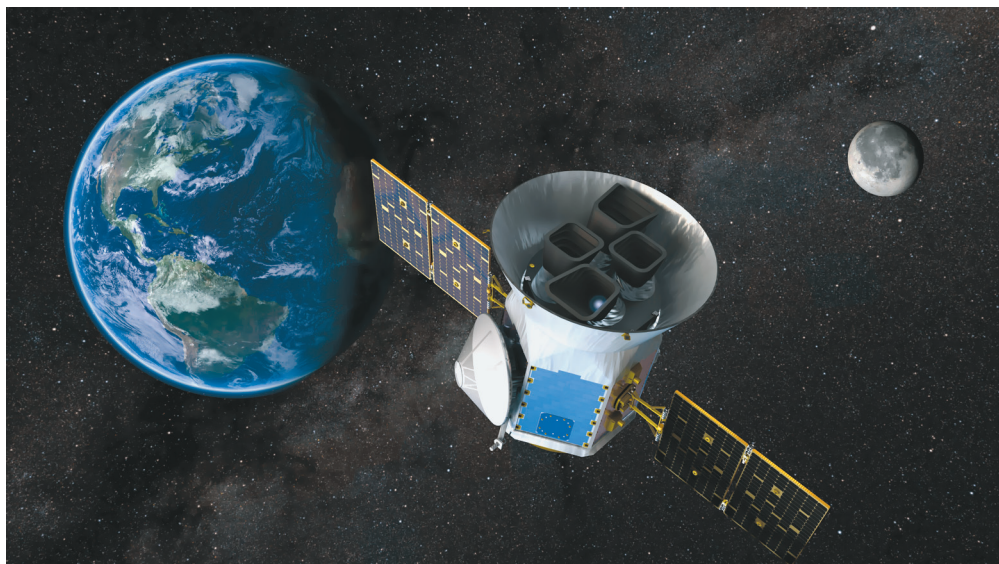


Зазор Фултона в распределении планет «Кеплера» по радиусам. Рисунок из статьи B.J. Fulton & E.A. Petigura 2018

сильно превосходить нашу по этому показателю.

23) **Апрель 2018 г.** Запуск действующего ныне космического аппарата TESS (NASA и Массачусетский технологический институт) с целью поиска

TESS оснащен четырьмя 10-сантиметровыми телескопами с очень широкими полями зрения. Аппарат вращается на лунно-резонансной орбите вокруг Земли с периодом около 13.7 суток. Изображение NASA





LHS3844 b в представлении художника. Этот скалистый голый мир размером 1.3 размера Земли обращается по орбите вокруг тусклого красного карлика с периодом всего лишь 11 часов. Изображение NASA

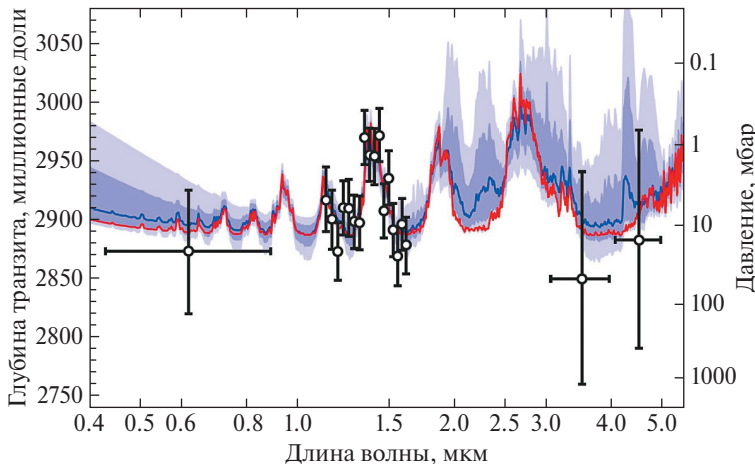
транзитных экзопланет у ярких звезд. В рамках основной и расширенной миссии он покроем наблюдениями значительную часть небесной сферы. Большинство участков наблюдается им лишь в течение одного месяца – там будут обнаружены планеты с короткими периодами.

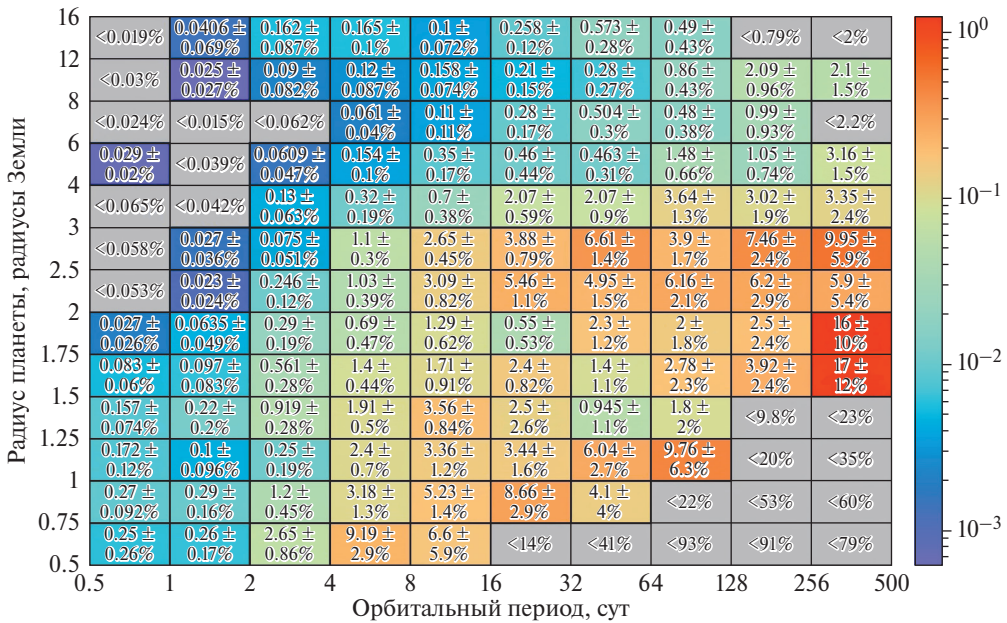
24) **Август 2019 г.** По данным космического телескопа «Спитцера» составлена карта поверхностной яркости транзитной суперземли LHS3844 b, ранее открытой телескопом TESS. Она

оказалась очень контрастной и симметричной относительно подзвездной точки. Это значит, что данная скалистая планета лишена плотной атмосферы. Даже более того – вероятнее всего, ее поверхность напоминает безвоздушную поверхность Луны или Меркурия.

25) **Сентябрь 2019 г.** В богатой водородом атмосфере мининептуна K2-18 b, обращающегося в зоне обитаемости красного карлика, впервые обнаружен водяной пар. Трансмиссионный спектр этой планеты был получен в ближнем инфракрасном диапазоне с помощью телескопа им. Хаббла. К сожалению, наличие водных облаков на планете, получающей почти столько же энергии от своей звезды, сколько наша Земля получает от Солнца, вовсе не означает ее потенциальной обитаемости. Низкая средняя плотность K2-18 b и доминирование водорода в ее атмосфере практически однозначно свидетельствуют о том, что под слоем внешних облаков скрывается мощная оболочка из сверхкритической жидкости, которая простирается на тысячи километров вглубь планеты.

Трансмиссионный спектр K2-18 b. Красной и синей линиями показан модельный спектр, а кружками – наблюдательные данные. Главной особенностью этого спектра является полоса поглощения водяного пара с длиной волны около 1.4 мкм. Рисунок из статьи V. Venneke et al. 2019





Частота встречаемости планет у звезд классов F, G и K по данным телескопа «Кеплер». Рисунок из статьи D.C. Hsu et al. 2019

26) **Декабрь 2019 г.** Состоялся запуск на околоземную орбиту небольшого космического телескопа «Хеопс» (CHEOPS), принадлежащего Европейскому космическому агентству. Главной задачей миссии за 3.5 года наблюдений будет уточнение размеров известных экзопланет, поиск транзитов планет, найденных методом лучевых скоростей, измерение масс планет путем тайминга транзитов, а также поиск новых планет в системах с уже известными транзитными планетами.

ОСНОВНАЯ СТАТИСТИКА ОТКРЫТИЙ. РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ ПЛАНЕТ У ЗВЕЗД

Согласно сайту «Энциклопедия внесолнечных планет»², на сегодняшний день открыто около 4200 экзопланет, обращающихся примерно в 3100 системах.

Около 72% всех известных экзопланет открыто транзитным методом, 21% экзопланет – методом лучевых скоростей, 3.2% открытий сделано путем получения прямых изображений, 2.5% приходится на метод гравитационного микролинзирования, и менее 2% открытий сделано всеми остальными методами.

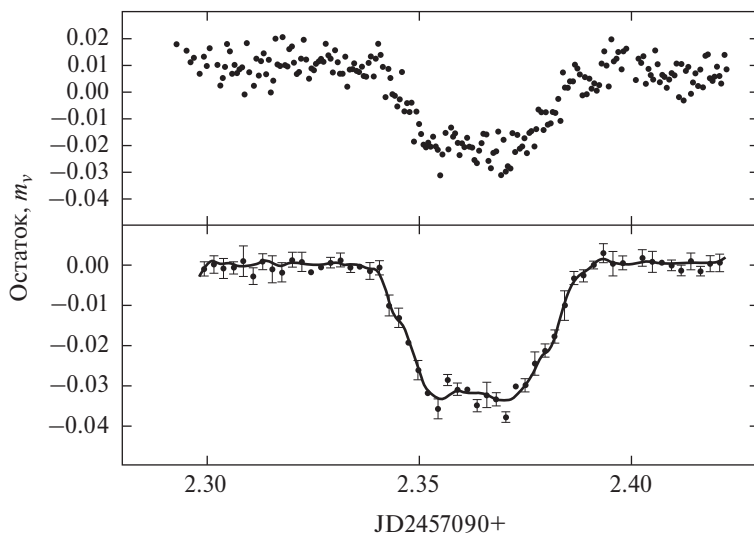
Такая большая доля транзитного метода объясняется успехами основной и расширенной миссии «Кеплера»: согласно экзопланетному архиву NASA (NASA Exoplanet Archive)³, по состоянию на февраль 2020 г. в ее рамках открыто и подтверждено более 2740 экзопланет, и еще около 3300 остаются в статусе кандидатов. Почти половина всех кандидатов «Кеплера» имеют радиусы менее 2 радиусов Земли, и 41% всех кандидатов входит в состав мультитранзитных систем.

² <http://exoplanet.eu>

³ <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/>



Два главных оптических инструмента САО РАН: 6-метровый и 1-метровый телескопы. Фотография из личного архива С.В. Драбека



Фотометрический портрет транзита горячего юпитера WASP-43 b, полученный с помощью 1-м телескопа САО РАН 11 марта 2015 г.

На основе данных «Кеплера», накопленных за время работы основной миссии, неоднократно была вычислена частота встречаемости планет у звезд. Более поздние работы учитывают не только геометрические вероятности транзитной конфигурации, неполноту каталога «Кеплера» (некоторые транзитные планеты могут так и остаться не обнаруженными из-за слишком низкого отношения «сигнал-шум»), присутствие в нем ложных кандидатов (астрофизического или технического характера), но и мультитранзитность

многих систем, тенденцию планет собираться в группы в рамках одной системы (в Солнечной системе, например, имеются две выделенные группы больших планет: планеты земной группы и планеты-гиганты) и другие особенности.

Согласно разным авторам, доля звезд спектрального класса F, G и K, имеющих хотя бы одну планету в пределах досягаемости «Кеплера» (т.е. в пределах орбитальных периодов от 0.5–3 до 300–500 суток), составляет от 0.5 до 1. При этом среднее число планет у звезд,

обладающих планетными системами, в данном диапазоне периодов составляет от 4 до более, чем 8. Некоторые авторы отмечают, что по сравнению с большинством других планетных систем Галактики наша Солнечная система выглядит весьма «пустынной», так как ближайшая к Солнцу планета слишком мала и расположена довольно далеко от звезды (на фоне планет «Кеплера»).

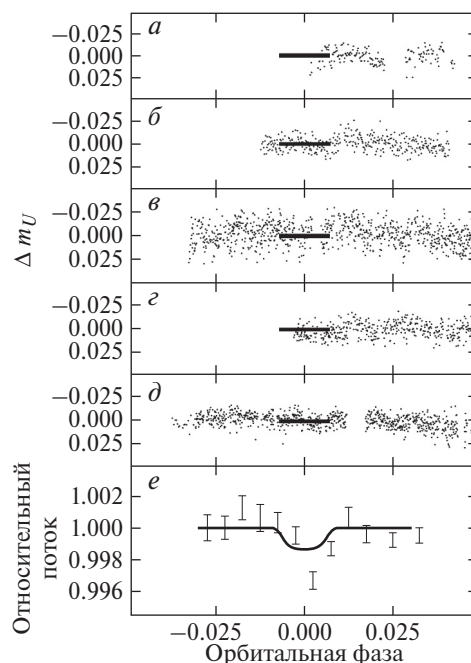
Распространенность горячих юпитеров оказалась сильно зависящей от металличности родительских звезд, но в среднем только около 1% F, G и K-звезд обладают такими планетами.

Частота встречаемости землеразмерных планет в зоне обитаемости солнцеподобных звезд составляет по разным оценкам от 5 до 10% или даже от 10 до 50%. Такое слабое ограничение распространенности связано с тем, что надежных аналогов Земли у аналогичных Солнцу звезд до сих пор не обнаружено.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКЗОПЛАНЕТ В РОССИИ

К сожалению, в России по разным причинам данное направление сильно отстает от уровня мировой науки, особенно в части наблюдательной астрономии. Между тем за последние 10 лет сформировалось несколько отечественных рабочих групп по исследованию экзопланет из астрономов Коуровской, Пулковской, Специальной астрофизической обсерваторий Академии наук, Казанского федерального университета. Их усилиями совместно с группами из других стран открыто уже почти десять экзопланет. Также несколько научных групп из ИНАСАН, ГАИШ МГУ, ИКИ РАН и других известны сильными теоретическими исследованиями экзопланет. Хочется верить, что наметившийся тренд в нашей стране будет только крепнуть.

В Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук (САО РАН) несколько лет назад сформировалась группа, изучающая экзопланеты и их атмосферы. К настоящему моменту нам удалось провести несколько исследований и получить интересные результаты. В частности, удалось адаптировать панорамный фотометр 1-метрового телескопа САО для проведения на нем многоцветных наблюдений экзопланет с характерными точностями регистрации связанных с ними транзитных событий



Сфазированные временные ряды блеска HD219134 в единицах остаточных звездных величин в фильтре U для пяти разных ночей наблюдений с августа 2015 (a) до ноября 2016 года (e). Сплошная горизонтальная линия на нулевом уровне на панелях (a)–(e) – ожидаемый транзит. На панели (f) представлены результаты усреднения данных и модель формы транзита (сплошная линия) в единицах относительного потока. Рисунок и пояснения к нему из статьи Valyavin et al. 2018



Комплекс роботизированных телескопов с диаметрами зеркальных объективов 0.5 метра. Предназначен для проведения массовых наблюдений с целью тайминга транзитов известных экзопланет, чтобы детектировать новые экзопланеты. Фотография из личного архива Г.Г. Валявина, руководителя группы изучения экзопланет САО РАН

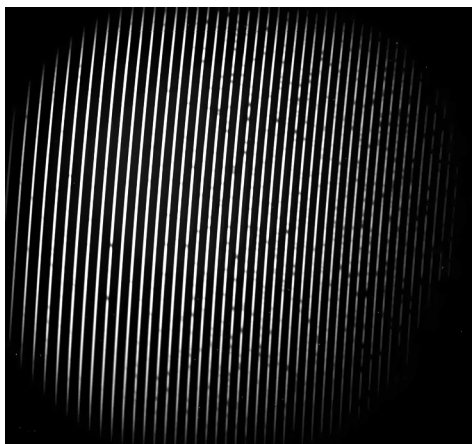


Диспергирующая оптика спектрографа высокого спектрального разрешения САО РАН для исследования экзопланет. Слева – кросс-дисперсионная призма с крупногабаритной дифракционной решеткой эшелле. Справа – кросс-дисперсионная призма с другого ракурса. Фотография из личного архива Г.Г. Валявина

около 0.05% и даже выше. Таких точностей вполне хватает для регулярных наблюдений транзитных планет с размерами от размера Юпитера до Нептуна, и в ряде случаев планет меньшего размера – мининептунов с радиусами 2–3 радиуса Земли.

С этим инструментом начаты регулярные наблюдения транзитов уже от-

крытых экзопланет с целью детального исследования их физических характеристик и поиска новых многопланетных систем методом тайминга. Первыми наиболее успешными результатами мы считаем построение трансмиссионного спектра и обнаружение свидетельств существования протяженной газовой оболочки у горячего юпитера WASP-32 b.



Образец спектра высокого разрешения, полученный с помощью нового спектрографа БТА САО РАН

Из анализа трансмиссионного спектра экзопланеты WASP-43 b получена прямая оценка температуры ее ночной стороны (935 ± 37 K).

Удалось также зарегистрировать и исследовать транзит недавно открытой суперземли HD219134 b. Признаки существования этой планеты ранее были обнаружены европейской группой при анализе лучевых скоростей звезды и по наблюдению транзитов космическим телескопом «Спитцер» в инфракрасном диапазоне. В расчетное время мы несколько раз зарегистрировали транзит в ближнем ультрафиолетовом диапазоне. Этот результат проиллюстрировал возможность исследования наземными наблюдательными средствами небольших экзопланет.

При поддержке Российского научного фонда (РНФ) нами построен и уже введен в эксплуатацию комплекс роботизированных малых телескопов с диаметром зеркал 0.5 метра. Комплекс предназначен для работы в традиционных программах САО и для проведения регулярных многоцветных наблюдений транзитов экзопланет по

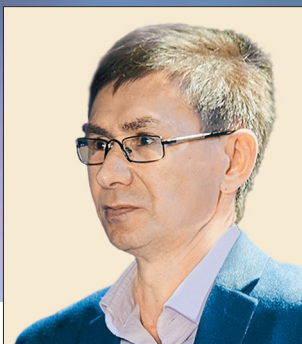
программе поиска многопланетных систем. С 2020 г. комплекс начал наблюдения в режиме опытной эксплуатации.

Наконец, большие надежды для развития экзопланетного направления России возлагаются на новый спектрограф, построенный при финансовой поддержке РНФ и недавно установленный на 6-метровом телескопе БТА САО РАН. Ожидается, что с его помощью станет возможным проводить высокоточные исследования, в частности, измерять массы разнообразных экзопланет, в том числе и некоторых некрупных скалистых планет, обращающихся вокруг карликовых звезд на тесных орбитах. Первые пробные наблюдения со спектрографом состоялись осенью 2019 г. Первые научные результаты с инструментом ожидаются в 2020 году.

ЛИТЕРАТУРА

1. A Search for Substellar Companions to Solar-type Stars // Campbell, B., Walker, G. A. H., Yang, S. 1988, The Astrophysical Journal, v. **331**, p. 902.
2. A Jupiter-mass companion to a solar-type star // Mayor, M., Queloz, D. 1995, Nature, v. **378**, p. 355.
3. Detection of an Extrasolar Planet Atmosphere // Charbonneau, D. et al. 2002, The Astrophysical Journal, v. **568**, p. 377.
4. A closely packed system of low-mass, low-density planets transiting Kepler-11 // Lissauer, J. J. et al. 2011, Nature, v. **470**, p. 53.
5. A terrestrial planet candidate in a temperate orbit around Proxima Centauri // Anglada-Escudé, G. et al. 2016, Nature, v. **536**, p. 437.
6. The California-Kepler Survey. III. A Gap in the Radius Distribution of Small Planets // Fulton, B. J. et al. 2017, The Astronomical Journal, v. **154**, id. 109.
7. The Interior and Atmosphere of the Habitable-zone Exoplanet K2-18b // Madhusudhan, N. et al. 2020, The Astrophysical Journal Letters, v. **891**, id. 7.

ГОРЯЧИЕ ЭКЗОПЛАНЕТЫ, НОВЫЙ КЛАСС ПЛАНЕТ, НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ



ШАЙХИСЛАМОВ Ильдар Фаритович,

доктор физико-математических наук
Институт лазерной физики Сибирского отделения РАН

ХОДАЧЕНКО Максим Леонидович,

Институт космических исследований,
Австрийская академия наук, Грац, Австрия

DOI: 10.7868/S0044394820030020

В настоящее время обнаружение и изучение экзопланет является одной из самых бурно развивающихся отраслей астрофизики и астрономии, которая к тому же стимулирует другие области физики, химии и астробиологии. Значительная часть астрономических наблюдений активно переключилась на эту область. Были специально созданы и успешно проработали на орбите такие телескопы как CoRoT и Kepler, которые открыли тысячи экзопланет. Планируется также запуск Российской ультрафиолетовой обсерватории «Спектр-УФ». Благодаря космическому телескопу им. Хаббла были получены уникальные данные о транзитах экзопланет в ультрафиолетовом диапазоне длин волн. Все больше рабочего времени наземных телескопов посвящаются наблюдениям экзопланетных атмосфер, и в последнее время были получены высококачественные спектры поглощения в линиях видимого и инфракрасного диапазонов. На следующие 10 лет запланирован ввод в эксплуатацию гигантских наземных телескопов, которые тоже будут нацелены на изучение экзопланет. Эта активность связана с тем, что данная область знаний только формируется, и в ближайшие годы будет сделано большое количество фундаментальных открытий и создан задел на многие годы вперед.

Из большого разнообразия экзопланет особо выделяются так называемые горячие юпитеры, которые, по меркам Солнечной системы, обращаются экстремально близко к звезде. В силу относительно короткого периода транзита и достаточно большого размера объекта такие планеты создают хорошо выраженную модуляцию кривой блеска. Их гораздо легче обнаружить на фоне естественных и инструментальных шумов даже без длительных непрерывных наблюдений. Таким образом, и в дальнейшем горячие юпитеры останутся многочисленным классом вновь открываемых экзопланет и важным объектом исследований. В настоящий момент около 10% всех обнаруженных экзопланет являются горячими юпитерами или теплыми нептунными, то есть обладают массой от 0.05 до 5 масс Юпитера и имеют радиус орбиты <0.2 а.е. При этом практически половина из них обращаются вокруг своих звезд на расстояниях менее чем 0.05 а.е., что в 8 раз меньше, чем орбита Меркурия и составляет менее десятка радиусов звезды.

Сам факт обнаружения горячих юпитеров поставил вопрос о пересмотре теорий формирования планетных систем, и в настоящее время разрабатываются модели интенсивной миграции планет, либо их формирования непосредственно вблизи звезды. Только детальное понимание эволюции горячих планет позволит решить эту проблему. Транзитная спектроскопия открывает уникальные возможности для определения независимым образом химического состава планет за пределами Солнечной системы и сравнения с другими способами измерений. Она также способна дать информацию о параметрах

плазменного ветра звезд. Поскольку непосредственное измерение скорости, температуры и плотности ветра других звезд является недоступным, создание соответствующих методов имеет большую научную значимость.

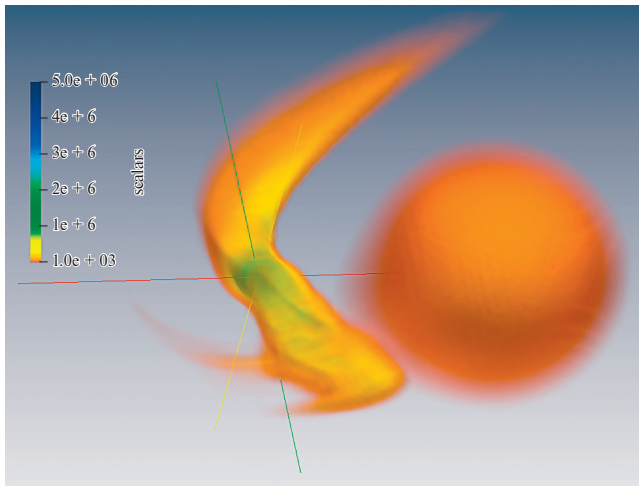
Плазмосфера горячих экзопланет, образованная истечением верхней атмосферы под воздействием звездной радиации, является новым объектом в астрофизике и космической плазме.

Плазмосфера горячих экзопланет, образованная истечением верхней атмосферы под воздействием звездной радиации, является новым объектом в астрофизике и космической плазме.

Интенсивный выброс планетарного вещества в форме ветра, зачастую сверхзвукового, оказывает влияние на всю звездную систему и порождает ряд новых, ранее неизучавшихся процессов. В связи с этим возникло несколько задач, которые охватывают ряд научных направлений – миграция

планет, планетные атмосферы и их эволюция, аккреция планетарного вещества на звезду. Исследование и моделирование плазмосфер горячих экзопланет необходимо в первую очередь для интерпретации наблюдательных данных, поскольку значительно расширяет возможности по измерению самых разных физических и химических характеристик как самих планет, так и родительских звезд. Вопросы эволюции планетарных атмосфер и наблюдательный потенциал горячих экзопланет также затрагивают общенаучные проблемы – формирование планетарных систем пригодных для жизни, поиск биомаркеров, космическая погода вокруг других звезд.

Понимание того, что газовые планеты, вращающиеся на экстремально близких орбитах, создают вокруг себя уникальную плазмо- и экзосферу, начало складываться с 2003 года. Гельмут Ламмер из Института космических исследований Австрийской академии



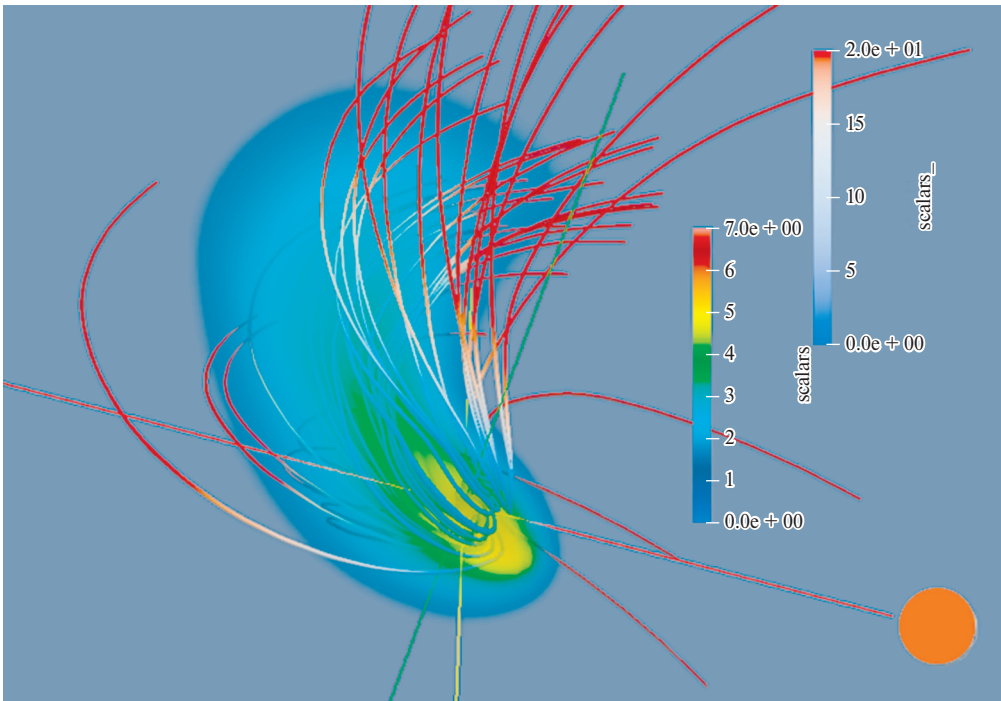
Планетарное течение горячего Юпитера HD209458b на фоне родительской звезды Солнечного типа. Концентрация протонов. Источник: Shaikhislamov I.F., Khodachenko M.L., Al-Ubaidi T., Lammer H., Berezutsky A.G., Miroschnichenko I.B., & Rumenskikh M.S. (2018, September). *Global 3D multi-fluid aeronomy simulation of the HD209458b*. In *European Planetary Science Congress (Vol. 12)*

наук и его коллеги в 2003 г. впервые показали, что водородная атмосфера газовых гигантов должна нагреваться до температуры в несколько тысяч кельвинов и не может удерживаться гравитацией планеты. Механизм нагрева – поглощение ионизирующей радиации с образованием ионов и энергичных фотоэлектронов – хорошо известен для планетарных атмосфер Солнечной системы. Именно таким образом формируется ионосфера Земли. Баланс энергии поддерживается процессами охлаждения атмосферы через переизлучение в инфракрасной и видимой области спектра, которое в основном зависит от плотности и температуры. Поскольку интенсивность радиации растет квадратично с уменьшением орбитального расстояния, то достаточно близко к звезде баланс нагрева и охлаждения нарушается, и верхняя атмосфера (термосфера) переходит в качественно иное состояние. Ее

температура значительно вырастает, пока не становится существенным переизлучение в ультрафиолетовой области спектра, в основном в линии Ly α , через возбуждение атомов водорода горячими электронами. Оценки показывают, что новое сбалансированное состояние термосферы достигается при температуре порядка 10 000 К. Однако, если планета не является сверхмассивной и не обладает значительным магнитным полем, то при такой температуре термосфера не может быть статической. Как было показано Паркером для солнечного ветра, когда тепловая скорость частиц достигает

около 30% от второй космической скорости, развивается сверхзвуковое течение газа.

В том же 2003 г. было сделано по сути революционное открытие на телескопе Хаббл – Видаль Мадьяр и коллеги обнаружили 15% уменьшение интенсивности в звездной линии излучения Ly α во время транзита горячего юпитера HD209458b. Дополнительный анализ и повторные измерения дали несколько меньшую величину 7–10%. При этом глубина фотометрического транзита этой планеты составляет всего 1.5%. Сравнение данных величин показывает, что вокруг HD209458b имеется плотное облако атомов водорода, размер которого в 2–3 раза превышает размер планеты. Это является прямым подтверждением существования обширной частично ионизированной плазмосферы вокруг горячих экзопланет. Вскоре поглощение в линии Ly α на уровне 10% также было обнаружено



Огромное планетарное облако вокруг теплового нептона GJ 436 b (расположен в центре координат), сформированное в результате истечения верхней атмосферы под воздействием ионизирующей радиации родительской звезды (красный карлик GJ 436, красный кружок в масштабе). Расстояние от звезды до планеты составляет 4.35 млн км. Линиями показаны траектории течения планетарного вещества. Цветовые шкалы показывают градации концентрации в логарифмической шкале от 10^0 до 10^7 см^{-3} и скорости движения от 0 до 200 км/с. Источник: Шайхисламов И.Ф. Семинар «На пути к пониманию разнообразия планетарных атмосфер» состоялся в Международном институте космических наук, Берн, Швейцария, 12–16 ноября 2018 г.

у горячего юпитера HD189733b и газового гиганта 55 Сnc.

Качественно новый уровень данных о плазмосфере горячих экзопланет дали транзитные наблюдения теплового нептона GJ 436b, впервые проведенные Дженифер Кулоу и коллегами с помощью телескопа Хаббл и описанные в их статье 2014 г. Измерения показали значительное, до 70%, поглощение в линии $\text{Lu}\alpha$, что в 100 раз превышает фотометрическую глубину транзита! Величина сигнала, хорошее отношение шум/сигнал, повторяемость в нескольких сеансах наблюдений

впервые позволили построить в спектральной линии транзитную кривую, то есть зависимость поглощения от времени по мере прохождения планеты на фоне диска звезды. В частности, обнаружилось, что для GJ 436b заметное поглощение начинается за два часа до максимума оптического поглощения и продолжается после него долгое время. Это указывает на существование обширной поглощающей плазмосферы, превышающей по размеру диск звезды. Самое интересное то, что это поглощение наблюдается в основном в синем крыле линии, в интервале

доплеровских скоростей 50–150 км/с. Атомы водорода с такими скоростями называются Энергичные Нейтральные Атомы (ЭНА) и хорошо известны в экзосферах Меркурия, Венеры, Земли и Марса. В случае GJ 436b, энергия ЭНА, их количество и выделенное направленные движения от звезды к наблюдателю невозможно объяснить исключительно нагревом и ускорением расширяющейся планетарной термосферы.

Помимо линии Ly α , транзитные измерения телескопом Хаббл в дальней ультрафиолетовой области обнаружили для ряда экзопланет поглощение в сильных резонансных переходах таких элементов, как углерод, кислород, кремний, магний. Наибольшее количество измерений сделано для горячего юпитера HD 209458b. Глубина поглощения для мультиплетов атома кислорода (130.5 нм) и иона углерода (133.6 нм) составила 10.5% и 7.5% соответственно, то есть сравнимо или даже больше чем для атомов водорода! Учитывая, что полуширина этих линий в пересчете на относительную скорость составляет 25–30 км/с и что содержание этих элементов в атмосфере планеты должно быть существенно меньше, чем водорода, факт поглощения указывает на то, что истекающий планетарный ветер является достаточно плотным, чтобы уносить с собой тяжелые элементы, и что характерные скорости истечения достигают нескольких десятков км/с.

Вскоре после обнаружения первых горячих юпитеров для описания их плазмосферы были применены 1D аэрономические газодинамические модели, которые в том числе были соз-

даны и российскими учеными (можно обратиться к работам автора, а также работам сотрудников Института астрономии РАН, например, В.И. Шематовича). Основой таких моделей стали исследования, проведенные ранее для ионосфер и экзосфер Земли, Марса и Юпитера. Численное моделирование подтвердило, что из-за экстремально-го нагрева коротковолновым излуче-

нием звезды, способным ионизовать атомы водорода ($\lambda < 91.2$ нм), близко-орбитальные планеты действительно должны формировать поток вещества в форме газо-плазменного планетарного ветра, который преодолевает гравитационное притяжение планеты и уходит за границу полости Роша со сверхзвуковыми скоростями. В этих работах были рассмотрены по отдельности основные факторы и процессы, влияющие на формирование

планетарного ветра, такие как ультрафиолетовый и мягкий рентгеновский спектр звезды и особенности его поглощения, приливные силы, водородная плазма-фото-химия и более тяжелые элементы в составе атмосферы, газодинамика ускорения частично ионизованной плазмы, процессы инфракрасного и ультрафиолетового охлаждения, неоднородность нагрева.

Расчетная температура экзосферы в $\sim 10^4$ К, скорость истечения ~ 10 км/с и потеря массы в диапазоне $\sim 10^9$ – 10^{12} г/с качественно соответствуют транзитным спектральным наблюдениям. Однако, количественная интерпретация спектральных измерений потребовала перехода с относительно простых одномерных кодов к двух- и трехмерным.

Самое интересное то, что это поглощение наблюдается в основном в синем крыле линии, в интервале доплеровских скоростей 50–150 км/с. Атомы водорода с такими скоростями называются Энергичные Нейтральные Атомы (ЭНА) и хорошо известны в экзосферах Меркурия, Венеры, Земли и Марса.

Для типичного орбитального периода экзопланеты $P \sim 3$ суток и скорости течения $V \sim 10$ км/с, характерное расстояние, на котором течение в системе отчета планеты начинает закручиваться силой Кориолиса, $L = VP/2\pi$, составляет 5–10 радиусов Юпитера. Это сравнимо с типичным размером полости Роша, а также типичным расстоянием перехода течения в сверхзвуковой режим. Более того, оказывается, что если предполагать для звезды солнечного типа типичное давление Солнечного Ветра, то оно сравнивается с тепловым и кинетическим давлением планетарного ветра на тех же расстояниях порядка 10 радиусов Юпитера. Все это и диктует необходимость моделирования задачи 3D кодами, позволяющими корректно учесть эффекты приливных и инерционных сил, а также зональные течения с дневной на ночную сторону планеты.

Одним из факторов, который может значительно изменить сложившиеся подходы к моделированию горячих экзопланет, являются примеси металлов в их атмосфере. Несмотря на их предполагаемое малое содержание в газовых планетах, интенсивность фотоионизации и образования фотоэлектронов резко нарастают с уменьшением потенциала ионизации элемента. Это связано с резким увеличением интенсивности спектра излучения звезд с уменьшением энергии кванта в диапазоне 5–15 эВ. Например, для Солнца интенсивность в этом диапазоне меняется на четыре порядка величины! Сложность моделирования кинетики основных примесных элементов, таких как углерод, кислород, железо, хорошо известна из исследований ионосфер Земли и Юпитера. Соответствующая фото-плазма-

химия включает сотни реакций, взаимное влияние которых в различных условиях остается мало изученным. Более того, сечения реакций измерены только в ограниченном диапазоне параметров, и в будущем можно ожидать их существенной корректировки.

Другим сложным фактором является кинетика возбужденных состояний и каналы охлаждения фотоэлектронов (за более подробной информацией можно обратиться к работам Д.В. Бисикало и В.И. Шематовича, ученых из Института астрономии РАН). Несмотря на то, что типичное время жизни возбужденных уровней резонансных переходов обычно очень мало (порядка 1–100 нс), для близко-орбитальных планет фотоионизация с возбужденных уровней может оказаться важнее фотоионизации с основного состояния. Ввиду того, что плазма атмосферы горячих экзопланет достаточно плотная и протяженная, резонансные фотоны захватываются и медленно диффундируют в процессе поглощения и переизлучения. В результате образуется популяция возбужденных атомов. Излучение звезды в линии $L\alpha$, которая обычно является самой сильной в спектре, накачивает второй уровень основного элемента газовых гигантов – атома водорода, что приводит к поглощению в линии $N\alpha$. Это создает два важных эффекта. В отличие от $L\alpha$, линия $N\alpha$ хорошо детектируется наземными телескопами и в последние годы было обнаружено поглощение для нескольких транзитных горячих юпитеров: HD 189733b, HD 209458b, KELT-9b, KELT-20b. Другой эффект состоит в том, что возбужденный атом водорода фотоионизируется гораздо быстрее и гораздо более широким спектром излуче-

Одним из факторов, который может значительно изменить сложившиеся подходы к моделированию горячих экзопланет, являются примеси металлов в их атмосфере.

ния захватываются и медленно диффундируют в процессе поглощения и переизлучения. В результате образуется популяция возбужденных атомов. Излучение звезды в линии $L\alpha$, которая обычно является самой сильной в спектре, накачивает второй уровень основного элемента газовых гигантов – атома водорода, что приводит к поглощению в линии $N\alpha$. Это создает два важных эффекта. В отличие от $L\alpha$, линия $N\alpha$ хорошо детектируется наземными телескопами и в последние годы было обнаружено поглощение для нескольких транзитных горячих юпитеров: HD 189733b, HD 209458b, KELT-9b, KELT-20b. Другой эффект состоит в том, что возбужденный атом водорода фотоионизируется гораздо быстрее и гораздо более широким спектром излуче-

ния звезды $\lambda < 656.4$ нм, что приводит к дополнительному нагреву плазмосферы фотозлектронами и значительному усилению планетарного ветра. В первую очередь, это касается горячих звезд спектральных классов А и В, для которых наклон спектра от видимой области до ультрафиолетовой особенно сильный, таких как, например, Kelt 9.

В последние годы в связи с резким ростом числа обнаруженных транзитных экзопланет значительно увеличилось количество и качество наблюдений наземными телескопами. Спектральное разрешение наземных телескопов даже средних размеров в видимой и инфракрасной области на один-два порядка превышает возможности космических телескопов Хаббл или Спитцер. Также, наземные инструменты, в отличие от космических телескопов, могут обеспечить длительное время наблюдений одного и того же объекта. В результате измерений поглощения в большом количестве транзитов качество данных по параметру сигнал/шум у наземных телескопов принципиально выше. Это позволяет детектировать поглощение в линиях даже на уровне 0.1%. Такая чувствительность резко увеличивает как набор линий, так и элементов, которые поддаются детектированию.

Одной из самых ярких и легко наблюдаемых линий является дублет натрия (589–589.5 нм), поглощение которой зарегистрировано для ряда горячих юпитеров. Однако, атомарный натрий очень легко ионизируется и находится в относительно плотных слоях атмосферы. Поэтому разница между фотометрическим поглощением и поглощением в этой линии очень мала, порядка 0.1%, а получаемая информация отражает состояние относительно глубоких и плотных слоев атмосферы. Другая ситуация с линиями атомарного водорода $\text{H}\alpha$ (656.3 нм) и гелия

(1083 нм). Эти элементы могут присутствовать в плазмосфере горячих экзопланет очень высоко. Если поглощение в $\text{H}\alpha$ образуется за счет первичного поглощения линии $\text{Ly}\alpha$, как это описано выше, то возбуждение метастабильного уровня линии триплетного гелия происходит в процессе рекомбинации He^+ и определяется в основном локальной температурой и степенью ионизации планетарного вещества. Таким образом, поглощение в этих линиях дает информацию о слоях термосферы планеты на высотах 1–2 радиуса планеты, то есть в области интенсивного нагрева и ускорения плазмосферы. Один из последних результатов получен для горячего нептона НАТ-Р-11b. Зарегистрированное превышение поглощения в 1% означает, что плазмосфера с высоким содержанием гелия простирается как минимум на два радиуса планеты. Самое интересное, что спектральная ширина поглощения соответствует Доплеровской скорости ± 15 км, объяснить которую не просто. Одна из гипотез в связи с этим предполагает, что термосфера планеты имеет сильные зональные и турбулентные течения, скорость которых может быть сверхзвуковой.

Как известно на примере Солнечной системы, магнитное поле является одним из важных и наиболее сложных факторов околопланетной космической среды. Оно прямо влияет на ионосферу/экзосферу планет и на их взаимодействие с плазмой солнечного ветра. При этом геометрия такого взаимодействия при наличии магнитного поля качественно меняется. Теоретические оценки предсказывают, что магнитные поля близко-орбитальных горячих юпитеров могут быть в несколько раз меньше, чем у солнечных газовых гигантов. Это связано с тем, что они, вероятно, являются приливно захваченными и вращаются вокруг своей оси в несколько раз медленнее.

Из примера Юпитера также известно, что мощный источник плазмы внутри магнитосферы порождает разнообразные плазменные структуры типа магнитодиска, а взаимодействие с солнечным ветром приводит к генерации интенсивного радиоизлучения, на порядки превосходящего светимость звезды в этом диапазоне.

Как показали в своей работе от 2012 г. М.Л. Ходаченко с коллегами, в применении к горячим юпитерам истекающая плазма принципиально меняет топологию магнитосферы. В первых попытках учесть влияние планетарного магнитного поля на планетарный ветер использовался теоретический анализ, предложенный в свое время для плазменного ветра магнитных звезд, который показал существование в такой структуре экваториальной зоны стагнации и высокоширотной зоны ветра. Численное МГД-моделирование подтвердило эту картину и позволило оценить, при какой величине магнитное поле планеты значительно уменьшает процесс истечения и потери массы. Для типичных горячих юпитеров такое поле оказалось вполне вероятным, в диапазоне 0.3–3 Гс. Также было обнаружено формирование истекающим потоком планетарной плазмы экваториального магнитодиска, морфологически подобного гелиосферному токовому слою. Интересно отметить, что подобный магнитодиск был также получен в лабораторном эксперименте, проведенном в Институте лазерной физики СО РАН, и только потом в численном моделировании, результаты которого представлены М.Л. Ходаченко и коллегами в 2015 г.

Неожиданным и новым результатом численного моделирования стало обнаружение того, что магнитодиск имеет ярко выраженную циклическую динамику, состоящую из последовательных фаз формирования, утончения и

быстрого магнитного пересоединения с выбросом плазмоида кольцевого типа. В отличие от суббурь в магнитосфере Земли, в плазмосфере горячего юпитера накопление магнитного потока происходит за счет планетарного течения, которое выносит этот поток из верхней атмосферы и вытягивает замкнутые силовые линии дипольного магнитного поля. Частота периодических событий пересоединения и диполяризации или релаксации магнитного поля увеличивается с увеличением собственного магнитного момента планеты. Подобные квазипериодические выбросы плазмоидов должны сопровождаться генерацией нетепловых частиц и специфических излучений, которые возможно будут обнаружены в будущих наблюдениях.

Одной из интересных проблем физики экзопланет, которая активно рассматривается в последние годы, является возможное радиоизлучение магнитных горячих юпитеров и его регистрация на Земле. Пример Солнечной системы показывает, что циклотронное излучение электронов в ионосфере магнитных планет на много порядков превосходит светимость Солнца в мегагерцовом диапазоне и его обнаружение станет прямым подтверждением существования магнитных полей у планет. Предпринятые наблюдения пока не зафиксировали такого радиоизлучения, но они активно продолжаются, и недавно на конференции EPSC-DPS в 2019 г. Джей Тёрнер и коллеги объявили о возможном первом обнаружении радиосигнала от близкой системы с горячим юпитером τ Волопаса. Совершенствование современных радиотелескопов и будущие космические системы несомненно достигнут чувствительности, необходимой для детектирования радиоизлучения, сопоставимого по мощности с юпитерианским, но на расстояниях десятков световых лет, в пределах которых находится достаточно много экзопланет.

Важным следствием истекающего планетарного ветра является потеря массы, скорость которой может достигать значений 10^{12} г/с, и за времена жизни планеты составлять заметную долю от ее полной массы. Например, для WASP-12b оценка составляет 6–12%. Некоторые системы с экстремально близко-орбитальными (~ 0.01 а.е.) газовыми гигантами показывают признаки пониженной активности звезды (низкого излучения в EUV области), что может свидетельствовать о накоплении вблизи звезды значительного количества вещества, поставляемого экзопланетой (например, WASP-12b).

Анализ распределения экзопланет на диаграмме масса – орбитальный период обнаруживает провал между популяциями каменных суперземель и газовых мининептунов. В связи с этим в настоящий момент интенсивно исследуется гипотеза о том, что промежуточные планеты с относительно малой массой и обширной первичной атмосферой не являются долго живущими объектами по причине того, что водородная оболочка, захваченная такой протопланетой, достаточно быстро теряется. В процессе эволюции планет имеется критический период первых сотен миллионов лет, когда интенсивность ионизирующей радиации звезды может на два порядка превосходить значения, характерные для последующих эпох. Такое изменение светимости в ВУФ и рентгеновских областях связано со скоростью вращения звезд, которые могут быть медленными или быстрыми ротаторами. Таким образом, для образования на планетах земного типа потенциально пригодных для жизни условий важным является процесс сброса первичной газовой оболочки вокруг каменистого ядра за первые сотни миллионов лет эволюции, когда планета находится в режиме интенсивного газодинамического истечения

атмосферы. Существование такой стадии в эволюции планет подтверждается большим разбросом наблюдаемых планетарных радиусов при относительно небольшой массе. Вполне вероятно, что потеря первоначальной газовой оболочки является определяющим фактором в процессе формирования потенциально обитаемых малых планет вокруг красных карликов.

Формирование вокруг звезды вторичного аккреционного тора из-за истечения атмосферы близко-орбитальной планеты представляет собой в настоящее время одну из актуальных, но совершенно не изученных проблем. В работе Фоссати и коллег 2019 г. впервые сделана попытка обнаружить такие системы на основе статистического анализа имеющихся наблюдательных данных. В работе Дебрехта и коллег 2018 г. впервые реализовано трехмерное МГД-моделирование динамики накопления вещества такого тора на масштабе времени порядка сотни орбит. В 2019 г. впервые обнаружен теплый газовый гигант с экстремально низкой плотностью ~ 0.1 г/см³. Это указывает на то, что вскоре будет обнаружено большое количество экзопланет, находящихся на стадии интенсивного испарения, вещество которых заполняет всю систему. Изучение долговременной динамики таких объектов требует новых подходов, как в теоретическом анализе, так и численном моделировании.

В заключение хочется отметить, что горячие экзопланеты можно смело выделить как особый класс астрофизических объектов. Отдельные аспекты таких объектов хорошо изучены в Солнечной системе, но их специфическое сочетание в горячих экзопланетах создает качественно новые свойства. Их исследование в равной степени стимулируется как наблюдениями, так и численным моделированием.

Если раньше свет звезд в основном давал нам данные о самих светилах, то теперь он будет использоваться как инструмент для просвечивания экзопланетных атмосфер и прилегающего космического пространства. Наблюдательные данные в сочетании с теоретическим пониманием позволят в скором будущем получать уникальную информацию о далеких планетных системах. Создание моделей горячих экзопланет и их взаимодействия с межпланетной средой и родительской звездой идет бурными темпами. В России фундаментальным изучением экзопланет на основе комплексного численного моделирования и на уровне,

не уступающем мировому, занимаются три группы: в Институте астрономии РАН, в Лаборатории космического моделирования Института лазерной физики СО РАН, и в Институте вычислительной математики СО РАН. Все три группы активно сотрудничают между собой и с Институтом космических исследований Австрийской академии наук, а также с Институтом космических исследований Российской академии наук. Область экзопланет, будучи очень молодой, дает в настоящий момент самые широкие возможности для начинающих молодых ученых приложить свою энергию и раскрыть таланты исследователей.



naukapublishers.ru

ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ПЕРЕПЛЕТ

Рисунок на коже
Все виды тиснения
Кожаный переплет
Рельефное тиснение
Клише любой сложности
Полноцветная роспись обреза
А также адресные папки, дипломы, футляры

Берёмся за работы любой сложности!

По всем интересующим вопросам пишите на почту kiseleva@tnauka.ru

реклама

«ГОРЯЧИЕ ЮПИТЕРЫ»: ОРБИТАЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ, ВОЛНЫ В ЗВЕЗДАХ И ПРИЛИВЫ



ИВАНОВ Павел Борисович,

доктор физико-математических наук

Астрокосмический центр Физического института им. П.Н. Лебедева РАН

DOI: 10.7868/50044394820030032

В этой заметке обсуждаются самые интересные, с точки зрения автора, особенности систем, содержащих так называемые «горячие юпитеры» – планеты-гиганты, расположенные вне Солнечной системы и имеющие орбитальные периоды порядка нескольких дней. Особенное внимание уделено недавно обнаруженному в некоторых таких системах эффекту медленного уменьшения орбитального периода, а также приливным взаимодействиям, которые, вероятно, его вызывают. Обсуждается современное состояние теории так называемых «динамических приливов», в развитии которой автор принимал непосредственное участие, и ее способность объяснить данные наблюдений.

ВВЕДЕНИЕ

«Горячий юпитер» был первой планетой, обнаруженной возле «нормальной» звезды 51 Пегаса и получил обозначение «51 Пегаса b». Это газообразная планета-гигант с массой порядка половины массы Юпитера (напомним, что масса Юпитера $\sim 2 \cdot 10^{30}$ г составляет приблизительно одну тысячную массы Солнца) и орбитальным периодом

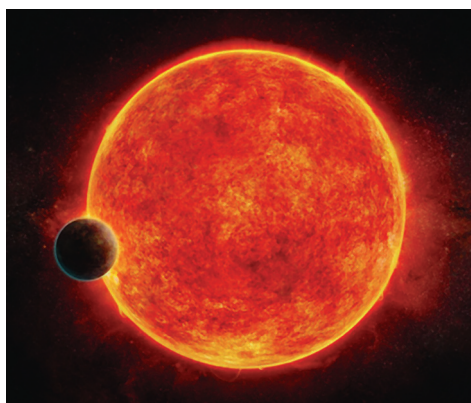
около 4 дней. Именно за открытие этой планеты была присуждена Нобелевская премия по физике за 2019 г. В дальнейшем было открыто несколько десятков подобных планет.

Существование такого рода объектов вызывает несколько фундаментальных с точки зрения теории образования планет вопросов. Во-первых, до сих пор идут споры о том, как они образовались. С моей точки зрения, является практически несомненным, что

они образовались вдали от своих родительских звезд, на расстояниях больше нескольких астрономических единиц (одна астрономическая единица равна «среднему» расстоянию от Земли до Солнца, около $1.5 \cdot 10^{13}$ см). В этой связи возникает вопрос: как горячие юпитеры преодолели расстояние от места рождения до их настоящего местоположения?

На сегодняшний день существуют две конкурирующие теории этого процесса. В основе первой теории лежит эффект «миграции» планет в протопланетных дисках. Вторая теория называется теорией «прыгающих горячих юпитеров». В ней предполагается, что изначально возникло порядка десятка планет на больших расстояниях. Гравитационные взаимодействия между ними привели к тому, что одна или несколько из них потеряли значительную долю орбитального углового момента. В результате их орбиты стали «высокоэксцентричными» с расстоянием минимального сближения со звездой порядка нескольких радиусов звезды. На таких расстояниях приливные взаимодействия между планетой и звездой становятся эффективными, в результате чего происходит потеря в основном энергии орбитального движения, но не углового момента. В случае доминирования приливных взаимодействий орбита планеты со временем становится все более «круглой» или, как говорят, «циркуляризуется». Следует отметить, что обе теории не свободны от существенной критики и в настоящее время активно обсуждаются в научной литературе.

Вторым весьма любопытным обстоятельством является тот наблюдательный факт, что плоскости орбит многих горячих юпитеров не совпадают с плоскостью, перпендикулярной оси вращения их родительских звезд. Более того, наблюдаются планеты, напри-



Так могла бы выглядеть вблизи планетная система, содержащая «горячий юпитер».
Иллюстрация сайта
<https://www.universetoday.com/>

мер, WASP-2b, WASP-15b, WASP-17b, HAT-P-6 и другие, которые движутся в сторону, противоположную направлению вращения звезды (так называемое ретроградное движение).

Установить направления орбитального движения относительно оси вращения звезды можно только для тех планет, для которых наблюдаются «астрономические транзиты»: в результате орбитального движения планета проходит по диску звезды. Это связано с так называемым «эффектом Росситера-Маклафлина». Его суть состоит в следующем: вследствие эффекта Доплера та часть звезды, которая вращается в направлении наблюдателя, вызывает голубое смещение спектральных линий, а та, что вращается от наблюдателя, в свою очередь, – красное смещение. При этом планета, заслоняющая эти части во время своего прохождения, изменяет интенсивность излучения, которое оказывается смещенным в разные стороны спектра. В результате по форме спектра звезды во время транзита можно судить о направлении орбитального движения относительно оси вращения.

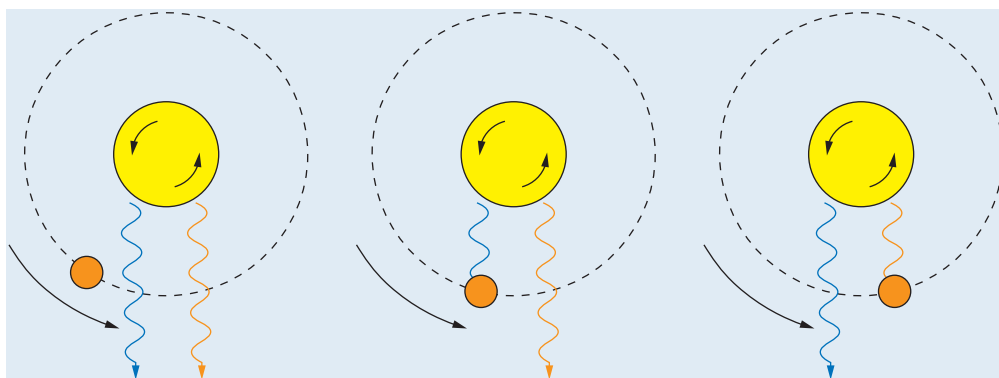


Иллюстрация эффекта Росситера-Маклафлина. Та часть звезды, которая движется в сторону наблюдателя, имеет более «голубое» излучение вследствие эффекта Доплера, та часть, которая движется от наблюдателя, – более «красное». Если звезда и планета вращаются в одну и ту же сторону, то сперва планета закрывает часть «голубого» излучения, а потом красного. В противоположном случае возникает обратная ситуация. Очевидно, что спектр звезды будет в результате этого меняться во время транзита и по характеру изменения можно судить о направлении вращения звезды. Иллюстрация Autiwa, «Википедия»

Разумно предположить, что протопланетный диск вращался в сторону вращения звезды. Поэтому для объяснения ретроградного движения необходимо либо рассматривать миграцию планет в дисках, вращающихся в сторону, противоположную орбитальному движению, либо теорию «прыгающих юпитеров». Хотя такая миграция, в принципе, возможна, тем не менее считается, что наблюдательные данные свидетельствуют, скорее, в пользу второй теории.

Третий интересный факт связан с горячими юпитерами с наиболее короткими орбитальными периодами (порядка одного дня), для которых наблюдаются транзиты по диску звезды. Для некоторых из них удалось установить постепенное уменьшение орбитального периода со временем (порядка одной сотой секунды в год). Оказывается, что горячий юпитер, у которого орбита уменьшается с таким темпом, должен сблизиться с родительской звездой и разрушиться примерно в течение десятка миллионов лет. Столь медлен-

ные изменения орбитального периода удалось обнаружить с помощью высокоточных наблюдений очень большого количества транзитов. Весьма вероятно, эти взаимодействия связаны с приливами, возбуждаемыми в звезде планетой-гигантом. Такие наблюдения позволяют проверить современную теорию приливов, которую мы обсудим более детально.

ПРИЛИВНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Приливы возникают в любом протяженном небесном теле, движущемся вокруг источника гравитации. Сила гравитации в точке тела, наиболее близкой в некоторый момент к источнику гравитации, больше силы, действующей на центр масс, а в наиболее удаленной точке – меньше. Возникающая разница сил приводит к деформации тела, которая в простейшем случае описывается как «приливный горб». Важно отметить, что даже в такой про-

стейшей ситуации приливный горб не направлен в точности на тяготеющий центр, а слегка отклоняется от него в сторону, противоположную направлению движения источника гравитации в системе отсчета, связанной с телом. Отметим, что если тело вращается быстрее по сравнению с орбитальным движением источника гравитации, то его направление движения в этой системе отсчета будет противоположно направлению орбитального

движения, что, например, происходит с Луной. Отсутствие сонаправленности приливного горба и направления на тяготеющий центр связано с работой сил вязкости, которые приводят к необратимому процессу передачи энергии орбитального движения и вращения небесных тел в тепло. Этот процесс называется диссипацией. Диссипация запасенной в приливном горбе энергии сопровождается эволюцией параметров орбиты, таких как период и радиус. А в случае вытянутых орбит – еще и эволюцией эксцентриситета.

Отметим, что приливная эволюция может приводить как к увеличению размера орбиты в случае, если тело вращается в сторону орбитального движения с периодом вращения меньшим, чем орбитальный период (для простоты предполагаем круговую орбиту), как в системе «Земля-Луна», так и к уменьшению размера орбиты. Уменьшение, вероятно, осуществляется в системах с горячими юпитерами, для которых период вращения родительских звезд существенно меньше орбитального. Приливные взаимодействия полностью перестают оказывать влияние на орбитальные параметры только в случае так называемой «полной при-

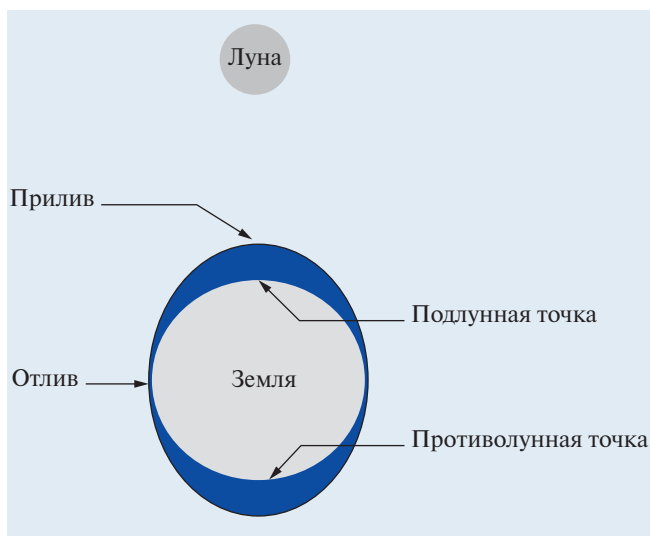


Иллюстрация возникновения приливного горба. Части «Земли», которые расположены ближе к «Луне», чем центр «Земли», притягиваются сильнее, чем центр, а те, которые расположены дальше – слабее. Вследствие этого, с точки зрения «Земли», на нее со стороны «Луны» действуют растягивающие силы, называемые «приливыми» и возникает характерная фигура, вытянутая в направлении «Земля» – «Луна». Иллюстрация «Википедия» (<https://en.wikipedia.org/wiki/Tide>)

ливной синхронизации». В этом случае орбиты тел являются точно круговыми, оси их собственных вращений направлены вдоль вектора углового момента орбиты, а периоды собственных вращений равны орбитальному периоду.

Одним из важнейших нерешенных вопросов теории приливных взаимодействий звезд и планет-гигантов является природа вязких сил, вызывающих диссипацию энергии орбитального движения и энергии вращения. Описанная выше очень упрощенная картина соответствует теории так называемых «квазистационарных» приливов. В рамках этой теории, как правило, считается, что диссипация происходит в тех зонах звезд и планет-гигантов, где имеются

развитые конвективные движения и связанная с ними турбулентность. Вязкость турбулентной среды может быть на много порядков больше обычной молекулярной вязкости. К сожалению, теоретические оценки величины турбулентной вязкости показывают, что ее все равно недостаточно, чтобы объяснить наблюдаемые явления. Поэтому особенный интерес представляют те теории, в которых наблюдаемые величины (изменение орбитального периода и т.д.) явно не зависят от величины вязкости.

Одним из важнейших нерешенных вопросов теории приливных взаимодействий звезд и планет-гигантов является природа вязких сил, вызывающих диссипацию энергии орбитального движения и энергии вращения.

Теория приливных взаимодействий, в рамках которой, при определенных предположениях, выражения для эволюции орбитальных параметров не зависят от величины вязкости, называется теорией динамических приливов. Ее основы были разработаны французским астрофизиком Жаном-Полем Заном (1935–2015). Она существенно отличается от упрощенной картины, описанной выше, и связана с существованием в газообразных объектах, таких как звезды и планеты-гиганты, волн различного типа: например, так называемых внутренних гравитационных волн, которые и играют роль в приливных взаимодействиях, обсуждаемых ниже, или инерциальных колебаний, связанных с вращением рассматриваемого объекта. Типичные частоты таких волн сравнимы с частотой изменения приливных сил. Из курса общей физики известно, что если частота колебания близка к частоте возбуждающей его силы, то его амплитуда может очень сильно увеличиваться. Этот эффект называется резонансом. В звездах, как правило, волны могут усиливаться в основном в определенных местах, например, на границе между областями,

в которых присутствует и отсутствует конвекция, и затем распространяться по звезде с так называемой «групповой скоростью» v_g . Если время распространения волн $T_{pr} \sim R_*/v_g$, где R_* – радиус звезды, меньше, чем время их затухания, то для вычисления изменения орбитальных параметров совершенно неважно, насколько оно меньше. Достаточно выяснить, как быстро энергия и угловой момент могут передаваться приливными силами от орбиты в волны, а скорость их передачи волнами звезде будет такой же, лишь бы выполнялся этот критерий! Такая ситуация называется «режимом умеренно большой вязкости».

Таким образом, можно построить теорию, которая включит только величины, описывающие орбиту и определенные характеристики звезды, в которой возбуждаются приливы, связанные с передачей энергии и углового момента от орбиты к волнам, но не зависящие от плохо понимаемого механизма затухания этих волн. Эта теория, хотя и значительно более сложная, чем теория квазистатических приливов, пользуется большой популярностью в астрофизике.

МЕТОД НОРМАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ТЕОРИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРИЛИВОВ

Теория Зана была построена в 70-е годы прошлого века, когда понимание структуры звезд было не таким полным, как в настоящее время. Она использует некоторые величины, которые, как мы теперь знаем, плохо согласуются с современными моделями звезд. К тому же описанная выше картина носит

приблизительный (асимптотический) характер, который аккуратно описывает действительность только в нереалистическом случае, когда частота изменения приливного поля стремится к нулю. Для того, чтобы сравнить теорию динамических приливов с наблюдениями, было необходимо обобщить теорию Зана так, чтобы она стала более реалистичной. Это и было сделано нашей группой.

Основой нашего метода является представление всех интересующих нас величин в виде рядов по так называемым «нормальным колебаниям». Эти колебания являются близкими аналогами «стоячих волн», которые возникают, например, в музыкальных инструментах. В отличие от бегущей волны, максимумы и минимумы стоячих волн не распространяются, а «стоят на месте». В простейшем случае стоячая волна получается сложением двух волн, бегущих в разные стороны. Важно отметить, что справедливо и обратное утверждение: бегущие волны могут быть представлены в виде суммы стоячих. Если мы говорим о волнах в звездах и об их взаимодействии с приливами, то стоячие волны обладают бесконечным набором частот, в том числе, для многих звездных моделей, и частотами, сравнимыми с частотой изменения приливной силы. В виде суммы по стоячим волнам (нормальным модам колебаний звезд) можно представить и волны, которые возбуждаются приливами, затем распространяются по звезде и там затухают. Более того, в виде аналогичной суммы можно представить и саму приливную силу. Вообще говоря, эти суммы содержат

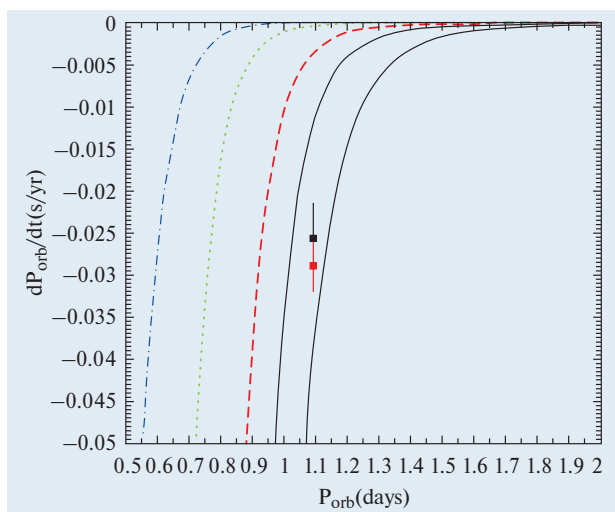
Основой нашего метода является представление всех интересующих нас величин в виде рядов по так называемым «нормальным колебаниям». Эти колебания являются близкими аналогами «стоячих волн», которые возникают, например, в музыкальных инструментах.

бесконечное число членов, но в большинстве интересных с практической точки зрения задач, например, в случае почти круговой орбиты, важно только их небольшое число. Переход на язык нормальных мод позволил модернизировать теорию Зана и развить ее до того уровня, который позволяет проводить непосредственное сравнение теории и наблюдений.

Мы проверили, можно ли объяснить современные данные эволюции орбитального периода в рамках обновленной теории динамических приливов для нескольких систем, содержащих горячие юпитеры с изменяющимся орбитальным периодом. Оказалось, что данные по орбитальной эволюции в системах, содержащих звезды главной последовательности, не противоречат нашей теории. Тем не менее необходимы дальнейшие наблюдения как уже исследованных систем, так и новых, чтобы уменьшить

ошибки и сделать возможными конкретные выводы.

В качестве примера на рисунке показана скорость изменения орбитального периода как функция самого орбитального периода, рассчитанная в нашем подходе для системы WASP-12b. Отметим, что для этой системы ошибки наблюдений относительно невелики. Две сплошные кривые соответствуют двум немного отличающимся, но удовлетворяющим наблюдательным данным моделям родительской звезды и предположению о действии режима умеренно большой вязкости. Другие кривые соответствуют ситуации, в которой вязкость была искусственно уменьшена, и режим умеренно большой вязкости не выполнялся. Символы показывают данные



Результат расчета изменения орбитального периода горячего юпитера WASP-12b и данные наблюдений двух групп, показанные двумя точками (красной и черной), красные и черные штрихи дают ошибки наблюдения. По оси x – орбитальный период в днях, по оси y – скорость изменения орбитального периода, в секундах в год. Сплошные кривые рассчитаны для двух возможных моделей звезд в рамках теории умеренно большой вязкости, для расчета штрихованной, пунктирной и штрих-пунктирной кривых вязкость была искусственно уменьшена. Рисунок автора

наблюдений двух групп. Видно, что для данной системы теория вполне согласуется с наблюдениями. По этой теме была опубликована статья “Dynamical tides in exoplanetary systems containing hot Jupiters: confronting theory and observations” («Динамические приливы в экзопланетных системах, содержащих горячие юпитеры: сопоставление теории и наблюдений») в журнале *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*¹.

¹ Chernov, S.V., Ivanov, P.B., Papaloizou, J.C.B., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 470, Issue 2, p. 2054

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом данные наблюдений пока согласуются с обобщенной теорией Зана. Но во многих системах ошибки изменений порядка самой измененной величины изменения орбитального периода. Поэтому еще сложно говорить о полном согласии теории и наблюдений. В этой связи очень важно продолжать наблюдения уже известных систем с горячими юпитерами с орбитальными периодами

порядка одного дня и меньше и открывать новые.

Остаются нерешенными и некоторые теоретические вопросы. Во-первых, как мы уже отмечали выше, необходимо обобщить построенную теорию на случай наклонных орбит. Во-вторых, «обычные» механизмы затухания не могут привести к ситуации, когда волны полностью затухают во время их пробега по звезде. Существует надежда, что могут оказаться значительно более эффективными так называемые «нелинейные» механизмы. Например, амплитуда волны, распространяющейся в центр звезды, растет, и она может «опрокинуться», в точности как волны на море, опрокидывающиеся на пляж. При опрокидывании волн существенно возрастает передача в тепло запасенной в них энергии, то есть необходимая для нас диссипация энергии волн. Возможно, такого рода эффекты помогут обосновать «режим умеренно большой вязкости».

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



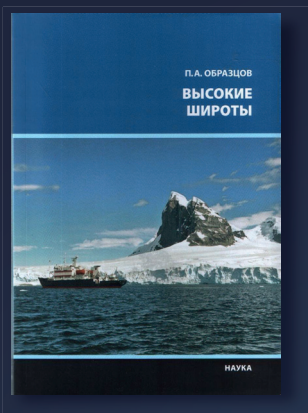
Капанадзе А.Л.

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

М.: Наука, 2019. - 319 с.

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

Для широкого круга читателей.



Образцов П.А.

Высокие широты.

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

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

Для широкого круга читателей.



Верещагин Г.В., Аксенов А.Г.

Релятивистская кинетическая теория с приложениями в астрофизике и космологии.

М.: Наука, 2018. – 471 с.

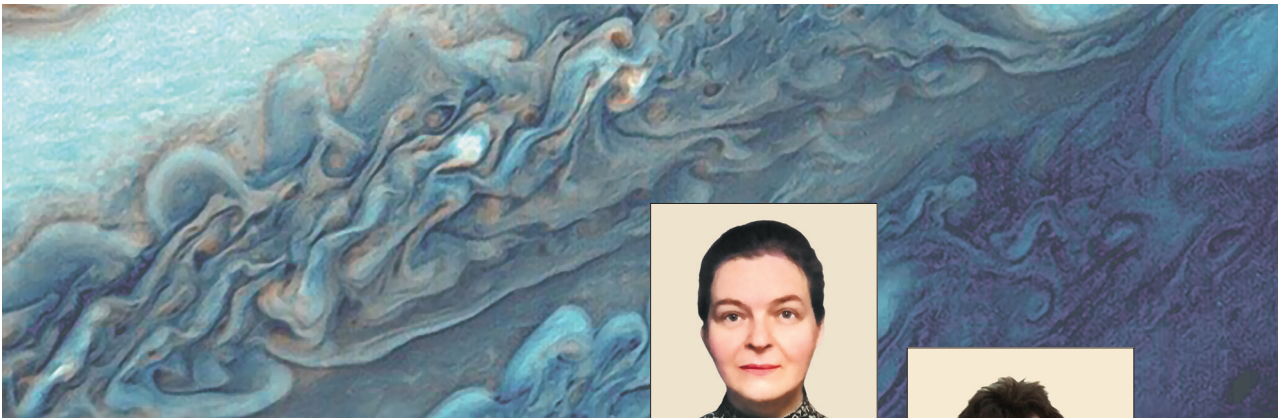
Релятивистская кинетика широко применяется в астрофизике и космологии. В последние годы интерес к этой теории вырос, поскольку появилась возможность ставить эксперименты при таких условиях, где релятивистские эффекты становятся существенными. Настоящая монография состоит из трех частей. В первой части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

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

naukabooks.ru

Реклама

ЗОНЫ ОБИТАЕМОСТИ. ОТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ К ЭКЗОПЛАНЕТАМ



АНАНЬЕВА Владислава Игоревна

ТАВРОВ Александр Викторович,

доктор технических наук

ПЕТРОВА Елена Владимировна,

кандидат физико-математических наук

КОРАБЛЁВ Олег Игоревич,

член-корреспондент Российской академии наук
Институт космических исследований РАН

DOI: 10.7868/50044394820030044



Поиск внеземной жизни, особенно разумной – сложная междисциплинарная проблема на стыке астрономии, биологии, социологии и теории информации. Поскольку до сих пор зарождение жизни до конца еще не понято и не воспроизведено в лаборатории, остается неясной доля случайности в этом процессе. Возможно, жизнь зарождается всегда в подходящих для этого условиях, и тогда задача молекулярной биологии – предсказать эти условия. Однако не исключено, что самозарождение жизни – крайне маловероятное событие, счастливая случайность, произошедшая только раз на древней Земле. Поэтому поиск внеземной жизни имеет и огромное мировоззренческое значение, помогая определить место Человека во Вселенной.

Не касаясь проблем, находящихся в компетенции биологии, очертим круг задач, стоящих в поисках внеземной жизни перед астрономией. Прежде всего – это поиск потенциально обитаемых планет, то есть планет, подходящих для жизни в той форме, которая нам известна, и оценка их распространенности.

Кнастоящему моменту открыто более 4000 экзопланет, обращающихся по орбитам вокруг других звезд. Среди них – планеты-гиганты, напоминаю-

щие Юпитер и Сатурн; аналоги Урана и Нептуна; планеты размером с Землю, но настолько горячие, что их поверхность представляет собой сплошной

лавовый океан. Также известно множество планет, не имеющих аналога в Солнечной системе: например, суперземли и мининептуны, то есть планеты, чья масса и радиус оказываются промежуточными между массой и радиусом Земли и Урана. Точной копии Земли до сих пор не найдено, но это не удивительно – мир планет оказался гораздо разнообразнее мира звезд.

Какие же планеты принято считать потенциально обитаемыми?

Для того, чтобы на планете могла существовать жизнь, необходимо, чтобы на ней была жидкая вода, – та жизнь, которую мы знаем, без воды немыслима. Но вода может быть жидкой лишь в определенном диапазоне температур и давлений. Область вокруг звезды, где на поверхности планеты может существовать жидкая вода, называется обитаемой зоной. В англоязычной литературе ее принято называть *habitable zone* или «зоной Златовласки», в честь английской сказки *Goldilocks and the Three Bears*. По ее сюжету Златовласка пытается воспользоваться несколькими наборами из трех однородных предметов, в каждом из которых один из предметов оказывается по какому-либо параметру избыточным (большим, твердым, горячим), другой – недостаточным (маленьким, мягким, холодным), а третий, промежуточный, приходится «в самый раз».



Так и тут: чтобы оказаться в обитаемой зоне, планета не должна находиться ни слишком далеко от звезды, ни слишком близко к ней, а на «правильном» удалении. Отметим, что условие «жидкой воды» является необходимым, но не достаточным – кроме воды для жизни необходима органика и ряд критически важных элементов (азот, калий, фосфор, сера, цинк, марганец и ряд других), а также источник энергии.

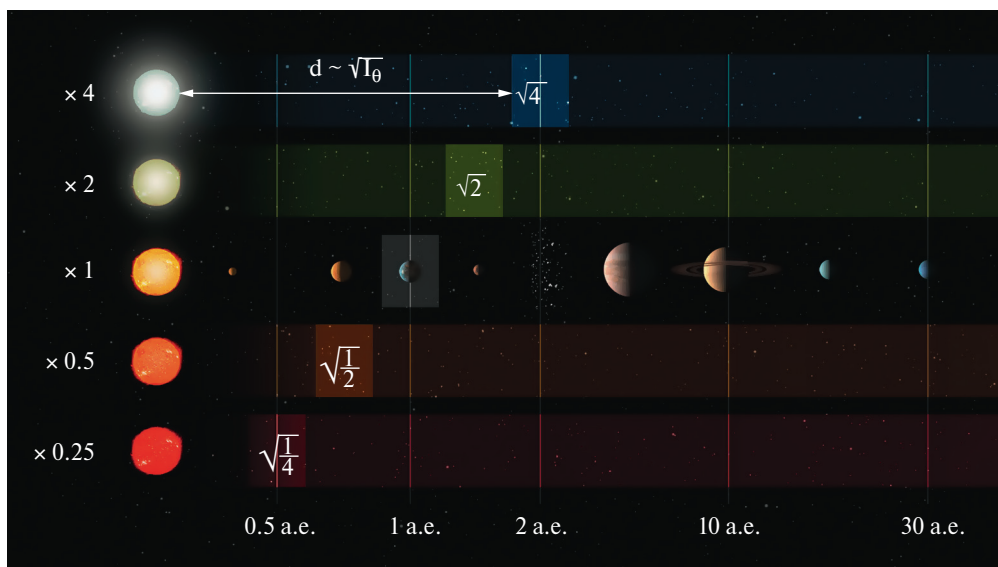
Проще всего оценить расположение обитаемой зоны можно, извлекая квадратный корень из светимости звезды, выраженной в единицах светимости Солнца.

Если звезда вчетверо ярче Солнца, то ее обитаемая зона расположена вдвое дальше, чем Земля от Солнца. А если звезда светит в сто раз слабее, ее обитаемая зона будет в десять раз ближе к звезде.

Более 70% звезд Галактики являются тусклыми красными карликами, и их обитаемые зоны «тесно прижаты» к своим (родительским) звездам, что создает определенные трудности. В частности, на таких малых расстояниях велики приливные силы, приводящие к захвату планет в орбитально-вращательный резонанс 1:1 – то есть планеты повернуты к своим звездам только одной стороной, как Луна к Земле. Одно полушарие приливно захваченной планеты погружено

в вечную ночь, на другом царит вечный день.

Понятие обитаемой зоны позволяет быстро оценивать потенциальную обитаемость планеты (попадает ли она в климатический оптимум, или же на ней слишком жарко или холодно) Однако это понятие куда сложнее, чем кажется на первый взгляд.



Положение зоны обитаемости у звезды, рассчитанное на основе ее светимости в единицах светимости Солнца ($3,86 \cdot 10^{26}$ Вт или $3,86 \cdot 10^{33}$ эрг/с). Источник: Википедия

Обычно неявно подразумевается, что планета, потенциальную обитаемость которой мы обсуждаем, – точная копия Земли. Однако свойства планет очень разнообразны, и планеты неизбежно отличаются друг от друга массой, размерами, составом и плотностью атмосферы, наличием или отсутствием магнитного поля, скоростью вращения, и т.п. Свойства планеты значительно влияют на ее климат даже при условии заданного уровня освещенности. Так, планета может обладать плотной атмосферой, создающей мощный парниковый эффект (хороший пример тому – Венера). Планета может содержать мало воды, а может быть покрыта глобальным океаном глубиной в сотни километров. Если все это учесть, окажется, что размеры и положение обитаемой зоны зависят не только от светимости звезды, но и от свойств планеты.

Итак, первое. Планета должна обладать оптимальными размерами и массой.

Маломассивная планета не удержит атмосферу, или же эта атмосфера будет слишком разреженной, чтобы вода на ней смогла находиться в жидком состоянии. В качестве примера можно привести Луну, расположенную в обитаемой зоне, но каменистую, безводную и безжизненную. Минимально возможная масса планеты, еще способной удержать атмосферу и воду в обитаемой зоне, оценивается в 2,7% от массы Земли (что меньше массы Марса!). Однако такая планета должна иметь химический состав, отличный от планет земной группы, но близкий к составу крупных спутников планет-гигантов – примерно 40% ее массы должно приходиться на воду. Такая планета будет покрыта глобальным океаном глубиной в сотни километров.

Планета, расположенная в зоне обитаемости, не должна быть и слишком большой. За последнее десятилетие космические телескопы «Кеплер» и TESS обнаружили тысячи транзитных планет с радиусами 1,8–3 радиуса

Земли. В подавляющем большинстве это мини-нептуны с протяженными и плотными водородно-гелиевыми атмосферами. Даже если такая планета расположена в обитаемой зоне и окутана облаками из водяного льда (например, K2-18 b), она не может быть обитаемой из-за колоссального давления и мощного парникового эффекта, создаваемого у поверхности такой атмосферой. Мининептуном может оказаться даже планета с массой 3–5 масс Земли (Kepler-29 b, Kepler-79 e, Kepler-47 c и др.). Известен «зазор Фултона» – резкий дефицит планет с радиусами в интервале от 1,5 до 2 радиусов Земли, который маркирует переходную зону между планетами земного типа и мининептунами (см. стр. 12 – *Прим. ред.*). Уже при радиусе больше 1,5 земных планеты сохраняют первичные протяженные водородно-гелиевые атмосферы и не могут считаться потенциально обитаемыми. По всей видимости, Земля по своим размерам и массе находится недалеко от верхней границы потенциально обитаемых планет.

Пусть масса и радиус планеты близки к массе и радиусу Земли, а ее атмосфера имеет ту же плотность. Какой уровень освещенности еще допустим, чтобы вода на поверхности планеты оставалась жидкой? Оказалось, что положение внутренней границы обитаемой зоны зависит от запасов воды. Как показали расчеты, выполненные в 2019 г. Т. Кодамой (сотрудник Центра по исследованию системной динамики поверхности Земли, атмосферы и океана Токийского университета, Япония) и коллегами, если планета покрыта океанами, уже при освещенности, на 30% превышающей земную, начинается катастрофический парниковый эффект, обусловленный водяным паром. Испарение океанов увеличивает парниковый эффект, а возросшие температуры способствуют дальнейшему испа-

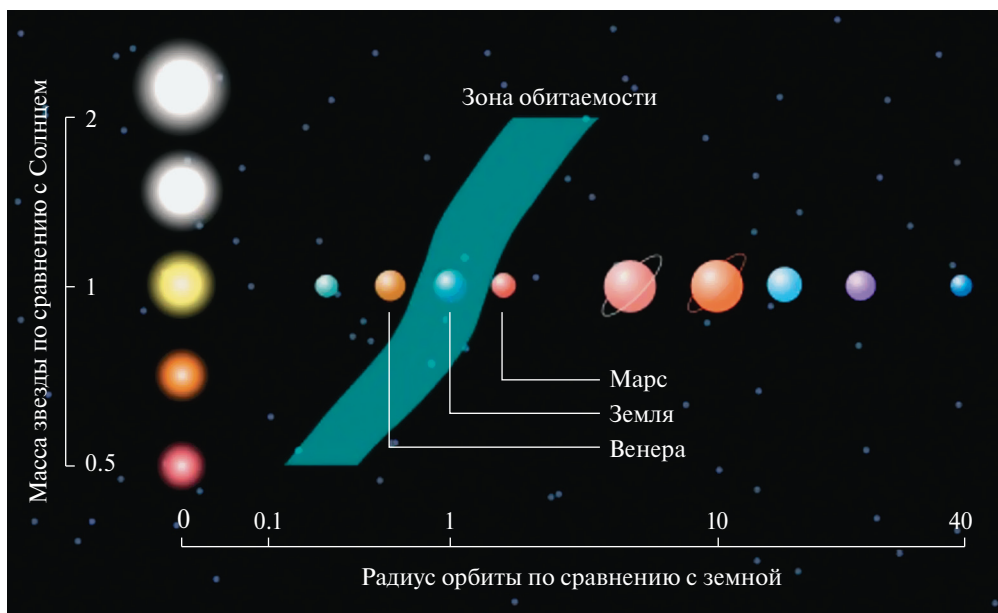
рению океанов, в результате все океаны выкипают, и планета превращается в безжизненный аналог Венеры.

С другой стороны, если воды на планете мало (на два порядка меньше, чем на Земле), и она собрана в отдельные озера, срыв климата в катастрофический парниковый эффект происходит только при освещенности, на 55% превышающей освещенность на орбите Земли. В числе прочего это означает, что, хотя в настоящее время Венера находится за пределами даже оптимистической обитаемой зоны, в течение первого миллиарда лет существования Солнечной системы, когда светимость молодого Солнца была на 30% меньше нынешней, она находилась внутри нее и могла быть населена микроорганизмами.

Какова внешняя граница обитаемой зоны?

На этот счет мнения ученых расходятся. Плотная углекислотная атмосфера на планете земного типа способна обеспечить мощный парниковый эффект. Однако при низком уровне освещенности углекислота начинает выпадать на поверхность сухим льдом, увеличивая альбедо планеты и уменьшая температуру. По расчетам Р.К. Коппарапу (университет штат Пенсильвания, США) и его коллег, максимальное расстояние, на котором планета земного типа еще может сохранить на поверхности жидкую воду, составляет ~1,7 а.е., то есть там, где освещенность составляет ~0,343 от инсоляции на орбите Земли. Давление углекислотной атмосферы при этом должно достигать ~8 атм. Дальнейшее увеличение количества углекислого газа не увеличит, а, напротив, уменьшит температуру поверхности планеты из-за конденсации сухого льда (нечто похожее происходит ежегодно в зимнем полушарии Марса).

Но самое удивительное в том, что внешней границы обитаемой зоны может не быть вовсе!



Положение зоны обитаемости в зависимости от массы звезды в единицах массы Солнца ($1,989 \cdot 10^{30}$ кг)

В недрах многих ледяных спутников планет-гигантов скрывается подледный океан. Из трещин в ледяной коре Энцелада, спутника Сатурна, непрерывно бьют гейзеры.

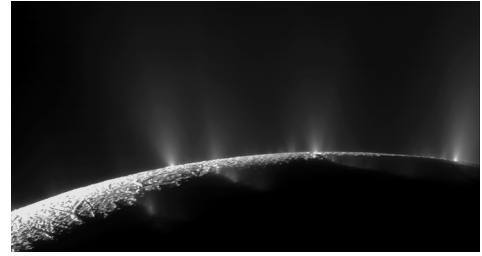
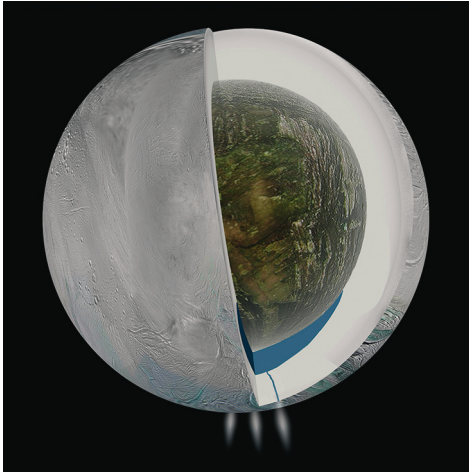
Состав гейзеров говорит о том, что океан Энцелада теплый, соленый и насыщен органикой, а на дне и сейчас происходит гидротермальная активность. Похожие гейзеры, бьющие не постоянно, а время от времени, обнаружены также на Европе, спутнике Юпитера. Соленые океаны, укрытые многокилометровым слоем льда, предполагают в недрах Ганимеда, Каллисто, Титана и Плутона, возможно, они еще не замерзли в недрах Дионы, Харона, Тритона и других крупных ледяных спутников.

Есть ли жизнь (хотя бы микробная) в этих океанах – вопрос пока открытый. Если есть и нам удастся ее обнаружить, то у обитаемой зоны будет только внутренняя граница, очерчивающая пространство вокруг звезды, где слишком горячо для существования жизни.

Но если подледные океаны стерильны, обитаемую зону придется значительно сузить, сосредоточившись в своих поисках внеземной жизни на планетах, подобных Земле.

Как же обнаружить внеземную жизнь? Земная биосфера является мощной геологической силой, преобразующей гидросферу, литосферу и атмосферу Земли. Современный состав земной атмосферы (преобладание азота, значительная доля молекулярного кислорода и малое количество углекислого газа), обусловленный живыми организмами, резко отличается от состава атмосфер Венеры и Марса. Можно предположить, что и биосферы экзопланет подвергнут их атмосферы столь же глубоким преобразованиям. Особенности химического состава атмосфер обитаемых планет в сравнении с необитаемыми носят название биомаркеров.

Сегодня основным биомаркером считается одновременное присутствие в атмосфере планеты молекулярного

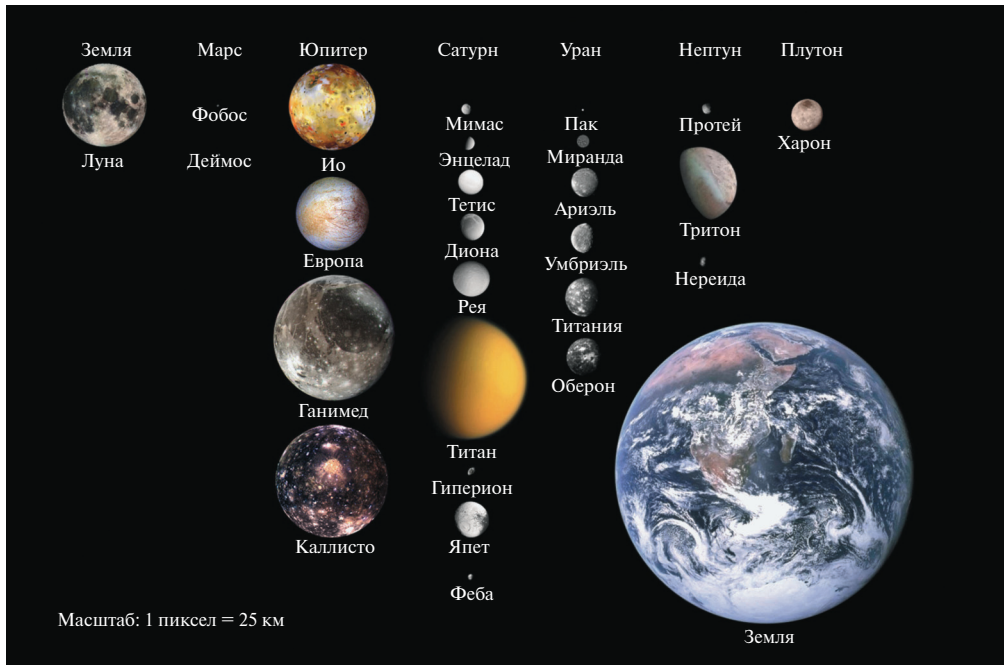


Гейзеры, бьющие из-под ледяной поверхности Энцелада, спутника Сатурна. Слева – схематическое представление, справа – изображение, полученное АМС «Кассини» (NASA). Изображения: NASA/JPL-Caltech и NASA/JPL/Space Science Institute

кислорода и метана. По отдельности и кислород, и метан могут образовываться не биологическим, а геологическим путем, но условия, в которых это происходит, несовместимы друг с другом. Так, молекулярный кислород мо-

жет накапливаться в паровых атмосферах суперземель-океанидов в результате фотодиссоциации водяного пара и последующего улетучивания водорода, но это возможно лишь при наличии глобального водного океана глубины

Размеры некоторых лун планет Солнечной системы. Для масштаба приведена Земля (радиус 6371 км). Источник: NASA



сотни километров, изолированного от силикатных пород слоем высокотемпературного льда. Наличие значительного количества молекулярного кислорода в атмосфере планеты земного типа, расположенной в зоне обитаемости, можно объяснить только наличием оксигенного фотосинтеза – варианта фотосинтеза, в котором происходит образование органических веществ на свету с выделением молекулярного кислорода.

При этом отсутствие молекулярного кислорода в атмосфере такой планеты еще не означает отсутствия на ней жизни! В архее (4,0–2,5 млрд лет назад) кислород в атмосфере Земли практически отсутствовал и процветала анаэробная одноклеточная жизнь. В работе Дж. Криссансена-Тоттона (Вашингтонский университет, США) и его коллег в 2018 г. было показано, что в отсутствии молекулярного кислорода биомаркером может быть также одновременное наличие в атмосфере планеты углекислого газа, метана и паров воды при резком дефиците угарного газа.

Сегодня мы можем изучать свойства атмосфер экзопланет, если планета является транзитной, то есть периодически проходит по диску своей звезды. Измерение глубины транзита, то есть степени ослабления светового потока от звезды при заходе планеты на звездный диск, в зависимости от длины волны, на которой ведутся наблюдения, позволяет построить так называемый трансмиссионный спектр экзопланеты. К сегодняшнему дню получены трансмиссионные спектры десятков экзопланет, преимущественно горячих юпитеров (большие размеры таких планет и их протяженные атмосферы с большой шкалой высот облегчают измерения). В трансмиссионных спектрах, полученных в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне, уже обнаружены линии натрия и калия, полосы водяного пара и углекислого газа. Но получить трансмиссионные спектры экзопланеты небольшого размера (с радиусом менее

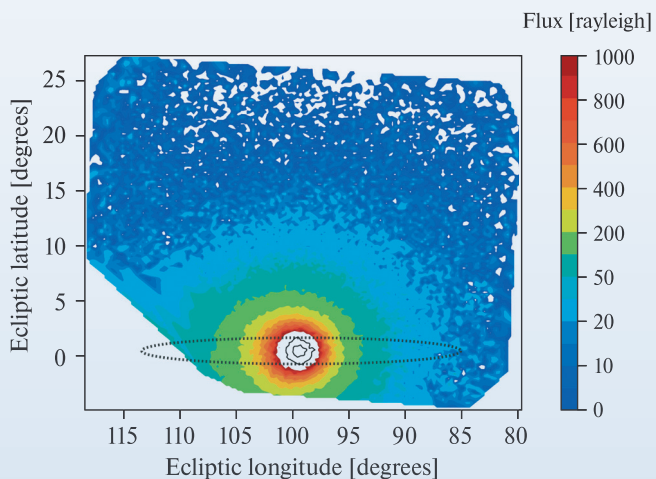
2 радиусов Земли) сегодня мы можем, только если эти планеты вращаются вокруг сравнительно близких и ярких красных карликов, и даже в этом случае необходим или космический телескоп им. Хаббла, или крупнейшие наземные телескопы. Большие надежды астрономы возлагают на запуск James Webb Space Telescope, запланированный на 2021 г.

Однако существует еще один изящный способ обнаружить планету с кислородной атмосферой. Известно, что Земля окружена геокороной из атомарного кислорода, радиус которой (при оптической толщине, равной 1 в середине линии O I 130 нм) достигает ~8 радиусов Земли. Геокорона из атомарного водорода простирается еще дальше – до 38 радиусов Земли. При этом размеры геокорон Венеры и Марса значительно меньше из-за низкой температуры их экзосфер (200–300 К против ~1000 К), вызванной интенсивным выхолаживанием посредством ИК-излучения молекул углекислого газа. Наблюдения транзитов планет земного типа в линиях Лайман-альфа (121,6 нм) и O I (130 нм) позволят измерить размеры геокорон и отличить аналоги Земли от аналогов Венеры. Так, при наблюдениях в середине линии O I глубина транзита аналога Земли у красного карлика может достигать 70%! Для наблюдений такого рода необходимо вынести ультрафиолетовый телескоп за пределы земной геокороны (например, во вторую точку Лагранжа системы Солнце–Земля или эллиптическую орбиту). Для обнаружения аналогов Земли прорабатывается установка японского ультрафиолетового спектрографа UVSPeX на российский орбитальный ультрафиолетовый телескоп «Спектр-УФ». Детектирование УФ-спектральной линии O I кислорода ≈130 нм позволит по транзиту идентифицировать экзопланету земной группы с геокороной (экзосферой) типа Земли от экзосферы Марса или Венеры, так как последние имеют неконтрастный транзит в линии O I.

Известные экзопланеты в зоне обитаемости с минимальной массой менее 4 масс Земли или радиусом менее 1,5 радиусов Земли

Название планеты	Минимальная масса, масс Земли	Радиус планеты, радиусов Земли	Освещенность, в ед. земной	Орбитальный период, земных суток	Расстояние от Солнца, пк	Спектральный класс родительской звезды	Примечания
Проксима Центавра b (GJ 551 b)	1,27 ± 0,19	?	0,65	11,186	1,33	M5,5 Ve	Планета у ближайшей к Солнцу звезды
GAT-1370 b, c	1,05 ± 0,13 1,11 ± 0,16	? ?	1,15 ± 0,08 0,37 ± 0,03	4,91 11,41	3,83	M7 V	Звезда Тигардена, ультрахолодный карлик, находится вблизи предела Кумара
GJ 1061 d	1,68 ± 0,25	?	0,6 ± 0,1	13,03	3,67	M5,5 V	
GJ 273 b	2,89 ± 0,27	?	1,06	18,65	3,8	M3,5 V	Звезда Лейтена
K2-3 d	< 2,8	1,52 ± 0,21	1,5	44,56	45	M0 V	Средняя плотность планеты менее 5,62 г/см ³
K2-72 e	?	0,82 ± 0,22	0,76	24,17	49	M2-3 V	
Kepler-186 f	?	1,11 ± 0,14	0,32	130	177,6	M1 V	
Kepler-62 f	?	1,41 ± 0,07	0,47	267	301	K2 V	
TOI-700 d	?	1,19 ± 0,11	0,86	37,43	31,13	M2 V	
TRAPPIST-1 e	0,62 ± 0,58	0,92 ± 0,04	0,66	18,77	12,1	M8 V	Эффективная температура при альбедо Земли 251К

Интенсивность излучения атомарного водорода в геокороне – верхней части атмосферы Земли, по данным прибора SWAN на борту космического аппарата SOHO. Голубым обозначена малая интенсивность, красным – высокая. По данным SOHO было установлено, что геокорона простирается гораздо дальше орбиты Луны, которая обозначена на графике пунктирной линией. По вертикали и горизонтали указаны широта и долгота в эклиптических координатах. Изображение ESA/NASA/SOHO/SWAN; I. Baliukin et al (2019)



Так космический аппарат SOHO наблюдал геокорону – облако атомарного водорода, окружающее Землю. Красная линия – луч зрения прибора SWAN на борту SOHO. Желтая стрелка указывает направление на Солнце. Изображение (с) ESA

Обсерватории, институты

«ГЛАЗ НЕБЕСНЫЙ»

ЛИСОВ Игорь Анатольевич

DOI: 10.7868/50044394820030056

Китайский 500-метровый радиотелескоп принят в эксплуатацию

11 января 2020 года был принят государственной комиссией и вступил в строй крупнейший в мире однозеркальный радиотелескоп в китайской провинции Гуйчжоу. Диаметр его зеркала в 1,6 раза больше, чем у американского радиотелескопа Аресибо, чувствительность в 2,3 раза выше, доступная для наблюдений площадь неба – вчетверо больше.

История этого проекта восходит к идее создания многозеркального радиотелескопа SKA эффективной площадью 1 км², которая была выдвинута в 1993 г. представителями 10 стран на 24-й сессии Генеральной ассамблеи Международного союза радиоастрономии. Китайские ученые предложили тогда собрать километровый радиотелескоп из 30 антенн диаметром по 200 м, смонтированных в естественных

Радиотелескоп FAST. Общий вид. Фотография на сайте проекта <http://fast.bao.ac.cn/en>



карстовых полостях провинции Гуйчжоу. Для этого проекта даже подобрали имя KARST, что расшифровывалось как Kilometer-square Area Radio Synthesis Telescope – «синтетический радиотелескоп площадью 1 км²».

В 1994 г. появилась идея еще до создания KARST реализовать предварительный, но не менее амбициозный проект с одним 500-метровым зеркалом изменяемой кривизны. Он получил наименование FAST, в буквальном переводе «быстрый», а на самом деле Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope, то есть «телескоп с 500-метровой сферической апертурой». Разумеется, существует и китайский перевод официального названия, но более популярно поэтическое имя «Тяньянь» (天眼), буквально – «Глаз небесный».

В 2000 г. исследователи Пэн Бо, Нань Жэндун и Су Янь опубликовали основные положения проекта FAST. В октябре 2001 г. он получил поддержку Китайской академии наук и Министерства науки и технологий как один из потенциальных научных мегапроектов. После демонстрации на макетах ряда критических технологий Национальная комиссия по развитию и реформам в июле 2007 г. утвердила FAST в качестве одного из крупных научных инструментов в плане 11-й пятилетки, а в октябре 2008 г. одобрила представленное обоснование и утвердила проект к реализации.

Среди целого ряда карстовых объектов провинции Гуйчжоу была выбрана воронка примерно 800 метров в диаметре в точке с координатами 25,647° с.ш., 106,856° в.д., вблизи деревни Даводан (大窝凼) уезда Пинтан автономного округа Цяньнань-Буи-Мяо. Она располагается в 100 километрах к югу от города Гуйян, административного центра провинции, а если измерять расстояние не по прямой, а по имеющимся дорогам – в 170 км.

26 декабря 2008 г. состоялась торжественная закладка радиотелескопа, но только в марте 2011 г. закончилось переселение из зоны строительства. Под него попали 65 человек из деревушки в самой воронке Даводан, и еще 2029 семей – 9110 жителей восьми деревень в границах пятикилометровой зоны полной радиотишины. Не обошлось без протестов и судебных исков; правительство потратило 1,8 млрд юаней (270 млн \$) на компенсации переселенцам, в то время как собственно на строительство пошло лишь 1,2 млрд юаней (180 млн \$) – на 0,5 млрд больше первоначально выделенной суммы.

25 марта 2011 г. начался этап земляных работ общим объемом около 1 млн м³ – вплоть до декабря 2012 г. рабочие выравнивали дно воронки, бетонировали кольцевые галереи и организовывали дренаж. В течение 2013 г. по окружности радиусом 500 метров были выстроены опоры, на которых монтировалась кольцевая ферма зеркала, а к 4 февраля 2015 г. закончилась провеска опорной кабельной сетки. Немного раньше, 30 ноября 2014 г., завершилось сооружение шести мачт подвески кабины облучателей и приемников, а 21 ноября 2015 г. на шести тросах подвесили кабину.

Первая панель рефлектора была смонтирована на узлах кабельной сетки 2 августа 2015 г., а последняя – 3 июля 2016 г. Три месяца спустя, 25 сентября 2016 г., состоялся первый сеанс приема радиоизлучения из зенитной области и было объявлено о начале опытной эксплуатации уникальной обсерватории.

Для обеспечения работы FAST 16 августа 2017 г. была объявлена запретная зона для полетов в виде круга радиусом 30 км с центром в точке установки радиотелескопа. В пределах этой зоны также наложены жесткие ограничения на использование радиотехнических средств.

Руководителем проекта FAST от идеи и до «первого света» был Нань Жэндун (南仁东). Он родился 19 февраля 1945 г. в Маньчжурии, в уезде Сиань провинции Ляонин. В 1963 г., сдав выпускные экзамены, юноша подал документы на архитектурный факультет университета Цинхуа. Однако его результаты были более чем на 50 пунктов выше проходного балла, блестящий выпускник был зачислен «туда, где нужнее стране» – на радиотехнический факультет.

В ноябре 1968 г. Нань Жэндун был направлен на радиозавод Тунхуа в провинции Цзилинь. Будучи талантливым художником, он выполнил для завода большой портрет Мао Цзэдуна и стал автором дизайна переносного радиоприемника, который в то время готовился к выпуску. Уже в 1970 г. он стал ведущим конструктором 10-киловаттного телевизионного передатчика, а в 1973 г. совместно со специалистами Цзилиньского университета разработал настольный компьютер и добился решения о его серийном производстве.

Жизнь Нань Жэндуна сделала крутой поворот в 1978 г., когда его пригласили в Пекинскую астрономическую обсерваторию для подготовки магистерской, а затем и докторской работы. После защиты в 1985 г. он был направлен на двухлетнюю стажировку в радиообсерваторию Двингелоо в Нидерландах, где продвигал совместный проект по радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой, а после возвращения был принят исследователем в Национальную астрономическую обсерваторию Китая.

В 1994 г. Нань Жэндун возглавил команду по подготовке проекта телескопа FAST в должности научного руководителя и главного инженера. Он увидел «первый свет» и начало испытаний телескопа, но не успел стать членом Китайской АН, потому что умер от рака легких 15 сентября 2017 г. У административного здания новой обсерватории в Даводане ему установлен памятник.

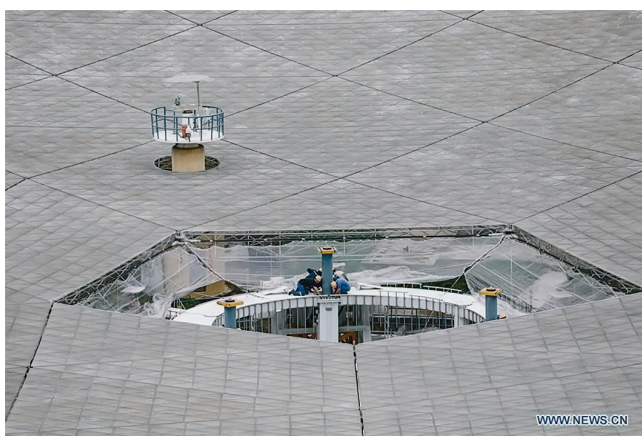
Основной частью FAST является зеркало в виде сегмента сферы радиусом 300 метров и диаметром по верхнему срезу 500 метров, набранное из элементов треугольной формы из перфорированного алюминиевого листа. Два комплекта металлических тросов, провешенных от кольцевой фермы в ортогональных направлениях, обеспечивают натяжение полотна антенны. Точки их пересечения являются опорными узлами для треугольных элементов. Узлы фиксируются оттяжками регулируемой длины, заведенными на железобетонные якоря. В центральной части зеркало проходит над дном воронки на высоте всего 4 м. Снаружи рефлектор окружают шумозащитная и ветрозащитная стены.

Форма каждого элемента антенны задается собранной под ним легкой ферменной конструкцией. Размер листа составляет от 10,4 до 12,4 м, радиус кривизны – 318,5 м, толщина полотна – 1,3 мм, масса – от 427 до 482,5 кг.

Так как в каждом узле сходятся концы шести треугольных элементов, количество узлов вдвое меньше, чем листов антенного полотна, а число тросовых элементов втрое больше количества узлов. Китайская пресса пишет, что антенна имеет в своем составе 4450 элементов (4273 стандартных и 177 специальных) и 2225 узлов, а тросов в системе около 7000. На фотографиях можно видеть, что рефлектор состоит из пяти треугольных секций, в каждой из которых по 863 пол-

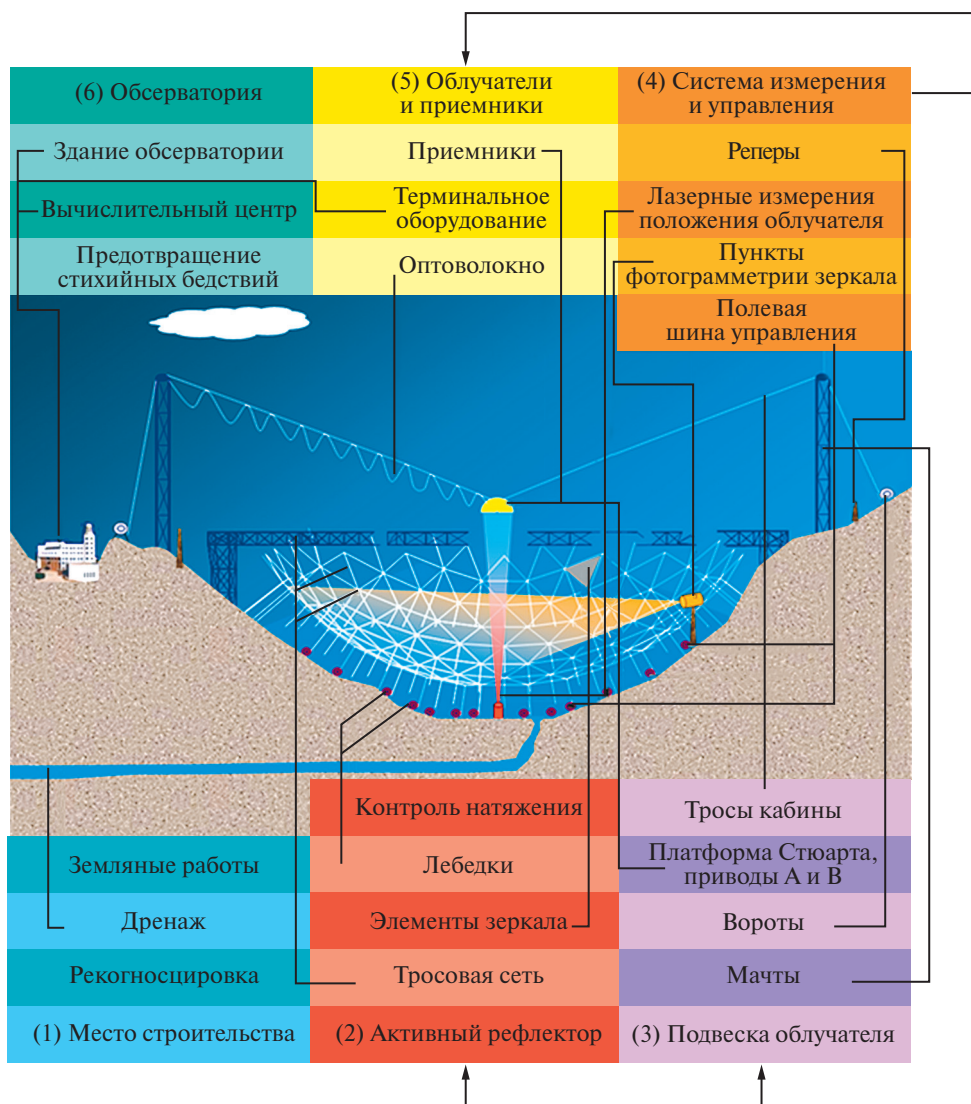
ных элемента. Очевидно, в официальном подсчете учтены и неполные треугольники в области примыкания зеркала антенны к кольцевой ферме, а к числу нестандартных отнесены среди прочих листы с проемами для стоек измерительной аппаратуры. Суммарная площадь антенны – около 260 000 м².

Рефлектор FAST в 1,6 раза больше аналогичного зеркала американского радиотелескопа Аресибо, диаметр которого 305 м. Но главное отличие состоит не в размере, а в том, что форма зеркала китайского радиотелескопа настраивается в режиме реального времени с устранением сферической аберрации. Участок диаметром 300 м вдоль оси, нацеленной на наблюдаемый небесный объект, превращается из сферического в параболический за счет точно рассчитанной подстройки длин примерно 1000 оттяжек, находящихся под ним, причем пределы изменения длины оттяжки составляют всего 95 см, а погрешность – 2 мм. Фокус параболы строится на расстоянии 0,4665 от радиуса сферы, то есть в 140 м от поверхности зеркала. Подвешенный на этом расстоянии и должным образом наклоненный облучатель «видит» рефлектор в пределах угла 120°, что и определяет фактический диаметр актуального параболического зеркала. Для измерения фактической формы зеркала исполь-



зуются лазерная станция и фотограмметрические камеры, установленные над его поверхностью.

Кабина облучателей и приемников диаметром около 10 м и массой 30 т подвешена на шести тросах и перемещается при помощи кабельного робота с сервомеханизмами на шести мачтах высотой около 100 м. Они обеспечивают грубую выставку приемной аппаратуры с ошибкой до 100 мм. Нижняя часть кабины – собственно платформа Стюарта с приемниками разных типов – имеет собственные приводы направленного перемещения («параллельный робот») и наклона для установки в фокус с ошибкой не более 10 мм. Кабина может опускаться для



Устройство радиотелескопа FAST. Схема на сайте проекта <http://fast.bao.ac.cn/en>

обслуживания в центральный проем зеркала.

Регистрирующая часть пока имеет в своем составе девять приемников с малощумящими усилителями на диапазоны 70–140, 140–280, 280–560, 560–1020, 320–334, 550–640, 1150–1720, 1230–1530 и 2000–3000 МГц. Она создана при участии ряда иностранных научных учреждений; в частности, уни-

кальный 19-лучевой приемник на диапазон 1230–1530 МГц, содержащий линию водорода 21 см, изготовлен Организацией научных и промышленных исследований Содружества в Австралии в рамках кооперации между академиями наук двух стран.

Приемная аппаратура охлаждается гелиевыми рефрижераторами и сосудами Дьюара с целью снижения шумовой



Кабина облучателей и приемников опущена в центральный проем.
Фотография новостного портала www.news.cn

температуры. Радиосигнал, смещенный до промежуточной частоты, преобразуется в оптический (световой) и по оптоволоконному кабелю, проведенному через одну из мачт, передается на расстояние около 3 км в отдельное здание радиообсерватории, где вновь преобразуется в радиосигнал для обработки на компьютере, соответствующем той или иной исследовательской задаче.

При выборе объекта наблюдения в пределах 30° от зенита формируется актуальное зеркало полной площади. Поскольку FAST построен в точке с широтой $25,6^\circ$, ему доступна полоса неба примерно от -5° до $+55^\circ$ по склонению. Возможны наблюдения и с большим отклонением от зенита, но за счет сокращения рабочей площади зеркала. Заявленная точность наведения телескопа на объект – $8''$, время перенацеливания – 10 минут, продолжитель-

ность сопровождения объекта может составлять 4–6 часов.

Верхний предел по частоте приема определяется в основном точностью выдерживания формы параболы (5 мм), а также ограничивается высокой влажностью в районе размещения обсерватории. В перспективе он может быть поднят примерно до 5 ГГц. Телескоп может использовать приемники как с круговой, так и с линейной поляризацией. Угловое разрешение в L-диапазоне составляет $3'$. Заявленная чувствительность – $2000 \text{ м}^2/\text{К}$.

Система архивирования научной информации для FAST создается Международным центром радиоастрономии в Перте (Австралия) совместно с Европейской южной обсерваторией в расчете на сбор, хранение и распределение примерно 3000 Тбайт информации ежегодно.

В число основных научных целей проекта входят:

- обзор межзвездной среды в Галактике в линии нейтрального водорода HI с разрешением на уровне крупномасштабных обзоров в линии CO;

- обнаружение примерно 4000 новых пульсаров в Галактике и поиск первых внегалактических пульсаров;

- обнаружение десятков тысяч галактик с водородными облаками и отдельных массивных галактик на расстояниях, соответствующих красному смещению $z = 1$;

- спектроскопический обзор радиоспектра богатых галактических источников в диапазоне от 70 МГц до 3 ГГц;

- поиск радиосигналов от экзопланет, включая возможные сигналы внеземных цивилизаций.

Кроме того, FAST может использоваться для совместных наблюдений с другими обсерваториями в режиме радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой.

За время от начала опытных наблюдений и до ввода в постоянную эксплуатацию основные достижения FAST были связаны с поиском пульсаров. Два первых с обозначениями PSR J1859-01 и PSR J1931-02 были найдены в августе 2017 г. К сентябрю 2018 г. FAST нашел 44 пульсара, подтвержденных наблюдениями других обсерваторий. К январю 2020 г. их насчитывалось уже 102, причем точность временных засечек удалось улучшить в 50 раз.

Одним из наиболее интересных в этой коллекции оказался миллисекундный пульсар PSR J0318+0253 с периодом 5,19 мсек, совпадающий по положению с источником гамма-лучей 3FGL J0318.1+0252 в каталоге космического гамма-телескопа *Fermi*. Китайский радиотелескоп «услышал» его 27 февраля 2018 г. после часового сеанса наблюдений. Ранее при радионаблюдениях из Аресибо этот слабый источник найти не удавалось.

В конце августа и начале сентября 2019 г. на FAST было получено более

100 быстрых всплесков от радиоисточника FRB121102. Природа этого источника, находящегося в 3 млрд световых лет от Земли, и ему подобных – остается неизвестной.

24 января 2019 г. были проведены первые интерферометрические наблюдения совместно с 65-метровым радиолокатором «Тяньма» Шанхайской астрономической обсерватории.

6 февраля 2020 г. группа исследователей во главе с Чжан Чжисуном отчиталась о первых наблюдениях с целью поиска внеземных цивилизаций. Понятно, что результат был отрицательным, но технология работы на 19-лучевом приемнике со спектрометром SERENDIP VI была опробована успешно.

22 апреля 2019 г. радиотелескоп «Тяньянь» прошел приемку, которая зафиксировала выполнение всех строительных работ и соответствие объекта проектным характеристикам. Четырьмя днями ранее был открыт прием заявок от китайских ученых, которые немедленно затребовали 2200 часов наблюдательного времени при 360 доступных часах опытного цикла наблюдений.

11 января 2020 г. инструмент был официально принят в эксплуатацию. Телескоп функционирует как подразделение Национальной астрономической обсерватории Китайской АН. Главным инженером FAST после смерти Нань Жэньдуна был назначен Цзян Пэн, а научным руководителем – Ли Ди.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайт проекта FAST <http://fast.bao.ac.cn/en/site.html>
2. Evan Gough. China's 500-Meter FAST Radio Telescope is Now Operational, **Universe Today**, 20.01.2020 <https://www.universetoday.com/144669/chinas-500-meter-fast-radio-telescope-is-now-operational/>
3. Elizabeth Gibney. Gigantic Chinese telescope opens to astronomers worldwide, **Nature**, 24.09.2019 <https://www.nature.com/articles/d41586-019-02790-3>

НЕПРЕОДОЛИМАЯ «ВТОРАЯ СТУПЕНЬ»? О проблемах современной популярной литературы

ШУБИН Павел Сергеевич,

писатель, популяризатор науки

DOI: 10.7868/50044394820030068

«Для того, чтобы написать книгу, нужно знать на порядок больше, чем в нее войдет». Когда-то очень давно автор прочитал и запомнил эту хорошую фразу... Действительно, чтобы выявить суть, нужно представлять картину целиком. Со всеми исключениями, редкими примерами, а лучше всего и с отвергнутыми гипотезами, включая историю их опровержения. Только после этого можно аккуратно писать текст, будучи уверенным, что какая-либо ошибка в формулировке не приведет читателя к неверным выводам.

Увы, автор же должен признать, что эта верная мысль далеко не всегда осуществима. При написании рано или поздно упираешься в предел знаний. Либо от недостаточного кругозора, либо оттого, что вопрос находится на стыке разных гипотез, либо автор вообще заглянул в еще плохо изученную область науки.

И здесь появляются два пути. Либо начать додумывать неизвестное, представляя читателям свои догадки вместо фактов, либо попробовать очень аккуратно обойти сложный вопрос, сформулировав текст так, чтобы остаться в области знаний. Первый путь простой, второй куда сложнее. Но, по мнению автора, именно второй – правильный.

При детальном изучении предмета обязательно находятся разнообразные

лакуны, которые мешают и написать верный текст, и сделать хорошую иллюстрацию – например, трехмерную модель какой-нибудь межпланетной станции. Оказывается, что фотографии, приписанные данной станции, явно друг с другом не совпадают, а с некоторых ракурсов снимков вообще нет. И приходится проводить долгие изыскания, итогом которых станет одна строчка текста в книге, а читатель вряд ли узнает, какой ценой она была получена.

Так что соотношение содержания книги к знаниям автора как пропорции «один к десяти» выглядит весьма допустимым сравнением. Думаю, будет логично попробо-

вать определить уровни научно-популярной литературы с учетом этого соотношения.

Первый уровень. Это то, что любят называть «мурзилками», хотя, возможно, правильнее назвать их «азбукой». Эти книги предназначены для людей, которые ничего не знают, но очень хотят узнать что-то о конкретном вопросе. Понятно, что в таких книгах нужно этот вопрос максимально упростить, и это нормально. Но что будет, если человек решит изучить тему более детально? Тогда нужны книги следующего уровня.

Итак, **второй уровень.** В них должно содержаться на порядок больше ин-

Соотношение содержания книги к знаниям автора как пропорции «один к десяти» выглядит весьма допустимым сравнением.

формации (слова «на порядок» в данном случае практически математически верны). Возможно, для их чтения потребуются «азбука», но, прочитав «вторую» книгу, человек сможет легко написать свою верную «азбуку».

Аналогично появляются **третий и четвертый уровни**. Но рост на порядок – это не шутки, и четвертый уровень можно определить как уровень современной науки. Знания **пятого уровня** только нарабатываются человечеством.

Имея в виду эту шкалу, интересно рассмотреть современный рынок научно-популярной литературы. Проблема становится видимой сразу. На современном рынке практически нет книг «старших» уровней. По крайней мере, когда речь идет про космонавтику (это сфера интересов автора). Все, что есть – это многочисленные «азбуки» первого уровня или очень малочисленные монографии четвертого.

Таким образом, человеку, успешно прочитавшему «азбуку» и заинтересовавшемуся вопросом, просто нечего делать дальше. Более сложной литературы нет, а книги высшего уровня для него слишком сложны.

Но это еще полбеды. Хуже, что уже появляется много литературы, в которой авторы, не зная разных тонкостей и граничных условий, пытаются как раз додумать недостающие факты и чаще всего ошибаются.

Это принимает самые разнообразные формы. Например, не раз и не два можно увидеть заявление, что воду на Марсе открыли только в нынешнем веке. У человека, знакомого с деталями этой истории, утверждение вызывает большое удивление. О каком XXI веке может идти речь, если еще в середине 1970-х гг. аппараты NASA «Викинг-1» и «Викинг-2» передали столько данных, что вопрос о наличии воды даже не стоял. Приборы станции регистри-

ровали воду как в грунте, так и в атмосфере. Причем в атмосфере фиксировалась порой стопроцентная влажность (поясним: имеется в виду максимальный объем влаги, который может существовать в атмосфере в виде пара, который зависит от температуры и давления), а на место посадки станции выпал реальный иней, что было хорошо видно на панорамах. Более того, то, что ледяные шапки состоят в том числе из водяного льда, было известно и до «Викингов».

Но когда это было? Сейчас же в новостях в первую очередь идут сообщения о современных марсианских станциях. Ученые, конечно, помнят и про результаты «Викингов», а вот многие журналисты – уже вряд ли. В результате информация о том, что сегодня мы узнали, как вода распределена в грунте Марса, принимает столь странные формы.

Аналогичную историю можно вспомнить, говоря и о Венере. Часто можно встретить верное утверждение о существовании в венерианской атмосфере на высоте 50–60 км слоя с допустимыми для человека температурой и давлением. Но на что же идет ссылка? На серию советских посадочных аппаратов, измерявших температуру с давлением непосредственно при спуске? Например, на «Веги», оснащенные претензионными датчиками температуры и передававшими параметры атмосферы каждые 8 секунд? Или, может, хотя бы на американские атмосферные зонды серии *Pioneer-Venus-Multiprobe*? Зачем? Ведь все это было так давно... Орбитальные венерианские станции «Магеллан» и «Венера-Экспресс» работали заметно позже, но именно на них порой и ссылаются ученые, а после и журналисты. Хотя их данные куда менее точные.

Или пример немного из другой области. В прошлом году израильская

автоматическая станция «Берешит» пыталась совершить посадку на Луну. Очень многие СМИ (в том числе и серьезные) прямо написали, что это самый легкий лунный посадочный аппарат в истории. Кто первый пустил эту фразу – не ясно, но явно они даже не пробовали ее проверить. Иначе бы узнали, что американские посадочные станции серии *Ranger Block 2* были легче.

Таких историй можно вспомнить очень много. И, что особенно печально, эти ошибки уже зафиксированы в разных научно-популярных «азбуках», которыми изобилует рынок. Причем мы говорим лишь о тех, кто действительно пытается написать научно-популярную литературу. А кроме них, есть очень большое число полностью антинаучных книжек, заполонивших прилавки магазинов...

Уже начинаются и «столкновения» между авторами таких «азбук с ошибками» и учеными. Вторые показывают на большое число ошибок в книгах, а первые заявляют, что без ошибок в популярной литературе никуда. Да, ошибки, конечно, неизбежны. Но ошибки ошибкам рознь. Многие ошибочные представления и заблуждения слишком укоренились в представлениях людей, даже интересующихся вопросом.

Самое печальное, что ситуация вряд ли разрешится в ближайшее время. Почему? Да просто потому, что с точки зрения издательств, нет достаточного спроса на литературу «второго уровня», которая могла бы исправить неизбежные упрощения, взятые из «азбук».

Действительно, при увеличении сложности текста падает число его читателей. Если сложность увеличивается на порядок, предположим, что на порядок падает и число читателей. Тиражи, даже «азбук», обычно огра-

ничиваются парой тысяч экземпляров. Значит, у новой книги «второго уровня» будет всего несколько сот читателей. Это слишком маленькое число, чтобы издание книги окупилось. А ведь более сложная работа потребует затратить большие усилия, оплатить которые издательство не в состоянии. В результате куда легче написать очередную «азбуку»...

Ситуация при этом даже становится хуже, чем была. В частности, из-за проблем с финансами был закрыт хороший журнал именно второго уровня – «Новости космонавтики». Увы, это еще одно подтверждение того, что подобные проекты сложно выходят на окупаемость. Что самое грустное – отношение к этому. Автор был удивлен, услышав от одного популярного блогера «космической» тематики, что раз НК не мог окупаться, значит, туда ему и дорога. То есть нужно издавать только то, что нужно рынку.

Как выбраться из этой ситуации, автор не знает. Понятно, что ее нельзя изменить, не вливая средства. Но денег у заинтересованных организаций, которыми могли бы быть научные институты или вузы, не хватает даже на свои проекты. Популяризацией своей работы сами ученые особо не стараются заниматься (их сложно винить, поскольку этот труд занимает не меньше сил и времени, чем научная работа). Научно-популярные журналы порой выплачивают мизерный гонорар, а у некоторых нет средств и на него. Что, увы, опять сказывается на качестве материалов. Гранты научных фондов больше направлены на серьезные исследования, то есть на литературу «четвертого уровня».

Похоже, что современное положение дел изменится еще не скоро. И лучше не думать, какие последствия этой ситуации мы не сможем исправить.

ВОЙНА И МИР ОБСЕРВАТОРИИ ПИК-ДЮ-МИДИ (к 150-летию основания)

СОЛОМОНОВ Юрий Владимирович,

руководитель Московского общества любителей астрономии

ЕРХОВА Наталия Феликсовна,

младший научный сотрудник

Астрокосмический центр Физического института им. П.Н. Лебедева РАН

DOI: 10.7868/5004439482003007X

1870 г. считается годом основания одной из первых высокогорных астрономических обсерваторий и гордости Франции Пик-дю-Миди (Observatoire du Pic du Midi de Bigorre). Открывшаяся в 1881 г. как метеорологическая, она в 1903 г. перешла под руководство Тулузского университета. Обсерватория находится во французской части Пиренейских гор на высоте 2877 м над уровнем моря в очень красивом и живописном месте, гордо возвышаясь над окрестными вершинами. Занимает площадь в 750 м², на которой размещены 4 здания и 7 башен с телескопами, связанные между собой подземными

коридорами общей протяженностью 5 км. Кроме зданий для астрономических целей, на территории обсерватории расположены музей, ресторан, небольшая гостиница и ретрансляционная антенна связи.

ДИТЯ ПОСЛЕВОЕННОГО ВРЕМЕНИ

Впервые это место для астрономических и метеорологических наблюдений приметил еще французский ученый Франсуа де Плантада (1670–1741). Первый раз он поднялся на эту вершину

Вид на Пиренеи и обсерваторию Пик-дю-Миди. Современное фото





Вершина Пик-дю-Миди с метеорологической станцией. 1891 г. Из архива обсерватории

в 1706 г. для наблюдения солнечного затмения. Второе восхождение он сделал 26 августа 1741 г. для картографических работ. Однако здоровье уже пожилого ученого не выдержало тяжелого подъема, и на пути к вершине он скончался, успев сказать фразу: «Ах! Как это прекрасно!». В 1774 г. на пике работала научная экспедиция для изучения атмосферы нашей планеты.

Об удобном месте астрономических наблюдений забыли почти на столетие. Французским ученым в этот период было не до астрономии: на рубеже XVIII–XIX вв. страну сотрясали постоянные войны и революции. Лишь к 1870 г. французские астрономы вновь вернулись к идее строительства обсерватории в этом месте, получив поддержку императора Наполеона III. Но тут грянула франко-прусская война, а за ней произошла очередная революция. Неудача в войне остудила головы нового правительства, и оно решило

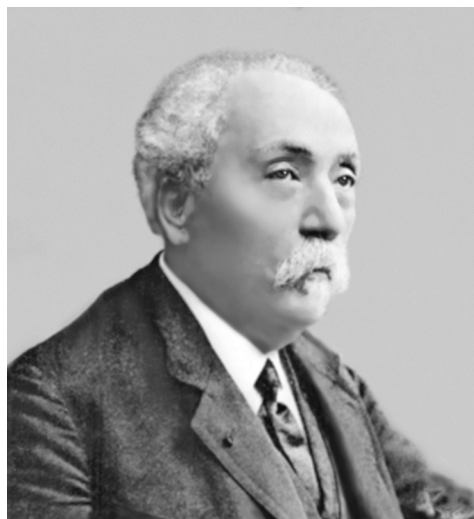
«отдохнуть» от ратных дел, начав активно финансировать науку, в том числе и астрономию. Послевоенное время стало «золотым» для астрономии во Франции: в эти годы строится крупный телескоп в Медоне (ЗиВ, 1986, № 2); банкир Рафаэль Бишофсхайм финансирует строительство передовой обсерватории в Ницце (ЗиВ, 2020, № 2) и вспоминают о высокогорной обсерватории в Пиренеях. Ее преимущества по астроклимату очевидны: большое число ясных ночей, отсутствие освещения и высокая прозрачность атмосферы. Но существуют и минусы – забраться в горы задача не из легких. В те годы путь на пик занимал почти сутки, а ведь туда надо было доставить еще и громоздкие инструменты.

Первые работы по строительству обсерватории начались в 1875 г. под руководством генерала Шарля дю Буа де Нансути (1815–1895) и под эгидой Общества им. Рамона. Этот генерал

участвовал во франко-прусской войне, принимал участие в капитуляции армии под Седаном, потом находился под арестом и даже был лишен звания. Из-под ареста его выпустили, звание восстановили, но командовать армией больше не доверили, отправив в своеобразную ссылку на окраину страны. Главным инженером проекта назначили Селестина-Ксавье Вауссената (1831–1891). Кроме инженерных дел, он занимался и сбором средств – государственных денег не хватало, приходилось искать меценатов и спонсоров, что впоследствии станет традиционным для руководства обсерватории. Растущие расходы заставили Общество им. Рамона отказаться от обсерватории в пользу государства, так что с 7 августа 1882 г. она получила статус государственного учреждения.

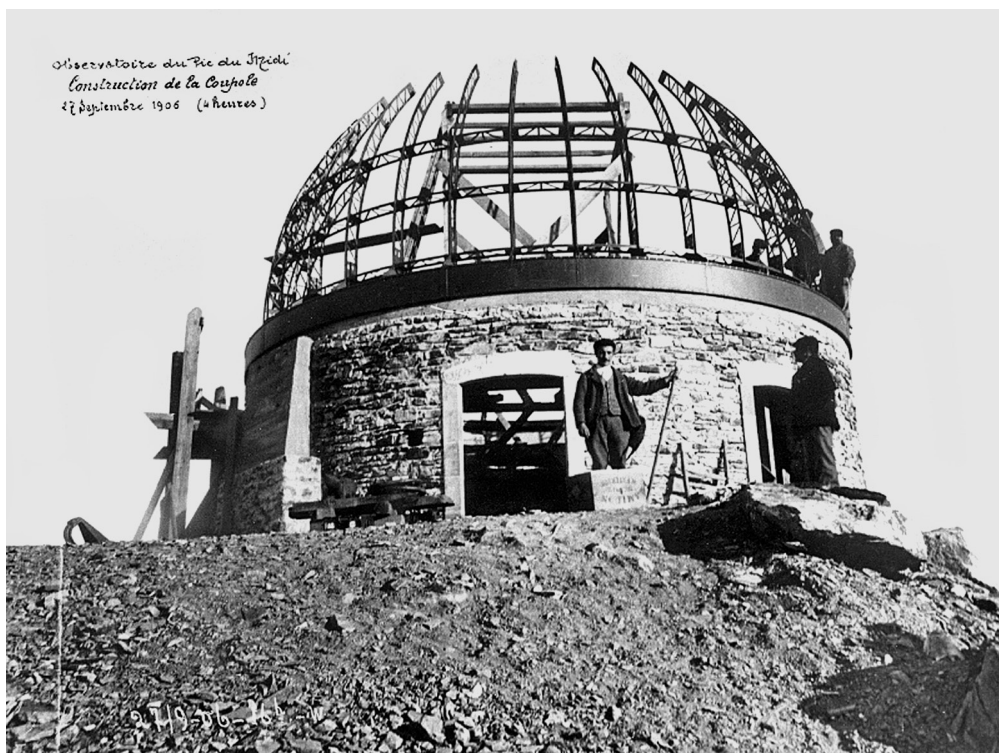
КАК ЗАКРЫЛИ КАНАЛЫ МАРСА

Первые здания были построены в сентябре 1882 г. Тогда же туда доставили и небольшие инструменты с апертурой 3–5 дюйма (7,6–12,7 см), на которых проводили наблюдения до начала XX в., пока на удивительное место не



обратил внимание директор обсерватории Тулузы Бенджамин Байо (1848–1934): он подыскивал новое место для астрономических наблюдений из-за роста городской засветки в окрестностях Тулузы. Пик-дю-Миди ему понравился, и в течение 1901–1904 гг. он со своими сотрудниками регулярно проводит оценку качества неба, подсчитывает число ясных ночей и собирает данные о других факторах, важных для наблюдений. Наконец, убедившись в том, что место полностью соответствует его требованиям, он получает финансирование от руководства университета. Первоначально Байо хотел установить там двойной линзовый рефрактор с диаметрами линз около 50 см, но поднять его на вершину горы в те годы было технически невозможно. Поэтому было решено построить зеркальный телескоп аналогичного диаметра. Для него требовался и отдельный павильон. Его стены и фундамент собрали на месте, а купол диаметром 8 м пришлось сделать в Тулузе, откуда его поездом, а потом и автомобилями доставили к подножию горы. Для того, чтобы купол и зеркала телескопов смогли попасть наверх по тропе, ее решили расширить. Для чего в помощь астрономам дали солдат 14-го артиллерийского полка. Тропу подготовили в 1906 г., но поднять инструменты в тот год не успели – зима наступила значительно раньше. Тяжелый подъем начали весной следующего 1907 г. В то же самое время на другом конце света, в штате Калифорния (США), тоже строили высокогорную обсерваторию на горе Вилсона (Mount Wilson Observatory; ЗиВ, 2020, № 2). Она хоть и на километр ниже, чем Пик-дю-Миди, но поднимаемый на

Бенджамин Эдуард Байо, директор обсерватории Тулузы и инициатор постройки 50-см рефлектора в Пик-дю-Миди



Строительство башни Байо. 1907 г. Из архива фонда Эйссалет

ее вершину инструмент превосходил французский в три раза по размерам и массе. Для подъема на гору тоже расширяли дорогу. Но, если французы использовали мулов, то американцы подняли все полностью с помощью грузовиков – новейшего тогда технического достижения, что с учетом размера инструментов привлекло к их обсерватории внимание всего мира, а вот подъем на Пик-дю-Миди так и остался национальной гордостью Франции.

Все работы по установке завершились к 14 сентября 1907 г., но астрономические наблюдения начали проводить Бенджамин Байо и его сыновья, Жюль и Рене, только в 1908 г., когда была завершена постройка 8-метрового купола и установка 50-см рефлектора.

Впоследствии первая башня получит имя в честь ее создателя – Башня Байо.

Название башни в честь ученого – это оригинальная французская идея. Во всех других странах в честь ученых или меценатов давали названия телескопам, а не башням, в которых они устанавливались. Первый стационарный инструмент был достаточно уникальным: помимо главного 50-см телескопа, на нем в качестве искателя установили еще и 23-см рефрактор. Правда, прославился этот телескоп не открытиями, а наоборот закрытием темы предполагаемых искусственных сооружений на Марсе – «каналов».

Впервые эти удивительные образования обнаружил в 1877 г. итальянский астроном Джованни Скипарелли (1835–1910; Зив, 2010, № 5). К концу XIX в. новые марсианские каналы открывались почти ежегодно! И самым «главным» открывателем их стал американский астроном Персиваль Лоуэлл (1855–



В башне обсерватории находится 50-см телескоп-рефлектор 1937 г.

1916). Он даже построил крупнейшую частную обсерваторию в США для исследования Марса, и, чем дольше его наблюдал, тем больше открывал этих образований. Начав с 70 линий в 1895 г., он буквально за десять лет увеличил их число на карте Марса до 437 «каналов» (из них 38 были еще и двойными)! Разумеется, не все астрономы принимали эти открытия, но вот для опровержения требовались тщательные наблюдения, и с появлением 50-см инструмента это удалось сделать. Уступая по размерам 61-см рефрактору Лоуэлла, французский телескоп Robley Dome превосходил его по пропусканию из-за более благоприятных горных условий и высоты. Лоуэлл заявлял, что, наоборот, его инструмент превосходит по пропусканию французский телескоп. Но пригласить комиссию, которая бы независимо оценила эти параметры, отказался. Впрочем, в 1910-е гг., Лоуэлла интересовал уже не столько Марс, сколько загадочная 9-я планета, которую он активно искал до своей смерти. Окончательно каналы Марса, открытые Лоуэл-

лом, были закрыты с введением в строй 2,5-м телескопа (1917 г.) в обсерватории на горе Вилсон.

КОРОНОГРАФ И ПЕРВЫЙ СНИМОК СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ

Условия жизни на горе в начале XX в. были очень суровые, так что немногие астрономы приезжали туда для постоянных наблюдений. Так продолжалось до 1930-х гг., когда для испытания своего нового прибора в обсерваторию прибыл в 1930 г. Бернар Лио (1897–1952). Новый прибор – 23-см рефрактор, получивший название внеатмосферный коронограф, созданный им в 1929–1930 гг., стал очередным прорывом в области наблюдательных технологий в астрономии и исследованиях Солнца. Солнечная корона – внешние слои атмосферы нашего светила – видны только в момент полного солнечного затмения. А полные солнечные затмения на Земле происходят несколько раз в год, причем видна корона только в момент

максимальной фазы, которая длится несколько минут! Попытки создать «искусственную Луну», которая закрывала бы изображение Солнца в телескопе, давая возможность наблюдать корону, предпринимались с середины XIX в. Но все эксперименты заканчивались неудачей вследствие того, что рассеянный свет в оптике телескопа создает ореол, полностью застилающий слабое свечение короны. Значительная часть ореола возникает из-за дифракции света на оправе объектива, интенсивность его составляет порядка десятых долей процента от яркости самого Солнца, однако эта ничтожная величина примерно в 300 раз ярче свечения солнечной короны. Б. Лио и сумел найти эту причину, и даже ее устранить. Другим источником возникновения ореола является и земная атмосфера. В горах она наиболее прозрачна, и именно поэтому коронографы стараются ставить высоко в горах. Попытки Б. Лио получить изображение солнечной короны на равнине не увенчались успехом, поэтому он и выбрал Пик-дю-Миди для установки своего инструмента. Отметим, что коронографы тех лет позволяли наблюдать корону только спектральным методом – при разложении цвета.

Появление в обсерватории Б. Лио не зря называют «золотым веком» солнечной астрономии Франции и Пика-дю-Миди. Как уже отмечалось



Бернар Лио. 1940-е гг.

выше, астрономы редко работали в обсерватории, и основные наблюдения здесь проводили метеорологи и геофизики. Причем в 1922 г. даже стоял вопрос о закрытии обсерватории – слишком дорого она обходилась министерству образования в те годы. Однако Камилу Даузери (1869–1938), который возглавил обсерваторию в 1920 г., после 6-лет «безвластия» удалось собрать значительные средства для поддержания работы обсерватории и капитального ремонта, который требовался на пике. Причиной того, что обсерватория находилась в критическом состоянии, стала Первая мировая война. Перед ее началом скоропостижно скончался директор обсерватории Эмиль Маршан (1852–1914), но назначить нового директора не успели. Разумеется, средства на работу обсерватории и ее поддержание в этот период

Башня с 20-см рефлектором и внезатменным коронографом Бернара Лио





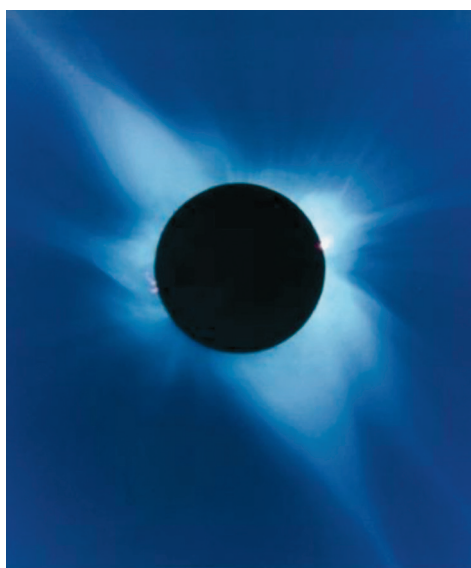
*Второй директор обсерватории
Эмиль Маршан*

не отпускались, и лишь в 1920 г. Министерство образования вспомнило о существовании обсерватории и о вакантной должности директора.

Для установки коронографа был выделен 23-см рефрактор-искатель, установленный в башне Байо. 12 июля 1931 г. Бернар Лио получил первую в мире фотографию солнечной короны вне затмения! В дальнейшем он продолжил развивать свой прибор и в 1939 г. представил во Французской академии наук кинофильм, посвященный солнечной короне! После Второй мировой войны Лио продолжал работы над развитием коронографов, однако 2 апреля 1952 г., возвращаясь с территории Египта после наблюдения солнечного затмения, у него случился сердечный приступ и ученый скоропостижно скончался.



Первый в мире коронограф. 2013 г. Из архива обсерватории



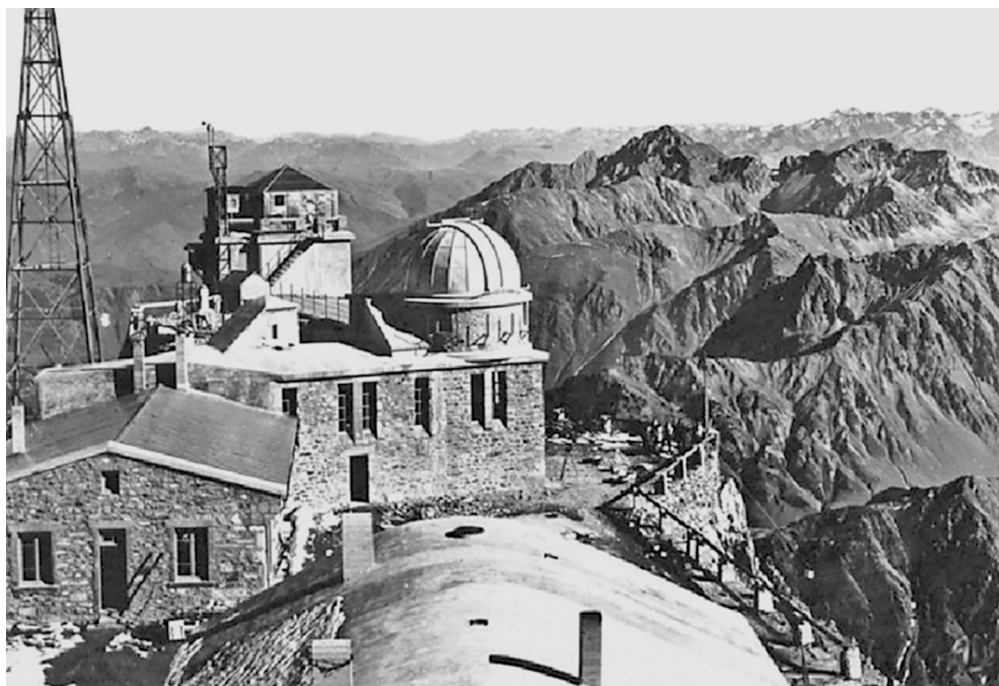
Бернар Лио ведет наблюдения с помощью 23-см рефрактора с коронографом. 1939 г.

КАРТОФЕЛЬ ДЛЯ МАРШАЛА ПЕТЕНА

Камил Даузер провел обсерваторию через сложные времена: сначала это было послевоенное время, потом экономический кризис, начавшийся в США и известный как Великая депрессия. Из-за океана он добрался и в Европу. Но благодаря Даузеру обсерватория тогда устояла, а благодаря Лио – получила мировую известность. В 1937 г. Даузер ушел в отставку по состоянию здоровья, а в следующем году скончался. В честь него назвали один из первых павильонов, построенный в 1926–1927 гг.

Новым директором обсерватории, с подачи Бернара Лио, был назначен Жюль Байо (1876–1960) – сын Бенджамина Байо. Становиться директором обсерватории он не собирался: во-первых, к тому моменту он был уже достаточно пожилым (63 года), чтобы

работать в суровых условиях; во-вторых, он в это время занимался в Парижской обсерватории фотографическим каталогом звезд до 10,5^m. Однако Министерство образования заявило, что если не будет предложена кандидатура нового директора, то вновь будет поставлен вопрос о закрытии обсерватории. В общем, деваться Жюлю было некуда, единственное условие, которое выдвинул пожилой ученый – это совмещение работы директора и наблюдателя Парижской обсерватории. Оно было принято. Соглашаясь на эту должность, Ж. Байо тогда не знал, что проведет Пик-дю-Миди через очередную войну – самую страшную и разрушительную в истории человечества Вторую мировую. Впрочем, обсерваторию, которая находилась в «медвежьем углу», она затронула не сильно. Немцы оккупировали северную часть Франции, обсерватория попала в Свободную зону, которую контролировало Правительство Виши во главе с маршалом Анри



Обсерватория Пик-дю-Миди в 1940-х гг. Из архива фонда Эйссалет

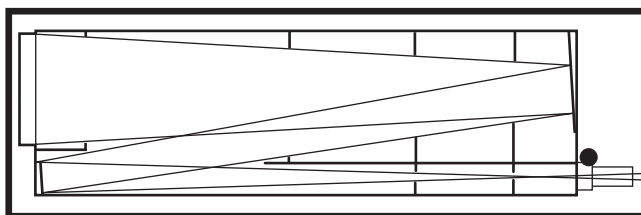
Петеном (1856–1951). И даже полная оккупация Франции в конце 1942 г. не привлекла к обсерватории внимание нацистов: находилась она на границе с дружественной Испанией, откуда не ждали ни высадки англо-американцев, ни танков Красной Армии.

Жюль Байо в годы оккупации активно занимается астрономией: пытается перешлифовать зеркало 50-см рефлектора 1908 г., установленного его отцом, проводит наблюдения поверхности Марса во время противостояния 1941 г., договорившись для этого с Тулузским университетом о предоставлении 38-см рефлектора на время наблюдений. Кроме того, он создает два отдела ботанических исследований, которые занимаются... выращиванием картофеля, таким образом решается и проблема питания, и поиск финансирования. В 1940 г. Байо демонстрирует этот картофель Петену. Видимо, карто-

фель маршалу понравился, потому что в 1942 г. в обсерваторию удалось доставить 60-см рефрактор Парижской обсерватории. Но длина телескопа была 18 м, поэтому башня Байо не вместила бы этого гиганта! Тогда Бернар Лио вспомнил о «сложенном рефракторе» – изобретении швейцарского оптика и любителя астрономии Эмиля Шаерома (1862–1931).

Схема этого инструмента Шаерома любопытна: за линзой под небольшим углом устанавливались два зеркала – главное и вторичное, с которого свет шел на окуляр. Такая с виду громоздкая конструкция позволяла уменьшить длину трубы телескопа в три раза, без потери фокусного расстояния и светосилы, при условии качественных зеркал. Правда, все подобные инструменты, построенные до этого, были небольшими. Но других вариантов у французских астрономов не было, и Байо

Схема «сложенного рефрактора» Эмиля Шаерома



с Лио решились на создание этого уникального инструмента. Разобрав старый зеркальный инструмент (восстановленный астрономами-любителями и волонтерами в начале XXI века телескоп получит индекс Т-55), использовали его зеркала для нового 60-см рефрактора 1942 г., названного телескопом им. Бенджамина Байо. Первые наблюдения планет показали высокое качество телескопа. До конца 1970-х гг. телескоп использовался для наблюдений Луны, Марса, облачных образований на Юпитере и Сатурне, а также крупнейших спутников этих планет. Впоследствии, когда космические аппараты были направлены к Луне и планетам, телескоп стали использовать для наблюдения Солнца. Проработал он до конца XX в., перейдя в разряд музейных экспонатов.

После установки рефрактора Жюль Байо решил установить в обсерватории еще два телескопа с зеркалами диаметром 85 см и 150 см, но они не были изготовлены. Последний должен был стать революционным – установить его хотели на улице без павильона. С этой задачей должен был справиться жидкий гелий, им собирались покрыть всю трубу телескопа, а зеркало Байо решил сделать не из стекла, а из стали! Дефицитный материал в годы войны, да еще и на территориях, подвластных Третьему Рейху. Кроме того, сталь хоть и обладает высокой термостойкостью, имеет низкую отражательную способность (65%) и тяжела в полировке. По той же причине в свое время астрономы отказались от медных зеркал в XIX в., особенно когда появился метод серебрения зеркал Фуко. Но у Байо и Лио после

Башни обсерватории Пик-дю-Миди





Андре-Луис Данжон – президент Французского астрономического общества, президент Международного астрономического союза (1955–1958)

успеха со «сложенным рефрактором» началось «головокружение от успехов» и они посчитали, что смогут совершить и теперь очередной переворот в мире телескопостроения. Астрономы обращаются в различные сталелитейные компании, рассылают технические задания. Однако вскоре союзники высаживаются в Нормандии, правительство Петена бежит в Германию, а в самой Франции парализуется вся гражданская работа. Так что никто не берется делать стальное зеркало.

Что касается Жюля Байо, то в 1947 г. он ушел в отставку, в 1950 г. закончил работу над каталогом звезд, а потом... Сказался то ли возраст, то ли понадобились средства, как когда-то Иоганну Кеплеру (1571–1630), который для того,

чтобы заниматься астрономическими наблюдениями, торговал во времена Тридцатилетней войны гороскопами. Байо сначала написал предисловие к астрологическому справочнику «Женский календарь зачатий» (1953), а затем предисловие к религиозной книге Андре Жире: «Астрономия и понятие Бога» (1956).

Конец проектам Ж. Байо и Б. Лио положил знаменитый астроном Андре-Луис Данжон (1890–1967), ставший директором Парижской обсерватории в 1945–1963 гг. и заявивший, что такой инструмент просто невозможно построить, тем более во Франции.

ПОСЛЕВОЕННЫЕ МЕЦЕНАТЫ

Новый инструмент обсерватории с зеркалом в 60-см подарил в 1946 г. богатый любитель астрономии Марсель Джентиль. Имея еврейское происхождение, ему пришлось покинуть Францию, а вот сыну мецената это не удалось, и он нашел укрытие от сотрудников немецкого гестапо и их помощников из числа коллаборационистов в стенах обсерватории.

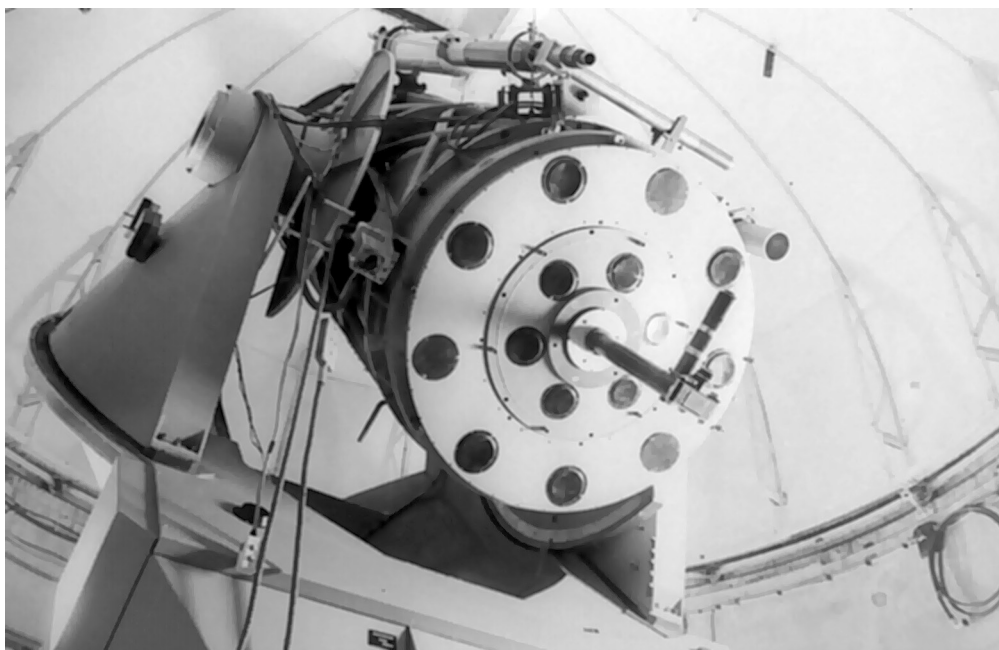
Это был достаточно интересный рефлектор: построен в 1910 г. тем самым Эмилем Шаеромом, схему которого использовали для рефрактора обсерватории. Первоначально телескоп находился вблизи Женевы, а в 1922 г. его приобрел Марсель Джентиль, построив для него специальный павильон, который тоже был передан в дар вместе с телескопом. Удивительно, но ни инструмент, вошедший в историю под названием Т-60, ни купол не получили имя в честь этого мецената. До 1958 г. он использовался для фотометрических наблюдений, потом его оснастили спектральным прибором.

В 1963 г. Т-60 уступил свою башню новому 106-см рефлектору (создан на



*60-см зеркальный телескоп Т-60. 1950-е гг.
Из архива обсерватории*

средства NASA, использовался для детальной съемки поверхности Луны в ходе подготовки программы «Аполлон»), переехав в самую маленькую башню обсерватории, где на нем проводились внегалактические исследования. В 1982 г. Тулузский университет передал его в пользование любителям астрономии, создав комитет, который рассматривал заявки на исследования от любителей, тем самым привлекая их к серьезной научной деятельности. Причем, написать заявку могут не только французские любители, но и любители других стран. Начиная с момента своего возникновения и до сегодняшнего дня, обсерватория проводит политику международного сотрудничества! Отметим, что это ныне самый маленький инструмент обсерватории, первым получивший ПЗС-камеру в 1985 г. – остальные телескопы обсерватории продолжали получать изображения на



*106-см телескоп-рефлектор, построенный на средства NASA. Фотография 1960-х гг.
Из архива обсерватории*

фотопластинку. Стал он и первым инструментом, который попал в 1993 г. под финансовое сокращение: сначала на нем перестали вести наблюдения в зимний период, а потом он вообще был закрыт. Лишь с 2002 г. удалось найти финансирование, и телескоп вновь доступен любителям астрономии.

Новый директор Жан Рош (1915–1999) решил в первые послевоенные годы многие технические проблемы: при нем построили канатную дорогу, провели электричество, создав даже новый исследовательский отдел, который занимался космическим излучением. Привлек он к сотрудничеству и другие университеты. Однако для постройки новых инструментов, как это часто бывает, денег в стране не было. И виновата, как всегда, война. Вторая мировая, во время которой, благодаря осторожной политике Байо, удалось установить два инструмента, стала катализатором национально-освободительных войн в колониях, а Франция тогда фактически была второй по величине колониальной державой, уступая только Великобритании. В итоге французам пришлось воевать в Азии, Африке и Ближнем Востоке, отправляя в разные концы света иностранные легионы. Какие тут средства для постройки телескопов? Однако, благодаря Рошу удалось найти нового спонсора для постройки 1-м телескопа.

Рош пригласил для работы в обсерваторию заведующего кафедрой астрономии университета Манчестера Зденека Копала (1914–1993), который и предложил начать работы по созданию карты Луны. Он заинтересовал своим проек-



Американо-британский астроном Зденек Копал

том NASA, которое было образовано в 1958 г. Его проект понравился американским специалистам, и они выделили деньги на постройку метрового телескопа, который в последствии планировали использовать для наблюдений угловых отражателей, которые будут доставлены на Луну в рамках проекта «Аполлон» (ЗиВ, 1968, № 2; 1970, № 5; 1972, № 2; 1973, №№ 1, 5; 1989, № 5; 2009, № 5).

Новый 1-м телескоп, который назвали Т-1м, установили в Башне Байо в 1962 г., построив для бывшего флагмана обсерватории Т-60 новый купол. З. Копал получил еще и работу в качестве сотрудника Лаборатории реактивного движения NASA. Что касается дальнейшей истории Т-1м, то в 1974 г. он получил новое зеркало диаметром 105 см и был передан Парижской обсерватории, которая использует его по настоящее время для наблюдения малых планет, хотя и большие планеты (Марс, Юпитер и Сатурн) вблизи противостояния также наблюдаются на этом инструменте. Французские астрономы любят сравнивать снимки с этого телескопа со снимками Космического телескопа им. Хаббла.

Стоит отдать должное Ж. Рошу за то, что он не только смог привлечь средства для постройки нового инструмента, но и сохранить имеющееся оборудование. Его британским коллегам этого сделать не удалось, и один из старейших рефракторов Великобритании в 1950-е гг. был передан в дар Афинской обсерватории, сотрудники которой смогли сохранить исторический инструмент. У британцев не было денег не только на его реконструкцию, но даже на ремонт прохудившегося купола!

НАЦИОНАЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

В 1961 г., когда еще шло строительство 1-го телескопа, вступил в строй солнечный телескоп, который ныне носит имя Жана Роша. Установили его в специальном куполе, который получил название башня Турель – это элемент средневекового замка, который сначала представлял собой элементы обороны, а с появлением артиллерии потерял свое военное назначение, став красивым декоративным элементом. С начала XX в. «турельными установками» стали называть платформы для пулеметов и малокалиберных автоматических пушек. Именно на такую пушку и был похож телескоп и его башня: диаметр купола башни этого инструмента равен 5 м, а длина телескопа равна 6 м, и инструмент выдвинут на 2,5 м от купола. Сделано это было для того, чтобы избежать внутренней турбулентности и перепада температур, которым подвергался бы инструмент, если бы пол-

ностью находился в башне, а так его линза постоянно находится на воздухе, не испытывая перепадов температуры. Построил купол в мастерской обсерватории Жак Пейджо, о котором имеется очень мало информации. Первоначально телескоп имел 38-см линзу, но в 1972 г. удалось получить финансирование на его реконструкцию и линзу заменили на более крупную – диаметром 50 см, которую создали в Парижской обсерватории.

В 1964 г. приступили к реализации проекта крупного инструмента, о котором мечтали еще Байо и Лيو. Реализация проекта стала возможна по двум причинам: А.-Л. Данжон, регулярно критикующий проекты астрономов Пик-дю-Миди, ушел в отставку с поста директора Парижской обсерватории (1963) и президента Французского астрономического общества (1964), и закончилась последняя колониальная война в Алжире. К строительству приступили в 1966 г., сопро-

*Солнечный 1-м телескоп, вступивший в строй в 1963 г. Фотография 2013 г.
Из архива обсерватории*





Строительство башни телескопа им. Бернара Лио. 1974 г. Из архива обсерватории

вождалось оно не только сложностями с условиями на горе, что можно назвать техническими проблемами, но и в отношениях между руководством обсерватории, оптиками и министерством. Каждый из них гнул свою линию и имел свое видение того, каким должен быть павильон для телескопа. Пятиэтажную башню диаметром купола 14 м и высотой 28 м построили в 1978 г. Первый этаж технический, а сам телескоп установлен на 5-м этаже с охлаждающими полами. Финансирования как всегда не хватало, и Жак Роше принял волевое решение сделать купол впритык к трубе телескопа. Решение оказалось неудачным. После долгих и скандальных дебатов для охлаждения телескопа поставили дополнительную трубу –

позже аналогичное решение будет применено и на 3,5-м Канадо-Франко-Гавайском телескопе.

Подъем на высоту в те годы был не менее героическим, чем подъем первого телескопа Байо! Часть конструкций поднимали на грузовиках, вертолетах и даже самолетах (сбрасывали на парашюте). Однако, как это было с телескопом Байо, эта операция вновь осталась в тени. На этот раз затмило строительство 6,05-м Большого Телескопа Азимутального (БТА; ЗиВ, 1977, № 6), который установили около пос. Нижний Архыз на отрогах горы Пастухова

на Северном Кавказе. Как и в прошлый раз, затмивший рекордсмен в три раза превосходил французский инструмент, хотя и располагался чуть ниже на высоте 2070 м. Советский Союз приступил к реализации своего проекта одновременно с французскими коллегами, но тоже столкнулся с большими техническими трудностями, имея преимущество – не испытывал дефицита в средствах. БТА получил альт-азимутальную монтировку, в отличие от французского, который установлен на подковообразную вилочную монтировку.

Французский национальный гигант системы Кассегрена диаметром главного зеркала 2 м торжественно открыли 2 июля 1980 г., он получил имя в честь Бернара Лио. Уже во время испытаний с помощью этого телескопа было сделано первое большое открытие: Пьер Лаке и Жан Лекашо обнаружили 12-й спутник Сатурна, позже названный Еленой.

НА РУБЕЖЕ ТЫСЯЧЕЛЕТИЙ

Жан Рош покинул пост директора обсерватории в 1981 г., закончив тогда же и астрономическую карьеру. Именно он создал ту современную обсерваторию, которая и сейчас продолжает свою работу. После его ухода над обсерваторией вновь сгустились тучи: не войны, как это было на протяжении ее столетней истории, а мирное освоение космоса. Основными объектами исследований обсерватории после Второй мировой войны были Солнце, Луна и планеты. Но уже в конце 1970-х гг. наземные средства астрономии не могли конкурировать с автоматическими межпланетными станциями и космическими телескопами для изучения этих объектов.

В 1990-е гг. потребовал крупных финансовых вливаний международный проект Европейской Южной обсервато-



2-м телескоп-рефлектор им. Бернара Лео. 1980 г.



Купола обсерватории, кафе, мини-музей и магазин сувениров. Современное фото



Ночь над обсерваторией Пик-дю-Миди. Декабрь 2013 г. Фото Николаса Буржуа

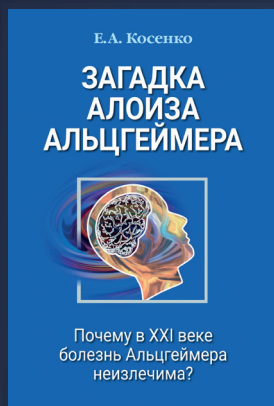
рии в Чили, где устанавливали Очень Большой Телескоп (Very Large Telescope, VLT), состоящий из четырех инструментов с диаметрами зеркал 8,4 м. Также свою долю финансирования требовал и установленный в 1979 г. гавайский телескоп с зеркалом 3,5 м, которым французы владели на паях с канадцами и американцами. Закрытие обсерватории должно было состояться в 1998 г., однако за пять лет до этого Мишель Бланк, возглавивший обсерваторию, представил очередной план модернизации, который ему удалось осуществить. Благодаря ему обсерватория превратилась в туристическую Мекку, которую посещает до 100 тыс. человек в год, что позволяет получать самофинансирование и, таким образом, продолжать научную работу. Телескоп имени Лео, получив в 2007 г. новое оборудование, был объединен в работе с гавайским инструментом, позволяя тем самым использовать его в то время, когда над Гавайскими островами светит Солнце. Астрономы Париж-

ской обсерватории занялись наблюдениями малых планет для эффективного использования своего 1-м инструмента, и даже открыли с его помощью несколько десятков малых планет. Тогда же в обсерватории появился новый телескоп-коронаграф НАСО-CLIMSO, входящий в международную службу мониторинга Солнца! А ведь представить появление такого телескопа еще за десять лет до его открытия казалось невероятным.

* * *

Для современной Франции обсерватория Пик-дю-Миди представляет собой не только богатое историческое наследие, но и идеальную модель той высокогорной астрономической обсерватории, которая сочетает в себе и проведение серьезных астрономических исследований, и просветительский центр. Это настоящая гордость страны, да и, пожалуй, всего мира.

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



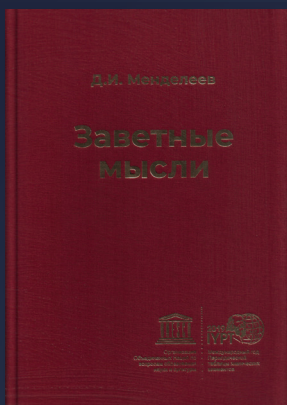
Косенко Е.А.

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

М.: Наука, 2019. — 319 с.

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

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



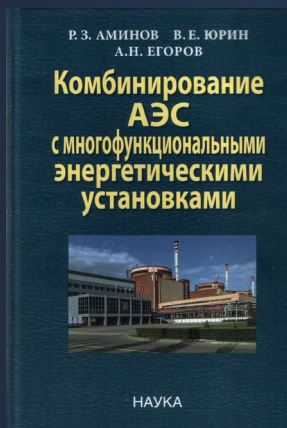
Менделеев Д.И.

Заветные мысли.

М.: Наука, 2019. — 310 с.

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

Для широкого круга читателей.



Аминов Р.З., Юрин В.Е., Егоров А.Н.

Комбинирование АЭС с многофункциональными энергетическими установками.

М.: Наука, 2018. — 238 с.

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

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

naukabooks.ru

80 ЛЕТ НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН В ИРКУТСКЕ

ЯЗЕВ Сергей Артурович,

доктор физико-математических наук,

Астрономическая обсерватория Иркутского государственного университета,
Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН

ГОЛОВКО Алексей Алексеевич,

кандидат физико-математических наук,

Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН

DOI: 10.7868/50044394820030081

Астрономические обсерватории, расположенные в европейской части России, хорошо известны во всем мире. Информация об обсерваториях Сибири и Дальнего Востока страны распространена в меньшей степени. Тем не менее, здесь также ведутся астрономические наблюдения. В частности, Иркутск в 2020 г. отмечает 80-летие регулярных наблюдений солнечных пятен.

НАБЛЮДЕНИЯ НА 5-ДЮЙМОВОМ РЕФРАКТОРЕ ЦЕЙССА

В 1910 г. по инициативе Восточно-Сибирского отдела Императорского Русского географического общества (ВСОРГО) в Иркутске была открыта первая сибирская астрономическая обсерватория. Пятидюймовый рефрактор немецкого завода «Карл Цейсс», специально изготовленный по заказу из Иркутска, был доставлен в Восточную Сибирь из Германии и установлен на башне здания ВСОРГО. Энтузиаст и подвижник Р.С. Пророков, организовавший сбор средств на телескоп в среде иркутской общественности, был руководителем этой



Создатель и первый руководитель астрономической обсерватории ВСОРГО в Иркутске Р.С. Пророков

обсерватории, начиная с 1910 г. вплоть до своей кончины в 1936 г. (ЗиВ, 2001, № 3). Телескоп преимущественно использовался для любительских наблюдений, хотя результаты некоторых наблюдений затмений, комет, покрытий звезд Луной публиковались в Астрономическом циркуляре.

В 1940 г. директор астрономической обсерватории Иркутского государственного университета, будущий известный астрометрист и академик АН УССР Е.П. Фёдоров (1909–1986) принял решение об использовании рефрактора для регулярных наблюдений солнечных пятен в рамках советской Службы Солнца. К тому времени телескоп был передан университету. Основным наблюдателем солнечных пятен стал иркутский



А.А. Каверин и Е.П. Фёдоров у рефрактора Цейсса, 1940 г.

астроном А.А. Каверин (1904–1976), окончивший в 1934 г. аспирантуру в Пулковской обсерватории. Технология наблюдений была достаточно проста: пятна и контуры факелов зарисовывались карандашом на экране. С помощью специальной прозрачной палетки с координатной сеткой определялись гелиографические координаты пятен, класс



Сотрудник астрономической обсерватории ИГУ В.П. Силантьева возле фотогелиографа ФГ-1. 1956 г.

группы пятен, вычислялись ежедневные числа Вольфа, определялась площадь пятен. Данные заносились в таблицы и раз в десять дней отправлялись почтой в центры обработки (5 адресов).

Эта работа на рефракторе Цейсса непрерывно велась вплоть до 1953 г. Сохранились свидетельства, что во время войны закодированные сводки об уровне солнечной активности ежедневно отправлялись по телеграфу – видимо, для прогноза качества радиосвязи. Иркутские данные печатались в трудах Пулковской обсерватории. По числу наблюдений в течение года иркутская станция конкурировала с Ташкентской.

НАБЛЮДЕНИЯ НА ФОТО-ГЕЛИОГРАФЕ ФГ-1

В начале 1953 г. на станции Службы Солнца СССР было разослано письмо из Комиссии по исследованиям Солнца Отделения физико-математических наук АН СССР. Сообщалось, что, согласно решению Пленума комиссии, состоявшегося 20 декабря 1952 г., всем станциям Службы Солнца следовало перейти на фотографические наблюдения солнечных пятен и отказаться от использования зарисовок (визуальных наблюдений). Служба Солнца СССР переходила на использование фотогелиографов ФГ-1 системы члена-корреспондента АН СССР Д.Д. МаксUTOва (1896–1964). Этот инструмент имел диаметр объектива 100 мм, эквивалентное фокусное расстояние 8250 мм и был оснащен пружинным затвором. Фотографирование Солнца осуществлялось на стеклянных фотопластинках размером 9 на 12 см. Изображение диска Солнца на пластинках имело диаметр около 80 мм.

Астрономическая обсерватория ИГУ получила фотогелиограф еще в 1950 г. Одновременно выполнялись и визуаль-



Фотосферно-хромосферный телескоп АФР-2 в павильоне, пос. Зуй вблизи г. Иркутска, 1950-е гг.

С.А. Язев возле фотосферно-хромосферного телескопа, пос. Листвянка, 1981 г.



ные наблюдения на рефракторе Цейсса, и пробные наблюдения на фотогелиографе. Директор обсерватории И.Н. Язев в 1952 г. был направлен в командировку в Ленинград, а затем в Кисловодск – на Горную станцию Пулковской обсерватории, где уже велись регулярные работы на фотогелиографе.

Наблюдения солнечных пятен велись в обсерватории ИГУ на протяжении 20 лет – в период с 1953 по 1972 гг.

НАБЛЮДЕНИЯ НА РЕФРАКТОРЕ АФР-2

При разработке программы Международного геофизического года (МГГ, 1957–1958 гг.; ЗиВ, 2007, № 6) оказалось, что Академия наук СССР не имеет астрономических обсерваторий, осуществляющих наблюдения Солнца, в огромном диапазоне долгот – от Ташкента до Уссурийска. По инициативе Межведомственного геофизического комитета СССР на базе Иркутской магнитно-ионосферной станции был создан пункт Службы Солнца. Станция располагалась возле поселка Зуй в 30 км к северо-западу от Иркутска. Здесь был

установлен серийный телескоп АФР-2 конструкции П.В. Добычина, изготовленный в Ленинградском оптико-механическом объединении для программы МГГ. Это был сдвоенный телескоп для наблюдений фотосферы и хромосферы Солнца – две трубы на одной монтировке. Фотосферная труба (диаметр объектива 130 мм, эквивалентное фокусное расстояние 9080 мм) была оснащена, как и фотогелиограф ФГ-1, кассетной частью, куда вставлялась металлическая кассета со стеклянной фотопластинкой FU-5 производства ГДР размером 9 × 12 см. Изображение Солнца на фотопластинке имело диаметр около 80 мм.

Регулярные наблюдения Солнца начались на обсерватории в Зуе в 1958 г. Руководителем станции стал выпускник ИГУ Г.Я. Смольков. Согласно его воспоминаниям, А.Л. Чижевский прислал на станцию приветственное письмо с рекомендациями по организации научных исследований.

В 1960 г. в Иркутске был создан Сибирский институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн (СибИЗМИР СО АН СССР), а станция в Зуе стала первой обсерваторией нового института.



Г.В. Куклин и В.Е. Степанов на телескопе АЦУ-5 Саянской солнечной обсерватории СибИЗМИР СО АН СССР, 1960-е гг.

НАБЛЮДЕНИЯ НА СОЛНЕЧНОМ ТЕЛЕСКОПЕ АЦУ-5

В начале 1960-х гг. СибИЗМИР СО АН СССР начал сооружение Саянской солнечной обсерватории. Место для строительства было выбрано в 300 км от г. Иркутска, на советско-монгольской границе вблизи поселка Монды на высоте 2000 м. Здесь был сооружен горизонтальный солнечный телескоп АЦУ-5. Начиная с 1963 г. под руководством директора института В.Е. Степанова (1913–1986) здесь начались наблюдения магнитных полей солнечных пятен. На большом экране, где система Кассегрена телескопа АЦУ-5 строила в белом свете изображение Солнца диаметром 45 см, выполнялись зарисовки всех групп солнечных пятен, наблюдаемых на диске. После этого на другом экране, где система Ньютона строила изображение солнечного диска диаметром 165 мм, зарисовывались все пятна и проводилась линия суточной параллели. С учетом каталожного значения угла наклона суточной параллели к солнечному экватору на данную дату, зарисовка переносилась на координатную сетку для привязки положения пятен к гелиоцентрическим координатам.

Третий этап наблюдений заключался в визуальном измерении величины зеemanовского расщепления (эффект Зеемана проявляется в расщеплении спектральных линий в магнитном поле) спектральной линии 630,2 нм в ядре каждого пятна и поре (пятне без полутени). Наведение на ядра солнечных пятен осуществлялось приводами телескопа, а измерения выполнялись с помощью поворота плоскопараллельной пластинки. Полученные значения затем пересчитывались в значения модуля напряженности магнитного поля по таблице. Составлялась итоговая свод-

К сожалению, астроклимат пункта Зуй вблизи развивающегося города нефтехимиков – Ангарска – быстро ухудшался. Электрификация проходящей поблизости Транссибирской магистрали вызывала сильные помехи, мешавшие наблюдениям Солнца на первом радиотелескопе института. Поэтому было принято решение о переносе астрономических наблюдений из пос. Зуй в новые обсерватории института. В 1971 г. солнечный телескоп АФР-2 был перевезен во временный павильон новой Байкальской астрофизической обсерватории в пос. Листвянка на высоком берегу озера Байкал. В 1980 г. фотосферный телескоп был перенесен в башню нового хромосферного телескопа полного диска, разработанного в институте.

Наблюдения солнечных пятен продолжались на телескопе АФР-2 до 1999 г. К тому времени закончились и перестали производиться фотопластинки, мировая астрономия активно переходила на цифровую регистрацию изображений. После 40 лет непрерывных наблюдений солнечный рефрактор был демонтирован.

ка в виде изображения (зарисовки) диска Солнца с координатной сеткой и нанесенными на нее пятнами. На полях сводки наносились зарисовки изображений отдельных групп солнечных пятен с указанием магнитной полярности (N или S) и значениями напряженности магнитного поля в каждом ядре пятна.

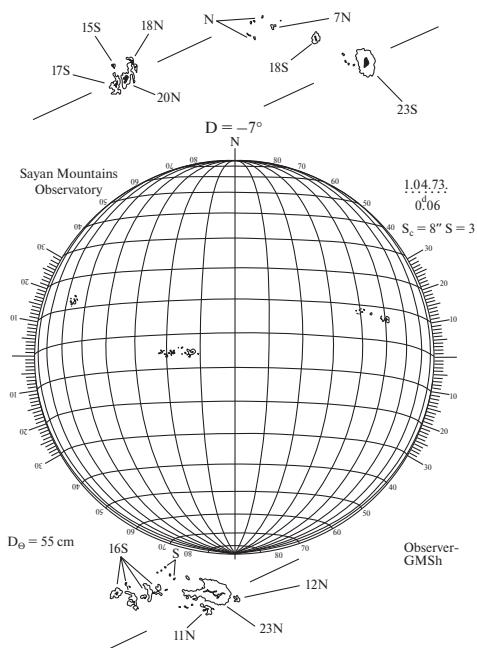
Сводки о магнитных полях солнечных пятен отсылались в Крымскую астрофизическую обсерваторию и в Главную (Пулковскую) обсерваторию, публиковались в бюллетене «Солнечные данные». Эти результаты хранятся в базе данных Пулковской обсерватории, опубликованной на ее сайте.

Наблюдения по описанной методике продолжались с 1963 по 1995 гг. и были прекращены из-за экономических причин.

НАБЛЮДЕНИЯ НА РЕФРАКТОРЕ ЦЕЙССА

В середине 1980-х гг. в Радиоастрономической обсерватории СиБИЗМИР СО АН СССР в Тункинской долине в башне с 4-метровым куполом был установлен телескоп-рефрактор фирмы «Цейсс» с оптической схемой Куде. Телескоп снабжен полуапохроматическим объективом AS с апертурой 150 мм и фокусным расстоянием 2250 мм, относительное отверстие – 1:15. Для наблюдений Солнца в комплекте предусмотрен апертурный фильтр на основе плоскопараллельной стеклянной пластины с алюминиевым напылением.

В 2003 г. телескоп был передан астрономической обсерватории Иркутского государственного университета и установлен на астрономическом полигоне Сибирского филиала Всероссийского научно-исследовательского института физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ) – согласно договору о научно-техническом



Пример сводки измерений магнитных полей солнечных пятен, выполненных 1 апреля 1973 г. на телескопе АЦУ-5 Саянской обсерватории СиБИЗМИР СО АН СССР. Возле зарисовок солнечных пятен на экране (диаметр изображения диска Солнца – 55 см, вверху – пятна северного полушария, внизу – южного) показаны магнитные полярности пятен и значения магнитной индукции для каждого пятна, выраженные в сотнях Гаусс. В центре сводки – изображение диска Солнца со всеми пятнами

сотрудничестве между Институтом солнечно-земной физики СО РАН (так с 1993 г. называется СиБИЗМИР), ИГУ и ВСФ ВНИИФТРИ. Договор о сотрудничестве между ВНИИФТРИ и ИГУ заключался, начиная с 1970-х гг. и многократно перезаключался.

В 2004 г. были проведены пробные наблюдения на новом месте. Регулярные наблюдения солнечных пятен с регистрацией на цифровую фотокамеру начались в 2007 г. На телескопе определялись: класс групп пятен, ежедневные значения чисел Вольфа, площади



*Телескоп Цейсса системы Куде
Астрономической обсерватории ИГУ, 2007 г.*

пятен и их гелиографические координаты. Сравнение полученных данных с рядом Уссурийской обсерватории, использующей аналогичный телескоп, показало, что расхождения минимальны и система ряда данных устойчива.

К сожалению, в 2019 г. наблюдения были прекращены. Новый генеральный директор ФГУП ВНИИФТРИ отказался продлить договор о сотрудничестве и настоял на вывозе телескопа с территории полигона ВСФ ВНИИФТРИ. Рефрактор был демонтирован. Руководство ИГУ приняло решение о сооружении павильона для телескопа на территории, принадлежащей университету. Зимой 2019–2020 гг. сооружение павильона было завершено, в 2020 г. планируются установка и отладка телескопа, а также возобновление регулярных наблюдений солнечных пятен.

НУЖНЫ ЛИ РОССИИ НАБЛЮДЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН?

С распадом Советского Союза ушла в прошлое и система Службы Солнца страны. На ряде разнесенных по долготе обсерваторий в свое время велись регулярные наблюдения проявлений солнечной активности (солнечных пятен и факелов на фотосферных телескопах), солнечных вспышек – на хромосферных телескопах; радиисточников и радиовсплесков – на радиотелескопах.

В настоящее время Служба Солнца в России не существует. На инициативной основе продолжают непрерывные наблюдения пятен на Горной станции ГАО РАН в г. Кисловодске и на Уссурийской астрофизической обсерватории ДВО РАН близ г. Уссурийска. После 80-летнего периода непрерывных наблюдений пятен в г. Иркутске по воле руководства ФГУП ВНИИФТРИ они были прерваны (есть надежда, что в 2020 г. работы будут возобновлены).

Тем не менее, проблема остается. Двух или трех обсерваторий недостаточно для формирования непрерывного ряда данных, в случае нередких лакун по погодным условиям отсутствующие наблюдения не восполняются. В России не существует Федеральной научной программы мониторинга солнечной активности, включающей наблюдения динамики солнечной активности. Отечественные гелиофизики пользуются преимущественно данными, которые регистрируются американской космической «Обсерваторией солнечной динамики» (SDO; ЗиВ, 2010, № 6), ранее – космической обсерваторией SOHO (ЗиВ, 1997, № 2, с. 41–42; 2003, № 3), и выставляются в интернете. В случае выхода из строя зарубежной обсерватории или ограничения доступа к ее данным Россия останется без возможности полноценных наблюдений. Вопрос о создании и поддержке отечественной системы Службы Солнца представляется актуальным.

РИМСКИЕ СОЗВЕЗДИЯ: ТЕМНОЕ ПРОШЛОЕ, КОРОТКАЯ ЖИЗНЬ

КАЗАКОВ Евгений Викторович,

Postgres Professional

DOI: 10.7868/50044394820030093

Большая Медведица, Орион, Андромеда, Лира – знакомые нам созвездия, описанные астрономами Древней Греции. Как видели небо их западные соседи, римляне? Были ли у них свои, римские созвездия? Что рассказывают о них латинские учебники астрономии?

ГРЕЧЕСКАЯ КЛАССИЧЕСКАЯ ТРАДИЦИЯ

Из 88 созвездий больше половины, сорок семь, относятся к классическим греческим созвездиям и перечислены Клавдием Птолемеем в каталоге звезд «Альмагеста» (ок. 140 г.н.э.; ЗиВ, 1987, № 2; 1997, № 2; 2012, № 4).

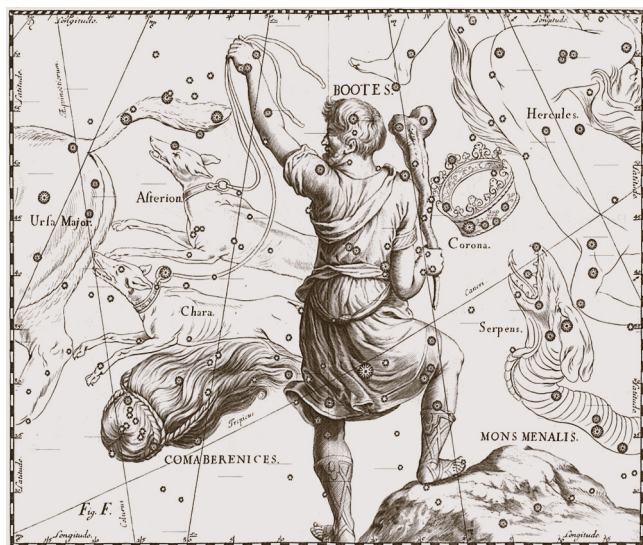
У Птолемея было еще одно созвездие – Корабль Арго, но по предложению Н.Л. де Лакайя (1713–1762) в середине XVIII в. оно было разделено на три более мелких. Перечислим созвездия Птолемея с использованными им названиями, традиционно разделенные на три группы:

– **северные** (относительно эклиптики): Малая Медведица, Большая Медведица, Дракон, Цефей, Волопас, Северная Корона, Коленопреклоненный (Геркулес), Лира, Птица (Лебедь), Кассиопея,

Персей, Возничий, Змееносец, Змея Змееносца (Змея; у Птолемея – только часть «Голова Змеи»), Стрела, Орел, Дельфин, Голова Коня (Малый Конь), Конь (Пегас), Андромеда, Треугольник;
– **зодиакальные**: Овен, Телец, Близнецы, Рак, Лев, Дева, Клешни (Весы), Скорпион, Стрелец, Козерог, Водолей, Рыбы;



Созвездие Корабль Арго на карте звездного неба Яна Гевелия. Гданьск, 1690 г.



Созвездие Волосы Вероники на карте звездного неба Яна Гевелия. Гданьск, 1690 г.

– южные: Кит, Орион, Река (Эридан), Заяц, Пес (Большой Пес), Прочион (Малый Пес), Арго (разделено на Киль, Корма, Паруса), Водяной Змей (Гидра), Чаша, Ворон, Кентавр (Центавр), Зверь (Волк), Жертвенник, Южная Корона, Южная Рыба.

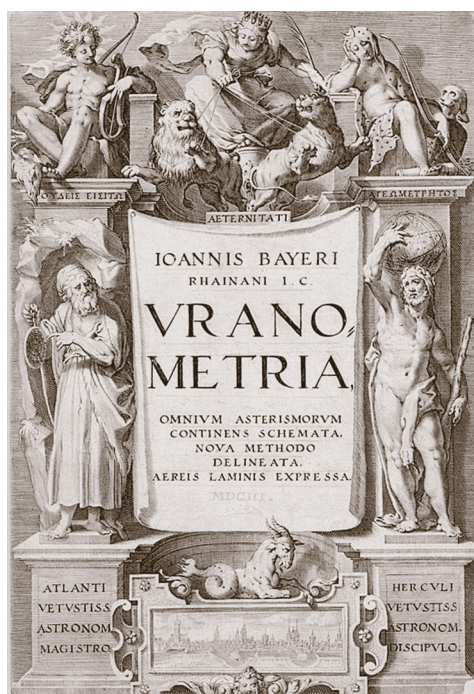
К эпохе античности, к III в. до н.э., относится появление созвездия Волосы Вероники, не вошедшего в список Птолемея (ЗиВ, 1979, № 2, с. 70). По поэтической легенде, известной по поэме александрийского ученого и поэта Каллимаха из Килены «Коса Береники», название «Волосы Вероники» предложил живший в Египте греческий астроном Конон Самосский (ок. 280 г. до н.э. – ок. 220 г. до н.э.) в честь жены египетского царя Птолемея III Береники Киренской. Легенда гласит, что супруга Птолемея, прекрасная Береника пожертвовала свои роскошные волосы Афродите, чтобы богиня хранила ее мужа на поле брани. Птолемей вернулся с победой и невредимым, но волосы таинственным образом исчезли из храма, и Конон объявил, что богиня, в знак своего благоволения, перенесла их на небо.

В историю Волос Вероники как созвездия придется внести значительные

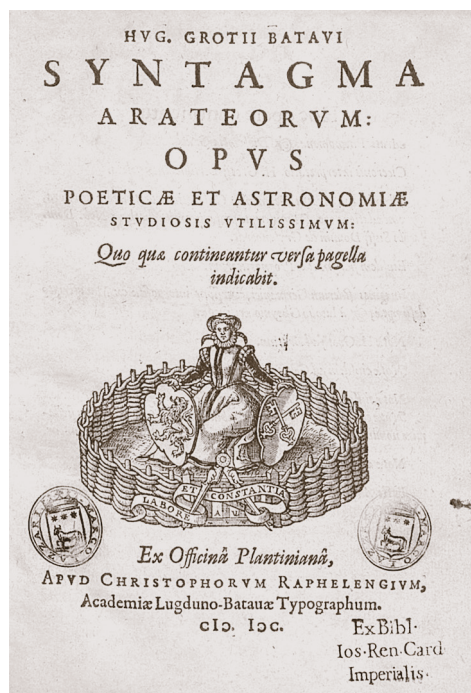
поправки. Ни античные астрономы, ни средневековые авторы не признавали Волосы Вероники за созвездие, продолжая считать его астеризмом. Псевдо-Эратосфен (автор «Катастеризмов» II в. до н.э., в русском переводе – «Превращения в звезды», приписывавшихся раньше самому Эратосфену) отмечал «семь тусклых звезд

в форме треугольника, которые называются Волосами Береники Благотельницы», но считал их в составе Льва (ἀμόρφωτοι – «кисточка на хвосте»), а в описании Северной Корона (короны Ариадны) напоминал, что «прядь Ариадны светит на хвосте у Льва». Гигин (I в. н.э.) использовал название Локон Береники (Βερενίκης πλόκαμος), Птолемей вслед за ним называл соответствующие звезды «Локон», но не включал в список созвездий, перечисляя среди звезд «около Льва, не вошедшие в фигуру». Дальнейшая история Волос Вероники (прежде, чем они стали общепризнанным полноценным созвездием) довольно длинная, она тянется до XVII в., и сложно сказать, кому именно принадлежит честь авторства. В зависимости от трактовки и личных пристрастий называют античного Конона, картографа XVI в. Каспара Вепеля, Тихо Браге или почему-то Иоганна Байера, у которого фактически в «Уранометрии» (1603 г.) на этом месте находится астеризм Сноп (ЗиВ, 1998, № 1; 2007, № 4).

Волосы Вероники – это характерный пример греческого астеризма, превратившегося в созвездие. Но существовало значительное число традицион-



Обложка «Уранометрии» И. Байера. 1603 г.



«Построение по Арату», издание Гуго Гроция, 1600 г.

ных астеризмов, которые так и не вошли в список созвездий, хотя продолжали использоваться очень долго (ЗиВ, 2017, № 1). Хорошо известные примеры таких астеризмов – Плеяды, Гиады, Козлята, Ослята. Но были и менее популярные Пояс Ориона и Меч Ориона, Серп Персея, Голова Медузы, также менее известные сегодня Вода (Водолея), Лук (Стрельца) и другие, которые иногда трактовались и как полноценные созвездия. Часто использование в текстах названия не позволяет судить, идет ли речь о созвездии или об астеризме. Подчас главная звезда созвездия идентифицировалась со всем созвездием, терявшимся в ее блеске: Сириус или Каникула – Большой Пес, или Процион – Малый, фактически отождествлявшийся с главной звездой. Продолжительное время наряду с созвездиями «классического списка» про-

должали использоваться и традиционные «народные» созвездия, астеризмы, деление созвездий на части и одиночные звезды: понятие созвездий было довольно нестрогое. Отметим, что понимание созвездий как частей небесной сферы достаточно позднее (впервые еще кривые линии, разделяющие созвездия, появились в «Уранографии» Иоганна Боде в 1801 г.). И в древности, и в средневековье, и в Новое время под созвездиями понимались группы звезд: понятия «созвездие» и «астеризм» сливались.

Греческие авторы довольно четко описывали звездные группы – созвездия и астеризмы, – и мы не сталкиваемся с проблемами в их идентификации. Начиная с первого сохранившегося дидактического астрономического текста, трактата Арата Солийского «Явления» или «Феномены» (Φαινόμενα;

C. PLINII SECUNDI
NATURALIS
HISTORIÆ,

TOMUS PRIMUS.

Cum Commentariis & adnotationibus HERMOLAI
BARBARI, PONTIANI, RUENANI, GELENI,
DALECHAMPII, SCALIGERI, SALMASII,
Is. Vossii, & Variosum.

Accedunt præterea varia Lectiones ex MSS. compluribus
ad totam Paginarum accur te indicata.

Item JOH. FR. GRONOVII Notarum Liberi Singularis
ad Illustrandam Vitam Johannis Cræpissarum.



LUGD. BATAV. } Apud HACKIOS, A. 1669.
ROTTERDAMI.

Обложка издания 1669 г. трактата Плиния
«Естественная история», книга первая
(около 77 г. н.э.)

III в. до н.э.), описание расположения созвездий друг относительно друга стало обязательным началом всякого греческого астрономического учебника (ЗиВ, 2017, № 2).

Римляне признавали безоговорочный авторитет греков в вопросах науки и искусства, и римская астрономия была прямой наследницей греческой. Римские астрономы, а вслед за ними астрологи (впервые астрономию и астрологию разделил Сенека в I в.н.э.) – использовали классические созвездия. Тем не менее у латинских авторов существовала своя традиция астрономов, отразившаяся в их работах. Речь не только об известных астеризмах, которые у римлян имели собственные

названия, такие как Свинки-Плеяды или Вергилии-Гиады, но и о звездных группах, греками не выделявшихся. Пожалуй, самый известный пример – Трон Цезаря у Плиния.

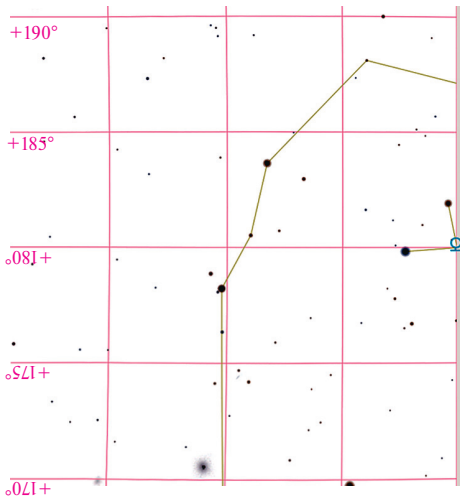
ПЛИНИЙ

Плиний упоминает Трон Цезаря во второй книге «Естественной истории» (около 77 г.н.э. [II, 178]), описывая видимость звездного неба на разных географических широтах: «Большая и Малая Медведицы не появляются в районе троподитов и соседнего с ними Египта, в Италии не виден Каноп и созвездие, называемое Волосами Береники, также как и созвездие, которое при божественном Августе стали называть Трон Цезаря, а в тех местах эти созвездия очень яркие»¹.

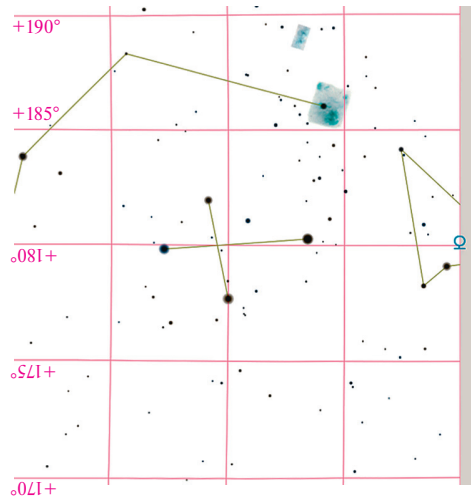
В тексте упоминается Трон Цезаря: «...в Италии не виден Каноп ... и созвездие, которое при божественном Августе стали называть “Трон Цезаря”», а южнее в Александрии это созвездие поднимается над горизонтом; следовательно, Трон Цезаря должен быть южным созвездием. Большинство историков астрономии согласны, что Плиний подразумевал звезды Южного Креста. Прецессия сдвигает полюс Мира по колюру равноденствий в направлении точки весеннего равноденствия, поэтому Южный Крест, с прямым восхождением 12–13^h, в эпоху Плиния имел большее склонение и его видимость в средних широтах была лучше: он поднимался над горизонтом примерно на 11° выше.

Итак, Южный Крест в Риме в момент верхней кульминации был точно на горизонте, а в Александрии поднимался достаточно высоко, так что интерпретация Трона Цезаря как Южного Креста вероятна.

¹Перевод Н.А. Поздняковой «История древнего Рима. Тексты и документы». Ч. 1. М., 2004.



Верхняя кульминация Южного Креста на карте звездного неба. Рим, эпоха Плиния



Верхняя кульминация Южного Креста на карте звездного неба. Александрия, эпоха Плиния

Мы можем проконтролировать приводимые Плинием данные, поскольку в этом же тексте он приводит верифицируемые примеры: «Канопус касается горизонта» на Родосе: действительно, высота верхней кульминации Канопуса на широте Родоса 1° (без учета рефракции). Кстати, эта величина практически не изменилась с эпохи Плиния до наших дней: прямое восхождение Канопуса $6^h 23^m$, т.е. он находится примерно на колуре солнцестояний, и прецессия не влияет на его склонение.

Далее по тексту второй книги Плиний упоминает «комету Августа», и это, казалось бы, не связанное упоминание неожиданным образом вносит разногласия в идентификацию Трона Цезаря. Хотя в приведенном фрагменте Плиний явно говорит о «звездах» Трона, некоторые комментаторы утверждают, что Трон Цезаря в «Истории» оказался созвездием по ошибке, из-за путаницы в сделанных им выписках при подготовке материалов, а на самом деле речь идет о комете Августа. Так, комментаторы полагают,

например, что Троном была названа беззвездная область неба под левой передней лапой Большой Медведицы, в районе которой и появилась эта комета – обожествленная душа Цезаря, или что Трон и был той самой кометой; другие, наоборот, предостерегают от того, чтобы путать Трон Цезаря с кометой. Тем не менее, идентификация Трона Цезаря с Южным Крестом выглядит значительно убедительнее.

Другое созвездие, упоминаемое Плинием в этом отрывке – Волосы Вероники (Береники): он приводит его как пример высокоширотного южного созвездия, невидимого из Италии. Очевидно, что «Волосы» Плиния – это вовсе не те Волосы Береники, которые греки помещали «на хвост Льва», и находящиеся в северном полушарии неба. По всей вероятности, здесь мы имеем дело просто с ошибкой Плиния или при записи информации источников, или при ее интерпретации. Нужно принять во внимание, что многие свидетельства Плиния, касающиеся астрономии, грешат фактическими ошибками.

Серьезные заявки на «римские созвездия» мы находим у двух других латинских авторов – у Марка Манилия (I в.н.э.) и Фирмика Матерна (IV в.н.э.). Но прежде чем обратиться к их текстам, придется вернуться в Грецию и на четыре века вспять, чтобы познакомиться с термином «паранателлонта» (παράνατ ἔλλοντα – параллельно восходящие) – точка эклиптики (градус Зодиака), восходящая на данной географической широте одновременно с какой-либо звездой.

ПАРАНАТЕЛЛОНТЫ

Сопоставление созвездий, поднимающихся из-под горизонта и заходящих одновременно, было одной из первых задач греческой астрономии. Подобный список мы находим в самом раннем греческом астрономическом тексте, дошедшем до нас полностью – «Явлениях» Арата Солийского (III в. до н.э.), который восходит к Евдоксу (еще как минимум на сто лет раньше). Фактически «Явления» Арата – это поэтическое изложение не дошедшего до нас каталога Евдокса, который был словесным, описательным. Арат начинает список

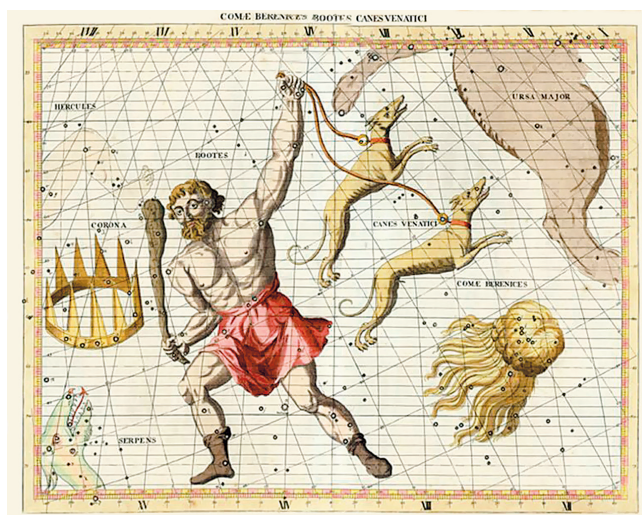
с Рака потому, что год Евдокса начинался с летнего солнцестояния:

*При восхождении Рака отнюдь
не безвидные звезды
Весь опоясывают Океан
обоюдосторонне,
Мир покидая – одни,
из вод поднимаясь – другие.
Долу стремится Венец,
по хребту погружается Рыба...²*

Далее следует подробное описание созвездий, восходящих и заходящих одновременно с появлением над горизонтом знаков зодиака. Почему было важно на практике знание со-восходящих созвездий? Это объясняет сам Арат:

*Небеснолзно тому, кто ждет
с нетерпеньем рассвета,
Понаблюдать, когда поднимается
каждый из знаков
...Но бывает, что область восходов
Заволюют облака
или горная скроет вершина;
А потому запасись приметами всех
восхождений.*

²Здесь и далее переводы А.А. Россиуса.



Созвездие Волосы Вероники на карте звездного неба, опубликованной в Лондоне в 1825 г.

Cassiopeia sedes in siliquastro collocata e. cui⁹ sedi-
lis z ipsi⁹ cassiopeie pedes positi in ipsa circūductio-
ne circuli qui arcticos vocat. effigies autē corpis ad
estiuū circulū peruenit : que capite z dextera manu
tangit. hęc ppe mediā diuidit circuli⁹ lacteus ap-
pellat. p⁹time cephei signū collocatū. hęc occidens cū scorpione ca-
pite: cū sedili resupino ferri p⁹scit. Exoriri autē cū sagittario. hui⁹
i capite stella ostēdit vna. In vtroq; humero vna. In mamilla de-
stra clara vna. In labiis magna vna. In sinistro femore duas. In
genu vna. In pede ipsi⁹ dextro. i. In q̄drato quo sella dosamat. i.
In vtriusq; ungulę dari⁹ ceteris lucētēs. hęc igit̄ e oio stellaz. xii.



Andromeda ppe cassiopeia supra caput perci bicui
itrcuallo distitēte p⁹scit collocata: manib⁹ dūteris
vincta vt antiquis historijs ē traditū: cui⁹ caput cū
pegasi vtri contigit. Eadē eni stella vt vmbilicos
pegasi z andromede caput appellat. hui⁹ mediam
pect⁹ z manu sinistra circuli⁹ estiuū diuidit. Occidit autē cū pisce
de duobus secūdo: que andromede subiectū brachio supra dixi-
mus. Exoriete libra z scorpione capite. vtriusq; reliquo conge pue-
nit ad terrā. Exorit autē cū piscib⁹ z arietē. hęc vt supra diximus
habet i capite stellā clare lucētē vna. In vtroq; humero vna. In
cubito dextro vna. In ipsa manu vnam. In sinistro cubito vel in



Разворот издания XV в. книги Гая Юлия Гигина «Астрономия» (1 в. н.э.)

Арат описывал заходы и восходы созвездий очень тщательно и детально, и по его текстам можно предположить эпоху и широту, для которых составлялись описания. Очень похоже, что они не соответствуют ни эпохе Арата, ни эпохе Евдокса, а значительно более ранние, но сейчас датировка «Явлений» или каталога Евдокса не является нашей целью: важно, что Арат заложил основу научной традиции. Действительно, в дальнейшем описание синхронно восходящих и заходящих созвездий стало общим местом астрономических и астрологических наставлений. Для таких одновременно восходящих объектов использовался термин «паранателлнты». Этот термин не слишком строгий: он мог относиться к созвездиям или их частям, или к звездам, восходящим одновременно с зодиакальным знаком, деканом знака (десятиградусным сектором) или с гра-

дусом знака, и мог применяться, наоборот, к градусу знака, восходящему одновременно с некоторым созвездием.

ЛАТИНСКИЕ АСТРОЛОГИ

В римской астрологии концепция одновременно восходящих созвездий прочно связалась с эклиптическими событиями, и паранателлнты стали применяться к созвездиям и звездам, восходящим одновременно с тем или иным знаком, деканом знака или отдельным градусом знака. Считалось, что качества восходящего созвездия или конкретной звезды знака транслируются на соответствующий градус зодиакального знака и тем самым на рождающегося человека. Хотя паранателлнты зависят от широты места наблюдения, латинских авторов это, кажется, не сильно беспокоило – несмотря на то, что они прекрасно знали



Обложка поэмы Марка Манилия «Астрономика» (I в.н.э.), изданной Региомонтаном в Нюрнберге в 1472 г.

о зависимости восходов от географического положения. В текстах, касающихся паранателлонтов, не находится никаких комментариев на этот счет. Возможно, они существовали в устной традиции. Вопрос синхронно восходящих созвездий занимал римских астрологов на протяжении всего периода их деятельности, начиная с поэмы Марка Манилия «Астрономика» (I в. н.э.), одного из первых, наряду с работами Веттиуса Валенсы, систематизированных трудов по астрологии⁵, до, пожалуй, последнего астрологического трактата античности IV в. «Учения в 8 книгах» (Matheseos libri VIII) Фирмика Матерна.

⁵См. Жилински К. «История астрологии». М.: Издательский Дом «Профит Стайл», 2007.

Марк Манилий (Манилиус, *Marcus Manilius*) – римский астролог I в. н.э., живший во времена Августа и Тиберия, никаких биографических сведений о нем не сохранилось. Манилий – автор астрологического сочинения, дидактической поэмы в пяти книгах «Астрономика»⁴, написанного гекзаметром и посвященного Тиберию. Эта работа, послужившая стандартом последующих астрологических сочинений, включает астрономическую теорию и астрологические описания; в астрономической части она в значительной степени опирается на «Явления» Арата Солийского, а в астрологической является компиляцией неизвестных нам источников. «Астрономика» состоит из пяти книг: первая трактует происхождение и устройство Вселенной; вторая излагает базовые астрологические понятия; третья вводит правила составления гороскопа; четвертая описывает влияние знаков зодиака на человека и, наконец, пятая посвящена интересующей нас теме, восходящим созвездиям – именно там, среди описаний вне зодиакальных созвездий появляются незнакомые римские названия.

Фирмик Матерн (Фирмикус Матернус, Юлий младший Фирмик Матерн, *Julius Firmicus Maternus*; IV в. н.э.) – латинский писатель, астролог поздней античности. Фирмик Матерн был родом из Сиракуз, происходил из сенатской семьи и сам был сенатором, фанатиком христианства. Это не мешало ему заниматься астрологией, составлять гороскопы и писать научные книги. Между 334 и 337 гг., по просьбе своего также высокопоставленного друга правителя Кампании Лоллиана Маворция, Фирмик Матерн пишет «Учение в 8 книгах» (354 г. н.э.) с авторским посвящением. «Учение...»

⁴Прозаический перевод на русский «Астрономика: наука о гороскопах». М.: Издательство МГУ, 1993.

представляет собой компиляцию греческих и египетских астрономических, астрологических и философских знаний. В последней книге Фирмик обращается к теме одновременно восходящих созвездий, причем в первой части книги заимствует материал почти без изменений у Марка Манилия. Небольшие разночтения у двух авторов связаны с римскими созвездиями.

Пяту книгу «Астрономики» Манилий начинает с предупреждения читателя о том, что автор «стремится объять все пространство, обойти все звездные круги» и потому не остановится только на зодиаке и планетах, но опишет все созвездия неба (и, соответственно задаче всего труда, их влияние на человека). Далее он для каждого восходящего знака зодиака перечисляет последовательно восходящие созвездия – паранателлонты и дает характеристику их влияния. Что касается этого влияния, оно непосредственно связано с образом созвездия. Скажем, Манилий так описывает рожденных при восходе созвездия Корабля Арго: они «...будут водить корабли, крепко держа руль, и, променяв землю на море, последуют за ветрами» (пер. Е.М. Штаерман). Фирмик Матерн в VIII книге «Учения...» идет практически след в след за своим источником, правда, всякий раз уточняя декан знака, при котором восходит то или иное созвездие. Впрочем, фактических ошибок в списках обоих авторов так много, что эта мнимая точность никак не помогает при интерпретации объектов (см. табл., ошибочные созвездия выделены курсивом).

Среди перечисляемых авторами классических созвездий птолемеевской традиции встречаются несколько незнакомых.



Гравюра с изображением античного астролога



Иллюстрация к трагедии Шекспира «Юлий Цезарь», изображающая Зодиакальные созвездия. Англия, XVI в.

Таблица

Одновременно восходящие созвездия латинских авторов

Знак	Марк Манилий	Фирмик Матерн	de facto
Овен	Корабль Арго Орион Возничий Козлята Гиады Капелла	Корабль Арго Орион Возничий Козлята Гиады Капелла	Персей Возничий Овен Телец Водолей Рыбы, Кит
Телец	Плеяды	Плеяды	Возничий, Телец, Близнецы, Кит, Река
Близнецы	Заяц	Заяц	Телец, Близнецы, Рак, Орион, Река
Рак	Югулы Процион	Югулы Процион	Близнецы Рак, Лев, Орион, Река, Заяц, Пёс, Процион, Водяной Змей
Лев	Каникула Чаша	Сириус Чаша	Волопас Лев, Дева, Пёс, Арго, Водяной Змей
Дева	Северная Корона Спика	Капелла Спика	Волопас Северная Корона Коленопреклонённый, Дева, Арго, Водяной Змей, Чаша, Ворон
Весы	Стрела Гедус Ли́ра	Стрела Гедус	Северная Корона Коленопреклонённый Птица, Змееносец, Змея Змееносца, Дева, Клешни, Арго, Водяной Змей, Кентавр
Скорпион	Жертвенник Центавр	Жертвенник Центавр	Цефей Коленопреклонённый, Ли́ра, Птица, Змееносец, Змея Змееносца, Орел, Клешни, Скорпион, Кентавр, Зверь
Стрелец	Арктур Лебедь	Арктур Лебедь	Птица Кассиопея, Персей, Змея Змееносца, Стрела, Орел, Дельфин, Голова Коня, Конь, Скорпион, Стрелец, Жертвенник, Южная Корона
Козерог	Змееносец Южная Рыба Фидис Дельфин	Змееносец Дельфин Фидис Цефей	Кассиопея Персей Голова Коня Конь, Андромеда, Стрелец, Козерог, Водолей, Жертвенник, Южная Корона
Водолей	Цефей Орел Кассиопея	Орел Кассиопея	Персей Возничий Конь, Андромеда, Козерог, Водолей, Рыбы, Южная Рыба
Рыбы	Андромеда Пегас Геркулес Кит	Андромеда Пегас Геркулес Кит	Персей Возничий – Капелла Треугольник Овен, Водолей, Рыбы, Кит, Южная Рыба
Не заходящие	Большая + Малая Медведицы	Большая Медведица Дракон Лигнус	

Примечания. Знак – восходящий знак зодиака; Марк Манилий и Фирмик Матерн – восходящие созвездия и звезды по латинским авторам; de facto – фактически восходящие созвездия. Расчет фактически восходящих созвездий сделан для широты Рима на эпоху 62 г.н.э., приведенную эпоху «Альмагеста», названия по «Альмагесту»

ЮГУЛЫ И ПОЯС ОРИОНА

Начнем с Югул, поднимающихся одновременно с Раком, по Фирмику – с первым градусом Рака, т.е. с точкой летнего солнцестояния: «Теперь я расскажу о соседях Рака: слева от него встают Югулы» – пишет Манилий. Обычно Югулы отождествляются с Поясом Ориона и/или какими-то другими звездами этого созвездия (Плавт, Варрон и др.). Интерпретация Югул как Пояса Ориона подтверждается астрономическими расчетами (см. схему, рассчитанную на начало зры и широту Рима). Тем не менее некоторые историки астрономии считают Югулы астеризмом Ослята в Раке; этот вариант также подтверждается расчетами.

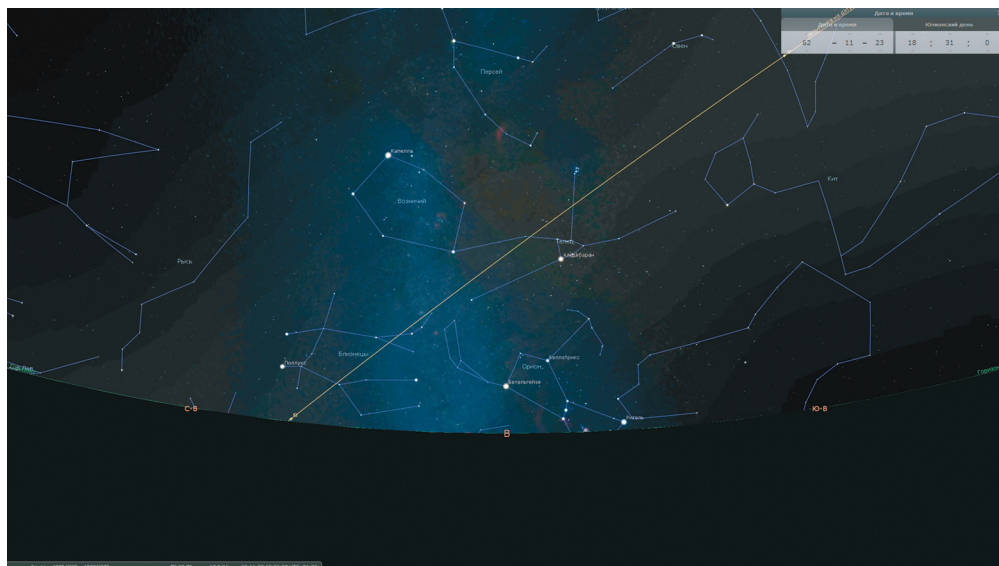
Перевод слова «Югулы» неясен. Это может быть «шея» или «ключица» или «ямка между ключицами» по Ричарду Алену (подобный перевод дает повод сдвинуть положение объекта от Пояса несколько на север), «убийца», «гладиатор» или «гладиаторский бой».

По мнению Манилия, Югулы дают склонность и талант к охоте, воспитанию охотничьих собак, бросанию невода и т.п., что скорее говорит за созвездие Ориона, чем за Ослят. Минус этой версии в том, что Орион ошибочно упоминается обоими авторами в другом месте, в самом начале перечисления, как восходящий одновременно с Овном. Тем не менее, идентификация Югул как Пояса Ориона выглядит достаточно убедительно.

ФИДИС И ЛИРА

При восходе Козерога у Марка Манилия и у Фирмика Матерна указан восход созвездия Фидис (Fidis). Обычно латинские Fidis, Fides, Fidicula и др., означающие «струна», применялись к созвездию Лира, однако, Лира (как *Lyra*) указана у Манилия при восходе 26° Весов: это в пределах точности верное указание. Фирмик Матерн, однако, не указывает вос-

Восход Ориона на первом градусе Рака на карте звездного неба



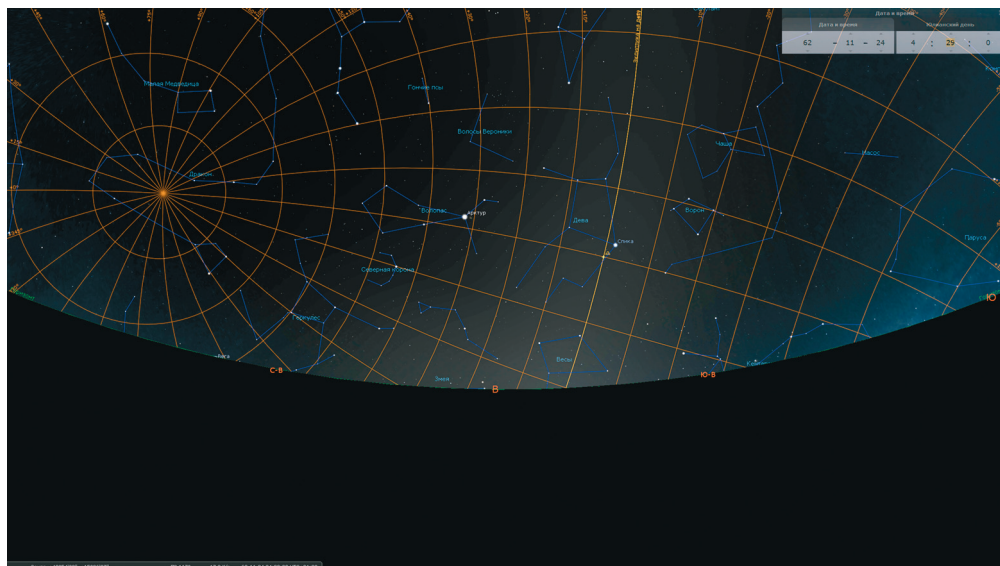
ход Лиры в Весах, у него присутствует только восход Фидис в Козероге, как и у Манилия. Таким образом, или Манилий ошибочно дублирует Лиру, указывая ее верно в Весах и неверно в Козероге (а Фирмик замечает ошибку, но исправляет ее некорректно, удаляя записи в Весах), или действительно существовало римское созвездие Струна-Фидис, отличное от Лиры и располагавшееся где-то в районе от Орла до Пегаса к северу от эклиптики или Южной Короны к югу от нее. Это созвездие не было идентифицировано ранее.

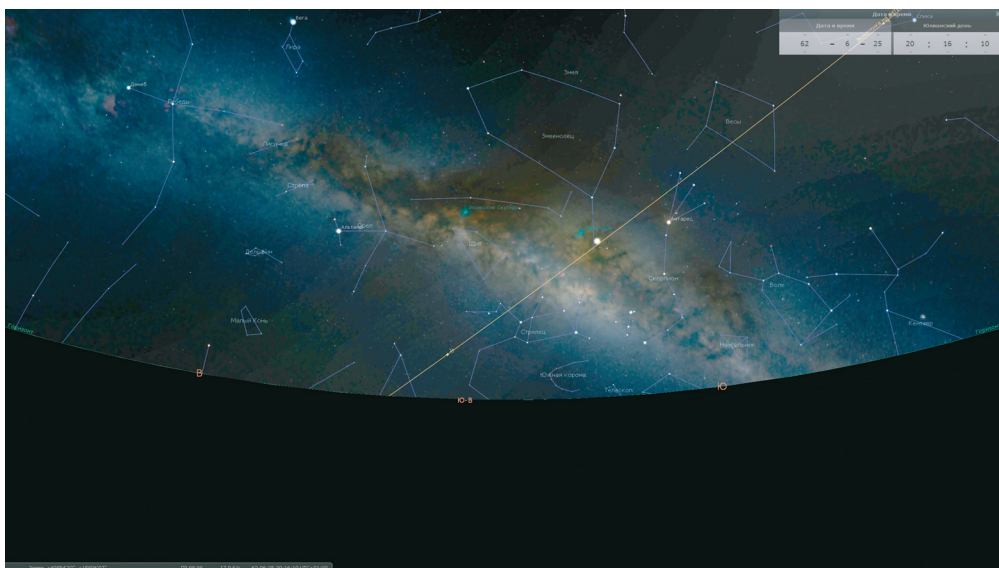
Установить звезды Фидиса помогает не астрономический, а текстологический анализ. Перевод *Fidis/Fidicula*, «струна» может относиться к любому струнному инструменту. Однако Манилий указывает качества, инспирируемые созвездием: «...люди, разбирающие злодеяния и карающие виновных. Они узнают все обстоятельства, дойдут до сути преступления и сделают тайное явным; тогда же родится безжалостный

палач, исполнитель казни; любой, ненавидящий зло» (пер. Е.М. Штаермана). Похоже, что здесь «струна» выступает не как музыкальный, а как пыточный инструмент. *Fidis* также имеет значение «вера», «справедливость», «заслуживающий доверия» (в результате дознания?), так что, возможно, точнее перевод «созвездие Справедливости».

Среди созвездий, подходящих по времени восхода синхронно с Козерогом, выделим Южную Корону. Южная Корона представляет собой цепочку звезд, в которой можно увидеть венец или корону, как обычно и трактовалось это созвездие: венец беотийской поэтессы Коринны, венец Семелы, матери Диониса или венок кентавра Кротоса, что соотносится с расположением созвездия около Стрельца-кентавра. Другая мифологическая трактовка образа – колесо Иксиона. Царь лапифов Иксион был за святотатство прикован Зевсом к огненному колесу и брошен на небо. Версия указана, на-

Восход Лиры на последнем градусе Рака на карте звездного неба





Восход Южной Короны на карте звездного неба

пример, в «Реальном словаре классических древностей», где о созвездии сказано: «Corona australes, στεφ. νότιος, Корона Южная, у ног Стрелка; это – или корона стрелка, или колесо Иксиона». Эта интерпретация хорошо совпадает с качественной характеристикой, данной Марком Манилием и приведенной выше. Представляется, что интерпретация Фидиса у Марка Манилия и Фирмика Матерна как созвездия Южная Корона вполне убедительна.

ГЕДУС И КОЗЛЯТА

Вместе со знаком Весов у Манилия и Фирмика восходит Гедус (*Haedus*), Козел. *Haedus* римляне называли астеризм Козлята в Возничем, но фактически Козлята восходят с Овном. Другой вариант – Козерог, тоже не устраивает по времени восхода. Манилий так описывает восход Гедуса: «...беззаботный Козел, ... отстав от стада, появляется далеко позади своих братьев»: да, Капел-

ла и Козочки далеко, но это никак не помогает в интерпретации. Среди классических созвездий нет никаких намеков на Гедуса, и возможно, это влияние совсем другой астрономической традиции, которая начала проникать в греко-римскую в период позднего эллинизма: это так называемая «сфера Варваров», включавшая астрономию Ближнего Востока и Египта. В частности, египетские додекаоры (египетский приблизительный аналог паранателлонов) ставят в соответствие знаку Весов додекаор Козел (или «Газель», поскольку имеются только иероглифические свидетельства). Есть основания считать Козла Манилия и Фирмика египетскими по происхождению.

ЛИГНУС И ДРАКОН

Закончив перечисление созвездий, последовательно восходящих со знаками зодиака, и Манилий, и Фирмикус упоминают незаходящие созвездия, и тут их тексты становятся равно не-



Созвездия Дракона и Малой Медведицы на карте звездного неба. Лондон, 1832 г.

понятными. Так, Фирмикус описывает их следующими словами (с английского перевода JEAN RHYS BRAM): «Семизвездие Большой Медведицы восходит между Рыбами и Овном, то есть между началом и концом мира; оно фиксировано в одном месте и с этой вершины вселенной вращает ось мира с постоянной скоростью». Что бы ни подразумевал Фирмикус в этом пассаже, далее среди незаходящих созвездий он называет Лигнус (Lugnus), как часть Дракона. Перевод этого слова не ясен; одно предположение – яркий драгоценный камень, и тогда речь о какой-то особенной звезде Дракона или, возможно, о четырехугольнике его головы; другое – линия, и тогда, возможно, речь о «теле» Дракона; третье – какая-то производная от слова «дерево». В любом случае, это однократно упоминае-

мое созвездие не может быть идентифицировано.

Фирмикус, пройдя вместе с Манилием зодиакальный круг восходящих и описав незаходящие созвездия, обращается затем к «Сфере Варваров»: описанию не греко-латинской астрономической традиции Египта и Ближнего Востока. Здесь он приводит еще целый ряд неизвестных или не совсем неясных созвездий: Фалцис (Falcis, «Серп»), Вульпес (Vulpes, «Лиса»), Малый Водолей, Цервус (Cervus, «Олень»), – но эти созвездия, вероятно, относятся уже не к собственно римской традиции, а к попытке латинских астрологов освоить восточную астрономическую практику: «Сфера Варваров» заслуживает отдельного рассмотрения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У римлян существовала народная практическая астрономия со своими названиями созвездий, следы которых сохранились в серьезной астрономии и после того, как римляне познакомились с научными достижениями своих восточных соседей греков (Вергилии, Свинки, Трионы, Югулы). Кроме того, латинские авторы по-своему интерпретировали классические греческие созвездия, внося в них новый смысл и давая им новые названия (Фидис, Трон Цезаря). Наконец, характерной чертой эллинизма вообще и эллинистической астрономии в частности был синкретизм, проявившийся во включении ближневосточной и египетской уранографии.

Тем не менее генеральная астрономическая традиция, унаследованная от греков, была настолько сильна, что альтернативные созвездия, иногда упоминавшиеся латинскими авторами, оказались забытыми очень быстро.

Олег Васильевич ВЕРХОДАНОВ **(17.03.1965–05.04.2020)**

5 апреля 2020 г. из жизни ушел ведущий научный сотрудник Специальной астрофизической обсерватории РАН, автор нашего журнала Олег Верходанов.

О.В. Верходанов родился в Великом Новгороде, учился и закончил Ленинградский государственный университет в 1987 г., и во время учебы проявил себя не только как замечательный студент и исследователь: в те годы он неизменно принимал участие в организации и проведении Праздника Весеннего равноденствия — посвящении первокурсников ЛГУ в астрономы.

После окончания ЛГУ и до последних своих дней Олег работал в Специальной астрофизической обсерватории РАН. Его профессиональные качества, способность и готовность разобраться в любой проблеме и неподражаемая манера общения заслуженно снискали ему славу замечательного коллеги и интересного собеседника далеко за пределами обсерватории, да и России. Он сделал очень многое для того, чтобы данные, получаемые на ведущих телескопах страны, стали доступны международной астрономической общественности.

Олег неизменно пользовался уважением и любовью студентов, а его



лекции вызывали глубочайший интерес. О.В. Верходанов был признанным популяризатором науки. Его статьи, в частности, неизменно публиковались в научно-популярном журнале «Земля и Вселенная» — две, как получилось, последние были опубликованы в №№1 и 2, 2020 г. Популярные лекции, размещенные в сети Интернет, пользуются большим вниманием аудитории.

Олег подкупал собеседника умением легко и не без шутки объяснить любую запутанную проблему — касалось ли дело космологии в частности или астрономии вообще.

Он ушел от нас в самом расцвете своей человеческой и научной жизни. Теперь, к сожалению, многие его работы так никогда и не будут завершены.

Нам будет очень его не хватать.

Александр Аронович ГУРШТЕЙН **(21.02.1937–03.04.2020)**

3 апреля 2020 г. на 84 году жизни скончался доктор физико-математических наук, известный историк науки, в прошлом заместитель директора Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН и председатель комиссии по истории астрономии Международного астрономического союза,

член редакционной коллегии журнала «Земля и Вселенная» Александр Аронович Гурштейн.

А.А. Гурштейн родился в Москве. Его раннее детство прошло в годы Великой Отечественной войны, унесшей жизнь его отца. В детстве, посещая Московский планетарий, он увлекся

астрономией, которая оставалась его страстью на протяжении всей жизни. Впоследствии он поддерживал связь с планетарием, некоторое время работал его лектором.

Окончив с отличием Московский государственный институт геодезии и картографии (1959 г.) по специальности астрометрия, он начал работать в Государственном астрономическом институте им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова, а затем – в Институте космических исследований Академии наук. Свою первую научную работу Александр Аронович опубликовал еще студентом. На пике своей карьеры в области космических исследований он был одним из руководителей исследовательской группы, которая отвечала за выбор мест посадки советских беспилотных космических аппаратов на Луне. Мемуары А.А. Гурштейна «Московский астроном на заре космической эры» (2012) содержат интересные исторические факты о советской программе исследования Луны и ее участниках.

Сын известного литературного критика и переводчика, А.А. Гурштейн всегда имел литературные амбиции. Еще в годы работы в космической программе он писал многочисленные научно-популярные статьи для советских газет, журналов и радио на темы астрономии и освоения космоса. В 1973 г. он опубликовал «Извечные тайны неба», книгу по истории астрономии для молодежи. В конце 1970 — начале 1980-х гг. он посвящает много времени написанию исторического романа об основании Парижской обсерватории, который был опубликован под названием «Звезды Парижа» в 2016 г.

В 1981 г. он начал работать в Институте истории естествознания и техники Академии наук. Как историк науки, он обратил свое внимание на самую



раннюю историю Западного Зодиака. Наиболее значительным научным достижением своей карьеры он считал теорию происхождения и развития Зодиака, которую он разработал в многочисленных статьях на русском и английском языках и изложил в наиболее полной форме в книге «Загадка Западного Зодиака: его мудрость и эволюция. Болезненный поиск истины», вышедшей на английском языке

в 2017 г. (*The Puzzle of the Western Zodiac: Its Wisdom and Evolutionary Leaps. A Painful Ascent to the Truth*).

Александр Аронович был эрудитом и творческой личностью, имевшей разнообразные интересы. Он глубоко любил историю Москвы — самые простые прогулки по центру города вместе с ним превращались в увлекательную экскурсию. Хорошо зная город, в начале 1990-х гг. он реконструировал вымышленный полет Маргариты на метле из романа «Мастер и Маргарита» для телевидения. Он уделял большое внимание преподаванию астрономии в школе и в разное время был советником по научному образованию в Министерстве образования России. Будучи страстным филателистом и библиофилом, он консультировал российскую почтовую службу относительно выпуска астрономических марок, занимался переводами иностранной астрономической литературы, участвовал в подготовке научно-популярной литературы для детей. В бурные дни перехода России к демократии в начале 1990-х гг. А.А. Гурштейн был депутатом районного Совета народных депутатов. В 1995 г. он эмигрировал в США и поселился в Гранд-Джанкшн, штат Колорадо, где преподавал в Государственном колледже Меса (ныне Университет Колорадо Меса) до 2010 г.

СЕЙСМИЧНОСТЬ ЗЕМЛИ ВО ВТОРОМ ПОЛУГОДИИ 2019 ГОДА

СТАРОВОЙТ Олег Евгеньевич,

кандидат физико-математических наук

ЧЕПКУНАС Любовь Семеновна,

кандидат физико-математических наук

КОЛОМИЕЦ Марина Викторовна,

Единая геофизическая служба РАН (ФИЦ ЕГС РАН)

DOI: 10.7868/5004439482003010X

В июле–декабре 2019 г. в Службе срочных донесений Геофизической службы РАН зарегистрировано и обработано более 2500 землетрясений на земном шаре. 108 землетрясений были сильными, из них 18 имели магнитуду $M_s \geq 6,5$.

На территории России в этот период наблюдалась сравнительно невысокая сейсмическая активность, как правило, сила землетрясений не превышала 4–5 баллов. Наиболее ощутимые землетрясения были на Камчатке, Курильских островах и на Сахалине.

На территории одного из самых сейсмоактивных регионов России – региона Камчатки и Командорских островов произошло более 80-ти землетрясений с магнитудой $M \geq 3,5$, из них 16 землетрясений превышали магнитуду $M \geq 5,0$. Одно из них, произошедшее 6 июля в районе Командорских островов, имело магнитуду $M = 5,3$, доходя до 5–6 баллов, очаг его находился на глубине $H = 10$ км. Наиболее сильное землетрясение с глубиной очага $H \geq 400$ км произошло 20 ноября с магнитудой $M = 6,2$ в районе акватории Охотского моря. При такой большой глубине очага и локацией эпицентра в море это землетрясение не сопровождалось ощутимыми сейсмическими воздействиями.

На острове Сахалин и в Курило-Охотском регионе было зарегистрировано более 100 землетрясений с магнитудами $M \geq 3,5$, что примерно соответствует их среднему количеству, максимальная магнитуда не превышала 5,5–5,6. Самые сильные глубокие землетрясения с $M = 5,5$ были 18 сентября в районе Южных Курил, не оказавшие заметных сейсмических воздействий. Однако менее сильные землетрясения, произошедшие 18 июля и 5 декабря (с очагами в земной коре) – все же ощущались на островах.

На территории Прибайкалья и Забайкалья случилось 13 землетрясений с магнитудами $M = 4,0$ – $4,9$, что не превышает количества обычно регистрируемых здесь землетрясений. Самое сильное из них было 4 ноября в районе северо-восточнее оз. Байкал с магнитудой $M = 4,9$. При глубине очага более 15 км зафиксированные ощущения не превышали 3–4 баллов. 28 сентября на границе Забайкальского края и Амурской области произошло землетрясение с $M = 4,8$, очаг которого находился на глубине менее 10 км в 135 км к юго-востоку от пос. Чары. По данным Геофизической службы, землетрясение ощущалось в поселках Кюсть-Кемда, Новая Чара, Чара интенсивностью



Торговый центр после землетрясения на острове Минданао (Филиппины). 31 октября 2019 г.

4–5 балла, городе Чита – 4, пос. Верхняя Хила 3–4 балла. В пресс-службе ГУ МЧС по Забайкальскому краю сообщили, что последствия землетрясения ни в районном центре Чара, ни в поселке Новая Чара не зафиксированы.

На территории Кавказа и прилегающих акваториях Черного и Каспийского морей было зарегистрировано более 30 землетрясений с $M \geq 3,3$ –3,5. Среди них выделяются два наиболее сильных землетрясения: 10 сентября с $M = 4,8$ на территории Грузии силой до 5 баллов и 10 августа в Дагестане с магнитудой $M = 5,1$. Такую повышенную активность сейсмологи связывают с проявлением продолжающейся афтершоковой активизации после землетрясения 5 февраля 2019 г. с $M = 5,2$ на территории Азербайджана.

В южной части Сибири и в пределах Горного Алтая и Саян, а также на прилегающих территориях было зарегистрировано 14 землетрясений с магнитудами от 4,0 до 5,0. Два самых сильных из них с $M = 5,0$ были 13 сентября на территории Республики Алтай и 25 ноября – на территории Монголии, они сопровождалась сейсмическими воздействиями силой до 5–5,5 баллов.

На обширной, но слабосейсмичной территории Восточно-Европейской платформы, Урала и Западной Сибири

в рассматриваемый период не было зарегистрировано ни одного землетрясения с $M \geq 3,0$ –3,3.

Сильные и разрушительные землетрясения происходили в других частях планеты. Катастрофических землетрясений с магнитудой более 7,5 не наблюдалось. Отметим серию землетрясений в Калифорнии, на Филиппинах, в Албании, Афганистане, Пакистане и цунамигенное в Молуккском море.

В июле в Центральной Калифорнии (США) произошел ряд сильных землетрясений с $M > 5,0$. Они зафиксированы примерно в 200 км к северо-востоку от г. Лос-Анджелеса, в 200 км к юго-западу от г. Лас-Вегаса и в 420 км к юго-востоку от г. Сан-Хосе. Наиболее сильные с $M = 6,4$ и $M = 7,0$ были соответственно 4 и 6 июля. По данным ТАСС, после землетрясения 4 июля в г. Риджкрест (6 баллов) начались пожары. Их причиной, предположительно, стало повреждение газопровода. 6 июля в этом же городе и его окрестностях около трех тысяч человек остались без света. Имели место повреждения домов, газопровода и водопровода. На дорогах появились трещины. В связи с землетрясениями был введен режим чрезвычайной ситуации в округе Керн и соседнем округе Сан-Бернардино.

Высокая сейсмическая активность во втором полугодии 2019 г. наблюдалась на Филиппинах. Наиболее сильные землетрясения были в июле, октябре и декабре в диапазоне магнитуд от 5,8 до 6,8. Особенно сильно пострадал о-в Минданао. 16 октября землетрясением с магнитудой 6,2 началась серия подземных толчков, которые продолжались более полумесяца с магнитудами свыше 5,0 и максимальными толчками 29 и 31 октября с $M = 6,5$ и $M = 6,6$.

Эпицентры землетрясений были сосредоточены на острове примерно в 50–70 км западнее г. Давао, затем 15 декабря с $M = 6,8$ началась новая серия толчков практически в том же районе, что и серия в октябре. В течение трех суток наблюдалось более 20 толчков с $M > 4,5$ –5,0.

По данным РИА «Новости», в результате октябрьской серии 11 человек погибли, еще около 30 получили ранения. В результате землетрясения обрушился один из этажей жилого здания в г. Давао, в г. Кидапаван рухнула часть гостиницы Eva's Hotel. Землетрясения повредили около 30 тысяч объектов инфраструктуры, включая почти тысячу школ, десятки религиозных объектов и медицинских центров, а также более 20 дорог и мостов.

Землетрясения в декабре усугубили трагедию на о-ве Минданао. РИА «Новости» сообщили еще о 8 погибших, 149 человек получили ранения. Большинство пострадавших из провинции Давао Дель Сур. В провинции были повреждены почти 1,5 тысячи зданий.

В сентябре и ноябре случилась серия землетрясений в Албании. 21–22 сентября в течение двух суток 6 раз с магнитудами 4,5–5,5 сотрясали столицу Албании Тирану и ряд других ближайших городов и населенных пунктов. Многие жители провели ночь с 21 на 22 сентября на улице или в убежищах. *Albanian Daily News* со ссылкой на министерство чрезвычайных ситуаций страны сообщило, что в результате подземных толчков повреждено более 500 зданий, пять школ, мост и медицинский центр. Новая серия подземных толчков практически в том же районе повторилась примерно через месяц. 26–28 ноября 18 землетрясений с магнитудами



Обрушившиеся жилые дома в столице Пакистана г. Исламабаде в результате землетрясения 24 сентября 2019 г.

свыше 4,5 (наиболее сильное $M = 6,6$) принесли новые разрушения. По данным РИА «Новости», погибли 51 человек, число пострадавших составило свыше 900 человек. Землетрясение полностью разрушило 5,5 тысяч жилых строений, 28 школ и 146 предприятий. Города Дуррес, Тирана и Лежа пострадали больше всего. В столице Албании г. Тиране землетрясение повредило 15 электроподстанций, два учреждения здравоохранения и 149 коммерческих объектов.

20 декабря в Афганистане зафиксировано землетрясение с $M = 6,6$, его эпицентр находился в районе горной системы Гиндукуша с очагом на глубине 200 км, в 254 км к северо-востоку от столицы г. Кабула и в 278 км к юго-востоку от г. Душанбе, столицы Таджикистана. По данным Геофизической службы, землетрясение ощущалось в городах Душанбе, Термезе – 4 балла, в городах Ташкенте, Фергане, Самарканде, Намангане, Андижане, Гулистане, Джизаке, Бухаре, Карши, Навои – 3 балла, в г. Ургенче и Нукусе – 2 балла. По сообщению РИА «Новости», мощные толчки ощущались на протяжении 1–1,5 мин сразу в нескольких странах региона, включая Афганистан, Пакистан и Индию. Помимо г. Нью-Дели, землетрясения также почувствовали жители таких

крупных городов северной Индии, как Джайпура, Амритсара и Сринагара.

24 сентября в Пакистане произошло разрушительное землетрясение с $M = 5,8$. Эпицентр землетрясения с очагом на глубине 10 км находился на границе Пакистана и Индии в 95 км к юго-востоку от столицы Пакистана г. Исламабада и в 180 км к северо-западу от г. Лахора. По данным ИТАР-ТАСС, по меньшей мере, 38 человек погибли, более 640 получили травмы. Частично или полностью разрушены порядка 450 жилых домов, частично был разрушен мост, соединяющий города Мирпур и Бхимдер, значительно повреждены дороги.

14 ноября на севере Молуккского моря случилось сильное землетрясе-

ние с $M = 7$, его эпицентр, очаг которого находился на глубине 45 км, зарегистрирован в 145 км к северо-западу от г. Тернате (Индонезия) и в 164 км к востоку от г. Манадо (Индонезия). Несмотря на глубину очага, оно оказалось цунамигенным. Через 30 мин после землетрясения цунами высотой 60 и 90 см были замечены около городов Тернате и Джайлоло соответственно. Примерно через час после подземных толчков волны цунами достигли берегов г. Битунг, их высота составила 10 см.

Параметры землетрясений представлены на информационном сервере Геофизической службы РАН (<http://www.cete.gsras.ru>). Фотографии взяты из открытых источников.



А вы отправили обязательный экземпляр?

Издательство «Наука» предлагает организациям и независимым издателям услугу по отправке Обязательного Электронного Экземпляра в Российскую государственную библиотеку и Российскую книжную палату

При размещении научных, научно-популярных книг и журналов в Электронной библиотечной системе Издательства «Наука» (libnauka.ru) данную услугу мы предоставляем бесплатно

Задать вопрос и узнать о стоимости услуги вы можете по адресу oee@naukaran.com

реклама

«АЛМАЗЫ» БЕЗ ГРИФА «СЕКРЕТНО»

ДЕГТЯРЁВ Антон Олегович,

пресс-секретарь – помощник Генерального директора

ПОЛЯЧЕНКО Владимир Абрамович,

главный научный сотрудник Научно-исследовательского центра истории предприятия

СМИРИЧЕВСКИЙ Леонард Дмитриевич,

начальник Научно-исследовательского центра истории предприятия

АО ВПК «НПО машиностроения»

DOI: 10.7868/50044394820030111

В год 105-летия со дня рождения генерального конструктора академика Владимира Николаевича Челомея и 75-летия АО ВПК «НПО машиностроения» вышла в свет книга **«Огранка “Алмазов”»** (М.: Издательская группа «Изопроект», 2019), посвященная разработке и созданию ракетно-космического комплекса «Алмаз».

Работа над комплексом «Алмаз» – это огромная часть 75-летней истории коллектива АО ВПК «НПО машиностроения». Она была начата в 1965 г. под руководством академика В.Н. Челомея, когда фирма называлась ОКБ-52 (Опытно-конструкторское бюро-52). Наиболее яркие события истории «Алмаза» 1970-х гг. приходятся на период ЦКБМ, а завершились работы по «Алмазу» в 1990-х гг. уже в НПО машиностроения, которое возглавил генеральный директор, генеральный конструктор Герой Социалистического Труда и Герой Труда РФ, лауреат Ленинской и Государственной премий Герберт Александрович Ефремов.

У многих читателей может возникнуть вопрос: «С начала работ по программе “Алмаз” прошло 55 лет. Почему книга об этом вышла только сейчас?». На это есть ряд причин.



Во-первых, «Большое видится на расстоянии», поэтому именно сейчас, глядя на состояние современной пилотируемой космонавтики, осознаешь, какой переворот в науке, технологиях, организации работ совершила программа «Алмаз». Она вобрала в себя все новое, передовое, что было на тот период в освоении космоса и что только зарождалось в этом направлении. Вот почему и сегодня наследие «Алмаза» живет и используется



Генеральный конструктор В.Н. Челомей и главком ВВС маршал авиации П.С. Кутахов у макета РН УР-500К

во всех отечественных проектах, кто бы их ни разрабатывал. И это относится не только к конструкциям больших гермоотсеков, которые использовались во всех орбитальных пилотируемых станциях и используются в МКС. Прежде всего, это принципы и системы экономичной стабилизации крупногабаритных космических аппаратов и станций; это системы высокоэффек-



Генеральный директор А.Г. Леонов у экспозиции, посвященной комплексу «Алмаз» на ВДНХ

тивного энергоснабжения; это широкое использование вычислительных машин в управлении и решении специальных задач; это впервые появившиеся на «Алмазе» космические системы поддержания жизнедеятельности экипажей, контроля их состояния в полете (медицинских параметров, массы тела и др.). Все это дало основание оглянуться назад и постараться объективно отразить роль

программы «Алмаз» в общем пути развития пилотируемой космонавтики.

С другой стороны, время неумолимо бежит вперед. С каждым годом тех, кто может поделиться своими знаниями об этом проекте, воспоминаниями о трудностях и достижениях в работе над комплексом, сообщить малоизвестные факты и события, становится все меньше. Возникла необходимость сохранить интеллектуальный багаж сотрудников, принимавших участие в создании «Алмазов».

В-третьих, как отметил генеральный директор, генеральный конструктор НПО машиностроения Александр Георгиевич Леонов (он возглавил редакционную коллегию книги), интерес к этой теме очень велик. И это действительно так – издание «Огранка “Алмазов”» подарено более чем двум тысячам заинтересовавшихся сотрудников и ветеранов предприятия. Договоры о распространении заключаются с ведущими космическими музеями страны, с крупными книжными магазинами.

Огромный интерес к книге подтверждает своевременность ее выхода и свидетельствует о том, что тяга человека к освоению космического пространства не зависит от времени и исторической конъюнктуры.

Библиография издания насчитывает более 110 источников: отечественных, зарубежных и интернет-ресурсов. Кроме того, в книге представлен значительный объем впервые публикуемых или просто малоизвестных фактов и документов. В основу легли архивные документы по этой теме, рассекреченные проектные и конструкторские материалы по первой в стране орбитальной пилотируемой станции, тяжелому транспортному кораблю снабжения, многоразовому возвращаемому аппарату, автоматическим орбитальным станциям, их системам и агрегатам.

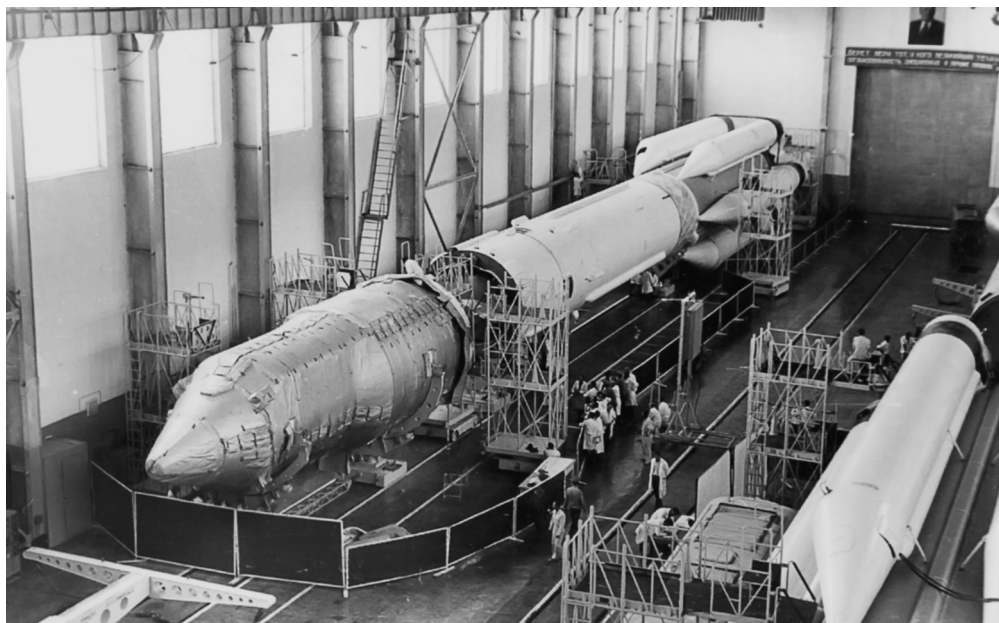
В том числе, рассекречен и включен в книгу первый приказ генерального конструктора В.Н. Челомея от

26 ноября 1965 г. о начале работ по орбитальной пилотируемой станции.

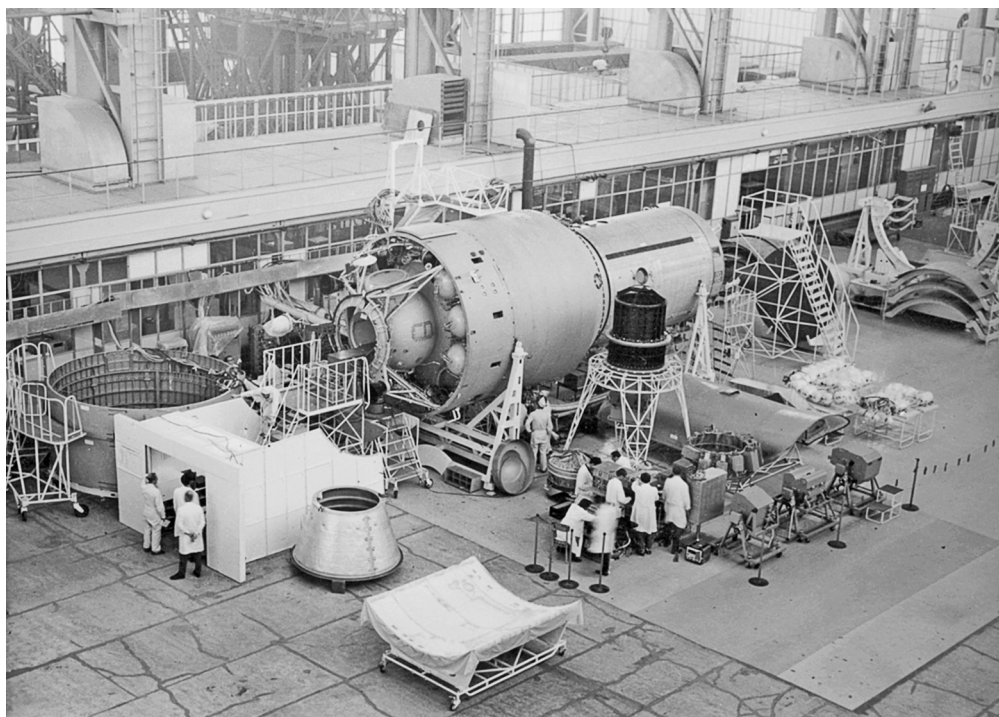
Нашли свое место и вырезки из газет того времени – они стали не только историческими свидетельствами, но и прекрасными иллюстрациями описываемых событий.

Огромную ценность представляют воспоминания непосредственных участников работ по созданию комплекса «Алмаз», которыми насыщена книга. Большинство из них публикуются впервые. Это дает читателю возможность «погрузиться» в реальную среду «огранки» «Алмазов».

Книга состоит из пяти частей. Часть I посвящена истории разработки ракетно-космического комплекса «Алмаз». Более того, в этой части раскрываются предпосылки создания орбитальных пилотируемых станций (ОПС), исходя из истории мировой ракетно-космической техники, начиная с конца 1940-х – начала 1950-х гг. Параллельно читатель знакомится с политической ситуацией



Стыковка ОПС «Алмаз» с ракетой-носителем УР-500К на космодроме Байконур



Сборка ОПС «Алмаз» на заводе им. М.В. Хруничева

в мире и основными тенденциями в развитии средств стратегической разведки, к которым относились и ОПС. Особенностью работ по комплексу «Алмаз» стало создание стратегической системы космической разведки особой государственной важности на основе тактико-технического задания, выданного Министерством обороны СССР и Генеральным штабом Вооруженных Сил СССР как главными заказчиками работы. Эскизный проект космической системы состоял из 100 книг, а в комиссию по его рассмотрению входило 70 ведущих технических специалистов различных предприятий и организаций страны. Это сформировало в середине прошлого века новые технические требования, предъявляемые к космическим системам: длительное существование (в то время 1–2 года были лишь перспективой), высокая

надежность, связанная с наличием экипажей, высокие технические характеристики, продиктованные требованиями Министерства обороны, наложившие отпечаток на целевые, служебные и обеспечивающие системы. В решении этих задач участвовали тысячи ученых, инженеров, рабочих, военных специалистов более чем 500 предприятий и организаций страны.

Разработка проекта тяжелой орбитальной пилотируемой станции базировалась на использовании созданной ОКБ-52 ракеты-носителя УР-500К, способной вывести на околоземную орбиту полезную нагрузку массой около 20 тонн. Это позволило разместить в габаритах станции уникальный комплекс специальной и обеспечивающей аппаратуры, создать комфортные условия для работы и отдыха экипажа. Работа экипажей орбитальных станций

«Алмаз» – «Салют-3» (находилась в полете в 1974–1975 гг.), «Салют-5» (1976–1977 гг.) получила высокую оценку руководства страны.

В книге впервые приводится полная подборка объективных материалов о неудачной стыковке корабля «Союз-23» с ОПС «Салют-5» в октябре 1976 г. и о напряженной ситуации, возникшей после приводнения спускаемого аппарата этого корабля с космонавтами В.Д. Зудовым и В.И. Рождественским в озеро Тенгиз. Также предпринята еще одна попытка объективно и непредвзято рассказать о сложном полете в июле–августе 1976 г. экипажа корабля «Союз-21» Б.В. Волынова и В.М. Жолобова.

Обстоятельно изложена борьба генерального конструктора В.Н. Челомей за продолжение работ по комплексу «Алмаз», в т.ч. по автоматическим и посещаемым орбитальным станциям для решения новых задач в интересах обороны страны и народного хозяйства. Впервые публикуются письма и выступления Владимира Николаевича по этим вопросам, воспоминания космонавтов, записанные как сразу после работы на станциях «Алмаз», так и через много лет.

В целом в первой части книги представлена в общих чертах вся история комплекса «Алмаз». Поэтому даже неподготовленный читатель, для которого технические подробности сложны и излишни, сможет, ознакомившись с



Эвакуация экипажа корабля «Союз-23» после приводнения в оз. Тенгиз

первой частью, получить представление обо всех работах по ракетно-космическому комплексу. К такому подходу авторский коллектив пришел после долгих размышлений и споров, и сделано это было для того, чтобы книга стала понятной и интересной для максимально широкой аудитории.

Часть II представляет читателю историю разработки транспортного корабля снабжения (ТКС) комплекса «Алмаз».



В.Н. Челомей и секретарь ЦК КПСС Я.П. Рябов в ОПС «Алмаз»



Транспортный корабль снабжения комплекса «Алмаз»

Будучи выведенным на орбиту ракетой-носителем УР-500К, он мог доставить на станцию более 12 тонн полезного груза, включая возвращаемый аппарат с тремя членами экипажа. Масса груза, доставляемая непосредственно на станцию (до восьми капсул специальной информации, расходные материалы, топливо), составляла 5 тонн.

Проведенные летные испытания ТКС (в беспилотном варианте) подтвердили правильность принятых проектных и конструкторских решений при его создании. Отдельные главы этой части посвящены уникальному, первому в мире, многоэтажному трехместному возвращаемому аппарату (ВА) и капсуле специальной информации (КСИ) – не менее интересному космическому аппарату, доставлявшему на Землю результаты труда космонавтов-операторов, то есть отснятую пленку.

Полученные от разработчиков ТКС из филиала ЦКБМ материалы позволили достаточно полно представить историю разработки транспортного корабля снабжения комплекса «Алмаз» и дальнейших проектов на его базе.

Часть III книги излагает историю разработки системы всепогодной комплексной разведки «Алмаз-Т». Проект автоматического аппарата строился на отработанных в полете решениях по основным системам орбитальной пилотируемой станции «Алмаз».

Станция «Алмаз-Т», оснащенная комплексом целевой аппаратуры – радиолокатором с синтезированной апертурой «Меч-К», системами телевизионной разведки «Лидер», инфракрасной съемки «Секунда» и радиоканалом передачи информации по спутниковой связи, являлась высокоэффективным средством космической разведки не только в интересах Министерства обороны, но и в научных и народнохозяйственных целях. Это показали полеты станций, работавших на орбите под названием «Космос-1870» (1987–1989 гг.) и «Алмаз-1» (1991–1992 гг.).

Большой интерес для читателей представляет история политической борьбы вокруг автоматических станций комплекса «Алмаз», которая продолжалась даже после смерти основных оппонентов – генерального конструктора В.Н. Челомея и министра обороны Д.Ф. Устинова.

Книга также рассказывает о том, как в результате аварии ракеты-носителя «Протон-К» была потеряна первая экспериментальная станция «Алмаз-Т», как напряженно проходила подготовка к пуску второй станции, и как буднично министр общего машиностроения О.Д. Бакланов дал команду на ее запуск.

Книга также рассказывает о том, как в результате аварии ракеты-носителя «Протон-К» была потеряна первая экспериментальная станция «Алмаз-Т», как напряженно проходила подготовка к пуску второй станции, и как буднично министр общего машиностроения О.Д. Бакланов дал команду на ее запуск.

IV часть можно назвать специализированной, предназначена она в основном для специалистов, но и в ней есть живые воспоминания участников ра-

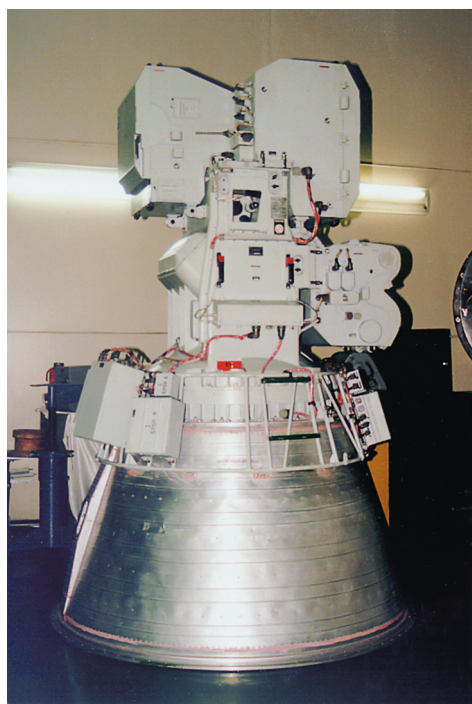
бот, которые дадут читателю возможность и улыбнуться, и задуматься. Эта часть посвящена проектно-конструкторским решениям ракетно-космического комплекса (РКК) «Алмаз». В процессе проектирования, разработки рабочей и эксплуатационной документации, наземных стендовых испытаний, изготовления отдельных приборов и агрегатов РКК, сборки и заводских испытаний космических объектов принимали участие практически все подразделения ЦКБМ/НПО машиностроения и большая кооперация конструкторских бюро, заводоизготовителей и научно-исследовательских институтов страны. В 17 главах этой части приводятся уникальные технические решения, найденные при создании различных систем этого комплекса. В частности, речь идет о создании уникальной системы управления комплекса «Алмаз». После отказа ведущих предприятий отрасли от роли головного разработчика системы управления комплекса – разработка велась силами ЦКБМ. Коллектив предприятия подошел к этой работе уже подготовленным, имея сформированный приборный комплекс, укомплектованный высокопрофессиональными кадрами. Заявленные характеристики космического комплекса предъявляли к созданию систем управления дополнительные специфические требования, что в итоге привело к принятию ряда новых, приоритетных на мировом уровне технических решений.

Большая программа тепловых экспериментов и газодинамических испытаний позволила выбрать форму и параметры теплозащиты возвращаемого аппарата, обеспечив возможность его многоразового использования. Об этом

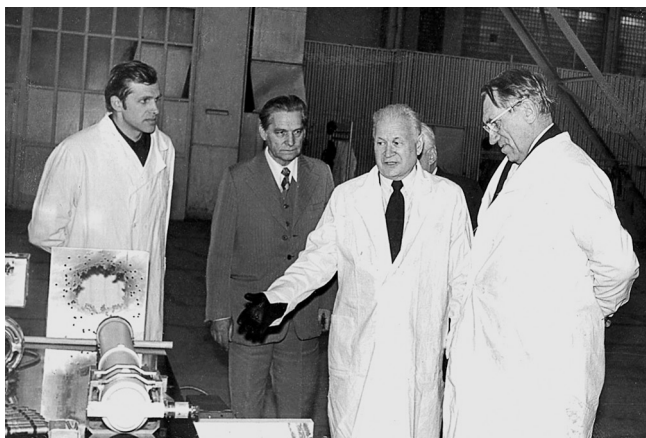


Станция «Алмаз-Т» состыкована с ракетой-носителем УР-500К на космодроме Байконур

рассказано в главах, посвященных расчетно-теоретическим работам, сопровождающим разработку комплекса «Алмаз».



Длиннофокусный аппарат детальной съемки «Агат-1»



Генеральный конструктор В.Н. Челомей демонстрирует систему «Щит-1» министру авиационной промышленности В.А. Казакову

Отдельные главы этой части посвящены целевой аппаратуре орбитальной станции – оптико-механическим и радиотехническим системам разведки, доказавшим в полете свою эффективность и получившим одобрение заказчика – Генерального штаба ВС СССР. Габариты станции позволили разместить длиннофокусный фотоаппарат «Агат-1», специально разработанный Красногорским механическим заводом. Фотоаппарат имел три тракта для получения изображений и обеспечивал разрешение на местности около 1 м в двух фотографических трактах и 1,5 м в фототелевизионном тракте. Другое средство ведения разведки – радиолокатор с синтезированной апертурой «Меч-А» – нашел свое воплощение как «Меч-К» в автоматических орбитальных станциях «Алмаз-Т», доказав свою эффективность при работе во всепогодных условиях и при любой освещенности земной поверхности.

Интересные факты истории и технического воплощения в конструкцию системы вооружения комплекса «Алмаз», разработанной под руководством глав-

ного конструктора А.Э. Нудельмана, приведены в отдельной главе. На первом этапе в качестве средства обороны станции применили модернизированную авиационную пушку НР-23 (система «Щит-1»), на втором этапе – специально разработанные реактивные снаряды «космос-космос» (система «Щит-2»). Вместе с перископом кругового обзора космического пространства и инфракрасной системой обнаружения стартующих ракет это оружие должно было защитить станцию от возможных провокаций со стороны вероятного противника.

Главы, посвященные разработке обеспечивающих систем орбитальной станции и возвращаемого аппарата, дают читателю ясное представление об уникальности технических решений, впервые в истории создания орбитальных станций примененных в ракетно-космическом комплексе «Алмаз».

Например, в двигательной установке ОПС «Алмаз» был применен специальный блок шаровых клапанов, предназначенный для уменьшения суммарной утечки компонентов топлива при длительной эксплуатации ОПС. Его конструкцию заимствовали для двигательных установок других космических аппаратов.

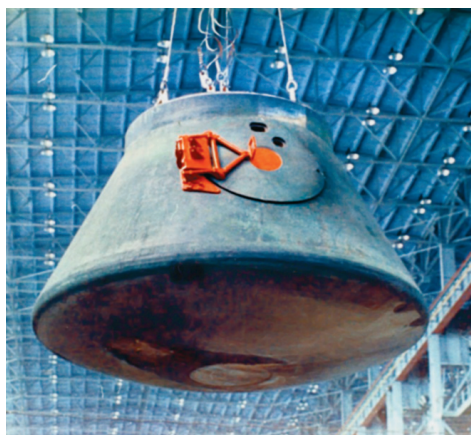
На уровне изобретения было разработано внешнее теплозащитное покрытие возвращаемого аппарата комплекса «Алмаз». Впервые в отечественной практике здесь использовалась специальная многослойная ткань трехмерного плетения и фенольно-формальдегидное связующее, обеспечившие защиту ВА при воздействии высоких температур без

расслоений, трещин, с малой величиной усадки в поверхностном слое.

В отдельной главе рассказывается о решениях технических и организационных проблем, возникавших в процессе технологической подготовки производства объектов комплекса «Алмаз».

В IV части не забыты и вопросы обеспечения надежности ОПС «Алмаз», которым посвящена специальная глава. Сводным планом наземной отработки предусматривалось изготовление и испытания девяти полноразмерных орбитальных станций разной комплектации, и его выполнение обеспечило безаварийную работу систем комплекса на орбите.

Часть V рассказывает о подготовке и проведении летных испытаний ракетно-космического комплекса «Алмаз». Здесь наглядно представлены процессы отбора и подготовки космонавтов на различного типа тренажерах, в летающих лабораториях, на морских испытаниях и прыжках с парашютом.



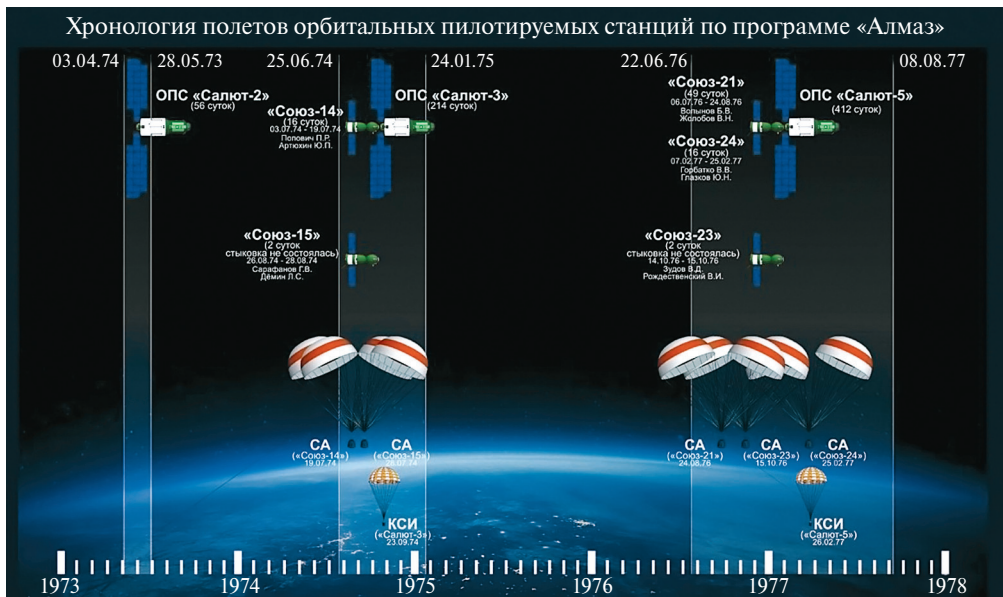
Теплозащита отсека экипажа ВА после возвращения из космоса

В этой части открываются ранее неизвестные широкому кругу читателей эпизоды из жизни и работы «алмазных» космонавтов Центра подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина и космонавтов-испытателей ЦКБМ.



15.12.76г.

Группа поиска осматривает возвращаемый аппарат после посадки



Хронология полетов орбитальных пилотируемых станций по программе «Алмаз»

Отдельные главы посвящены предварительным испытаниям возвращаемого аппарата и КСИ, подготовке наземного технологического и полигонного комплексов, управлению полетами орбитальных станций и транспортных кораблей.

По отзывам разных групп читателей, именно эти главы стали для них любимыми – живые рассказы непосредственных участников событий никого не оставят равнодушным.

Авторский коллектив книги насчитывает 80 пофамильно указанных сотрудников предприятия, как ныне продолжающих трудиться в НПО машиностроения, так и ушедших на заслуженный отдых. Собрать все представленные ими материалы, изложить в едином стиле, разместить более 500 иллюстраций – большая заслуга редакционной коллегии, в составе которой трудились и авторы настоящей статьи.

В завершение книги приведена хронология основных директивных документов по программе «Алмаз», которая не только дает представление о порядке разработки комплекса, но и позволяет в полной мере оценить масштабность проведенных работ.

Да, за работы над не принятым на вооружение комплексом «Алмаз» по действовавшим в СССР правилам никто в ОКБ-52 (ЦКБМ) не получил ни одной государственной награды. Главной наградой для участников этих грандиозных работ и главной памятью о них, надеемся, станет книга «Огранка «Алмазов»».

Как очень верно отметил в своем обращении к читателям министр обороны Российской Федерации С.К. Шойгу: «...коллектив предприятия и в дальнейшем будет бережно хранить и приумножать лучшие традиции отечественной инженерной школы, а также способствовать повышению научно-технического и оборонного потенциала России».

EARTH & UNIVERSE

3 (333), 2020

May–June

TABLE OF CONTENT:

Lev M. ZELENYI Editorial	3
Damir R. GADELSHIN, Gennady G. VALYAVIN Exo-taria: Great Advancements in Exoplanetary Studies	5
Ildar F. SHAIKHISLAMOVI, Maxim L. KHODACHENKO Hot Exoplanets as a New Class of Planets. Observational Appearance and Methods of Study	20
Pavel B. IVANOV Hot Jupiters: Orbital Evolution, Waves in Host Stars and Tides	30
Vladislava I. ANANYEVA, Alexander V. TAVROV, Elena V. PETROVA, Oleg I. KORABLEV Habitable Zones. From Solar System to Exoplanets	37

OBSERVATORIES, INSTITUTES

Igor A. LISSOV “Eye of the Sky”	46
---------------------------------	----

OPINION

Pavel S. SHUBIN Level 2 Unachievable. Problems of Popular Science Literature	53
--	----

OBSERVATORIES, INSTITUTES

Yuri V. SOLOMONOV, Natalya F. ERHOVA War and Peace of the Observatoire du Pic du Midi de Bigorre	56
--	----

HISTORY OF SCIENCE

Sergey A. YAZEV, Alexey A. GOLOVKO 80 Years Observing Solar Spots in Irkutsk	73
Evgeny V. KAZAKOV Roman Constellations: Obscure Past, Short Life	79

IN MEMORIAM

Oleg V. Verkhodanov (17.03.1965–05.04.2020)	93
Alexander A. Gurshtein (21.02.1937–03.04.2020)	93

CHRONICLES OF THE EARTH’S SEISMICITY

Oleg E. STAROVOYTI, Lyubov S. CHEPKUNAS, Maria V. KOLOMIETS Earth Seismicity in the Second Half of 2019	95
---	----

NEW BOOKS

Anton O. DEGTYAREV, Vladimir A. POLYACHENKO, Leonard D. SMIRICHEVSKIY <i>Almaz Series Declassified</i>	99
--	----

Table of Content and Selected Abstracts	109
---	-----

Front page: Pic du Midi panorama stitched from 12 photos looks to the west at an evening winter sky over Pic du Midi Observatory, Pyrenees Mountains. On the right, lights from Tarbes, France about 35 kilometers away. Lights seen toward the left are from cities in Spain.
Image credit & Copyright: Patrick Lécureuil

EARTH & UNIVERSE

3 (333), 2020

May–June

Exo-taria: Great Advancements in Exoplanetary Studies

Damir R. GADELSHIN, Gennady G. VALYAVIN

Special Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences

DOI: 10.7868/S00443948

Exoplanetary studies are the new field in astronomy. Just 25 years ago we have positively identified the planets, revolving around stars other than our Sun. The discovery of exoplanets became possible thanks to new instruments with high stability and sensitivity.

Exoplanetary studies are developing rapidly. The number of discovered and confirmed exoplanets exceeds 4 thousand. Their characteristics: the distance from the parent star, orbital eccentricity, mass, age, surface temperature, etc. – vary greatly. We have found systems with many planets (like our Solar system), and many types of exoplanets cannot be found in our Solar system. Parent stars are extremely variable too; moreover, we have found planets in binaries and multiple binaries.

Many exoplanets have atmospheres, and for some of them we have detected lines of several chemical elements. Even more, we have made (albeit very crude) maps of surface temperature.

And yet, real exploration of alien worlds are in the very beginning. Whether there is life, is still a problem for future studies. One can be sure that it is correlated with the planets and their evolution.

Hot exoplanets as a new class of planets.

Observational appearance and methods of study

Ildar F. SHAIKHISLAMOV¹, Maxim L. KHODACHENKO²

¹ Institute of Laser Physics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences

² Space Research Institute, Austrian Academy of Sciences

DOI: 10.7868/S00443948

In this paper we would like to discuss hot extrasolar planets (mainly gaseous) orbiting their host stars at quite short distances, which inevitably influences their atmospheres and causes intensive outflows. We give some history of the problem and discuss remarkable observational and theoretical discoveries and studies in this field.

Hot Jupiters: orbital evolution, waves in host stars and tides

Pavel B. IVANOV

Astro Space Center, Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences

DOI: 10.7868/S00443948

In this article, I would like to discuss the most interesting – in my opinion – properties of the hot Jupiters, giant gaseous extrasolar planets orbiting their host stars at very short distances and having short orbital periods of only several days. I focus on an effect that was recently found in several systems containing hot Jupiters. This effect is concerned with slowly decreasing orbital periods of the planets, and, supposedly, may arise because of tidal interactions. I also discuss the present state of the «dynamical tides» theory – I participated in the development of this theory – and its capability for explaining observational data.

Habitable Zones. From Solar System to Exoplanets

Vladislava I. ANANYEVA, Alexander V. TAVROV,

Elena V. PETROVA, Oleg I. KORABLEV

Space Research Institute, Russian Academy of Sciences

DOI: 10.7868/S00443948

Search for extraterrestrial life is a complex problem for different sciences, such as astronomy, biology, sociology, information theory et al. We have neither understood the emergence of life yet nor reproduced it in the lab, so we cannot estimate what is the role of chance in the process. Possibly, life emerges whenever the circumstances are favourable, and the task for molecular biology is to predict them. However, it is possible that life is an extremely rare event with low probability, which occurred once on the ancient Earth. The search for extraterrestrial life, since, is a quest to define the place of Human in the Universe.

We describe the problems in the search for extraterrestrial life, which could be solved by astronomy, leaving aside those, which are to be addressed by biology. The very first is the search for planets, which could be habitable (in other words, which are suitable for life forms as we know them today), and the estimates of their abundance.

Индекс 70336

Земля и Вселенная, 3/2020

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

Оператор ПК Н.Н. Токарева

Корректоры А.Ю. Обод, С.О. Розанова

Верстка макета Н.В. Мелкова

Просим обращаться

по вопросам публикации материалов:

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

по вопросам сотрудничества:

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

e-mail: journals@naukaran.com

Журнал зарегистрирован Государственным комитетом

Совета министров СССР по печати 28 июня 1991 г.

Свидетельство о регистрации № 2119

www.naukabooks.ru/zhurnali/katalog/zemlja-i-vselennaja/

Все права защищены.

Перепечатка материалов возможна только с разрешения редакции.

Мнение редакции может не совпадать с мнением автора.

Все иллюстрации в статьях предоставлены авторами.

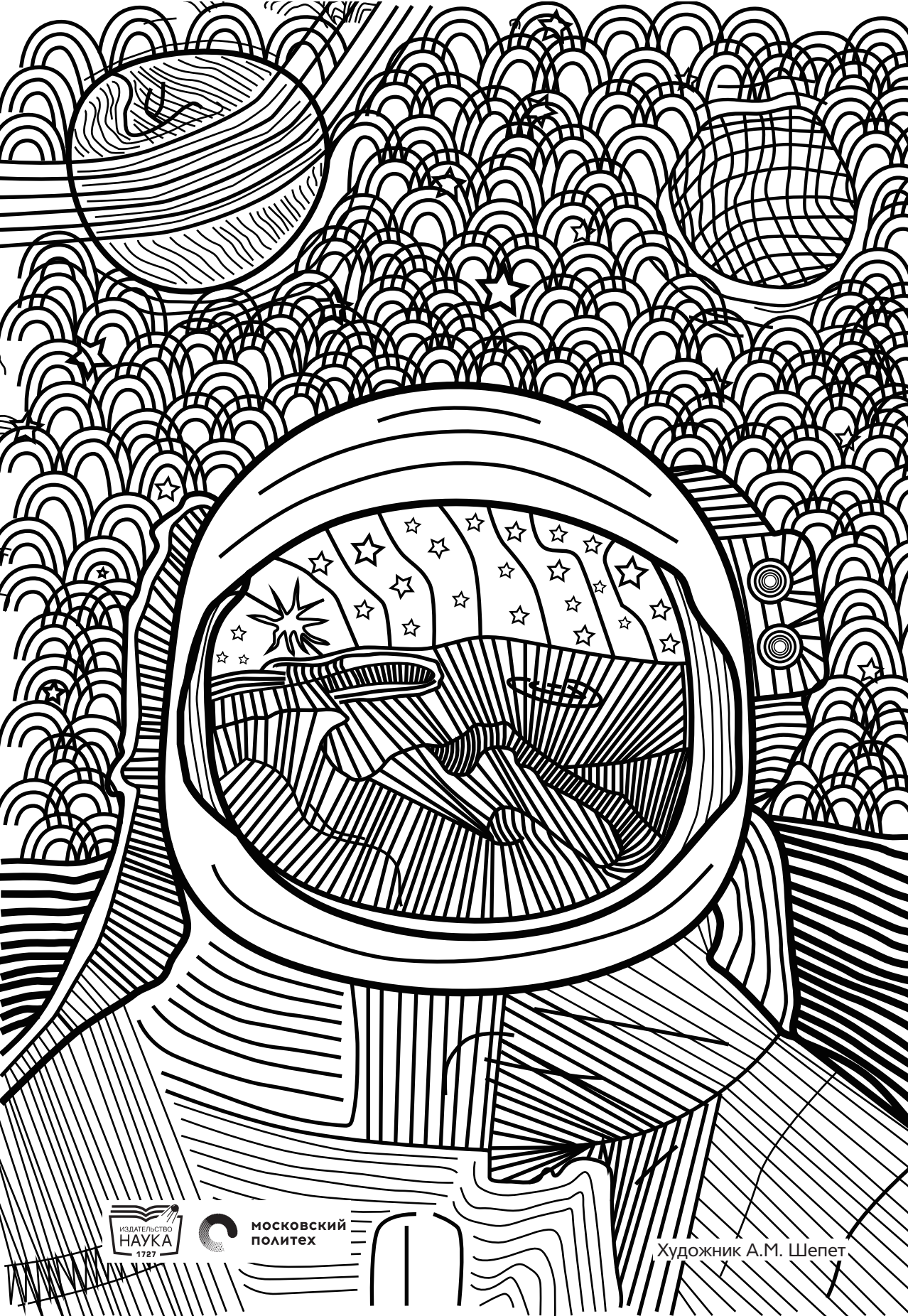
Ответственность за точность и содержание рекламных материалов несут рекламодатели

12+

Сдано в набор 18.03.2020 г. Подписано к печати 27.04.2020 г.
Дата выхода в свет 18.05.2020 г. Формат 70 × 100¹/₁₆
Цифровая печать Усл.печ.л. 9.75 Уч.-изд.л. 10.0 Бум.л. 3.75
Тираж 1000 экз. Зак. 14 Цена свободная

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

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



АкадемКнига

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

Для оценки крупных библиотек выезжаем на дом

Принимаем заказы

Формируем библиотеки

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

E-mail: bukinist@naukaran.com

Справки по телефону:

8 (495) 624-7219





НОВИНКИ И АКЦИИ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ



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



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



vk.com/naukapublishers



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

Типографии ФГУП "Издательство "Наука"
www.tnauka.ru

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



- ◆ Удобное месторасположение
- ◆ Тиражи от 20 экземпляров

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

Москва

Санкт-Петербург

Новосибирск

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "НАУКА"

"Наука"
Индекс 70336

ПО 50 РУБ.

акция распространяется в сети магазинов "Академкнига"
и в интернет-магазине naukabooks.ru



ЕЩЕ БОЛЬШЕ КНИГ И БОЛЬШЕ СКИДОК

до 80%

акция распространяется в сети магазинов "Академкнига"
и в интернет-магазине naukabooks.ru

условия акций на сайте naukabooks.ru