

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

№ 2 (332) МАРТ-АПРЕЛЬ, 2020

космонавтика
астрономия
геофизика

ISSN 0044-3948

Нам 55 лет!

КОНЕЦ ЭЛИТАРНОГО КЛУБА – 2.
ВЫСОКИЕ РУБЕЖИ КОСМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЕЙ

КРУПНЕЙШИЕ РЕФРАКТОРЫ МИРА

НОЧЬ. НЕБО. ТЕЛЕСКОП

ПАСЫНКИ ГАЛАКТИКИ

РАДИОГАЛАКТИКИ:
УНИКАЛЬНЫЕ ОБЪЕКТЫ ВСЕЛЕННОЙ

КОЛЛЕКЦИЯ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ ГЛУБИНОЙ
В ЧЕТВЕРТЬ ВЕКА

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

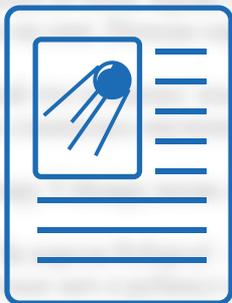


Издательство “Наука” оказывает услуги:

- СОЗДАНИЕ ОРИГИНАЛ-МАКЕТА
 - редактирование
 - вёрстка
 - изготовление рисунков
- ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОФОРМЛЕНИЕ
- ВСЁ 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

№2 (332)

МАРТ-АПРЕЛЬ, 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

НОВОСТИ НАУКИ И ДРУГАЯ ИНФОРМАЦИЯ:

Solar Orbiter: к самой ближайшей
звезде [30]

Испытательный полет
американского корабля [53]

Маленький телескоп,
который смог [58]

На стр. 1 обложки:

Туманность M20
(Тройная туманность) в созвездии
Стрельца хорошо известна
любителям астрономии.
Однако чаще мы привыкли
видеть ее в оптическом диапазоне
электромагнитного спектра.
Благодаря изображению,
полученному обсерваторией
Spitzer в инфракрасном диапазоне,
на месте темных полос, разделяющих
«доли» туманности, стали видны
яркие филаменты («волокна») газа
и молодые звезды. Изображение
NASA, JPL-Caltech, J. Rho (SSC/Caltech)

В НОМЕРЕ:

- | | |
|--|----|
| Колонка главного редактора | 3 |
| МАРСАКОВ В.А. Пасынки Галактики, или Звездные
объекты внегалактического происхождения внутри
Млечного Пути | 5 |
| ВЕРХОДАНОВ О.В. Гигантские радиогалактики –
уникальные объекты Вселенной | 18 |
| АПТЕКАРЬ Р.Л. Коллекция гамма-всплесков
глубиной в четверть века. Какие результаты принес
эксперимент КОНУС-ВИНД | 31 |

Космонавтика XXI века

- | | |
|--|----|
| ПАЙСОН Д.Б. Конец элитарного клуба-2. Высокие
рубежи космических предпринимателей | 43 |
| Космические исследования в 2019 году. Хроника
научных запусков и основных событий | 54 |

Люди науки

- | | |
|---|----|
| ЕРЕМЕЕВА А.И. Открывший конечность скорости
света. Оле Рёмер (к 375-летию со дня рождения) | 59 |
|---|----|

История науки

- | | |
|--|----|
| ГРИБКО Л.П. Преподавание астрономии
в Московском университете в начале XIX века | 72 |
| СОЛОМОНОВ Ю.В., ГЕРАСЮТИН С.А. Крупнейшие
рефракторы мира | 88 |

Люди науки

- | | |
|---|-----|
| ГЕРАСЮТИН С.А. Проложивший путь в космос
(к 125-летию со дня рождения М. Валье). Часть 2 | 101 |
|---|-----|

Планетарии

- | | |
|---|-----|
| КАЛЯКИНА Т.А., МИТЮГОВ А.В. Ночь. Небо.
Телескоп | 106 |
|---|-----|

- | | |
|---|-----|
| Table of Content and Selected Abstracts | 110 |
|---|-----|

© 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!

Второй номер журнала, как и первый, в основном посвящен астрофизике, исследованию объектов Вселенной в самом широком диапазоне длин электромагнитных волн от радиогалактик до внегалактических источников гамма-всплесков. Об этом вы сможете прочитать в статьях В.А. Марсакова, О.В. Верходанова, Р.Л. Аптекаря, которыми открывается этот номер.

В этой колонке мне хочется сказать несколько слов о другой ипостаси астрофизики, связанной с теорией гравитации и космологией. Поводом к этому послужило неожиданное (по крайней мере для меня) и радостное известие о том, что первая премия и медаль имени Джона Арчибалда Уилера присуждена трем выдающимся ученым: лауреату Нобелевской премии по физике 2017 года Кипу Торну, профессору Калифорнийского технологического института, сэру Роджеру Пенроузу, профессору Оксфордского университета, и нашему соотечественнику астрофизику Игорю Дмитриевичу Новикову, научному руководителю Астрокосмического центра ФИАН им. П.Н. Лебедева и члену редакционной коллегии нашего журнала. Медаль и премию лауреатам вручит в мае

президент Итальянского Физического общества.

Награда была учреждена в память американского физика Джона Арчибалда Уилера (John Archibald Wheeler, 1911–2008) в честь его фундаментальных открытий, «внесших вклад в “Ренессанс” Общей теории относительности и теорию черных дыр». Джон Уилер – выдающийся физик-теоретик, участник Атомного проекта США, работавший в области ядерной физики, термоядерного синтеза, специальной и общей теории относительности, единой теории поля, теории гравитации, астрофизики.

В «Ренессансе» Общей теории относительности, который начался приблизительно в 1960-х годах, участвовало несколько научных школ и исследователей: школа самого Уилера, школа британского астрофизика Денниса Шамы, американский теоретик Субраманьян Чандрасекар и Московская школа, созданная академиком и трижды Героем Социалистического труда Яковом Борисовичем Зельдовичем, к которой принадлежал Игорь Дмитриевич Новиков. Я.Б. Зельдович и И.Д. Новиков в 1960–70-х годах совместно опубликовали около 60 научных статей и несколько монографий, посвященных релятивистской астрофизике. Именем Игоря Дмитриевича назван «принцип



Игорь Новиков,
фотография «ТрВ-Наука»



Кип Торн,
фотография Kip S. Thorne/
Jon Rou



Роджер Пенроуз,
фотография Cirone-Musi,
Festival della Scienza

самосогласованности Новикова» – принцип, призванный разрешить парадоксы, связанные с путешествиями во времени, сформулированный им в середине 1980-х годов. Впервые Я.Б. Зельдович и И.Д. Новиков в 1975 г. высказали мнение о том, что существование замкнутых времениподобных линий не обязательно приводит к нарушению принципа причинности. События на такой линии могут влиять друг на друга по замкнутому циклу, то есть быть «самосогласованными».

Занятно, что многим читателям фантастики, даже очень далеким от физики, этот принцип в общем знаком, так как он лежит в основе многих научно-фантастических произведений – рассказов Хайнлайна, Янга и других писателей. Возможно, самый известный пример – фильм «Терминатор». Путешествия в прошлое, описанные в таких произведениях, не обязательно нарушают причинность, так как вызванные этими путешествиями события уже «записаны» в прошлом и таким образом глобальная цепочка событий оказывается самосогласованной.

И здесь вновь возникает интересная тема связи науки и нашего понимания мироздания, которое отражается в том числе и в литературе, и научной фантастике в частности.

Оказывается, что наше понимание мироздания, даже в самых фантастических и не подчиняющихся обычной логике его проявлениях, может опираться на научный фундамент, заложенный в том числе и лауреатами премии Уилера 2020 года.

Именно Уилером в свое время были придуманы несколько терминов: в их числе «квантовая пена», «кротовая нора» и «черная дыра», которые сегодня известны не только специалистам-физикам, но и любознательным школьникам (на недавнем Дне открытых дверей в ИКИ РАН лучше всех на вопрос «что такое горизонт черной дыры?» ответила ученица 3 класса).

И еще одна заслуга лауреатов первой Премии Уилера в том, что они совсем не чураются популяризации.

Наверное, самый яркий пример подал Кип Торн, ставший научным консультантом голливудского блокбастера «Интерстеллар» – фильма, где была предпринята достаточно честная попытка визуализировать современные научные теории средствами современного кинематографа. И Роджер Пенроуз, и Игорь Новиков – авторы научно-популярных книг и статей, и особенно приятно, что многие статьи Игоря Дмитриевича были опубликованы именно в «Земле и Вселенной». Кстати, о принципе самосогласованности можно прочитать в статье И.Д. Новикова «Возможны ли путешествия в прошлое и можно ли изменить прошлое?», опубликованной в «ЗиВ» № 1, 2001. Всего же в нашем журнале опубликовано более десятка статей Игоря Дмитриевича, и в ближайшее время, как мы надеемся, этот список увеличится.

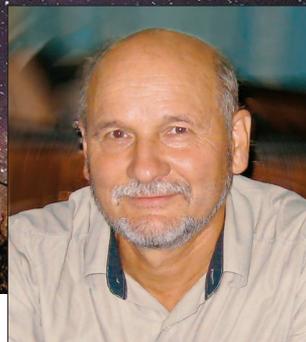
От имени редакции ЗиВ и наших читателей еще раз поздравляем лауреатов!

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

*Дорогие читатели!
Напоминаем, что подписаться на журнал
«Земля и Вселенная»
на I полугодие 2020 г.
вы можете с любого номера
по Объединенному каталогу
«Пресса России»
во всех отделениях связи.
Подписаться можно и по интернету,
воспользовавшись каталогом журналов
на сайте «Почта России»
Подписной индекс – 70336.
Журнал «Земля и Вселенная»
также можно приобрести в розницу
в сети магазинов «Академкнига»*

*Редакция журнала:
Тел.: (495)276-77-35 (доб. 42-31)
e-mail: zevs@naukaran.com
Шубинский пер., д. 6, стр. 1*

ПАСЫНКИ ГАЛАКТИКИ, ИЛИ ЗВЕЗДНЫЕ ОБЪЕКТЫ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ВНУТРИ МЛЕЧНОГО ПУТИ



МАРСАКОВ Владимир Андреевич,

доктор физико-математических наук,

профессор

НИИ физики Южного федерального университета

DOI: 10.7868/50044394820020012

С тех пор как примерно сто лет назад нашу Галактику признали изолированной звездной системой, существующей в безграничной Вселенной, никому даже в голову не приходило, что звезды и звездные скопления, находящиеся в пределах видимости от Солнца, могли образоваться где-нибудь за ее пределами. Другими словами, астрономы были уверены, что все галактические звездные объекты являются генетически связанными, то есть образовавшимися из единого протогалактического облака. Однако скорости и химический состав некоторых даже ближайших звезд и шаровых звездных скоплений никак не укладывались в такое представление. Посмотрим, как эволюционировали наши представления о формировании структуры Галактики.

КАК ФОРМИРОВАЛАСЬ ГАЛАКТИКА

Изучение процесса формирования и эволюции галактик, в частности нашей Галактики – Млечный Путь, явля-

ется одной из интереснейших задач современной астрономии. При решении этой задачи используются результаты теории звездной эволюции, статистические характеристики звездных населений, результаты построения моделей Галактики, выводы теоретической

и наблюдательной космологии. Сопоставление возрастов, скоростей, химического состава и геометрии подсистем Галактики позволили обрисовать важнейшие черты ее эволюции. До последнего времени полагали, что Галактика сформировалась из медленно вращающегося клочковатого газового облака, начальные размеры которого в десятки раз превосходили ее современные размеры. Это протогалактическое облако вначале сжималось (коллапсировало) под действием собственной гравитации. В процессе первоначального сжатия при столкновениях холодных газовых облаков шел процесс звездообразования и рождались звезды и шаровые скопления первого поколения. Сейчас считается, что важную роль в возникновении галактик играла темная холодная материя, которая легко собиралась в сгустки, и в создаваемую таким образом потенциальную яму собиралась и видимая материя. По результатам спутникового эксперимента WMAP (NASA) стало известно, в частности, что звезды во Вселенной появились уже через 200 млн лет после ее возникновения.

В построении картины формирования гало важную роль сыграла ставшая классической работа 1962 г. трех американских ученых О. Эггена, Д. Линден-Белла и А. Сэндиджа по исследованию связи кинематики и металличности (общее содержание химических элементов тяжелее водорода и гелия) у старых звезд. На основе анализа движения и металличности всего у 221 звезды они обнаружили сильную корреляцию между эксцентриситетом галактических орбит и наблюдаемого ультрафиолетового избытка (который является индексом металличности звезд).

Звезды с наибольшим избытком (т.е. с наименьшим содержанием металлов) неизменно движутся по наиболее вытянутым орбитам, тогда как звезды с небольшим избытком или без него движутся по почти круговым орбитам. В итоге они первыми предположили, что Млечный Путь образовался из быстро сколлапсировавшего газового облака. Эта модель эволюции Галактики дает только один из возможных сценариев. Еще одну точку зрения в 1978 г. выдвинули астрономы Л. Сирл и Р. Зинн из Калифорнии. Они заявили,

Сейчас считается, что важную роль в возникновении галактик играла темная холодная материя, которая легко собиралась в сгустки, и в создаваемую таким образом потенциальную яму собиралась и видимая материя

что движение звезд гало исключительно по сильно вытянутым галактическим орбитам является следствием наблюдательной селекции и в гало имеются звезды с умеренными эксцентриситетами орбит. Кроме того, много очень малометаллических шаровых скоплений находится вблизи галактического центра. Все это противоречит сценарию быстрого

коллапса протогалактики, поэтому Сирл и Зинн предположили, что Галактика формировалась путем постепенного поглощения (слияния) большого числа относительно небольших фрагментов.

Эта точка зрения получила дополнительное подтверждение, когда детальный анализ содержаний химических элементов в звездах галактического поля продемонстрировал аномальные содержания некоторых химических элементов у значительного количества малометаллических звезд гало, которое не удается объяснить в рамках гипотезы образования их из вещества единого протогалактического облака. Зато такой химический состав находит естественное объяснение в предположении, что эти звезды родились в изолирован-

Галактика и окружающие ее объекты. Бледное кольцо вокруг галактического балджа – поток Стрельца, тогда как сама карликовая сфероидальная галактика в Стрельце выглядит как светлая точка на пересечении потока Стрельца и галактического диска. Солнце расположено на противоположной стороне, где поток Стрельца еще раз пересекает галактический диск. Изображение из альманаха *The Cosmos*

ных протогалактических фрагментах или галактиках-спутниках, у которых теоретически могла быть иная химическая история. Другими словами, получается, что в малометаллическом гало нашей Галактики сосуществуют два компонента: собственное гало, звезды которого генетически связаны с единым протогалактическим облаком, и аккрецированное гало, все объекты которого ведут свое происхождение от разрушенных в разное время приливными силами Галактики карликовых галактик-спутников.

Третий из рассматриваемых в настоящее время сценариев образования Галактики передоверяет основную роль темной материи, которая первой сформировала потенциальную яму. В эту яму постепенно натекли фрагменты, образовавшие Галактику. Согласно современной стандартной космологической модели Λ CDM (*Lambda-Cold Dark Matter*, см. *ЗиВ* № 1, 2020), галактики растут по массе за счет слияний. Как правило, гало галактики формируется в результате нескольких крупных слияний, сопровождаемых множеством



мелких слияний. Когда спутники сливаются с такой галактикой, как Млечный Путь, они лишаются своих звезд из-за приливных сил. Эти звезды следуют приблизительно по средней орбите своего прародителя, и это приводит к образованию потоков и оболочек.

Но это все в теории, а каковы наблюдательные свидетельства?

КИНЕМАТИКА КАК ГЛАВНЫЙ ПОМОЩНИК В ПОИСКЕ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

За последние несколько лет наблюдательная астрономия дала нам несколько убедительных свидетельств того, что не все звезды, принадлежащие в насто-

ящий момент нашей Галактике, образовались из единого протогалактического облака. Часть звездных объектов в разное время были ею захвачены из ближайших галактик-спутников. Эпоха аккреции изолированных протогалактических фрагментов и внегалактических объектов началась, по-видимому, на самых ранних этапах формирования Галактики и продолжается до сих пор. В частности, в 1994 г. европейские астрономы Р. Ибата, Г. Гилмор и М. Ирвин в журнале *Nature* опубликовали статью, где сообщили, что они обнаружили большую, протяженную группу звезд в созвездии Стрельца, движущуюся в направлении центра Галактики, которую они интерпретировали как принадлежащую карликовой галактике, находящуюся ближе к нашей собственной галактике, чем любая другая известная нам галактика. Они определили, что эта галактика сопоставима по размеру и светимости с самой крупной из восьми других карликовых сфероидальных галактик-спутников – системой Форнакс (от названия созвездия Печь) и предложили назвать ее карликовой галактикой Сагиттариус (от названия созвездия Стрелец, dSph Sgr). Галактика в Стрельце вытянута по направлению к плоскости Млечного Пути, откуда авторы предположили, что она претерпевает разрушение приливными силами Галактики, прежде чем будет ею поглощена.

Изучение пространственных скоростей и вычисленных по ним галактических орбит показало, что с этой галактикой с высокой вероятностью ассоциируется около десятка шаровых скоплений. Элементы галактических орбит еще нескольких скоплений также указывают на то, что они были захвачены из различных галактик-спутников. Предположительно даже ω Cen, крупнейшее из известных шаровых скоплений Галактики, находящееся довольно

близко к галактическому центру и имеющее ретроградную орбиту, в свое время было ядром карликовой галактики. Другими словами, даже не очень точные астрометрические данные для столь удаленных от Солнца объектов позволили с достаточной долей уверенности выявлять скопления, родившиеся за пределами Галактики и впоследствии захваченные ею.

КАК ИЩУТ ЗВЕЗДЫ ПОЛЯ И ШАРОВЫЕ СКОПЛЕНИЯ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Шаровые звездные скопления являются одними из старейших объектов в Галактике и поэтому вызывают сильнейший интерес в связи возможностью понять с их помощью, как происходило формирование и ранняя эволюция Млечного Пути. До недавнего времени все шаровые скопления принято было считать типичными представителями собственного галактического гало, то есть образовавшимися из единого протогалактического облака на начальных этапах формирования Галактики. Однако впоследствии, как указано выше, было показано, что часть скоплений, скорее всего, попали в нашу Галактику из распавшихся галактик-спутников. Это открытие по времени примерно совпало с возникновением теории, согласно которой массивные галактики, подобные нашей, формируются на ранних этапах своей эволюции в результате непрерывной аккреции карликовых галактик.

Численное моделирование динамических процессов, происходящих при взаимодействии галактики-спутника с диском и балджем нашей Галактики, показало, что захват ядра карликовой галактики на вытянутую ретроградную орбиту с малым апогалактическим

радиусом вполне возможен, при этом галактика должна быть довольно массивной – $\approx 10^9 M_{\odot}$. В частности, результаты численного моделирования показали, что орбиты достаточно массивных галактик-спутников постоянно уменьшаются в размерах и перемещаются в галактическую плоскость динамическим трением. Со временем такие галактики, приобретя очень эксцентричные орбиты, практически параллельные галактическому диску, начинают интенсивно разрушаться приливными силами Галактики при каждом своем прохождении перигалактического расстояния, теряя звезды с четко детерминированными орбитальными энергиями и угловыми моментами. Поэтому, если наблюдатель находится между апогалактическим и перигалактическим радиусами такой орбиты, то приливный «хвост» от разрушаемой галактики будет наблюдаться в виде «движущейся группы» звезд с малыми вертикальными компонентами скоростей и широким, симметричным и часто двухвершинным распределением радиальных компонентов пространственных скоростей.

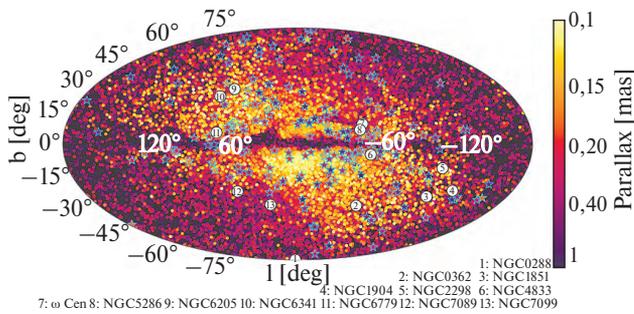
Теория динамической эволюции предсказывает и неизбежную диссипацию скоплений в результате совместных действий звездно-звездных сближений, приливных разрушений и ударных взаимодействий с диском и балджем Галактики. И действительно, у всех скоплений, для которых удалось получить качественное оптическое изображение, обнаружилось следы приливного взаимодействия с Галактикой в форме протяженных деформаций (приливных хвостов). Удалось даже оценить для скопления ω Cen, что в результате последнего прохождения через плоскость диска это скопление потеряло в виде звезд чуть меньше одного процента своей массы. В итоге, даже в ближайшей околосолнечной окрест-

ности мы можем попытаться идентифицировать звезды внегалактического происхождения.

Широкополосные фотометрические исследования обнаружили много кинематически холодных (то есть с малым разбросом скоростей) потоков, вероятно, от шаровых скоплений, а также и более дисперсных потоков, вызванных карликовыми галактиками, например, Сагиттариус. Многие из этих потоков являются отдаленными, и их удалось выявить после тщательной фильтрации. К настоящему моменту несколько исследований близлежащего звездного гало выявили различные небольшие группы звезд, которые, вероятно, были аккрецированы вместе.

НОВАЯ ЭРА В ДИНАМИЧЕСКОЙ АСТРОНОМИИ

В апреле 2018 г. в динамической астрономии наступила новая эра после появления в свободном доступе данных Gaia Data Release 2 (DR2) в результате работы миссии *Gaia* (*Global Astrometric Interferometer for Astrophysics*) – космический телескоп Европейского космического агентства, преемник проекта *Hipparcos*. ИСЗ был выведен на орбиту 19 декабря 2013 г. Предполагается, что с помощью *Gaia* будет составлена трехмерная карта части нашей Галактики с указанием координат, направления движения и спектрального класса около миллиарда звезд. Астрометрические данные: параллаксы и собственные движения – стали известны более чем для миллиарда звезд вплоть до 21^m звездной величины с точностью $(0,1-1,0)$ мсд (микросекунды дуги) и аналогичной неопределенностью собственных движений в мкс/год. Для шаровых скоплений собственные движения определены вообще с фантастической точностью – $0,05$ мсд/год. Одно-



На рисунке приведено распределение по небу предположительных членов Гайя-Энцелада из каталога Gaia. Звездочками обозначены звезды типа RR Lyrae поля, а кружками с цифрами внутри – шаровые скопления, потенциально связанные с этой структурой. Источники: Хелми и др. 2018

временно для нескольких миллионов звезд (вплоть до удаленных от Солнца до 1–3 кпк) дали возможность вычислить для них компоненты пространственных скоростей. В результате практически для всех известных в настоящее время шаровых скоплений удалось восстановить галактические орбиты.

Для выявления звезд поля и шаровых скоплений с общим происхождением по данным Gaia анализируются их динамические свойства, в частности, в пространстве интегралов движения. Так, группа из 13 зарубежных астрономов во главе с Макретом из Ливерпульского университета в 2018 г. проанализировали относительные содержания α -элементов и скоростей у нескольких десятков тысяч звезд в пределах 15 кпк от Солнца в выборке, составленной путем кросс-идентификации между каталогами SDSS-APOGEE DR14 и Gaia DR2. Они обнаружили, что у части металлических звезд отношения $[\alpha/\text{Fe}]$ ниже, чем у основной массы звезд поля. В итоге был сделан вывод о захвате на ранних этапах эволюции нашей Галактикой массивной ($\sim 10^9 M_{\odot}$) галактики-спутника, в результате чего часть звезд поля, рожденных в этой галактике-спутнике, попали в нашу Галактику, а часть звезд уже образовавшегося тонкого диска при этом «разогрелась», сформировав подсистему толстого диска. К такому же выводу пришли и Нидерландские

астрономы Амина Хелми с соавторами в статье, опубликованной в 2018 г. в журнале Nature. Они, по данным обзора APOGEE и Gaia DR2, а также в результате численного моделирования, показали, что во внутреннем гало преобладают обломки карликовой галактики более массивной, чем Малое Магелланово Облако, которую они назвали Гайя-Энцелад. Они продемонстрировали, что среди исследованных ими звездных объектов сотни лириды и более дюжины шаровых скоплений образовались в этой галактике. Причем слияние Млечного Пути с Гайя-Энцеладом, по их мнению, привело к динамическому «разогреву» предшественника толстого галактического диска и, следовательно, способствовало формированию этой подсистемы Галактики примерно 10 млрд лет назад. Однако обломки Гайя-Энцелада не единственная субструктура, присутствующая в окрестностях Солнца. В частности, солнечную область пересекают обнаруженные около 20 лет назад потоки Хелми. Более того, совсем недавно, по данным Gaia DR2 и DECaPS, были обнаружены свидетельства не одного, а двух захватов массивных галактик примерно 9–11 млрд лет назад.

В недавно опубликованной работе нидерландский астроном Хельмер Коппельман с соавторами из Италии и Соединенных Штатов на огромном наблюдательном материале подтвердили, что

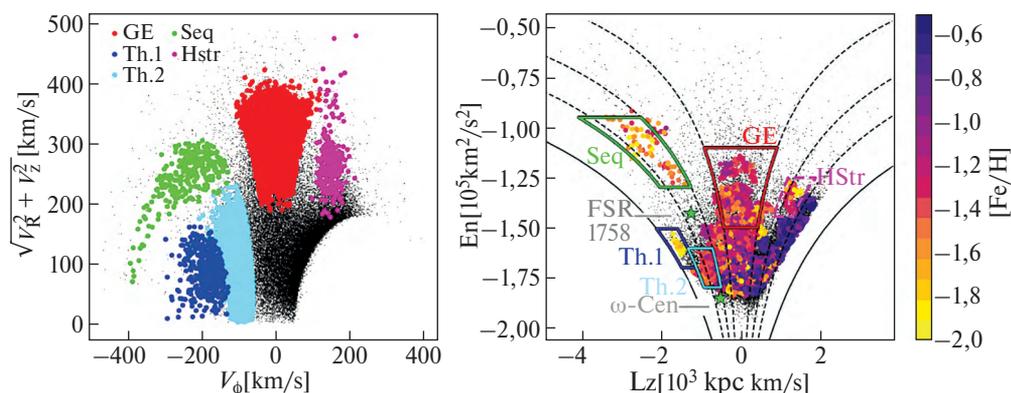
малометаллические звезды гало ([Fe/H] < -1,0) имеют больше ретроградных орбит, чем более богатые металлами звезды. Ретроградное гало содержит, по их мнению, смесь обломков таких объектов, как Гайя-Энцелад, Секвойя и даже химически определенный толстый диск. Секвойя, по-видимому, имеет меньший диапазон орбитальных энергий, чем предполагалось ранее, и ограничивается высокой энергией орбит. Секвойя сама по себе может быть небольшой галактикой, но поскольку она пересекается как в пространстве интегралов движения, так и в пространстве химического состава с менее связанными обломками Гайя-Энцелада, ее природа еще не может быть полностью определена. В ретроградном гало авторы обнаружили обломки еще одного небольшого объекта, который они назвали Тамнос. Звезды двух потоков Тамноса находятся на низко наклоненных, слегка эксцентричных ретроградных орбитах, движущихся со скоростью ≈ 150 км/с, и химически отличаются от других структур.

Исследование связи между шаровыми скоплениями и известными событиями

слияния, которые пережил Млечный Путь, показывают, что около 40% шаровых скоплений, вероятно, сформировались на месте, то есть генетически связаны с единым протогалактическим облаком. Большая доля, 35%, по-видимому, связана с известными событиями слияния, в частности, с Гайя-Энцеладом (19%), карликовой галактикой Сагиттариус (5%), прародителем потоков Хелми (6%) и галактикой Секвойя (5%), хотя некоторая неопределенность сохраняется из-за степени перекрытия их динамических характеристик. Из оставшихся скоплений 16% связаны с низкоскоростной группой, в то время как остальные находятся на очень высоко поднимающихся над галактической плоскостью и сильно вытянутых орбитах, поэтому они имеют, скорее всего, гетерогенное происхождение.

Проанализировав кинематические свойства ретроградных структур в Галактике, британский астроном Г. Мэйонг с соавторами решили, что эти структуры, скорее всего, являются остатками обломков родительской кар-

Распределение звезд в группах, идентифицированных в пространстве энергии орбит – E_n , углового момента, перпендикулярного галактической плоскости – L_z , эксцентриситета – e и металличности – [Fe/H], и закодированных цветом [Fe/H], а остальные показаны черными точками. На правой панели нанесены линии постоянной кругообразности орбит. Левая панель показывает кинематические свойства звезд в этих субструктурах. Рисунок из статьи Коппельмана и др., 2019



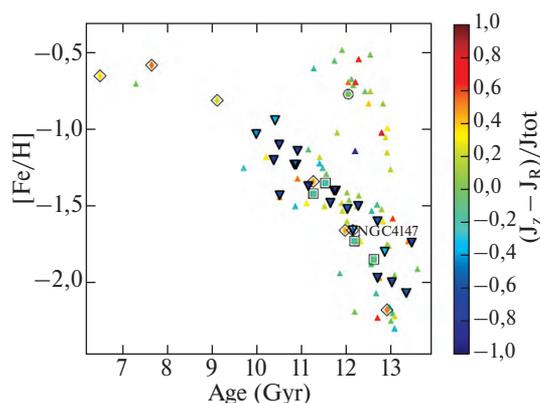
ликовой галактики Секвойи, а никак не потоками от шарового скопления Центавра, которое в свою очередь, является ядром этой галактики.

ВОЗРАСТЫ ШАРОВЫХ СКОПЛЕНИЙ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Согласно современным представлениям, чем меньше масса эволюционирующей звездно-газовой системы, тем ниже в ней эффективность звездообразования. Одновременно в ней будет и медленнее идти обогащение межзвездной среды тяжелыми элементами. В результате звезды одной и той же металличности в менее массивной системе будут моложе, чем в более массивной. Поэтому звездные объекты, родившиеся в разрушенных карликовых галактиках и принадлежащие в настоящее время Млечному Пути, должны быть моложе генетически связанных звезд поля аналогичной металличности. Проверить это можно, определив их возрасты. К сожалению, у одиночных звезд возрасты получаются с большой неопределенностью. Зато для

большого количества звезд с одинаковыми возрастными и металличностью, то есть для шаровых скоплений, они получаются более надежно. Это связано с тем, что существуют методы, позволяющие определить светимости точек поворота их главных последовательностей на диаграмме «цвет – светимость» (положения которых на диаграмме зависят лишь от возраста и металличности) без учета межзвездного поглощения и покраснения. Поэтому анализ зависимости металличности от возраста скоплений оказался весьма информативным при идентификации тех из них, которые родились из межзвездного вещества, испытавшего отличную от вещества единого протогалактического облака химическую эволюцию. Разными авторами возрасты определены для 96 шаровых скоплений, которые европейские астрономы Дидерик Крашен с соавторами в 2019 г. привели в единую шкалу. Ниже приведен рисунок, построенный по этим данным.

Из диаграммы видно, что в диапазоне $[Fe/H] > -1,5$ более низкие возрасты шаровых скоплений предположительно внегалактического происхождения однозначно свидетельствуют о том, что они образовались в менее



На диаграмме, построенной Мэйонгом с соавторами, приведена зависимость металличности от возраста для шаровых скоплений, принадлежащих в настоящее время Млечному Пути. Пять скоплений – членов Секвойи отмечены квадратами (вероятные) и кругом (возможные). Скопления из Сосиски Гая отмечены треугольниками, направленными вниз, из Сигиттариуса – ромбами. Цвет показывает нормализованную разницу между вертикальными и радиальными угловыми моментами $(J_z - J_R) = J_{tot}$.
Источники: Мэйонг и др., 2019

массивных галактиках, в которых была меньшая эффективность звездообразования, чем в Млечном Пути. Менее металлические скопления все являются очень старыми, поэтому для таких скоплений возраст не может быть индикатором их природы.

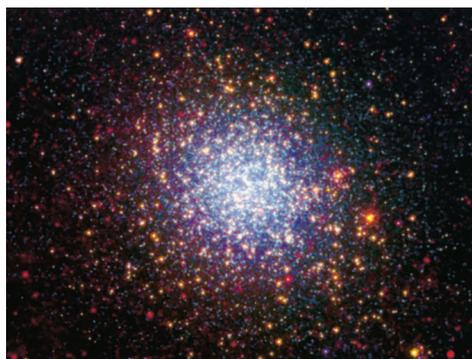
КАК СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОМОГАЮТ ОПРЕДЕЛЯТЬ ПРИРОДУ ЗВЕЗДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Поскольку генетически связанные с единым протогалактическим облаком и аккрецированные шаровые скопления образовывались из межзвездного вещества, испытавшего различные истории химической эволюции, можно ожидать, что относительные содержания химических элементов в скоплениях разной природы окажутся различными. Долгое время полагали, что образование всех звезд в каждом скоплении происходило одновременно, и поэтому содержания всех химических элементов в их звездах должны соответствовать содержаниям в первичных протооблаках этих скоплений. Но потом выяснили, что во всех скоплениях происходило самообогащение, что изменяло содержания некоторых химических элементов. Известно, что по крайней мере в двух самых массивных скоплениях, ω Cen и M54, происходило даже обогащение элементами, выброшенными вспышками сверхновых, приведшее к образованию в них более молодого населения звезд с более высоким содержанием элементов группы железа.

Но сверхмассивных скоплений немного, тогда как в остальных искажены в основном содержания только тех химических элементов, которые участвуют в реакциях протонных захватов, происходящих в гидростатических

процессах горения гелия в центре или в слоевых источниках гигантов асимптотической ветви с массами менее $8M_{\odot}$. Главным образом эти процессы уменьшили в таких звездах относительные содержания первичных α -элементов (кислорода и в меньшей степени магния) и увеличили – натрия и алюминия. При сбросе оболочки такой звездой на более поздних стадиях эволюции эти элементы попадают в межзвездную среду скопления, в итоге новые поколения звезд в нем оказываются с измененным химическим составом. Средние содержания остальных химических элементов в звездах скоплений остались практически первичными. Это позволяет нам использовать их для восстановления эволюции Галактики на ранних этапах ее формирования.

Относительные содержания химических элементов в атмосферах маломассивных звезд главной последовательности можно использовать для оценки параметров начальной функции масс, скорости звездообразования, а также в качестве временной шкалы химически эволюционирующей системы. Действительно, согласно современным представлениям все химические элементы тяжелее бора образовались



Шаровое скопление Омега Центавра – ядро распавшейся карликовой галактики Секвойя. Источник: Изображение получено обсерваторией Spitzer (NASA)

в реакциях ядерного нуклеосинтеза в звездах разных масс. Отсюда следует, что количество атомов тяжелых элементов будет с неизбежностью увеличиваться в процессе эволюции Галактики, а отношение числа атомов тяжелых элементов к числу атомов водорода в атмосферах непроэволюционировавших звезд (т.е. их полная металличность) должно служить индикатором их возраста.

Наряду с полной металличностью в качестве химического индикатора возраста звезд оказалось удобно использовать и относительные содержания в них различных химических элементов, поскольку возникновение большинства элементов может быть довольно надежно приписано тому или иному процессу нуклеосинтеза в звездах определенных масс, эволюционирующих за теоретически определяемое время. Согласно сценарию, предложенному новозеландским астрономом Беатрис Тинсли в 1979 г., самые малометаллические звезды, наблюдаемые в настоящее время, образовались из межзвездной среды, обогащенной элементами, выброшенными массивными звездами ($M > 8M_{\odot}$), находящимися на стадии асимптотической ветви гигантов, и элементами, образовавшимися в процессе их последующей вспышки в виде сверхновой II типа. В частности, массивные сверхновые звезды SNe II являются основными поставщиками в межзвездную среду элементов α -захвата, γ -процесса и небольшого количества элементов группы железа. Основная же масса элементов группы железа синтезируется в звездах меньших масс ($M = 4-8M_{\odot}$) как результат аккреции вещества на углеродно-кислородный белый карлик в тесных двойных системах, взрывающихся вследствие этого как SNe Ia. Производство α -элементов происходит за более короткое время, чем железа, что обуслов-

лено разницей во временах эволюции сверхновых типа II (≈ 30 млн лет) и Ia ($\approx 0,5-1,5$ млрд лет). Поскольку вклад SNe Ia в синтез элементов группы железа существенно больше, чем вклад в синтез α -элементов, то отношение $[\alpha/Fe]$ будет убывать в Галактике по мере обогащения межзвездной среды остатками этих сверхновых. Таким образом, к тому моменту, когда величина $[\alpha/Fe]$ начнет уменьшаться, пройдет, по меньшей мере, ≈ 1 млрд лет после начальной вспышки звездообразования.

Чем больше скорость звездообразования в системе, тем при большем значении металличности будет наблюдаться «излом» зависимости $[\alpha/Fe] - [Fe/H]$ из-за наступления эпохи вспышек SNe Ia и обогащения их выбросами межзвездной среды. (Как следствие, расположение излома также зависит от общей массы системы: чем меньше масса системы, тем ниже значение $[Fe/H]$, при котором начинается уменьшение $[\alpha/Fe]$.) Причем, дальнейшее уменьшение отношения $[\alpha/Fe]$ с увеличением общей металличности будет тем круче, чем меньше скорость звездообразования в системе. И если звездообразование в системе вообще приостановится, то пропадет источник α -элементов (то есть сверхновые типа II) и только SNe Ia будут обогащать межзвездную среду элементами группы железа, поэтому отношение $[\alpha/Fe]$ уменьшится внезапно.

АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЙ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗВЕЗДНЫХ ОБЪЕКТАХ

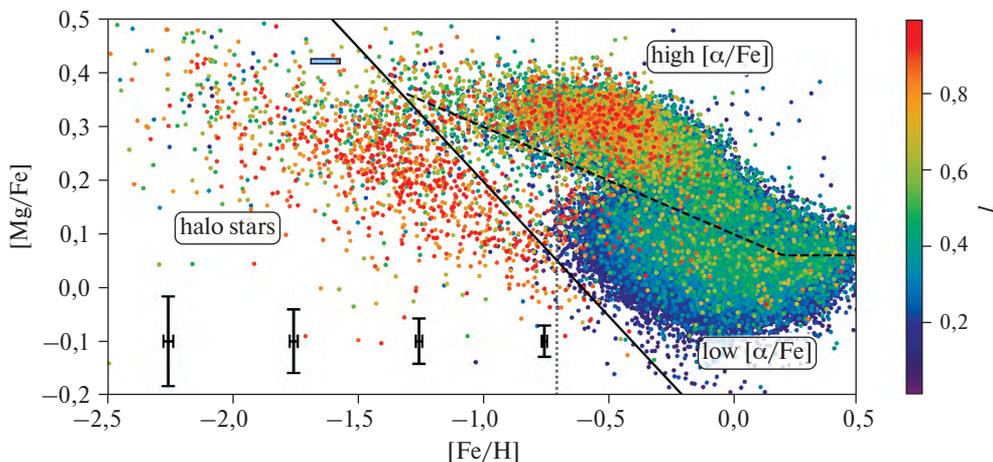
Итальянский астроном А. Муччиарелли с соавторами в 2017 г. для 235 выделенных ими звезд ядра разрушаемой в настоящее время карликовой галактики Сагиттариус (Sgr) построили и проанализировали зависимость $[Mg, Ca/Fe]$

от $[Fe/H]$. Они нашли, что в малометаллическом диапазоне ($[Fe/H] < -1,0$) последовательность звезд из этой галактики совпадает с последовательностью звезд поля Галактики, а при большей металличности она лежит несколько ниже, чем у звезд поля. Причем авторы отмечают, что в области $[Fe/H] > -1,0$ зависимость относительных содержаний α -элементов от металличности в галактике Сагиттариус очень похожа на ту, которая наблюдается у звезд самого массивного спутника Галактики – Большого Магелланова Облака. Это, по их мнению, предполагает и у галактики Сагиттариус также большую массу. И действительно, моделирование кинематики приливного хвоста звезд галактики Сагиттариус показало, что для того, чтобы воспроизвести дисперсию скоростей в потоке от этой галактики, масса ее темного гало должна быть $M = 6 \cdot 10^{10} M_{\odot}$. Муччиарелли с соавторами удалось воспроизвести наблюдаемые химические закономерности в родительской карликовой галактике Сагиттариус в модели, подразумевающей именно такую большую ее начальную массу и значительную ее потерю несколько миллиардов лет назад в период, начиная с первого ее пересечения периферии нашей Галактики.

Галактика Сагиттариус является первой обнаруженной захваченной галактикой-спутником. Однако исторически она оказывается последней, то есть аккрецируемой в настоящее время, а не в далеком прошлом. Выше мы уже упоминали об обнаружении обломков карликовой галактики-спутника – Гайя-Энцелада. В этом году британский астроном Г. Мэйонг с соавторами, по данным Gaia DR2 and DECaPS, уточнили, что это обломки не одной, а двух массивных галактик Сосиски Гайя и Секвойи. (Неблагозвучное название «Сосиска» галактика получила благодаря тому, что все звездные объ-

екты, которые ей приписывают, обладают в основном сильно вытянутыми в вертикальной плоскости относительно галактического диска орбитами, и поэтому на кинематической диаграмме принадлежащие ей звезды образуют тонкую вытянутую структуру.) Сосиска Гайя (корректнее сказать, что это Гайя-Энцелад в несколько урезанном виде) является главным аккрецированным событием, которое построило звездное гало галактики Млечный Путь. Поэтому в дальнейшем будем называть ее Гайя-Энцелад. Событие Секвойи обеспечило основную массу высокоэнергичных ретроградных звезд в звездном гало. Ей также принадлежало и недавно обнаруженное шаровое скопление FSR1758, которое является вторым по величине в этой галактике, после центрального скопления Омега Центавра. Этой галактике принадлежали в прошлом еще пять шаровых скоплений, а также несколько ретроградных структур. Звездная масса в Галактике Секвойя составляет $5 \cdot 10^7 M_{\odot}$, в то время как общая масса составляет $10^{10} M_{\odot}$. Хотя Секвойя явно менее массивна, чем Гайя-Энцелад, она имеет ярко выраженные химодинамические свойства. Сильно ретроградные звезды Секвойи имеют типичный эксцентриситет 0,6, тогда как Энцеладовские звезды не имеют четкого чистого вращения и движутся по преимущественно радиальным орбитам. В среднем звезды Секвойи имеют меньшую металличность на 0,3 dex по сравнению с Гайя-Энцеладом. Анализ показывает, что галактики Гайя-Энцелад и Секвойя могли быть захвачены и аккрецированы в сопоставимые эпохи.

В первом объявлении об открытии Гайя-Энцелада Хэлми с соавторами (2018) обломкам этой галактики приписали широкий диапазон азимутальных угловых моментов звезд ($-1500 < L_z < 150$) кпк км/с. Представ-



Зависимость относительных содержаний магния, как представителя альфа-элементов, от металличности $[Mg/Fe] - [Fe/H]$, по данным APOGEE DR14. Разным цветом показаны звезды с разными эксцентриситетами на орбите. Источник: Макрет и др. 2019

ление о двух захваченных объектах хорошо согласуется с работой Макрета с коллегами 2019 г., где звезды гало разделены по эксцентриситету и показано, что группы с низким и высоким эксцентриситетом имеют разные коэффициенты обилия и, вероятно, разное происхождение (см. рисунок). Для группы с низким эксцентриситетом, эти авторы предположили, что они, вероятно, будут смесью звезд *in situ* (то есть генетически связанных с единым галактическим облаком), а также звезд из нескольких более мелких аккрецированных объектов, которые включают обломки Секвойи.

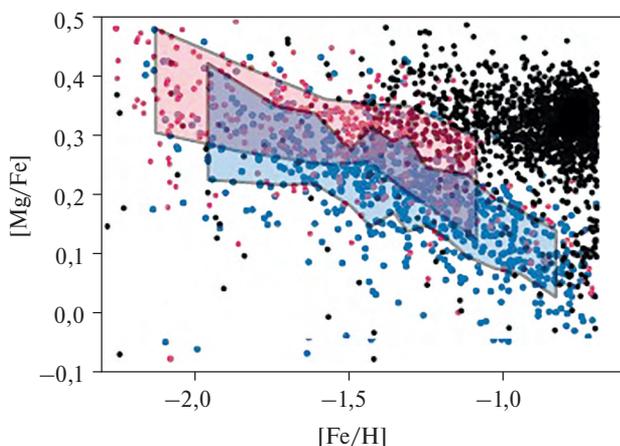
Рисунок демонстрирует более низкие относительные содержания магния в звездах с эксцентричными орбитами, а также изменение наклона этой полосы при $[Fe/H] = -1,3$. Эта особенность обусловлена началом обогащения железом с помощью SNe Ia. Величина $[Fe/H]$, при которой происходит изменение наклона, в первую очередь связана с эффективностью звездообразования и дополнительно зависит от скорости притока и оттока газа его ма-

теринской галактики. Отсюда следует, что она также должна быть функцией массы родительской галактики, которая регулирует плотность газа и приток/отток газа. В итоге, авторы оценили, что масса прародителя этой популяции с высоким эксцентриситетом была где-то между 10^8 и $10^9 M_{\odot}$.

ЗВЕЗДЫ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ОКРЕСТНОСТЯХ СОЛНЦА

Пятнадцать лет назад автор вместе со своей ученицей Татьяной Борковой на основе составленного нами сводного каталога спектроскопических определений содержаний железа и четырех альфа-элементов в близких звездах поля исследовали для них зависимости $[\alpha/Fe]$ от $[Fe/H]$. При этом все звезды мы разделили на две группы: генетически связанные с единым протогалактическим облаком и предположительно аккрецированные, выделив последние по полной остаточной скорости относительно локального цент-

Ход отношения $[Mg/Fe]$ в зависимости от $[Fe/H]$ для участка, отделенного на предыдущем рисунке вертикальной линией $[Fe/H] = -0,7$. Красной и синей полосами выделены построенные безуги средние для звездных популяций с высокими и низкими эксцентриситетами. Источник: Макрет и др., 2019



роида Солнца – $V_{\text{ост}} > 240$ км/с. Все эти звезды находятся на ретроградных орбитах, а это считается убедительным свидетельством в пользу их внегалактического происхождения. Более половины звезд составленного каталога, содержащего почти 900 звезд, можно увидеть даже в небольшой бинокль,

а часть из них даже простым глазом. То есть даже просто взглянув на небо невооруженным глазом можно увидеть на нем звезды, попавшие к нам из других галактик.

Пожалуй, наиболее ярким представителем внегалактических пришельцев можно назвать самую яркую звезду из созвездия Волопаса – Арктур. Эта звезда дала свое название одноименному потоку звезд, движущемуся относительно Солнца со скоростью 122 км/с. Хотя орбита Арктура не ретроградная, но высокая скорость и при солнечном возрасте значительно меньшее содержание в нем тяжелых элементов с высокой вероятностью свидетельствуют о его необычном происхождении. Другим ярким объектом является Омега Centavра – ярчайшее шаровое скопление Галактики, бывший центральный объект распавшейся карликовой галактики-спутника Секвойи, близкие звезды потока от которой выделены на последнем рисунке.

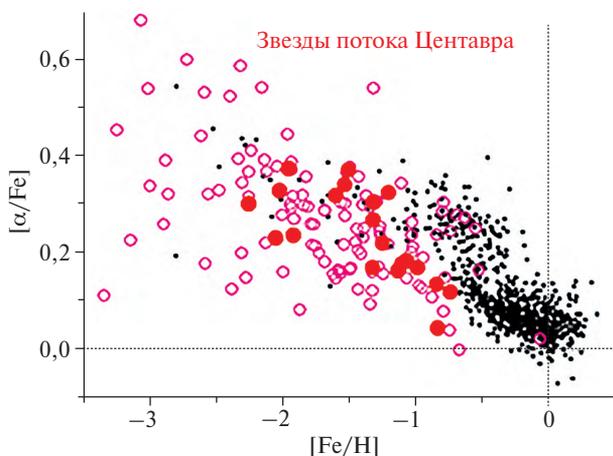
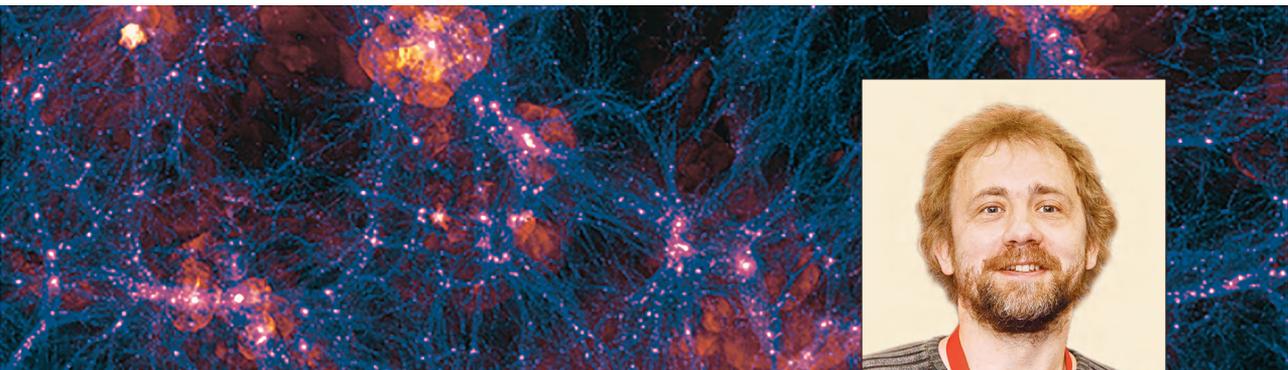


Диаграмма зависимости четырех усредненных содержаний альфа-элементов от металличности $[Mg, Ca, Si, Ti/Fe] - [Fe/H]$ для звезд нашего каталога. Черными точками обозначены генетически связанные звезды, красными кружками – предположительно аккрецированные, заполненными кружками – звезды потока Centavра. Звезды потока Centavра, как отмечено выше, попали к нам из разрушенной карликовой галактики Секвойи. Источник: Марсаков, Боркова, 2005

ГИГАНТСКИЕ РАДИОГАЛАКТИКИ — УНИКАЛЬНЫЕ ОБЪЕКТЫ ВСЕЛЕННОЙ



ВЕРХОДАНОВ Олег Васильевич,

доктор физико-математических наук

Специальная астрофизическая обсерватория РАН

DOI: 10.7868/50044394820020024

Среди большого класса объектов, наблюдаемых на небе с помощью радиотелескопов, радиогалактики являются, с одной стороны, одними из наиболее изученных, а с другой – одними из самых загадочных. Отличительное свойство этих объектов – их колоссальная мощность в радиодиапазоне электромагнитного спектра, которая объясняется процессами, идущими в ядре галактики.

Активность радиогалактики связывается с действием так называемой «центральной машины». В простейшем варианте центральной машиной является квазар, содержащий сверхмассивную (до 10^9 – 10^{10} солнечных масс) черную дыру и аккреционный диск из обращающегося и падающего на нее разогретого газа. Из ядра галактики истекают коллимированные струи (джеты) ионизованного вещества, имеющие скорость до 30% от световой. Струи перпендикулярны плоскости аккреционного диска. Джеты сталкиваются с окружающей средой, образуя протяженные радиоизлучающие компоненты, в которых наблюдаются

горячие пятна с крутым радиоспектром, описываемым синхротронным механизмом излучения.

Одной из главных наблюдательных особенностей радиогалактик является возможность увидеть их радиоизлучение уже в момент «зажигания» радиоисточника. Самые далекие радиогалактики, а значит и первые среди известных нам, появились, когда возраст Вселенной был всего 1,3 млрд лет, т.е. на красных смещениях больше $z = 4,5$. Красное смещение (сдвиг спектра излучения в красную сторону) характеризует скорость удаления от нас наблюдаемого объекта, а также позволяет в рамках космологической модели

измерять возраст Вселенной, когда излучение было испущено. Возможность наблюдать радиогалактики в раннем для Вселенной возрасте (например, при $t < 2$ млрд лет) и прямая их связь со скоплениями галактик делают радиогалактики важными объектами поиска

и исследований в астрофизике и космологии. Для того, чтобы радиоисточник «загорелся», необходимо наличие как газа, так и сверхмассивной черной дыры. Источником газа в «спокойной» эллиптической галактике может стать другая галактика, ранее «съеденная» родительской галактикой, иными словами, испытавшая слияние (мерджинг). Процесс слияния галактик в основном происходит там, где их плотность повышена – в скоплениях галактик. Самые массивные галактики скоплений – гигантские эллиптические галактики – чаще других испытывали слияния, и чаще других являются мощными радиоисточниками, особенно в ранние эпохи. В стандартных схемах эволюции галактик мерджинг обеспечивает как быстрый рост самой галактики, так и рост ее центральной черной дыры.

Мощность радиогалактик и их связь со скоплениями вещества позволяет использовать их как «пробные частицы» при исследовании свойств Вселенной (об этом более подробно можно почитать в статье автора «Радиогалактики рассказывают о Вселенной»). Одним из способов анализа динамики расширения Вселенной является тест «стандартная линейка». Заключается он в следующем: если мы знаем физический размер объектов на различных красных смещениях, то их угловой

размер может помочь оценить расстояние до них. И по данным на разных красных смещениях оценить динамику расширения Вселенной и измерить космологические параметры. У радиогалактик, являющихся эволюционирующими радиоисточниками, в каче-

Мощность радиогалактик и их связь со скоплениями вещества позволяет использовать их как «пробные частицы» при исследовании свойств Вселенной (об этом более подробно можно почитать в статье автора «Радиогалактики рассказывают о Вселенной»). Одним из способов анализа динамики расширения Вселенной является тест «стандартная линейка».

стве «стандартной линейки» можно использовать две предельных величины: (1) минимальный размер – диаметр ядра радиогалактики, определяемый в конечном итоге массой и, соответственно, размером сверхмассивной черной дыры; (2) максимальный размер, определяемый скоростью и временем разлета струй из ядра галактики. В первом случае для оценки размера аккреционного диска необходимо использовать радиоинтерферометры со сверхдлинными база-

ми для построения выборки объектов. Вторая возможность позволяет применить результаты уже проведенных обзоров и определить космологические параметры по физическому размеру струй – максимальному размеру радиоисточников, т.е. расстоянию между горячими пятнами в протяженных компонентах. У разных радиогалактик разный размер. Типичный линейный размер радиогалактик – от десятков до сотен килопарсек (1 пк = 3,26 светового года). Чтобы в случае максимального размера применить тест «стандартная линейка», нужно знать общие эволюционные свойства радиогалактики: скорость движения струй, типичные время активности и размер радиоисточника в выбранную эпоху и другие. После чего можно оценить средний размер радиогалактики в популяции этих объектов и применить «стандартную

линейку», изменяющуюся с космологическим временем по известному закону. Такая работа была проделана группой Рут Дэйли (США) в 2000 г. и подтвердила присутствие темной энергии, как одного из компонентов плотности.

Однако изучение выборок объектов одной популяции, построение общей теории генерирования их излучения, использование их для исследования Вселенной возможно тогда, когда наблюдаемые физические параметры близки. Оказалось, что для радиогалактик это не совсем так.

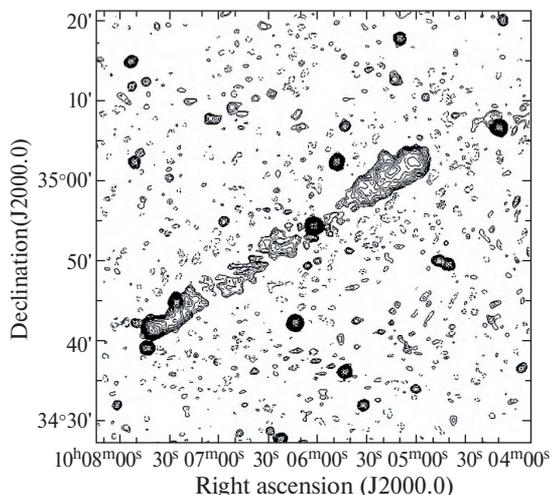
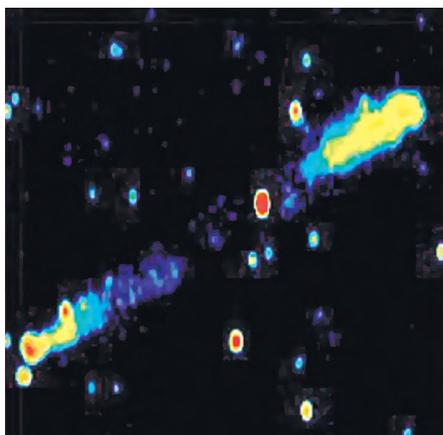
Интересный факт при исследовании объектов этого класса открылся в 1970-х годах. Было обнаружено, что среди радиогалактик встречаются гигантские радиоисточники, чей размер превосходит 1 Мпк (~3,26 млн световых лет). Типичные примеры подобных объектов – 3C236, NGC315 и NGC6251. Чтобы представить, о каких размерах идет речь, вспомним, что размер диска нашей Галактики – ~31 кпк (~100000 св. лет), а типичный размер скопления галактик – от 2 до 10 Мпк. Сразу стало понятно, что появление таких объектов не может быть связано с выбросами плазменных сгустков из ядра с помощью гравитационной рогатки. Перед тем, как разбираться, что же происходит в этих радиоисточниках, посмотрим внимательнее на первые открытые гигантские радиогалактики.

ТИПИЧНЫЕ ГИГАНТСКИЕ РАДИОГАЛАКТИКИ

Первая открытая гигантская радиогалактика (ГРГ) – радиоисточник в созвездии Малого Льва из Третьего Кембриджского каталога 3C236, описанная в статье Уиллиса и Строма в 1974 г. – радиогалактика класса FR II. Класс II по классификации Фанароффа и Рай-

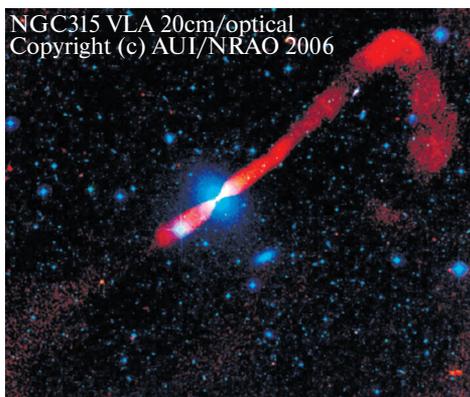
ли, предложенной в 1974 г., содержит объекты с двумя протяженными радиокомпонентами, имеющими растущее распределение яркости от центра источника к краям, а класс FR I – распределение яркости, спадающее к краям. 3C236 – одна из самых известных до настоящего времени протяженных радиогалактик. По данным Вестерборкского радиотелескопа WSRT угловой размер этого радиоисточника $A = 38$ мин дуги. Ему соответствует линейный размер ее структуры – $L = 3,88$ Мпк = ~12 млн св. лет, которая наблюдается в радиодиапазоне. Здесь и далее вычисление линейного размера проведено в стандартной космологической модели Λ CDM. Эта модель определяется следующими космологическими параметрами: постоянная Хаббла $H_0 = 68$ км/с/Мпк, плотность темной энергии $W_L = 0,69$, плотность материи $W_m = 0,31$ по данным космической миссии *Planck*. В настоящее время эта радиогалактика – вторая по линейным размерам после галактики J1420–0545 среди известных ГРГ. Согласно результатам работы Махальски и коллег линейный размер J1420–054 L = 4,83 Мпк ($A = 17,4'$). Родительской галактикой 3C236 является эллиптическая галактика с видимой звездной величиной 16,4^m и красным смещением $z = 0,0885$. Радиогалактика 3C236 имеет морфологическую особенность – тип «двойная-двойная» (double-double), а в центре объекта расположен компактный радиоисточник размером ~2 кпк с крутым непрерывным радиоспектром. Недавняя вспышка звездообразования, наблюдаемая возле ядра, может говорить о новой начинающейся активности и повторном «зажигании» радиоисточника.

NGC315 – гигантский радиоисточник с необычной структурой в форме буквы Z, описанный еще в 1976 г. Бридлом и коллегами. Структура протянулась



Радиоизображение 3C236, второй по размерам гигантской радиогалактики. Слева: цветное изображение, справа: линии одинаковой радиояркости – радиоизофоты в экваториальной системе координат. Карта построена по данным обзоров NVSS и WSRT, по данным Мака и др., 1996

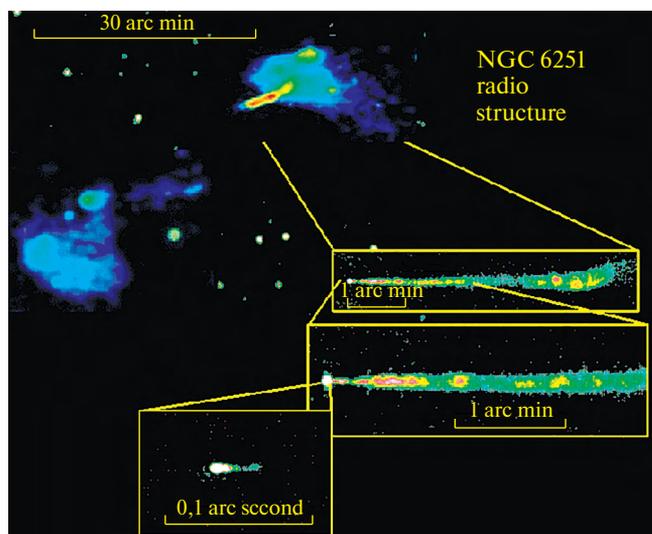
Изображение радиогалактики NGC315 с радиоджетом, построенное на радиоинтерферометре VLA на длине волны 20 см с разрешением 5,5" (показано красным). Карта наложена на соответствующее по координатам изображение цифрового оптического обзора неба DSS (показано синим). В центре: родительская эллиптическая галактика NGC315 со зв. величиной 11,2^m. По данным Канвин и др., 2005



почти на 1 градус (в линейном размере – на 1,7 Мпк) в созвездии Рыбы и связана с близлежащей эллиптической галактикой NGC315 на красном смещении $z = 0,015$. Ее видимая звездная величина – 11,2^m. Источник выровнен вдоль малой оси галактики. В центре находится яркий компактный объект размером менее 48 пк. Необычная морфология радиогалактики может быть объяснена в рамках модели источника с вращаю-

щейся струей. Важный наблюдательный факт состоит в существовании окружения из галактик вокруг NGC315: в окрестности радиогалактики обнаружена группа из 25 галактик с таким же красным смещением, причем 10 из них (40%) сконцентрированы возле более яркого джета радиоисточника.

NGC6251 – гигантская эллиптическая галактика с видимой звездной величиной 14,3^m в созвездии Малой



Радиоизображение NGC6251. Крупнейшие структуры – результаты наблюдений на Вестерборкском радиотелескопе (WSRT) в Голландии на длине волн 49 см (612 МГц). Размер самой большой структуры – почти 1 градус: 56 минут дуги с запада на восток. Более мелкие детали построены по наблюдательным данным радиointерферометра VLA (США). Уменьшение длины волны до 20 см на VLA позволяет приблизиться к ядру галактики и увидеть длинный, узкий, необычно прямой джет, подпитывающий северный радиокомпонент. Внутренняя часть ядра показана с разрешением 3 миллисекунды дуги (0,003"), полученным на радиointерферометре со сверхбольшими базами VLBI. На изображении видно, как яркие пятна (узлы) движутся наружу в том же направлении. На карте WSRT также виден противоположный джет, слабость которого по отношению к первому связана с релятивистским движением струи: более яркий усилен при приближении к нам, а более слабый – удаляется. Источник: Мак, Клейн, О'Ди и Уиллис, 1997

Медведицы. Радиоизлучение от нее было открыто тоже в 1977 г. и описано в статье Уэггета и др. Галактика является родительским объектом для гигантского радиоисточника с угловым размером 65,7' по данным радиотелескопа WSRT. Это соответствует линейному размеру 1,97 Мпк на красном смещении галактики $z = 0,02471$. Родительская галактика имеет спектр, соответствующий особому классу сейфертовских галактик второго типа.

Тип определяется активным ядром с узкими разрешенными и запрещенными линиями. Радиогалактика морфологически выглядит как класс FR I/II с S-подобной формой – промежуточным типом между FRI и FRII. Любопытно, что радиоисточник, связанный с NGC6251, был пропущен в первых радиообзорах неба (например, в Третьем Кембриджском обзоре), потому что его радиоизлучение сильно «размазано» на небе, и это помешало выделить его как единый объект. В окрестности NGC6251 обнаружено множество других точечных радиоисточников.

Яркая особенность этой радиогалактики – мощное радиоизлучение от выходящей струи, которое позволило исследовать ее с различным угловым разрешением. Среди важных уроков, который нам преподнесли гигантские радиогалактики, можно назвать тот факт, что центральная машина

продолжает выбрасывать (инжектировать) вещество почти в одном и том же направлении несколько миллионов лет. Об этом говорят результаты наблюдений: существование крошечных, порядка парсека, джетов в околоядерных областях, которые имеют то же направление, что и протяженные структуры. Отметим, что такие структуры могут протянуться на несколько миллионов световых лет. Радиогалактика NGC6251 – отличный тому пример.

ИССЛЕДОВАНИЯ И ЗАГАДКИ

С 70-х гг. прошлого века начались детальные исследования каждой обнаруженной гигантской радиогалактики. Большая проблема при изучении ГРГ – их малая численность – не более 180, и поэтому систематическое исследование этой популяции затруднено. Задача усложняется еще и тем, что известные ГРГ не представляют собой однородную выборку. Это объекты разных классов: FR I, FR II и смешанного типа. Кроме того, они не являются очень мощными радиоисточниками, а их излучение «размазано» по весьма протяженной области. Последний факт делает поиск ГРГ затруднительным, и требует учета мешающих селекционных эффектов. Последние связаны, например, с частотой наблюдения, когда из-за различия спектрального индекса радиоизлучения в компонентах источника его размер и наблюдаемые области – разные на разных частотах.

Важно отметить, что, кроме своего размера, ГРГ фундаментально не отличаются от обычных радиогалактик в плане оптического отождествления и механизмов генерирования излучения. Но их огромные размеры, сравнимые с размерами скоплений галактик, привлекают к ним внимание уже более 30 лет. ГРГ – самые большие объекты видимой Вселенной с одним основным источником энергии, в отличие, например, от скоплений галактик, которые связаны общим гравитационным полем, но вклад в излучение каждая галактика дает отдельно. В принципе, как отмечалось в работе Марека Ямрозы и коллег, такие радиогалактики могут влиять на процессы формирования галактик, т.к. давление истекающего газа радиоисточника может сжать холодные газовые облака и инициировать развитие звезд, с одной стороны,

а также остановить формирование галактики – с другой.

Исследования ГРГ идут по разным направлениям. Одно из них – выяснение причин их гигантских размеров. Такие размеры объясняют малой плотностью окружающей межзвездной среды и долгой жизнью радиоисточника или огромной скоростью разлета струй. Другое направление включает поиск новых ГРГ для увеличения выборки и изучения физических и эволюционных свойств популяции ГРГ в целом.

Тем не менее первые открытые ГРГ, как наиболее мощные представители своего класса, продолжают привлекать большое внимание астрономов. Эти объекты исследуются с различным разрешением на радиоинтерферометрах. Один из недавних результатов – построение радиокарт с хорошим угловым разрешением и выделение деталей структуры радиогалактик. Многочастотные наблюдения позволили не только картографировать распределение радиоизлучения на различных частотах, но и получить карту соотношения распределения энергии в спектре – спектрального индекса – для отдельных участков ГРГ. На рисунке приведены карты спектрального индекса для гигантских радиогалактик 3C 236 и NGC6251, полученные на низкочастотном радиоинтерферометре LOFAR и опубликованные в статье Шулевски в 2015 г.

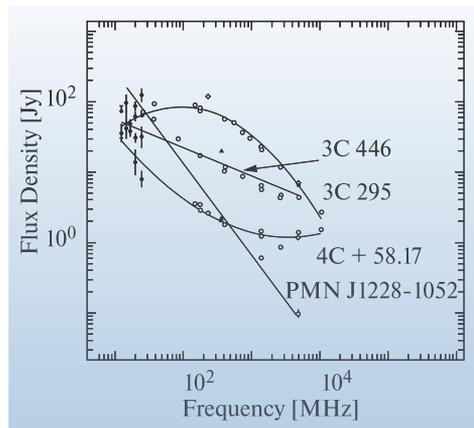
Важным физическим свойством источника излучения является его *спектр*, представляющий собой зависимость энергии его излучения (а также поглощения) от частоты. В качестве характеристики распределения энергии в спектре используется *спектральный индекс*, вычисляемый как тангенс угла наклона касательной к кривой спектра на данной частоте. У внегалактических радиоисточников в непрерывном спектре наблюдается нетепло-

вое (синхротронное) излучение. Синхротронное излучение формируется у электронов, движущихся с релятивистскими скоростями в магнитном поле по спиральной траектории, наматывающейся на силовую линию поля. При синхротронном излучении плотность потока падает с ростом частоты, начиная с некоторого значения плотности потока. Спектры большинства радиоисточников могут быть представлены стандартным степенным законом (линейным спектром). Эта зависимость в логарифмическом масштабе (по оси абсцисс – логарифм частоты: $X = \lg \nu$, по оси ординат – логарифм плотности потока $Y = \lg S$) описывается прямой линией $Y = A + aX$, где a – спектральный индекс. Если спектр возрастает, то он называется инверсионным. Если спектральный индекс лежит в области $-0,5 < a < 0$, спектр называют плоским, а при $a < -0,75$ – крутым. Спектр может отличаться от прямой либо по причине различных механизмов поглощения, либо из-за сложной структуры источника, когда разные компоненты дают разный вклад в спектр, либо из-за путаницы с другими источниками. Кроме того, наклон спектра может меняться со временем, как это происходит у переменных радиоисточников.

Карта спектрального индекса a_{144}^{325} , рассчитанного по измерениям плотности потока на частотах 144 и 325 МГц, для радиогалактики NGC6251 вычислена как тангенс угла наклона аппроксимационной прямой, построенной по двум частотным измерениям в логарифмическом масштабе в каждом элементе изображения. Она демонстрирует вариации спектрального индекса от пиксела к пикселу. Самый плоский спектр имеют пиксели с уровнем выше 3σ от вариации карты. Они видны на изображении джета, наблюдаемом как вытянутая струеподобная структура, и изображении максимумов, отме-

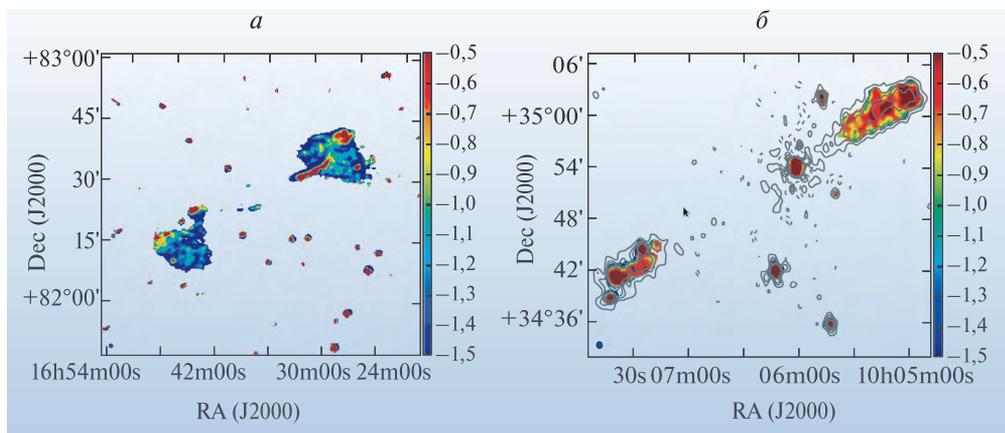
ченных красными («горячими») пятнами. На представленной карте имеется брешь между джетом и «горячим» пятном в северо-западном компоненте, которая указывает на перерыв в активности ядра галактики и, следовательно, на ее возобновление. Спектр в компонентах радиогалактики более крутой, с малыми вариациями, и показывает области на карте, различие в энергии которых соответствует различным энергиям частиц, вызванным вариациями напряженности магнитного поля.

Карта спектрального индекса a_{144}^{609} радиогалактики 3C326 показывает, что в средних областях протяженных компонент спектральный индекс соответствует молодой, более энергичной популяции частиц, которая не успела «выгореть» при синхротронном излучении. Последняя может быть связана с вновь «зажегшимся» активным ядром, которое наблюдается как компактный радиоисточник с крутым спектром. Вообще, наличие крутого спектра указывает на то, что либо радиокомпоненты все еще пополняются энергией плазмы, выброшенной активным ядром галактики в конце предыдущей эпохи актив-



Примеры непрерывных спектров внегалактических радиоисточников.

Источник: Верховданов О.В., Парийский Ю.Н., Радиогалактики и космология, М., 2009

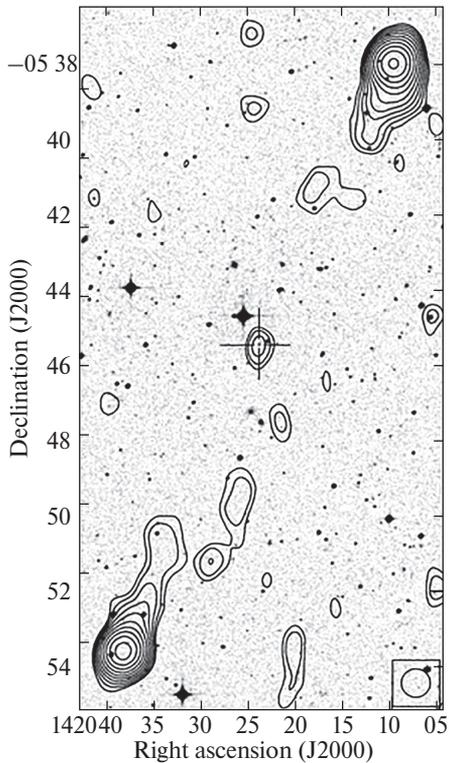


Карты распределения спектральных индексов для двух гигантских радиогалактик NGC6251 и 3C236. Слева: карта спектрального индекса α_{144}^{325} , рассчитанного по данным на двух частотах 144 и 325 МГц для радиогалактики NGC6251 по данным радиointерферометров LOFAR и WENSS. Справа: карта распределения спектрального индекса α_{144}^{609} для радиогалактики 3C236. Наложённые контуры изображения LOFAR построены на частоте 144 МГц по уровням (-3, 3, 6, 9, 15) с плотности потока. Воспроизведено из работы А. Шулевски, гл. 7: LOFAR first look at NGC6251 and 3C236 / AGN relics in the radio sky, Rijksuniversiteit Groningen, 2015

ности, либо частицы ускорились прямо в протяженных компонентах (например, во внутренней северо-восточной области). Распад компонент на куски (фрагментация) может говорить о прерванной и вновь возобновленной активности ядра, причем прерывание не было слишком долгим. Возраст радиоисточника (но не родительской галактики) 3C236 можно вычислить по физическим параметрам низкоэнергичных частиц, очерчивающих кокон с протяженными компонентами. Среди этих параметров – распределение спектрального индекса, напряженность магнитного поля, частота излома радиоспектра. Полученные оценки Шулевски дают величину порядка 100 млн лет. Отметим, что существует возможное объяснение фрагментации: дополнительный перенос энергии с помощью джетов мог прерываться на несколько миллионов лет из-за разрушения джета или столкновения с облаком материи возле ядра. Стоит также упомянуть, что наблюдения на радиointерферометре LOFAR на час-

тоте 144 МГц позволили увидеть джеты, соединяющие протяженные компоненты с ядром галактики, у обеих радиогалактик: NGC6251 и 3C326.

Самая большая из известных радиогалактик – J1420–0545, о которой можно почитать в работе Соловьёва и Верхованова 2014 г. Объект имеет красное смещение $z = 0,3067$ и размер $L = 4,83$ Мпк ($A = 17,4'$). Оптический спектр J1420–0545 типичен для эллиптических галактик и содержит континуум и абсорбционные линии H и K. Радиоисточник находится в окружении с очень низкой плотностью межгалактической среды и имеет высокую скорость расширения вдоль оси джета (0,21 скорости света). Радиогалактика J1420–0545 имеет меньшую радиосветимость ($\sim 4 \cdot 10^{45}$ эрг/сек), чем радиогалактики стандартных размеров. Мощность джета слабее, чем у обычных галактик, почти в 100 раз. Если оценивать эволюции радиосветимости галактик с ростом размера, то можно ожидать, что J1420–0545 должна иметь та-



Контурная карта гигантской радиогалактики J1420-0545, построенная по результатам наблюдений на радиотелескопах VLA и Эффельсбергском на частоте 1.4 ГГц и наложенная на изображение соответствующего поля оптического обзора DSS. Контурные линии – логарифмические с шагом 1,414. Первый контур – на уровне 1 мЯн на диаграмму направленности радиотелескопа. Воспроизведено из работы Марека Ямрози и др., 2005

кую же светимость, как обычная радиогалактика при размере 300 кпк.

Наблюдения на гигантском радиотелескопе метрового диапазона (GMRT, Индия) показали, что радиогалактика имеет структуру в виде двух вытянутых радиокомпонент без внешнего кокона. По всей видимости, J1420-0545 является нетипичным представителем ГРГ, что может быть связано с очень низкой плотностью окружающей материи.

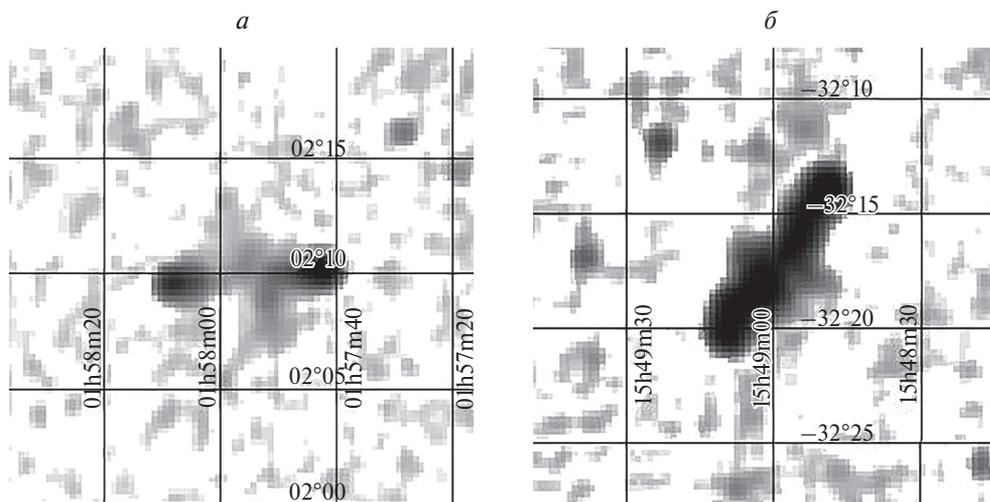
Малость выборки известных ГРГ и доступ к архивным данным крупнейших обзоров неба на радиотелескопах вдохновляют на создание алгоритмов поиска новых ГРГ на основе формы радиоисточников. Проблемой происхождения ГРГ, а также физических процессов, идущих в этих радиоисточниках, занимаются несколько групп.

Наша группа предложила схему поиска ГРГ. Поиск кандидатов в ГРГ проводился с помощью специально разработанной автоматической процедуры. Ее задача заключалась в селекции источников сравнительно большого размера ($>4'$) из наиболее полного по покрытию неба и чувствительности каталога обзора NVSS. Поиск проводился среди источников, классифицированных в списках NVSS как несколько (два или более) независимых объектов. Алгоритм основан на анализе углового расстояния между центрами этих объектов, размерами больших осей кандидатов в компоненты радиоисточника и углом ($<10^\circ$) между направлениями больших осей проверяемой пары объектов. Были отобраны сравнительно слабые по интегральной плотности потока компоненты искомого объекта ($S < 100$ мЯн), которые не включены в каталоги ГРГ других авторов. Мы не задавали ограничение на линейный размер радиоисточников, а использовали только угловой размер. Размер $4'$ был выбран случайно. Он определен как величина чуть меньшая, чем разрешение космической миссии *Planck* с целью селекции объектов для исследования на миллиметровых картах. Из первичного каталога объектов, составленного по результатам выполнения предложенной процедуры и содержащего 26 источников типа FR I и 35 источников типа FR II, отобраны 16 слабых радиогалактик – кандидатов в гигантские радиогалактики.

Интересно, что среди отобранных кандидатов в ГРГ найдены объекты с необычной морфологией. Надо отметить, что класс радиогалактик морфологически и, по-видимому, физически представляет собой объединение радиоизлучающих галактик. Причем эти галактики находятся на различных этапах эволюции с различной степенью взаимодействия с окружающими объектами и газом. Среди этого класса можно выделить несколько сравнительно редко встречающихся типов объектов, увеличение выборок которых требуется для исследования свойств популяции. Это не только гигантские радиогалактики, но и радиоисточники с S-формой и с X-формой, радиогалактики с избытком субмиллиметрового излучения, гравитационные линзы и др. В рамках проекта по расширению списка гигантских радиогалактик на основе данных NVSS Д.И. Соловьев и О.В. Верходанов обнаружили 8 радиоисточников с признаками взаимодействующих галактик. Объекты имеют нетривиальную структуру в радиодиапазоне: S- или X-подобную форму, при-

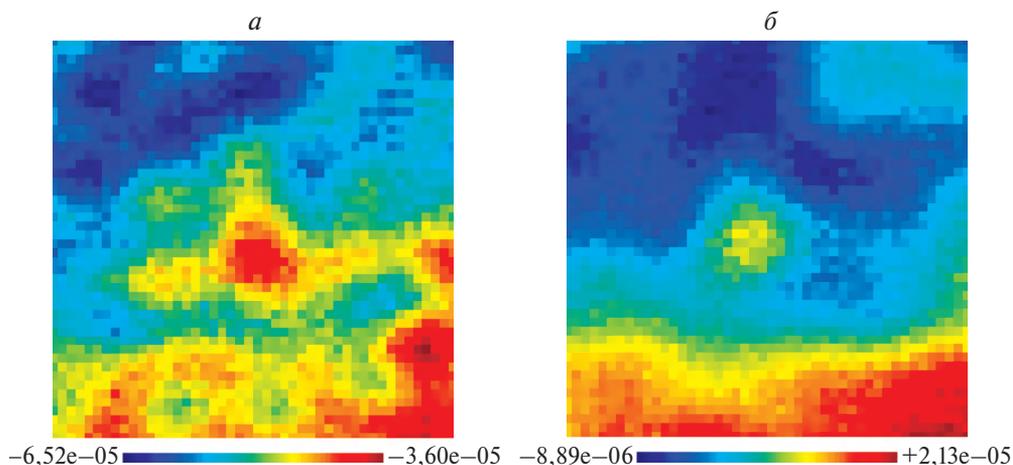
сущую источникам на заключительной стадии слияния радиогалактик.

Радиогалактики с X-формой имеют особый статус среди активных объектов в процессе слияния. У таких объектов распределение радиояркости в протяженных компонентах не выровнено вдоль одной оси, а представляет собой пары джетов, расположенных под сравнительно большим углом друг к другу. Число известных источников этого морфологического типа – порядка 150. Несмотря на сложность формы радиоисточника, такие радиогалактики в основном классифицируются как радиоисточники типа FR II и отождествляются с гигантскими эллиптическими галактиками. X-РГ имеют, как правило, две пары протяженных компонент, далеко разнесенных друг от друга. В этих парах выделяют активные компоненты с высокой поверхностной яркостью и так называемые «крылья» с более низкой поверхностной яркостью, которые продуцируются излучением плазмы, выбрасываемой вдоль оси другого джета, не совпадающего с основным. Крылья, по данным наблюдений, часто



Изображения радиогалактики с X-морфологией в обзоре NVSS на частоте 1,4 ГГц.

Слева: кандидат в ГРГ – объект J015756.3+020950. Справа: подтвержденный ГРГ – J154901.7–321747. Из работы Д.И. Соловьева и О.В. Верходанова, 2014



Осредненное изображение областей вокруг 86 гигантских радиогалактик, вырезанных из карт распределения микроволнового излучения, построенных по данным космической миссии *Planck*. Слева: средняя карта на частоте 100 ГГц. Справа: средняя карта по данным очищенного от фоновых компонент космического микроволнового излучения.

Источник: Верхованов, Соловьев, Уляхович, Хабибуллина, 2016

имеют бóльшую величину спектрального индекса и высокую степень поляризации. Лихи и Парма в 1992 г. предположили, что крылья создаются при ранней вспышке обновленной активности ядра, когда ось джета прецессирует. Они таким образом объясняют низкую поверхностную яркость крыльев, их крутой радиоспектр и высокую степень поляризации. Одна из наиболее популярных современных интерпретаций природы радиогалактик с X-формой (X-РГ), предложенная Меритом и Екерсом в 2002 г. – взаимодействие и слияние двух сверхмассивных черных дыр (СМЧД), которое приводит к быстрому (за $<10^7$ лет) изменению наклона оси вращения центрального объекта и, как следствие, направления выброса джета. В этой модели вторая ЧД имеет меньшую массу и проходит около большей в центре радиогалактики при слиянии галактик. В результате формируется двойная система черных дыр, излучающая гравитационные волны. При объе-

динении объектов и поглощении орбитального момента меньшего объекта направление оси вращения большей ЧД стремительно меняется. Соответственно меняется и направление выбрасываемых джетов, перпендикулярных оси вращения аккреционного диска, в свою очередь, перпендикулярного оси вращения ЧД. Таким образом, среди малочисленного класса РГ и кандидатов в эти источники имеются объекты, демонстрирующие различные стадии слияния.

Есть еще один интересный момент. Гигантские радиогалактики, кроме радиоизлучения в протяженных компонентах, джете и ядре и оптического излучения родительской галактики, имеют слабое микроволновое излучение, которое удастся увидеть на картах космической миссии *Planck*. Оно регистрируется на общем осредненном снимке.

Это излучение по своему спектру, растущему с частотой, соответствует излучению пыли. Слабый объект в области РГ наблюдается не только на частот-

ных картах миссии *Planck*, но и на карте реликтового излучения после удаления галактического фона и точечных радиоисточников, внося дополнительное загрязнение на малых масштабах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резюмируя различные работы по теме происхождения гигантских радиогалактик, можно сделать несколько выводов. У исследователей нет единого мнения о причинах огромных размеров гигантских радиогалактик. По-видимому, есть несколько причин происхождения таких объектов. Сами ГРГ могут иметь сложную морфологию и принадлежать к разным классам радиоисточников: FR I, FR II или промежуточного типа. Кроме того, среди гигантских радиоисточников имеются объекты типа «двойной-двойной», у которых вдоль джетов наблюдаются по две пары пятен, как если бы они испытали активность второй раз. Причем струи распространялись в том же направлении, что и в период предыдущей активности. Наряду с «двойными-двойными» радиогалактиками среди ГРГ встречаются и X-радиогалактики, у которых, по-видимому, повторяющаяся активность приводит к выбросу джетов под большим углом к предыдущему направлению струй.

Большие размеры ГРГ предполагают, что эти источники должны находиться на последней стадии эволюции, так как должно было пройти время на расширение их до соответствующего размера. А больших размеров, чем ГРГ, у радиогалактик другого типа мы не наблюдаем. Стандартные модели радиоисточников, как, например, предложенная Бланделлом и его коллегами, предполагают изменение их радиосветимости и линейных размеров со временем. Согласно этим моделям, ГРГ должны быть очень старыми объектами (с возрас-

том $>10^8$ лет) и предположительно находиться в среде с пониженной плотностью по сравнению с источниками меньшего размера, но сравнимой радиосветимости. Комберг и Пашенко, проанализировав радио и оптические данные (SDSS, APM) для радиогалактик и квазаров, заключают, что, кроме влияния окружения, размер гигантского радиоисточника может объясняться наличием популяции долгоживущих радиогромких активных ядер, которые, в свою очередь, могут проэволюционировать до ГРГ. Многочастотные наблюдения, описанные в работе Мака и коллег в 1998 г., показали, что спектральный возраст ГРГ больше, чем ожидаемый из эволюционных моделей. По данным наших многочастотных наблюдений, в том числе и на РАТАН-600 в САО РАН, и анализу карт ГРГ и непрерывных радиоспектров можно заключить, что изменение спектрального индекса у гигантских радиогалактик в зависимости от выноса из центра галактики связано с изменением энергии частиц в компонентах, которое, в свою очередь, вызвано изменением давления обтекающего газа, т.е. обусловлено изменением окружающей среды в зависимости от расстояния до родительской галактики.

Наличие миллиметрового и субмиллиметрового излучения, приходящего от ГРГ и их родительских галактик, создает еще одну интригу в космологических исследованиях. Как показали Колафранческо и Маркеджиани, энергичные электроны, производимые в результате активных процессов в ядрах ГРГ и доставляемые в окружающую среду джетами, могут менять энергию фотонов реликтового излучения с помощью эффекта Сюняева-Зельдовича при обратном Комптоновском рассеянии. Как, например, происходит при взаимодействии фотонов с электронами в скоплениях галактик. В результате

образуется минимум излучения на карте реликтового фона в направлении на ГРГ на частотах от 70 до 143 ГГц и максимум в диапазоне от 353 до 545 ГГц. С другой стороны, мы наблюдаем излучение пыли в радиогалактиках, которое проявляется как источник микроволнового излучения. Эти эффекты создают сложную картину на картах микроволнового диапазона, в которых, как ожидалось, минимизирован загрязняющий вклад фоновых компонент. А как видно из анализа данных, невычищенные объекты присутствуют в сигнале космического микроволнового фонового излучения миссии *Planck*.

Много нерешенных задач еще есть и в физике радиогалактик с нормальными

размерами. Однако гигантские радиогалактики добавляют новые вопросы, связанные и со стабильностью джетов на расстояниях до нескольких миллионов световых лет, и с магнитными полями, и с историей активности галактик, и с физикой межзвездной среды. Нерешенные вопросы остаются. И поэтому интерес исследователей к гигантским радиогалактикам не ослабевает.

Литература

О.В. Верходанов. Радиогалактики рассказывают о Вселенной / Сборник научно-популярных статей – победителей конкурса РФФИ 2012 года. Вып. 16. Физика и астрономия. – М.: Молнет, 2013. – с. 70. http://www.rfbr.ru/rffi/ru/popular_science_articles/o_1893890

Информация

Solar Orbiter: к самой ближней звезде

10 февраля 2020 г. с космодрома на мысе Канаверал во Флориде, США, был осуществлен успешный пуск ракеты-носителя Atlas-5/411 (AV-087) с американо-европейской солнечной обсерваторией *Solar Orbiter*. Миссия станет пятым космическим аппаратом программы «Жизнь со звездой» [SoLO, LWS-5 (Living With a Star mission-5)].

Solar Orbiter – совместный проект NASA и Европейского космического агентства. Его главная задача – наблюдения и измерения параметров солнечной плазмы с очень близких расстояний. В ходе своей работы зонд должен будет приблизиться к Солнцу на расстояние в 42 млн км (примерно 0,28 а.е.) в октябре 2022 г. Комплекс научной аппаратуры включает 10 приборов. Миссия зонда рассчитана на семь лет. В своей работе *Solar Orbiter* будет координироваться с запущенным в 2018 г. зондом *Parker Solar Probe* (NASA).



Аппарата Solar Orbiter на фоне Солнца.
Рисунок ESA/ATG medialab

По материалам ESA

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



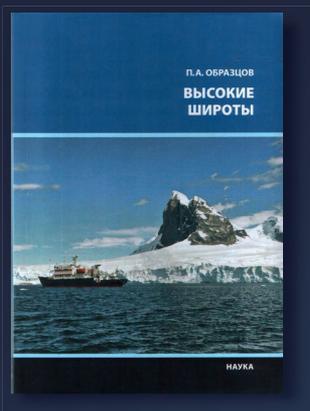
Капанадзе А.Л.

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

М.: Наука, 2019. - 319 с.

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

Для широкого круга читателей.



Образцов П.А.

Высокие широты.

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

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

Для широкого круга читателей.



Верещагин Г.В., Аксенов А.Г.

Релятивистская кинетическая теория с приложениями в астрофизике и космологии.

М.: Наука, 2018. – 471 с.

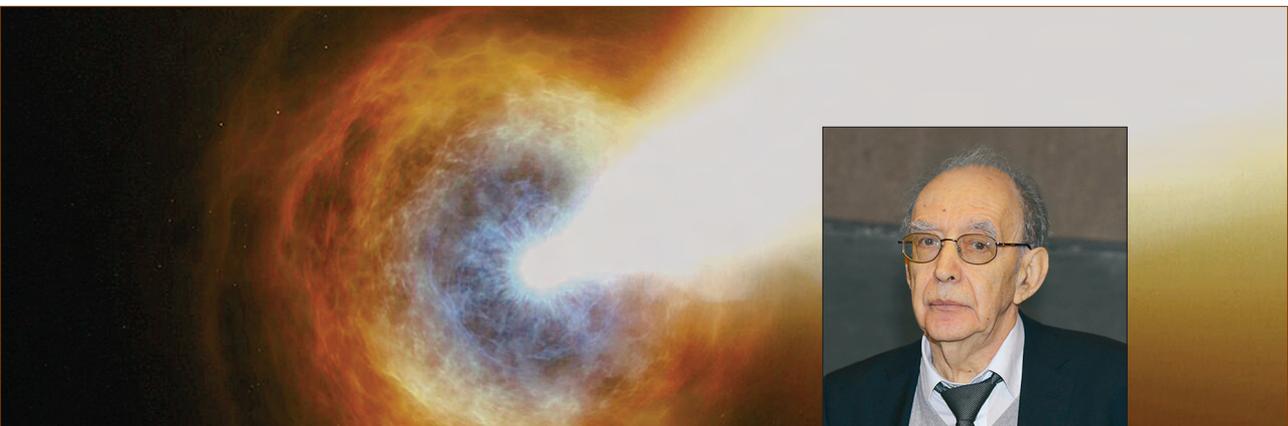
Релятивистская кинетика широко применяется в астрофизике и космологии. В последние годы интерес к этой теории вырос, поскольку появилась возможность ставить эксперименты при таких условиях, где релятивистские эффекты становятся существенными. Настоящая монография состоит из трех частей. В первой части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

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

naukabooks.ru

Реклама

КОЛЛЕКЦИЯ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ ГЛУБИНОЙ В ЧЕТВЕРТЬ ВЕКА. КАКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИНЕС ЭКСПЕРИМЕНТ КОНУС-ВИНД



АПТЕКАРЬ Рафаил Львович,

кандидат физико-математических наук

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

DOI: 10.7868/50044394820020036

В ноябре 2019 года исполнилось двадцать пять лет с момента начала работы российского научного прибора «Конус» на космическом аппарате «Винд» (Wind, NASA). Сегодня это самый длительный российский научный эксперимент в космосе.

Аппаратура эксперимента была разработана сотрудниками Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе для наблюдения космических гамма-всплесков и солнечных вспышек и установлена на американском спутнике «Винд», предназначенном для мониторинга параметров солнечного ветра. «Винд» был запущен 1 ноября 1994 г. и успешно работает сегодня.

С помощью прибора «Конус» за два с половиной десятилетия были зарегистрированы тысячи космических гамма-всплесков и сотни вспышек на нейтронных звездах со сверхсильными магнитными полями (магнетарах), что позволило уточнить представления об

источниках мощнейших потоков гамма-излучения во Вселенной. По наблюдениям «Конуса» удалось проследить вспыхивающую активность Солнца на протяжении двух полных 11-летних циклов, что позволило проанализировать взрывные процессы выделения энергии на ближайшей к нам звезде.

Эксперимент КОНУС-ВИНД продолжается, и сегодня он вошел в число «инструментов» новой многоканальной астрономии, начало которой принято отсчитывать от первого совместного детектирования гравитационно-волнового и гамма-излучения от слияния нейтронных звезд в августе 2017 г.

ГАММА-ВСПЛЕСКИ: НАЧАЛО

Космические гамма-всплески (gamma-ray bursts, GRBs) – импульсные потоки гамма-излучения с энергией квантов от нескольких килоэлектрон-вольт до десятков мегаэлектрон-вольт (кэВ и МэВ соответственно, энергия этих квантов в тысячи и миллионы раз больше чем энергия квантов видимого света) и длительностью от нескольких миллисекунд до нескольких часов, распространяющиеся сквозь Вселенную. Собственно гамма-всплеском называют факт регистрации такого тонкого фронта излучения с помощью детекторов на космических аппаратах.

Гамма-всплески были открыты на американских спутниках *Vela* в конце 1960-х годов. Их обнаружение, как и последующие пионерские исследования в американской и советской космических программах – неожиданный плод развернувшейся в те годы гонки термоядерных вооружений. Спутники *Vela* были предназначены для того, чтобы следить за соблюдением международного договора о запрещении испытаний ядерного оружия в трех средах, и вначале показалось, что зарегистрированные гамма-всплески родились именно в ходе таких испытаний. Но довольно скоро из данных *Vela* стало понятно, что их источники находятся вне Солнечной системы, а начиная с 1980-х годов выяснилось и то, что объекты, где рождается гамма-излучение, расположены за пределами нашей Галактики.

Астрофизические исследования в Ленинградском Физтехе – Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Академии наук СССР (ФТИ) начались с поиска следов антиматерии в метеорных потоках и околоземном пространстве¹.

¹ См., например, книгу И.С. Шкловского «Эшелон», глава «Антиматерия», а также главу *The Great Hunt For Anti-Matter* в Harvey B. and Zakutnyaya O., *Russian Space Probes* – Springer, 2011

В экспериментах на космических аппаратах «Космос-135» и «Космос-163» были установлены как детекторы микрометеоритов, так и детекторы гамма-излучения. В результате следов существования макроскопических объектов из антивещества (например, комет) найдено не было, но была опровергнута популярная в то время гипотеза о «пылевом облаке»² Земли и получены уникальные данные о спектре космического гамма-излучения в диапазоне энергий от десятков кэВ до единиц МэВ. Неожиданным событием, позволившим в дальнейшем перейти к исследованию вспыхивающих гамма-источников, была регистрация аппаратурой «Космос-163» радиоактивного следа китайского термоядерного взрыва 17 июня 1967 г. (т.н. «Ядерное испытание № 6»³). Благодаря этому в последующем эксперименте на «Космосе-461» было улучшено временное разрешение детекторов, что позволило получить одно из первых независимых подтверждений открытия космических гамма-всплесков: был зарегистрирован гамма-всплеск 17 января 1972 г.

Аппаратура экспериментов на «Космосах-135, -163 и -461» была разработана в ФТИ под руководством Евгения Павловича Мазеца⁴.

Первые всесторонние исследования гамма-всплесков были выполнены сотрудниками ФТИ в специально разработанных для этой цели экспериментах КО-НУС на автоматических межпланетных станциях «Венера-11» – «Венера-14» в 1979–1983 гг. В них были впервые опреде-

² Об этом см. *Константинов Б.П. и др., Экспериментальные данные, свидетельствующие против гипотезы о пылевом облаке Земли / Докл. АН СССР, 174:3 (1967), 580–582*

³ [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Ядерное_испытание_№_6](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ядерное_испытание_№_6)

⁴ Аптекарь и др. Памяти Евгения Павловича Мазеца / УФН **183** 1255–1256 (2013) <https://ufn.ru/ru/articles/2013/11/g/>.



Евгений Павлович Мазец
(14.08.1929–02.06.2013)



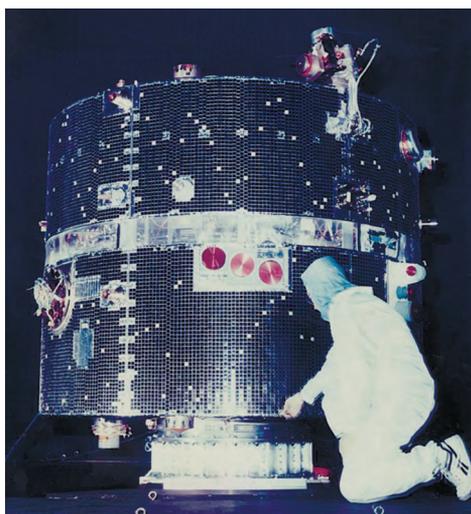
Пресс-конференция NASA на мысе Канаверал перед запуском космического аппарата Wind. Крайний справа – научный руководитель эксперимента КОНУС Е.П. Мазец. Октябрь 1994 г.

лены основные наблюдательные характеристики гамма-всплесков, подтвержденные впоследствии. В частности, было показано, что источники гамма-всплесков равномерно распределены по небесной сфере. Это означало, что их источники лежат за пределами нашей Галактики (иначе их было бы больше в области Млечного пути). Однако среди зарегистрированных событий встречались повторяющиеся всплески от галактических источников, позднее названных мягкие гамма-репитеры, которые оказались связаны с нейтронными звездами. О них подробнее скажем позже.

Новый этап исследований гамма-всплесков во ФТИ связан с расширением советско-американского сотрудничества в исследовании космоса в годы перестройки и установкой аппаратуры КОНУС, созданной в институте, на американском спутнике «Винд» (*Wind*). (Интересно, что в качестве «ответного шага» предполагалась установка двух американских приборов на обсерваторию «Спектр-Рентген-Гамма» в ее первоначальном варианте.)

Космический аппарат WIND во время подготовки к запуску. Детекторы эксперимента КОНУС расположены на противоположных сторонах КА (сверху и снизу слева от центральной оси на изображении). Фото NASA

Аппаратура эксперимента КОНУС-ВИНД была разработана и изготовлена в ФТИ в 1989–1992 гг. Она состоит из двух высокочувствительных сцинтилляционных гамма-спектрометров, размещенных на космическом аппарате «Винд», стабилизированном вращением, таким образом, чтобы постоянно осматривать всю небесную сферу. В настоящее время орбита спутника расположена полностью в межпланетном пространстве (вокруг так называемой точки либрации L_1 , где уравниваются силы притяжения Солнцем и Землей, а также центробежная сила, примерно в 1,5 миллионах км от Земли по направлению к Солнцу).



С момента начала эксперимента КОНУС-ВИНД в ноябре 1994 г. и по настоящее время он предоставляет важные, часто уникальные данные о временных и энергетических свойствах излучения гамма-всплесков в области энергий 20 кэВ – 15 МэВ.

Данные эксперимента также очень важны для определения координат источников гамма-всплесков триангуляционным методом по данным межпланетной сети спутников (InterPlanetary Network, IPN) с детекторами гамма-квантов на борту.

Этот, исторически первый, метод относительно точной локализации источников таких кратковременных и непредсказуемых событий, как гамма-всплески, продолжает играть значительную роль и в современных исследованиях. В настоящее время в сеть IPN входит восемь космических аппаратов (*Fermi*, *Swift*, *AGILE*, *INTEGRAL*, *Wind*, *Mars Odyssey*, *VepiColombo*, *InSight*), находящихся на разном удалении от Земли, в том числе – на орбите Марса и в межпланетном пространстве. Точность определения координат источников всплесков в сети IPN доходит до единиц угловых минут, что позволяет исследовать их в дальнейшем с помощью высокочувствительных космических и наземных телескопов с узким полем зрения. Эксперимент КОНУС-ВИНД, благодаря своему уникальному расположению и высоким характеристикам, – ключевой сегмент сети IPN.

Научным руководителем эксперимента до 2013 г. был Е.П. Мазец, с 2013 г. – заведующий лабораторией экспериментальной астрофизики ФТИ им. А.Ф. Иоффе Рафаил Львович Аптекарь.

ЕЖЕДНЕВНЫЕ КАТАСТРОФЫ ГАЛАКТИЧЕСКОГО МАСШТАБА

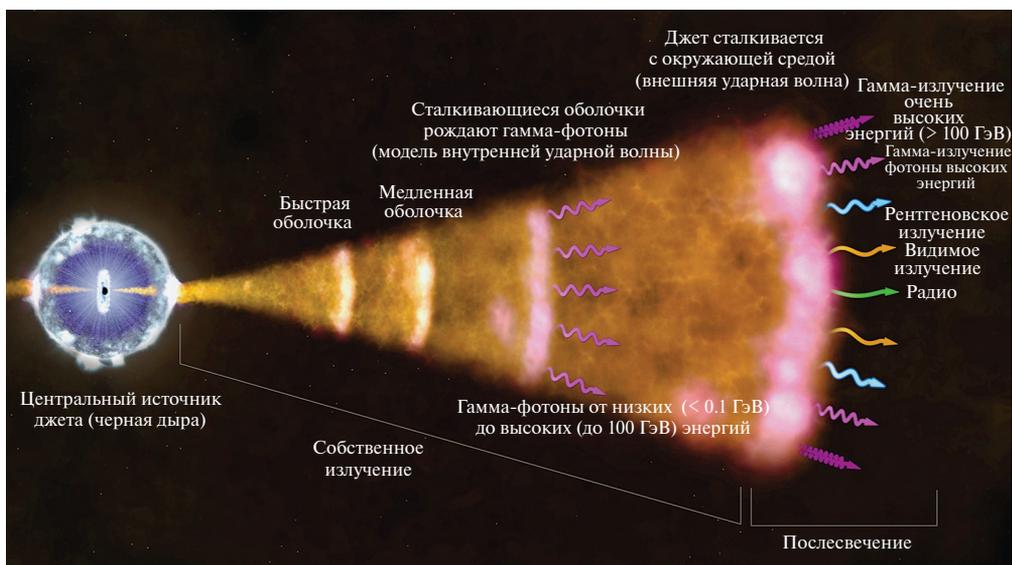
Гамма-всплески – самые яркие вспышки во Вселенной! За несколько десятков секунд источник всплеска может

излучить энергию, равную энергии, которую все звезды нашей Галактики высвечивают за сотню лет. Благодаря своей яркости эти события наблюдаются на космологических расстояниях в миллиарды световых лет и, следовательно, несут информацию о молодой ранней Вселенной. Современные космические обсерватории в день регистрируют в среднем один космический гамма-всплеск.

Наблюдаемые характеристики гамма-всплесков неоднородны. В частности, их можно разделить на две группы по длительности: короткие и длинные – с границей между классами примерно в две секунды. При этом кванты в коротких гамма-всплесках в среднем имеют большую энергию, чем в длинных (принято говорить, что спектр коротких всплесков жестче, а длинных всплесков – мягче).

Наблюдения гамма-всплесков в широком диапазоне длин волн: от гамма до радио – показали, что длинные/мягкие события (они же наиболее частые) связаны с коллапсом ядра молодых массивных звезд, в то время как короткие/жесткие всплески происходят при слиянии двух нейтронных звезд или нейтронной звезды и черной дыры.

Итак, согласно современным представлениям, «длинные» гамма-всплески сопровождают заключительные стадии эволюции массивных звезд, на которых ядро звезды коллапсирует с образованием черной дыры (или, в некоторых случаях, нейтронной звезды со сверхсильным магнитным полем, «магнетара»). В результате формируются мощнейшие струйные выбросы вещества – джеты, которые движутся с ультрарелятивистскими скоростями. Происходит ярчайшая вспышка мягкого гамма-излучения. Она длится до десятков секунд и обладает сложной хаотической временной структурой (т.н. собственное излучение гамма-всплеска).



Механизм рождения гамма-излучения в результате коллапса сверхмассивной звезды и распространения вещества релятивистского джета. Собственное излучение от источника длится около минуты или менее. Оно рождается в результате прорыва джета сквозь внешние слои сколлапсировавшей звезды и в ходе столкновения внутренних неоднородностей вещества, «оболочек», внутри самого джета (внутренние ударные волны). Послесвечение рождается на фронте джета, на внешней ударной волне, которая образуется, когда джет взаимодействует с окружающим звездную среду веществом. Изображение NASA's Goddard Space Flight Center/ICRAR

Дальнейшее распространение джета в межзвездной среде сопровождается существенно менее ярким, плавно спадающим излучением, т.н. послесвечением, которое наблюдается в течение сравнительно долгого времени в широком диапазоне электромагнитного спектра: от радиоволн до жесткого гамма-излучения. Стандартная модель послесвечения предполагает синхротронный механизм излучения электронов на ударной волне, которая формируется в ходе взаимодействия вещества джета и межзвездной среды.

Расстояние до источника гамма-всплеска можно измерить по красному смещению линий поглощения в оптическом спектре послесвечения: самые смещенные линии соответствуют поглощению в родительской галактике всплеска.

Всего с 1994 по 2019 г. в эксперименте КОНУС-ВИНД зарегистрировано более 3000 гамма-всплесков

(~120 в год), из них примерно 500 коротких (~20 в год) – это одна из самых больших выборок на сегодняшний день. По результатам эксперимента опубликовано сотни циркуляров сети детектирования гамма-всплесков (The Gamma-ray Coordinates Network, GCN) и десятки статей, в том числе в *Nature*.

Благодаря непрерывному обзору неба КОНУС видит практически все яркие события, также регистрируемые наземными системами оптического мониторинга с широкими полями зрения, например, МАСТЕР и ZTF.

ГАММА-ВСПЛЕСКИ РАСКРЫВАЮТ ИСТОРИЮ ВСЕЛЕННОЙ

Как было сказано выше, гамма-всплески можно наблюдать с расстояния в миллиарды световых лет благодаря

их исключительной яркости. Самый удаленный гамма-всплеск GRB 090429B⁵ пришел к нам с расстояния 13,2 миллиарда световых лет ($z = 9.4$), он произошел, когда Вселенной было всего 500 млн лет.

Благодаря широкому энергетическому диапазону, в котором работают его детекторы, КОНУС дает возможность точно определить параметры излучения и энергетическую гамма-всплеска. Наблюдения более трех сотен всплесков с известным расстоянием до источника позволили наиболее точно оценить распределение гамма-всплесков по светимости и определить частоту их появления в зависимости от возраста Вселенной в интервале красных смещений z от 0,04 до 9,4 (на шкале возраста Вселенной они соответствуют меткам от 12,9 млрд лет до чуть более 500 млн лет).

При этом было обнаружено, что в области малых красных смещений ($z < 1$, или позже 6 млрд лет от Большого взрыва) форма зависимости темпа генерации гамма-всплесков от возраста Вселенной отличается от темпа звездообразования. Это различие можно интерпретировать так: в локальной Вселенной гамма-всплесков происходит больше, чем образуется достаточно массивных звезд, которые могли бы быть их источниками.

У этого результата могут быть два объяснения. Его причиной может быть неоднородность физической природы источников длинных гамма-всплесков. Второй вариант – возможная космологическая эволюция характеристик их прародителей.

С другой стороны, оцененный темп образования гамма-всплесков хорошо согласуется с историей звездообразования на красных смещениях, больших 1,

то есть в еще более ранние времена. Следовательно, регистрируя далекие всплески, можно оценить ход звездообразования и начальную функцию масс звезд в ранней Вселенной.

В ПОГОНЕ ЗА СВЕРХВЫСОКИМИ ЭНЕРГИЯМИ

Идея о том, что гамма-всплески могут содержать кванты высоких энергий, появилась в середине 1980-х годов, благодаря регистрации квантов с энергией предельной для детекторов того времени (около 10 МэВ). В 1990-х годах поиск жесткого излучения проводился в эксперименте EGRET на космической обсерватории им. Комптона, где были зарегистрированы гамма кванты с энергиями до ~ 1 ГэВ с задержкой порядка часов после начала гамма-всплеска. Эти исследования получили продолжение в 2000-х годах на космических гамма-обсерваториях AGILE и *Fermi*, которыми были зарегистрированы кванты до сотен ГэВ. Для регистрации квантов выше ~ 300 ГэВ космические обсерватории становятся неэффективными (для регистрации сверхмалых потоков гамма-квантов больших энергий нужны детекторы большой площади и большего объема, которые сложно выводить в космос). На больших энергиях в качестве детектора можно использовать земную атмосферу. Гамма-кванты с энергией в десятки ГэВ и выше можно наблюдать специализированными наземными телескопами, которые регистрируют черенковское излучение широких атмосферных ливней, вызванных гамма-квантами (т.н. «черенковскими» телескопами)⁶.

⁵ Гамма-всплески именуется в соответствии с датой регистрации, после GRB идет год, месяц и день регистрации. Первое событие, зарегистрированное в текущие сутки по мировому времени имеет суффикс А (до 2010 г. такие события не имели суффикса вовсе), следующее событие содержит в имени В и так далее.

⁶ См., например, статью Быкова и др. Черенковские гамма-телескопы: прошлое, настоящее, будущее. Проект ALEGRO / Журнал технической физики, 2017, том 87, вып. 6 <https://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/44501>

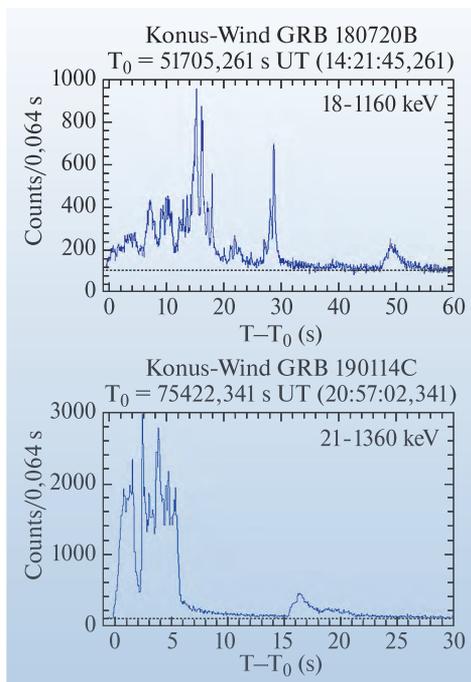
С помощью таких телескопов обычно наблюдают постоянные источники, например, нейтронные звезды и активные ядра галактик. Быстро наводит такие телескопы на источники гамма-всплесков пытались с 2000-х годов, повезло астрономам только в 2018 г., когда системе черенковских телескопов High Energy Stereoscopic System (H.E.S.S.) удалось зарегистрировать кванты с энергией до 440 ГэВ в послесвечении GRB 180720B, через ~ 10 часов после детектирования всплеска в мягком гамма диапазоне обсерваториями *Swift*, *Fermi* и КОНУС-ВИНД.

Всего через полгода, в середине января 2019 г., произошел гамма-всплеск GRB 190114C. Он знаменателен тем, что его послесвечение впервые наблюдалось в сверхжесткой области электромагнитного спектра (энергии порядка 1 ТэВ) наземным черенковским телескопом MAGIC, расположенным на Канарских островах.

Уже в ноябре в журнале *Nature* была опубликована работа большого коллектива европейских и американских астрофизиков, где предполагается, что генерация наблюдаемого потока фотонов сверхвысоких энергий требует включения дополнительного (к синхротронному) механизма излучения, т.н. обратного комптоновского рассеяния фотонов, излучаемых синхротронным механизмом, на релятивистских электронах, ускоренных в джете.

Начальный импульс (собственное излучение) гамма-всплеска GRB 190114C был зарегистрирован в нескольких космических экспериментах, в том числе астрофизическими обсерваториями *Swift*, *Fermi* (NASA), AGILE и в эксперименте КОНУС-ВИНД.

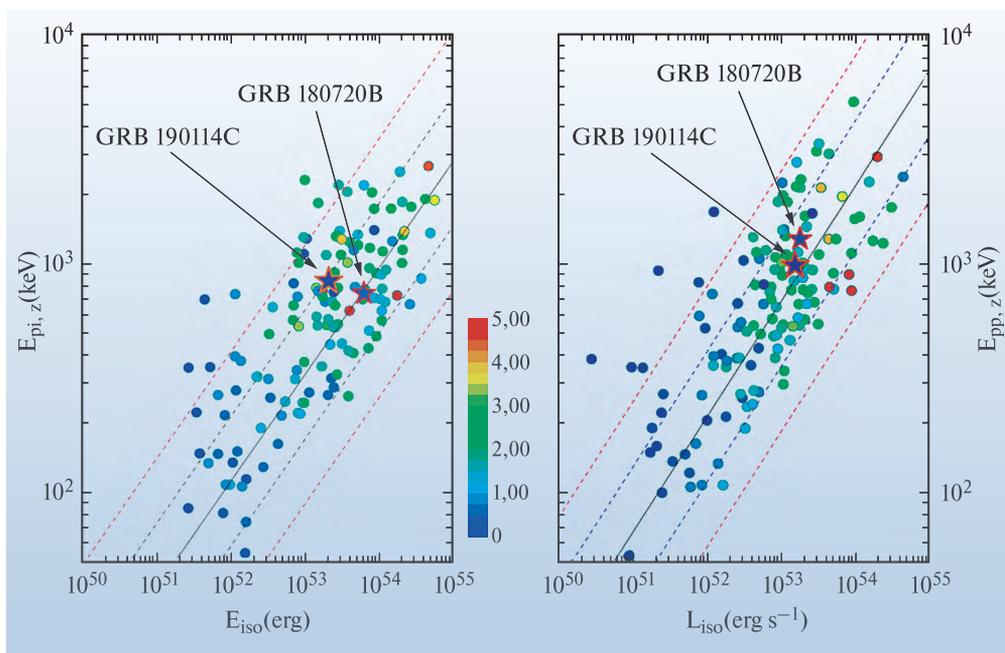
Оперативный анализ данных последнего позволил получить спектральные и энергетические характеристики вспышки и оценить ее энергию в источнике, находящемся от нас на расстоянии нескольких миллиардов



Кривые блеска GRB 180720B и GRB 190114C, полученные в эксперименте КОНУС-ВИНД (отсчеты детектора во временных интервалах 64 миллисекунды), на каждом рисунке указан диапазон энергий в килоэлектронвольтах, в котором записана кривая блеска. У всплесков четко выделяется яркая начальная импульсная стадия события, длящаяся около 60 и 20 секунд соответственно. Изображение ФТИ им. Иоффе

световых лет. Результаты анализа были представлены в циркуляре международной сети GCN⁷. Сравнение формы энергетического спектра, полной энергии вспышки и ее пиковой яркости с характеристиками других длинных гамма-всплесков, зарегистрированных в эксперименте КОНУС-ВИНД, указывает на «типичный» характер фазы собственного излучения данного события.

⁷ GCN CIRCULAR №23737. 19/01/16 13:01:40 GMT Dmitry Frederiks at Ioffe Institute. Konus-Wind observation of GRB 190114C



Сравнение энергии (слева) и светимости (справа) гамма-всплесков GRB 180720B и GRB 190114C (отмечены звездочками) с характеристиками других гамма-всплесков, определенными по данным КОНУС-ВИНД. Изображение ФТИ им. Иоффе

Сейчас продолжается совместный анализ данных эксперимента КОНУС-ВИНД и итальянского космического гамма-телескопа AGILE-MCAL. Его основная цель – детальное исследование момента появления жесткой спектральной компоненты уже на завершающей стадии начального импульса GRB 190114C. Результаты данной работы планируются к публикации в одном из ведущих астрофизических журналов в 2020 г.

Из более давних событий – уникальными стали наблюдения двух длинных ярких гамма-всплесков, GRB 050820A и GRB 080319B. Оптическое излучение первого из них было зарегистрировано телескопом RAPTOR Лос-Аламосской лаборатории. Сопоставление с данными о гамма-излучении, полученными в эксперименте КОНУС-ВИНД, позволило впер-

вые наблюдать одновременное начало оптического и гамма-излучения в источнике всплеска. Второе событие стало самым ярким в оптической области всплеском: оптическая светимость достигла в максимуме 5,3 звездной величины, то есть была доступна для наблюдения невооруженным глазом! Совместный анализ данных эксперимента КОНУС-ВИНД и наблюдений наземного телескопа Pi of the Sky показал, что гамма- и оптическое излучение этого всплеска начинается и заканчивается в одно и то же время, предоставляя весомое свидетельство в пользу того, что они происходят из одной области пространства. Наблюдение излучения столь разных энергий, пришедшего к нам от источника в далекой Вселенной практически одновременно, позволяет использовать гамма-всплески для проверки таких

фундаментальных физических теорий, как принцип эквивалентности Эйнштейна, лежащий в основе ОТО.

Как уже говорилось выше, к настоящему времени набор коротких всплесков, полученный в эксперименте КОНУС-ВИНД, включает более 500 событий. При этом среди наблюдаемых коротких гамма-всплесков могут быть как всплески от слияний компактных объектов (нейтронных звезд и черных дыр) в удаленных галактиках, так и гигантские вспышки магнетаров в ближайших галактиках. Одно из таких событий – GRB 070201 – «выпадает» по своим свойствам из общей популяции, и, с учетом его локализации, вероятно, является гигантской вспышкой магнетара – представителя редкого класса нейтронных звезд со сверхсильным магнитным полем – в галактике Туманность Андромеды.

ПОВТОРНЫЕ ВСПЛЕСКИ: СОРОК ЛЕТ СПУСТЯ

Замечательным видом вспыхивающих источников (транзиентов) в жестком рентгеновском диапазоне, тесно связанным с гамма-всплесками, являются источники повторных всплесков, получившие название мягкие гамма-репитеры (soft gamma-repeaters, SGRs). Открытие этого класса транзиентов – фундаментальный результат экспериментов КОНУС на автоматических межпланетных станциях «Венера 11–12». Примечательно, что в прошлом году можно было отметить круглую дату с момента их открытия, которое произошло 5 марта 1979 г.

В этот день приборы «Конус» зарегистрировали необычный исключительно интенсивный гамма-всплеск с коротким ярким начальным пиком, за которым следовал пульсирующий затухающий «хвост». На следующий день, 6 марта, от этого же источника

были зарегистрированы два повторных гамма-всплеска. Положение источников зарегистрированных всплесков, определенное триангуляционным методом, накладывалось на положение остатка сверхновой SN49 в Большом Магеллановом Облаке на расстоянии 55 килопарсек (кпк, это примерно равно 180 тыс. св. лет), что впервые указало на возможную связь источников повторяющихся всплесков и нейтронных звезд.

К настоящему времени известно более 20 мягких гамма-репитеров, большая часть из которых ассоциирована с магнетарами. Но гигантские вспышки наблюдались только у трех источников: SGR 0526–66 в Большом Магеллановом Облаке, SGR 1900+14 (27 августа 1998 г.) и SGR 1806–20 (27 декабря 2004 г.) в нашей Галактике (название источников образовано из координат источника в экваториальной системе). Два последних события были детально изучены в эксперименте КОНУС-ВИНД.

Уникальные данные, позволяющие точно оценить энергию, выделенную в начальном импульсе гигантской вспышки SGR 1806–20, были получены в двух экспериментах ФТИ им. А.Ф. Иоффе: КОНУС-ВИНД и ГЕЛИКОН (работал на околоземном КА «Коронас-Ф»). Потоки излучения в начальных импульсах гигантских вспышек столь велики, что сцинтилляционные детекторы гамма-излучения на космических аппаратах входят в режим насыщения («слепнут») и измерения становятся невозможными. Именно так и произошло с детекторами КОНУС-ВИНД и других космических экспериментов во время вспышек 27 августа 1998 г. и 27 декабря 2004 г.

Но в последнем случае ситуация оказалась нестандартной благодаря одновременному проведению на околоземной орбите эксперимента ГЕЛИКОН. Его аппаратура, близкая по характеристикам к аппаратуре КОНУС-ВИНД,

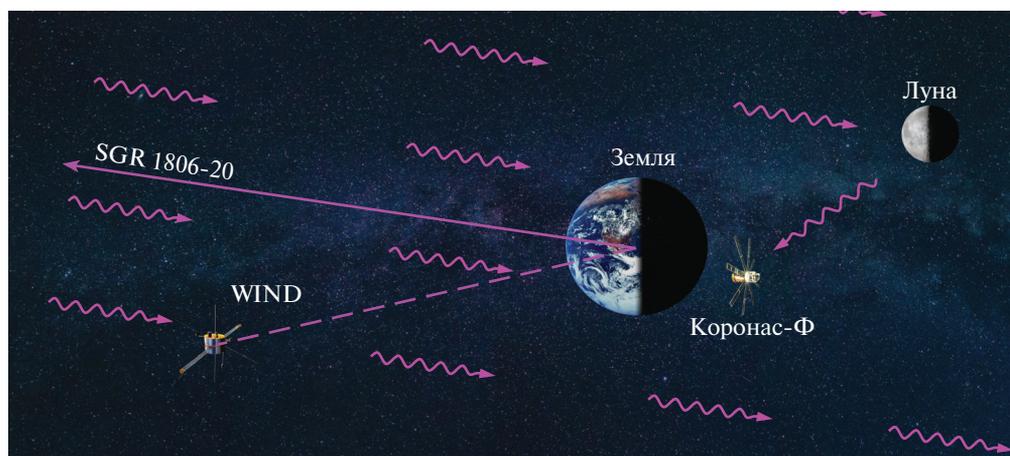


Схема расположения КА Wind и «Коронас-Ф» в момент прихода гигантской вспышки от источника SGR1806–20 27 декабря 2004 г. Из работы Д.Д. Фредерикса и др., 2007

оказалась «защищена» Землей от прямого воздействия излучения гигантской вспышки. Но яркость начального импульса вспышки была столь велика, что детекторы ГЕЛИКОН смогли зарегистрировать его отражение от поверхности Луны! Анализ отраженного излучения позволил корректно восстановить временной профиль гигантской вспышки и оценить ее полную энергию 10^{39} Дж и пиковую светимость 10^{40} Дж/с. Они на несколько порядков величины превосходили по масштабу энергию событий подобного типа, наблюдавшихся ранее.

МНОГОКАНАЛЬНАЯ АСТРОНОМИЯ И КОНУС-ВИНД

К 2017 г. двумя недостающими элементами в картине феномена коротких гамма-всплесков была регистрация гравитационных волн от конечной стадии эволюции двойной системы нейтронных звезд и детектирование оптического излучения продуктов распада тяжелых элементов, образованных при разрушении нейтронных звезд. Эти явления были теоретически предсказаны,

но зарегистрировать их до последних лет не было возможности.

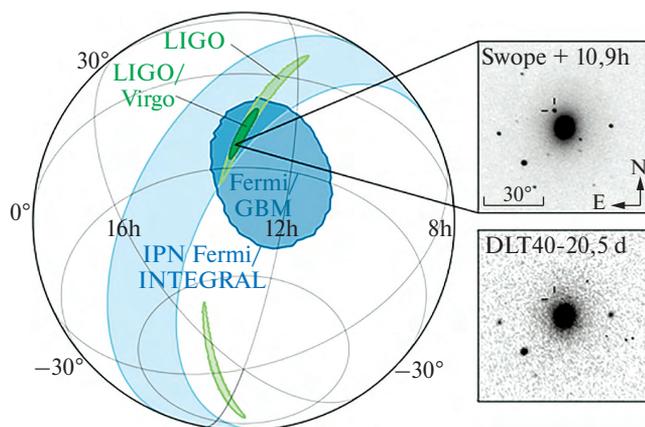
И вот эти два недостающих элемента были найдены одновременно! 17 августа 2017 г. два детектора гравитационно-волновой обсерватории LIGO зарегистрировали сигнал от слияния двух нейтронных звезд на расстоянии порядка 40 Мпк (130 миллионов световых лет). Через 1,7 секунды короткий гамма-всплеск был зарегистрирован космическими обсерваториями *Fermi* и INTEGRAL (ЕКА).

Тогда, 17 августа, требовалось как можно быстрее и точнее локализовать гамма-всплеск, чтобы начать наблюдения с помощью других обсерваторий и обнаружить источник. В этой работе активно участвовала группа эксперимента КОНУС в ФТИ им. А.Ф. Иоффе. Хотя сам прибор не смог его наблюдать, сотрудники ФТИ использовали данные о времени распространения гамма-излучения между обсерваториями INTEGRAL и *Fermi*, чтобы «сузить» область поисков. Благодаря этой работе удалось сократить область локализации обсерватории *Fermi* примерно в три раза и надежней отождествить гамма-всплеск и источник гравита-

ционных волн. В итоге ни у кого не осталось сомнений, что и наземные детекторы LIGO и космические обсерватории видели одно и то же событие. Это событие по праву сегодня считается началом «многоканальной астрономии» (multi-messenger astronomy), которая использует данные разной природы, – чтобы глубже понять физику исследуемого явления.

Подобная методика локализации гамма-всплеска может сузить область поиска электромагнитного излучения источника гравитационных волн в случае менее точной локализации LIGO и *Virgo*.

Важную информацию о процессах в источнике гамма-всплесков может дать не только детектирование гравитационных волн, но и его отсутствие. Первым примером такого анализа может служить поиск гравитационного излучения от короткого всплеска GRB 051103, который был зарегистрирован КО-НУС-ВИНД и локализован IPN (статья была опубликована в 2007 г. в журнале «Письма в “Астрофизический журнал”»). Локализация этого всплеска наложилась на группу галактик M81/M82 на расстоянии 3,6 Мпк от нашей Галактики. Это событие могло быть как случайным наложением, так и гигантской вспышкой мягкого гамма-репитера или гамма-всплеском в близкой галактике. Ретроспективный анализ данных LIGO (опубликован в *Astrophysical Journal*, 755, 2, 2012) показал, что GRB 051103, вероятно, не мог быть вызван слиянием нейтрон-



Карта небесной сферы с обозначенными областями локализации источников гравитационных волн, гамма- и оптического излучений. Слева: область локализации по данным LIGO (190 кв. градусов, светло-зеленый), LIGO/*Virgo* (31 кв. градус, темно-зеленый), IPN-триангуляции по задержке сигнала между обсерваториями INTEGRAL и Fermi (светло-голубой) и по данным прибора GBM (обсерватория Fermi). Справа: галактика NGC4993 на изображении оптического телескопа Swope (сверху, 10,9 часа после слияния) и телескопа DLT40 (20,5 дней до слияния). Крестиком отмечено положение источника, названного SSS17a, который был обнаружен после слияния. Рисунок из статьи Б.П. Эбботта и др., 2017

ных звезд в группе галактик M81/M82. Подобный анализ был проведен для короткого всплеска GRB 150906B, в локализацию которого попала группа галактик NGC3313 на расстоянии 54 Мпк, и в этом случае оказалось, что гамма-всплеск пришел к нам с большего расстояния, а не произошел вблизи NGC3313.

Гравитационные детекторы могут регистрировать не только слияния нейтронных звезд и черных дыр, которые вращаются друг вокруг друга на расстоянии порядка собственного радиуса в последние секунды перед слиянием. Считается, что источниками гравитационных волн могут также быть несимметричный коллапс ядра массивной звезды или неустойчивость в аккреционном диске черной

дыры, которая образовалась при коллапсе, а где коллапс – там может быть и длинный гамма-всплеск. Результаты поиска гравитационных сигналов от гамма-всплесков, в том числе с использованием данных КОНУС-ВИНД, были опубликованы в 2019 г. в *The Astrophysical Journal*, и единственным событием, сопровождавшимся детектированием гравитационных волн, оказался знаменитый всплеск 17 августа 2017 г. Для остальных событий было получено максимальное расстояние с разбросом от 10 до 100 Мпк, на котором они могли бы быть обнаружены детекторами LIGO в предположении различных моделей источников гравитационного излучения. Хотя полученные расстояния и малы по сравнению с типичным удалением источников гамма-всплесков, они позволяют исключить образование гамма-всплесков в близких галактиках, что очень важно для наблюдения коротких гамма-всплесков.

Текущий этап наблюдений гравитационных обсерваторий, начавшийся в апреле 2019 г., продлится до мая 2020 г. Детектирование (или не детектирование) новых слияний нейтронных звезд позволят уточнить оценку частоты таких событий, позволяя ограничить модели эволюции двойных звезд и дадут новые знания о природе коротких гамма-всплесков, при этом наблюдения в гамма-диапазоне обсерваториями *Fermi*, *Swift* и КОНУС-ВИНД будут играть ключевую роль.

Данные эксперимента КОНУС-ВИНД и IPN используются также для анализа сигналов детекторов нейтрино и при анализе вспышек сверхновых звезд. Таким образом, прибор «Конус» продолжает активную работу как инструмент новой эпохи современной астрономии.

В заключение отметим, что эксперимент КОНУС-ВИНД имеет самую

длительную историю наблюдений активности Солнца в жестком рентгеновском и мягком гамма-диапазоне. Ими полностью охвачены два 11-летних цикла солнечной активности, а открытая научному сообществу база данных солнечных вспышек, зарегистрированных прибором, насчитывает многие тысячи событий. Продолжающиеся в эксперименте исследования солнечных вспышек важны в контексте понимания природы и механизмов их излучения, их связи с корональными выбросами массы, прогнозирования космической погоды и понимания природы солнечно-земных связей. И это вполне может стать темой отдельной статьи.

Проведение эксперимента КОНУС-ВИНД поддерживается контрактом Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос». Исследования гамма-всплесков и других транзиентных явлений в лаборатории экспериментальной астрофизики ФТИ им. А.Ф. Иоффе поддерживаются грантом РФФИ 17-12-01378.

Литература

1. Аптекарь Р.Л., Быков А.М., Голенецкий С.В., Фредерикс Д.Д., Свинкин Д.С., Уланов М.В., Цветкова А.Е., Козлова А.В., Лысенко А.Л. «Космические гамма-всплески и мягкие гамма-репитеры – наблюдения и моделирование экстремальных астрофизических процессов (К 100-летию Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН)» УФН **189** 785–802 (2019) <https://ufn.ru/ru/articles/2019/8/b/>
2. Аптекарь и др. Памяти Евгения Павловича Мазеца / УФН **183** 1255–1256 (2013) <https://ufn.ru/ru/articles/2013/11/g/>

Благодарим сотрудников ФТИ Д.Д. Фредерикса и Д.С. Свинкина за помощь в подготовке статьи.

КОНЕЦ ЭЛИТАРНОГО КЛУБА-2. ВЫСОКИЕ РУБЕЖИ КОСМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЕЙ

ПАЙСОН Дмитрий Борисович,

доктор экономических наук, кандидат технических наук,
член Международной академии астронавтики

DOI: 10.7868/50044394820020048

Дети Марии легко живут, к части они рождены благой.
А Детям Марфы достался труд и сердце, которому чужд покой.
И за то, что упреки Марфы грешны были пред Богом, пришедшим к ней.
Детям Марии служить должны Дети ее до скончания дней.

Это на них во веки веков прокладка дорог в жару и в мороз.
Это на них ход рычагов; это на них вращенье колес.
Это на них всегда и везде погрузка, отправка вещей и душ,
Доставка по суше и по воде Детей Марии в любую глушь.

*Р. Киплинг. Дети Марфы
(пер. Д. Закса)*

В предыдущем номере журнала мы говорили о двух прошедших этапах развития космического предпринимательства. Примерно в 80-х годах прошлого века основные направления гражданской прикладной космонавтики перешли на коммерческие рельсы, а на рубеже веков состоялась радикальная демократизация космической деятельности, в космос пришли большие и малые стартапы, и модели отношений «частников» и государств претерпели существенные изменения.

Самое интересное, однако, впереди. Каковы направления дальнейшей «эмансипации» бизнеса, состоится ли «третий переход», связанный с открытием космическим бизнесом принципиально новых, ранее на Земле не виданных, направлений деятельности,

и каковы перспективы частно-государственного взаимодействия в космосе – тема для отдельного разговора.

ПОЛЕЗНЫЕ ВЕЩИ ВЕКА

Вначале – немного теории. Экономическая наука знает двух «конечных» потребителей, дальше которых продуктовые цепочки не рассматриваются. Это государства (правительства) и домохозяйства (иногда, правда, отдельно рассматривают еще общественные организации). Любая бизнес-модель должна предусматривать потребителя одного из этих типов. Поэтому все коммерческие космические проекты, будь то глобальный космический Интернет, космический туризм или освоение силами бизнеса Луны или Мар-

са в конечном счете должны «приземляться» у одного из «конечных» потребителей. Оговорка «в конечном счете» – важная, потому что бизнес вполне может оказывать и промежуточные услуги, поставляя, например, спутники операторам связи, которые уже потом оказывают услуги конечным потребителям. Но в конце цепочки – или деньги государств, или деньги домохозяйств, частных лиц. Государственные – идут на науку, оборону, дальний технологический задел и освоение новых «космических территорий», а деньги домохозяйств – это возможность потребительского применения продуктов, предлагаемых теми или иными проектами.

Потребление домохозяйствами обуславливает настолько иную экономику и эффективность по сравнению с госзакупками, что и государственным потребителям становится выгоден аутсорсинг, приобретение продуктов и услуг, изначально создававшихся для более широких рынков.

В начале космической эры вопрос о сравнительной технологической продвинутости условного «космоса» и условного «ширпотреба» даже не стоял. Более того, даже задача трансфера технологий из «космоса» в «ширпотреб» появилась и в мире, и тем более у нас не сразу – какое-то время понадобилось для того, чтобы «потребительские» отрасли оказались способными к восприятию новаций, которые могла им предложить ракетно-космическая, авиационная и другие околооборонные отрасли. Потом во всю мощь встал вопрос о конверсии и диверсификации, который в России сохраняет важное звуча-

ние, и руководство страны постоянно требует от оборонной промышленности увеличить долю выпускаемой гражданской продукции.

А сейчас мы вступили в следующий технологический этап – когда обострившаяся конкуренция и необходимость «докармливать» уже в основном удовлетворенного потребителя обуславливают опережающее развитие именно потребительских отраслей, которые,

пусть не напрямую, но влияют на отрасли «эксклюзивные». Более того – в ряде случаев потребительские отрасли предлагают товары и услуги для военных ведомств, которые оказываются предпочтительнее «спецзаказа». Характерные примеры – не только кроссовки и туристические ботинки ведущих производителей на ногах бойцов различных спецподразделений, но и, например, все расширяющаяся практика заказа военными ве-

домствами пакетов снимков из космоса и каналов связи у гражданских коммерческих операторов – вместо того, чтобы запускать собственные спутники.

Свободно доступная спутниковая навигация, спутниковое радио, доступные «в один клик» данные дистанционного зондирования и продающиеся в салонах связи спутниковые телефоны к началу 1990-х гг. привели к активной интеграции космической составляющей в самые разные сферы деятельности и направления бизнеса, от обороны до сельского хозяйства и от фундаментальной физики до доставки пиццы по спутниковому навигатору.

Соответственно, у частного сектора появилась возможность прогно-

Свободно доступная спутниковая навигация, спутниковое радио, доступные «в один клик» данные дистанционного зондирования и продающиеся в салонах связи спутниковые телефоны к началу 1990-х годов привели к активной интеграции космической составляющей в самые разные сферы деятельности и направления бизнеса

зирать доходы, а значит – и коммерческую эффективность проектов, ориентированных уже не только на государства, а и на пресловутые домохозяйства. В перспективе – развитие широкополосного доступа из космоса, космические приложения в рамках «Интернета вещей» и межмашинного взаимодействия (это называется IoT и M2M соответственно). А перспективный и не освоенный еще горизонтальный (пользовательский) рынок – это золотое дно для частного бизнеса и венчурных инвесторов.

Имеет место и движение в обратном направлении – от промышленности, ориентированной на более или менее массовый спрос, к «эксклюзивному» космическому сектору. Один из ключевых факторов успеха Илона Маска и его коллег по New Space – это возможность сегодня приобретать материалы и комплектующие на достаточно развитом коммерческом рынке. Создавать новые подотрасли ракетно-космической промышленности типа «архипелаг», когда все, от болтов с гайками до бортовой электроники, производится внутри отрасли, уже не требуется. Все, что нужно новым игрокам, на рынке уже присутствует.

ДЕТИ МАРФЫ

Говоря о новых игроках, инвестициях в будущее и технологических прорывах, заметим, что прикладная космонавтика довольно отчетливо разделилась на инфраструктурную и «прорывную», венчурную. Сегодня космическая техника – это некоторый гибрид транспортных средств и инфраструктурных установок, которых много и на Земле: вышки сотовой связи, автоматизированные обсерватории; в конце концов, и высокотехнологические зимовки в Арктике и в Антарктиде.

Идут процессы, состоявшиеся раньше в авиации и воздухоплавании – от романтики «авиаторов» к четкому разделению служебного, все больше и больше инфраструктурно-коммерциального и технологического/развивающегося направлений.

Слово *commodities* не очень естественнонаучное, но важное при обсуждении нынешнего положения дел в космонавтике. На птичьем языке международных экономистов оно означает «биржевые» продукты, свободно доступные на рынке и не требующие для производства уникальных, малодоступных технологий. Соответственно, основные виды космической связи, ДЗЗ, космической навигации (навигации в особенности – сегодня стали такими «коммерциальными» товарами. Ничего особенно прорывного. Добро пожаловать, средний бизнес и пенсионные фонды, сюда можно инвестировать, здесь надежно.

А как же «езда в незнаемое»? Технологические прорывы и принципиальные космические новации накапливались в другом углу «ринга». И здесь основной вклад отраслевых инженеров свелся прежде всего к миниатюризации. Первый в мире советский искусственный спутник Земли, который делал «бип-бип», весил около 86 кг; по нынешним меркам уже 5–6 кг – это вполне прикладной аппарат, способный, например, работать в составе многоспутниковой группировки наблюдения Земли (как Flock-1) или обеспечивать идентификацию морских судов (как AISSat-1). 100–120 кг – это серьезный аппарат для съемок Земли, например, от мирового гранда микроспутников – суррейской компании SSTL. А российский спутник «Аист-2Д», запущенный в 2016 г., весит около полутонны и, по словам его создателей, «представляет собой своеобразный «научный комбайн», который будет решать как



Самарский «Аист» – существенный шаг в сторону миниатюризации. Изображение АО «РКЦ «Прогресс»»

реальные задачи по съемке территории Земли, так и научные задачи»; актуальный наш «комбайн» семейства «Ресурс» весит сегодня около 7 т.

Миниатюризация означает снижение затрат на выведение спутников на орбиту, а на следующем этапе развития – появление специфического, венчурного и стартапного, рынка легких и сверхлегких средств выведения, куда сегодня тоже охотно идет инновационный бизнес. Кроме того, техническая возможность решения реальных задач совсем маленькими аппаратами массой порядка нескольких килограммов, объединяемыми при необходимости в многомодульные сборки, привела к появлению специфического рынка кубсатов и соответствующих бортовых систем (на таком рынке успешно действует, в частности, и отечественная компания «Спутникс»).

Дальше техника кончается и начинается экономика. К моменту начала раскрутки «космического хайпа» в высокотехнологической отрасли образовался существенный свободный капитал, сформированный на прежних витках ажиотажного развития в области телекома, информационных технологий и Интернета. Снижение технических барьеров привело к тому, что «космосом» заинтересовались предприниматели, прославившиеся и скромно заработавшие свой первый миллиард в глобальных Интернет-проектах, включая – по алфавиту – Пола Аллена из *Microsoft*, Джефа Безоса из *Amazon* и Илона Маска, получившего существенные деньги при выходе из капитала компании, которую мы сегодня знаем как *PayPal*. Технологическое развитие и свободный капитал успешно сошлись, и проекты получились вполне приемлемые с точки зрения уровня рисков и прогнозных доходов.

Когда американский истеблишмент осознал, что космическими программами готовы теперь заниматься серьезные, социально близкие люди со своими деньгами, у главных госзаказчиков – NASA и Минобороны – появилась возможность несколько улучшить конкурентную среду, потеснить зарвавшихся олигополистов в лице *Boeing*, *Lockheed Martin* и прочих и вывести на сцену новых игроков. Но для взаимодействия с новыми игроками понадобились новые подходы. И к середине 2000-х они сложились.

Теперь государство для решения некоторых из своих задач в космосе не заказывает промышленным подрядчикам сначала научно-исследовательские, потом опытно-конструкторские работы, потом производство тех или иных летательных аппаратов, а потом еще и услуги по их эксплуатации, а заявляет о готовности вначале авансировать, а потом оплачивать фактическое предоставление конечных услуг. Сегодня

это работает прежде всего в части доставки грузов на американский сегмент Международной космической станции и вот-вот должно начать действовать и при доставке экипажей.

Безусловным пионером оказалась компания *SpaceX*, но следует отметить, что *SpaceX* никогда не ходила в монополистах ни у NASA, ни у Минобороны. Харизматик Маск открыл новые возможности не только для своей компании, но и для *Orbital Sciences* (сегодня в составе *Northrop Grumman*), которая тоже доставляет на МКС американские грузы, а в части пилотируемых рейсов на МКС будут летать и корабли *Boeing* тоже.

Итак, основной пафос «частной космонавтики» в этом смысле заключается в некотором сдвиге ролей и финансирования по жизненному циклу проектов, но, в общем, не сильно более того.

ИМЕЮ БИЗНЕС-ПЛАН, ГОТОВ ПУТЕШЕСТВОВАТЬ

Гораздо интереснее поиск частным сектором своего интереса в задачах исследования и освоения космоса, причем не в качестве подрядчиков космических агентств, а самостоятельно.

Лет двадцать назад известность получила схема, в соответствии с которой частная компания может запускать межпланетную станцию или телескоп, а потом продавать соответствующие научные данные... тому же космическому агентству, потому что у NASA, например, в системообразующих документах значится формальное ограничение: финансировать создание космических средств для получения таких результатов, которые недоступны

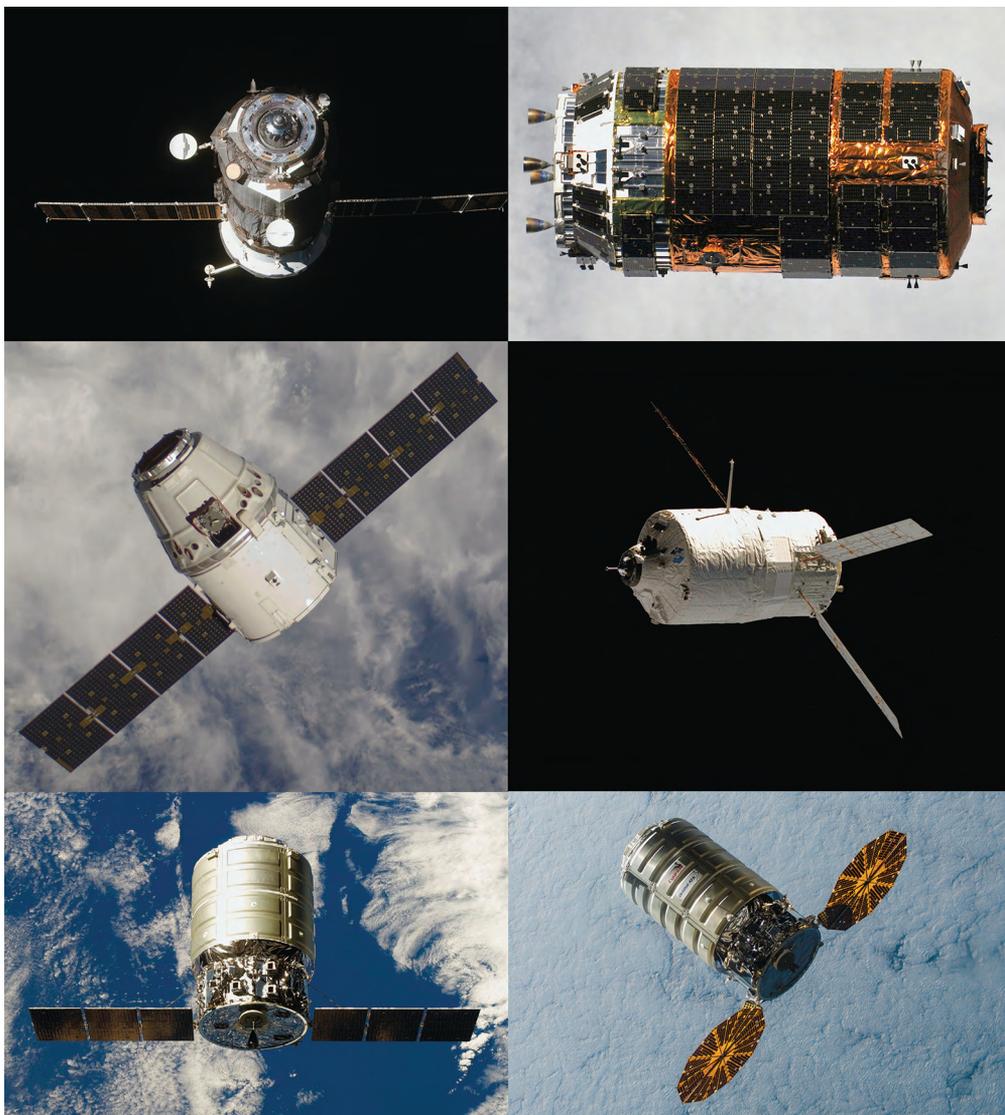


Полторакилограммовые кубсаты делают космос по-настоящему доступным. Фото: Пресс-служба Администрации Президента РФ

на свободном коммерческом рынке. Но эта модель оказалась уж слишком прихотливой (не очень понятно было, как конкретно заставить космическое агентство что-то такое научное покупать), и про нее быстро забыли.

Тема коммерциализации освоения Луны оказалась востребованной (ненадолго) в середине 2000-х, когда речь зашла о перспективности добычи лунного гелия-3 как термоядерного горючего; затем, уже сравнительно недавно, компания *Planetary Resources* приступила было к строительству околоземных телескопов для поиска небесных тел, откуда можно будет потом добывать коммерчески полезные ресурсы, да тоже довольно быстро «свернулась».

Вопрос о формах и стимулах внедрения частного сектора в сферы космической науки и освоения дальнего космоса сейчас остается злободневным. Рано или поздно мы станем свидетелями третьего этапа развития космической экономики: когда прикладными бизнесами станут направления, сами по себе до сих пор остававшиеся «государственной вотчиной», например, освоение планет, борьба с астероидно-кометной опасностью, даже научные исследования. Сегодня компании с мил-



Грузы к МКС доставляют российские, американские, европейские и японские корабли. Слева направо и сверху вниз: ТГК «Прогресс» (Россия), HTV (Япония), Dragon (SpaceX, США), ATV (Европа), Cygnus и улучшенный вариант Cygnus (Orbital Sciences Corporation, США, и Thales Alenia Space, Италия). Источник: Википедия, коллаж пользователя Pironwa

лиардными оборотами в целом могут спонсировать фундаментальную науку в режиме корпоративного спонсорства (например, соответствующие проекты Breakthrough Prize и Breakthrough Initiatives анонсировал миллиардер российского происхождения Юрий

Мильнер, см. ЗиВ № 3, 2019), но крупные проекты, требующие многолетних капитальных затрат, до сих пор все же остаются в государственной сфере ответственности.

И все же: что принципиально нового могут делать в космосе частники?

ШАХТЫ В НЕБЕ

В 2017 г. *American Bank* вместе с инвестиционной группой *Merril Lynch* опубликовали отчет «Бесконечность – не предел!» (так говорил персонаж Базз Лайтер из мультфильма «История игрушек»). Согласно оценке уважаемых компаний, сокровища пояса астероидов – никель, железо, магний, платина – стоят, по сегодняшним ценам, около 700 квинтиллионов долларов (7×10^{20}) – по сто миллиардов на каждого из 7 млрд жителей Земли. Естественно, что ориентированная на дальнее стратегическое мышление стартапная промышленность начала активно продвигать идею освоения внеземных ресурсов.

Компании *Deep Space Industries* и *Planetary Resources* довольно долго развивали перед сообществом идею создания «заправок в космосе» (использования астероидной и лунной воды

в качестве источника кислорода и водорода для будущих ракетных полетов в дальний космос), да и астероидные квинтиллионы продолжают будоражить венчурное сообщество. Но с космическими ресурсами, вообще говоря, проблемы две.

Первая – это запредельно дорогая логистика. Что-то строить из астероидных или лунных материалов имеет смысл только на Луне или на астероидах, в крайнем случае – на околоземной орбите. Доставлять космические материалы на Землю настолько дорого, что бизнес-план «не сходится» даже для самородной платины. «Космическую заправку» же можно строить только в ожидании большого объема перевозок по Солнечной системе – иначе, опять же, строительство не окупится.

Вторая проблема космических старателей – правовая.

Государства, помимо прочего, обладают уникальным статусом с точки зрения космического права. Согласно

Пока что идея добычи ресурсов на других небесных телах обеспечивает стабильную прибыль только создателям компьютерных игр. Скриншот из проекта игры *Space Mining*.
Источник: <https://steamstat.ru/>





Судьба космического предпринимательства решается в кабинетах ООН

действующим нормам, до сих пор с формальной точки зрения участниками космической деятельности остаются только государства. Не частные фирмы. Словосочетание «частная космонавтика» особого физического смысла не имеет, поскольку с точки зрения международного права легитимный космический аппарат должен быть обязательно закреплен в специальном реестре ООН за так называемым «запускающим государством». Американские военные иногда не регистрируют свои звездолеты, но это – явление штучное и на общую картину особенно не влияющее.

Более того, специфика правового регулирования в космосе – это абсолютная ответственность государств за ущерб третьей стороны в ходе космической деятельности плюс запрет на национальное присвоение участков космического пространства, Луны и небесных тел, в соответствии с подписанным в январе 1967 г. США, Великобританией и Советским Союзом Договором о космосе и рядом последующих документов, развивающих его положения.

В условиях, когда присваивать лунные территории и астероиды нельзя, вопрос о допустимости коммерческого

использования космических ресурсов остается правовой лакуной.

США и Люксембург приняли недавно национальные правовые акты, поощряющие национальных игроков к коммерциализации ресурсов – сочли, что можно. Позиция российского МИДа сугубо сдержанная и поддерживает скорее концепцию космоса

как общего наследия человечества. Соответствующие нормотворческие процессы идут прямо сейчас, но пока и политика, и экономика, и право не очень благоприятствуют развитию космической «золотой лихорадки». Впрочем, как говорят, будем наблюдать.

ЗАЩИТНИКИ ГАЛАКТИКИ

Другое комплексное направление для потенциальной коммерциализации – различные системы безопасности, призванные защитить как человечество в целом, так и различные составляющие нашей планетарной инфраструктуры. Например, от опасно сближающегося с Землей астероида. Или космические аппараты – от космического мусора. Здесь основная проблема из области тарификации – кто и как будет платить частному сектору за спасение человечества?..

В свое время один из сколковских стартапов (как, собственно, и некоторые зарубежные коллеги) предлагал коммерческую модель: за деньги продавать операторам спутниковых группировок связи на геостационаре полученные с помощью сети наземных телескопов сведения о прогнозе опасных сближений, в режиме подписки, бюллетеней или персональных предупреждений. Если уговорить еще и страховые

компания дифференцировать тарифы в зависимости от того, есть у оператора подписка на услуги предупреждения, чтобы мог спутники слегка отводить, или нет – бизнес, в принципе, мог бы получиться. Можно добавить универсальный в таких случаях инструмент – рекламные наклейки на борту спутников, спасающих Землю, – только не ясно, хватит ли рекламных поступлений, чтобы окупить соответствующие бюджеты. Все равно, рано или поздно все упирается в роль государств (или даже межгосударственных объединений) как заказчиков и финансистов для проектов такого рода.

ЖЕЛЕЗНЫЙ ЧЕЛОВЕК, ЧАСТЬ СЛЕДУЮЩАЯ

Наконец, всеобщее внимание, сильно разнящееся по степени доброжелательности, но неизменно пристальное, привлекают новые проекты Маска и *SpaceX* – Межпланетная транспортная система (ITS) и марсианско-лунный корабль *Starship*. Разбор полетов – в основном, понятно, будущих – достоин отдельного большого материала; однако субъективное авторское мнение сведится, пожалуй, к трем тезисам.

Тезис первый – *SpaceX* снова впереди планеты всей. Довести технические планы, напрямую связанные с массовой отправкой людей на Марс, даже не говоря об идее колонизации планеты, до полноразмерного железа и начать испытания этого железа – так никто еще не делал, на этом пути может появиться много интересного как с технологической, так и с бизнесовой точки зрения, и тут Илону Маску можно и нужно поаплодировать.



Архивный кадр из 90-х. Кажется, с помощью рекламных наклеек и макетов коммерциализировать можно что угодно

Тезис второй – не все успехи экстраполируются. Несомненные успехи *SpaceX* и ее основателя до сего момента были связаны с инновациями организационного, программного, коммерческого характера. Доступность рынка материалов и комплектующих, отчетов и разработок ведущих ракетостроительных компаний и NASA, отсутствие обременения текущими программами и обязательствами, готовность идти на риск, релевантность стремлениям госзаказчиков к ограничению монополизма на рынке – все это позволило создать ведущего сегодня в мире оператора пусковых услуг и одного из двух-трех поставщиков логистических услуг для МКС.

Вопрос, насколько все это доказывает адекватность тех инженерных идей и предполагаемых технико-экономических прорывов, которые закладываются в основу ITS, включая использование «нержавейки» вместо привычных уже легких сплавов, схема с полуступенчатой метан-кислородным носителем, закладываемый уровень многообразности... Беспристрастного, неангажированного инженерного анализа

никто еще общественности не продемонстрировал.

Тезис третий – нужна бизнес-модель. Представима система ценностей и межпланетного стратегического планирования, в которой имеет некий смысл и колонизация Марса, и эксплуатация лунных ресурсов; но представить себе, как такого рода проект – или любые его составляющие – могут продемонстрировать даже намек на окупаемость без титанического государственного финансирования – довольно сложно. Ссылки на освоение Америк не работают, поскольку затраты на отправку через Атлантику колонистов были вполне сопоставимы с расходами, которые были готовы нести и сами колонисты, по разным причинам стремящиеся к жизни на новом месте и на новых принципах, и разного рода коммерческие организации, ориентированные на вывоз серебра и разного другого полезного. Для Солнечной системы ничего похожего нет и в ближайшее время не предвидится, а значит, объем финансирования марсианских устремлений *SpaceX* будет волей-неволей ограничен возможностями реинвестирования чистой прибыли от более коммерческих начинаний компании. До того момента, когда (и если) подоспеет государственное финансирование – или обнаружится существенная технологическая синергия между техническими средствами межпланетной экспансии и решениями, применимыми на практике в районе Земли.

* * *

Несмотря на все трудности и неоднозначности, космический бизнес остается сегодня привлекательным для инвесторов и инноваторов самого разного свойства. В ноябре 2019 г. на канале CNBC вышел «Путеводитель инвестора по космосу», где космос, соответственно, назван «следующей отраслью Уолл-стрит в триллион долларов». Сегодня из триллиона где-то 300–400 миллиардов – существующий космический бизнес и государственные расходы. Остальное, надо полагать, предполагается «добывать» новыми широкополосными услугами, космическим туризмом и коммерческим освоением космического пространства и небесных тел.

Кажется, в части проектов полного цикла – от начала до конца, от привлечения финансирования до извлечения монетарных результатов – частный бизнес уже вполне доминирует на околоземной орбите, где космическая связь, навигация и наблюдение Земли все больше и больше становятся скорее бизнес-практиками, нежели прорывными направлениями развития человеческой мысли и технологий. В качестве приоритета национальной космической политики США анонсирована коммерциализация и пилотируемого околоземного космоса. А вот как – и какие! – будут привлекаться ресурсы к освоению дальнего космоса – покажет будущее. Оно, во всяком случае, будет интересным.

Основываясь на более или менее общедоступных материалах, мы сформулировали десятку наиболее актуальных направлений технологического развития сегодняшней космонавтики. Это те технологии, которые будут определять развитие технических возможностей как государственных программ, так и проектов частного бизнеса в ближайшем десятилетии.

1. Развертывание высокоскоростных систем широкополосного доступа в Интернет на геостационарной орбите (ШПД).
2. Создание орбитальных группировок малых космических аппаратов на средних и низких орбитах в интересах широкополосного доступа и подвижной связи.

3. Создание многоспутниковых группировок малых космических аппаратов для низкоскоростного обмена данными в интересах связи между подвижными объектами (М2М) и «Интернета вещей».
4. Создание многоспутниковых низкоорбитальных группировок КА дистанционного зондирования Земли с высокой периодичностью обзора.
5. Выход на рынок первых «терабитных» тяжелых геостационарных спутников (широкополосный доступ с общей пропускной способностью 1 тбит/с).
6. Развитие концепции «электрических спутников», использование электроракетных двигателей как для стабилизации, так и для коррекции орбиты.
7. Лазерные межспутниковые коммуникации.
8. Уверенное использование возвращаемых первых ступеней ракет-носителей и исследования по другим направлениям многоразовости.
9. Развитие технологий орбитального обслуживания, включая дозаправку.
10. Развитие использования аддитивных технологий для упрощения и ускорения создания космических аппаратов.

Информация

Испытательный полет американского корабля

22 декабря 2019 г. американский беспилотный частично многоразовый космический корабль CST-100 Starliner компании «Боинг» совершил успешную, мягкую посадку в пустыне Уайт-Сэндс в штате Нью-Мексико, раскрыв все три основных парашюта, после того как не смог состыковаться с МКС, поскольку сжег много топлива после выведения на орбиту. Манекен Роузи, игравшая роль пилота, осталась невредима, как и рождественские подарки, одежда и еда, которые должны были доставить экипажу МКС.

Компания «Боинг» продолжает выяснять, почему произошла ошибка в системе расчета полетного времени. Корабль стартовал 20 декабря с мыса Канаверал (Флорида) с помощью ракеты-носителя «Атлас-5». Беспилотный запуск прошел штатно, однако примерно через полчаса стало ясно, что Starliner не сможет достичь запланированной орбиты из-за ошибки в системе расчета полетного времени. Миссия не считается провальной, поскольку протестирована система посадки аппарата на Землю.



Спускаемый аппарат корабля «Starliner» на месте своей посадки в пустыне в Нью-Мексико. Фото NASA

С июля 2011 г., когда из эксплуатации вывели корабли «Спейс Шаттл» (ЗиВ, 2011, № 6, с. 110–111), к МКС летают исключительно российские корабли «Союз», доставляющие на станцию экипаж. NASA создает собственные корабли, способные отправить астронавтов к МКС, чтобы отказаться от полетов на «Союзах» и перестать быть зависимыми от России. Детище Илона Маска компания SpaceX разработала пилотируемый корабль Crew Dragon, который в марте уже провел один беспилотный полет, а первый запуск CST-100 неоднократно переносили.

Пресс-релиз NASA, 22 декабря 2019 г.

КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В 2019 ГОДУ. ХРОНИКА НАУЧНЫХ ЗАПУСКОВ И ОСНОВНЫХ СОБЫТИЙ

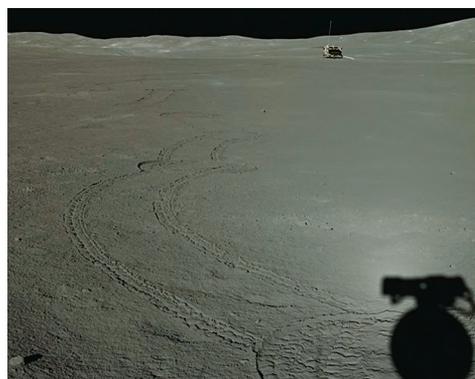
1 ЯНВАРЯ 2019 г. КА *New Horizons* (NASA) прошел на минимальном расстоянии 3538,5 км от объекта 2014 MU69 (полное официальное наименование 486958 Аррокот) в 43,3 а.е. от Солнца. Первые результаты обработки переданных данных были опубликованы в журнале *Science* 17 мая.

3 ЯНВАРЯ посадочный аппарат «Чанъэ-4» (*Chang'e 4*) с луноходом «Юйту-2» (*Yutu 2*, Китай) впервые в мире совершил посадку на обратной стороне Луны в районе кратера фон Карман. КА и луноход продолжают работу спустя более чем год после посадки.

13 ФЕВРАЛЯ NASA объявило о завершении миссии марсохода *Opportunity* (проект *Mars Exploration Rovers*). Вместе с марсоходом *Spirit* (его миссия была официально завершена 24 мая 2011 г.) *Opportunity* был выведен в космос 7 июля 2003 г. и опустился на поверхности Марса 25 января 2004 г. Связь с марсоходом была потеряна еще 10 июня 2018 г., но попытки связи продолжались еще более полугода.



Opportunity at Perseverance Valley
Endeavour Crater on Mars
Sol 5074 June 2018
Credit: NASA, JPL, Cornell, Ken Kremer, Marco Di Lorenzo



Посадочный аппарат «Чанъэ-4» в июле 2019 г. Фотография сделана камерами марсохода «Юйту-2» (тень на снимке принадлежит ему), обработка Дуга Эллисона. Изображение: CNSA/CLEP/Doug Ellison

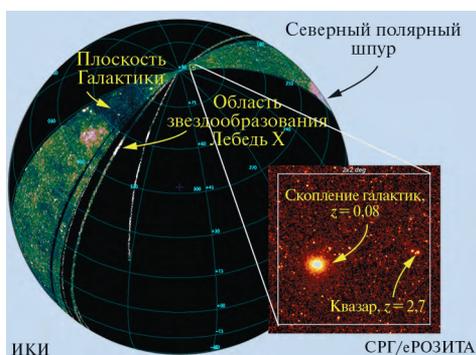
22 ФЕВРАЛЯ (21 февраля по местному времени) с космодрома на мысе Канаверал с помощью ракеты-носителя *Falcon 9* была запущена израильская лунная посадочная станция «Берешит» (*Beresheet*). Предполагалось, что она проработает на поверхности Луны около двух суток, но из-за нештатной ситуации аппарат не смог совершить мягкую посадку и разбился о поверхность Луны **11 АПРЕЛЯ**.

Пейзаж Долины
Настойчивости на Марсе,
как ее запечатлел марсоход
Opportunity в июне 2018 г.
(мозаика изображений камеры
NavCam). Изображение: Robert
Nemiroff (MTU) & Jerry Bonnell
(USRA)

19 МАРТА в Москве в Государственном научном центре Институте медико-биологических проблем (ИМБП) Российской Академии наук начался четырехмесячный международный эксперимент SIRIUS-19, в рамках которого международная группа из шести исследователей в наземном медикотехническом комплексе ИМБП моделировала работу космического экипажа при полете на Луну. Эксперимент завершился **17 ИЮЛЯ** 2019 г. В его ходе испытатели выполнили 79 экспериментов по изучению влияния изоляции на психологию и физиологию человека. Работу над проектом SIRIUS (Scientific International Research In Unique terrestrial Station, «Научное международное исследование в уникальном наземном комплексе») ведут совместно ИМБП РАН и директорат Программы по исследованию человека (Human Research Program) NASA в кооперации с организациями-партнерами при широком участии специалистов из России, США, Германии, Франции, Италии, Бельгии и других стран. Проект включает серию изоляционных экспериментов с различной продолжительностью. Первый этап – 17-суточная изоляция (7–24 ноября 2017 г.). Следующий, восьмимесячный эксперимент SIRIUS-20 планируется начать в третьем квартале 2020 г. За ним должен последовать эксперимент по годовой изоляции в 2022 г. Дополнительные годовые эксперименты последуют в 2023–2025 гг.

30 МАЯ на заседании государственной комиссии ГК «Роскосмос» было принято решение прекратить попытки восстановления связи с КА «Спектр-Р», потерянной в январе 2019 г., и завершить проект «РадиоАстрон».

5 ИЮЛЯ с космодрома Восточный с помощью ракеты-носителя «Союз-2.1а» с разгонным блоком «Фрегат» на геостационарную орбиту выведен космический аппарат дистанционного зондирования Земли «Метеор-М» № 2-2, а также кластер



Карта половины всего неба в диапазоне 0,4–2 кэВ, полученная телескопом СРГ/еРОЗИТА в ходе первого месяца обзора всего неба. Яркая диффузная область в правой части галактики – «Северный полярный шпур», область повышенной яркости радиоизлучения в форме дуги. Другая яркая область вблизи плоскости Галактики – это область звездообразования в нашей Галактике Лебедь X. На врезке – участок неба (2 × 2 градуса) с лучшим разрешением. Z характеризует красное смещение линий из-за расширения Вселенной в спектрах объектов, находящихся на космологических расстояниях от нас (с) СРГ/еРОЗИТА/ИКИ

из иностранных малых космических аппаратов и трех российских университетских спутников: «Сократ», «АмурСат» и «ВДНХ-80». «Метеор-М» № 2-2 предназначен для нужд метеорологии и стал третьим аппаратом космического комплекса «Метеор-3М» для оперативного получения глобальной гидрометеорологической информации.

13 ИЮЛЯ с космодрома Байконур с помощью ракеты-носителя «Протон-М» с разгонным блоком ДМ-03 была запущена орбитальная рентгеновская обсерватория «Спектр-РГ», российский проект с участием Германии. Обсерватория включает два рентгеновских зеркальных телескопа: ART-XC (Россия) и eROSITA (Германия), установленных на космической платформе «Навигатор» (Россия). Обсерватория успешно совершила перелет



Момент касания КА Hayabusa 2 поверхности астероида Рюгу 11 июля 2019 г. (второй забор грунта). Камера САМ-Н. Изображение: JAXA

в окрестность точки Лагранжа L_2 на расстоянии полутора миллионов километров от Земли и начала обзор всего неба. 8 декабря спутник совершил первый оборот вокруг оси, направленной в сторону Земли. Таким образом, был произведен пробный скан вдоль большого круга на небесной сфере, ознаменовавший начало перехода к обзору всего неба, который должен продлиться 4 года.



Запуск КА «Электро-Л» № 3 24 декабря 2019 г. Фото: КЦ «Южный»/Роскосмос

22 ИЮЛЯ из Космического центра имени Сатиша Дхавана на о. Шрихарикота ракета-носитель GSLV Mk III вывела в космос аппарат «Чандраяан-2» (*Chandrayaan-2*) – вторая автоматическая межпланетная станция Индийской организации космических исследований (ISRO) для исследования Луны с орбиты высотой 100 км и с поверхности, в том числе с помощью лунохода. На этапе спуска на поверхность Луны была потеряна связь с посадочным модулем «Викрам» (*Vikram*) с луноходом «Прагьян» (*Pragyan*) на борту. Восстановить связь не удалось, миссия завершилась аварией.

13 НОЯБРЯ японская АМС «Хаябуса-2» (*Hayabusa 2*) включила двигатели в рамках маневра схождения с орбиты и возвращения к Земле после более чем полуторалетнего исследования малого небесного тела Рюгу (162173 Ryugu) – астероида класса С. В 2019 г. АМС получила образцы вещества астероида с его поверхности, так и из внутренних слоев. Прибытие аппарата с образцами ожидается в декабре 2020 г.

18 ДЕКАБРЯ из космодрома Куру во Французской Гвиане осуществлен пуск ракеты-носителя «Союз-СТ-А» с разгонным блоком «Фрегат» и пятью спутниками на борту, в том числе КА «Хеопс» (*Cheops*, Characterising ExOPlanets Satellite), разработанным в рамках программы фундаментальных космических исследований Европейского космического агентства (ЕКА) для изучения условий на уже известных экзопланетах, вращающихся вокруг ближайших к Солнечной системе звезд и поиска новых экзопланет при помощи транзитного метода.

24 ДЕКАБРЯ с космодрома Байконур состоялся пуск ракеты-носителя «Протон-М» с разгонным блоком ДМ-03 и российским гидрометеорологическим космическим аппаратом «Электро-Л» № 3.

ПРОДОЛЖАЮЩИЕСЯ РОССИЙСКИЕ МИССИИ И ЭКСПЕРИМЕНТЫ В 2019 ГОДУ

- Автоматическая межпланетная станция «**БепиКоломбо**» (*BepiColombo*), европейско-японская миссия с российским участием по исследованию Меркурия (выведена в космос 20.10.2018). В состав полезной нагрузки миссии включены четыре российских прибора: Меркурианский гамма- и нейтронный спектрометр МГНС; ультрафиолетовый спектрометр для измерения состава и динамики экзосферы Меркурия PHEBUS (Probing of Hermean Exosphere by Ultraviolet Spectroscopy); камера наблюдения в лучах натрия MSASI (Mercury Sodium Atmospheric Spectral Imager), разрабатываемая в кооперации России и Японии; панорамный энерго-масс-спектрометр положительно заряженных ионов PICAM (Planetary Ion Camera) в составе плазменного комплекса SERENA, совместная разработка ученых Австрии, Франции и России. Первый гравитационный маневр у Меркурия АМС должен совершить в октябре 2021 г.

- Космический аппарат **Trace Gas Orbiter** (ТГО/ТГО) российско-европейской миссии «ЭкзоМарс-2016» (первый этап проекта «**ЭкзоМарс**»/*ExoMars* с запуском 16.03.2016) для изучения атмосферы и поверхности Марса. На борту ТГО работают два прибора, созданные в России: спектрометрический комплекс ACS для исследований атмосферы Марса и нейтронный детектор FRENД для нейтронного зондирования грунта планеты.

- Университетский спутник «**Михайло Ломоносов**» (запуск 28.04.2016) для исследования космических лучей предельно высоких энергий, транзитных световых явлений в верхней атмосфере Земли, гамма-всплесков, магнитосферных частиц и радиационной обстановки.

- Российский прибор **ДАН** на борту марсохода *Curiosity* (аппарат *Mars Science Laboratory*, НАСА, запуск 26.11.2011 г.), изучение распределения водяного льда в марсианском грунте в кратере Гейла.

- Российский нейтронный телескоп **ЛЕНД** (космический аппарат LRO, НАСА, запуск 19.06.2009 г.), исследования нейтронного альbedo Луны.

- **IBEX** (НАСА, запуск 19.10.2008), изучение взаимодействия гелиосферы с межзвездной средой по распределению энергичных нейтральных атомов (ЭНА), приходящих с границ гелиосферы (участие российских ученых в научной программе).

- Космический аппарат **Mars Express** (ЕКА, запуск 02.06.2004), исследования Марса с орбиты (участие российских ученых в спектрометрах OMEGA, SPICAM, PFS; участие в экспериментах на уровне соисследователей).

- Рентгеновская астрофизическая обсерватория **Integral** (ЕКА, запуск 17.10.2002), 25% наблюдательного времени принадлежит России.

- Российский нейтронный детектор **ХЕНД** (космический аппарат *Mars Odyssey*, НАСА, запуск 07.04.2001), наблюдения нейтронного альbedo Марса и нейтронной составляющей космической среды с орбиты искусственного спутника Марса.

- Российско-американский эксперимент **КОНУС-ВИНД** (космической аппарат *Wind*, НАСА, запуск 01.11.1994) по регистрации и исследованию космических гамма-всплесков и мягких гамма-репитеров с помощью российской научной аппаратуры КОНУС на борту американского космического аппарата *Wind* (входит в сеть международной сети наблюдений гамма-всплесков IPN, InterPlanetary Network).

- Также на орбите продолжают работу **российские КА дистанционного зондирования Земли**: «Ресурс-П» № 1 (25.06.2013), «Канопус-В» № 1 (22.07.2012), «Канопус-В-ИК» (14.07.2017), «Канопус-В» № 3 и «Канопус-В» № 4 (01.02.2018), «Электро-Л» № 2 (11.12.2015); «Метеор-М» № 2 (8.07.2014).

Информация

Маленький телескоп, который смог

30 января 2020 г. официально закончил свою работу на орбите космический инфракрасный телескоп NASA «Спитцер» (*Spitzer*), прослуживший астрономам почти 17 лет. Этот инструмент был создан в рамках программы «Великие обсерватории», в которую помимо него входят такие известные космические инструменты, как оптический телескоп им. Хаббла, рентгеновский телескоп «Чандра» (*Chandra*) и гамма-обсерватория «Комптон» (*Compton*).

Телескоп «Спитцер» был запущен 25 августа 2003 г. Изначально предполагалось, что минимальный срок его службы должен составлять два с половиной года, однако инструмент только в «холодном» режиме проработал более пяти с половиной лет.



Молекулярное облако Ро Змееносца – область звездообразования в 407 световых годах от Земли. Изображение получено с помощью телескопа «Спитцер». Источник: NASA/JPL–Caltech/Harvard-Smithsonian CfA

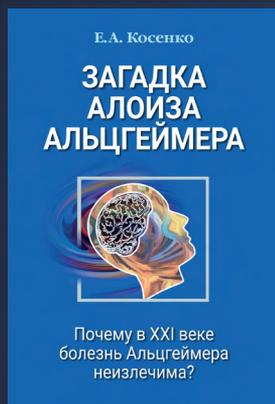
Поскольку «Спитцер» создавался для наблюдений в инфракрасном – то есть преимущественно тепловом – диапазоне спектра, для повышения эффективности потребовалось охладить сам инструмент до температуры всего на 5 градусов выше абсолютного нуля (–268 градусов Цельсия). Для этой цели на борту обсерватории имелся бак с жидким гелием. Охлаждение аппарата с помощью жидкого гелия существенно уменьшило его собственные тепловые шумы и позволило ему наблюдать с высокой точностью одни из самых древних и холодных объектов во Вселенной: такие как древние далекие галактики (возрастом более 13 млрд лет), пылевую составляющую нашей Галактики, молекулярные облака, которые являются «строительным материалом» для звезд и колыбелями молодых звезд, и многое другое. Так, например, в 2005 г. «Спитцер» стал первым инструментом, который позволил непосредственно наблюдать собственное инфракрасное излучение атмосфер внесолнечных планет – «горячих юпитеров» HD209458 b и TrES-1b.

В 2009 г. запасы хладагента подошли к концу, но «Спитцер» еще почти одиннадцать лет продолжал работу в так называемом «теплом» режиме, наблюдая объекты Солнечной системы, внесолнечные планеты и галактики ранней Вселенной. В частности, телескоп позволил обнаружить аж семь планет в системе TRAPPIST-1, имеющих размеры, сравнимые с размерами Земли, а также ранее неизвестное кольцо Сатурна, наблюдал десятки астероидов и комет.

В прощальной речи менеджер проекта «Спитцер» Джозеф Хант (Joseph Hunt) сказал, что все, кто работал над проектом, могут гордиться богатейшим технологическим и научным наследием, которое оставил «маленький телескоп, который смог».

По материалам NASA

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



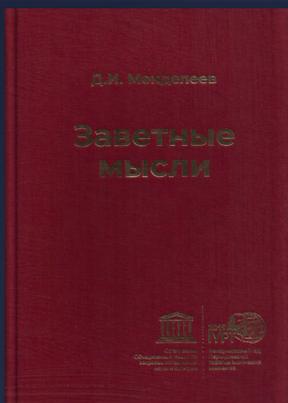
Косенко Е.А.

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.



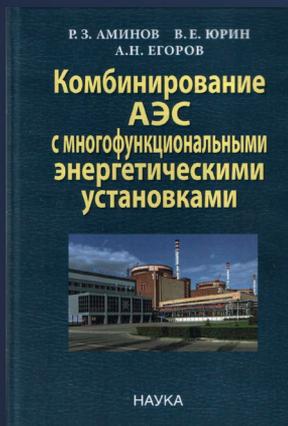
Менделеев Д.И.

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



Олоф Рёмер.
Середина 1660-х гг.



Ректор Копенгагенского
университета Эразм Бартолин



Жан-Феликс Пикар

С 1669 г. Рёмер стал его помощником и даже жил в его доме, а в дальнейшем женился на его дочери².

В 1664 г. Э. Бартолину было поручено пересмотреть и издать неопубликованные наблюдения Тихо Браге (1546–1601; ЗиВ, 1996, № 6), купленные датским королем у сына Иоганна Кеплера (1571–1630; ЗиВ, 1971, № 6). Рёмер также принял участие в этой работе.

Встреча в 1671 г. с Ж.-Ф. Пикаром³, направленным Парижской академией в Данию для уточнения координат обсерватории Тихо Браге, окончательно

но изменила жизненный путь Рёмера. Имя великого датчанина, память о его уникальных астрономических обсерваториях-замках Ураниенборг и Стърнеборг на острове Вен (в проливе Эресунн между Данией и Швецией) жили в памяти европейских астрономов. Но особый интерес к историческому месту проявил Пикар.

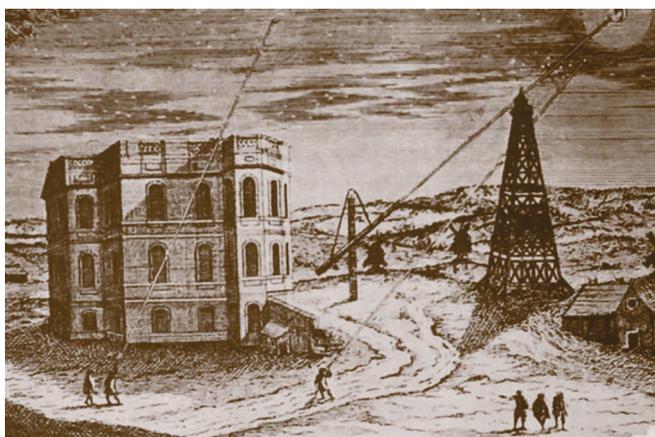
В 1671 г. Ж.-Ф. Пикар приехал в Данию с целью найти остатки и определить координаты обсерватории Тихо Браге, чтобы сравнивать наблюдения Тихо с новыми, выполненными в Париже. Бартолин и Рёмер включаются в это мероприятие. Рёмер становится ревностным помощником Пикара в поисках следов легендарной обсерватории Тихо. От блистательных Ураниенборга и Стърнеборга осталась к этому времени лишь... яма, наполненная мусором! Но координаты этого места, где почти век назад работал Браге, Пикар вместе с Рёмером в 1671–1672 гг. определили⁴.

Пораженный энтузиазмом своего молодого помощника, его познаниями и начитанностью, Пикар увозит Рёме-

² Там же.

³ Жан-Феликс Пикар (1620–1682; ЗиВ, 1996, № 2) – сначала священник, затем ученик известного физика, выдающегося астронома-наблюдателя и геодезиста П. Гассенди, и его преемник в первом высшем учебном заведении Франции – Коллеж де Франс, один из основателей Парижской обсерватории и один из первых членов Парижской академии (основана в 1666 г.). В 1669 г. Пикар произвел под Парижем (в Жювизи) первое очень точное измерение длины градуса (с ошибкой лишь в 9 м!), впервые применив угломерные инструменты (квадранты, секстанты), снабженные зрительными трубами (опубликовано в 1671 г.). В 1679 г. он начал издавать первый во Франции астрономический ежегодник «*Connaissance des temps*».

⁴ Результаты этой успешной экспедиции были опубликованы в соч. Пикара: *Voyage d'Uranienburg*. Paris, 1680.



Парижская обсерватория в замке Марли. 1667 г.



Джованни Доменико (Жан Доминик) Кассини. Гравюра XVIII в.

ра с собой в Париж, пригласив его работать в Парижской обсерватории у знаменитого французского астронома Дж.Д. Кассини (1625–1712, приглашенного из Италии и с 1669 г. первого директора Парижской обсерватории; ЗиВ, 1976, № 1). Пикар и сам стал ее сотрудником. Начинается основной, пятилетний период научной жизни Рёмера, завершившийся его главным достижением как астронома, которое стало одним из фундаментальных открытий в физике.

Две многовековые научные проблемы стояли тогда перед человечеством: в астрономии после Н. Коперника – обнаружить движение Земли (параллаксы у звезд), а в физике еще более ранняя – проникнуть в загадочную природу света, который, как показывали все наблюдения, распространялся от источника мгновенно. Если для решения первой задачи, возникшей с появлением гелиоцентрической теории мира (и окончательно решенной лишь в первой трети XIX в.), потребовалось достаточное развитие измерительной астрономической техники, то в решении второй главную роль сыграли не только наблюдения, но и острый, смелый аналитический ум Рёмера. Необходимым услови-

ем стали и первые успехи оптической астрономии, явно пошатнувшие основы геоцентрической картины мира с открытием Галилеем в 1610 г. спутников у другой, помимо Земли, планеты – Юпитера (ЗиВ, 1965, № 1).

Школьные и студенческие годы Рёмера совпали со стремительным прогрессом в оптической астрономии. Это была первая эпоха расцвета рефракторов (первых настоящих телескопов – изобретение Кеплера, – сменивших пионерские, но непригодные для измерений зрительные трубы Галилея). Именно с ними были сделаны уже в XVII в. основные наблюдательные открытия, прежде всего, в Солнечной системе, в т.ч. имевшие большое практическое значение.

В 1652 г. итальянский физик и астроном Джованни Баттиста Ходиерна (1597–1660, Сицилия) открыл в системе Юпитера явление затмений его спутников. В 1665 г. итальянец Джованни А. Борелли (1608–1679) создал первую теорию движения спутников Юпитера.

В 1668 г. Дж.Д. Кассини составил первые точные таблицы движения спутников Юпитера с расчетом моментов их затмений (входа в тень и выхода

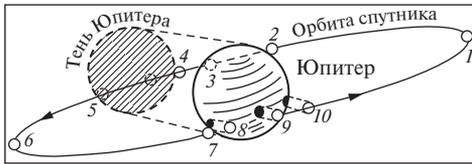
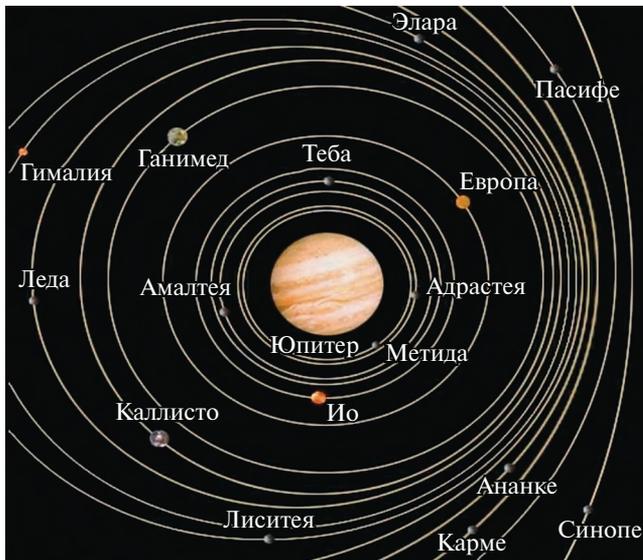


Схема затмений спутника Юпитера.
Рисунок из голландского «Атласа Вселенной»
Б. Эрнста и Т. де Фриза, 1958 г.

из тени Юпитера). Эти таблицы стали опорой нового метода определения долготы на море – из сравнения моментов затмений спутников Юпитера, отмеченных на корабле, с их моментами, рассчитанными для долготы Парижа (от которого тогда отсчитывались долготы). Земля поворачивается в своем осевом вращении с запада на восток на 15° за 1 час. Различие момента начала затмения спутника Юпитера на месте (в море) и его табличного значения, вычисленного для Парижа, измеренное в часах и умноженное на 15, покажет долготу места. Подобный метод был предложен для определения долгот на море еще Галилеем (по разнице моментов покрытия спутников Юпитером), оказавшись, однако, трудным (из-за качки корабля). Но с развитием настоящего телескопостроения и после открытия затмений спутников

Юпитера⁵ новый метод сменил прежний, менее точный метод «лунных расстояний» – определения долготы по различию моментов одинакового расстояния определенной звезды от Луны, предложенный немецким астрономом и математиком Региомontanом (1436–1476).

Однако и этот многообещающий метод принес неожиданный сюрприз. Рёмер и Пикар, еще работая на острове Вен, а Кассини в Париже, отмечая моменты затмений первого спутника Ио (наиболее близкого к Юпитеру с наименьшим периодом оборота вокруг него), обнаружили их расхождения с табличными, вычисленными данными. Уточнение таблиц затмений спутников Юпитера стало одной из важных практических задач астрономии, чем и занялись Кассини и Рёмер, с 1672 г. новый помощник Кассини в Парижской обсерватории⁶. Кассини и Рёмер обра-



Крупные спутники в системе Юпитера

тили при этом внимание на различие самих расхождений: запаздывание или опережение наблюдаемых моментов затмений. Кассини даже заподозрил было в этом *не бесконечную* скорость света и опубликовал в 1675 г. пару коротких статей по данному факту. Но затем отказался

⁵ Моменты входа в тень планеты и выхода из нее можно было отмечать намного точнее, чем покрытий спутника, то есть исчезновений его за ярким краем диска Юпитера.

⁶ Новые, более точные таблицы, были составлены Дж. Кассини в 1693 г.

от своей гипотезы: для него эффект так и остался загадкой.

Намного более тщательно исследовал его Рёмер. И тут помогло... достаточно скромное состояние тогдашней оптической астрономии: телескопы XVII в. не улавливали «излишней» информации, открывая астрономам только главные черты Солнечной системы – крупные спутники планет. Первый после галилеевых спутников у Юпитера, пятый спутник Амальтея был открыт только в 1892 г., почти через 300 лет! К концу XX в. у Юпитера открыли с помощью межпланетных автоматических станций более 60 спутников, а в настоящее время их известно уже 79 (ЗиВ, 2018, № 6, с. 67–68)! В такой мешанине малых тел вокруг Юпитера могли затеряться особенности движения четырех его главных «лун» (зд. справа сверху вниз: Ио, Европа, Ганимед, Каллисто).

Восстановить непростой путь Рёмера к своему открытию помог уникальный исторический документ – обнаруженная в библиотеке Копенгагенского университета в 1913 г. страничка рукописи с записями Рёмера своих наблюдений затмений Ио⁷. Этот путь воспроизведен в статье датского профессора К. Ролфса, опубликованной в 1974 г., где приведена и схема из публикации Рёмера (1676 г.), с помощью которой он поясняет свой анализ загадочного эффекта⁸.

⁷ Почти все рукописи Рёмера погибли при пожаре в Копенгагене еще в XVIII в., и находка эта оказалась истинным подарком судьбы (в подтверждение известной булгаковской фразы: «Рукописи не горят...»)!

⁸ В разных общеисторических источниках пишут по-разному: что Рёмер занялся изучением эффекта «около 1675 г.» (!?), первое сообщение его о разгадке эффекта датируется то сентябрем, то ноябрем (22 ноября) 1675 г. В художественном сочинении польского автора А. Вроблевского приведен рисунок, вообще зеркально ошибочно представляющий движение Земли и, таким образом, ход изменения самого эффекта «запаздываний» затмений, вернее отклонений их моментов от



Система спутников Юпитера.
Фото Галилеевых спутников — NASA

Проведя в 1671–1676 гг. длинный ряд наблюдений моментов затмений ближайшего спутника Юпитера Ио, зафиксированных с точностью до секунды, Рёмер выделил в нем два периода. В течение одного отмечались моменты

табличных в разное время наблюдений. Сообщается и о том, что Кассини первым пришел к мысли о конечности скорости света, обнаружив первым запаздывание затмений, но затем отказался от нее (встретив первую отрицательную реакцию на это парижских академиком). Поиски же русских статей через интернет привели (уже не неожиданно) лишь к обнаружению скачанной моей же краткой статьи о Рёмере в *Астрономическом Календаре* на 1994 г. (как обычно, без ссылки, за чужой подписью ...). Наконец, картина исследований Рёмера открылась из статьи датского профессора К. Ролфса, 1974 г. (упоминание о которой обнаружилось в каталоге библиотеки ГАИШ МГУ, где самой литературы, однако, не оказалось). Но она нашлась в отдаленном филиале библиотеки (быв. им. Ленина) в Химках. По ней в основном и излагается здесь история главного открытия Рёмера (как и малоизвестные штрихи его биографии). Автор статьи Kristen Rohlf (Olaf Römer und die Lichtgeschwindigkeit // *«Sterne und Weltraum»*, 1974, № 10, С. 311–314) отмечает незаслуженно малую известность Рёмера из-за языкового барьера: литература о нем публиковалась на датском, а сам он писать не любил, отличаясь крайней краткостью в сообщениях. Поэтому и огромна услуга, оказанная историкам астрономии профессором Ролфсом, опубликовавшим свою статью на немецком. Особенно ценны в ней выдержки и схема анализа наблюдений из редких документов Рёмера.

Ober Johann Hevelius
passifus!

1667	1673
Oct. 22. 10 41 33 Imm.	Apr. 18. 4 22 0 Emers.
no. 26. 16 26 40 Imm.	Apr. 25. 6 19 5 Emers.
1671	Maij 2. 13 12 40 Emers.
Mar. 19. 5 1 44 Emers.	Maij 11. 9 87 39 Emers.
Apr. 27. 5 42 30 Em.	Maij 18. 11 32 34 Emers.
Maij 4. 7 42 30 Emers.	Aug. 4. 8 30 41 Emers.
Apr. 11. 18 15 0 Imm.	Oktoab. 7. 6 33 14 Imm.
Apr. 18. 18 2	Nov. 23. 16 24 42 31 Imm.
Jan. 3. 12 42 36 Imm.	Jan. 31. 9 17 2 Emers.
Jan. 10. 14 32 14 Imm.	1678
Jan. 12. 8 59 22 Imm.	Jul. 20. 8 22 42 Emers.
Feb. 11. 10 57 6 Imm.	Jul. 27. 10 17 31 Emers.
Feb. 20. 7 20 26 Imm.	Oct. 29. 6 7 22 Emers.
Mar. 7. 7 58 28 Emers.	1676
Mar. 14. 9 52 30 Emers.	Maij 12. 14 16 42 Imm.
Mar. 23. 6 17 14 Emers.	Jul. 13. 10 10 10 Imm.
Mar. 24. 13 43 30 Emers.	Aug. 7. 9 49 50 Emers.
Mar. 30. 8 14 46 Emers.	Aug. 14. 11 45 55 Emers.
Apr. 6. 10 11 22 Emers.	Aug. 23. 8 11 13 Emers.
Apr. 13. 12 4 48 Emers.	Nov. 9. 6 47 Imm.
Apr. 22. 8 34 27 Emers.	Jan. 9. 12 23 24 Imm.
Apr. 29. 10 30 6 Emers.	Jan. 16. 14 16 14 Imm.
May. 25. 5 37 5 Imm.	Feb. 9. 14 21 54 Imm.
1673	Feb. 19. 10 47 0 Emers.
Feb. 4. 17 31 10 Imm.	Feb. 25. 12 37 10 Imm.
Feb. 6. 12 0 0 Imm.	Aug. 26. 11 31 50 Emers.
Feb. 13. 13 53 20 Imm.	Sept. 11. 9 34 30 Emers.
Feb. 27. 17 40 10 Imm.	Apr. 18. 7 41 0 Emers.
Mar. 1. 12 9 1 Imm.	Apr. 18. 7 45 0 Emers.
Mar. 15. 16 6 48 Imm.	Apr. 18. 7 45 0 Emers.
Mar. 17. 10 24 16 Imm.	Apr. 18. 7 45 0 Emers.
Mar. 24. 12 24 30 Imm.	Nov. 5. 8 17 30 Emers.
	1678
	Jan. 6. 8 25 47 Emers.

Записи О. Рёмера моментов затмений спутника Ио

окончания затмений (выход спутника из тени Юпитера – *Emersion*), в течение другого – моменты их начала (вхождение в тень планеты – *Immersion*). Рёмер наблюдал шесть моментов конца затмения Ио с 9 h 22 m 0 s 18.04.1673 до 8 h 30 m 41 s 4.08.1673. За этот промежуток времени имел место 61 оборот Ио, так что на один его оборот приходился 1 d 18 h 28 m 46 s. А за предыдущий период – с 28.11.1672. 9 h 37 m 5 s по 24. 03.1673. 12 h 24 m 30 s им наблюдалось 9 моментов погружения Ио в тень от Юпитера, и для одного оборота Ио Рёмер получил значение 1 d 18 m 27 s. Таким образом, средний оборот Ио оказался на этом интервале наблюдений на 1 m 19 s короче. Далее К. Ролфс цитирует пояснения Рёмером своей схемы затмений Ио: «Пусть А – Солнце, В – Юпитер, С – первый спутник, который входит в тень Юпитера, чтобы выйти в D, и E F G H L K – Земля на разных расстояниях от Юпитера. Предпо-

ложим, что Земля, будучи в L (во второй квадратуре Юпитера), увидела первый спутник при его выходе из тени в D; а потом спустя около 42,5 часов (время одного оборота этого спутника), когда он вернется в D, Земля перейдет в K. Ясно, что если свету требуется время, чтобы пересечь промежуток LK, возвращение спутника мы увидим позже, чем не было бы, если бы Земля оставалась в L, так что период обращения этого спутника, наблюдаемый по его появлениям из тени, будет длиннее на столько, сколько времени свет будет проходить из L в K». Истинное орбитальное время для Ио получается как среднее за синодический период Юпитера (399 дней). Такой период, по наблюдениям Рёмера, прошел между 14 марта 1672 г. и 18 апреля 1673 г., что дает для периода Ио – 1 d 18 h 28 m 31 s, то есть время в 61 оборот Ио на интервале наблюдений LK⁹ должно было бы составить 107 d 22 h 59 m 31 s. Но, по

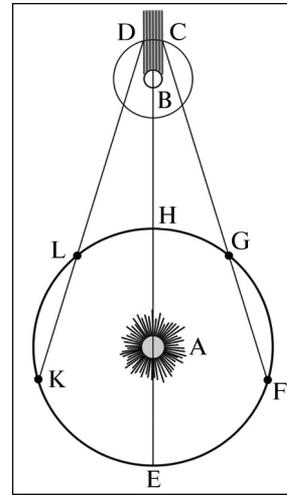


Схема наблюдений О. Рёмера в 1676 г.

⁹В статье К. Ролфса (а быть может у самого Рёмера!) на схеме затмений участок LK трактуется по-разному (и в этом не сразу удалось разобраться): сначала как изменение положения Земли за один оборот Ио, а затем как ее перемещение за 61 оборот спутника.



Королевская академия наук в Париже (в XVII в. – расцвет под покровительством Ж.-Б. Кольбера. Основана им в 1666 г.)

наблюдениям Рёмера, оно оказалось равным $107\text{ d } 23\text{ h } 14\text{ m } 55\text{ s}$, то есть общая задержка (конца затмений Ио) на этом интервале времени составила $15\text{ m } 24\text{ s}$. За второй интервал времени наблюдений затмения в среднем наблюдались чаще табличных значений, не запаздывая, а опережая их. Отбросив мысль об изменении орбитальной скорости спутника (да еще таком «упорядоченном» и с противоположными знаками!), Рёмер убедился, что причина обоих эффектов в изменении расстояния между Землей и Юпитером, о чем уже догадывался Кассини. Рёмеру были известны и догадки Галилея о конечности скорости света и даже его попытки доказать это на опыте по наблюдениям двух отдаленных на несколько км друг от друга наблюдателей с фонарями, как и категорическое отрицание Декартом не мгновенности распространения света (иногда то же приписывают английскому естествоиспытателю и изобретателю Роберту Гуку). Опережение затмений, как стало понятно из последующего объяснения Рёмером эффекта, свидетельствовало о том, что таблицы Кассини составлял вскоре после прохождения Землей точки (H) противостояния с Юпитером, когда период обращения спутника был наименьшим, совпадающим со средним за синодический период Юпитера (399 дней).

Рудольфинские таблицы Кеплера показывали, что расстояние между Землей и Юпитером (LK) за указанный промежуток времени увеличилось на $1,38$ радиуса орбиты Земли. Для преодоления расстояния в 1 радиус земной орбиты свету понадобилось бы: $15\text{ мин } 24\text{ с} : 1,38 = 11\text{ мин } 09\text{ с}$. (В литературе пишут иногда ошибочно, что Рёмер определил непосредственно время, необходимое свету для преодоления диаметра земной орбиты в 22 мин , откуда следовало для преодоления ее радиуса – 11 мин . Но в этот момент Юпитер находится в соединении с Солнцем и не наблюдаем с Земли!) По первой реалистической оценке солнечного параллакса Кассини в $1672\text{ г. } (9,5'')$ радиус земной орбиты (расстояние Земли от Солнца, или астрономическая единица) был оценен Кассини в 140 млн км , откуда Рёмер впервые получил конечное значение скорости света – $140\text{ млн км} : 11\text{ мин } 09\text{ с} = 209268\text{ км/с}$.

В субботу $21\text{ ноября } 1676\text{ г.}^{10}$ Рёмер доложил о своем открытии в Парижской академии наук. Маститые физики-академики не только не поверили столь необычному, немислимому

¹⁰ В историческом предисловии к Справочнику любителя астрономии П.Г. Куликовского (М., 2002, 5-е изд.; ЗиВ, 2002, № 4, с. 109) ошибочно указан 1675 г.



Французский государственный деятель Жан-Батист Кольбер (1619–1683). Художник Philippe de Champaigne, 1666 г. Paris, Petit Palais, Musée Des Beaux-Arts De La Ville De Paris (Picture Gallery)



Нидерландский астроном, механик, физик, математик и изобретатель Христиан Гюйгенс (1629–1695). Художник К. Нетчер, 1671 г. Гаагский исторический музей

результату, но и чуть ли не высмеяли его. Кассини также усомнился в интерпретации Рёмера и отказался от своей же первоначальной гипотезы, оставаясь до конца жизни противником объяснения Рёмером «загадочного эффекта» в затмениях спутников Юпитера.

Лишь нидерландский астроном Христиан Гюйгенс (1629–1695; ЗиВ, 1973, № 3) – один из первых членов Парижской академии наук – сразу оценил результат Рёмера, назвав его «великолепным открытием» в письме осенью того же 1676 г. к Ж.-Б. Кольберу – основателю и попечителю Парижской академии¹¹.

7 декабря 1676 г. в академическом «Журнале наук» появилась первая краткая публикация Рёмера о конечности скорости света – DEMONSTRATION TOUCHANT LE MOUVEMENT de la lumiere trouvé par M. Römer de l'Academie Royale des sciences («Демонстрация, касающаяся движения света, представленная г-ном Рёмером из Королевской академии наук»). В публикации, в частности, сообщалось: «В течение длительного времени философы пытаются в тех или иных опытах решить, переносится ли действие света мгновенно, на каком бы расстоянии ни находился [источник], или это требует времени. Г-н Рёмер из Королевской академии наук показал на основании наблюдений первого спутника Юпитера, что для преодоления расстояния около 3000 льё, равного размеру земного диаметра, свету не требуется и секунды времени».

Благодаря высокому научному авторитету Гюйгенса, академия (за исключением Кассини) спустя два года признала открытие Рёмера. В 1678 г. в отчете Кольберу Парижские академики докладыва-

¹¹ Ж.-Б. Кольбер (1619–1683), всесильный министр, по существу глава правительства при Людовике XIV, откликаясь на просьбы ученых, в 1666 г. убедил короля дать согласие на основание Парижской академии естественных наук.

ли: «С помощью новых наблюдений, господин Рёмер смог подтвердить свое понимание скорости света, утверждая, что это движение не мгновенное... Кассини находит трудности, чтобы принять такое объяснение, и это часто обсуждалось на наших собраниях. Академия, однако, считает, что этот метод... лучший и самый разумный из всего, что было предложено до сих пор».

Крупнейшие ученые того времени: И. Ньютон, Э. Галлей, Г.В. Лейбниц также приняли открытие Рёмера и сослались на него.

По своей роли в истории естествознания и в развитии общей картины мира открытие Рёмера сравнимо с открытиями, сделанными на основании астрономических наблюдений: всемирного тяготения Ньютоном в 1666 г. (ЗиВ, 1993, № 2) и инфракрасного излучения В. Гершелем в 1800 г. (ЗиВ, 2008, № 6).

Но Рёмера ожидали новые сюрпризы. По своим наблюдениям затмений Ио в 1671, 1672, 1673 гг. он получил несколько различное время преодоления светом радиуса земной орбиты: 10 мин 45 с, 11 мин 09 с, 11 мин 28 с. Оценки скорости света колебались: 217054 км/с (140 млн км: 10 м 45 с); 209268 км/с (140 млн км: 11 м 9 с); 203488 км/с (140 млн км: 11 м 28 с)¹². Рёмер перепроверил свои результаты для скорости света как мог и подтвердил их верность. Заниженный общий результат Рёмера объяснялся все еще завышенной в его время оценкой параллакса Солнца и, следовательно, заниженной для величины а.е.¹³ Но причина

¹² Значение скорости света не раз уточнялось в XIX и в XX вв. В результате по рекомендации XV Генеральной конференции по мерам и весам (1975 г.) было решено считать, что скорость света в вакууме равна 299 792,458 км/с ± 1,2 м/с.

¹³ В интернете пишут также (ошибочно!), что Рёмер якобы претендовал лишь на определение нижней границы скорости света (то есть, как бы уже допускал завышенность

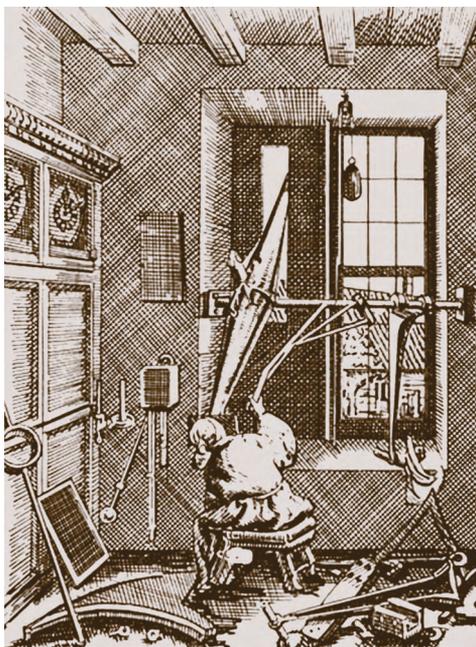


Обсерватория Копенгагенского университета, устроенная в начале 1680-х гг. О. Рёмером на крыше Круглой городской башни

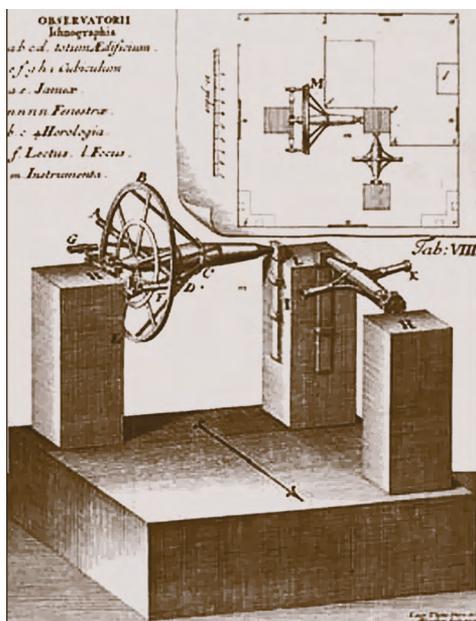
небольших колебаний в запаздывании затмений, отразившаяся на оценках скорости света Рёмером, оказалась реальной (хотя тогда еще необъяснимой), подтвердив высочайшую точность его наблюдений!

Лишь спустя почти три четверти века стала открываться эта дополнительная, небесно-механическая причина различий в оценках Рёмера скорости света по запаздыванию затмений Ио. Новые наблюдения показали, что три соседних внутренних спутника Юпитера (Ио, Европа и Ганимед) имеют почти соизмеримые орбитальные периоды (PI = 1,769 сут, PII = 3,551 сут, PIII = 7,155 сут), следовательно, имеют

в определениях солнечного параллакса!) Но могли ли тогда быть сомнения в правильности первой за всю историю поразительно маленькой оценки солнечного параллакса (и соответствующей оценки а.е.) точнейшим наблюдателем Дж. Кассини?



Первый транзитный (меридианный) круг
О. Рёмера (1681 г.)



Комплекс инструментов Рёмера:
меридианный круг (слева) и пассажный
инструмент (справа)

сильное влияние друг на друга. Шведский небесный механик П.В. Варгентин в 1746 г., а затем английский астроном Дж. Брайден в 1749 г. обнаружили, что взаимное положение трех указанных спутников Юпитера через 436,7 сут с большой точностью повторяется после 247 оборотов первого спутника или 123-х второго или 61-го третьего. Местоположение спутников на их орбитах, таким образом, в течение этого периода нарушается, и время входа или выхода из тени может сместиться на величину до 3 мин 20 с. Французский астроном П.С. Лаплас в конце XVIII в. завершил исследование эффекта, открыв тройной резонанс в движении Ио, Европы и Ганимеда (законы Лапласа). А его проявление впервые открыл Рёмер, доказав и реальность загадочного эффекта.

Но никакие научные достижения не могли противостоять жесткой нетерпимости католической королевской Франции XVII в.¹⁴ Великие астрономы-протестанты Оле Рёмер, как и Христиан Гюйгенс, в конце века должны были ее покинуть. Вернувшись в 1681 г. в Данию, Рёмер получил высокую оценку от короля Фредерика IV – стал профессором астрономии в университете Копенгагена и королевским математиком, создал Королевскую обсерваторию, оснастив ее новыми инструментами своей конструкции.

Автор еще одной статьи о Рёмере копенгагенский профессор астроном С.Э. Стрёмгрен¹⁵ подчеркивает, что Оле Рёмер изобрел и, главное, при этом еще и построил первые современные широко известные ныне астрономические

¹⁴ Между тем Рёмер проявил себя и в других сторонах жизни Франции: был учителем дофина, сына Людовика XIV; принимал участие в создании фонтанов Версаля.

¹⁵ S.E. Strömngren. «Ole Rømers Einsatz in die beobachtende Astronomie» // Die Sterne, 16 Jahrg. Heft 10, 1936, P. 222–226.

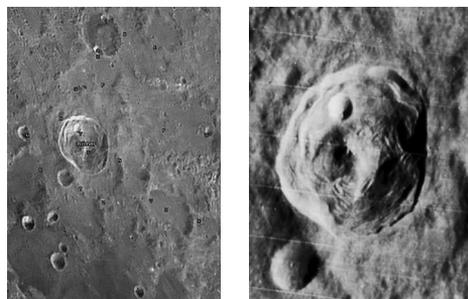


О. Рёмер в поздние годы жизни

инструменты: пассажный инструмент, меридианный круг, два прообраза универсального астрономо-геодезического инструмента (с азимутальной и экваториальной монтировкой, последний был позднее, в 1808 г. изготовлен И.Г. Репсольдом (1770–1830) для Гамбургской обсерватории как телескоп-экваториал) и др. В книге по истории астрономии Г. Форбса подробно описывается второй из них: «В 1681 году Рёмер... построил первый транзитный круг [в дальнейшем названный меридианным кругом – для наблюдений звезд в меридиане в момент их кульминации] на подоконнике своего дома. Железная ось имела пять футов в длину и полдюйма в толщину, а телескоп был закреплен на одном конце с помощью контрпаузы. Труба телескопа представляла собой двойной конус, предотвращающий [ее] прогибание. В фокусе использовались [помещались] три горизонтальных и три вертикальных нити [для фиксирования положения звезды]. Они освещались с помощью зеркала, отражающего свет от фонаря,

установленного над осью близ линзы объектива (the object-glass), для чего верхняя часть трубы телескопа была частично вырезана, чтобы пропускать свет. Для считывания склонений был предусмотрен разделенный круг с указателем и микроскопом для чтения»¹⁶.

Стрёмгрен особенно отмечает как существенный вклад Рёмера – новую монтировку комплекса из двух его первых инструментов – на горизонтальной оси, причем у второго (пассажного инструмента, на рис. справа) предусматривалась возможность переключать инструмент, меняя положения его горизонтальной оси в опорах на противоположные, что исправляет ошибку за неточную ортогональность по отношению к ней трубы. Отмечается им и остроумие Рёмера: расчеты в относительных, а не в абсолютных величинах, например, астрономических расстояний. Следует упомянуть, что Рёмеру принадлежит изобретение и ряда физических приборов, например термометров¹⁷. В «Старых мемуарах парижской академии» были напечатаны некоторые



Древний ударный кратер Рёмер (диаметр 43,7 км, глубина 3,5 км) в юго-западной части Таврских гор к востоку от Моря Ясности на видимой стороне Луны (слева); снимок кратера АМС «Лунар Орбитер-4» (США) в мае 1967 г. (справа)

¹⁶ Georg Forbes. History of Astronomy. London, 1909, p.78.

¹⁷ Термометры описаны в статье Mogens Pihl. на датском языке и менее доступны для автора статьи.



Главный вход в Парижскую обсерваторию со скульптурой У. Лавуазье и мемориальной табличкой (зд. справа), посвященной открытию О. Рёмера. Фото автора, июль 2019 г.



Памятник О. Рёмеру во Врислёмсагле (Дания). Во врезке – надпись на постаменте: «Оле Кристенсен Рёмер измерил скорость света, в астрономии научил определять расстояние до звезд, в физике открыл путь к практическому измерению тепла, в Дании прославился в естественных науках. 1644–1710»

сообщения Рёмера о его изобретениях¹⁸. Общее число его изобретений оценивают едва ли не в 50 инструментов и приборов. Недаром Рёмера называли «северным Архимедом»!

Все рукописи Рёмера, а также инструменты погибли во время трехдневного пожара в Копенгагене в 1728 г., но сохранились их описания в книге

¹⁸ Описанию изобретений Рёмера посвящен ряд статей, напечатанных в издании *Machines approuv. entre 1666 et 1701 par l'Acad. de Paris* (I, 1735). – Примеч. ред.

его ученика Педера Горребоу «Основания астрономии» (1735). Они и положили начало оснащению европейских обсерваторий первыми современными точными измерительными инструментами. В 1913 г., как уже говорилось, нашлась в библиотеке Копенгагенского университета и страничка рукописи с наблюдениями затмений спутника Юпитера (использованная в дальнейшем профессором Ролфсом).

В традиционных поисках параллакса у звезд Рёмер в течение 18 лет

наблюдений в Копенгагене определил склонения и прямые восхождения более 1000 звезд, составив их каталог. К счастью, он уцелел при пожаре (возможно, был уже в напечатанном виде!) и был в дальнейшем использован для определения собственных движений у первых десятков звезд после открытия его в 1718 г. у первых трех Эдмундом Галлеем (ЗиВ, 1982, № 4).

Оле Рёмер дважды был ректором Копенгагенского университета. Будучи королевским математиком, по поручению короля он разработал национальную систему мер и весов для Дании, которую ввели 1 мая 1683 г. В 1705 г. Рёмер был назначен на должности полицеймейстера и бургомистра Копенгагена, которые занимал до конца жизни. Он, в частности, предложил поставить уличные фонари на улицах Копенгагена. Рёмер провел первые градусные измерения в Дании и установил вехи (верстовые столбы) вдоль главных дорог. Наконец, Рёмеру принадлежит заслуга введения в Дании в 1710 г. Григорианского календаря. После возвращения Рёмера на родину в печати (видимо, помимо его звездного каталога) появились два

его сочинения в *Miscellanea Berolinensia: Descriptio luminis borealis* («Описание северного сияния»), I, 1710 и *De instrumento astronomicis observationibus inserviente a se invento* (об изобретенных им астрономических инструментах) III, 1727 (посмертно).

Умер Оле Рёмер 19 сентября (н. ст.) 1710 г. от «каменной болезни» (камней в почках), не дожив 6 дней до своего 66-летия.

Стрёмгрен называет Тихо Браге и Оле Рёмера – двумя эпохальными личностями в истории Дании по их вкладу не только в отечественную, но и в мировую наблюдательную астрономию. Мемориальная табличка с текстом о великом открытии О. Рёмера помещена на здании Парижской обсерватории. В 1935 г. Международный астрономический союз присвоил имя Рёмера древнему кратеру на Луне. Среди бесчисленных памятников в Копенгагене с множеством памятников Тихо Браге и даже Кеплеру, памятника Рёмеру найти не удалось. Но, по некоторым сведениям, недавно в малоизвестном местечке Врислесемагле (Дания) был установлен скромный памятник молодому Оле Рёмеру.

Реклама

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

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

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

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

ПРЕПОДАВАНИЕ АСТРОНОМИИ В МОСКОВСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ В НАЧАЛЕ XIX ВЕКА

ГРИБКО Людмила Павловна,

кандидат физико-математических наук

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

DOI: 10.7868/50044394820020061

В статье идет речь о довольно трудном периоде преподавания астрономии в Московском университете в 1811–1826 гг. Трудности этого периода объясняются разными причинами, и важно выяснить, почему пустовала кафедра астронома-наблюдателя, а также кем, как и когда читались курсы астрономических дисциплин на Физико-математическом отделении Императорского Московского университета (ИМУ).

Профессор МГУ Б.А. Воронцов-Вельяминов в 1956 г. писал: «Регулярное преподавание астрономии в Московском университете началось в 1805 г. Однако и оно продолжалось только до 1812 г., после чего наступил перерыв до 1826 г. Лишь с этого времени астрономия стала постоянным предметом преподавания»¹. Перерывы были, но частично; кафедра пустовала, но по вполне объяснимым,

хотя и печальным причинам. Научный сотрудник Астрономической обсерватории им. В.П. Энгельгардта С.Н. Корытников, изучая вопрос преподавания астрономии в Московском университете, считал, что астрономия практически там не преподавалась в 1813–1823 гг. И далее: «...только переход на преподавание астрономии в 1823–1824 гг. Д.М. Первошикова (воспитанника Казанского ун-та, преподававшего с конца 1818 г. математику в Московском университете) позволил положить основу дальнейшему непрерывному развитию кафедры астрономии»². Такие утверждения не совсем верны по следующим причинам и событиям того непростого периода в жизни Московского университета.

Во-первых, кафедра астрономии (астронома-наблюдателя) на Физико-математическом отделении Московского универ-



Здание Московского университета, восстановленное после пожара 1812 г. в 1817–1818 гг. Фотография здания начала XX в.

¹ Воронцов-Вельяминов Б.А. Очерки истории астрономии в России. – Глава I. Астрономия в русских университетах в первой половине XIX в. М.: Гостехиздат, 1956. С. 107.

² Корытников С.Н. О начальном периоде истории астрономии в Московском университете // ИАИ, М.: Гостехиздат, 1956. Вып. 2. С. 187–188.

ситета опустела весной 1811 г. в связи с кончиной профессора астрономии Христиана Фридриха Гольдбаха (1763–1811). Гольдбах был астрономом-профессионалом, имел опыт работы в европейских обсерваториях: в Париже, Готэ и Лейпциге. В 1804 г. М.Н. Муравьёв пригласил Х.Ф. Гольдбаха для преподавания астрономии. По уставу 1804 г. в Московском университете была создана кафедра астронома-наблюдателя, ее возглавил Гольдбах, получив профессорское звание. Он читал следующие курсы: сферическую тригонометрию с применением к астрономии и с практическими навыками пользования астрономическими инструментами; астрономию сферическую и теоретическую; математическую географию по книге Бодё; гномонику (искусство построения солнечных часов) и хронологию³. Астрономические курсы читал по руководству Вейдлера. В 1811–1812 учебном году лекции по сферической и теоретической астрономии и по другим вышеупомянутым предметам продолжал читать профессор Михаил Иванович Панкевич (1757–1812), который тогда же был и деканом Физико-математического отделения, умер в августе 1812 г. накануне вторжения французов в Москву. Ректор Московского университета, астроном, математик и механик Д.М. Перевощиков (1788–1880; ЗиВ, 1988, № 4) начал читать курсы астрономических наук только в 1824–1825 учебном году.

Во-вторых, продолжалась война с французами на подступах к Москве. Произошло Бородинское сражение, французы вошли в Москву, город был охвачен страшным пожаром в сентябре 1812 г. От пожара пострадало и почти полностью разрушилось

³ Пономарёва Г.А., Щеглов П.В. Роль М.Н. Муравьёва в развитии астрономии в Московском университете // М.: Труды ГАИШ МГУ, 2006. Т. 76. С. 102.



М.Н. Муравьёв (1757–1807) – попечитель Московского университета и Московского учебного округа, сенатор, активный деятель русского просвещения

главное здание университета, построенное архитектором М.Ф. Казаковым в 1786–1793 гг. Там же сгорела первая учебная обсерватория – «астрономический бельведер», возведенная в 1804 г. на крыше главного корпуса при содействии попечителя Московского учебного округа М.Н. Муравьёва. Погибли и астрономические инструменты, тщательно собранные (заказанные в Англии) Муравьёвым: часы Арнольда, морской хронометр, грегорианский телескоп (рефлектор), катоптрическая труба 3-футовая Кария (рефлектор), Гадлеев октант, хронометр, секстант, повторительный круг Бордá – пассажный инструмент работы мастера Кэри (есть версия, что этот инструмент был вывезен Наполеоном из Москвы, но потерян во время отступления) и астрономические инструменты, привезенные Гольдбахом с собой из Германии.

В-третьих, занятия в Московском университете 1812–1813 гг. не проводились или проводились частично, так как Московский университет был эвакуирован в сентябре 1812 г. в Ниж-



А.А. Прокопович-Антонский (1762–1848) – ординарный профессор натуральной истории, декан Физико-математического отделения (1813–1818) и ректор Московского университета (1818–1826)

ний Новгород. Университет вернулся в Москву окончательно 25 июля 1813 г. В феврале 1813 г. умирает известный профессор физики П.И. Страхов, интересующийся астрономией. По словам С.Н. Корытникова, «...какие-то главы астрономии включались в его обширный курс физики по руководству Бриссона, где имелось обстоятельное изложение описательной астрономии». Занятия студентов возобновились осенью 1813 г., хотя главное здание было восстановлено только в 1817–1818 гг. Практические занятия по астрономии, т.е. наблюдения, проводить было негде, обсерваторию не восстановили.

Итак, профессора, которые в числе предметов Физико-математического отделения преподавали и астрономию, умерли, погибли в пожаре ценные астрономические инструменты. Кафедра астронома-наблюдателя с 1811 г. оставалась свободной.

Посмотрим, как постепенно все в Московском университете восстанав-

ливалось, и кто из профессоров, магистров и адъюнктов мог преподавать астрономию в 1813–1826 гг. По Уставу Московского университета 1804 г. в состав Отделения (факультета) физико-математических наук входили следующие кафедры: 1) теоретической и опытной физики, 2) чистой математики, 3) прикладной (или смешанной) математики, 4) наблюдательной астрономии (кафедра астронома-наблюдателя), 5) химии, 6) ботаники, 7) минералогии, 8) сельского домоводства, 9) технологии и наук, относящихся к торговле и фабрикам. Специализации всех кафедр определяли круг тех предметов, которые проходили студенты в течение трех лет обучения на Отделении физико-математических наук, слушая курсы лекций и сдавая экзамены по соответствующим предметам. Деканом факультета мог быть профессор по любому профилю перечисленных выше наук. С августа 1813 г. по май 1818 г. деканом Отделения физико-математических наук был Антон Антонович Прокопович-Антонский (1762–1848) – ординарный профессор натуральной истории, получивший в 1804 г. кафедру сельского хозяйства и минералогии, которую занимал до 1818 г., в 1819–1826 гг. был ректором Московского университета. Тогда считалось, что кафедра прикладной математики может включать в себя такой предмет, как астрономию, поскольку ее разделы могут представлять собой практическое приложение математических методов в изучение окружающего нас мироздания.

Так было задолго до 1812 г., М.И. Панкевич был назначен экстраординарным профессором на кафедру прикладной математики и опытной физики еще в 1791 г., после смерти профессора И.А. Роста (1726–1791). Он читал астрономические предметы по расписанию Роста, которое включало четыре двухчасовые лекции в неделю по понедель-

никам, вторникам, четвергам и пятницам, а именно: сферическую тригонометрию, сферическую и теоретическую астрономию, математическую географию, навигацию и гномонику.

Позже курсы астрономических наук читал Х.Ф. Гольдбах, возглавлявший кафедру астронома-наблюдателя, специально при нем организованную в 1805 г. Панкевич (при Гольдбахе) помимо математических курсов – проводил вместе с Гольдбахом практические занятия по астрономии со студентами в «астрономическом бельведере». Гольдбах же, кроме того, иногда проводил астрономические наблюдения из окна занимаемой им квартиры в ректорском домике во дворе главного университетского корпуса. Способ астрономических наблюдений из окон под крышей дома или обсерватории был обычным правилом.

Астрономические наблюдения в XVIII в. и в начале XIX в. в России таким образом проводились, например, в Академической обсерватории в С.-Петербурге (это 8-угольная башня – теперь музей над зданием библиотеки Академии наук на Васильевском острове). Обсерватория занимала три этажа 8-угольной башни здания Кунсткамеры, завершаясь армиллярной сферой на куполе. Наблюдения велись на переносных астрономических инструментах, которые размещались на двух этажах: в «нижней и средней обсерваториях». В «верхней обсерватории» после пожара 1747 г. астрономические исследования больше не проводились, и она превратилась в склад геодезических инструментов. Астрономические трубы укреплялись на штативах около окон и давали возможность наблюдать небесные светила в открытые окна довольно высоко над горизонтом (до 70°). Результаты наблюдений получались с точностью до 1,5"–3" дуги (в полевых условиях академик В.К. Вишнеvский определял ши-

роту с точностью до 5", а долготу – до 2"). Точность снижалась из-за дрожания инструмента от проезжающих по улице экипажей мимо обсерватории или от не учитывавшихся эффектов: температурных колебаний или от неустойчивого положения штатива, на котором крепилась труба.

После войны, в 1813 г., кафедру прикладной математики возглавил Фёдор Иванович Чумаков (1782–1837), который окончил в 1807 г. Московский университет со степенью кандидата, в 1808 г. стал магистром математики, 9 января 1812 г. был возведен в степень доктора математических наук. Московский университет почти через год после нашествия французов и пожара в Москве уже возвращался из эвакуации. Тогда же, 21 июля 1813 г., Чумаков был утвержден адъюнктом, ему и поручили кафедру прикладной математики. Чумаков являлся одним из «питомцев Муравьёва».

Попечитель Московского учебного округа Михаил Никитич Муравьёв *«...заметил их еще на студенческой скамье как перспективных молодых ученых, способных взойти на профессорские кафедры и составить новое поколение русских профессоров, которое должно было прийти на смену приглашенным иностранцам... Для них (русских профессоров) было характерно последовательное восхождение по всем ступеням лестницы ученых степеней, но довольно ускоренным темпом, так что от присуждения кандидата до магистра или от магистра до доктора проходило 1–2 года»*⁴.

На физико-математическом отделении в то время преподавал молодой математик Пафнутий Алексеевич

⁴ Университет в Российской империи XVIII – первой половины XIX века. Возникновение системы российских ученых степеней в начале XIX в. / Под общ. ред. А.Ю. Андреева и С.И. Посохова. М.: РОССПЭН, 2012. С. 369.



В.К. Вишнеvский (1781–1855) – российский астроном, геодезист, академик (с 1804) Петербургской Академии наук, профессор астрономии Петербургского университета (с 1819), почетный член Русского географического общества

Афанасьев (1792–1822). Из его краткой биографии известно, что он получил в 1814 г. степень магистра. В 1815–1816 учебном году он читал в университете алгебру, геометрию и тригонометрию. Участвовал в организации Общества математиков (1811 г.), участвовал в прениях в Московском университете 15 июня 1815 г. на защите кандидатом П.С. Щепкиным первой магистерской диссертации на астрономическую тему «Об открытиях, сделанных в астрономии со времени изобретения телескопов». Однако Афанасьев астрономию не преподавал, и его интересы проявлялись, в основном, в области чистой математики.

Еще одним из возможных членов кафедры прикладной математики, который мог бы читать лекции по астрономии, был Павел Степанович Щепкин (1793–1836), окончивший Московский университет в 1811 г., где еще слушал

лекции Гольдбаха, Панкевича и Стрехова. Адъюнктской вакансии в тот момент в ИМУ не оказалось, пустующую кафедру астронома-наблюдателя тоже нельзя было занимать, т.к. ее приберегли для способного студента Александра Бугрова (кстати, ровесника Щепкина), который в марте 1815 г. был принят в штат Отделения физико-математических наук. Щепкин же в звании магистра начал читать лекции по алгебре, геометрии, тригонометрии по руководству профессора Чумакова, а потом по курсу Франкера, т.е. областью его преподавательских интересов все же оказалась математика. В 1819 г. Щепкин вместе с Перевошиковым издали свой перевод 1-й части математического курса Франкера. Профессор чистой математики Т.И. Перелогов (1765–1841) вместе с Перевошиковым и Щепкиным существенно повысили уровень преподавания математики в Московском университете. В 1833 г. в звании ординарного профессора (1826) Щепкин покинул Московский университет и перешел на должность старшего преподавателя в 1-ю Московскую гимназию. Даже уговоры Министра Народного просвещения С.С. Уварова не помогли, Щепкин был непреклонен в своем решении.

В 1814 г. Ф.И. Чумаков становится экстраординарным профессором кафедры прикладной математики. Он читал в 1813–1814 учебном году: механику, статику, динамику, гидростатику, гидравлику и аэрометрию⁵. В 1814–1815 учебном году профессор Чумаков читал курс оптики с уклоном в астрономию и геодезию. Это хорошо видно

⁵ «Объявление о публичных учениях в И.М.У. с 17 августа по 28 июня 1813–1814 года», и далее другие учебные года до 1827–1828 гг. // Отдел редких книг и рукописей Научной библиотеки МГУ (далее ОРКР НБ МГУ).

из его обращения к руководству Отделения физико-математических наук от 15 декабря 1814 г. по поводу приобретения астрономических инструментов в связи с утраченными во время пожара Москвы в 1812 г.: «Представление... Декабрь, 15 дня, 1814 г. Инструменты для сего нужные суть: 1) Теодолит с двойным телескопом. 2) Секстант и Октант. 3) Повторительный круг. Все сие стоит будет четыреста пятьдесят рублей. Экстраординарный профессор Фёдор Чумаков»⁶.

Здесь «Представление» полностью не показано, но упоминавшиеся в нем «Астрономические части» – это лекции по астрономии, и предполагалось, что часть студентов будет специализироваться по этому профилю, а другая часть – будет специализироваться по геодезии и топографическим съемкам. Из этого следует, что Чумаков, конечно же, читал курс астрономии и курсы математики, связанные с астрономией. То, что Чумаков читал астрономию с приложением ее к геодезии, навигации и гномонике по руководству Боды и Гамалея, а позже по руководству Делабра, подтверждают «Объявления о публичных учениях в ИМУ, преподаваемых с августа 17-го дня 1815 года по 28 июня 1816 года», а также «с 17 августа 1820 по 28 июня 1821 г.», где в печатных каталогах лекций указана фамилия профессора Ф.И. Чумакова. Например, в 1815–1816 учебном году: «Фёдор Чумаков, Доктор Физико-Математических наук и Профессор П. (публичный) Э. (экстраординарный) Смешанной математики, по понедельникам, четвергам и пятницам от 4-х до 5 часов по полудни объяснит своим слушателям Астрономию с приложе-



Григорий Иванович Фишер фон Вальдгейм (1771–1853) – российский естествоиспытатель, профессор кафедры натуральной истории ИМУ, почетный член Петербургской Академии наук (с 1828)

нием ее к Геодезии, Навигации и Гномонике, по руководству Боды и Гамалея». Указывается, что «...в течение первых 13 лет своего преподавания Чумаков читал механику, оптику, астрономию с ее приложениями к геодезии»⁷, т.е. в 1813–1826 гг., а курс механики он вел до 1832 г. Значит, в 1816–1817 учебном году читал механику и аэрометрию, в 1817–1818 гг. – читал оптику. Чумаков снова обращался к астрономии и сопутствовавшим ей курсам, в конце концов став в 1818 г. ординарным профессором кафедры прикладной математики⁸, а затем в 1827–1831 гг. – деканом Физико-математического отделения.

⁶ Представление профессора Фёдора Чумакова в Физико-математическое отделение 15 декабря 1814 г. // ЦИАМ, ф. 418, оп. 461, д. 2, л. 105.

⁷ Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона. СПб., 1903. Т. 77. С. 57–58.

⁸ Университет для России. Под ред. В.В. Пономарёвой и Л.Б. Хорошиловой // Русское слово, 2001. Т. 2. С. 230.



Иван Андреевич Гейм (1759–1821) – ученый-эрудит, ординарный профессор ИМУ, декан словесного факультета, ректор Московского университета (1808–1819), директор университетской библиотеки (1814–1821)

Здесь надо рассказать подробнее о подлинном претенденте на пустовавшую кафедру астронома-наблюдателя – об Александре Адриановиче Бугрове (1793–1821). Он был выходцем из государственных экономических крестьян. В детстве отец помог ему освоить грамоту, и затем юноша увлекся астрономией. В феврале 1811 г. (в результате длительной самостоятельной подготовки) Александр выдержал испытания в Калужской губернской гимназии и в сентябре 1811 г. – в Санкт-Петербургском Педагогическом институте, получив от них аттестаты. По совету преподавателей Педагогического института Бугров отправился в Москву и поступил в 1811 г. в Московский университет на Физико-математическое отделение, но сначала только слушателем частных лекций, а в авгу-

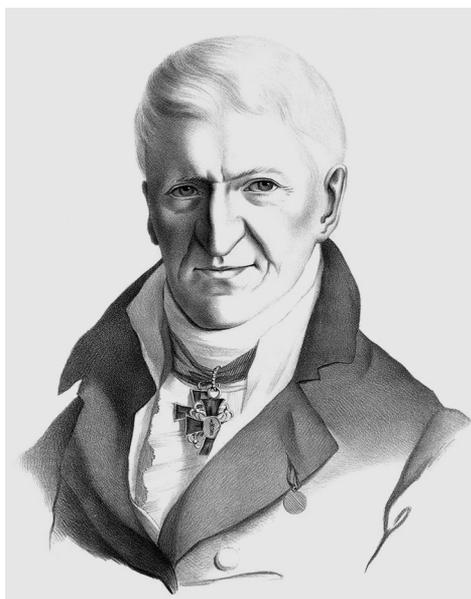
сте 1812 г. его официально зачисляют в своекоштные студенты. Первый свой 1811–1812 учебный год Бугров слушал лекции по разным дисциплинам, в том числе и лекции по астрономическим предметам у М.И. Панкевича⁹.

В начале 1812–1813 учебного года занятий не было, была война с французами, пожар в Москве, эвакуация ИМУ в Нижний Новгород. Бугров много занимался самостоятельно. В начале 1813–1814 учебного года, когда снова начались занятия в Московском университете, Бугров одним из первых записался слушать лекции профессоров: Георга Франца Гофмана (1760–1826; читал ботанику и медицинскую материю); профессора кафедры натуральной истории Григория Ивановича Фишера (1771–1853; энтомолог, геолог, зоолог, палеонтолог, медик); заведующего кафедрой физики и декана Физико-математического отделения в 1818–1826 гг. Ивана Алексеевича Двигубского (1771–1839; физик, геолог, ботаник, доктор медицины) и Фердинанда Фёдоровича Рейсса (1778–1852; читал общую химию). Эти предметы были обязательными при обучении на Отделении физико-математических наук. Бугров, обучаясь последний год в ИМУ, желал сдать экзамен на звание кандидата, поэтому 26 ноября 1813 г. подал прошение в Совет университета о допущении к испытанию на кандидатскую степень. Тогда по Уставу Московского университета можно было к окончанию университетского курса сдать экзамен на звание кандидата.

⁹ Сорокин В.В. «Годы учения и начала научной деятельности питомца-астронома Московского университета Александра Бугрова» / Рукопись по материалам Архива Московского университета. М., 1950–1960 гг., 76 с. + Приложения. С. 77–101 (рукопись ОРКР НБ МГУ).

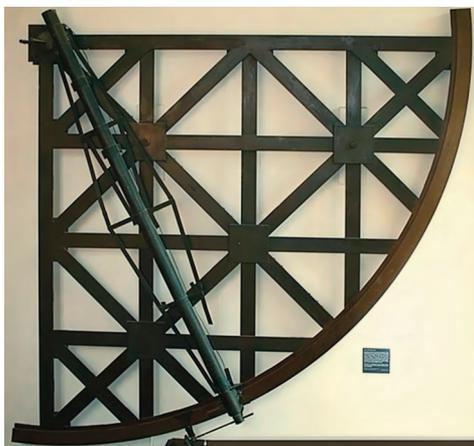
Все профессора, у которых Александр Бугров слушал лекции, дали прекрасные положительные отзывы об этом юноше, о его трудолюбии, глубоких знаниях по всем предметам (особенно по математике и физике). Кроме того, они знали о его увлеченности астрономией. Вот выдержка из письма А. Бугрова ректору ИМУ Ивану Андреевичу Гейму от 6 марта 1817 г.: «...я поставлял единственною целию совершенствовать себя в Астрономии, не взирая ни на отличия, ни на выгоды жизни, которые бы мне всякая другая наука и всякое другое состояние доставили. Кроме того, я пробивался сквозь тьму препонов, которые мне поставляло то состояние, в коем я рожден; пренебрегая собственным здоровьем, я противоборствовал слабым моим глазам пламенному океану Солнца, а малого моего жалованья не доставало мне и на подкрепление жизненных сил, – при столь трудном моем положении приверженность моя к Астрономии была постоянна. Я прилежу к Астрономии, следуя природной моей склонности к сей науке, и почитаю её такою, которая более всех наук сближает человека с небом, открывая его око миллионы новых миров...»¹⁰. Может быть, уже тогда профессора задумались о том, чтобы приберечь пустующую кафедру астронома-наблюдателя для подающего большие надежды Бугрова. Но ему помимо отличных успехов в учении необходимо было приобрести практические навыки в астрономических наблюдениях. В Москве «астрономический бельведер» и астрономические инструменты погибли, поэтому астрономическую практику можно было пройти только в Санкт-Петербурге. Там работали академики, они же опытные астрономы-наблюдатели на астрономической обсерватории Санкт-Петербур-

¹⁰ Письмо А. Бугрова ректору И.А. Гейму // ЦИАМ, ф. 418, оп. 461, д. 5, л. 18–20.



Ф.И. (Фридрих Теодор) Шуберт (1758–1825) – российский астроном, математик, Член Петербургской Академии наук (с 1789), в 1798 г. в Петербурге издавший курс теоретической астрономии, который в 1822 г. был переиздан и переведен на французский язык по просьбе астронома П. Лапласа, ценившего работы Шуберта и желавшего ознакомиться с ними западноевропейских ученых

ской Академии наук: Фёдор Иванович Шуберт (1758–1825) и Викентий Карлович Вишневецкий (1781–1855). Также необходимо было Бугрову по своему социальному статусу освободиться от подушного оклада, то есть перейти из крестьянского сословия в чиновничество, к которому относились все преподаватели и профессора. Для этого от ИМУ должно было быть подано ходатайство в Правительствующий Сенат, который и выносил решение за подписью Императора о таком переходе. Ходатайство было подано, профессора дали положительные отзывы о Бугрове. У декана Физико-математического отделения и профессоров-преподава-



Стенной квадрант Джона Бёрда (1773) из коллекции Музея истории науки в Оксфорде, Англия. Возможно, подобным инструментом пользовался А. Бугров во время своей астрономической практики на обсерватории Петербургской Академии наук в 1815–1818 гг.

телей сложилось мнение, что он после окончания университета может подготовиться к защите магистерской и докторской диссертаций, затем к профессорскому званию и занять пустующую кафедру астронома-наблюдателя.

А пока в 1813–1814 учебном году он продолжал университетский курс. Не дождавись решения об освобождении от подушного оклада, Бугров в декабре 1814 г. с разрешения университетской администрации отправляется на астрономическую практику в обсерваторию Санкт-Петербургской Академии наук. Правительствующий Сенат вынес свое решение только 31 января 1815 г. В марте 1815 г. Бугров продолжил стажировку в Санкт-Петербурге.

Но в Министерстве Народного просвещения произошла смена министров: вместо графа Алексея Кирилловича Разумовского (1748–1822) в 1816 г. министром стал князь Александр Николаевич Голицын (1773–1844). Произошла смена и попечителей Московского

университета: вместо Павла Ивановича Голенищева-Кутузова был назначен князь Андрей Петрович Оболенский. Порядки устанавливались новые. Бугров в марте 1817 г. обратился письменно к ректору Ивану Андреевичу Гейму с просьбой разъяснить ему, как и кому надо присылать отчеты в Москву о его астрономической практике в Санкт-Петербурге. Письмо Бугрова читалось 10 мая 1817 г. в Собрании Отделения физико-математических наук и было определено: «...поручить профессору смешанной (прикладной) математики Ф.И. Чумакову сочинить полное наставление для упражняющегося в астрономии студента Бугрова...». Вот это обстоятельство еще раз подтверждает то, что Чумаков постоянно занимался вопросами астрономии. Поэтому Отделение поручило именно ему курировать работу Бугрова по астрономическим наблюдениям и их обработке. В апреле 1818 г. Бугров прислал в Московский университет свои отчеты: наблюдения солнцестояний в 1816–1817 гг. На заседании Совета 24 апреля 1818 г. было определено: поручить профессору Чумакову рассмотреть отчеты Бугрова и дать о них свое мнение¹¹. В ноябре 1818 г. на Совете слушали донесение Бугрова о его занятиях астрономией, было решено направить это донесение в Отделение физико-математических наук профессору Чумакову.

26 февраля 1819 г. на заседании Совета ИМУ слушалось сообщение ординарного профессора Чумакова. Он рассматривал присланные от студента Бугрова астрономические наблюдения солнцестояния для определения видимого наклона эклиптики, которые Бугров проводил на обсерватории Санкт-Петербургской Академии наук при помощи стенного квадранта и окружного инструмента. Чумаков

¹¹ Журнал Совета ИМУ за 1818 г. // Архив МГУ. Заседание Совета от 24.04.1818, § 8.

нашел, что наблюдения и относящиеся к ним вычисления «совершенно исправны». Кроме того, профессор Чумаков отметил, что Бугров весьма хорошо успел в астрономии, особенно в практической.

И еще интересный факт, что в Совет ИМУ перед 1818–1819 учебным годом обратился титулярный советник Аким Попов за разрешением читать лекции по астрономии и с просьбой поручить ему свободную кафедру астронома-наблюдателя. Университетский Совет 2 июля 1818 г. по прошению принятого на казенный магистерский оклад бывшего старшим учителем в Тверской Губернской гимназии Титулярного Советника Попова и о поручении ему праздной кафедры астронома-наблюдателя, определил: «...как для занятия кафедры сей приуготовляется уже в Императорской Санкт-Петербургской Академии наук казенного содержания Студент Бугров, то таковому прошению Магистра Попова удовлетворить нельзя; но преподавание Астрономии до приезда Бугрова ему, Попову, позволить <можно>, отобрав предварительно о сём мнение физико-математического отделения...»¹². Отсюда следует, что в 1818–1819 учебном году в Московском университете астрономию читал, вероятнее всего, магистр Аким Попов.

Это можно подтвердить следующим:

– в «Объявлении о публичных учениях в ИМУ» за 1818–1819 учебный год фамилия Акима Попова не упомянута;

– известно, что «Объявление о публичных учениях в ИМУ» печаталось на каждый учебный (академический) год до начала занятий, то есть до 17-го августа данного учебного года;

– Отделению физико-математических наук из Совета ИМУ пришло сообщение, что господин попечитель

¹² О разрешении чтения лекций по астрономии А. Попову // ЦИАМ, ф. 418, оп. 461, д. 6, л. 30.

А.П. Оболенский дал на это (чтение лекций по астрономии А. Поповым) согласие только 9-го сентября 1818 г. и что Отделение должно назначить магистру Попову дни и часы для чтения астрономических лекций¹³, поэтому из-за позднего согласия попечителя в «Объявление» за 1818–1819 учебный год фамилия Попова не попала;

– из архивных документов следовало, что магистр Попов на следующий 1819–1820 академический год был переведен с Физико-математического отделения на Врачебное отделение для чтения лекций студентам Врачебного отделения по математике и физике. В этом случае фамилия Попова была уже напечатана в списке преподавателей Врачебного отделения, который помещался в «Объявлении о публичных учениях в ИМУ» на 1819–1820 учебный год. Такой перевод, возможно, был сделан по причине, которая излагается ниже.

В начале 1819–1820 учебного года на заседании Отделения физико-математических наук от 20 сентября 1819 г. слушали сообщение из Университетского Совета от 25-го августа о том, что попечитель А.П. Оболенский предложил сократить количество преподавателей на Физико-математическом отделении с 6-ти человек до 4-х, то есть оставить профессоров: Чумакова и Перелогова и адъюнктов: Щепкина и Перевощикова¹⁴. В результате лекции по астрономическим наукам не читались, но профессор Чумаков в этом учебном году читал курс «Оптики», вероятнее всего, дополнительно рассказывая об астрономии и об астрономических инструментах.

¹³ Согласие попечителя на чтение лекций А. Поповым // ЦИАМ, ф. 418, оп. 461, д. 6, л. 27, л. 38.

¹⁴ Протокол собрания Отделения физико-математических наук от 20.09.1819 г., оп. 8 // ЦИАМ, ф. 418, оп. 461, д. 7, л. 54–55.



А.П. Оболенский (1769–1852) – тайный советник, попечитель ИМУ и Московского учебного округа (1817–1825 гг.). Картина П. Эдуарда, 1799 г.

Для Бугрова, к сожалению, продолжало существовать еще одно препятствие в вопросе занятия им пустующей кафедры астронома-наблюдателя. 19 декабря 1816 г. вышло «Положение о всеобщем запрещении на производство в ученые степени» от нового министра Народного просвещения А.Н. Голицына. По этому «Положению» Бугров не мог быть допущен к сдаче кандидатского экзамена в Московском университете, поскольку это «Положение» распространялось тогда на все университеты России: Московский (1755), Дерптский (Тартуский, 1802), Виленский (1803), Харьковский (1804) и Казанский (1804). Причиной запрета на сдачу кандидатского экзамена, а также на защиту магистерских и докторских диссертаций явилась «дерптская афера» летом 1816 г. «по продаже» (за взятки) докторских дипломов в результате «липовых» защит на юридическом факультете Дерптского уни-

верситета двумя немцами, жившими и работавшими в России. Защиты диссертаций были признаны недействительными, а докторские дипломы были аннулированы. Лишь 20 января 1819 г. вступило в действие новое «Положение об ученых степенях» (раньше каждый университет, согласно своему Уставу, вырабатывал свои требования как к экзаменам и самой диссертации, так и к процедуре ее защиты), которое регламентировало уже на государственном уровне соответствующие требования, ставшие едиными для всех университетов России.

Бугров был вызван в Москву попечителем А.П. Оболенским почти сразу после принятия нового «Положения», уже в феврале 1819 г. Но для Бугрова были потеряны два года, зато он получил очень качественную подготовку по практической астрономии в Санкт-Петербурге у академиков Ф.И. Шуберта и В.К. Вишневого. В мае 1819 г. Бугров сдал кандидатский экзамен, а 16 июня был утвержден в звании кандидата физико-математических наук. Он немедленно стал готовиться к следующим экзаменам и защите магистерской диссертации. Однако А.П. Оболенскому из Министерства Народного просвещения 10 июня 1819 г. было прислано циркулярное письмо с конкретным разъяснением «Положения об ученых степенях» в применении к окончившим университетский курс обучения до 19 декабря 1816 г. По новому «Положению» Бугров мог защитить диссертацию на степень магистра только через два года после утверждения его в звании кандидата, то есть в 1821 г. В «Положении об ученых степенях» было четко сказано: «... § 15. Ищущие ученых степеней допускаются к испытанию по порядку, в каком следует одна степень за другою, так, чтоб Студент не мог поступить прямо в Магистры, или Кандидат в Докторы. § 18. Для приобретения ученых степеней полагаются известные сроки,

а именно: Студент допускается к испытанию на степень Кандидата через один год по получении аттестата студенческого; Кандидат на степень Магистра – через два года; Магистр на степень Доктора – через три года»¹⁵. Бугров относился к таким студентам, и все следующие из нового «Положения» и этого циркулярного письма правила были к нему применены.

Здесь важно отметить, что авторы статей по истории астрономии или других наук раньше не всегда могли охватить всю (или почти всю) информацию о тех или иных событиях прошлого, но теперь, благодаря Интернету, можно докопаться до истинных причин событий, происходивших давно. Например, в статье С.Н. Корытникова говорилось следующее: *«Мы надеемся, что историки Московского университета прервут 135-летний заговор молчания, создавшийся вокруг имени Бугрова после трагической гибели молодого ученого, произведя исчерпывающие розыски документальных материалов с целью построения его полной научной биографии. В нашем предварительном сообщении мы считаем необходимым указать на сложную общественно-политическую ситуацию в Московском университете в годы учения Бугрова. Посещая... лекции, Бугров находился в окружении тех будущих деятелей декабристского движения, которые, возможно, сидели рядом с ним на студенческих скамьях или с юношеским энтузиазмом бурно атаковали идеологические устои самодержавия... Первоначально выдвигавшие Бугрова профессора А.А. Прокопович-Антонский и И.А. Двигубский были деятелями реакционного лагеря...*

¹⁵ Положение о производстве в ученые степени // Сборник постановлений Мин. Нар. Просв. Т. 1 (1802–1825) / СПб.: Тип. Имп. Академии Наук, 1864. столб. 1134 за 1819 год, № 340/27646, § 15, § 18.



Иван Алексеевич Двигубский (1771–1839) – российский естествоиспытатель, заслуженный профессор (с 1830), зав. кафедрой физики, декан Физико-математического отделения ИМУ (1818–1826), ректор Московского университета (1826–1833)

Поскольку, даже после исключения в 1815 г. Бугрова из <подушного> оклада, получение им кандидатской степени затормозилось до 1819 г., а магистерской до 1821 г., позволительно поставить вопрос: не явилось ли причиной этого прекращения поддержки Бугрова кем-либо из названных профессоров? Антонский был в 1813–1818 гг. деканом физико-математического отделения, а в 1818–1826 гг. – ректором, Двигубский – деканом того же отделения в 1818–1826 гг.; таким образом, они были теми начальствующими инстанциями, через которые проходили все университетские продвижения по лестнице степеней и званий»¹⁶.

¹⁶ Корытников С.Н. Об одном забытом имени в истории отечественной астрономии [Об А.А. Бугрове] // Ученые записки КГУ, 1957. Т. 117. Кн. 9. С. 179.

Из этой цитаты ясно, что Корытников не был знаком с «Положением о всеобщем запрещении на производство в ученые степени» от 19.12.1816 г. и с «Положением об ученых степенях» от 20 января 1819 г., принятых Министерством Народного просвещения и обязательных к выполнению для всех пяти университетов России, существовавших в то время. Отсюда и следуют ложные выводы о московских профессорах А.А. Прокоповиче-Антонском и И.А. Двигубском, как представителях реакционного лагеря, как о людях, всячески тормозивших продвижение А. Бугрова по служебной лестнице. А на самом деле были совсем другие причины: «дерптская афера», нечестные защиты, скандал на все Министерство просвещения России, и не в Московском университете и не со стороны московских профессоров. Например, по первому «Положению» от 19 декабря 1816 г. было запрещено принятие кандидатских экзаменов и проведение защит магистерских и докторских диссертаций в течение двух лет: 1817 и 1818 гг. Отсюда следуют и ложные предположения С.Н. Корытникова об отрицательном отношении профессоров университета к студенту Бугрову. Наоборот, московские профессора всячески помогали Бугрову. Но у Бугрова получилось так, что практику для астронома-наблюдателя уже после завершения университетского курса он мог пройти только в обсерватории Санкт-Петербурга. Однако после «Положения об ученых степенях» от 20 января 1819 г. Бугрова сразу же незамедлительно в феврале 1819 г. попечитель Оболенский вызывает из С.-Петербурга в Москву для сдачи кандидатского экзамена. Бугров стал готовиться и блестяще сдал его в мае 1819 г. Магистерскую диссертацию он защитил ровно через два года (по новым правилам) и не более, был утвержден в звании магистра 25 мая 1821 г.

Университетские профессора заботливо готовили Бугрова к профессорскому званию и занятию пустующей кафедры астронома-наблюдателя, поэтому никому не разрешали занимать ее до возвращения Бугрова в Москву. Курсы же астрономических дисциплин пока мог читать ординарный профессор Ф.И. Чумаков, возглавлявший кафедру прикладной математики. В 1820–1821 учебном году Чумаков читал курс астрономии.

В начале июля 1821 г. Совет Московского ун-та запросил Отделения (факультеты) представить, в силу § 131 университетского Устава, фамилии «способных из магистров для отправления в чужие страны». После успешной защиты Бугровым 9 февраля 1821 г. магистерской диссертации на астрономическую тему: «Рассуждение об эллиптическом движении небесных тел» и утверждения его в степени магистра на Физико-математическом отделении выбрали кандидатуру Бугрова. Это обстоятельство тоже послужило отсрочкой в занятии Бугровым пустующей кафедры астронома-наблюдателя. Совет университета 11 июля 1821 г. за подписями ректора А.А. Прокоповича-Антонского и секретаря Совета И.А. Двигубского направил отношение попечителю А.П. Оболенскому, в котором было написано: для поездки в чужие края *«Физико-математическое отделение рекомендует Александра Бугрова...»* и было определено: *«... как Отделение физико-математических наук представило, что оно, за нужное почитает приуготовление в чужих краях преподавателя Астрономии, то Магистра Бугрова послать в чужие края для большего усовершенствования в Астрономии на два года, назначив ему в жалованье по 2000 руб. в год из суммы на путешествие, Уставом положенной вдобавок к получаемому им Магистерскому окладу 400 руб., и сверх того на*

поезд особую сумму, какую определит высшее начальство...»¹⁷.

Университетские профессора предложили Бугрову дополнительную поездку в Европу, как самому достойному претенденту. Никто из преподавателей не предполагал трагической развязки в близком будущем.

Отъезд Бугрова в Германию и Францию предполагался в октябре 1821 г. Но незадолго до отъезда произошло непоправимое – Александр Бугров окончил жизнь самоубийством (застрелился) в главном корпусе Московского университета рано утром 13 октября 1821 г., где он жил со своими товарищами-преподавателями и студентами по университету. Возможно, что его очень сильно кто-то оскорбил, он все это переживал в течение нескольких дней и был печален. В письме к отцу от 11 октября 1821 г. он писал: «...я здоров, но оскорблен злоречием некоторых людей без всякой причины..., <злодеи> могут похитить честь только на время, милосердный Бог, в которого я верую и исповедую, <знает> непорочность моего сердца и чистоту нрава, видит дела мои, да поможет он победить лукавствующих на меня <злодеев>». А через два дня А.А. Бугрова не стало. В предсмертной записке он никого не винил, но написал, что «Невинно душа моя погибает. Александр Бугров». Так неожиданно оборвалась жизнь этого замечательного молодого человека. Следом умирает 16 октября 1821 г. профессор Иван Андреевич Гейм, ректор Московского университета в 1808–1819 гг. Эти трагические события отразились в воспоминаниях современников.

После гибели А. Бугрова кафедра астронома-наблюдателя по-прежнему оставалась свободной. После Х.Ф. Гольдбаха Д.М. Перевощиков стал преемником кафедры астронома-



Д.М. Перевощиков (1788–1880) – русский астроном, математик и механик, ординарный профессор ИМУ (1826), заведующий кафедрой астронома-наблюдателя (1826), ректор Московского университета (1848–1851), академик Петербургской Академии наук (1855)

наблюдателя. Он происходил из дворянской семьи в Пензенской губернии. Его отец был отставным прапорщиком армейской пехоты, потом мелким чиновником соляной монополии, затем он доказал свое право на «военное дворянство»¹⁸. Дмитрий гимназическое образование получил в Казани, стал студентом первого, 1805 г., набора Казанского университета и закончил его в 1808 г. В 1809–1816 гг. преподавал математику и физику в Симбирской гимназии. В Симбирске же написал магистерскую диссертацию на тему: «О законе Ньютона» и защитил ее в 1813 г. в Казанском университете. Поскольку Дмитрий Перевощиков

¹⁷ Об отправлении А. Бугрова за границу. ЦИАМ // ф. 459, оп. 1, д. 1610, л. 5.

¹⁸ Корытников С.Н. Уход Д.М. Перевощикова из Московского университета // ИАИ, 1956. Вып. 2. С. 191.

считался одним из самых талантливых преподавателей Симбирска, то он был приглашен на место домашнего учителя в семью городского вице-губернатора Е.Е. Ренкевича, которого через два года назначили вице-губернатором Москвы. В 1818 г. Ренкевич уехал с семьей в Москву и пригласил с собой Перевощикова¹⁹. В Москве Перевощиков, как магистр математики, попробовал поступить в Московский университет на должность преподавателя, вначале работал педагогом в университетском Благородном пансионе, ведя такие предметы, как физику и математику, и продолжал потом преподавать в нем в течение 12 лет.

Д.М. Перевощиков проявил себя способным преподавателем сразу же, на что обратил внимание Университетский Совет. 1 февраля 1819 г. в собрании Отделения физико-математических наук слушали сообщение Совета от 22 января 1819 г. о том, что попечитель А.П. Оболенский предложил перевести Перевощикова на магистерский оклад и назначить ему занятия в качестве преподавателя трансцендентальной геометрии по Физико-математическому отделению. Отделение одобрило предложение попечителя и предложило преподавать Перевощикову в ИМУ с нового 1819–1820 учебного года²⁰. Д.М. Перевощиков читал, в основном, лекции по математике и физике. Астрономию на Физико-математическом отделении в 1819–1820 учебном году никто не читал. Профессор Ф.И. Чумаков, как было сказано выше, читал оптику. Перевощиков в 1819 году стал адъюнктом, а А.А. Бугров только в мае 1819 г. сдал экзамен на степень кандидата.

¹⁹ Менцин Ю.Л. Петербургский период жизни Д.М. Перевощикова // Труды ГАИШ МГУ, 1999. Т. 67. С. 87.

²⁰ О разрешении Д.М. Перевощикову читать лекции в ИМУ // ЦИАМ, ф. 418, оп. 461, д. 7, л. 1^а, обр. створона.

Выше было сказано, что Чумаков читал астрономию в 1820–1821 учебном году. В последующие годы Чумаков преподавал: в 1821–1822 гг. – оптику, в 1822–1823 гг. – механику, в 1823–1824 гг. – оптику и механику.

Только в 1824–1825 гг. курс астрономии прочел Перевощиков, оптику и механику читал Чумаков. Перевощиков в 1824–1825 учебном году первый раз читал курс «Рациональной астрономии». Известный астроном, профессор Московского университета, член-корреспондент АН СССР С.Н. Блажко писал, что непрерывное преподавание астрономии «...произошло в 1824–1825 учебном году, когда этот предмет начал преподавать Д.М. Перевощиков, продолжавший преподавание до 1851 года»²¹. Из всего сказанного вытекает, что Чумаков читал последний раз курс астрономии в 1820–1821 академическом году, а далее продолжал читать студентам университета курсы оптики и механики до 1832 г.

В 1826 г. Д.М. Перевощиков был утвержден в звании экстраординарного профессора алгебры и аналитической геометрии, потом в этом же году стал ординарным профессором и занял, наконец, пустовавшую кафедру астрономии. Он читал лекции по трансцендентальной геометрии, алгебре, аналитической геометрии, рациональной астрономии, сферической астрономии, теории эллиптического движения, теории планет и комет, теории планетных возмущений, прикладной математике, высшей геодезии, по землемерию, механике твердых и жидких тел. Он впер-

²¹ Блажко С.Н. История астрономической обсерватории Московского университета в связи с преподаванием астрономии в университете (1824–1920). Часть I, гл. 1. Преподавание астрономии до постройки обсерватории // Ученые записки МГУ. Астрономия в Московском университете. Юбилейная серия. М.: МГУ, 1940. Вып. 58. С. 10.

Таблица

Лекции по Астрономии и близким к ней предметам, которые читались в Московском университете в начале XIX века						
Предметы Учебные годы и кто читал	Астрономия	Оптика	Математическая география	Механика (иногда вместе с Аэрометрией)	Хронология, Гномоника (иногда вместе с Навигацией)	Астрономические наблюдения
1805–1806	Х.Ф. Гольдбах					
1806–1807	Х.Ф. Гольдбах		Х.Ф. Гольдбах	М.И. Панкевич	Х.Ф. Гольдбах	Х.Ф. Гольдбах
1807–1808	Х.Ф. Гольдбах			М.И. Панкевич	Х.Ф. Гольдбах	Х.Ф. Гольдбах
1808–1809	-----	М.И. Панкевич	Х.Ф. Гольдбах		Х.Ф. Гольдбах	Х.Ф. Гольдбах
1809–1810	Х.Ф. Гольдбах			М.И. Панкевич	Х.Ф. Гольдбах	
1810–1811	-----		Х.Ф. Гольдбах	М.И. Панкевич	Х.Ф. Гольдбах	
1811–1812	М.И. Панкевич		М.И. Панкевич		М.И. Панкевич	М.И. Панкевич
1812–1813	Н е б ы л о з а н ы т ы й					
1813–1814	-----			Ф.И. Чумаков		
1814–1815	-----	Ф.И. Чумаков				
1815–1816	Ф.И. Чумаков				Ф.И. Чумаков	
1816–1817	-----			Ф.И. Чумаков		
1817–1818	-----	Ф.И. Чумаков				
1818–1819	А. Попов			Ф.И. Чумаков		
1819–1820	-----	Ф.И. Чумаков				
1820–1821	Ф.И. Чумаков			Ф.И. Чумаков		
1821–1822	-----	Ф.И. Чумаков				
1822–1823	-----			Ф.И. Чумаков		
1823–1824	-----	Ф.И. Чумаков		Ф.И. Чумаков		
1824–1825	Д.М. Перовщиков	Ф.И. Чумаков		Ф.И. Чумаков		
1825–1826	Д.М. Перовщиков	Ф.И. Чумаков		Ф.И. Чумаков		Д.М. Перовщиков
1826–1827*	Д.М. Перовщиков	Ф.И. Чумаков		Ф.И. Чумаков		Д.М. Перовщиков
1827–1828	Д.М. Перовщиков	Ф.И. Чумаков		Ф.И. Чумаков		

вые создал курсы лекций по астрономии на русском языке²².

С этого времени для кафедры астронома-наблюдателя была совершенно необходима наблюдательная база, в этом деле активным организатором и руководителем постройки московской университетской астрономической обсерватории был Перовщиков. Обсерватория была построена в 1830–1832 гг., первые наблюдения состоялись в конце ноября 1831 г. В 1833 г. Перовщикова избирают деканом Отделения физико-математических наук, в 1848 г. – ректором Московского университета. Но из-за Постановления Министерства просвещения о ликвидации выборности ректоров и давления на Перовщикова реакционных кругов он в 1851 г. вынужденно уходит в отстав-

ку, уезжает в Санкт-Петербург и поступает в Петербургскую Академию наук, где его избирают сначала адъюнктом, а в 1855 г. – академиком. Работая в Академии, он целиком посвятил себя научным исследованиям в области небесной механики.

На этом заканчивается обзор профессоров и преподавателей Московского университета, участвовавших в 1811–1826 гг. в преподавании астрономии и предметов, связанных с ней. Отметим, что курсы лекций по астрономии в сокращенном виде или с практическим уклоном в геодезию всегда читались в Московском университете. Кафедра астронома-наблюдателя в силу чрезвычайных обстоятельств – войны 1812 г. и безвременной гибели Александра Бугрова – была свободной в течение 15 лет.

²² Профессора Московского университета 1755–2004, биографический словарь. Т. 2. М.: МГУ, 2005. С. 199.

КРУПНЕЙШИЕ РЕФРАКТОРЫ МИРА

СОЛОМОНОВ Юрий Владимирович

СКБ «Контур»

ГЕРАСЮТИН Сергей Александрович

Мемориальный музей космонавтики

DOI: 10.7868/50044394820020073

XIX век вошел в историю как век технического прогресса. Появились железные дороги, паровозы и пароходы, фотоаппараты, телефоны и телеграфы. Не обошел прогресс и астрономию. Благодаря успехам оптиков и химиков, удалось создать новые качественные линзы и зеркала, обеспечить обсерватории масштабным оборудованием. Вторая половина XIX века была богата уже не просто техническими изобретениями, но и красочными астрономическими событиями – появлением ярких комет, метеорных штормов, открытием восьмой планеты Нептун, каналов на Марсе, доселе невидимых спутников Сириуса и Проциона. Делались большие успехи в небесной механике, астрометрии, что и положило начало развитию астрофизики. Все это позволило обратиться астрономам к правительству и получить финансирование для заказа больших инструментов. Кроме того, богатые финансисты сами предлагали деньги на строительство телескопов и обсерваторий, тем самым пытаясь увековечить память о себе. Все это определило гонку оптических технологий, в которой приняли участие практически все ведущие державы мира. Наука шла в гору, астрономам удалось совершить много новых и интересных открытий.

Телескопы-рефракторы в те годы считались самыми перспективными инструментами, они обладали мас-

сой преимуществ перед рефлекторами с металлическими зеркалами, которые были тяжелы в изготовлении, стоили недешево, а главное – мало подходили для точных позиционных и астрометрических наблюдений. Такой спрос в конце XIX в. спровоцировал научно-техническую гонку роста объективов и фокусного расстояния именно у этих инструментов.

Вспомним, какие же 15 крупнейших телескопов мира были созданы в XIX в., и рассмотрим, как происходило соревнование и какие амбиции были у оптиков, астрономов и меценатов. Некоторые из этих древнейших инструментов продолжают работу и в настоящее время, другие стали музейными экспонатами, а иных гигантов того времени уже не существует. От них остались лишь объективы и немногочисленные фотографии тех лет, когда старые телескопы служили науке.

Определить точную дату начала научно-технической «гонки за первенство рефракторов» достаточно тяжело. Поэтому в качестве отправной точки возьмем начало 1870-х гг., именно тогда Федеральное правительство Северо-Американских Соединенных Штатов, как тогда называли США, решило создать «самый большой в мире телескоп» для Военно-морской обсерватории. Линзу (объектив) было решено заказать у известного конструктора-оптика и астронома Элвина Кларка (Alvan

Clark, 1804–1887). Основанная в 1846 г. в Кембридже (штат Массачусетс) фирма Кларка и сыновей стала известной, потому что она делала оптику для телескопов, большинство астрономических обсерваторий могут похвастаться телескопами с линзами и зеркалами, сделанными ими же. В 1860-х гг. он создал 18,5-дюймовый (47 см) объектив для обсерватории Университетов Миссисипи, Северо-Западного и Чикаго (штат Иллинойс), а также он использовался в Планетарии Адлера (открыт в 1930 г.). Фирма «Кларк и сыновья» изготовила линзы следующих рефракторов:

- 66-см (фокусное расстояние – 10,9 м) Военно-морской обсерватории США в 1875 г.;

- 66-см (фокусное расстояние – 10,5 м) Обсерватории Маккормика Университета Вирджинии (Шарлоттсвилл, штат Вирджиния) в 1878 г.;

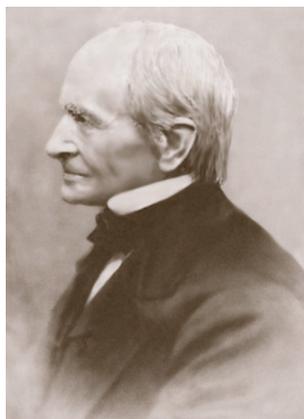
- 76-см Репольда (фокусное расстояние – 12,8 м) Пулковской обсерватории (Россия) в 1885 г.;

- 91-см (фокусное расстояние – 17,6 м) Ликской обсерватории (штат Калифорния) в 1888 г.;

- 61-см (фокусное расстояние – 10 м) обсерватории Лоуэлла (Флагстафф, штат Аризона) в 1896 г.;

- 102-см Кларка (фокусное расстояние – 19,4 м) Йеркской обсерватории в Университете Чикаго (штат Висконсин) в 1887 г.

В 1873 г. Э. Кларк построил инструмент для Военно-морской обсерватории США в Вашинг-



Элвин Кларк. Бостон, 1851 г.

тоне, основанной морским офицером Джеймсом Гиллисом, в 1844 г. в обсерватории начались постоянные наблюдения. В 1875 г. детище Кларка вступило в строй, став самым большим рефрактором в мире: диаметр его объектива равен 26 дюймам (66 см), фокусное расстояние – 10,9 м. С помощью него Асаф Холл (1829–1907) сумел обнаружить спутники Марса (ЗиВ, 2009, № 4), а также были открыты асте-

роиды Евфросина (31), Виргиния (50) и Эхо (60), определен период вращения Сатурна. За почти полтора века инструмент, известный как 26-дюймовый экваториал, дважды менял место дислокации в связи с переездом обсерватории, но остается в рабочем состоянии, ранее использовался для наблюдений двойных звезд, а в настоящее время в образовательных целях, им пользуются 85 тыс. посетителей в год.

В 1970-х гг. бизнесмен, меценат и изобретатель Линдер Маккормик (1819–1900) решил сделать пожертвование на создание самого большого



Э. Кларк и сыновья. Бостон, 1870-е гг.



Старое здание Военно-морской обсерватории США, в котором установлен 26-дюймовый экваториал. Справа – 26-дюймовый рефрактор Военно-морской обсерватории США



телескопа в мире. Для этого он выделил значительные средства Университету штата Вирджинии, астрономы которого обратились также к Элвину Кларку. Проект начали реализовывать в 1870 г., однако Гражданская война, а затем и Великий пожар в Чикаго в октябре 1871 г. серьезно ударили по финансам Маккормика. Астрономы смогли получить необходимую сумму только в 1878 г., когда телескоп был уже построен и Э. Кларк провел подтверждающие наблюдения спутников Марса. Телескоп установили в 1885 г. на вершине горы Джефферсон в обсерватории университета Вирджинии (Шарлоттсвилл). По параметрам рефрактор им. Л. Маккормика был близок к инструменту Военно-морской обсерватории: диаметр 26 дюймов (66 см), фокусное расстояние 9,9 м, но при этом превосходил его на несколько миллиметров по диаметру и достаточно сильно по качеству оптики. Однако стать самым большим рефрактором в мире ему не удалось, хотя он и оставался крупнейшим телескопом в США с 1885



Здание обсерватории университета Вирджинии, в котором находится рефрактор им. Л. Маккормика

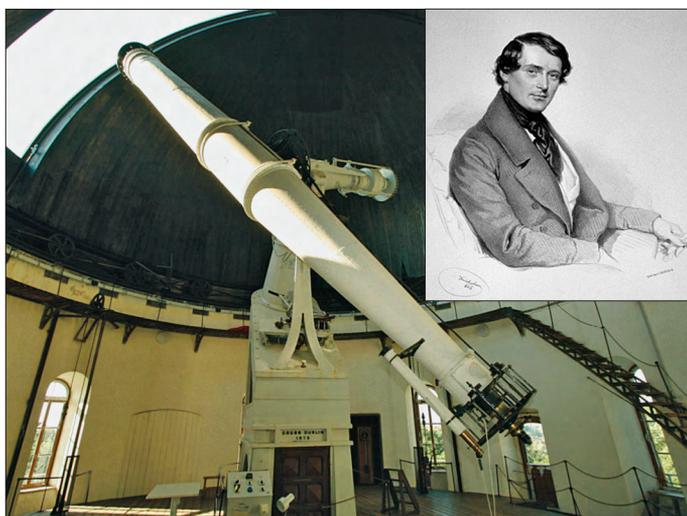
по 1888 гг. В настоящее время на телескопе продолжают астрометрические наблюдения звезд.

Пока миллионер Маккормик собирал средства на создание инструмента, на другом конце земного шара, в Старом Свете, в довольно патриархальной Австро-Венгерской империи, астроном Карл Людвиг фон Литтров (1811–1877) сумел получить средства на строительства «ведущей обсервато-

30-дюймовый Венский
рефрактор 1879 г.
Во врезке – портрет
Карла фон Литтрова

рии Австро-Венгрии» от императора Франца Иосифа I. Строительство обсерватории велось с 1874 по 1879 гг. и завершилось уже после смерти фон Литтрова. Обсерватория стала не только ведущей в Австро-Венгрии, но и получила крупнейший рефрактор в мире. Венский рефрактор имел диаметр 27 дюймов (68-см) и фокусное расстояние, равное 10,5 м. Построил его британский оптик Томас Грабб (1800–1876), который к тому времени был достаточно известным строителем телескопов-рефракторов, а так же помогал строить знаменитый «Левиафан» Вильяму Парсонсу, лорду Россу (1800–1867; ЗиВ, 2015, № 6). Венский рефрактор прославился в использовании и открытии малых планет одним из самых удачливых охотников за астероидами – Йоганном Пализой (1848–1925), который открыл визуальным методом 122 малые планеты-крошки. Правда, сколько их точно было обнаружено на Венском рефракторе – неизвестно. Научные наблюдения с помощью этого инструмента проводились до 1960-х гг., а в настоящее время он является музейным экспонатом, который показывают туристам.

Не остались в стороне от этой гонки и две другие ведущие державы мира –



Германская и Российская империи. По итогам Франко-прусской войны 1870–1871 гг. Страсбург отошел к Германской империи. В 1872 г. был восстановлен Страсбургский университет, в 1875 г. было принято решение о строительстве в новом городском районе Нойштадт астрономической обсерватории. Возведение зданий обсерватории продолжалось в течение следующих пяти лет. В 1881 г. 9-я Генеральная ассамблея Немецкого астрономического общества прибыла в Страсбург для торжественного открытия обсерватории. В первые годы ее работы основным инструментом обсерватории стал крупнейший на то время для Германии 19,7-дюймовый (50 см) телескоп-рефрактор, который изготовила фирма известного немецкого мастера по изготовлению астрономических инструментов И.Г. Репсольда (1770–1830; ЗиВ, 2011, № 1). Позднее, в связи с техническим и научным прогрессом, телескоп модернизировали и у астрономов появилась возмож-



Австрийский астроном
Йоганн Пализа

торжественного открытия обсерватории. В первые годы ее работы основным инструментом обсерватории стал крупнейший на то время для Германии 19,7-дюймовый (50 см) телескоп-рефрактор, который изготовила фирма известного немецкого мастера по изготовлению астрономических инструментов И.Г. Репсольда (1770–1830; ЗиВ, 2011, № 1). Позднее, в связи с техническим и научным прогрессом, телескоп модернизировали и у астрономов появилась возмож-

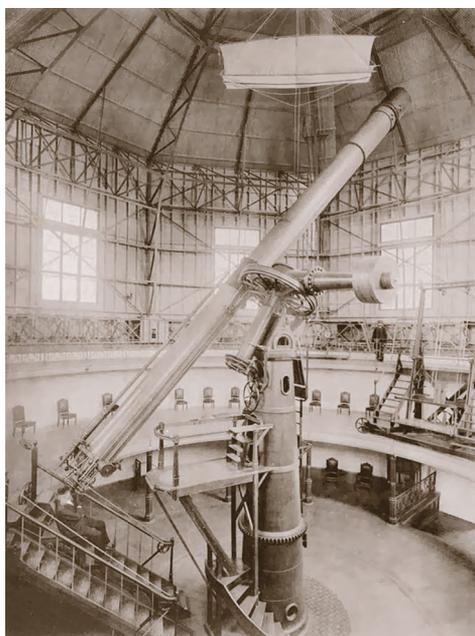


Страсбургский
19,7-дюймовый (50-см)
телескоп-рефрактор
1881 г.

ность наблюдать туманности, кометы и двойные звезды. Однако, в связи с тем, что обсерватория была расположена в низменном месте, которое было подвержено туманам, в большей степени она служила образовательным, а не научным целям. В настоящее время

в обсерватории базируется Страсбургский центр астрономических данных (Centre de données astronomiques de Strasbourg), собирающий и распространяющий астрономическую информацию, в том числе: SIMBAD – база данных астрономических объектов;

VizieR – служба доступа к астрономическим каталогам; Aladin – интерактивный атлас неба. В подвале обсерватории расположен музей «Звездный склеп» (Curgite aux étoiles), в котором представлена экспозиция, включающая старинные телескопы, а также всевозможные астрономические и навигационные устройства.



Большой Пулковский рефрактор 1885 г.
Фото 1920-х гг.

Славу «самого большого телескопа» мира у Венского рефрактора забрал Большой Пулковский рефрактор (ЗиВ, 1990, № 1; 2013, № 5). К 50-летию «астрономической столицы мира», как тогда называли Пулковскую обсерваторию, российский император Александр III выделил значительную сумму для развития инструментального парка, в связи с этим было решено заказать крупный телескоп. Оптику для него заказали у Элвина Кларка, а монтаж делала фирма И.Г. Репсольда. Телескоп с диаметром объектива 30 дюймов (76 см) и фокусным расстоянием 12,8 м установили в Пулково в июне 1885 г. На телескопе проводились наблюдения планет и двойных звезд. Благодаря ему российский астроном Гавриил Андрианович Тихов (1875–1960) сумел получить доказательства наличия атмосферы Марса, а также проследить сезонные изменения цветов поверхности

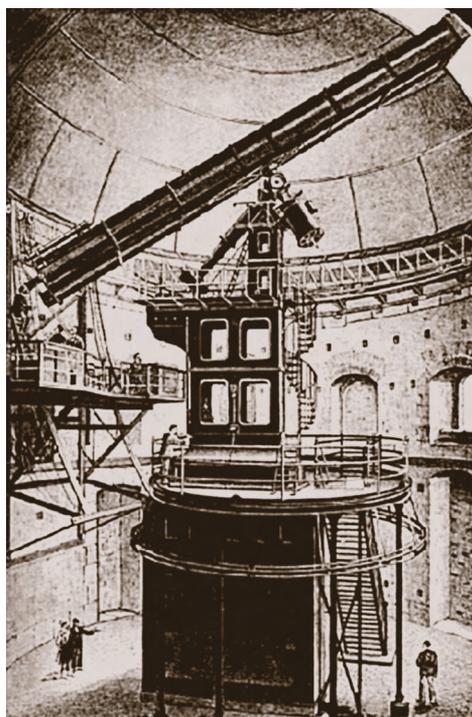


Рефрактор диаметром 30 дюймов (76 см) в обсерватории Ниццы (Франция), установленный в 1888 г. Справа – братья Анри, создатели рефрактора в Ницце

планеты (ЗиВ, 1975, № 6; 2003, № 3). Во время Великой Отечественной войны телескоп был практически разрушен. Удалось спасти лишь его объектив, который сейчас можно увидеть в музее Пулковской обсерватории.

Пулковский рекорд продержался недолго. В 1879 г. французский банкир Рафаэль Бишопшайм (1823–1906) выделил средства для создания ведущей обсерватории во Франции вблизи Ниццы. Для ее строительства были привлечены известные инженеры и оптики. Архитектор Шарль Гарнье проектировал здание обсерватории, а главный вращающийся купол диаметром 24 м и весом около 100 т – Гюстав Эйфель. Главным инструментом обсерватории стал 30-дюймовый (76 см) рефрактор с фокусным расстоянием 17,9 м, который увидел первый свет в 1888 г. Его постройкой занимались французские ученые братья Поль-Пьер и Проспер Анри, работавшие в Парижской обсерватории. Телескоп использовался для наблюдения кратных звезд, причем около 2000 из них были открыты с помощью этого телескопа, который теперь называют 30-дюймовым телескопом обсерватории Лазурного берега. В настоящее время днем телескоп показывают туристам, а ночью на нем продолжают вести научные наблюдения.

Всего около года сохранял пальму первенства рекордсмен в Ницце, как и Пулковский рефрактор. В это время во Франции шло строительство еще одного гиганта, который хоть и не стал крупнейшим рефрактором мира, но до



Большой рефрактор Медонской обсерватории 1889 г. Гравюра конца XIX в.



Ликский рефрактор 1888 г. (США)

сих пор является крупнейшим телескопом в Европе – это Большой рефрактор Медонской обсерватории (ЗиВ, 1986, № 2). Астроном Пьер Жансен (1824–1907), как когда-то Карл фон Литтров, решил создать самую передовую обсерваторию своего времени, снабдив ее лучшими инструментами. Под ее строительство французским правительством в 1876 г. были выделены значительные средства и территория Медонского замка вблизи Парижа. Оптику рефрактора изготовили все те же братья Анри, телескоп был построен в 1889 г., но установили его только через 4 года. На тот момент он стал лишь вторым по величине в мире, но занял первое место в Европе. Кроме того, он был двойным: главный визуальный инструмент имел диаметр 33 дюйма (83 см) и фокусное расстояние 16,2 м; второй инструмент представлял собой астрограф диаметром 63 см. Прославился этот инструмент тем, что на нем вел наблюдения французский астроном Эжен Мишель Антониади (1870–1944), делая великолепные зарисовки планет. В 1909 г. с помощью наблюдений на этом инструменте он создал одну из точнейших карт Марса докосмической эпохи. После серьезной реконструкции, проведенной в начале XXI в., телескоп демонстрируют в качестве музейного экспоната.

Одновременно со строительством Медонской обсерватории в США на

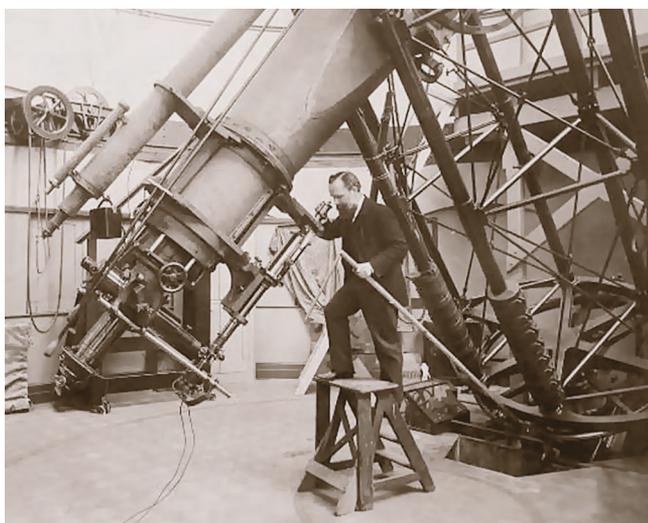
средства миллионера Джеймса Лика (1796–1876) Калифорнийский университет приступил к строительству крупной обсерватории на склоне горы Гамильтон. В самом начале 1888 г. здесь увидел свет 36-дюймовый (91 см) Ликский рефрактор с фокусным расстоянием 17,6 м. Оптику для этого инструмента изготовила фирма

«Кларк и сыновья». Он оставался крупнейшим телескопом на протяжении почти 10 лет. С его помощью был открыт спутник звезды Прочион, спутники Юпитера – Амальтея, Гималия, Элара. Сейчас этот инструмент является музейным экспонатом.

Англичане «погнались за двумя зайцами». С одной стороны, у них находился крупнейший зеркальный рефлектор мира с металлическим зеркалом «Левиафан», а также активно велось строительство крупных рефлекторов со стеклянными зеркалами (правда, впоследствии эти зеркала были проданы американцам и прославили именно их науку). С другой стороны, англичане пытались оснащать свои обсерватории и крупными рефракторами (уже не претендуя на рекорды). В конце 1850-х гг. астрономы Гринвичской обсерватории решили заменить небольшой рефрактор Мерца на более крупный инструмент, мечтая заполучить самый большой рефрактор. Но, к сожалению, по ряду финансовых и технических причин поставить новый телескоп долгое время не удавалось. Лишь в 1888 г. британский астроном Уильям Кристи (1845–1922) получил необходимую сумму и заказал у Говарда Грабба 28-дюймовый рефрактор, который увидел первый свет в 1893 г. Телескоп имел 71-см визуальный объектив с фокусным расстоянием в 8,5 м и 68-см фотографический, став

крупнейшим телескопом в Британии. На телескопе начали проводить визуальные наблюдения двойных звезд, при этом до начала Второй мировой войны было произведено две модернизации. Во время войны его законсервировали, а после перевезли на загородную базу в Херстмонсо, где вели наблюдения вплоть до 1970-х гг. Затем его вернули обратно в Гринвич, где телескоп стоит и в настоящее время в качестве музейного экспоната, и лишь в ясные ночи на нем показывают небесные объекты экскурсантам.

Еще один крупный рефрактор был установлен в Гринвиче в 1898 г. Интересен этот инструмент тем, что на одной монтировке установили 27-дюймовый (66 см) астрофотографический объектив с фокусным расстоянием в 6,8 м и 75-см рефлектор. Деньги на телескоп выделил английский врач Генри Томсон (1820–1904), а построили его в компании Г. Грабба. Инструмент был перевезен в Херстмонсо, где телескопы были разделены, там он проработал до 1970-х гг., а затем стал музейным экспонатом. В 1993 г. телескоп вновь вернули в науку, сделав частью обсерватории Международного научного центра университета Онтарио (Канада). Под конец эры больших рефракторов по инициативе английского астронома, известного наблюдателя двойных звезд Роберта Иннеса (1861–1933) фирма Г. Грабба в 1914 г. построила еще один большой рефрактор, который тогда же должны были установить в Южной Африке. К сожалению, из-за Первой мировой войны инструмент попал туда лишь в 1926 г. Диаметр его линзы равен 26 дюймам (67 см),



27-дюймовый телескоп Гринвичской обсерватории (Великобритания) 1893 г.

фокусное расстояние 10,9 м. Сейчас он известен как Рефрактор Роберта Иннеса, проработал телескоп до 1990-х гг., став музейным экспонатом. Но с момента ввода в эксплуатацию и до сегодняшнего дня является крупнейшим рефрактором в Южном полушарии.

Немецкие астрономы и оптики решили брать не ростом объективов, а их качеством и увеличением фокусного расстояния. 1 мая 1896 г. на Всемирной выставке в Берлине был продемонстрирован Великий (большой) рефрактор или «Большая пушка». Диаметр линзы был равен 27 дюймам (70 см), фокусное расстояние равнялось 22 м. Именно по этому параметру телескоп, который сейчас называют в честь инициатора его постройки рефрактором Архенгольда, является крупнейшим в мире. Объектив телескопа был изготовлен компаний «Штегель и сыновья», которая с середины XIX в. специализировалась на производстве астрономического оборудования. После окончания выставки телескоп был установлен в Трептов-парке и стал использоваться для публичных наблюдений, тем самым

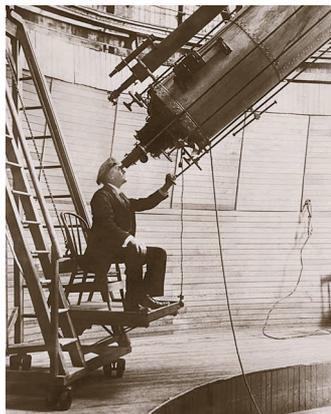


Рефрактор Архенгольда в Берлине 1896 г.

получив еще один своеобразный рекорд – самый большой публичный инструмент. До начала Первой мировой войны телескоп посетило более 60 тыс. человек. Инструмент не пострадал во время Второй мировой войны, пережил несколько реконструкций и продолжает свою работу и в настоящее время.

Американский бизнесмен, востоковед-путешественник, дипломат, астроном и математик, страстный исследователь Марса Персиваль Лоуэлл (1855–1916) в 1892 г., будучи членом наблюдательной комиссии Гарвардской обсерватории, попросил зарисовки марсианских «каналов» Джованни Скиапарелли (1835–1910; ЗиВ, 2010, № 5). Лоуэлл заинтересовался проблемой возможного существования цивилизации на этой планете, поэтому хотел сам заняться астрономическими наблюдениями Марса (ЗиВ, 2008, № 1). С 1889 г. П. Лоуэлл вместе с астрономом Уильямом Пикерингом (1858–1938) занимался поисками мест с наилучшим астроклиматом в Калифорнии и Перу, чтобы построить обсерваторию. Остановились на подготовке места для обсерватории во Флагстаффе (Северная Аризона). К весне 1895 г. был найден Марсианский холм во Флагстаффе, на котором было принято решение строить постоянную обсерваторию. Для нее Лоуэлл заказал на фирме «Кларк и сыновья» 24-дюймовый (61 см) телескоп – четвертый по величине в США того времени. Телескоп был куплен Лоуэллом в Бостоне за 20 тыс. долларов и доставлен во Флагстафф по железной дороге в 1896 г. Лоуэлл стал первым

24-дюймовый телескоп обсерватории Лоуэлла. 1896 г. Справа – П. Лоуэлл наблюдает в телескоп. 1914 г.



директором обсерватории и руководил ею вплоть до своей кончины в 1916 г. В обсерватории Лоуэлла на 24-дюймовом телескопе проводились измерения лучевых скоростей шаровых скоплений и спиральных туманностей. Сейчас телескоп находится в рабочем состоянии и ныне используется в образовательных целях (для научных исследований он уже устарел).

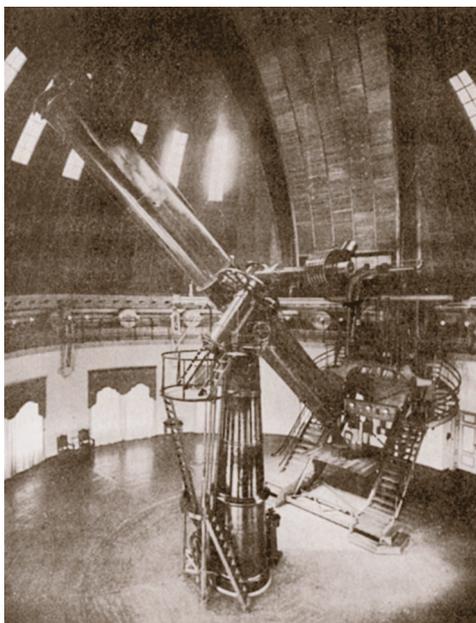
Другой американский бизнесмен, трамвайный магнат Чарльз Йорк (1837–1905) тоже решил оставить о себе память в виде огромной обсерватории, выделив деньги для ее строительства Чикагскому университету. Оптика была заказана фирме «Кларк и сыновья». Телескоп был построен в 1897 г. и стал самым крупным рефрактором в мире, закончив тем самым эру рефракторов. Диаметр его объектива равнялся 40 дюймам (102 см), фокусное расстояние – 19,4 м. До постройки обсерватории Маунт-Вилсон, где был установлен 2,5-м рефлектор, Йоркский рефрактор держал звание самого крупного визуального инструмента Америки, превосходя по пропускательной способности 1,5-м рефлектор Маунт-Вилсон. На нем проводились визуальные наблюдения планет, далеких комет и двойных звезд. С начала нашего века Чикагский университет из-за отсутствия финансирования пытается продать и даже закрыть обсерваторию, так что дальнейшая судьба этого гиганта выглядит туманной.

В Германии большой телескоп продемонстрировали в конце 1899 г. в Потсдаме под Берлином. На торжественном открытии присутствовал кайзер Вильгельм II, который и выделил значительные средства на этот инструмент, чтобы превзойти рекорды французов. Телескоп, названный «Великим рефрактором», состоял из астрографа диаметром 31 дюйма (81 см) с фокусным расстоянием 12 м и визуального инструмента с диаметром 50 см. Несмо-



40-дюймовый рефрактор
Йоркской обсерватории (США) 1897 г.

тря на то, что его объектив в настоящее время является четвертым по величине в мире, он стал самым крупным астрографом, т.к. все остальные гиганты – это визуальные инструменты. Линзу для этого рефрактора создал Бернхард Шмидт (1879–1935), который впоследствии разработает знаменитые зеркально-линзовые камеры. На этом инструменте была открыта холодная диффузная материя. С момента постройки телескоп использовался для научных наблюдений до 1945 г. – он пострадал от авиации союзников. Восстановили инструмент к 1953 г., после этого ученые продолжили вести с его помощью научную деятельность вплоть до 1968 г. Затем немецкий телескоп «Великий рефрактор» стал музейным экспонатом, но в начале нашего века были собраны средства для его возрождения и модернизации. «Великий рефрактор» находится в Потсдамской астрофизической обсерватории, основанной



«Великий рефрактор» в Потсдаме (Германия)

в 1874 г., он включен в состав астрофизического института. Сейчас этот инструмент продолжает свою работу – проводятся астрометрические и спектрометрические измерения.

Крупнейший из когда-либо созданных телескопов-рефракторов – двухлинзовый объектив-ахромат диаметром 59 дюймов или 125 см (фокусное расстояние – 57 м!) был создан в 1900 г. фирмой «Кларк и сыновья» специально для экспозиции на Всемирной выставке в Париже. Телескоп имел два сменных объектива для

Крупнейший в мире телескоп-рефрактор «Большая лунетта» диаметром 125 см, созданный фирмой «Кларк и сыновья» для Всемирной выставки в Париже. 1900 г.



визуального наблюдения диаметром 2 м и фотографического использования диаметром 1,25 м. В качестве астрографа он мог быть заменен другим объективом. Подвижное плоское зеркало диаметром 2 м (сидеростат – плоское поворотное зеркало, отражающее свет в неподвижный объектив) крепилось в большой чугунной раме. Конец окуляра телескопа для фокусировки мог смещаться на 1,5 м, для этого применялась тележка,двигающаяся по рельсам. Установить телескоп на традиционной экваториальной монтировке было невозможно по причине значительной массы объектива и длины трубы, поэтому пришлось его закрепить неподвижно и горизонтально. Наведение на небесные объекты осуществлялось с помощью отдельного объектива. Фокусировка осуществлялась подвижкой окулярной части по направляющим рельсам. При увеличении в 500 раз угловое поле зрения инструмента составляло 3 угловых минуты. Изготовление телескопа началось в 1892 г. Зеркало для сидеростата создавалось в течение 9 месяцев в компании Готье, заготовка для зеркала была отлита на заводе Jeumont на севере Франции.

Большой парижский телескоп, названный «Большая лунетта», был установлен рядом с огромным сидеростатом (вспомогательный астрономиче-

ский инструмент, содержащий плоское зеркало, перемещаемое так, что отраженные им лучи от звезд и Луны сохраняют одно и то же направление, подобный гелиостату, но применяется для рассматривания астрономических объектов) во Дворце оптики с подвижным куполом на Марсовом поле рядом с Эйфелевой башней. Стальная труба длиной 60 м (!), ориентированная на север-юг, была составлена из 24 цилиндров диаметром 1,5-м и опиралась на 7 железобетонных колонн. С помощью гигантского телескопа удалось сделать несколько наблюдений: солнечных пятен – их зарисовал Теофил Моракс (1867–1954), и туманностей, которые выполнил Эжен Антониади (1870–1944), а также несколько крупных фотографий поверхности Луны получил Шарль Ле Морван (1865–1933). К сожалению, это великолепное творение постиг печальный конец, в качестве астрономического инструмента телескоп почти не использовался. Сразу же после окончания выставки телескоп оказался ненужным. Во-первых, он был очень неудобен в использовании; во-вторых, так и не превзошел ни по качеству, ни по прониканию инструменты с меньшим диаметром объективов. Компания, организованная для его строительства в 1886 г., объявила о банкротстве. В 1909 г. телескоп, известный как «Большой телескоп Всемирной выставки в Париже», выставили на аукцион, но покупателя не нашлось, его демонтировали и разобрали на слом. Зеркало сидеростата выставлено в Парижской обсерватории как часть исторической экспозиции; два объектива, упакованные в ящики, хранятся там же, в подвальных помещениях.

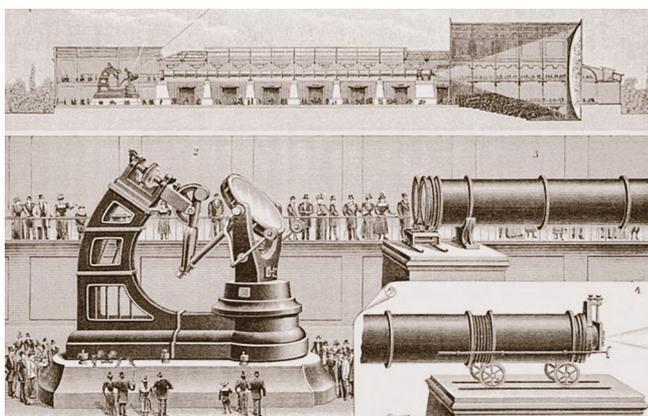
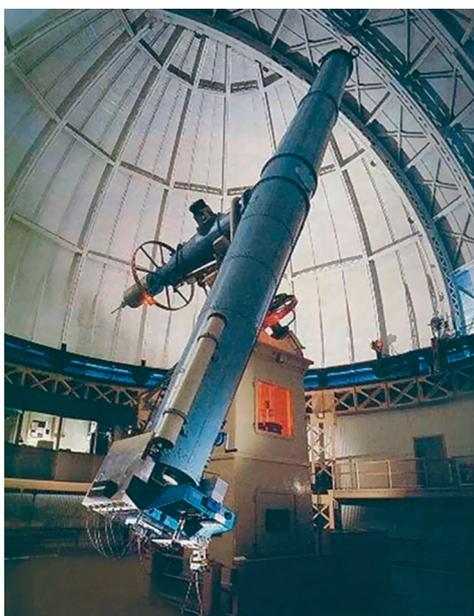


Схема гигантского рефрактора, демонстрировавшегося на Всемирной выставке в Париже: 1 – во Дворце оптики установлены сидеростат и телескоп-рефрактор; 2 – сидеростат; 3 – двухлинзовый объектив-ахромат телескопа; 4 – окуляр, перемещающийся на тележке. Гравюра

В начале XX в. многие астрономы и оптики стали понимать, что эра рефракторов подходит к концу и стали заниматься развитием зеркальных телескопов, хотя в 1914 г. в США был построен «последний из могикан»: Мемориальный рефрактор им. Вильяма Тану диаметром объектива 30 дюймов (76 см), фокусное расстояние 14,1 м. Его установили в 1917 г. в Аллегейнской обсерватории Питтсбургского университета (штат Висконсин) на деньги миллионера Вильяма Тану-младшего, который таким образом увековечил память о своем отце. Объектив этого инструмента изготовила Браширская оптическая компания. Телескоп стал третьим по величине в США. Основными объектами его наблюдений стали двойные звезды, которые с помощью этого телескопа наблюдают и в наше время.

В 1927 г. у фирмы «Кларк и сыновья» был куплен последний 20-см телескоп-рефрактор, установленный в Мемориальной обсерватории Кросбай Рэмсея в Научном центре в Мэриленде (недалеко от порта в г. Балтиморе). Компания также построила ряд небольших инструментов, которые по-преж-



30-дюймовый рефрактор, смонтированный в 1917 г. в Аллегейнской обсерватории (США)



20-см телескоп-рефрактор в Мемориальной обсерватории Кросбай Рэмсея (штат Мэриленд, США)

нему высоко ценятся среди коллекционеров и любителей астрономии.

Гигант-рефрактор мог появиться и в России, но до его постройки дело так и не дошло. В 1912 г. Пулковская обсерватория обратилась в Государственную Думу за финансированием для строительства нового телескопа с диаметром линзы в 81–82 см, кото-

рый планировалось установить в Симеизском филиале (пос. Симеиз, Южный Берег Крыма). Инструмент был заказан в 1913 г. у английской фирмы Г. Грабба, но его изготовление по причине Первой мировой войны затягивалось. Однако работы над ним велись. Мало того, англичанам удалось совершить очередной рекорд: два объектива имели диаметры по 104 см (!). Советское правительство от заказа не отказалось и вскоре объективы были переданы в Советский Союз, но комиссия отечественных оптиков усомнилась в их качестве и решила не использовать для создания инструмента. Линзы так и остались в Главном оптическом институте, где работал член-корреспондент АН СССР Дмитрий Дмитриевич Максудов (1896–1964; ЗиВ, 1996, № 3). В 1933 г. Д.Д. Максудов занялся разработкой крупного объектива для создания рефрактора (диаметром 83 см), закончив его вместе с М.А. Степановым в 1946 г. Но для такого инструмента не нашлось нужной монтировки, так как поставленная в Советский Союз монтировка фирмы Г. Грабба до Великой Отечественной войны серьезно пострадала. Получилось так, что и этот объектив не использовался и также попал в музей Пулковской обсерватории. Теперь его можно увидеть рядом с 76-см объективом Большого Пулковского рефрактора.

Рефракторы не ушли в вечность, они лишь сменили профиль деятельности. Большие объективы (диаметр линзы от 50 до 100 см) стали использоваться в солнечных телескопах, меньшие (диаметр 40 см) – в широкоугольных рефракторах типа Цейсс-400, а знаменитые Цейсс-300 заняли достойные места во многих любительских обсерваториях СССР и Европы, продолжая свою работу и сейчас.

Авторы статьи выражают благодарность Рахимовой Залине Хамдамовне за помощь в подготовке материала.

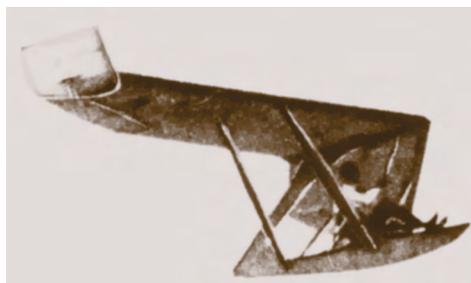
ПРОЛОЖИВШИЙ ПУТЬ В КОСМОС (к 125-летию со дня рождения М. Валье). Часть 2

ГЕРАСЮТИН Сергей Александрович

Мемориальный музей космонавтики

DOI: 10.7868/50044394820020085

...Весной 1928 г. Валье посоветовался с планеристами из Рёна, расположенного в горном районе в центре Германии (с 1920 г. здесь проводились планерные слеты), какой лучше планер выбрать для опытов. Валье хотел получить практические рекомендации, касающиеся полетов на планерах, и вместе с планеристами приступить к испытаниям моделей и самолетов с ракетными двигателями. 13 апреля Валье и Зандер приехали в Вассеркуппе, где работал в Rhön-Rossitten-Gesellschaft аэродинамик и авиаконструктор Александр Липпиш (1894–1976). Он предложил Валье свою модель планера Storch (аист), выполненный по схеме «летающее крыло», для установки на нем ракетных двигателей. А. Липпиш вместе с авиаконструктором



Самолет Storch конструкции А. Липпиша в полете. 11 июня 1928 г.

и летчиком Фритцем Штамером (1897–1969) при финансовой поддержке фирмы «Опель» создали планер Storch с двумя пороховыми ракетами Зандера для полета человека. 10 июня 1928 г.



Проекты самолетов с ракетными двигателями М. Валье: а – Тур 9 (1928 г.), б – Тур 11 (1929 г.).
Рисунки братьев фон Рёмер.



Самолет Opel-Sander Rak-1 с пороховыми ракетами Зандера пилотирует Ю. Хатри. 30 июня 1929 г.

небольшая модель Storch-а весом 15 кг выполнила успешные испытательные полеты. На следующий день в Вассеркуппе Ф. Штамер выполнил первый в мире полет планера на ракетной тяге.

В начале июля 1928 г. Валье вел переговоры с владельцем компании J.F. Eisfeld GmbH по производству пороха и пиротехнических изделий Вернером Майер-Хайлиге об испытаниях дрезины с ракетными двигателями, установленной на железнодорожных рельсах. Майер-Хайлиге еще в 1926 г. на территории своего предприятия в Лорене проводил испытания ракетных двигателей. Первый пробег дрезины от Бургведеля до Целле (близ г. Ганновера) был осуществлен 23 июня 1928 г. Беспилотный «ракетный вагон» Opel-Rak 3 приводился в движение батареей из 10 ракет, которые воспламенялись с помощью часового механизма. Дрезина развила максимальную скорость 290 км/ч, после чего «тормозные» ракеты не сработали, она проехала по инерции еще несколько километров. После этого дрезину вновь подтянули к месту старта; на нее установили 30 ракет, предполагая таким образом побить рекорд скорости, но ускорение

было чересчур сильным: сразу после старта она сошла с рельсов и разбилась. Та же судьба постигла и модель Rak-4. Опель подготовил модель Opel-Rak 5, но вмешались железнодорожные власти и запретили проводить дальнейшие эксперименты.

Для проведения цикла лекций Валье вернулся назад в Мюнхен и заказал братьям Рёмер нарисовать по его проекту Тур 7 скоростной ракетный самолет RF-1, обсудил рисунки двух других проектов: Тур 8 (пассажирский самолет с четырьмя поршневыми авиационными двигателями и дополнительным ракетным) и Тур 9 (пассажирский самолет по схеме «летающее крыло» с ракетным двигателем, в толстом крыле располагались салоны с пассажирами). В конце 1928 г. – начале 1929 г. придумал еще два: Тур 10 (скоростной самолет со стреловидным крылом и 8-ю ракетными двигателями для перелетов между европейским и американским континентами) и Тур 11 (стратосферный самолет по схеме «бесхвостка» дальнего радиуса действия). Только в последнем проекте самолет оснащался ЖРД с регулируемой тягой.

М. Валье после заезда на ракетном автомобиле Valier-Heylandt Rak-6 с ЖРД. Берлин, 19 апреля 1930 г.



Летом 1929 г. в Дюссельдорфе Валье обратился к владельцам авиастроительного предприятия братьям Эспенлауб с предложением построить RF-1, но для изготовления его прототипа отсутствовали средства. 9 июля 1929 г. в г. Бохум он испытал Valier Rak-3 из переоборудованного самолета-буксировщика Эспенлауба на аэродроме Дюссельдорф-Лохаузен. В письме пишет братьям Рёмер: «...я пришел к мнению о необходимости создания совершенно новой конструкции быстрого самолета с ракетной силовой установкой длиной 11 метров, размахом крыла 6,5 метра большой стреловидности... В дальнейшем планируется применять жидкостные реактивные двигатели, над которыми сейчас работают в лаборатории. Как только эти двигатели будут отработаны, они заменят пороховые ракеты. Проведенные испытания были во всех отношениях удачными».

Успешные полеты Ф. Штамера не оставляли в покое Ф. фон Опеля, и в июне 1929 г. на реке Эльба он испытал стартовые твердотопливные ускорители, с помощью которых самолет Junkers W33 взлетел с водной поверхности. Следует отметить, что годом ранее подобные испытания планировал выполнить Валье, но его предложение не было принято. Один из немецких пионеров ракетной техники, инженер и летчик Юлиус Хатри (1906–2000) сконструировал и построил самолет Opel-Sander Rak-1 с пороховыми ракетами Зандера. 30 июня 1929 г. Rak-1 пролетел 3 км за 75 секунд, достигнув скорости 145 км/ч, прежде чем разрушился при аварийной посадке. Полет вошел в историю как первый полет человека на ракетном летательном аппарате. Опель хотел переключиться от автомобилей с пороховыми двигателями на разработку ракетных самолетов, но отказался от этой мысли после удачного полета Opel-Sander Rak-1 30 сентября 1929 г., запущенного с аэродрома Ребсток недалеко от Франкфурта-на-Майне. Опель развил на нем за 10 мин скорость 150 км/ч.

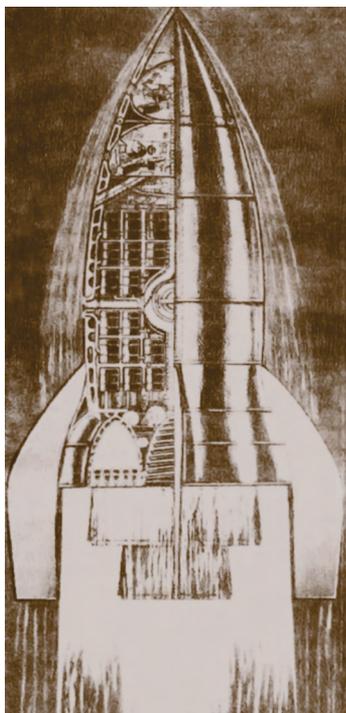
В конце 1929 г. в Берлине Валье обратился к директору завода Heylandt-



М. Валье тестирует жидкостной двигатель в лаборатории. 1929 г.

Werke инженеру К.П. Хейландту с предложением изготовить установку для получения жидкого кислорода, необходимого в качестве окислителя для ЖРД. Хейландт проявил интерес к производству жидкого кислорода и за 6 тыс. марок предоставил в его распоряжение инженеров-испытателей Вальтера Риделя (1902–1968; будущий начальник КБ исследовательского центра Пенемюнде и главный конструктор баллистической ракеты А-4, или Фау-2) и Артура Рудольфа (1906–1996; руководил разработкой ряда систем А-4, или Фау-2, а также РН «Сатурн-5»). В итоге удалось разработать камеру сгорания, в которой смесь из распыленного спирта и жидкого кислорода создавала тягу в 28 кг. 25 января 1930 г. на заводе Хейландта был выполнен первый успешный испытательный запуск ЖРД, работавший 5 мин. Валье на территории предприятия произвел испытательный заезд на специально созданном автомобиле Valier-Heylandt Rak-6 с ЖРД, а 19 апреля – на летном поле аэродрома Темпельхоф в Берлине.

На самолете с ЖРД Валье планировал выполнить перелет из Кале в Дувр. Для этой цели он надеялся получить необходимые для этого средства у генерального директора концерна Shell сэра Г. Детердинга. В надежде на возможность получить необходимые средства Валье переделал камеру сгорания двигателя, вместо спирта используя нефть концерна Shell. Двигатель тягой 80 кг разогнал экспериментальный автомобиль до 80 км/ч и мог поддерживать такую скорость в течение 5 мин. Но Валье хотел достичь еще большей мощности, поэтому он настоял на увеличении диаметра сопла двигателя и повышении давления в камере сгорания, надеясь получить тягу в 100 кг. Качество работы двигателя оставляло желать лучшего: пламя было красноватым и дымным, что являлось признаком неполного сгорания топлива. Но Валье был уверен, что он сможет вскоре усовершенствовать свой двигатель. Он хотел подготовить автомобиль для показа во время Недели авиации в Берлине 25–31 мая 1930 г. Программа Недели авиации включала публичные лекции, показ документальных фильмов, небольшие полеты над городом и организацию выставки на Потсдамерплатц, одной из центральных площадей Берлина. 17 мая 1930 г. Валье допоздна работал на испытательном стенде завода Heylandt-Werke, проводя уже множество раз запуски своего двигателя, когда давление в камере сгорания достигло 7 атм, горение стало неравномерным и двигатель взорвался, стальной осколок вонзился ему в грудь, перерезав легочную артерию, и он погиб.



*Ракетный корабль.
Иллюстрация из книги
М. Валье «Прорыв в мировое
пространство». Мюнхен, 1927 г.*

После смерти Валье Хейландт сам продолжил его эксперименты, для проведения которых привлек только А. Пича. Результат этой работы – опытную камеру сгорания они продемонстрировали представителям прессы в июле 1930 г. Это была переходная конструкция между ЖРД Валье и следующим ЖРД группы Хейландта (в нее он теперь включил В. Риделя и А. Рудольфа), которая создавалась зимой-весной 1931 г. Летом того же года, вскоре после его испытаний, Пич был уволен, за ним последовал Рудольф в 1932 г. и Ридель в 1934 г. Позже Ридель и Рудольфа взял на работу в ракетный отдел Управления вооружений армии инженер-полковник Вальтер Дорнбергер (1895–1960), в 1937–1945 г. он руководил Институтом ракетного вооружения – исследовательским центром в Пенемюнде, где была создана первая в мире баллистическая ракета дальнего действия А-4 (Фау-2)¹.

Через много лет после смерти Валье в небо поднялись специально сконструированные ракетные самолеты с ЖРД: 20 июня 1939 г. He-176 конструкции Г. Регнера, 28 февраля 1940 г. ракетоплан РП-318, созданный по проекту С.П. Королёва, его пилотировал летчик В.П. Фёдоров; 3 июня 1939 г. экспериментальный DFS194 конструкции А. Липпиша, испытания проводил летчик Х. Дитмар,

¹Первый (неудачный) пуск ракеты со стартовой площадки испытательного стенда № 7 в Пенемюнде состоялся 13 июня 1942 г., успешный полет – 3 октября 1942 г. продолжался 4 мин 56 с, А-4 достигла высоты 48 км и дальности 190 км.



Народная обсерватория и Планетарий Южного Тироля в Гуммере (слева) и настольная медаль, выпущенная в 1970 г. к 75-летию М. Валье

летом 1939 г. была достигнута скорость 547 км/ч; год спустя Х. Дитмар разогнал истребитель-перехватчик Me-163A «Комета» конструкции А. Липпиша до 1000 км/ч; 15 мая 1942 г. скоростной истребитель BI-1 конструкции А.Я. Безрезняка и А.М. Исаева под управлением Г.Я. Бахчиванджи, 27 марта 1943 г. он совершил полет с той же скоростью.

Вилли Лей так оценил значение работ Валье: *«История создания ракетного самолета является частью истории развития ракет, а сам ракетный самолет может быть назван побочным продуктом ракетных исследований... Макс Валье предлагал превратить обычный самолет в ракетный путем простой замены двигателей внутреннего сгорания – ракетными. Он утверждал, что в дальнейшем, постепенно совершенствуя двигатели и сокращая площадь несущих поверхностей, можно будет создать из такого самолета пилотируемую космическую ракету...»*². Профессор Берлинского технологического института А. Фриц сказал: *«Чтобы в полной мере оценить значение Валье, нужно помнить, что вплоть до публикации в 1923 г. основополагающего труда Германа Оберта «Ракета в межпланетное пространство» уже были опубликованы теоретические труды Гансвиндта, Циолковского, Эсно-Пельтри и Годдарда, но все*

они не могли по-настоящему воодушевить ни научный мир, ни общественность своим энтузиазмом и верой, как Валье. В Германии произошло удивительное развитие ракетной техники и астронавтики, непреодолимая заслуга в этом Макса Валье».

Память о Максе Валье до сих пор хранится в Южном Тироле, где он почитается как один из известных изобретателей и ученых из этой провинции. В честь Валье назван крупный кратер диаметром 65 км и глубиной 2,75 км на обратной стороне Луны, Высшая техническая школа и клуб астрономов-любителей в Больцано, улицы в Вене и в Сейс-ам-Шлер (муниципалитет Кастельротто, провинция Больцано), выпущена настольная медаль. Ряд учреждений назван его именем: Южно-Тирольское общество юных астрономов, народная обсерватория и Планетарий Южного Тироля в Гуммере, бизнес-школа Оскара Миллера в Мерано по изготовлению микроспутников SubSat. Наноспутник Max Valier Sat массой около 15 кг для тестирования любительской радиосвязи и проведения съемки неба в рентгеновском спектральном диапазоне был создан в сотрудничестве с Институтом Макса Планка (Германия), запущен 23 июня 2017 г. с космодрома Шрихарикота с помощью индийской РН PSLV-C38. Макс Валье увековечен в Международном космическом Зале славы Музея истории космонавтики в Аламогордо (штат Нью-Мексико, США), в нем отмечены люди, внесшие большой вклад в развитие космических полетов и технологий.

² Лей В. «Ракеты, баллистические ракеты и космические путешествия» (Rockets, Missiles and Space Travel). Нью-Йорк, 1951. Русский перевод: Ракеты и полеты в космос. М.: 1956.

НОЧЬ. НЕБО. ТЕЛЕСКОП

КАЛЯКИНА Татьяна Александровна,

зав. отделом научно-просветительской работы

МИТЮГОВ Алексей Вадимович,

старший научный сотрудник

Нижегородский планетарий им. Г.М. Гречко

DOI: 10.78668/S0044394820020097

Традиционно, приходя в планетарий, люди интересуются возможностью посетить сеанс реальных астрономических наблюдений. В свою очередь, планетарий должен найти возможность этот интерес удовлетворить. Однако большинство планетариев находятся в городах, где уровень светового загрязнения сильно ограничивает проведение таких сеансов. Обычно они сводятся к вечерним мероприятиям по наблюдению в телескоп Луны и видимых невооруженным глазом планет. При этом сотрудник Планетария может давать устные комментарии, либо выступать с лекциями, либо использовать наглядные пособия – тематические плакаты.

Основная идея нового подхода подобных сеансов состоит в том, чтобы связать ход лекции с происходящими в реальном времени астрономическими явлениями: заход Солнца, восход Луны, появление на небе в процессе наступления вечерних сумерек планет и ярких звезд, а также некоторыми интересными событиями, видимыми невооруженным глазом (например, пролетом МКС). Такая комбинация не только позволяет удовлетворить самые разнообразные запросы зрителей, но и является методикой, которая может быть реализована на любой площадке, даже без купола. Формат взаимодействия лектора со зрителями



Афиша сеанса «Ночь. Небо. Телескоп»

получается максимально свободным. Как лекция, так и наблюдения рождают большое количество вопросов, обсуждений, даже дискуссий.

Сеанс «Ночь. Небо. Телескоп» проводится в Нижегородском планетарии в летний период. Отдельное внимание уделяется обустройству лекционно-наблюдательной площадки. Для проведения сеанса проводится зонирование открытой смотровой площадки:

лекционная зона (столики, стулья, проектор, экран) и наблюдательная зона (место установки телескопов, биноклей, зрительных труб). Площадка призвана соответствовать общему настроению мероприятия, оформляется столиками, светящимися макетами небесных тел, дополняется музыкальным сопровождением. Расположившись за столиками прямо на крыше Планетария, посетители могут окунуться в удивительную атмосферу вечера: насладиться панорамой вечернего города в сопровождении «космической» музыки; прослушать интересную лекцию, в ходе которой на небе происходят те или иные явления, а после этого посмотреть в окуляр телескопа.

В методику проведения сеанса «Ночь. Небо. Телескоп» входит совокупность приемов, учитывающих особенности места наблюдения и условия видимости астрономических объектов. Первая и самая важная специфика – обзор сторон горизонта, вторая – время появления небесных тел. Сеансы наблюдений проводятся только в летний период (когда еще светло), поэтому времени вполне достаточно, чтобы посетители поднялись на крышу и расположились за столиками. Лектор начинает свой рассказ, в то время как небо постепенно



начинает темнеть. Для презентации лектор использует экран и проектор, на котором воспроизводятся материалы, сопровождающие лекцию. Основная идея состоит в том, что появление небесных объектов и явлений происходит синхронно с рассказом, как бы принимая участие в нем. Во второй половине сеанса посетители проходят к установленным телескопам. Важно, чтобы в наличии было несколько телескопов и люди могли свободно перемещаться между ними. Одновременно с телескопическими проводятся наблюдения невооруженным глазом: лектор помогает посетителям искать отдельные главные звезды в созвездиях и по ним определять, какое созвездие они



Во время сеанса
«Ночь. Небо. Телескоп»



Наблюдения в телескоп

увидели. Во время мастер-класса лектор также знакомит посетителей с современными приложениями для мобильных устройств, помогающими ориентироваться в процессе поиска созвездий.

Каждый сеанс «Ночь. Небо. Телескоп» получается уникальным, в связи с разной последовательностью и временем появления объектов. С помощью астрономического календаря выбирается период дат, подходящих для проведения наблюдений, в основном ориентированных на фазы Луны. Выбираются фазы вблизи полнолуния, обосновано это задачей увидеть восход лунного диска. После этого определяется тема лекции, исходя из того, какие небесные тела и явления будут видны в данный день. Далее с помощью раз-

личных ресурсов составляется ежевечерний план сеанса. Также сеанс включает наблюдение пролета МКС (если в этот период есть видимые пролеты высоко над горизонтом). Восходом Луны и видимыми пролетами МКС определяются временные рамки сеанса. Иногда возможны комбинации, при которых сеанс начинается не восходом Луны, а пролетом МКС и т.п. Таким образом, ход сеанса каждый раз выстраивается в зависимости от времени появления небесных тел и явлений. Учитывая это, лектор строит последовательность своего рассказа с участием небесных тел.

Данная методика позволяет удовлетворить самые разнообразные запросы зрителей и может быть реализована практически на любой площадке. Опыт показал, что такие сеансы вызывают постоянный интерес и привлекают большое количество людей.

Напомним, что Нижегородский планетарий был открыт в 1948 г. (ЗиВ, 2010, № 2). Более 70 лет Планетарий знакомит детей и школьников с астрономической картиной мира, способствует широкому распространению

знаний в области астрономии и космонавтики, формирует у подрастающего поколения интерес к естественным наукам, научное миропонимание и осознание уникальности планеты Земля. Миллионы нижегородцев и гостей



Мастер-класс по наблюдениям невооруженным глазом

Здание Нижегородского
планетария
им. Г.М. Гречко, 2019 г.



города смогли приобщиться к тайнам Вселенной в Звездном зале Планетария. В 2005 г. по специальному проекту было построено новое здание Нижегородского планетария. Он стал многокупольным, многосальным и первым в России цифровым планетарием.

В комплекс Планетария входят Большой звездный зал «Звездный театр» и Малый звездный зал «Астрономия», зал «Планета» и зал «Космонавтика», где установлен тренажер российского пилотируемого космического корабля «Союз-ТМА», предназначенный для отработки навыков сближения и стыковки в ручном режиме с Международной космической станцией. Работает специализированная библиотека астрономической литературы, часть книг которой была передана Планетарию Нижегородским кружком любителей физики и астрономии (основан в 1888 г.).

Большой звездный зал Планетария с куполом диаметром 16,6 м оснащен отечественной системой визуализации. В отличие от планетариев, где звездное небо воспроизводится с помощью оптико-механических систем, в этом зале для показа звездного неба впервые в практике российских планетариев используются специализированные мультимедийные техноло-

гии. В центре зала отсутствует громоздкий проектор звездного неба, характерный для планетариев прошлого века. По краю купола размещено шесть профессиональных проекторов, воспроизводящих полнокупольное изображение. Все проекторы управляются компьютерной станцией с единого пульта.

Для создания полнокупольных звездных шоу в Нижегородском планетарии работает целый отдел производства цифровых программ. На протяжении многих лет в Нижегородском планетарии не только демонстрируется, но и производится полнокупольный контент. Нижегородский планетарий – призер всех четырех (2013, 2015, 2017, 2019 гг.) международных фестивалей научно-популярных полнокупольных программ для планетария «Отражение Вселенной».

Нижегородский планетарий является прекрасной методической базой для педагогов города и области. Он создает информационно-методические материалы (астрономические календари, подвижные карты звездного неба, информационные астрономические закладки для книг). Разработанные программы позволяют проводить «звездные» уроки под куполом планетария.

EARTH & UNIVERSE

2 (332), 2020

March–April

TABLE OF CONTENT:

Lev M. ZELENYI Editorial	3
Vladimir A. MARSAKOV Stepchildren of the Galaxy	5
Oleg V. VERKHODANOV Giant Radiogalaxies as Unique Objects of the Universe	18
Rafail L. APTEKAR Quarter-of-a-Century Gamma-Ray Bursts Collection. KONUS-WIND Space Experiment	31

XXI CENTURY COSMONAUTICS

Dmitry B. PAYSON The End of Elite Club — 2. New Frontiers for Space Entrepreneurs	43
Space Research in 2019. Launches and Events	54

PEOPLE OF SCIENCE

Alina I. EREMEYEVA The One Who Found that the Speed of Light has its Limits. Ole Christensen Romer (to the 375 th Anniversary)	59
--	----

HISTORY OF SCIENCE

Lyudmila P. GRIBKO Astronomy Teaching at Moscow University in the Early XIX Century	72
Yuri V. SOLOMONOV, Sergey A. GERASYUTIN The Largest Refractors of the World	88

PEOPLE OF SCIENCE

Sergey A. GERASYUTIN Max Valier: German Space Pioneer. Final Part	101
---	-----

PLANETARIA

Tatiana A. KALYAKINA, Alexey V. MITYUGOV Night. Sky. The Telescope	106
Table of Content and Selected Abstracts	110

EARTH & UNIVERSE

2 (332), 2020

March–April

Stepchildren of the Galaxy

Vladimir A. MARSAKOV

Research Institute of Physics, Southern Federal University

DOI: 10.7868/S0044394820020012

About a hundred years ago astronomers recognized the Milky Way an isolated stellar system. Since then no one has ever thought that single stars or stellar clusters visible from Earth could form somewhere outside our galaxy. In other words, astronomers considered all stellar objects in the galaxy genetically related, i.e. formed from the initial protogalactic cloud. However the velocities and chemical compositions of some — even nearest — stars and globular clusters do not fall in line with these ideas. In this article we attempt to trace the evolution of our vision of the Milky Way formation.

Giant Radiogalaxies as Unique Objects of the Universe

Oleg V. VERKHODANOV

Special Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences

DOI: 10.7868/S0044394820020024

Among the targets for our radio telescopes, radiogalaxies, on one hand, belong to the best studied objects. On the other hand, they still remain mysterious and attractive in many aspects. In particular, in the family of radiogalaxies there is a group of objects, whose extreme dimensions and unusual behavior still provoke considerable debate in the scientific community. These are so-called giant radiogalaxies. In this article O.V. Verkhodanov tells us about the most prominent representatives of giant radiogalaxies, proposed ideas of their formation and evolution, and still unsolved problems in the field.

Quarter-of-a-Century Gamma-Ray Bursts Collection KONUS-WIND Space Experiment

Rafail L. APTEKAR

Ioffe Institute

DOI: 10.7868/S0044394820020036

November, 2019, Russian space experiment KONUS aboard WIND spacecraft (NASA) marked its 25th anniversary. Today, it is the oldest operational Russian scientific instrument in space. KONUS-WIND catalogue of GRBs includes more than 3000 events (approximately 120 in a year), which is among the largest in the world. The instrument is one of the crucial elements of the InterPlanetary Network, or IPN — a network of spacecraft with gamma-ray detectors aboard, which are used to detect and localize GRBs. The first PI of the experiment, Evgeny Mazets of Ioffe Institute, was a pioneer of GRB studies, the one who showed that their sources are far outside our Galaxy. Rafail Aptekar, the current PI of the experiment, gives an overview of the KONUS-WIND results and its place in a new multi-messenger astronomy, which emerged with the first successes of gravitational astronomy.

Индекс 70336

Земля и Вселенная, 2/2020

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 27.01.2020 г. Подписано к печати 02.03.2020 г.
Дата выхода в свет 17.03.2020 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. 83 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