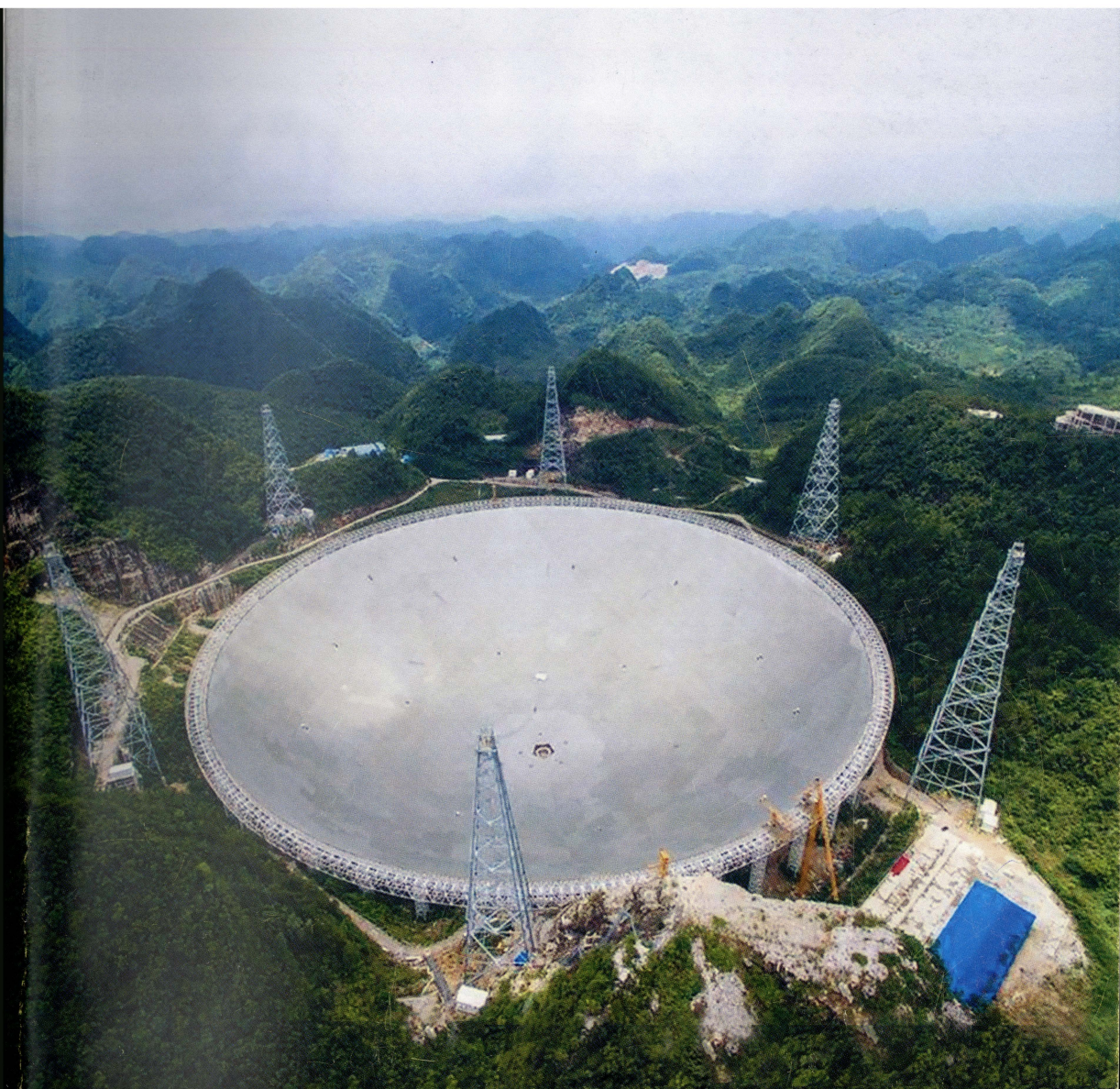


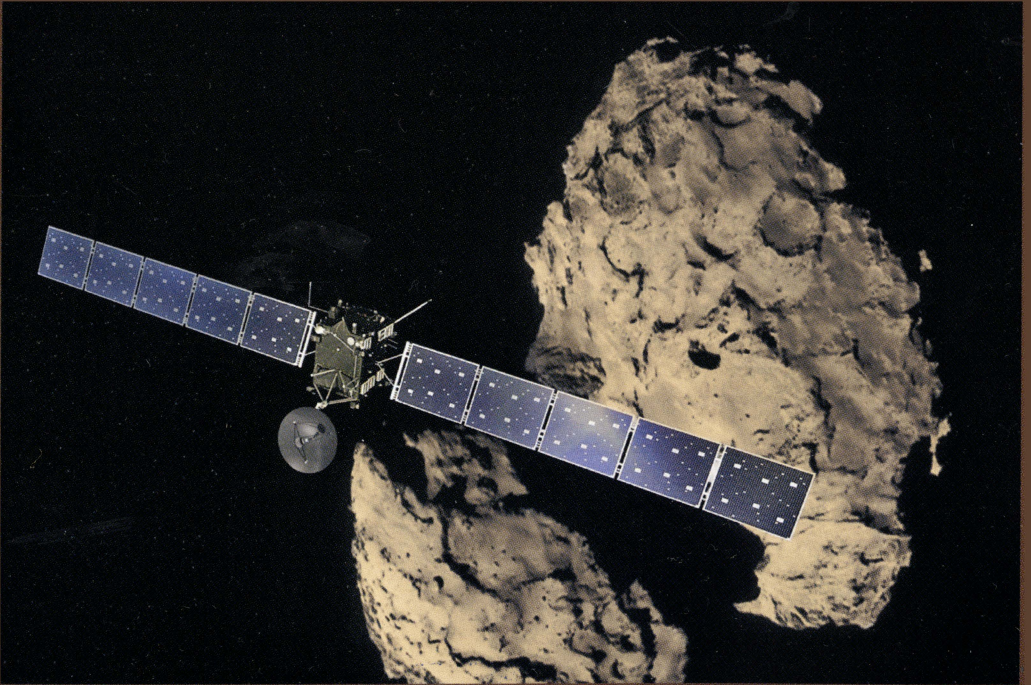
ISSN 0044-3948

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

КОСМОНАВТИКА
АСТРОНОМИЯ
ГЕОФИЗИКА

ЯНВАРЬ-ФЕВРАЛЬ 1/2017





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

Земля и Вселенная

1/2017



Новости науки и другая информация: КТХ: планетарная туманность NGC 2440 [16]; Крупнейший в мире радиотелескоп [17]; «Спитцер»: скопление Пандора [18]; Крупные карликовые планеты [18]; Российский ученый удостоен медали КОСПАР [34]; «Ферми» открыла редкую гамма-двойную [35]; «Розетта»: конец космической одиссеи [36]; Солнце в августе – сентябре 2016 г. [47]; Пылающий гамма-источник [63]; Джет далекой черной дыры [64]; Уникальный гамма-телескоп [65]; Тестирование телескопа им. Уэбба [66]; Новый этап китайской пилотируемой программы [78]; Новости о Плуtone [94]; Фонтаны на Европе [95]; «Доун»: новое о Церере [96]; «Юнона» исследует систему Юпитера [98]; Планы колонизации Марса [109]

В номере:

- 4 РОМАНЮК И.И., СЕМЕНКО Е.А. Магнитные звезды в области ассоциации Орион OB1
- 19 ФАБРИКА С.Н. Ультрарякие рентгеновские источники
- 38 ПАНЧУК В.Е. Техника наблюдений звезд с высоким спектральным разрешением

ЛЮДИ НАУКИ

- 50 БАЛЕГА Ю.Ю., КЛОЧКОВА В.Г. И.М. Копылов – первый директор Специальной астрофизической обсерватории
- 58 ЕРЕМЕЕВА А.И., ЦВЕТКОВ В.И. Памяти Романа Львовича Хотинка

ИСТОРИЯ НАУКИ

- 68 ЖЕЛНИНА Т.Н. Труд К.Э. Циолковского “Исследование мировых пространств реактивными приборами” (к 90-летию опубликования)

ПЛАНЕТАРИИ

- 80 БАЛТИНА Т.Л. Пермский планетарий

ЭКСПЕДИЦИИ

- 89 ЯЗЕВ С.А. Наблюдения полного солнечного затмения 9 марта 2016 г. в Индонезии

ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ

- 100 СОЛОМОНОВ Ю.В. Астеризмы в созвездии Андромеды
- 105 ЩИВЬЁВ В.И. Небесный календарь: март–апрель 2017 г.



Zemlya i Vselennaya (Earth and Universe); Moscow, Profsoyuznaya str., 90, f. 1965, 6 a year; by the Nauka (Science) Publishing House; Joint edition of the Russian Academy of Science; popular, current hypotheses of the origin and development of the Earth and Universe; astronomy, geophysics and space research; Acting Chief Editor S.P. Perov; Deputy Editor V.M. Kotlyakov

На стр. 1 обложки: Китайский 500-м радиотелескоп FAST в горной провинции Гуйжоу. Фото CAS (к стр. 17).

На стр. 2 обложки: Вверху – Гамма-двойная система LMC P3 (в кружке), находящаяся в остатке сверхновой DEM L241, вспыхнувшей в Большом Магеллановом Облаке (163 тыс. св. лет от нас). Снимок получен в 2012 г. КТХ, использованы данные космической обсерватории “Ферми”. Фото NASA/JPL (к стр. 35). Внизу – Европейская АМС “Розетта” с раскрытыми панелями солнечных батарей пролетает над ядром кометы 67P/Чурюмова–Герасименко. Рисунки и фото ESA (к стр. 36).

На стр. 3 обложки: Вверху – Планетарная туманность NGC 2440 “Медуза” в созвездии Корма (4 тыс. св. лет от нас), в ее центре расположен белый карлик. Выбрасываемый звездой материал светится разными цветами в зависимости от его плотности и состава, близости к раскаленным остаткам звезды: синим – гелий; си-не-зеленым – кислород; красным – азот и водород. Снимок получен в сентябре 2007 г. КТХ. Фото NASA/JPL (к стр. 16). Внизу – старт 15 сентября 2016 г. с космодрома Цзюцзянь РН “Великий Поход-2ФТ” с китайским орбитальным модулем “Тяньгун-2”. Фото CNSA (к стр. 78).

На стр. 4 обложки: Галактическое скопление Abell 2744 “Пандора” (3,5 млрд св. лет от нас в созвездии Скульптора). Далекие галактики имеют вид дуг из-за искажения в результате гравитационного линзирования. Синтезированное изображение составлено из снимков КТХ (получено 31 июля 2015 г.) и космической обсерватории “Спитцер” (сентябрь 2016 г.). Фото NASA/JPL (к стр. 18).

In this issue:

- 4 ROMANYUK I.I., SEMENKO E.A. Magnetic Stars in the Region of Orion OB1 Association
- 19 FABRIKA S.N. Ultraluminous X-ray Sources
- 38 PANCHUK V.E. High Spectral Resolution Technique of Stellar Observations

PEOPLE OF SCIENCE

- 50 BALEGA Yu.Yu., KLOCHKOVA V.G. I.M. Kopylov – First Director of Special Astrophysical Observatory
- 58 EREMEYEVA A.I., TSVETKOV V.I. In Memory of Roman L'vovich Khotinok

HISTORY OF SCIENCE

- 68 ZHELNINA T.N. K.E. Tsiolkovsky's Work “Exploration of Outer Space by Means of Rocket Devices” (to the 90th Anniversary of Publication)

PLANETARIA

- 80 BALTIMA T.L. Perm Planetarium

EXPEDITIONS

- 89 YAZEV S.A. Observations of 2016 March 9th Total Solar Eclipse in Indonesia

AMATEUR ASTRONOMY

- 100 SOLOMONOV Yu. V. Asterisms of Andromeda Constellation
- 105 SHCHIV'YOV V.I. Celestial Calendar: March–April 2017

Редакционная коллегия:

и.о. главного редактора доктор физ.-мат. наук С.П. ПЕРОВ,
зам. главного редактора академик В.М. КОТЛЯКОВ,
доктор физ.-мат. наук А.А. ГУРШТЕЙН,
академик Л.М. ЗЕЛЁНЫЙ,
доктор исторических наук К.В. ИВАНОВ,
кандидат физ.-мат. наук О.Ю. ЛАВРОВА,
член-корр. РАН А.А. МАЛОВИЧКО, доктор физ.-мат. наук И.Г. МИТРОФАНОВ,
академик И.И. МОХОВ, член-корр. РАН А.В. НИКОЛАЕВ,
член-корр. РАН И.Д. НОВИКОВ, доктор физ.-мат. наук М.В. РОДКИН,
доктор физ.-мат. наук Ю.А. РЯБОВ, член-корр. РАН В.А. СОЛОВЬЁВ,
кандидат физ.-мат. наук О.С. УГОЛЬНИКОВ, член-корр. РАН В.П. САВИНЫХ,
академик А.М. ЧЕРЕПАЩУК, доктор физ.-мат. наук В.В. ШЕВЧЕНКО

ПОЗДРАВЛЯЕМ

**новых академиков и членов-корреспондентов РАН –
авторов нашего журнала!**



*Академик Ю.Ю. Балуга
(Отделение физических наук,
физика и астрономия)*



*Академик И.И. Мохов
(Отделение физических
наук, физика атмосферы)*



*Член-корреспондент РАН
М.Р. Гильфанов
(Отделение физических наук,
астрономия)*



*Член-корреспондент РАН
Ю.Ю. Ковалёв
(Отделение физических наук,
астрономия)*

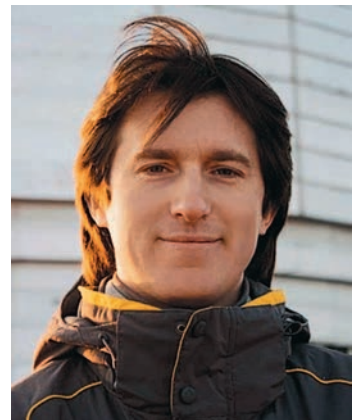


*Член-корреспондент РАН
О.И. Кораблёв
(Отделение физических наук,
физика планет)*

Магнитные звезды в области ассоциации Орион OB1

И.И. РОМАНЮК,
доктор физико-математических наук
Е.А. СЕМЕНКО,
кандидат физико-математических наук
САО РАН

В настоящей статье обсуждаются проблемы лишь одного из направлений звездной астрофизики – наблюдения некоторых типов звезд с необычным химическим составом в огромной ассоциации молодых звезд Орион OB1. Исследования проводились в 2010–2016 гг. в Лаборатории исследований звездного магнетизма САО РАН.



ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В КОСМОСЕ

Каждый раз, когда вступают в строй новые, более совершенные телескопы, астрономы, работающие на них, получают возможность исследовать то, что раньше никому не удавалось: видеть рекордно слабые удаленные объекты, ре-

гистрировать сверхбыстрые скоротечные явления, получать спектры и изображения небесных тел с рекордно высоким пространственным разрешением, позволяющие точнее измерять их характеристики.

Несмотря на достигнутый в мире прогресс последних десятилетий, крупных телескопов

построено не так уж много, тогда как сложных задач с их использованием – всегда в избытке (Земля и Вселенная, 2004, № 2). По этой причине все современные телескопы универсальны – они могут решать максимально широкий круг вопросов, применяя небольшое количество навесного оборудования. Но иногда на телескопы

устанавливается аппаратура, созданная для решения узкоспециализированных задач: к таким относится изучение магнитных полей во Вселенной. Магнитное поле присутствует всюду в нашей Галактике и за ее пределами, огромно его влияние на физические процессы, происходящие в звездах. В большинстве случаев магнитное поле оказывается причиной различных вспышек, взрывов и других проявлений процессов нестационарности. Есть и другие случаи – когда магнитное поле является стабилизирующим фактором, как бы “замораживая” состояние вещества. Только методами астрофизики можно исследовать магнитные поля в космосе, что имеет фундаментальное значение.

В начале 1960-х гг. в СССР в научном обосновании проекта строительства крупнейшего в мире 6-м телескопа БТА (Земля и Вселенная, 1977, № 6), наряду с вопросами строения и эволюции звезд и галактик, на ней был сделан акцент.

В конце 1960-х гг., еще до ввода 6-м телескопа БТА в эксплуатацию, для реализации направления исследований в области звездной астрофизики в нашей обсерватории была создана специальная группа под руководством кандидата

физико-математических наук (ныне главный научный сотрудник, доктор физико-математических наук) Юрия Владимировича Глаголевского. Ко времени начала работы БТА (1977 г.) сотрудники группы “Магнитные звезды” САО АН СССР сумели разработать, изготовить и внедрить на новом телескопе аппаратуру, необходимую для наблюдения звездных магнитных полей. В дальнейшем тематика исследований была расширена. Сейчас для наблюдений звезд с магнитными полями ежегодно выделяется 10–15% наблюдательного времени телескопа, а сама обсерватория по праву считается одним из ведущих мировых центров в области изучения звездного магнетизма.

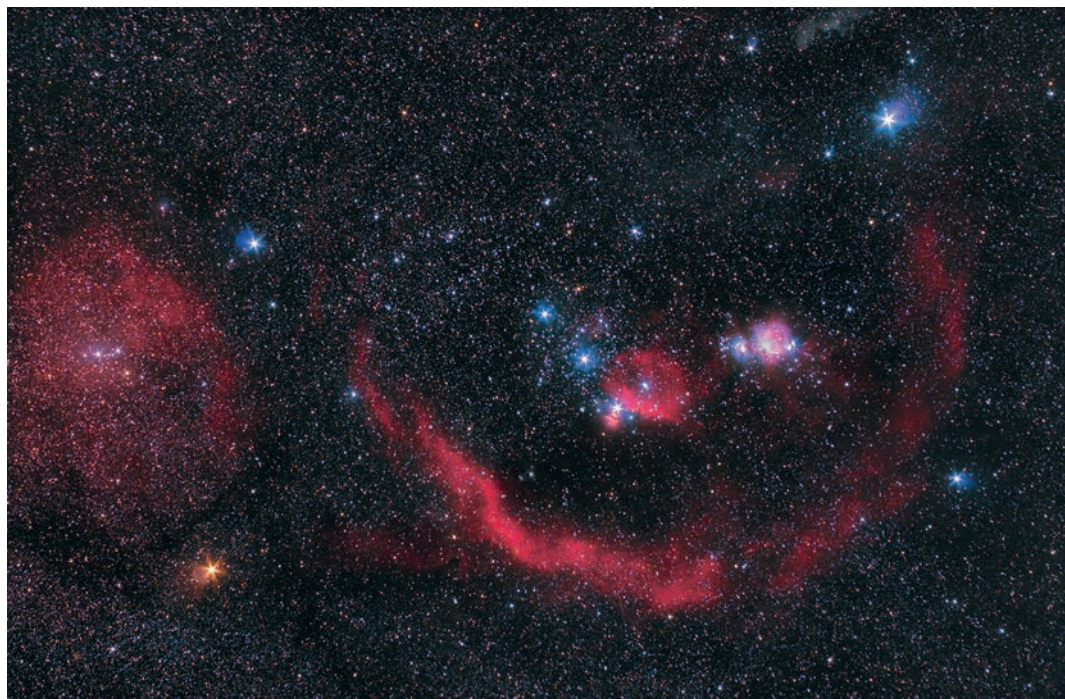
АССОЦИАЦИЯ ОРИОН ОВ1

В северном полушарии зимой небо украшает великолепное созвездие – Орион. Формирующие его ярчайшие звезды – сверхгиганты Бетельгейзе (α Ориона) и Ригель (β Ориона), а также пояс Ориона (“кинжал древнего охотника”) и рядом его верный спутник Большой Пес притягивают любителей, вдохновенно наблюдающих богатства ночного неба. Но Орион выделяется не только своим внешним видом; для астрофизиков созвездие Орион особенно

интересно тем, что здесь находится одна из ближайших к нам областей Галактики с большим количеством О- и В-звезд. Эта разреженная, но многочисленная группа молодых и массивных объектов, связанных общим происхождением, получила название ассоциации Орион ОВ1.

Термин “звездные ассоциации” ввел в оборот советский астрофизик академик В.А. Амбарцумян. Он выделил очень молодые группировки звезд, которые еще не успели далеко “улететь” от места их формирования. Изучая ассоциации, можно разобраться в самых ранних стадиях эволюции звезд, понять, каким образом они приобретают впоследствии те или иные характеристики: в частности, почему только часть из них (около 10–15%) имеет значительные, крупномасштабные магнитные поля.

Хотя мир звезд очень разнообразен, большая их часть на диаграмме Герцшпрунга – Рассела находится на Главной последовательности. Основным источником энергии этих звезд являются реакции горения водорода в ядре. Продолжительность стадии этого процесса зависит от массы звезды и составляет миллионы лет для массивных В-звезд и многие миллиарды лет – для желтых и красных



Область звездного неба ассоциации Орион OB1.

карликов. Членами ассоциации Орион OB1 являются только массивные O- и B-звезды.

МАГНИТНЫЕ ЗВЕЗДЫ

Магнитные поля у большинства звезд, по-видимому, присутствуют на всех стадиях эволюции и имеют разную величину и топологию: они могут быть глобальными и охватывать всю звезду или иметь локальный характер; последнее характерно для как бы “кипящих” атмосфер

холодных звезд. Например, пятна на холодной звезде Солнце – это области выхода на поверхность трубок сильного магнитного поля величиной до 2–3 кГс. При сближении трубок с полями разной полярности возникает перезамыкание магнитных линий, и энергия поля (солнечная вспышка) превращается в тепловую. Такой механизм вспышечной активности у звезд наблюдается часто (Земля и Вселенная, 2013, №№ 3, 5).

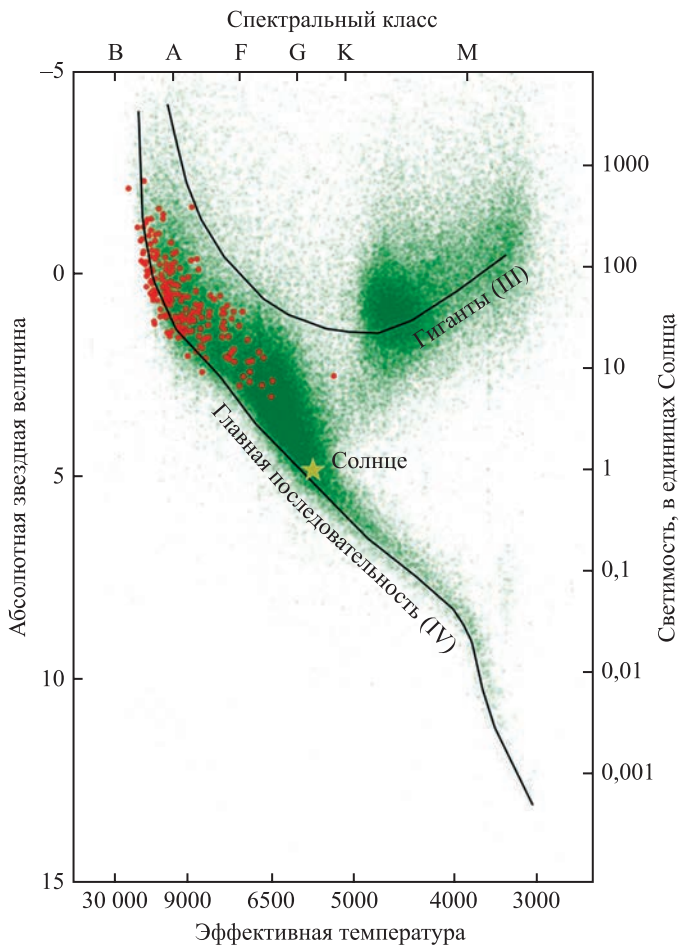
Но есть и другой вид звезд с магнитными полями. Сильное поле (более 1 кГс), покрывающее всю поверхность, наблюдается у части OBA – звезд со спокойными

стабильными атмосферами. Такое поле способно вызвать эффект “замораживания” атмосферы.

Это приводит к возникновению феномена пекулярных звезд, обладающих необычными свойствами – аномалиями в содержании химических элементов, по сравнению с солнечным, и сильным магнитным полем. Индукция поля отдельных пекулярных звезд достигает нескольких десятков килогауссов (на порядок больше, чем в солнечных пятнах).

Общее магнитное поле пекулярных звезд (с некоторыми отклонениями) имеет дипольную конфигурацию. Кроме дипольной составляющей иногда обнаруживается

Диаграмма Герцшпрунга – Рессела. Ар- и Вр-звезды обозначены красными точками. По данным каталогов, составленным по результатам работы космической обсерватории “Гиппарх” (“Hipparcos”, ESA).



вклад квадрупольной компоненты или присутствие мультиполей более высоких порядков (октупольной и т.д.).

Магнитное поле пекулярных звезд почти всегда сопровождается аномальным (усиленным или ослабленным) содержанием отдельных химических элементов: традиционно отмечается повышенное (по сравнению с Солнцем) содержание кремния, хрома, стронция и редкоземельных элементов – таких, как европий, гадолиний, неодим. Наиболее многочисленная группа химически пекулярных звезд имеет спектральные классы А и В, поэтому иногда эти объекты называют еще Ар- и Вр-звездами.

Во второй половине XX в. выяснилось, что такие особенности химического состава характеризуют не всю звезду, а только ее атмосферу, где элементы концентрируются в виде пятен; вне пятен содержание указанных элементов – нормальное

или даже пониженное. В некоторых случаях было установлено, что расположение химических пятен на поверхности звезды зависит от топологии ее магнитного поля. В 1970 г. канадский астрофизик Ж. Мишо предложил объяснение механизма, отвечающего за возникновение неоднородностей на поверхности химически пекулярных звезд. Суть его заключается в том, что крупномасштабное магнитное поле “подавляет” движение плазмы

в направлении, перпендикулярном силовым линиям поля. Атмосфера звезды находится в равновесии: сила лучистого давления выталкивает вещество из более глубоких горячих слоев, в то же время сила гравитации стремится притягивать вещество к центру звезды. В таких условиях атомы и ионы химических элементов под действием лучистого давления в гравитационном поле звезды могут очень медленно дрейфовать в нижние или

в верхние слои атмосферы; возможен дрейф по поверхности элементов, по-разному “чувствительных” к магнитному полю, в области с разным расположением его силовых линий. Явление получило название магнитной диффузии атомов.

На диаграмму Герцшпрунга – Рессела недавно были помещены Ар- и Вр-звезды, взятые из каталогов, составленных по данным космической обсерватории “Гиппарх” (“Hipparcos”, ESA). Исследования показали, что по своим показателям (массе и температуре) магнитные звезды не отличаются от нормальных А- и В-звезд, однако они вращаются значительно медленнее, с угловой скоростью в 3–4 раза меньше обычных. Многолетние наблюдения Ар- и Вр-звезд показали, что их атмосферы удивительно стабильны. На протяжении десятков лет не удалось обнаружить ни изменений структуры или положения пятен химического состава на поверхности, ни изменений топологии поля. Причиной этой закономерности считается то, что магнитным полем “охвачена” вся атмосфера звезды. На Солнце такое “общее” поле тоже найдено, оно имеет дипольную структуру, но величина поля составляет всего несколько Гс – на три порядка меньше,

чем у магнитных звезд. В сравнении с Солнцем магнитная Ар/Вр-звезда – это “монстр” с более горячей, но “замороженной” магнитным полем атмосферой.

В настоящее время у исследователей есть общее представление о том, что происходит с “магнитными звездами” во время их пребывания на стабильной стадии – Главной последовательности. Невыясненным остается механизм генерации столь сильных их магнитных полей. Факты, полученные в наблюдениях, указывают на то, что сильные поля возникли на стадиях эволюции, предшествующих Главной последовательности.

Для того, чтобы ответить на вопрос, как возникли такие “монстры”, необходимо максимально изучить молодые А- и В-звезды, находящиеся в самом начале эволюции на Главной последовательности. Возраст одиночной звезды определяется с очень большими ошибками; ситуация с определением возраста значительно лучше для звезд–членов рассеянных звездных скоплений. Поэтому, на взгляд авторов, для решения проблемы генерации магнитных полей лучше всего исследовать звезды, находящиеся в молодых звездных скоплениях и в ОВ-ассоциациях, одна из которых находится в созвездии Ориона.

ГРУППЫ ЗВЕЗД В АССОЦИАЦИИ

Большинство объектов в ассоциации Орион ОВ1 – это нормальные звезды Главной последовательности спектральных классов О, В и А, однако ее членами являются также и еще не ставшие нормальными звезды типа Херbiga-Аро, Ae/Ве Херbiga, Т Тельца, а также разного вида туманности и молекулярные облака. Мы ограничимся рассмотрением только звездного населения ассоциации: группировки горячих звезд в ней не раз привлекали к себе внимание.

В 1994 г. голландский астроном А. Браун с соавторами опубликовали одну из наиболее обстоятельных работ, посвященных населению ассоциации Орион ОВ1. Взяв за основу общепринятые фотометрические и астрометрические критерии (собственные движения, цвета) принадлежности объектов к скоплению, авторы выделили 814 звезд – членов ассоциации. Согласно А. Блаау (1964), звезды в этой ассоциации были разделены на четыре группы. Наиболее старые (их 311), возрастом около 10 млн лет, относятся к группе А – они находятся в северной части созвездия Ориона. Группа В насчитывает 139 объектов

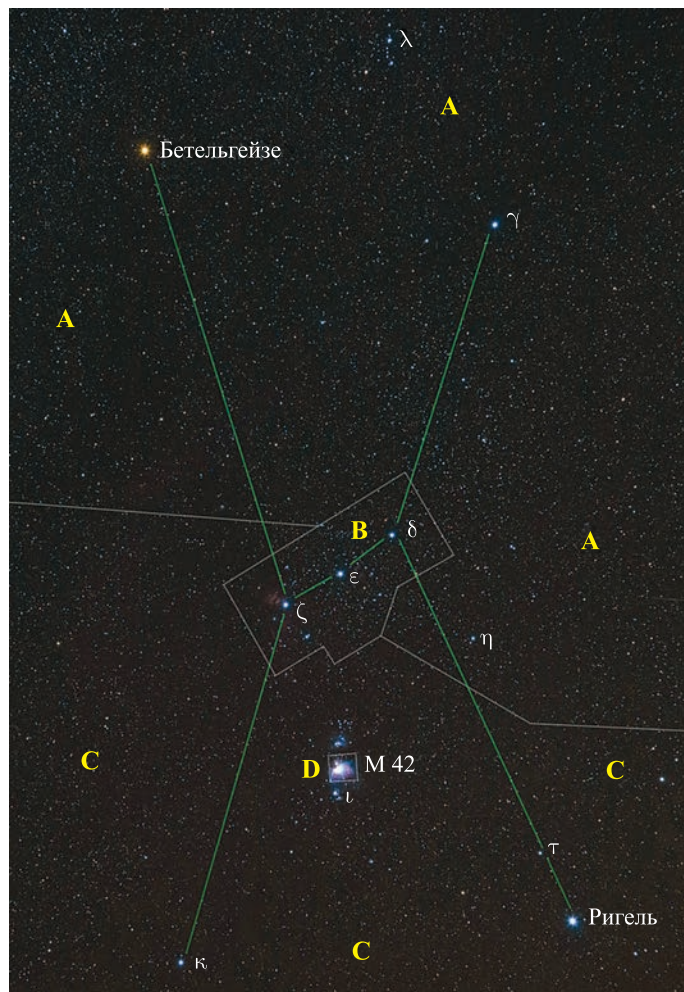
Фрагмент участка неба в ассоциации Орион OB1, на котором звезды разделены на группы. Внизу расположена большая туманность Ориона M42 (NGC 1976).

возрастом около 2 млн лет, они расположены в поясе Ориона. Область к югу от пояса Ориона содержит 350 звезд группы С, они образовались около 5 млн лет назад. Наиболее компактная группа D относится к центральной части ассоциации, возраст 14 звезд в ней составляет менее 1 млн лет.

Начиная с 2010 г., авторы начали исследовать ассоциацию Орион OB1 с целью поиска в ней магнитных звезд. На первом этапе были выделены в ассоциации химически пекулярные звезды, используя сведения о них из литературных источников.

Оказалось, что в ассоциации находятся 62 потенциально магнитные пекулярные звезды, большинство из них (59 объектов) – В-звезды с аномальными линиями гелия и кремния в спектрах.

Как правило, в спектрах звезд подклассов В2–В5 линии гелия (а, значит, и его содержание в атмосфере) усилены; но в подклассах В6 – В9 наблюдается его дефицит в сравнении с



содержанием этого элемента на Солнце; линии кремния в спектрах пекулярных звезд, как правило, усилены.

В 2010 г. группа исследователей САО РАН (Д.О. Кудрявцев, И.И. Романюк, Е.А. Семенко и И.А. Якунин) начала спектрополяриметрические исследования пекулярных звезд в ассоциации Орион OB1 на 6-м телескопе БТА, используя методы спектрополяриметрии. Получены

новые важные результаты: обнаружено несколько очень редких магнитных звезд.

Прежде чем перейти к изложению наиболее важных результатов, полученных в процессе измерения магнитных полей звезд в ассоциации Орион OB1, считаем нужным кратко остановиться на описании методики и техники магнитных измерений, применяемых в астрофизических исследованиях.

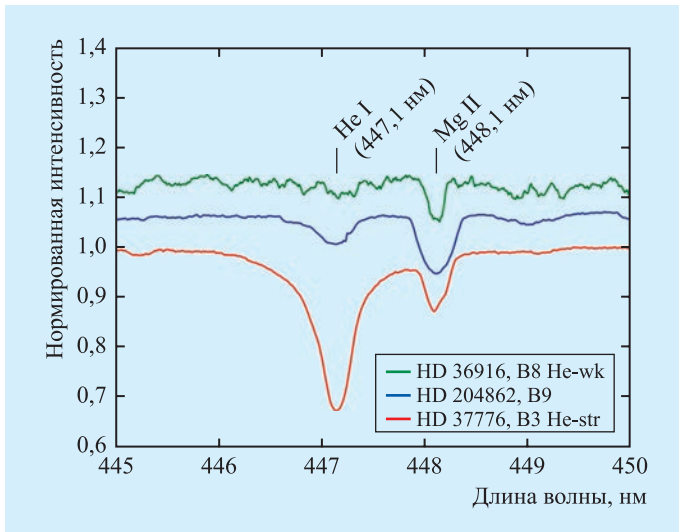


График участка спектра в области длин волн 445–450 нм для трех звезд: HD 36916, HD 204862 и HD 37776. Видна постоянная по интенсивности линия Mg II ($\lambda = 448,1$ нм) и сильно различающиеся линии He I ($\lambda = 447,1$ нм). У HD 36916 (B8 He-wk), линии гелия ослаблены, у HD 204862 (B9) – нормальные, у HD 37776 (He-str) – усилены.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ЗВЕЗД

Наиболее часто в измерении магнитных полей звезд используется метод, основанный на проявлении эффекта Зеемана в их спектрах. В 1896 г. голландский физик П. Зееман обнаружил явление расщепления и поляризации спектральных линий раскаленной натриевой лампы в присутствии внешнего магнитного поля; впоследствии это явление было названо его именем.

Картина расщепления и характер поляризации расщепленных компонентов зависит от условий наблюдения. В простейшем случае – когда луч зрения ориентирован в направлении, поперечном силовым линиям поля, – спектральная линия разделяется на три компонента: несмещен-

ный центральный π -компонент и два симметрично удаленных от него σ -компонента. При наблюдениях, когда луч зрения направлен вдоль силовых линий (продольный эффект Зеемана), π -компонент спектральной линии отсутствует, а σ -компоненты поляризованы по кругу. Расстояние по длине волны между последними прямо пропорционально величине поля.

В силу ряда причин, оказалось, что использование продольного эффекта Зеемана в спектрах магнитных Ap- и Bp-звезд позволяет значительно точнее и проще изучать их магнитные поля, чем в его поперечной вариации; поэтому практически всегда измеряется не вектор магнитного поля, а лишь его продольная компонента. В более

сложных случаях (например, звезды с локальными полями разной полярности) измерять их суммарный продольный компонент часто невозможно, так как пятна разного знака компенсируют друг друга в поляризации, даже если поле и присутствует.

Магнитные химически пекулярные звезды интересны как раз тем, что их глобальные поля имеют простую структуру (в основном дипольную): звезда вращается, и (в подавляющем большинстве случаев) в момент наблюдений исследователь видит ее преимущественно со стороны одного полюса.

В 1946 г. американский астроном Г. Бэбкок с помощью специально сконструированного им анализатора круговой поляризации впервые обнаружил магнитное поле звезд. Основные прин-

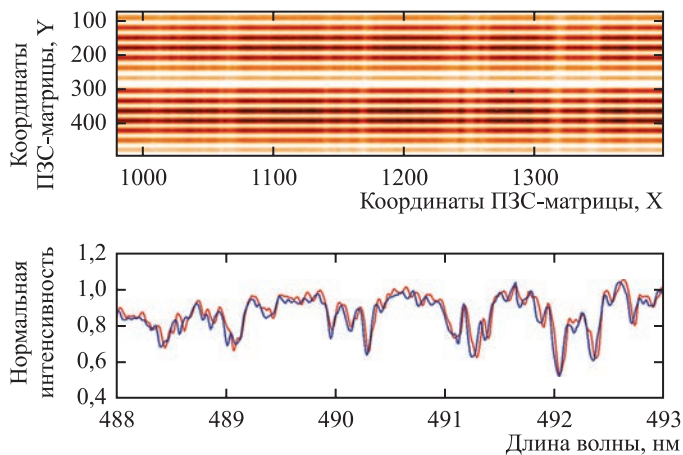
ципы конструкции прибора Г. Бэбкока были реализованы в анализаторах поляризации, используемых сейчас на 6-м телескопе БТА. Нашими сотрудниками Г.А. Чунтоновым и И.Д. Найденовым были разработаны и изготовлены несколько таких приборов.

Анализатор разделяет изображение звезды на два – поляризованные по кругу и в противоположных направлениях (лево- и правополяризованные). В камере спектрографа регистрируются одновременно два спектра звезды, один из которых представляет собой левую σ -компоненту всех линий, а другой – правую.

Измерение магнитных полей звезд заключается в определении смещений центров тяжести (или профилей поляризации) линий в их спектрах. Чем больше линий в спектре звезды, чем они уже; и чем меньше количество деталей на их профиле, тем точнее можно измерить ее магнитное поле.

ГИПОТЕЗЫ ОБРАЗОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ЗВЕЗД

Ученым пока не совсем понятно, как возникли магнитные поля пекулярных звезд, но все больше подтверждений получает так называемая “реликтовая” гипотеза. Она заключается в том, что в настоящее



Изображение спектра звезды HD 178892 с сильным магнитным полем и результаты обработки данных. Вверху – фрагмент спектра, полученный с использованием анализатора поляризации и специального оптического прибора – резателя изображения, позволяющего эффективно использовать свет от звезды в спектрографе. Внизу – запись участка спектра, полученного в одной поляризации; он сдвинут по сравнению с другой, что указывает на наличие очень сильного магнитного поля.

время наблюдаются оставшиеся после формирования звезды “реликтовые” поля. Во время жизни звезды на Главной последовательности (при отсутствии генерации поля) оно постепенно ослабевает. Мелкие детали должны распадаться быстрее, поэтому с возрастом строение поля упрощается и остается только его дипольная составляющая.

Альтернативная гипотеза “турбулентного динамо в ядре” предполагает, что поле непрерывно генерируется в ядре звезды вследствие турбулентных движений, а затем выносится на поверхность и становится наблюдаемым. Обе

теории имеют свои преимущества и недостатки, но свидетельств в пользу “реликтовой” гипотезы больше.

Коллективом нашей лаборатории были сформулированы тесты для проверки работы указанных выше механизмов. Опираясь только на наблюдательные факты, сейчас можно утверждать, что общее магнитное поле пекулярных звезд не генерируется во время их жизни на Главной последовательности. Об этом свидетельствует, например, тот факт, что существуют несколько Ар-звезд с очень большими периодами вращения – более 10 лет. Теория

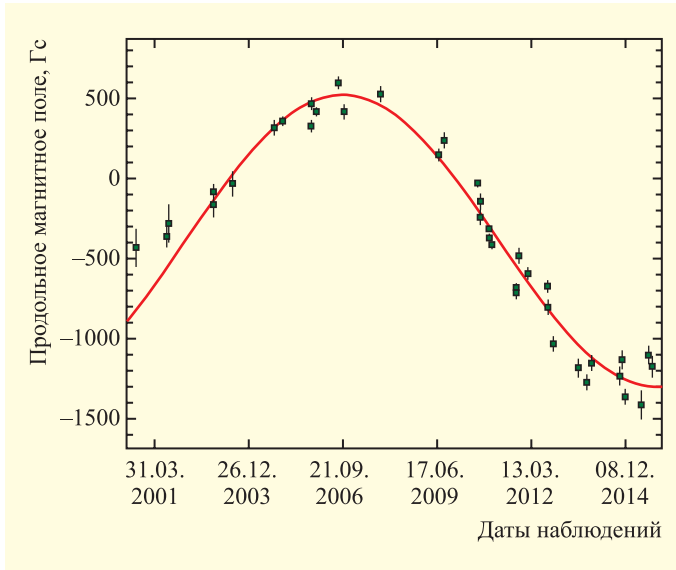


График изменения продольной компоненты поля со временем звезды HD 965. Видна очень медленная гармоническая переменность с характерным периодом около 20 лет. По данным наблюдений на БТА САО РАН.

предсказывает, что для генерации таких сильных полей, которые наблюдаются у пекулярных звезд, требуется гораздо более быстрое вращение – периоды не должны превышать 1–2 недели.

В качестве примера медленного вращения приведем кривую переменности продольного поля Ар-звезды HD 965, полученную авторами на 6-м телескопе почти за 15-летний период наблюдений. Хорошо видно, что величина продольной компоненты поля меняется очень медленно; не завершён даже один оборот звезды вокруг своей оси. Можно ожидать, что период ее вращения составит примерно 20 лет.

Но это не рекорд. Период вращения магнитной звезды гамма из

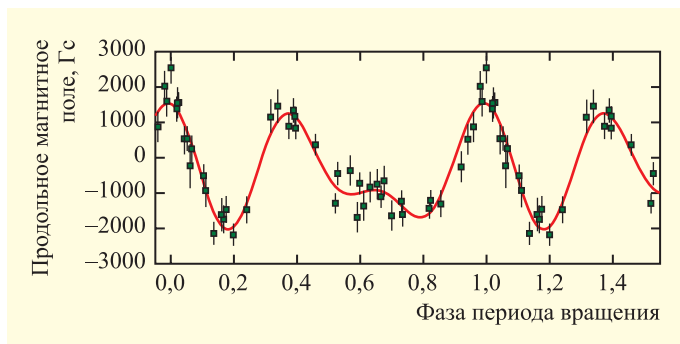
созвездия Малого Коня составляет примерно 100 лет. Точнее его определить пока невозможно, поскольку наблюдения магнитного поля звезды продолжаются не более 70 лет. Существуют доказательства того, что речь действительно идет о вращении звезды, а не о каких-то глобальных изменениях, подобных 11-летнему циклу активности Солнца. Исходя из предположения о реликтовой природе возникновения магнетизма пекулярных звезд, следует ожидать, что поля сложной геометрией будут наблюдаться только у молодых объектов. Это предположение можно проверить: необходимо получить большой объем информации о величине и геометрии магнитного поля молодых и старых звезд. В настоящее

время известно лишь 6 пекулярных звезд со сложной структурой поля, все они имеют возраст менее 10 млн лет. Уже проведенные наблюдения показали, что практически у всех старых пекулярных звезд возрастом более 100 млн лет (детально изучено несколько десятков таких объектов) строение магнитного поля мало отличается от простого диполя. По-видимому, процесс эволюции магнитных полей следует изучать по молодым звездам, только что вышедшим на Главную последовательность, или по их предшественникам. Наблюдения звезд – членов молодых скоплений и ассоциаций – это наиболее подходящий путь.

ИССЛЕДОВАНИЕ
МАГНИТНЫХ ЗВЕЗД
АССОЦИАЦИИ ОРИОН OB1

В ассоциации Орион OB1 авторами обнаружены 62 Ар- и Вр-звезды; потенциально каждая из них может быть магнитной. Некоторые из них (17 звезд) уже были

График изменения продольной компоненты магнитного поля звезды HD 37776 в ассоциации Орион OB1 с фазой периода вращения звезды. Видна сложная несинусоидальная переменность, указывающая на сложную структуру поля. Данные получены канадскими астрономами по линиям водорода.



ранее известны, так как магнитные поля были обнаружены в конце 1970-х гг. канадскими астрономами Э. Борра и Дж. Ландстритом. Наш коллектив получил на 6-м телескопе БТА с анализатором круговой поляризации спектры всех пекулярных звезд ассоциации Орион OB1. Стало достоверно известно о еще 18 новых магнитных звездах, и теперь их общее количество в ассоциации достигает 35. Еще у нескольких объектов наличие магнитного поля заподозрено, но для подтверждения его наличия необходимо выполнить дополнительные наблюдения. Однако иметь информацию только о магнитном поле звезд недостаточно для нашего анализа, необходимо выполнить наблюдения, фиксируя фазу периода вращения каждой из найденных магнитных звезд, а затем построить кривую переменности продольного поля. Для построения модели магнитной звезды на такой кривой должно быть

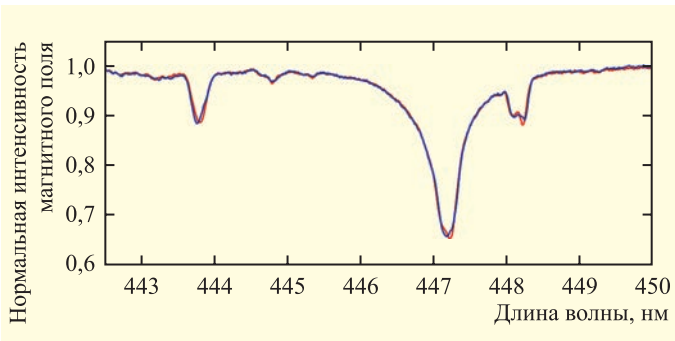
выполнено не менее 20 наблюдений, более – менее равномерно распределенных по фазе периода вращения.

В случае дипольного поля, кривая изменения продольной компоненты с фазой периода вращения звезды имеет вид синусоиды. Сложная кривая указывает на поле сложной конфигурации. Такая кривая переменности продольной компоненты поля звезды HD 37776 – члена ассоциации Орион OB1 – получена в результате наблюдений, проведенных в течение нескольких лет командой канадских астрофизиков под руководством Дж. Ландстрита на специализированном приборе, измеряющем круговую поляризацию спектра в крыльях водородных линий (полученная кривая имеет необычную форму, сильно отличающуюся от обычной синусоиды – в виде двойной волны с разными амплитудами максимумов). Это стало первым указанием на то, что поле звезды имеет

сложную, недипольную структуру.

Звезда HD 37776 входит в группу В ассоциации Орион OB1, а это значит, что ее возраст не превышает 2 млн лет. Сложная структура поля, образовавшаяся во время рождения звезды, еще не успела превратиться в более простую; мы видим поле таким, каким оно образовалось вместе со звездой. Для построения детальной модели поля этой звезды оказалось недостаточно иметь только кривую переменности продольной компоненты поля (о которой речь шла выше). Необходимо выполнить тщательный спектрополяриметрический анализ.

В 1995–2005 гг. И.И. Романюком, В.Г. Елькиным и Д.О. Кудрявцевым для выяснения топологии поля звезды HD 37776 на 6-м телескопе БТА с использованием анализатора поляризации была получена большая серия спектров. Проведенный авторами анализ показал, что спектральные



Фрагмент зеемановского спектра звезды HD 37776 в ассоциации Орион OB1. Видны различия профилей линий в спектрах левой и правой поляризации, что указывает на сложную структуру магнитного поля. По данным наблюдений на телескопе БТА САО РАН.

линии этой звезды имеют необычно сложные профили со значительными различиями в левой и правой круговых поляризациях.

Полученная авторами уникальная серия спектров звезды HD 37776 была проанализирована современными методами магнитного картирования. Наиболее совершенный, на взгляд авторов, метод такого

картирования разработан профессором Н.Е. Пискуновым и его учеником О.П. Кочуховым (Университет Уппсала, Швеция). Взяв за основу спектры, полученные на БТА, О.П. Кочухов смоделировал строение поля этой звезды. Полученная им модель оказалась очень сложной: величина поля на поверхности звезды превышает 30 кГс; геометрия поля не может быть представлена в виде комбинации диполей и мультиполей низкого порядка. Дипольный компонент на порядок слабее локальных полей. По-видимому, мы наблюдаем то поле, которое

образовалось вместе со звездой на стадии ее эволюции до Главной последовательности. Через несколько десятков миллионов лет локальные поля “рассосутся” и останется только довольно слабый дипольный компонент.

Другая необычная звезда — HD 34736 в ассоциации Орион OB1 — была отождествлена авторами как магнитная совсем недавно: первые зеемановские спектры звезды были получены на БТА в конце 2013 г. Уже первые наблюдения подтвердили наличие у нее сильного переменного продольного магнитного

Модель магнитного поля звезды HD 37776 по результатам магнитного картирования. Из статьи О.П. Кочухова и др (*"Astrophysical Journal"*, V. 726, 2011 г.).

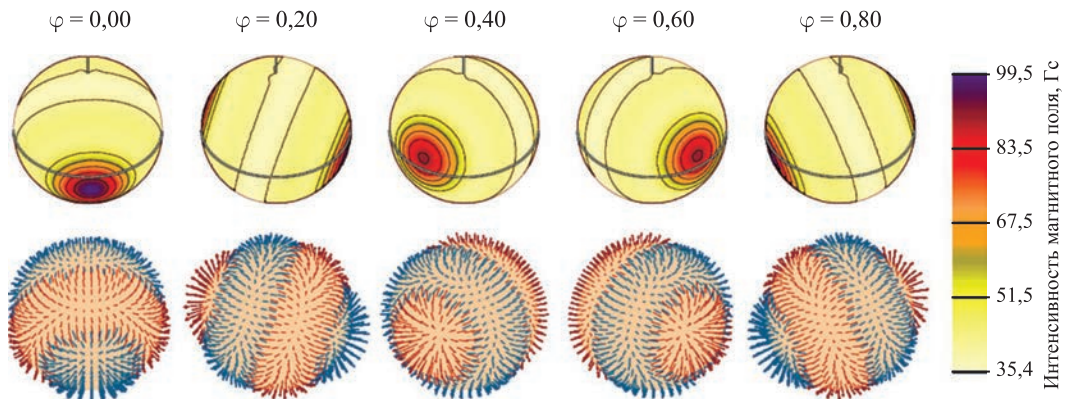
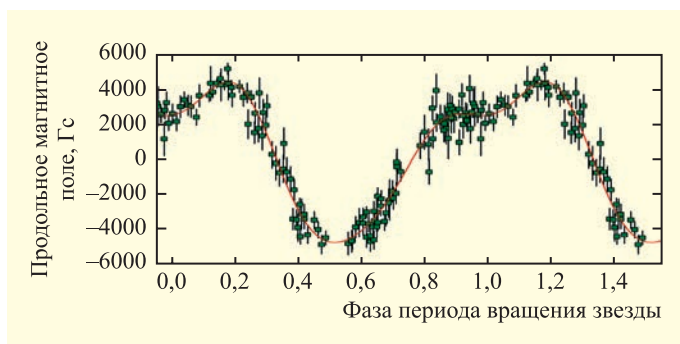


График переменности продольного магнитного поля двойной звезды HD 34736 в ассоциации Орион OB1. Кривая отличается от синусоиды, что свидетельствует о сложной недипольной структуре ее магнитного поля. По данным наблюдений телескопа БТА САО РАН.



поля, более того, в спектре присутствовали одновременно линии двух звезд. Это довольно редкий случай, так как доля двойных среди магнитных А- и В-звезд в два раза ниже, чем среди нормальных звезд тех же спектральных классов. Очень важно понять, какова роль магнитного поля при образовании двойных звезд, и HD 34736 представляется очень удачным объектом при исследованиях этой проблемы. В течение двух лет эту звезду наблюдали более 120 раз. Сейчас мы знаем, что она — член двойной системы с очень высокоэллиптической орбитой. Главный компонент — звезда спектрального класса В8 — обладает сильным магнитным полем, вторичный компонент — А-звезда — магнитным полем не обладает. В момент максимального сближения спутник близко подходит к главной магнитной В_r-звезде. Его орбитальный период составляет около 83 суток, но нуждается

в уточнении. Продольный компонент магнитного поля главной звезды системы HD 34736 меняется с периодом в 1,29 сут, который одновременно является и периодом ее вращения вокруг своей оси. В физике этой уникальной двойной системы еще много неясного: например, необходимо определить, синхронизированы ли орбитальное движение и вращение этой магнитной звезды. Результат позволит установить, как связаны между собой магнитное поле главной звезды и движение ее спутника по орбите: вытянутая орбита свидетельствует о молодости системы (это хорошо согласуется с представлениями о возрасте ассоциации). По-видимому, эта пара звезд образовалась совместно, но тогда не понятно, почему одна из них магнитная, а вторая — нет.

Тесные сближения звезд, имеющих очень сильное магнитное поле, с близким по массе спутником в двойной системе HD 34736 дают нам

уникальную возможность изучать физические процессы в атмосферах обеих звезд в моменты их максимального сближения. Важность открытой нами новой магнитной звезды подчеркивается интересом к ней международного сообщества. Так, в январе 2016 г. была организована международная кампания по наблюдению системы HD 34736 в момент максимального сближения главного компонента со спутником. Помимо отечественных телескопов в наблюдениях были задействованы инструменты зарубежных обсерваторий (США, Канады, Испании). Накоплен уникальный материал, который сейчас находится в стадии обработки и анализа.

Подробные исследования магнитных звезд в ассоциации Орион OB1 только начинаются. Экспресс-анализ уже полученного наблюдательного материала показывает, что в ассоциации найдено как минимум 35 химически пекулярных

звезд с сильными магнитными полями. Это дает основание полагать, что мы сможем провести детальные комплексные исследования каждого из этих объектов и получить необходимый для выполнения статистических исследований объем данных.

Информация

КТХ: планетарная туманность NGC 2440

В течение нескольких лет Космический телескоп им. Хаббла проводил наблюдения планетарной туманности NGC 2440 “Медуза” размером 1 св. год, находящейся в созвездии Корма (4 тыс. св. лет от нас). Белый карлик, расположенный в центре туманности NGC 2440, – один из самых

В частности, авторы намерены построить магнитные кривые переменности продольного поля упомянутых звезд с фазой периода их вращения, подготовить магнитные карты и найти связь между величиной и топологией поля этих объектов и другими физическими параметрами: мас-

сой, возрастом, температурой, скоростью вращения. Это позволит понять, какие физические процессы происходят в присутствии очень сильных постоянных магнитных полей в экстремальных космических условиях, воспроизвести которые в земных лабораториях невозможно.

горячих объектов своего класса, известных ученым, – температура у его поверхности достигает 200 000 К. Снимок, сделанный еще в сентябре 2007 г. (см. стр. 3 обложки, сверху), демонстрирует “последний вздох” звезды, подобной нашему Солнцу. Она завершает свой жизненный цикл, сбрасывая свои внешние газовые оболочки, формирующие своего рода “кокон” вокруг остающегося ядра. Ультрафиолетовое излучение, идущее от умирающей звезды, заставляет окружающий материал светиться

фиолетовым цветом. Хаотичная структура туманности указывает на то, что сбрасывание звездой оболочек происходит эпизодически. Во время каждого выброса звезда “выталкивает” материал в определенном направлении. Эта туманность также богата пылевыми облаками; некоторые из них формируют протяженные темные полосы, направленные в противоположную сторону от белого карлика.

*Пресс-релиз NASA/JPL,
23 сентября 2016 г.*

Информация

Крупнейший в мире радиотелескоп

25 сентября 2016 г. вступил в строй крупнейший в мире радиотелескоп FAST (Five hundred meter Aperture Spherical Telescope – сферический радиотелескоп с 500-метровой апертурой) Китайской академии наук (CAS), расположенный

в юго-западной провинции Гуйчжоу (см. стр. 1 обложки). Сотни астрономов и энтузиастов участвовали в мероприятии, приуроченном к началу работы FAST. В 1994 г. была разработана концепция радиотелескопа, в 2008 г. началось его проектирование и в 2011 г. – строительство.

Радиотелескоп предназначен для приема слабых сигналов из космоса, располагается в отдаленной области: он закрыт со всех сторон горами и находится в котловине на высоте

примерно 1 км над уровнем моря. Первые 2–3 года FAST будут использовать только китайские ученые, затем будет представлена возможность проводить наблюдения для всех желающих астрофизиков. Новый радиотелескоп позволит изучать формирование и эволюцию галактик, темную материю, объекты эпохи реионизации, а также решать другие научные задачи.

В конструкции FAST применяется основное фиксированное зеркало – рефлек-

тор, размещенный в естественном карстовом углублении, который отражает радиоволны на приемник массой 30 т, подвешенный на высоте 140 м над ним. Рефлектор получил неофициальное название “Тяньян” (“Глаз Неба”). Он изготовлен из перфорированных алюминиевых панелей, поддерживаемых сеткой из стальных тросов, свисающих с обода. Поверхность рефлектора образована 4450 треугольными панелями отражателя (каждая размером 11 м), они размещены в форме геодезического купола. Системы автоматического управления (актуаторы), помещенные под панелями, позволяют сформировать активную оптическую поверхность. Положение каждого отражателя может регулироваться с высокой точностью, для этого используется сетка стальных канатов и гидравлические приводы. С помощью поворота отражателей можно сканировать определенную область неба в пределах $\pm 40^\circ$ от направления зенита. Над рефлектором на тросах установлена легкая кабина, перемещаемая кабельными роботами, расположенными на 6 опорных мачтах. Приемные антенны установлены под кабиной на платформе Гью–Стюарта; она позволяет более точно их позиционировать, а также компенсировать различные



Радиотелескоп FAST диаметром 500 м (вид сверху), расположенный в провинции Гуйчжоу (Китай). По периферии круглого зеркала рефлектора расположены 6 опорных мачт. Фото CAS.

возмущающие воздействия от ветра и землетрясений. Точность позиционирования антенн запланирована на уровне 8". Несмотря на отсутствие единого 500-м отражателя и его асферичность, радиотелескоп может работать на частотах от 70 МГц до 3 ГГц, что обеспечивается девятью приемниками. Эффективный диаметр отражателя составляет лишь 300 м, с помощью актуаторов поддерживается его параболическая форма. Полоса частоты (1,23–1,53 ГГц) вблизи линии нейтрального водорода (21 см) обеспечивается 19-лучевым приемником, созданным

в Государственном объединении научных и прикладных исследований (CSIRO, Австралия) в рамках Австралийско-китайского консорциума астрофизических исследований (ACAMAR).

Радиотелескоп FAST превосходит по своим возможностям знаменитый 300-м радиотелескоп Обсерватории Аресибо в Пуэрто-Рико: имеет почти в два раза большую чувствительность и в 5–10 раз превышает скорость проведения обзоров неба.

*По материалам
информационного агентства
“Синьхуа”,
26 сентября 2016 г.*

“Спитцер”: скопление Пандора

На основе изображений, полученных КТХ, космическими обсерваториями “Спитцер” и “Чандра”, а также с помощью 8,2-м телескопа VLT, создан снимок скопления галактик Abell 2744, названного “скоплением Пандоры” (3,5 млрд св. лет от нас, созвездие Скульптора; см. стр. 4 обложки). Оно представляет собой крупнейшую структуру во Вселенной, насчитывающую около 500 галактик с триллионом звезд. Abell 2744

образовалось в результате столкновения четырех скоплений галактик в течение последнего миллиарда лет. Эффекты, возникшие при их взаимодействии, до сих пор не наблюдались, поэтому вызвали большой интерес у астрономов.

Общая масса галактик составляет всего 5% от полной массы скопления, 20% массы – это межзвездный газ, 75% составляет темная материя, которая обнаруживается лишь по гравитационному влиянию на обычное вещество. Для того, чтобы сделать вывод о том, что произошло при столкновении, необходимо было понять, как распределяются три вида материи в Abell 2744. На основе имевшихся данных о звездах и газе было рассчитано

распределение темной материи в скоплении. Газ, темная материя и галактики при столкновении разлетелись в разные участки космического пространства; таким образом, один из регионов “содержит” много темной материи, но мало звезд и газа. Ближние галактики в скоплении настолько искривляют пространство, что проявляется эффект гравитационного линзирования: это позволяет увидеть объекты, находящиеся гораздо дальше. Ученые надеются, что расположение трех видов материи в “скоплении Пандоры” прольет свет на поведение и свойства темной материи.

*Пресс-релиз NASA/JPL,
28 сентября 2016 г.*

Крупные карликовые планеты

После открытия 28 марта 2014 г. в облаке Оорта новой карликовой планеты 2012 VP₁₁₃ с помощью 4-м телескопа В. Бланко в Межамериканской Обсерватории СТЮ в Серо Тололо (Чили) в поясе Койпера были найдены более крупные тела 2013 FY₂₇ и 2013 FZ₂₇.

Кандидат-планета 2013 FZ₂₇ диаметром 595 км – находится на гелиоцентрической орбите $37,75 \times 59,05$ а.е. ($5,647 \times 8,83$ млрд км) с на-

клонением 14° и периодом обращения 336,7 лет, эксцентриситет – 0,22. Считается, что пояс Койпера заканчивается примерно в 50–55 а.е. от Солнца, то есть даже 2013 FZ₂₇, по сути, “лежит” на его внешнем крае. Эту планету следует отнести к рассеянному диску – области, где тела (в отличие от пояса Койпера) имеют менее правильные орбиты.

В апреле 2015 г. по наблюдениям Космического телескопа им. Хаббла в окрестности карликовой планеты Макемаке диаметром 1478 ± 34 км (гелиоцентрическая орбита $38,71 \times 52,81$ а.е., с наклоном 29°

и периодом обращения 309,57 лет, эксцентриситет – 0,154) обнаружен спутник, чей блеск в 1300 раз слабее родительского тела. Спутник получил временное наименование S/2015 (136472)1; теперь, до присвоения ему собственного имени, он будет называться МК 2. В момент съемки спутник находился на расстоянии 21 тыс. км от Макемаке, его диаметр оценивается в 160 км. Близость спутника к карликовой планете помешала ученым обнаружить его раньше – он терялся в ярких лучах Макемаке.

*Пресс-релиз NASA,
4 октября 2016 г.*

Ультраяркие рентгеновские источники

С.Н. ФАБРИКА,
доктор физико-математических наук
САО РАН

Ультраяркие рентгеновские источники (Ultraluminous X-ray Sources, ULX) оказались настолько необычными для астрофизиков, что неслучайно их исследованию за последние 15 лет было посвящено около 1000 статей в научных журналах. Такие объекты были обнаружены в галактиках относительно недавно с помощью современных космических обсерваторий.



Эти объекты излучают в рентгеновском диапазоне в сотни и тысячи

раз сильнее, чем самые яркие черные дыры в Галактике. Считается, что это – самые лучшие кандидаты в черные дыры; но что они представляют собой на самом деле? В этой статье предлагается не только современное представление об ультраярких источниках, но и почти детективная история о том, как менялись о них представления астрофизиков.

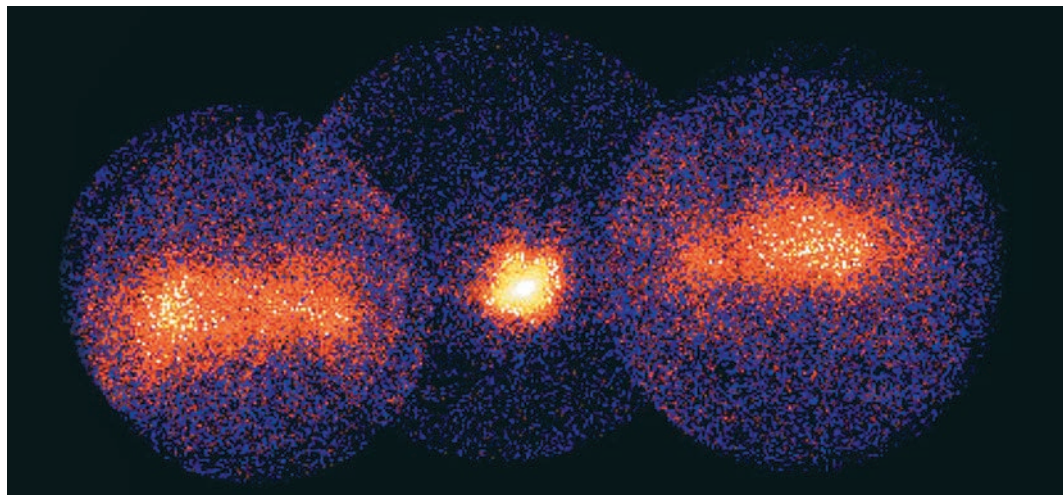
ЧТО ТАКОЕ ULX?

Менее 20 лет назад в галактиках были обнаружены первые ультраяркие рентгеновские источники. Например, ярчайший источник Галактики Лебедь X-1 с черной дырой излучает энергии в рентгеновском диапазоне в 10 тыс. раз больше, чем вся светимость

Солнца, а многие из ULX – в десятки миллионов раз. В оптическом диапазоне излучение ULX “слабенькое” – они светят в тысячи раз меньше, чем в рентгеновском диапазоне. Ярче ULX в рентгеновском диапазоне светят только сверхмассивные черные дыры (активные ядра галактик или квазары). Но массы

этих объектов – от миллионов до миллиардов масс Солнца, они и должны быть очень яркими объектами.

В 2000 г. на Генеральной Ассамблее МАС в Манчестере было объявлено об открытии нового типа объектов – ULX. Они были обнаружены с помощью уникальной космической рентгенов-



Две протяженные рентгеновские струи размером примерно 120 пк и объект SS 433 в его центральной части (SS 433 выглядит как точка). Релятивистские струи тормозятся и перегреваются, поэтому они излучают в рентгеновском диапазоне. Изображение создано Т. Котани (Технологический университет, Токио) на основе данных космической рентгеновской обсерватории "ASCA" (Япония).

ской обсерватории "Чандра" (Земля и Вселенная, 2000, № 4, с. 59–60), обладающей превосходным угловым (пространственным) разрешением. Конечно, эти объекты были видны в других галактиках и раньше, но разрешение предыдущих рентгеновских обсерваторий было в несколько раз хуже и невозможно было доказать, что это неактивные ядра галак-

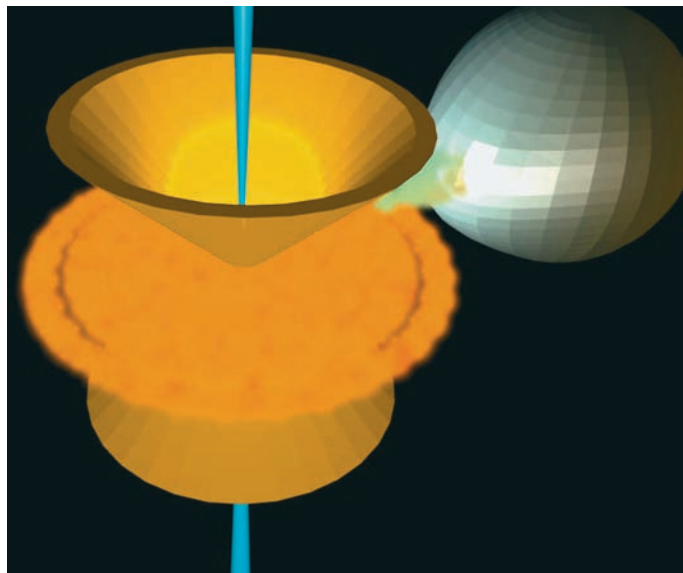
тик, которые всегда находятся в центрах галактик. В 1999 г. была опубликована статья американских астрофизиков Е. Колберта и Р. Машоцкого, где было сказано, что такие объекты не относятся к активным ядрам галактик (Земля и Вселенная, 2016, № 5). В той же статье им подсказал идею профессор Л.Г. Титарчук, предположивший, что эти объекты – черные дыры промежуточных масс (Intermediate Mass Black Holes, IMBH).

Сейчас известно только два типа черных дыр: звездных масс и сверхмассивные. Черные дыры звездных масс образуются в процессе эволюции массивных звезд. Например, открытая в нашей Галактике самая массивная черная дыра имеет массу примерно $15 M_{\odot}$, в соседних галактиках известны черные дыры с массой не более $30 M_{\odot}$.

Известны гигантские объекты массой от миллионов до миллиардов солнечных масс: сверхмассивные черные дыры (активные ядра галактик и квазары; Земля и Вселенная, 2010, №№ 1, 3). Почему нет черных дыр средних масс? Уже хорошо известны сценарии, по которым могли бы сформироваться IMBH, но явных свидетельств их существования пока нет.

В 2001 г. астрофизики – американский П. Мадау и английский М. Рис – опубликовали статью, в которой предположили, что ULX – это, скорее всего, черные дыры средних масс (IMBH), причем, они возникли из самых первых звезд. Первые звезды носят название "Население III"; они пока не обнаружены. Считается, что первые звезды были очень массивными – сотни и тысячи масс Солнца.

Модель двойной системы SS 433. Звезда-“донор” (справа) тонкой струей “поставляет” газ на внешний край аккреционного диска (в центре). Из внутренней области диска выбрасывается избыточный газ в виде ветра со скоростью около 1000 км/с, имеющего форму конуса. Из “ветровых” конусов вылетают релятивистские струи. В центре диска расположена черная дыра и очень яркий рентгеновский источник. Рисунок К. Атапина (ГАИШ МГУ).



Звезды “Населения III” образовывались задолго до формирования галактик (красные смещения $z = 15-25$). Они быстро (не более, чем за миллион лет) превратились в IMBH и далее “блуждали” по Вселенной, так как еще не было галактик. Первые галактики в астрофизике называются “галó”; они были в тысячи раз менее массивные, чем нынешний Млечный Путь. Эти молодые галактики захватывали IMBH. Гало многократно сливались, набирали массу, и в них, как предполагается, уже были IMBH. Почему вспомнили про IMBH сразу после открытия ULX? – Это связано с пределом Эддингтона. Считалось, что предел Эддингтона нельзя превосходить: например, для черной дыры массой

$10 M_{\odot}$ этот предел составляет $1,3 \times 10^{39}$ эрг/с, а ULX – ярче в десятки раз.

Эддингтоновский предел зависит только от массы объекта – например, Земли, Солнца или квазара, но далеко не каждый объект может достичь до этого предела. Такое возможно в случае массивных или релятивистских звезд (черные дыры, нейтронные звезды). Известно, что сила гравитации (притяжение) и сила светового давления (отталкивание) обратно пропорциональны квадрату расстояния. Если светимость объекта больше предела Эддингтона, то материя не может падать на звезду, она будет с ускорением вырываться наружу за счет светового давления. Если газ падает на черную дыру (или нейтронную звезду), то вокруг черной дыры,

как правило, образуется аккреционный диск (Земля и Вселенная, 2016, № 6). Светимость такого диска напрямую зависит от того, сколько газа в него поступает. Называется это темпом аккреции; в астрофизике его принято измерять в граммах за секунду, или в массах Солнца в год. Когда темп аккреции достаточно большой, то аккреционный диск, окружающий черную дыру, будет очень ярким рентгеновским источником. Если же в аккреционном диске темп аккреции будет выше предела Эддингтона, то такой диск будет называться сверхкритическим. Примером такого объекта в нашей Галактике является объект SS 433.

Выделение энергии в диске зависит только от темпа аккреции и ни-

как не зависит от массы черной дыры. Это связано с тем, что при достижении горизонта событий черной дыры вещество разгоняется до скорости света, что есть постоянная величина. Светимость диска находится в прямой пропорциональной зависимости от темпа аккреции, а это примерно 10% от известной всем формулы $E = M \times c^2$, где M – в данном случае темп аккреции, c – скорость света, а E – светимость объекта. Предел Эддингтона зависит от массы объекта (например, черной дыры), причем, в прямой пропорциональности. Светимость ULX составляет от 10^{39} до 10^{41} эрг/с, нижняя граница этого интервала уже соответствует пределу Эддингтона для черной дыры (около $10 M_{\odot}$). Идея черных дыр средних масс предложена для того, чтобы не превышать предел Эддингтона. Но даже в случае IMBH для такой дыры нужна массивная звезда-соседка (в двойной системе она называется “донор”). Только массивная звезда может обеспечить требуемый темп аккреции – для того, чтобы получилась светимость, сопоставимая с ULX. Более того, в физике нет никакого запрета на предел Эддингтона. При его превышении избыточный газ будет выбрасываться из диска в виде мощного

ветра, что получило название сверхкритический (или сверх-эддингтоновский) диск.

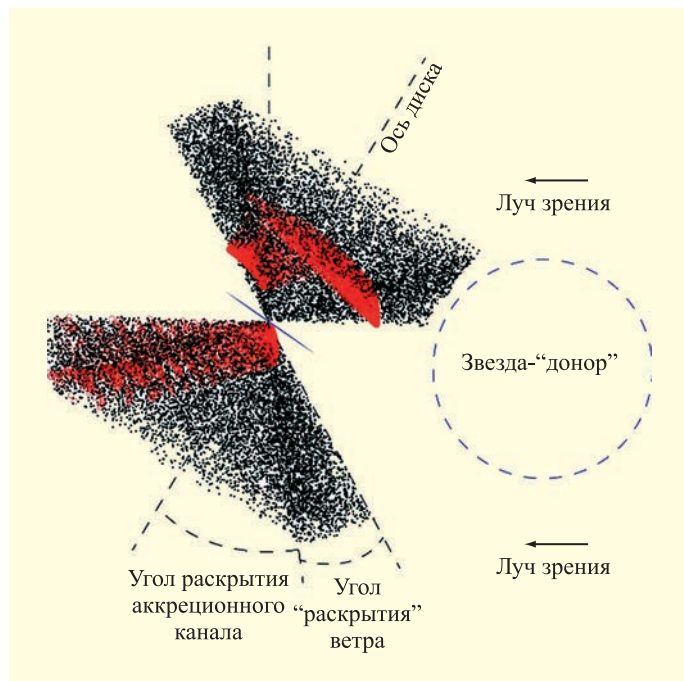
СВЕРХКРИТИЧЕСКИЕ АККРЕЦИОННЫЕ ДИСКИ

SS 433 – единственный известный в Галактике экзотический объект со сверхкритическим аккреционным диском вокруг черной дыры. Он расположен на расстоянии 5,5 кпк (18 тыс. св. лет) в созвездии Орла в центре необычной туманности. SS 433 исследовали сотни астрофизиков, на эту тему написано более тысячи публикаций. Например, в статье, опубликованной в 1986 г. американский астрофизик Дж. Кац заметил, что сверхкритический аккреционный диск в SS 433 – неяркий рентгеновский источник, потому что мы смотрим на этот диск сбоку, а не в канал диска. Другие подобные объекты (при определенной ориентации) будут чрезвычайно яркими рентгеновскими источниками. Они могут быть обнаружены и в других галактиках. В 2000 г. автор вместе с А.В. Мещеряковым (ИКИ РАН) опубликовали статью “SS 433 как новый тип внегалактических рентгеновских источников”, в которой точно указали, где и как такие объекты надо искать.

В 1973 г. впервые сверхкритические аккреционные диски были описаны

в классической статье отечественных астрофизиков Н.И. Шакуры и Р.А. Сюняева “Черные дыры в двойных системах. Наблюдательные проявления”. Статья в основном была посвящена обычным аккреционным дискам (сейчас они называются “стандартными”, или альфа-дисками), но в ней также содержалось описание дисков с темпом аккреции, превышающим предел Эддингтона. Это было первое и самое лучшее описание сверхкритической дисковой аккреции. Падающий на черную дыру газ формирует стандартный аккреционный диск, но на определенном расстоянии от нее (в зависимости от изначально темпа аккреции) диск становится сверхкритическим. По мере продвижения вещества в диске к черной дыре (“проседания”) – например, за счет вязкости в веществе – выделяется все больше и больше потенциальной энергии. Если изначально темп аккреции в диске выше предела Эддингтона, то на некотором расстоянии от дыры (радиус сферизации диска) реализуется предел Эддингтона. Дальше вещество уже не может свободно “проседать” в диске, оно выбрасывается наружу из него за счет светового давления. Между черной дырой и радиусом

Компьютерная модель объекта SS 433. Изображена звезда-“донор” и два “ветровых” канала. По оси диска распространяются релятивистские струи. Наблюдатель смотрит на систему с правой стороны. Ветер сверхкритического диска показан черными точками, красным – фотосфера ветра (как ее “видит” наблюдатель справа). Модель рассчитана П. Медведевым (ИКИ РАН).



сферизации диска возникает сверхкритический режим аккреции. Выброшенный из диска газ вылетает в виде мощного ветра. Скорость ветра зависит от того же начального темпа аккреции, но вблизи черной дыры она достигает почти скорости света. Мало того, формируется ветровой канал (или конус), его ось совпадает с осью диска, а вершина конуса – с черной дырой. Например, в SS 433 размер канала (только его непрозрачной части) равен расстоянию от Солнца до Меркурия. Этот канал работает как прожектор, он геометрически коллимирует рентгеновское излучение сверхкритического диска. Если наблюдатель заглянет “в канал” – он будет во много раз более яркий, чем сверхкритический диск.

Мы были очень вдохновлены идеей Н.И. Шакуры и Р.А. Сюняева. Задолго до открытия ULX уже было ясно, что SS 433 – это сверхкритический диск; пусть даже он один в нашей Галактике, но, скорее всего, не один во Вселенной! Тогда было не очень ясно, как такие объекты могут выглядеть; впрочем, и параметры SS 433 в то время были малоизвестны (Земля и Вселенная, 1980, № 4). Как часто оказывается, открытие ULX привело астрофизиков в замешательство. Еще более необычным стало обнаружение итальянским астрофизиком Ф. Чиатти в 1978 г. самого объекта SS 433.

ОБЪЕКТ SS 433

Эта двойная система с массивной звездой-“донором” и черной дырой оказалась массой около $10 M_{\odot}$. Самым необычным открытием стали ее оптические спектры: три системы линий водорода и гелия, одна – “стационарная” (как потом выяснилось, это и есть сверхкритический диск). Две другие системы линий “разъезжались” по спектру в разные стороны: одна удалялась со скоростью 50 000 км/с, вторая приближалась со скоростью 35 000 км/с. Как может одна и та же звезда двигаться в разные стороны с такими немислимыми скоростями, да еще и “стоять” на месте?

Как потом выяснилось, ими оказались две релятивистские струи. Аккреционный диск и его струи прецессируют с периодом в 162 дня, поэтому линии движутся (сдвигаются) по спектру за счет эффекта Доплера. Очень узкие релятивистские струи диаметром всего 1° были обнаружены не только в оптическом диапазоне, но еще и в рентгеновском; их настоящая скорость равнялась четверти скорости света.

Даже после того, как разобрались со струями и их геометрией и была найдена кинематическая модель струй, осталось непонятным – как такое могло произойти (Земля и Вселенная, 1986, № 1; 1991, № 4)? И вдруг появилось волшебное слово “сверхкритический диск”. Все встало на свои места. Конечно, многое надо было еще обнаружить и изучить, но это уже можно назвать технической работой. В тесной системе SS 433 от звезды-“донора” на внешний край аккреционного диска перетекает колоссальный объем вещества, буквально “затапливая” черную дыру. Темп аккреции, выраженный в эддингтоновских темпах аккреции для SS 433 (дыра массой $10 M_\odot$), составляет примерно 500 в безразмерных единицах. Ближе к черной дыре светимость диска

становится эддингтоновской (диск сферизуется); почти весь газ, изначально поступающий на внешний край диска, выбрасывается из внутренних частей диска со скоростью около 1000 км/с . Попадает в дыру такое количество вещества, которое равно пределу Эддингтона – но на самом деле немного больше, за счет специфических эффектов в аккреционных дисках. Газ ускоряется и вылетает за счет светового давления очень яркого диска, излучающего на пределе Эддингтона. Этот газ, названный “ветром”, полностью покидает диск и двойную систему. Место размером около $20 R_\odot$, где мы “видим” раскаленный до $5\text{--}7 \times 10^4 \text{ К}$ ветер сверхкритического диска, называется “фотосферой ветра”.

Размер фотосферы ветра настолько большой, что ветер из сверхкритического диска вполне имитирует горячий сверхгигант; получается, что мы видим две горячие звезды – фотосферу ветра и звезду-“донор”. По оси сверхкритического диска формируется ветровой канал такого же размера, как и фотосфера ветра. Это можно сравнить с арбузом, с двух сторон которого по оси вырезали два конуса, и вершины конусов сходятся в центре: там “прячется” черная

дыра. Поверхность “арбуза” – горячая фотосфера ветра, из внутренней поверхности двух вырезанных конусов (полный расцвет каждого – примерно 100°) выходит рентгеновское излучение: по оси конусов-каналов вылетают релятивистские струи.

В SS 433 мы не видим конусов (так как не можем заглянуть в центр канала, чтобы рассмотреть черную дыру) и даже не можем увидеть внутренние части канала – такова ориентация SS 433 со стороны наблюдателя. Мы смотрим на этот объект “сбоку”, и ось двух каналов расположена для нас примерно в картинной плоскости. Струи и канал покачиваются (прецессируют) в обе стороны на угол 20° . Когда мы немного глубже “заглядываем” в канал, то SS 433 становится в несколько раз ярче в рентгеновском диапазоне, но все равно мы замечаем только краешек канала. Что бы было, если бы мы увидели весь канал – тогда бы перед нами появился U LX!

ЕЩЕ
О СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ
АККРЕЦИИ

При падении материи на черную дыру в виде рентгеновских лучей излучается огромное количество световой энергии (примерно 10% от массы

покоя вещества $M \times c^2$). Самый яркий объект в системе SS 433 – сверхкритический диск; вторая звезда-“донор” малозаметна на фоне диска. Но диск наблюдается не в рентгеновских лучах, а в ультрафиолетовых. Такая же ситуация наблюдается в любой звезде (например, на Солнце). При термоядерных реакциях, за счет которых “живет” Солнце, выделяются рентгеновские и гамма-лучи, но светит наше Солнце в приятном для глаз оптическом диапазоне. Сверхкритический диск также изначально вырабатывает рентгеновское излучение, но оно не может быстро покинуть эту систему. Оказываясь в непрозрачной среде, излучение запутывается и многократно рассеивается, первичное рентгеновское излучение термализуется (температура излучения станет примерно равной температуре газа). В недрах Солнца первичный квант выходит наружу через миллионы лет, в сверхкритическом диске – всего за несколько минут. Скорее всего, основная часть энергии сразу выходит из канала без термализации. В SS 433 мы канала не видим из-за его ориентации: “заглянуть” в него и “увидеть” сам сверхкритический диск с черной дырой мы не можем, поэтому мы “видим”

только термализованное излучение.

Рентгеновский источник SS 433 выделяет микроскопическую часть светимости от своей полной энергии. В рентгеновских лучах мы наблюдаем только его вылетающие релятивистские струи, раскаленные до рентгеновских температур (десятки миллионов градусов), очень быстро остывающие (всего за две минуты). Мы видим также внешний ободок канала, который отражает излучение внутренних частей канала с черной дырой. Почему SS 433 и ULX очень схожи? В рентгеновском диапазоне это – совершенно разные объекты. Все зависит от ориентации, от того – с какой стороны посмотреть на сверхкритический диск.

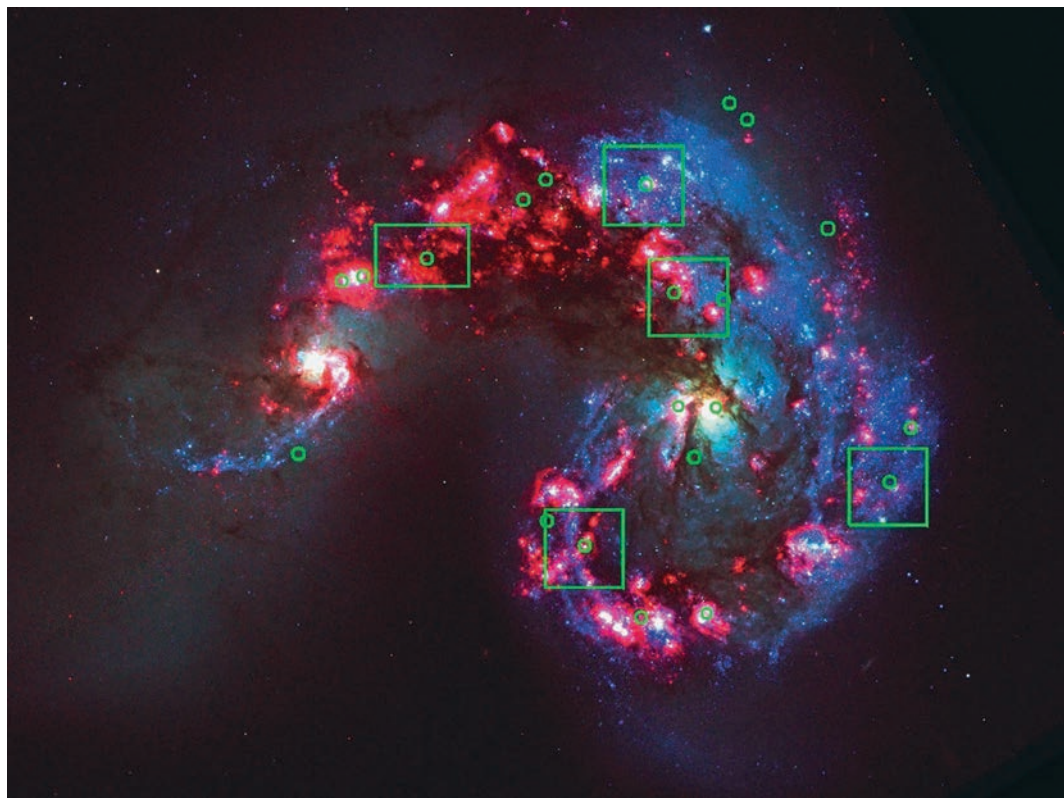
ДВЕ МОДЕЛИ ULX

Мы описали две модели, предложенные для ULX, – это черные дыры средних масс (IMBH), массой в сотни и тысячи масс Солнца. Рентгеновская светимость объектов не превосходит предел Эддингтона; их можно рассматривать как стандартный “диск Шакуры–Сюняева”, который был описан выше. По второму сценарию – это сверхкритические диски, то есть черные дыры звездных масс от $5 M_{\odot}$ до $30 M_{\odot}$. В обоих сценариях черные дыры

должны быть в двойной системе: не в обычной, а в такой, где звезда-“донор” находится на критической стадии эволюции, для того, чтобы обеспечить большой поток массы и, соответственно, огромную рентгеновскую светимость.

Недавно стало ясно, что IMBH могут образовываться в звездных скоплениях. В отличие от звезд “Населения III”, которые сформировались в незапамятные времена, весьма маловероятно, что IMBH из “Населения III” смогут “захватить” массивную звезду, возраст которой всего несколько миллионов лет. В молодых скоплениях звезд могут образовываться собственные IMBH, а массивных звезд там предостаточно.

Когда формируется скопление звезд, то в первые несколько миллионов лет наиболее массивные звезды “опускаются” в центр. При этом в самом центре, размером не более $0,2$ пк, собирается несколько сотен массивных звезд. Далее, в результате трех-четырёхкратных столкновений (не прямых, но тесных сближений) массивные звезды выбрасываются из скоплений. Молодое скопление может потерять до половины (и даже больше) своих массивных звезд! При этих столкновениях появляются (“лепятся”)



Галактика Антенны – это взаимодействующие галактики NGC 4038 и NGC 4039 (расстояние 60 млн св. лет). Красным цветом показано излучение газа в линии водорода H_{α} , голубым – молодые массивные звезды, коричневым – пыль в этих галактиках, из которой со временем появятся массивные звезды; два ярких белых пятна – ядра сливающихся галактик; яркие голубые точки – молодые скопления звезд; зеленые кружки – рентгеновские источники. Пять зеленых прямоугольников – это области панорамных спектров, полученных 8-м телескопом VLT Европейской Южной Обсерватории (Чили). Изображение получено Космическим телескопом им. Хаббла. Фото NASA.

и выбрасываются, как правило, тесные двойные звезды. А вот самая массивная звезда (ее называют очень массивная звезда; Very Massive Star, VMS) остается в скоплении; она набирает все больше массы за счет газа от пролетающих рядом звезд и даже за счет прямых столкновений. Эта звезда эволюционирует в течение всего 1–2 млн лет и превращается в ИМВН. Итак, при формировании молодого скопления звезд в центре может оказаться ИМВН, а вокруг скопления будут разбросаны массивные звезды.

Много ULX найдено в галактиках Антенны

(NGC 4038 и NGC 4039, расстояние 60 млн св. лет), а также в галактике NGC 3256 (расстояние 100 млн св. лет); в них наблюдается достаточно молодых и массивных скоплений. Это – взаимодействующие, или сливающиеся галактики; у них даже хорошо различаются два ядра. Идет интенсивное звездообразование: в десятки раз превышающее темпы, чем в таких массивных галактиках, как наш Млечный Путь или Туманность Андромеды. Звездообразование прямо связано с количеством массивных звезд, а также рентгеновских источников и ULX. Пол-



ной неожиданностью стало обнаружение всех ULX в этих галактиках рядом с молодыми скоплениями возрастом менее 5 млн лет – не внутри скоплений, а именно рядом, на расстояниях до 200 пк (650 св. лет). Открытие было сделано нами совместно с финским астрофизиком Ю. Поутаненом. Вероятность того, что ULX не связаны со скоплениями, оказалась ничтожно малой – следовательно, они принадлежат к молодым скоплениям. Если это – IMBH, то такие черные дыры должны оставаться в скоплениях, поскольку они очень массивные и вылететь из скопления не смогут. Следовательно, ULX – это вылетевшие из скоплений двойные системы.

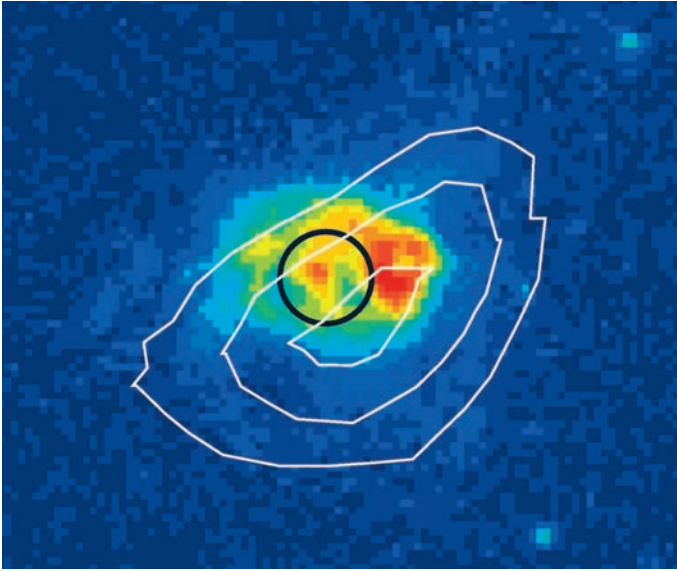
Если оценивать скопления в этих галактиках

по возрасту эволюции звезд, то ULX должны иметь массы около $100 M_{\odot}$, поскольку звезда такой массы эволюционирует примерно 3 млн лет. ULX могли родиться как две звезды массой 50–100 M_{\odot} . Если среднее расстояние между ULX и скоплением разделить на время эволюции скопления, то получается, что ULX выбрасываются из скоплений со скоростью около 80 км/с. Это – одно из верных доказательств того, что объекты ULX не есть IMBH; они должны быть сверхкритическими аккреционными дисками с черными дырами звездных масс.

Рентгеновские спектры ULX совсем не похожи на “ступенные” спектры обычных рентгеновских источников с черными дырами – они

Области в галактиках Антенны с молодыми скоплениями, рядом с которыми находятся рентгеновские источники ULX (зеленые кружки; черточками того же цвета показано направление на скопление). Объекты ULX, как правило, были “выброшены” из скоплений. Голубым показаны массивные звезды, рожденные в скоплениях; их родные скопления уже распались. Изображение получено Космическим телескопом им. Хаббла. Фото NASA.

“двугорбые”. Один “горб” в спектре напоминает стандартный диск (что похоже на рентгеновские источники), но в этом диске как будто “вырезали” внутреннюю часть – окружающую черную дыру – или чем-то ее “закрыли”. Второй “горб” очень похож на комптонизированное



Туманность, принадлежащая ULX в галактике NGC 6946 (расстояние 18 млн св. лет). Примерно в центре черного круга (координаты рентгеновского источника) находится красная звезда 23^m – это оптический двойник ULX. Белыми контурами отмечено положение радиотуманности, образовавшейся, вероятно, за счет мощных струй от ULX. Красным цветом показано свечение в линиях водорода H_α и серы, желтым – в линиях кислорода. Изображение создано П. Аболмасовым (САО РАН) по данным Космического телескопа им. Хаббла. Фото NASA.

излучение, когда электрон сталкивается с фотоном и при этом фотон приобретает энергию, а электрон теряет. В таком случае электрон должен быть достаточно “горячим”: то есть иметь энергию выше определенного порога. Это совсем не похоже на стандартный “диск Шакуры–Сюняева”. Внутренняя часть диска чем-то закрыта, – видимо, “шапкой” из этих же “горячих” электронов: они перерабатывают излучение закрытых внутренних частей (комptonизируют) в более высокие энергии – во второй “горб”. Рентгеновские спектры не могут быть надежным доказательством сверх-эддингтоновской аккреции в ULX; это не более чем красивая модель.

Как правило, вокруг ULX мы видим туманности – газовые

образования, связанные с ULX. На российском телескопе БТА САО РАН мы наблюдали туманности, окружающие ULX. Оказалось, что они не только связаны с ULX, но и образовались и светят за счет этих объектов. В них происходят динамические процессы: газ туманностей разлетается со скоростями (у каждого ULX по-разному) от 20 до 500 км/с. Такое может произойти за счет струй или мощных ветров, которые выбрасывают ULX; то есть это – сверхкритические аккреционные диски.

Туманности, связанные с ULX, обнаружены в галактиках NGC 6946, Holmberg II, Holmberg IX, а также в нашей Галактике, где мы видим радиотуманность W50, окружающую объект SS 433. Туманность в галактике NGC 6946 (расстояние 18 млн св. лет) – одна

из самых компактных, ее размер равен 50 пк (150 св. лет). В ней мы видим характерные круги, образованные за счет струй и сильных ветров, истекающих по оси аккреционного диска. Туманность в галактике Holmberg II – более крупная, ее размер составляет примерно 100–120 пк (более 320 св. года). Одна из самых больших туманностей, непосредственно связанная с ULX, находится в галактике Holmberg IX размером 300 пк (около 1000 св. лет). Туманность W 50, которая окружает SS 433, лучше всего видна в радиодиапазоне; ее трудно различить в оптическом свете из-за огромного межзвездного поглощения – 8^m . У всех этих туманностей (как у ULX, так и у SS 433) видны круги или спирали, что характерно для струйных выбросов.

В карликовой пекулярной галактике Holmberg II (расстояние около 10 млн св. лет) находится оптический двойник ULX, расположенный рядом со скоплением горячих массивных звезд. Он окружен яркой подковообразной туманностью (слева) размером 100–120 пк, которая светит в линии H_{α} (красный цвет). Изображение создано А. Винокуровым (САО РАН) по данным Космического телескопа им. Хаббла. Фото NASA.

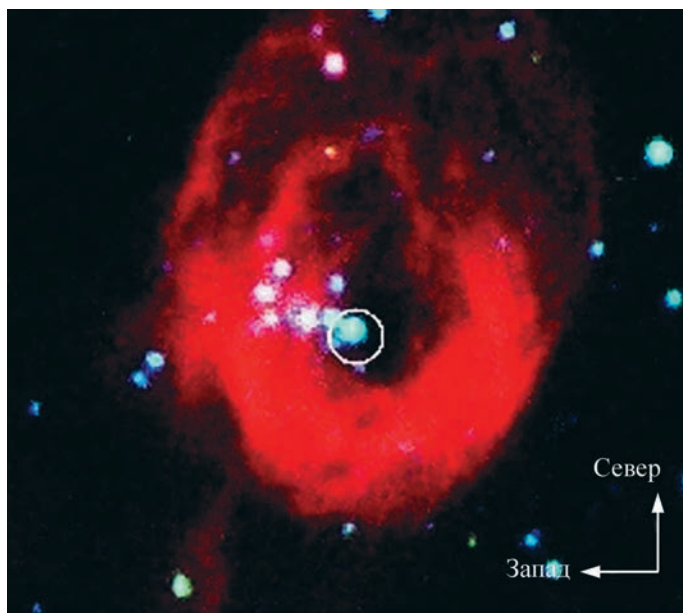


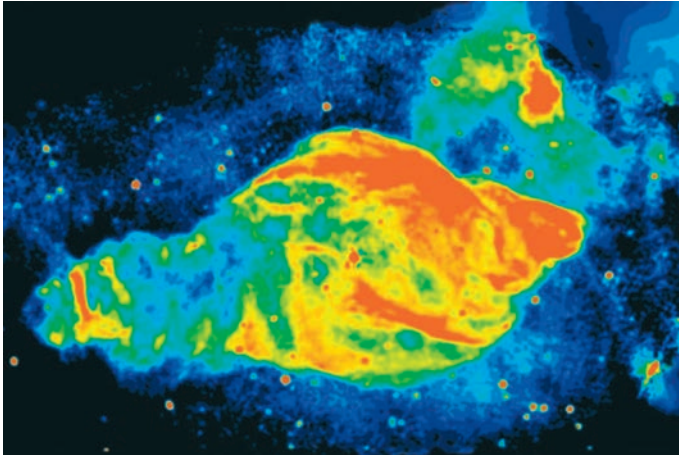
Когда космическая обсерватория “Чандра” выполнила довольно много наблюдений близких галактик с рентгеновскими источниками, то астрофизики начали строить рентгеновские функции светимости. Функция светимости – это зависимость светимости объекта (в данном случае рентгеновская) от

количества объектов данного типа. Первым по результатам “Чандры” рентгеновские функции светимости начал строить доктор физико-математических наук М.Р. Гильфанов (ИКИ РАН) с соавторами. Оказалось, что количество рентгеновских источников с массивными звездами находится в прямой

пропорции с темпом звездообразования в галактиках. Это даже не зависит от массы галактики: чем больше “масс Солнца в год” производит галактика – тем больше там массивных звезд (и, соответственно, рентгеновских источников с массивными звездами). Рентгеновские функции светимости прямо

Оптический двойник ULX в карликовой неправильной галактике Holmberg IX (расстояние 12 млн св. лет) находится внутри рентгеновского “кружка ошибок”. С ним связана одна из самых больших туманностей размером 300 × 500 пк. Красным цветом показано излучение в линии водорода H_{α} . Снимок получен М. Пакуллем (Франция) на 8,2-м телескопе “Subaru” Национальной астрономической обсерватории Японии (Гавайи).





Радиотуманность W50 размером около 120 пк (расстояние 18 тыс. св. лет); точка в самом центре круга – объект SS 433. Туманность W50 похожа на “ракушку”, по бокам которой распространяются и тормозятся релятивистские струи; в результате там возникает очень мощное радиоизлучение (более яркие области показаны красным). Изображение получено радиотелескопом NRAO (Грин-Бэнк, США).

связаны с ULX: там где заканчиваются рентгеновские источники (самые яркие из них выделяют энергию примерно 10^{39} эрг/с), появляются ULX со светимостью от 10^{39} до 10^{41} эрг/с.

Рентгеновские функции светимости, необычные рентгеновские спектры, существование ULX-туманностей, окружающих ULX, с выбросами вещества – все это свидетельства сверхкритической аккреции; у черных дыр средних масс (IMBH) такого быть не должно. Однако все эти свидетельства – косвенные. Главное доказательство было получено с помощью оптической спектроскопии, ведь это самый информативный метод в астрофизике.

ОПТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ULX

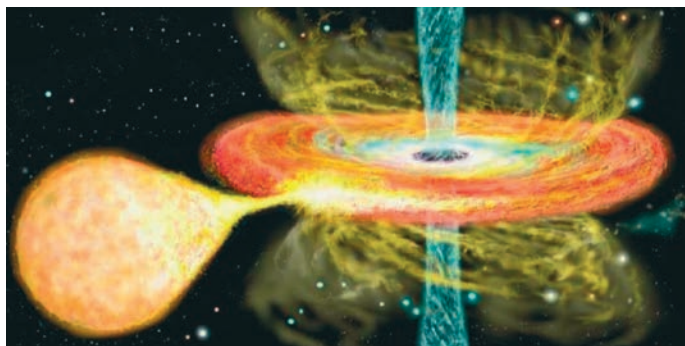
Получение оптического спектра ULX – очень сложная задача; она может быть выполнена только с помощью круп-

ных телескопов и при очень хороших погодных условиях. Самые яркие в оптическом диапазоне ULX (то есть те, которые находятся в близких галактиках) – это объекты 22^m . В более далеких галактиках они еще слабее. За всю 15-летнюю историю изучения ULX оптические спектры были получены только для 10 (!) таких объектов. Спектры четырех ULX были сняты на 8-м телескопе “Subaru” (Гавайи), один – на 10-м телескопе Кеск (Гавайи), три – на 8-м телескопе VLT (Чили) и два – на 6-м телескопе БТА.

Спектры всех 10 объектов ULX (как и SS 433) оказались очень схожими. Только в спектре одного ULX найдены релятивистские линии, подобные SS 433. В спектрах других ULX релятивистских линий найдено не было; но “стационарный” спектр сверхкритического диска (как в SS 433) – такой же, как у всех ULX. Получается,

что это – однородный класс объектов? Это действительно так, поскольку Вселенная однородна: наша Земля, Солнце и Галактика ничем не выделяются во Вселенной. Мы случайно “попадаем” на ближайшие к нам ULX. Еще один вывод, который можно сделать благодаря оптической спектроскопии: ULX – это сверхкритические диски!

Тип спектра ULX очень редкий; он наблюдается у ярких голубых переменных звезд (Luminous Blue Variables, LBV), но только находящихся в “горячей фазе”. Звезды LBV обладают массой более $50-60 M_{\odot}$, их эволюция длится всего несколько миллионов лет. Возможно, все массивные звезды проходят стадию LBV. На этой же стадии вполне может произойти взрыв звезды, то есть мы увидим Сверхновую. Она может появиться немного позднее, когда звезда LBV превратится



Так художник представляет черную дыру в двойной системе. В центре аккреционного диска – внутренние его части, излучающие в рентгеновском диапазоне; в середине диска – излучение в линии ионизованного He II; во внешних – в линии водорода (показано красным). Со звезды-“донора” (звезды-“компаньона”) тонкой струей вытекает вещество на край аккреционного диска. По оси диска выбрасываются две струи; из диска дует ветер (показан в виде струй желтого цвета). Рисунок.

в звезду Вольфа – Райе (WR; Земля и Вселенная, 1994, № 2). Эта проблема – превращаются ли звезды LBV в звезды WR – сейчас активно обсуждается. Здесь важно выяснить, почему спектр ULX и SS 433 очень похожи на спектр LBV-звезд в их “горячей фазе”.

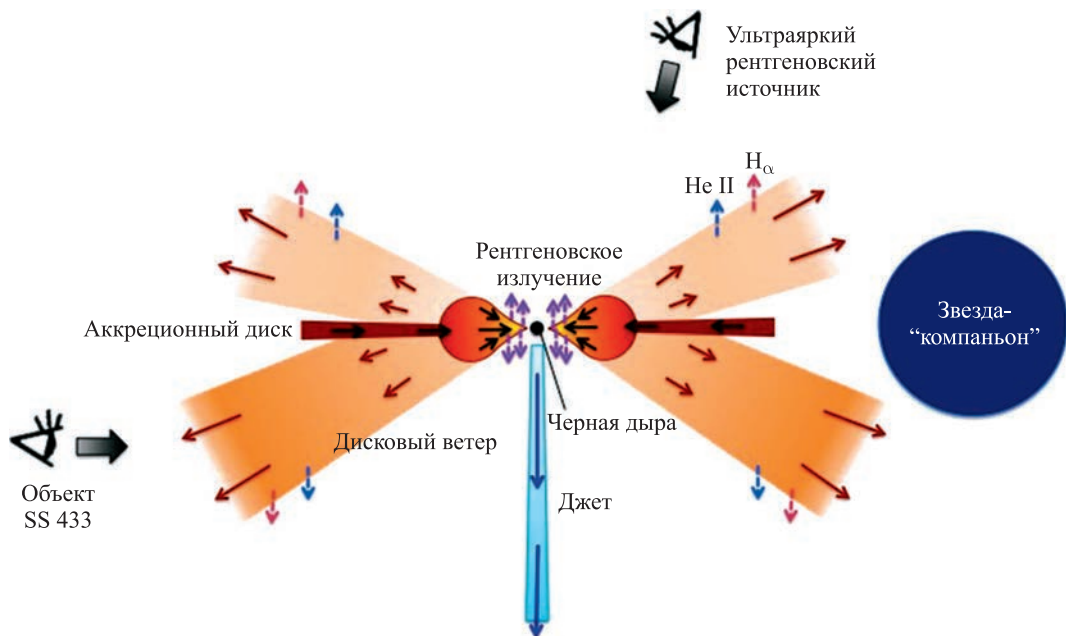
Когда массивная звезда проходит стадию LBV, то ее атмосфера неустойчива: звезда расширяется в несколько десятков раз, при этом она становится холоднее, ее атмосфера остывает примерно до 8000 К (“холодная фаза”). Потом, через месяцы или годы, звезда сжимается – вероятно, приходит в свое нормальное состояние, достигнув температуры примерно 45 000 К (“горячая фаза”). Астрофизики пока не

могут объяснить причину такой переменности, однако идеи есть. Спектры ULX и SS 433 похожи на спектры LBV в их “горячей фазе” потому, что во всех этих объектах фиксируем горячий ветер. Это может быть ветер от сверхкритического диска (SS 433), а может быть и ветер от горячей звезды (LBV); скорость ветра у всех этих объектов – 1000–2000 км/с.

Оказалось, что примерно такой же тип спектра наблюдается и у рентгеновских транзиентных источников (Земля и Вселенная, 2010, № 3). В нашей Галактике известно несколько рентгеновских транзиентов: это – тесные двойные системы с черной дырой. Когда в звезде-“доноре” постепенно увеличива-

ется темп аккреции в диске (причины этого известны) при этом возникает неустойчивость, резко увеличивается темп аккреции на черную дыру. Мы видим рентгеновский транзиент – за короткое время поток рентгеновского излучения возрастает в тысячи и даже миллионы раз. Вращающееся вещество – аккреционный диск – “проседает” приближаясь к черной дыре, высвобождается огромное количество потенциальной энергии. Рентгеновское излучение возникает вблизи черной дыры, обжигая свой же аккреционный диск. При этом появляется ветер из диска – виден характерный оптический спектр, похожий на ULX.

В спектрах ультраярких рентгеновских источников и транзиентов, ярких голубых переменных и SS 433 мы видим линии самых распространенных элементов во Вселенной – водорода и ионизованного гелия. Линии ионизованного гелия в спектрах рентгеновских транзиентов имеют дисперсию скоростей больше, чем линии водорода; это связано с эффектом Доплера: газ в аккреционном диске вращается. Чем ближе к черной дыре – тем с большей скоростью в диске вращается газ, тем больше дисперсия скоростей. Линии



Модель ультраяркого рентгеновского источника (сверху) и объекта SS 433 (снизу). В обоих случаях это – тесная двойная система с черной дырой, сверхкритическим аккреционным диском и звездой-“донором” (справа). Из-за ориентации в пространстве мы наблюдаем SS 433 “сбоку”, поэтому заметны только релятивистская струя и очень мощный ветер. Рентгеновское излучение от SS 433 намного слабее, чем в случае с ULX (там мы “видим” канал сверхкритического диска). Рисунок М. Шидатсу (Университет Киото).

гелия образуются в более горячем газе – ближе к черной дыре, линии водорода – в более холодном (значит – дальше от дыры).

В сверхкритическом диске (а также в звездах LBV и SS 433) ситуация обратная: здесь

линии водорода указывают на большую дисперсию скоростей, чем линии гелия. Это классический пример для всех горячих звезд с ветрами: линии гелия формируются ближе к фотосфере звезды (или сверхкритического диска), они еще не успели набрать достаточной скорости. В областях, дальше от фотосферы – где тот же самый газ ускоряется сильнее и уже охлаждается, формируются линии водорода. В рентгеновских транзитах мы непосредственно “видим” вырывающийся из диска ветер; в сверхкритических дисках сам диск не виден, так как полностью закрыт газом. В ULX (как в LBV и SS 433) мы “видим” очень плотный ветер, который распространяется на большие расстояния.

Различия моделей SS 433 и ULX состоят в следующем: в SS 433, как и в ULX, мы не “видим” аккреционного диска, поскольку ветер очень мощный, он полностью его покрывает; но в SS 433 ветер еще более плотный, чем в ULX. Конечно, в отличие от SS 433, из-за удобной для нас ориентации ULX, мы полностью “видим” канал сверхкритического диска, черную дыру и все исходящее от объекта рентгеновское излучение. Такая модель отличается от модели рентгеновских транзитов (диска с черной дырой): там “видна” вся поверхность аккреционного диска. В сверхкритических дисках мы наблюдаем только ветер, формируются линии ионизованного гелия (He II)

и линии водорода (например, H_α).

К настоящему времени получено достаточно доказательств того, что ULX – это сверх-эддингтоновские диски в двойных системах с черной дырой; это – черные дыры обычных звездных масс, находящиеся в тесных двойных системах. Как были предсказаны такие объекты на основе SS 433 – так их и открыли. Немного времени прошло с момента их предсказания.

И вдруг, в 2014 г., в близкой галактике M82 (NGC 3034 в Большой Медведице) с уже известными ULX с помощью новой космической обсерватории “NuSTAR” (Земля и Вселенная, 2012, № 6, с. 35) был открыт ультраяркий рентгеновский пульсар. Период его вращения – 1,37 с. Когда проверили все остальные хорошо известные ULX (их около 15), то выяснилось, что они не пульсируют; значит, остальные ULX – все-таки черные дыры?

Проверили еще несколько ULX. В конце сентября 2016 г. обнаружили еще один ультраяркий пульсар с периодом вращения 0,42 с, причем оптический спектр этого ULX-пульсара был получен ранее: это – один из 10 ULX. Этот второй пульсар был обнаружен в галактике NGC 7393 в созвездии Водолея, расположенной на Южном небе. Через три дня после открытия второго

ультраяркого пульсара был открыт третий, еще более яркий. Период третьего пульсара оказался равным 1,43 с. Используя более старые данные космических обсерваторий, выяснилось, что за 10 последних лет наблюдений этот пульсар “ускорился” (от 1,43 с до 1,1 с). Это какое количество массы должно было упасть на нейтронную звезду, чтобы ускорить ее вращение всего за 10 лет? Третий пульсар назвали “гиперярким”. Это – чудесные открытия!

Нейтронная звезда тоже может обладать сверхкритической аккрецией, здесь неважно, что это за объект; главное – сколько на него падает вещества. Тем не менее, в отличие от черной дыры, куда вещество “проваливается”, унося с собой всю свою энергию – как тепловую, так и энергию излучения, в нейтронной звезде все остается на поверхности. На фотосфере нейтронной звезды энергия вещества обязательно “высветится”. Однако в случае нейтронной звезды есть больше сценариев и моделей; появились хорошие модели: например, рентгеновский пульсар со сверхсильным магнитным полем (магнетар; Земля и Вселенная, 2005, № 6). Другая модель еще более красивая: это тоже нейтронная звезда с сильным магнитным полем, но она работает в режиме “про-

пеллера”: в аккреционном диске вещество вращается вокруг нейтронной звезды; “подходя” ближе к ней, мощное магнитное поле пульсара “ломает” аккреционный диск и разбрасывает газ диска на большие расстояния.

Исследования сверхкритической дисковой аккреции только начинаются. Особенно эффективно сейчас развиваются работы в области моделирования таких дисков в связи с быстрым развитием компьютеров. Если раньше мы знали только про SS 433, то недавно выяснили, что объекты ULX также имеют сверхкритические диски. Сейчас мы уже знаем, что быстрый рост квазаров – накопление массы сверхмассивной черной дыры – невозможен без сверхкритической аккреции. Менее чем за миллиард лет после рождения Вселенной квазары уже накопили массу около 10⁹ M_☉. Это открытие также оказалось неожиданным для астрофизиков. Действительно, самые ранние квазары обнаружены через 600 млн лет после рождения Вселенной, их массы такого же порядка – более миллиарда масс Солнца! Даже “работая” почти на пределе Эддингтона, квазары не смогли бы “нарастить” такую массу; здесь нужны существенно сверхкритические темпы аккреции.

Российский ученый удостоен медали КОСПАР

В августе 2016 г. вице-президент РАН, председатель Научного совета по физике Солнечной системы, член Совета РАН по космосу, директор ИКИ РАН академик Л.М. Зелёный решением Международного комитета по исследованию космического пространства (КОСПАР/COSPAR) был награжден за выдающийся вклад в космические исследования и деятельность, значительно способствовавшую развитию международного научного сотрудничества. В приветственном адресе Президент КОСПАР профессор Л.А. Фиск отметил, что Лев Матвеевич Зелёный является признанным лидером в мировой космической науке в области солнечно-земной физики. Он начал свою научную карьеру в качестве теоретика в области физики плазмы, получив важные результаты для понимания разрывной неустойчивости и процессов пересоединения. Вся его профессиональная жизнь связана с Институтом космических исследований АН СССР – в 1970–1980-х гг. одного из немногих центров международного сотрудничества в Советском Союзе.

В качестве теоретика Л.М. Зелёный сотрудничал с различными научными

группами по всему миру, в том числе с учеными Калифорнийского университета и Института солнечно-земной физики Общества им. Макса Планка (Германия), где он работал в группе моделирования физических процессов в космосе. Результатом совместных работ стали несколько десятков международных публикаций, посвященных различным аспектам физики плазмы и физики космоса. После основания Международного института космических исследований (ISSI; Берн, Швейцария) Л.М. Зелёный активно участвовал в различных проектах в составе группы ученых в качестве члена Научного комитета и Попечительского совета. Во многом благодаря его усилиям российские ученые стали активными участниками международных коллективов ISSI.

Начиная с 2003 г., Л.М. Зелёный возглавляет совместную российско-французскую лабораторию “Геоплазма”, итогом работы которой стали более 60 совместных публикаций. В 2006–2014 гг. Л.М. Зелёный входил в Бюро КОСПАР, координировал работу многочисленных сессий по основным разделам магнитосферной физики. Он был одним из организаторов 40-й Научной ассамблеи КОСПАР в Москве в 2014 г. (Земля и Вселенная, 2015, № 1). Л.М. Зелёный был научным руководителем весьма успешного проекта “Интербол” (1995–2001) по изучению взаимодействия магнитосферы Земли с солнечным ветром, в котором сотрудничали ученые из 18 стран,



ставшего частью Международной программы по солнечно-земной физике (Земля и Вселенная, 1997, № 3). В настоящее время Л.М. Зелёный руководит приемником “Интербола” – проектом “Резонанс”; в его ходе будет изучаться взаимодействие волн и частиц во внутренней магнитосфере Земли. Он также руководит российской лунной программой на 2016–2025 гг. и российской частью программы “ЭкзоМарс” (Роскосмос, ESA) по исследованию Марса в 2016–2022 гг. (Земля и Вселенная, 2016, № 3). Вклад Льва Матвеевича в международное сотрудничество в космосе признан во всем мире. Л.М. Зелёного избрали иностранным членом Болгарской и Украинской академий наук, наградили офицерским крестом за заслуги в установлении научных контактов между Россией и Польшей и медалью “За достижения в области космической науки”.

Редколлегия и редакция журнала “Земля и Вселенная” поздравляют Льва Матвеевича Зелёного с заслуженной высокой наградой.

“Ферми” открыла редкую гамма-двойную

Используя данные космической гамма-обсерватории “Ферми” (“Fermi”; Земля и Вселенная, 2008, № 5, с. 58; 2015, № 3), международная группа ученых обнаружила первую в другой галактике самую удаленную и мощную гамма-двойную систему LMC P3. Она находится в расширяющемся раскаленном газовом облаке, образовавшемся от взрыва сверхновой DEM L241, вспыхнувшей в карликовой галактике Большое Магелланово Облако (созвездие Золотой Рыбы) в 163 тыс. св. лет от нас. Система LMC P3 является самой яркой из бинарных систем излучающих в гамма-, рентгеновском, радио- и видимом диапазонах из всех обнаруженных на данный момент. В структуру LMC P3 входят звезда массой 25–40 M_{\odot} и оголенное ядро звезды-“компаньона”; температура оболочки ядра нагрета до 33000 К. При коллапсе звезды-“компаньона” ее верхние слои с огромной скоростью разлетелись, несколько тысяч лет назад образовав облако ионизованного водорода HII; после этого осталось оголенное ядро звезды. Оно, скорее всего, представляет собой нейтронную звезду радиусом 10–20 км и массой 2 M_{\odot} .

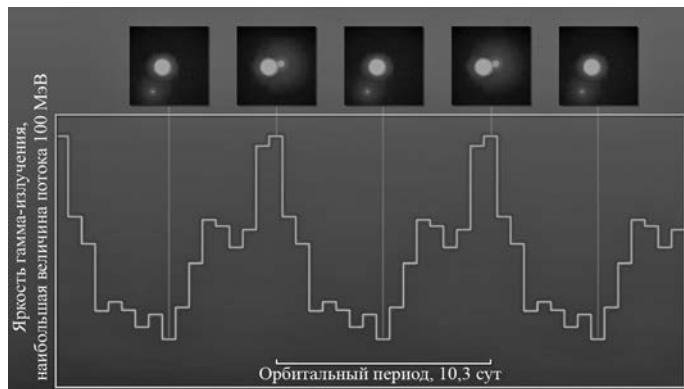


График зависимости всплесков гамма-излучения с амплитудой в 10,3 дня от положения на орбите нейтронной звезды при взаимодействии бинарной системы LMC P3 в Большом Магеллановом Облаке. Гамма-излучение максимально в момент приближения к нам нейтронной звезды (второе и четвертое положения), минимально — при ее удалении (первое, третье и пятое положения). По данным космической обсерватории “Ферми”, NASA.

В результате взаимодействия этой пары звезд возникает циклический поток гамма-лучей наибольшей энергии. Наблюдения с помощью 1,9-м телескопа Южно-африканской астрономической обсерватории показали, что скорость вращения массивной звезды меняется: она делает полный оборот вокруг нейтронной звезды за несколько десятков дней.

На основе нескольких снимков, полученных космической обсерваторией “Чандра” и 8,2-м телескопом VLT Европейской Южной обсерватории, а также данных обзоров неба MCELS и DSS, составлено изображение системы LMC P3 (см. стр. 2 обложки, вверху). На нем заметно ярко светящееся в рентгеновском диапазоне горячее облако ионизованного водорода HII.

Космическая обсерватория “Ферми”, начиная с 2008 г., обнаружила только 5 подобных двойных систем в нашей Галактике. Всплески гамма-излучения, идущие от них, значительно изменяются в процессе каждого из оборотов звезд. Это позволяет астрономам с уникальной точностью изучать многие процессы, характерные для других источников гамма-излучения.

В 2012 г. с помощью космической рентгеновской обсерватории “Чандра” (“Chandra”; Земля и Вселенная, 2000, № 4, с. 59–60) был замечен мощный источник рентгеновского излучения в соседней галактике Большое Магелланово Облако. Данные показали, что он находится на орбите горячей молодой звезды, массой во много раз превышающей по массе Солнце. Тогда исследователи пришли

к выводу, что компактный объект – это нейтронная звезда (или черная дыра) и классифицировали систему как рентгеновская двойная большой массы. В 2015 г. были зафиксированы 10,3-дневные циклические изменения гамма-излучения вблизи одного из нескольких точечных источников в Большом Магеллановом Облаке. Был ли он тем же объектом, что

зафиксировала “Чандра”? Для того, чтобы это выяснить, ученые провели наблюдения бинарной системы в рентгеновских лучах, в видимом и радиодиапазонах, которые отчетливо продемонстрировали такой же 10,3-дневный цикл выбросов гамма-лучей, подтвердив, что это “работает” система LMC P3.

До запуска “Ферми” гамма-двойные системы счита-

лись наиболее распространенными во Вселенной, на самом же деле их чрезвычайно мало. Ученые связывают это с тем, что обнаруженные телескопом гамма-бинарные системы содержат редкий тип нейтронных звезд с исключительно быстрой скоростью вращения.

*Пресс-релиз NASA,
28 сентября 2016 г.*

Информация

“Розетта”: конец космической одиссеи

Первая в истории науки программа “Розетта” продолжительностью 12 лет и стоимостью около 1,5 млрд долларов завершилась 30 сентября 2016 г. 14-ти часовым спуском АМС “Розетта” к поверхности кометы 67P/Чурюмова–Герасименко, это проводился сбор информации (см. стр. 2 обложки, внизу). На Землю были переданы последние данные о комете, причем радиосигнал от станции шел в течение 40 мин.

Напомним, что в 1993 г. Европейское космическое агентство одобрило программу “Розетта”. Цель этой миссии – исследование происхождения и эволюции Солнечной системы на примере изучения комет, представляющих собой

замерзшие фрагменты вещества, из которого образовались планеты 4,5 млрд лет назад. Состав вещества комет не претерпел с тех пор значительных изменений, в отличие от вещества планет и астероидов. АМС “Розетта” со спускаемым аппаратом “Филы” стартовала в марте 2004 г. В течение 10 лет станция сделала несколько гравитационных маневров между Марсом и Землей, пролетела более 6 млрд км и в августе 2014 г. достигла кометы 67P/Чурюмова–Герасименко. Затем АМС “Розетта” вышла на орбиту вокруг ее ядра, высадила роботизированную лабораторию – спускаемый аппарат “Филы” – на ее поверхность и в течение двух лет исследовала поверхность кометы (Земля и Вселенная, 2015, №№ 1, 4).

В 2015 г. “Розетта” зафиксировала 34 выброса вещества массой 60–260 т с поверхности ядра кометы 67P/Чурюмова–Герасименко в виде коротких мощных вспышек. Они возникали в течение трехмесячного

периода наивысшей активности кометы – до и после ее максимального сближения с Солнцем, состоявшегося 13 августа 2015 г. Эти высокоэнергетические события происходили наряду с регулярными выбросами струй пыли и газа, а также потоков вещества из ядра кометы. Выбросы, длившиеся 5–30 мин, были синхронизированы с периодом вращения кометы и определялись ростом (или снижением) количества солнечного тепла, попадавшего на определенную часть поверхности кометы.

Наблюдавшиеся “Розеттой” выбросы материала с поверхности кометы ученые разделили по форме на три категории: узкие струи, струи с широким основанием и промежуточного типа. Согласно гипотезе, все три типа выбросов могут относиться к этапам сложного процесса ее формирования. На первом этапе вещество нагревается, затем накапливается его определенное количество и в результате –



Мощные вспышки с выбросами вещества, зафиксированные на поверхности кометы 67P/Чурюмова–Герасименко в период ее наивысшей активности. Снимки получены в июле–сентябре 2015 г. АМС “Розетта”. Фото ESA.

с большой скоростью извергается узкой струей, состоящей из газов и пыли. Вещество падает на ядро

кометы, оно модифицирует ее поверхность, расширяется в этом месте и в конечном счете полностью

трансформируется в более широкую струю выбросов.

*Пресс-релиз ESA,
1 октября 2016 г.*

Техника наблюдений звезд с высоким спектральным разрешением

В.Е. ПАНЧУК,
доктор физико-математических наук
САО РАН

Для того, чтобы оценить место и роль приборов высокого спектрального разрешения, созданных в начале



1970-х гг. для 6-м телескопе БТА, следует вспомнить основные этапы развития данного направления.

ИСТОРИЯ НАПРАВЛЕНИЯ И ТИПЫ ЗАДАЧ

Спектральное разрешение удобно определять безразмерной величиной $R = \lambda/\delta\lambda$, где λ – длина волны, а $\delta\lambda$ – ширина аппаратной функции спектрографа. Во второй половине XIX в. астрономы выполнили первые наблюдения звезд с высокими значениями R . В 1920-е гг. в сочетании с теорией

переноса излучения и первыми достижениями в физике атома, спектры звезд послужили эмпирической основой нового направления – астрофизики. По мере того, как возрастала величина R , выполнялись новые программы спектроскопии звезд. По фотографическим спектрам с $R \sim 1000$ была создана первая классификация звезд (каталог HD), к середине XX в. – двумерная клас-

сификация (по температуре и светимости), а позже, с применением электронно-оптических преобразователей и телевизионных сканеров, измерялись красные смещения далеких объектов. По спектрам с $R = 10\,000$ (нижняя граница диапазона высокого разрешения) можно исследовать спектроскопические двойные звезды, определять характеристики, химический

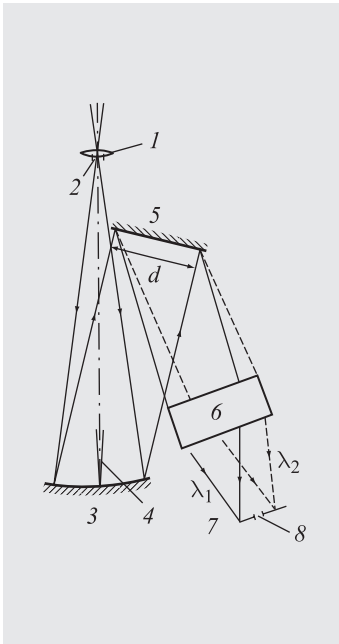


Схема классического дифракционного спектрографа: 1 – изображение звезды в фокальной плоскости телескопа, 2 – линейная ширина щели, 3 – вогнутое зеркало объектива коллиматора, 4 – угловая ширина щели, 5 – дифракционная решетка (штрихи перпендикулярны плоскости рисунка), 6 – линзовый (или зеркально-линзовый) объектив камеры, 7 – плоскость светоприемника, 8 – линейная ширина проекции щели на приемнике. Соотношение ширины щели (2) и ее проекции (8) пропорционально соотношению фокусных расстояний коллиматора и камеры.

состав и напряженность магнитного поля звездных атмосфер, измерять скорости осевого вращения звезд. При величине $R = 100\,000$ (верхняя граница диапазона высокого

разрешения) можно детально изучать профили атомных линий, что позволяет исследовать конвективные движения в фотосферах и особенности звездного ветра. Кроме того, измерение слабых атомных линий открывает возможность определения содержания химических элементов, критичных для теории звездного нуклеосинтеза. Эти элементы (литий, бериллий, бор, торий, уран, технеций) имеют низкую концентрацию и представлены в оптическом диапазоне немногочисленными линиями, профили которых искажены (блендированы) линиями элементов группы железа. Значения $R > 100\,000$ – это область сверхвысокого разрешения; здесь открывается возможность исследовать соотношения изотопов и тонкую структуру околозвездных оболочек. В статье будут рассмотрены спектральные приборы, работающие в диапазоне $100\,000 > R > 10\,000$, созданные при участии автора.

Напомним основные этапы развития техники спектроскопии высокого разрешения. В первой четверти XX в. на подвесном призмном спектрографе 1,5-м телескопа обсерватории Маунт Вилсон (США) были определены светимости и лучевые (радиальные) скорости тысяч звезд. Увеличить R на подвесном призмном

спектрографе среднего разрешения возможно путем добавления призм и удлинения фокусного расстояния камеры; в обоих случаях потери света и недостаточная жесткость конструкции оказывались критическими. Еще в 1880 г. в Парижской обсерватории был разработан фокус кудэ (от франц. *coudé* – ломаный) – оптическая система, позволяющая построить изображение астрономического объекта в неподвижном помещении. Впоследствии (начиная с 1911 г.) эта схема оказалась удобной для стационарного размещения крупногабаритной оптики призмного спектрографа упомянутого 1,5-м телескопа. В неподвижном спектрографе фокуса кудэ суммарная продолжительность фотографической экспозиции могла составлять десятки часов. В 1932 г. в обсерватории Маунт Вилсон был изготовлен спектрограф фокуса кудэ 2,5-м телескопа, оснащенный набором сменных фотографических камер и дифракционной решеткой с профилированным штрихом. Наблюдениям стали доступны звезды до 8-й звездной величины, и в 1935 г. доля публикаций в журнале “*Astrophysical Journal*” по результатам спектроскопии звезд составила уже 50%. Технологические ограничения на размеры дифракционных

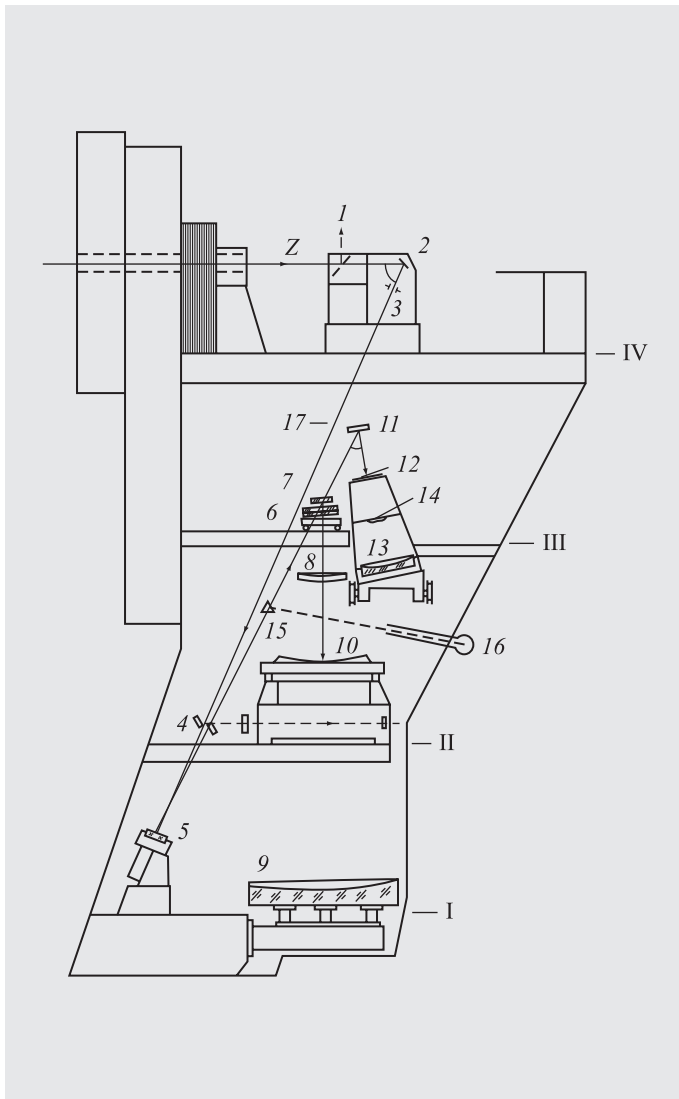


Схема расположения основных оптико-механических узлов Основного звездного спектрографа на БТА: 1 – канал просмотра поля зрения, 2 – поворотное зеркало, 3 – щель, 4 – зеркала канала фотоэкспонетра, 5 – зеркало коллиматора, 6 – призма, разводящая порядки дифракционной решетки длиннофокусной камеры, 7 – решетка длиннофокусной камеры, 8 – мениск, 9 – зеркало длиннофокусной камеры, 10 – кассетная часть длиннофокусной камеры, 11 – дифракционная решетка светосильных камер, 12 – коррекционная пластина камеры Шмидта, 13 – зеркало камеры Шмидта, 14 – корректирующая линза, 15 – зеркало канала калибровки, 16 – источник спектра фотометрической калибровки, 17 – место ввода новой порядкоразводящей призмы; I–IV – уровни пола этажей, Z – ось зенитного расстояния БТА. На 4-м этаже БТА впоследствии размещались новые спектрографы.

решеток были преодолены в 1950 г. путем использования составной (мозаичной) решетки в спектрографе фокуса кудэ на 5-м телескопе обсерватории Маунт Паломар (США).

Следующим достижением явилось изготовление решетки эшелле (от франц. *echelette* – лестенка, лестница), работа-

ющей в высоких порядках дифракции. Первый звездный спектрограф с эшелле построили в 1963 г. крымские астрофизики И.М. Копылов и Н.В. Стешенко. Преимущество одноканальных фотоэлектрических приемников в спектроскопии высокого разрешения проявилось в конструкции корреляционных

фотометров (начиная с 1966 г.), на которых впоследствии были измерены радиальные движения десятков тысяч звезд. В близком ИК-диапазоне одноканальные приемники применялись в фурье-спектрометре для исследования атмосфер планет. В итоге, к середине 1960-х гг. идейные и технологичес-



Эшелле-спектр симбиотической звезды V694 Единорога (MWC 560), полученный в середине 1990-х гг. при вводе в эксплуатацию ПЗС-матрицы форматом 1060 × 1040 пикселей. Вверху – эмиссионная линия водорода H_{α} , изображаемая в двух соседних порядках, внизу – эмиссионная линия H_{β} . Двойная система формирует высокоскоростной (тысячи километров в секунду) джет, проявляющийся в виде широких абсорбционных компонент, смещенных относительно водородных эмиссий в коротковолновую сторону. В разреженной оболочке формируются узкие эмиссии, принадлежащие ионам железа.

кие аспекты в развитии спектроскопии высокого разрешения определились на два десятилетия вперед.

ПЕРВОЕ ПОКОЛЕНИЕ
СПЕКТРАЛЬНОЙ
АППАРАТУРЫ БТА

Посмотрим, какие из перечисленных достижений использовались в при-

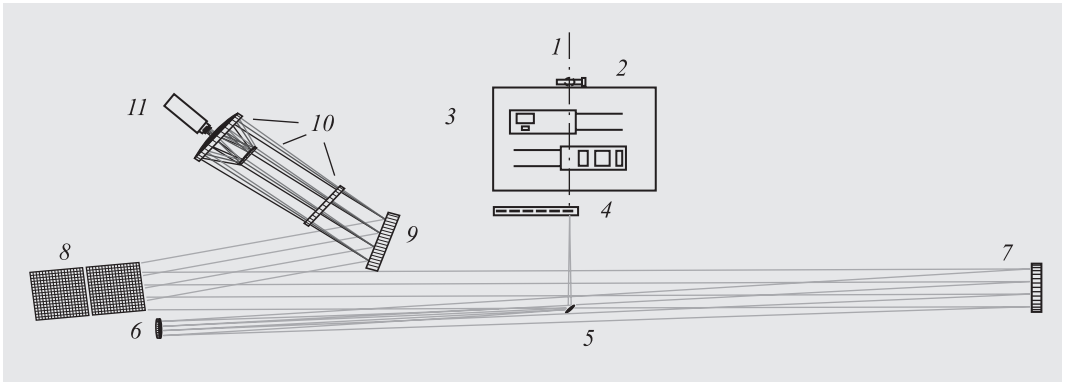
борах, разработанных для БТА. Альт-азимутальная монтировка телескопа исключала передачу света в неподвижное помещение, так как метод оптоволоконного сочетания телескопа и спектрографа появился только в конце 1970-х гг. В первоначальном перечне аппаратуры можно найти три фотографических спектрографа: основной звездный (ОЗСП), планетный (СП-124), бесщелевой с интерференционными реперами и спектрометр с интерферометром Фабри–Перо. Для этих приборов предполагалось иметь четыре варианта оптической системы в фокусах Нэсмита с относительными отверстиями 1:14,6, 1:30,7, 1:31,4 и 1:58,2. В главном фокусе (1:4) предполагалось устанавливать корреляционный фотометр для измерения лучевых скоростей звезд. Из перечисленного изготовили только ОЗСП и “СП-124”, дополненные эшелле-спектрографом среднего разрешения “СП-161”. Таким образом, из средств высокого разрешения на БТА оказались только две камеры ОЗСП (длиннофокусная камера 1:12 и камера Шмидта 1:2,3) с регистрацией в низких порядках дифракции.

Кроме формирования изображения спектра, функцией астрономического спектрографа является согласование масштаба изображения

звезды с элементом разрешения светоприемника. При масштабе изображения 1” в 1 мм (в фокусе Нэсмита БТА с относительным отверстием 1:30,7) желательным, чтобы ширина проекции щели в плоскости светоприемника составляла 3 пикселя ПЗС-матрицы, то есть около 0,04 мм. Наблюдая на ОЗСП с камерами 1:12 и 1:2,3, можем раскрыть щель спектрографа всего до 0,1” и 0,5”, что (при среднем качестве изображений на БТА в 1,6”) приводит к серьезным потерям света на входе спектрографа. Теоретические оценки спектрального разрешения составляют при этом $R = 98\,000$ и $R = 12\,000$ соответственно. На длиннофокусной камере, занимающей два этажа опоры телескопа, были обнаружены нестабильности изображения, снижающие разрешение в несколько раз. Таким образом, из всего набора спектральной аппаратуры промышленного исполнения для наблюдений с высоким разрешением оказалась пригодной только камера Шмидта (1:2,3), на которой (с $R = 12\,000$) в фотографическую эпоху были выполнены обширные обзоры звезд в скоплениях и ассоциациях.

НОВЫЕ ПРИЕМНИКИ
И НОВЫЕ СПЕКТРОГРАФЫ

Много лет работая на спектрографе, занимающем четыре этажа несущей



Оптическая схема Нэмитовского эшелле-спектрографа БТА: 1 – оптическая ось телескопа в фокусе Нэсмита, 2 – корректор положения изображения звезды на входной щели, 3 – узел предщелевых устройств, 4 – каретка со сменными входными щелями и резателями изображения, 5 и 6 – плоские ломающие зеркала коллиматора, 7 – вогнутое зеркало коллиматора – внеосевой параболоид, 8 – мозаичная эшелле-решетка, состоящая из двух частей, 9 – сменные решетки скрещенной дисперсии, 10 – зеркально-линзовый объектив камеры, 11 – приемник излучения с ПЗС-матрицей.

щей опоры оси “Z” БТА, автор пришел к выводу о необходимости горизонтального размещения элементов новых инструментов, в объеме с одинаковой температурой. Эта идея была реализована нами уже при работе с новыми приемниками – модулями двумерной телевизионной

системы счета фотонов и матрицами ПЗС. В начале реконструировали спектрограф скрещенной дисперсии “СП-161”, использовавшийся во второй половине 1980-х гг. для наблюдений звезд шаровых скоплений. Относительно короткий период использования счетчиков фотонов оказался для нас наиболее трудоемким и наименее эффективным. Дело в том, что с предельной скоростью счета 0,5 события на канал в секунду за час экспозиции можно получить отношение сигнала к шуму не более 30, что недостаточно для большинства задач. А при увеличении времени экспозиции начинает проявляться нестабильность в работе приемника, состоящего из электронно-оптического преобразователя и электронно-лучевой трубки. Нестабильности в работе приемника были снижены только при переходе на ПЗС-матрицы.

В 1991 г. мы начали наблюдения слабых объек-

тов на ОЗСП, реконструировав камеру Шмидта (1:2,3) для применения двумерного счетчика фотонов, а затем для ПЗС-матриц. Проницающая способность ОЗСП возросла на несколько звездных величин, что позволило, в частности, выполнить в 1994 г. программу исследования абсорбционных спектров ярких квазаров.

Развивая идею размещения новых приборов на уровне четвертого этажа опоры БТА, в 1990 г. мы построили два эшелле-спектрографа, что позволило регистрировать большой участок спектра на первых ПЗС-матрицах малого формата.

Следующим резервом увеличения высокого спектрального разрешения на большом телескопе является увеличение диаметра (d) пучка, падающего на дифракционную решетку. Если первые эшелле-спектрографы БТА имели $d = 100$ мм, то уже в 1998 г. начались наблюдения



Эшелле-спектр холодной звезды, полученный на спектрографе НЭС через ячейку, заполненную парами молекулы йода. Широкие и более темные абсорбции принадлежат спектру звезды, узкие линии – спектр, формирующийся в более холодной абсорбционной ячейке. Такой метод наблюдений используется при высокоточных измерениях лучевых скоростей, в задачах изучения пульсаций звездных атмосфер с малыми амплитудами и при поисках экзопланет. При наблюдениях использован резатель изображения, поэтому каждый спектральный порядок изображен трижды.

на нэсмитовском эшелле-спектрографе (НЭС, $d = 235\text{--}270\text{ мм}$). На этом приборе используются составная (мозаичная) эшелле размером $300 \times 600 \text{ мм}^2$ и кварцевая зеркально-линзовая камера, позволяющая работать во всем окне атмосферной прозрачности. Увеличение d в 2,5 раза, по сравнению с предыдущими спектрографами, позволяет либо

увеличить R на такую же величину, либо увеличить проникающую способность на одну звездную величину.

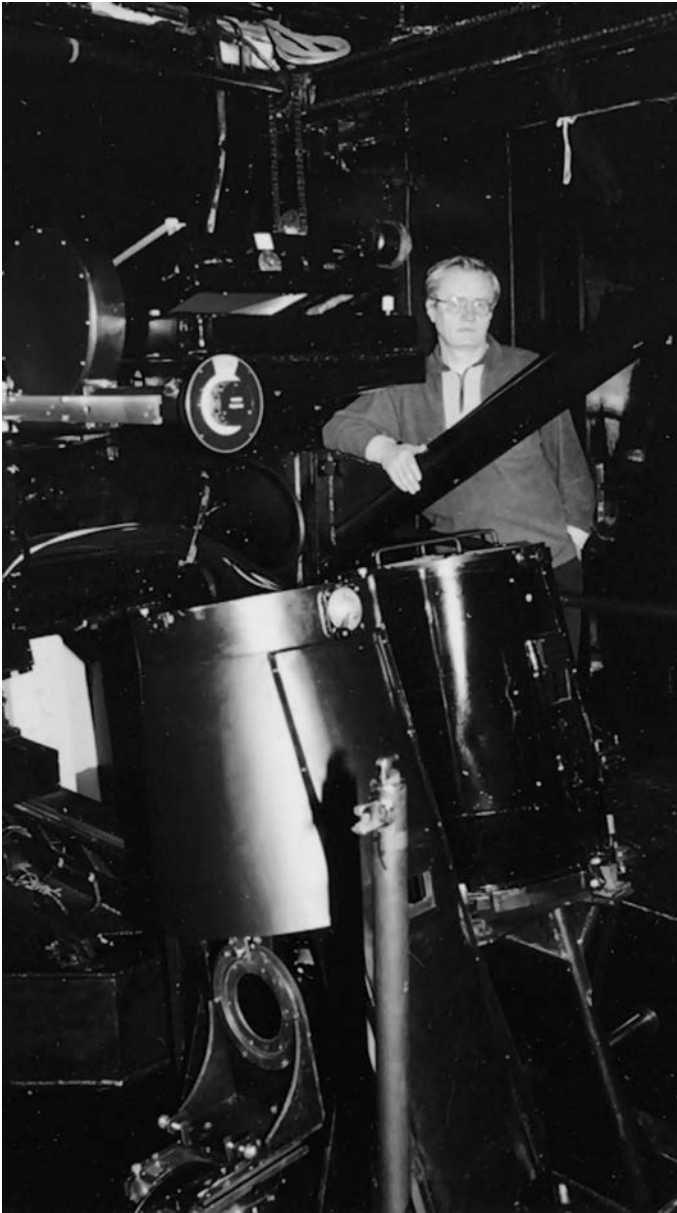
Следующим шагом стало переоснащение ОЗСП дифракционными решетками размером $320 \times 360 \text{ мм}^2$, перехватывающими весь пучок ($d = 258 \text{ мм}$). На этом авторская программа перевода спектроскопии высокого разрешения на предельные значения диаметра коллимированного пучка (d) завершилась. Подчеркнем, что при реализации программы использовались габаритная оптика и дифракционные решетки, созданные в конце 1980-х гг. на Ленинградском оптико-механическом объединении и в Государственном оптическом институте им. С.И. Вавилова. В последующую четверть века средств на оптические элементы аппаратуры высокого спектрального разрешения для БТА не предусматривалось; обсерватория уделяла внимание телескопам меньшего калибра.

“БОРЬБА ЗА СВЕТ”

Из параметров спектрографа, на который мы еще можем повлиять, остается s – ширина его щели. Ширину щели, согласованную с элементом разрешения светоприемника, уменьшать нельзя. Увеличивать s так, чтобы “поймать”

все изображение звезды – тоже нельзя: “проиграем” в спектральном разрешении. Остается способ “нарезки изображения” звезды на полоски, ширина которых согласована с разрешением ПЗС-матрицы, с последующей “упаковкой” этих полосок по высоте щели. На БТА применяются оригинальные “резатели” изображения, разработанные с учетом особенностей спектральной аппаратуры и астроклимата. При наблюдениях с “резателем” изображений каждый порядок эшелле-спектра звезды изображается кратно, по количеству таких долей (срезов), и на входе спектрографа используется практически весь свет, “собранный” телескопом.

Еще один шаг в повышении эффективности наблюдений с высоким разрешением состоял в снижении потерь, определяемых нестабильным поведением изображения звезды. В первые годы эксплуатации ОЗСП БТА обнаружилось расхождение между теорией и практикой – проникающая способность спектрографа оказалась на одну звездную величину ниже оценок. Причин тому несколько: мягкие условия технического задания на точность сопрохождения объекта (напомним, что БТА является первым в мире телескопом с управляющей ЭВМ); колебания центра



Спектрограф ОЗСП, размещенный на 3-м этаже БТА. На переднем плане – реконструированная камера 1:2,3; вверху – реконструированный узел крупногабаритных дифракционных решеток.

изображения звезды из-за атмосферных условий; частая работа системы управления БТА в переходных режимах (“сопровождение” – “коррекция”); последнее вызывало возбуждение собственных частот телескопа.

Проблему потери света из-за колебаний изображения на входе спектрографа мы решили путем разработки оптического корректора положения звезды; в результате астрономы получили выигрыш в одну звездную величину и

удобный режим наблюдений, а ресурс системы управления телескопом был существенно продлен.

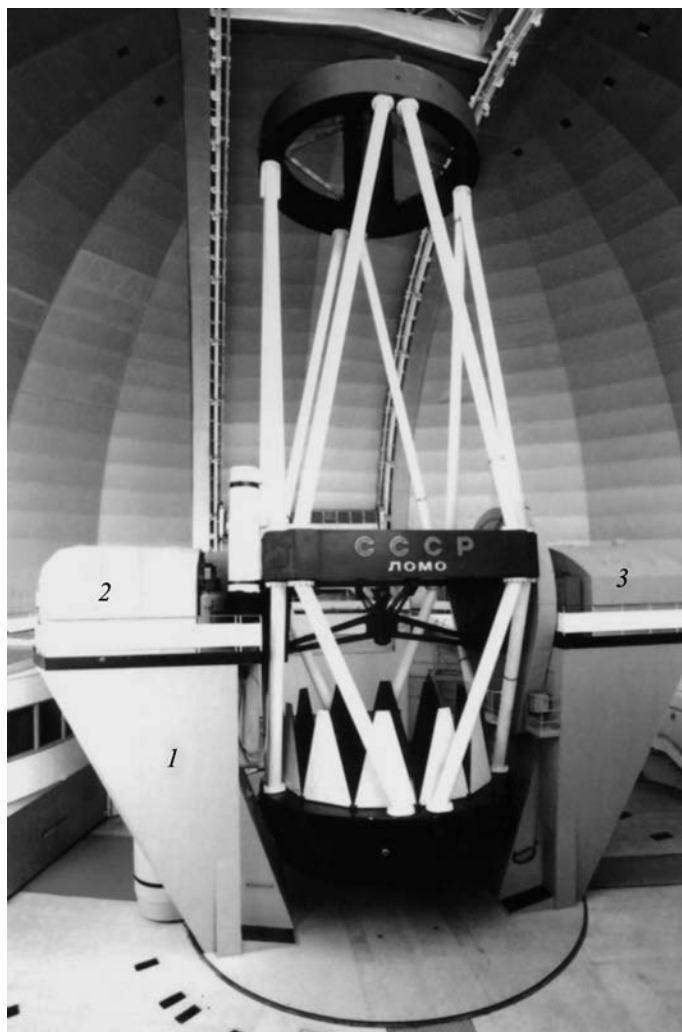
Заметим, что все работы с крупногабаритными спектрографами высокого разрешения, расположенными в фокусе Нэсмита, выполнялись на БТА без прекращения ежемесячных наблюдений по программам спектроскопии звезд. С этой целью, в частности, для первичного фокуса БТА нами был изготовлен еще один эшелле-спектрограф.

Итак, в самые тяжелые для нашей науки годы (надеемся, они завершаются) удалось продолжить развитие техники наблюдений с высоким спектральным разрешением на БТА. Только за счет новых оптико-механических приборов, устройств и численных методов нам удалось увеличить проникающую способность наблюдений на три и более звездные величины. Сопоставимый выигрыш получен и в результате применения ПЗС-матриц.

Телескоп БТА с указанием мест размещения стационарных спектрографов: 1 – Основной звездный спектрограф, 2 – два эшелле-спектрографа высокого разрешения, 3 – эшелле-спектрограф среднего разрешения. В кабине первичного фокуса (черный цилиндр вверху) может устанавливаться эшелле-спектрополяриметр высокого разрешения.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ НАБЛЮДЕНИЙ

Применение методов спектроскопии высокого разрешения в России будет расширяться хотя бы потому, что телескопы, установленные в свое время в районах с минимальной подсветкой неба, сегодня оказываются мало пригодными для наблюдений объектов низкой поверхностной яркости. Приборы высокого разрешения, используемые в лунные ночи, будут использоваться и в безлунные, так как фон ночного неба и далее будет возрастать. Что касается БТА, то здесь перспективы методов наблюдений в значительной мере определяются многопрограммным статусом телескопа. Любая, самая современная аппаратура будет использоваться только в какой-то части от полного наблюдательного времени на БТА. Спектрографы высокого разрешения традиционно относятся к категории самых дорогих приборов,



поэтому на нескольких телескопах спектрографы фокуса кудэ используются как с большим телескопом (диаметром зеркала 3,6–2,2 м) так и со вспомогательной оптикой (диаметром 0,6–1,4 м). В Европейской Южной Обсерватории (Чили) с переносом ряда наблюдательных программ на 8-м телескопы для спектроскопии высокого разрешения освободились телескопы диаметром 1,5 м,

2,2 м и 3,6 м. Основные результаты по высокоточным измерениям доплеровских смещений поступают именно с этих телескопов, превращенных из многопрограммных в специализированные. В мире уже функционируют телескопы-роботы, изначально разработанные под узкие спектроскопические программы.

В России пока нет специализированного телескопа, оснащенного

только спектрографом высокого разрешения, что и определяет уровень конкурентоспособности наших наблюдателей звезд. Здесь напомним, что в дополнение к 6-м БТА планировалось создать 2,6-м телескоп САО, используя опыт разработки 2,6-м телескопа Крымской астрофизической обсерватории, оставшиеся чертежи и технологическое оборудование. Этот проект, инициированный Д.Д. Максутовым, закрыт в конце 1960-х гг., но впоследствии был построен 2,6-м телескоп для Бюраканской астрофизической обсерватории. В нашей обсерватории потребность в большом вспомогательном телескопе сохраняется до сих пор. Действительно, все разработки и наблюдения (в том числе и более подходящие для телескопа среднего диаметра) выполнены на 6-м телескопе, что на многие годы определило высокий уровень трудозатрат на частые переходы от одного метода наблюдений к другому.

Отвлекаясь от научно-организационных проблем, перейдем к перспективам развития техники наблюдений. Около 30 лет развивается метод передачи света от телескопа к спектрографу по оптическому волокну. Этот метод прочно обосновался на телескопах диаметром 1–2,2 м и даже

используется на некоторых зеркалах диаметром 3,6 м. Упомянутые телескопы установлены преимущественно в местах с хорошим качеством изображений, так что задача согласования изображения звезды с параметрами оптического волокна решается относительно легко (в отличие от БТА). Однако на больших телескопах по-прежнему используются и спектрографы высокого разрешения без оптоволоконного сочетания (например, HIRES на 10-м телескопе Кекк и UVES на 8-м телескопе VLT). Итак, по характеристикам дифракционных решеток пределы достигнуты; качество звездных изображений определяется астроклиматом и наличием (или отсутствием) адаптивной оптики, эффективность ПЗС-матриц близка к предельной. Можно еще понизить потери света на многочисленных оптических поверхностях спектрографа и увеличить одновременно регистрируемый диапазон длин волн, если построить двойной спектрограф, состоящий из коротковолновой и длинноволновой частей, оптимизированных как по оптике, так и по приемникам. Однако пределы развития дифракционных спектрографов высокого разрешения уже ощущаются некоторыми специалистами. На БТА остался один резерв оптимизации –

уменьшение потерь на входе спектрографа с помощью методов адаптивной оптики.

В заключение напомним о классической работе П. Жакино (1954), где показано, что по проведению светосилы (L) на спектральное разрешение (R) призма на порядок уступает дифракционной решетке, а интерферометр Фабри–Перо на два порядка (в среднем) превосходит дифракционную решетку (при равных размерах основных оптических элементов). К материалу призмы предъявляются высокие требования однородности по объему, у решетки – высокие требования только к поверхности. Размеры дифракционных решеток быстро “обогнали” размеры призм, эпоха переменных спектрографов осталась в прошлом. Размеры пластин интерферометров пока в несколько раз уступают размерам решеток, так что теоретический выигрыш на два порядка перед решеткой – лучше свести к десятикратному. В любом случае переход на интерференционные спектрографы представляется перспективным. Этот вопрос заслуживает отдельной публикации.

Выражаю признательность своим соавторам по разработке спектральной аппаратуры и выполнению наблюдений на БТА.

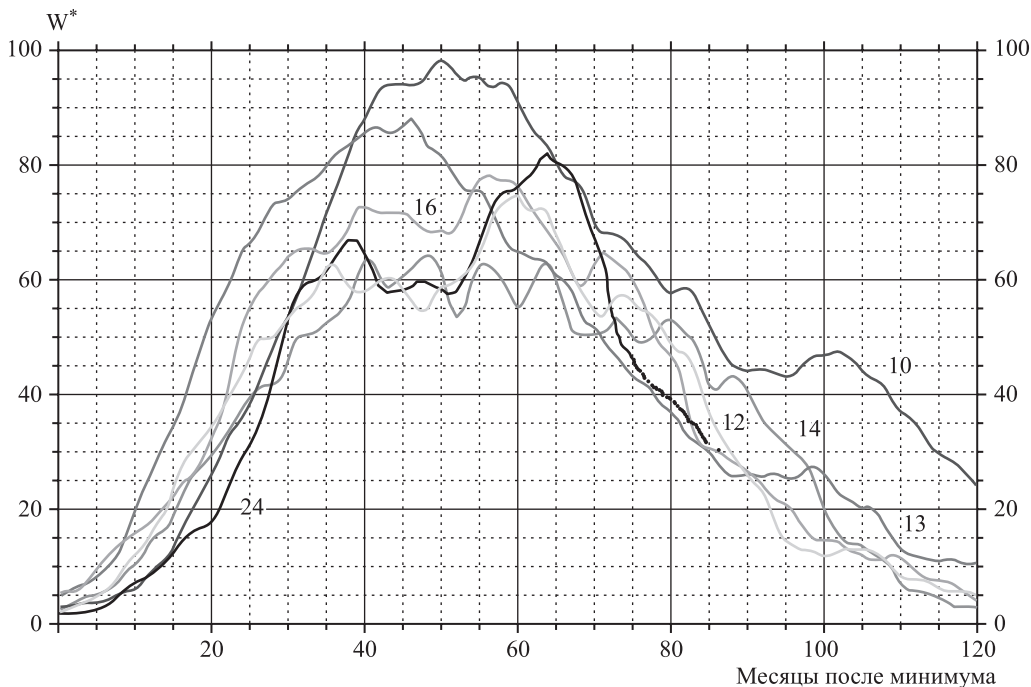
**Солнце
в августе–сентябре 2016 г.**

Солнечная пятнообразовательная активность в рассматриваемый период 2016 г. менялась от среднего до очень низкого уровней. Число групп пятен на видимом диске Солнца в эти месяцы менялось от 0 до 6. Все группы пятен были небольшими и спокойными, кроме одной большой и спокойной группы Северного полушария, которая вышла из-за восточного лимба Солнца 30 августа и, постепенно распадаясь, ушла за западный лимб 12 сентября. Из

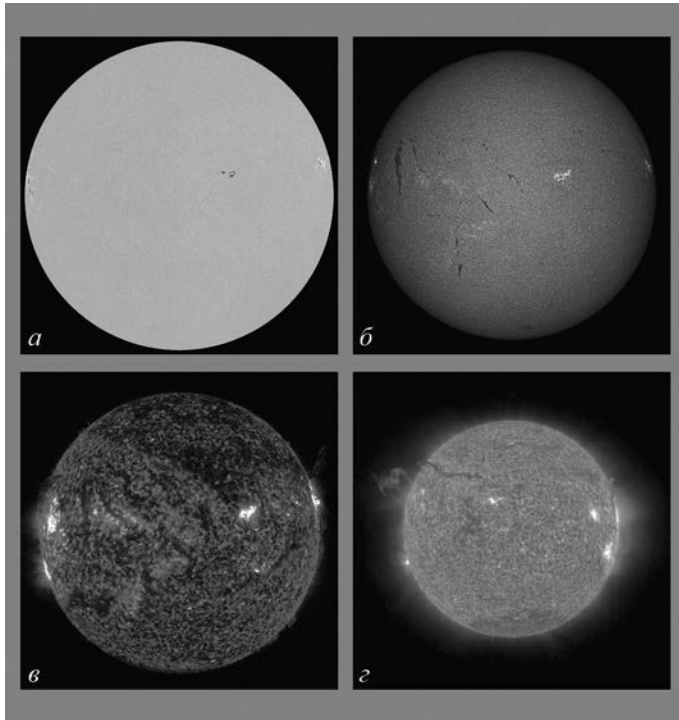
25 групп солнечных пятен 22 появились в Северном полушарии. Кривая роста сглаженных за год значений относительного числа пятен продолжает уверенно идти на спад. Текущие среднемесячные значения чисел Вольфа (мы, как и Служба состояния околоземного пространства – www.swpc.noaa.gov – будем придерживаться старой, классической системы) $W_{авг.} = 30,4$ и $W_{сент.} = 26,8$. Сглаженное значение этих индексов в феврале и марте 2016 г.

составило $W^* = 31,6$ и $W^* = 30,4$ соответственно.

В эти месяцы возникла тенденция длительного рекуррентного (повторяющегося через оборот Солнца) наступления периода (около 8 сут) геомагнитных возмущений, а на последних двух оборотах длительных (до 5 сут) магнитных бурь. Данный период связан с высокоскоростными потоками солнечного ветра от низкоширотной громадной корональной дыры на северном полюсе Солнца, а также с



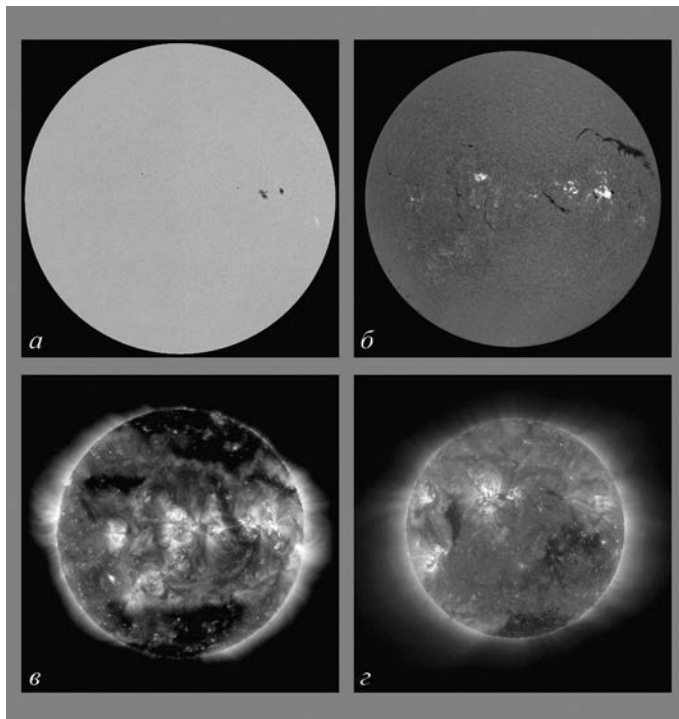
Ход развития (86 месяцев) текущего 24-го цикла солнечной активности среди всех достоверных (начиная с 1849 г.) солнечных циклов. W^* – сглаженные за 13 месяцев относительные числа солнечных пятен в старой, классической системе.



Солнце 8 августа 2016 г.: а – фотосфера в непрерывном спектре ($\lambda = 4500 \text{ \AA}$); б – в самой сильной линии водорода H_{α} ($\lambda = 6563 \text{ \AA}$); в – в линии крайнего ультрафиолета $He II$ ($\lambda = 304 \text{ \AA}$); г – обратная сторона Солнца в линии крайнего ультрафиолета $He II$ ($\lambda = 304 \text{ \AA}$). Космические солнечные обсерватории “SDO” и “STEREO-A” (<http://sdo.gsfc.nasa.gov/data/>).

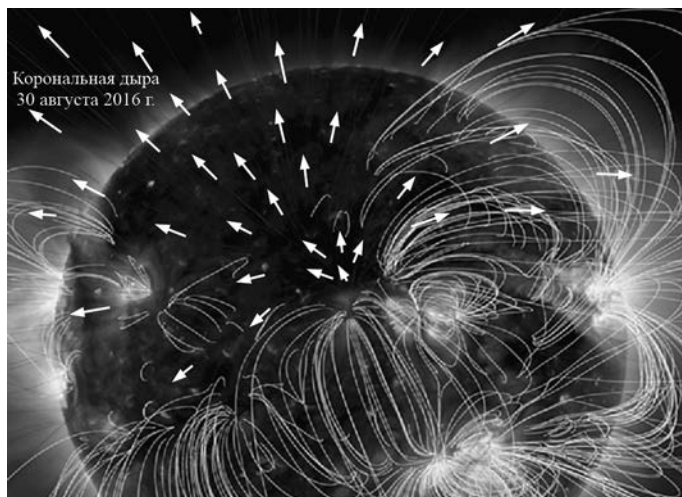
прохождении Земли по орбите вблизи точки осеннего равноденствия.

До **4 августа** пятнообразовательная активность оставалась на очень низком уровне, затем на среднем, уменьшившись 20–21 августа до низкого. Минимальное ежедневное значение относительных чисел солнечных пятен отмечено 3 августа ($W = 0$), максимальное – **8 августа ($W = 81$)**. Вспышечная активность находилась на среднем уровне 7 августа, когда в беспятенной активной области вблизи западного лимба произошла солнечная вспышка рентгеновского балла M1.3.



Солнце 9 сентября 2016 г.: а – фотосфера в непрерывном спектре ($\lambda = 4500 \text{ \AA}$); б – в самой сильной линии водорода H_{α} ($\lambda = 6563 \text{ \AA}$); в – в линии крайнего ультрафиолета $Fe XII$ ($\lambda = 193 \text{ \AA}$); г – обратная сторона Солнца в линии крайнего ультрафиолета $Fe XII$ ($\lambda = 193 \text{ \AA}$). Черные области на последних двух снимках – корональные дыры. Космические солнечные обсерватории “SDO” и “STEREO-A” (<http://spaceweather.com>).

Большая корональная дыра, существовавшая в северном полушарии Солнца в августе–сентябре 2016 г., с расчетными силовыми линиями магнитного поля в линиях крайнего ультрафиолета $\lambda = 94 \text{ \AA}$ (Fe XIV), $\lambda = 335 \text{ \AA}$ (Fe IX) и $\lambda = 193 \text{ \AA}$ (Fe XII). Изображение синтезировано из снимков космической солнечной обсерватории “SDO” (<http://www.solarmonitor.org/>).



Низкий уровень вспышечной активности рентгеновского балла С наблюдался 5, 8, 9, 15, 28 и 31 августа. Выбросы солнечных волокон (11 событий) наблюдались 3, 4, 5 (2), 9, 11, 15, 16, 19 и 29 (2) августа. Коронографы космической обсерватории “SOHO” зарегистрировали 34 корональных выброса вещества разной интенсивности. Пять рекуррентных корональных дыр проходили по видимому диску Солнца, и высокоскоростные потоки от них внесли определенный вклад в геомагнитные возмущения (особенно от рукавов приполярных дыр светила, спускавшихся до низких широт). На средних широтах Земли отмечены три магнитные бури: 2–3, 23–24 и 30 августа. Всего же в геомагнитном поле зарегистрировано 9 сут с возмущенной геомагнитной обстановкой. На геостационарных орбитах очень высокий поток ($> 10^7$ частиц на квадратный метр) релятивистских электронов с энергиями больше 2 МэВ

зарегистрирован 1, 4–16 и 25–29 августа.

До **13 сентября** уровень пятнообразовательной активности Солнца в основном оставался средним, 14–17 сентября – низким, 18 сентября – снова стал средним, затем – низким и в последний день месяца – очень низким. На видимом диске Солнца наблюдались небольшие группы солнечных пятен (от 4 до 1), причем 13 из них локализовались в Северном полушарии. Максимальное наблюдаемое число солнечных пятен отмечено **9 сентября (W = 79)**, минимальное – 30 сентября (W = 12). Вспышечная активность была на низком уровне лишь 22, 25 и 27 сентября. Выбросы солнечных волокон (17 событий) состоялись 3 (2), 4, 5, 6, 9, 13, 14 (2), 16 (2), 19 и 27 (5) сентября. Коронографы космической обсерватории “SOHO” зарегистрировали больше 49 корональных выбросов вещества разной интенсивности, среди которых один был типа “частичное гало II” (угол распространения

90°–180°). В сентябре наблюдались пять рекуррентных корональных дыр и одна вновь образовавшаяся. В геомагнитном поле отмечены две умеренные (1–2 и 19–20 сентября) и две малые магнитные бури (30 августа–5 сентября), 25–30 сентября, источниками которых стали в основном возмущения от выбросов солнечных волокон и высокоскоростные потоки от корональных дыр. Всего за месяц было отмечено 12 сут с возмущенной геомагнитной обстановкой. На геостационарных орбитах очень высокий поток релятивистских электронов с энергиями больше 2 МэВ наблюдался 2–15, 21–22 и 27–30 сентября.

Текущее состояние солнечной активности и ее прогноз на русском языке можно найти в интернете (<http://www.izmiran.ru/services/saf/>). Страница обновляется каждый понедельник.

В. Н. ИШКОВ,
ИЗМИРАН
ГЦ РАН

И.М. Копылов – первый директор Специальной астрофизической обсерватории



*Доктор физико-математических наук
И.М. Копылов. 1966 г.*

Иван Михеевич Копылов (1928–2000) – один из наиболее известных астрофизиков СССР и России, талантливый организатор науки, доктор физико-математических наук, профессор по специальности астрофизика, радиоастрономия. В 1960–1970 гг. он руководил созданием одной из крупнейших обсерваторий мира – Специальной

астрофизической обсерватории Академии наук СССР (ныне САО РАН), которую возглавлял на протяжении 20 лет (1966–1985). За это время в станции Зеленчукской (Карачаево-Черкесия) были введены в действие крупнейшие в мире астрономические инструменты – Большой Телескоп Азимутальный (БТА) с диаметром зеркала 6 м и радиотелескоп РАТАН-600 с антенной в виде кольца диаметром 600 м. Труды И.М. Копылова в области звездной астрофизики получили мировую известность.

Приближается 90-летие со дня рождения Ивана Михеевича, и к этой дате авторы хотят напомнить новому поколению астрономов основные моменты жизни известного ученого, некоторые итоги его деятельности, сделать акцент на его научных достижениях; еще раз обратиться к его творческой личности.

И.М. Копылов родился 15 октября 1928 г. в с. Ускат Сибирского края (ныне Кемеровская область) в крестьянской семье. После окончания в 1950 г. Ленинградского университета (ныне Санкт-Петербургский госуниверситет) он поступил на работу в Крымскую астрофизическую обсерваторию. В 1960-е гг. Крымская обсерватория стала уникальным местом для астрономов Советского Союза и других стран: здесь работали выдающиеся ученые – академики Г.А. Шайн и А.Б. Северный



Иван Копылов – студент Ленинградского университета. 1948 г.

(Земля и Вселенная, 1993, № 1; 1987, № 4). В этих условиях быстро развивался научный талант И.М. Копылова (за 16 лет работы в Крымской астрофизической обсерватории он прошел путь от лаборанта до старшего научного сотрудника, доктора наук). В этом коллективе И.М. Копылов сформировался как ученый, стал опытным наблюдателем на 50-дюймовом телескопе.

Иван Михеевич всегда был энергичным, целеустремленным и одаренным человеком, незаурядной личностью. Основным направлением его научных исследований в крымский период была разработка системы двумерной спектральной классификации для звезд в широком интервале эффективной температуры и светимости. Этой же тематике посвящена кандидатская диссертация “Критерии двумерной спектральной классификации”, которую молодой ученый защитил в 1959 г.;

полученные им результаты до сих пор используются астрофизиками. По цитируемости статей советских астрономов в иностранных изданиях в 1960-е гг. работы И.М. Копылова занимали первые строчки.

Совместно с доктором физико-математических наук А.А. Боярчуком он составил сводный каталог скоростей вращения звезд; в 1959 г. изучил распределение звезд по величинам скоростей, а также скоростей вращения для различных групп пекулярных звезд. Иван Михеевич выполнил ряд обширных спектральных, статистических и эволюционных исследований нестационарных звезд различных типов (цефеид, новых и повторных новых звезд, светимость которых внезапно возрастает в тысячи раз и через несколько суток возвращается в прежнее состояние). Он изучил пространственное распределение горячих звезд, новых и сверхновых звезд,



Сотрудник Крымской астрофизической обсерватории И.М. Копылов. 1952 г.



И.М. Копылов и его заместитель по научной работе С.В. Рублёв на строительстве башни БТА. 1968 г.

долгопериодических цефеид, планетарных туманностей; определил параметры галактик, в которые входят звезды данных типов. В период 1962–1967 гг. на основе анализа спектров горячих звезд ученым были определены химический состав их атмосфер и физические характеристики, дана эволюционная интерпретация диаграммы “спектр – светимость” для горячих звезд, развит и усовершенствован метод определения электронных плотностей в атмосферах горячих звезд. Полученные в течение многих лет результаты послужили основой для его докторской диссертации “Физические и эволюционные характеристики горячих звезд”, которую он успешно защитил в 1967 г.

Уникальные сведения о крымском периоде жизни Ивана Михеевича и начальной эпохе становления САО опубликованы в сборнике “И.М. Копылов: полвека в астрофизике” (2002).

По воспоминаниям астрономов, работавших с ним, он занимал чрезвычайно активную жизненную позицию, был признанным лидером молодых сотрудников, комсомольским организатором, а позже и парторгом обсерватории. Вот что написал в своих воспоминаниях об этой стороне деятельности И.М. Копылова его крымский коллега Э.А. Витриченко: “К коммунистам можно относиться по-всякому. Иван Михеевич был искренним коммунистом. Он верил в правильность строя. Несколько лет являлся секретарем партийной организации, но – удивительное дело – ни слова пропаганды. Ни в какой форме. Ежедневная черная работа по улучшению работы Обсерватории. И больше ничего. Я думаю, что именно так он понимал руководящую роль партии”.

Помимо воспоминаний коллег и учеников, читатель найдет в сборнике большой раздел “Краткая история



Главный конструктор телескопа БТА Б.К. Иоаннисиани и И.М. Копылов в станице Зеленчукской. 1970 г.

САО АН СССР, 1960–1984 гг.”, в котором повествуется о многих сторонах деятельности И.М. Копылова и других создателей нашей обсерватории. В нем представлены страницы рабочих тетрадей Ивана Михеевича: мы видим зарисовки этапов и проблем строительства обсерватории, разработки основных астрономических инструментов; можем познакомиться с этапами формирования научного коллектива. Опыт работы, полученный И.М. Копыловым в Крымской астрофизической обсерватории, послужил основой в его работе на посту руководителя Специальной астрофизической обсерватории, в формировании основных научных направлений ее работы.

После ввода в строй крупнейшего в мире 6-м телескопа под научным руководством И.М. Копылова на нем выполнялись несколько крупных наблюдательных программ в области физики

и эволюции звезд. В 1970-е гг. авторы статьи стали одними из первых аспирантов САО АН СССР. В молодом коллективе обсерватории даже кандидаты наук в то время встречались редко; доктором наук в те первые годы был только наш директор. Еще в напряженный период пуска БТА и в первые годы работы телескопа Иван Михеевич думал о направлениях научной деятельности коллектива, поэтому много времени уделял обучению аспирантов. Эта кропотливая и малозаметная со стороны часть его научной деятельности принесла плоды. Умелое научное руководство в сочетании с уникальным наблюдательным материалом, полученным на БТА, привело к тому, что уже в 1980-е гг. в САО образовалась плеяда кандидатов наук по специальности астрофизика; некоторые позднее защитили докторские диссертации

по наблюдательным данным, полученным на БТА.

Несмотря на многочисленные организационные обязанности, основным занятием нашего директора всегда были астрофизические исследования. В 1970–1980 гг. совместно с сотрудниками нашей обсерватории он выполнил цикл работ по детальной спектроскопии горячих сверхгигантов, звезд с большими магнитными полями, а также оптических компонентов рентгеновских источников. Научной работе посвящались и дни отдыха, включая периоды отпуска. Привычными для нас были долгие и обстоятельные беседы – обсуждение новых результатов и выводов, которые наш руководитель получил во время отдыха; или новых идей, которые возникали спонтанно в ходе таких плодотворных для всех

участников бесед. Получив мощный импульс, мы приступали к новому этапу работы – подготовке доклада или текстов статей.

Иван Михеевич довольно рано начал ставить фамилии своих молодых коллег на первое место в перечне соавторов в общих статьях (и никогда не соглашался добавлять его фамилию в соавторы, если его участие в данной работе ограничивалось лишь обсуждением результатов или постановкой наблюдательной задачи). Надо отметить, что участие в подготовке публикации И.М. Копылова как соавтора “поднимало” любую публикацию на самый высокий уровень, было своеобразным знаком качества каждой статьи. У многих его бывших соавторов и аспирантов, черновики статей и диссертаций которых он так скрупулезно вычитывал,



Транспортировка 6-м главного зеркала БТА по горной дороге на пути к башне Обсерватории. Август 1974 г.

оставалось после этого редактирования ощущение какой-то абсолютной “грамотности текста”. Столь же тщательно и профессионально на протяжении многих лет И.М. Копылов, являясь главным редактором, правил статьи каждого выпуска издававшегося Обсерваторией научного журнала “Астрофизические исследования”.

В течение многих лет астрофизический семинар, проводившийся в Обсерватории, оставался серьезным научным инструментом, стимулирующим становление молодых научных сотрудников. Научные эрудиция и интуиция директора служили своеобразным “знаком качества”. Обсуждались результаты по вопросам разработки новых наблюдательных методик и, конечно, первые результаты, полученные в результате наблюдательных программ на 6-м телескопе: по спектральному мониторингу знаменитого объекта SS 433, природа которого в 1980-е гг. была абсолютно неясна и загадочна; по горячему сверхгиганту в двойной системе Лебедь X1; представлялись первые результаты по изучению эволюции пекулярных и магнитных звезд; кульминационным моментом семинара было представление результатов по диссертационным темам. Мнение Ивана Михеевича по поводу представленных диссертаций молодых ученых всегда было очень доброжелательным по форме и принципиальным по сути.

Особенно плодотворными для нас, начинающих наблюдателей, были совместные с И.М. Копыловым наблюдения на БТА. Молодые специалисты по звездной тематике пользовались тогда единственным спектрографом высокого разрешения – основным звездным спектрографом (ОЗСП) – с регистрацией спектров на фотопластинки. Обучение шло параллельно и сопровождалось работой на инструментах, но на разных уровнях (учитывая богатый “крымский” опыт нашего директора). Его обширные знания в области звездной спектроскопии, предельная



Монтаж верхней части трубы БТА с кабиной первичного фокуса в башню Обсерватории. Осень 1974 г.

добросовестность в работе, дотошность сослужили нам хорошую службу в будущей самостоятельной работе.

На протяжении десятилетий работы в Обсерватории Иван Михеевич уделял внимание созданию новой астрономической техники, разработке методов астрономических наблюдений и обработке полученных данных. Помимо внедрения в постоянную эксплуатацию ОЗСП роль И.М. Копылова высока и в решении задачи повышения эффективности этого спектрографа. В 1980-е гг. в Обсерватории началось внедрение в наблюдения на БТА многоканальных фотоэлектрических методов с использованием телевизионной системы двумерного счета фотонов (комплекс “Квант”).

Последующие, 1990-е годы, стали переломным периодом в CAO РАН. Наступившая новая эпоха поставила новые задачи и выдвинула новые



Французский астроном академик Дж. Куртес и директор САО АН СССР И.М. Копылов. 1982 г.

требования к наблюдательным данным. Полученный опыт способствовал тому, что сотрудники обсерватории разработали для БТА спектральное оборудование нового поколения и современные светоприемники.

Мы продолжаем на новой аппаратуре выполнять некоторые из научных программ, поставленных И.М. Копыловым еще в 1970-е гг. Это – спектроскопия оптических компонентов рентгеновских источников, звезд предельно высокой светимости, исследование их возникновения и эволюции магнитных полей в составе группировок, позволяющих довольно точно определять возраст звезд. Мы изучаем вопросы звездного нуклеосинтеза и эволюции химического состава галактических популяций.

За полвека научной деятельности Иваном Михеевичем опубликовано свыше 170 научных работ (некоторые в соавторстве). Они посвящены опре-

делению спектральных классов и фотометрических звездных величин звезд в избранных площадках Млечного Пути; изучению галактических звездных скоплений и исследованию их кинематической неустойчивости; разработке спектральной классификации для звезд O5–F2 и проведению детального исследования и эволюционной интерпретации тонкой структуры диаграммы “спектр – абсолютная величина”.

Множество оригинальных результатов опубликованы И.М. Копыловым по проблемам эволюции звезд, спектральному и эволюционному исследованию нестационарных звезд различных типов, включая долгопериодические цефеиды и планетарные туманности; определению химического состава атмосфер горячих звезд и определению их физических характеристик (эффективных температур, масс, радиусов).

На основе высококачественной спектроскопии на БТА И.М. Копыловым с соавторами опубликована серия статей; они посвящены детальному исследованию химически пекулярных (магнитных) звезд в галактических группировках разного возраста, что привело к важнейшим результатам в решении вопросов возникновения и эволюции этих объектов. Столь же многочисленные наблюдения на БТА выполнены для изучения тесных двойных звезд с релятивистскими и вырожденными компонентами.

Наиболее популярным объектом в 1980-е гг. стал массивный сверхгигант в двойной системе Лебедь X-1, включающей массивный горячий сверхгигант и невидимый компонент. Целью группы И.М. Копылова было определить фундаментальные параметры обоих компонентов в этой системе. С помощью БТА получена коллекция спектрограмм, проведено отождествление спектральных линий, принадлежащих разным химическим элементам; получены массивы лучевых скоростей, измеренных по различным спектральным деталям. Эти сведения позволили оценить массу сверхгиганта – она составляет около $38 M_{\odot}$. Масса же невидимой звезды превосходит $6 M_{\odot}$, что свидетельствует о присутствии черной дыры в системе Лебедь X-1.

В 1988–2000 гг. Иван Михеевич занимался научным обоснованием проекта “АИСТ” (астрометрический инерциальный спутник-телескоп) в Пулковской обсерватории (Земля и Вселенная, 1990, № 1).

Заслуги И.М. Копылова высоко оценены: он – лауреат премии Совета Министров СССР (1982), его наградили орденом Трудового Красного Знамени (1977), медалями “За доблестный труд” (1970), “Ветеран труда” (1985)



Выступление И.М. Копылова на астрофизическом семинаре САО АН СССР. 1984 г.

и “За дружбу и сотрудничество с НРБ” (Болгария, 1981).

Именем И.М. Копылова названа малая планета (9932 Kopylov), открытая Н.С. Черных 23 августа 1985 г. в Крымской астрофизической обсерватории.

Основу коллектива САО РАН до сих пор составляют сотрудники, принятые на работу Иваном Михеевичем. В Обсерватории до настоящего времени сохраняются научные традиции, заложенные ее первым руководителем. Мы помним нашего первого директора и учителя.

*Ю.Ю. БАЛЕГА,
академик*

В.Г. КЛОЧКОВА,

*доктор физико-математических наук
САО РАН*

Памяти Романа Львовича Хотинка

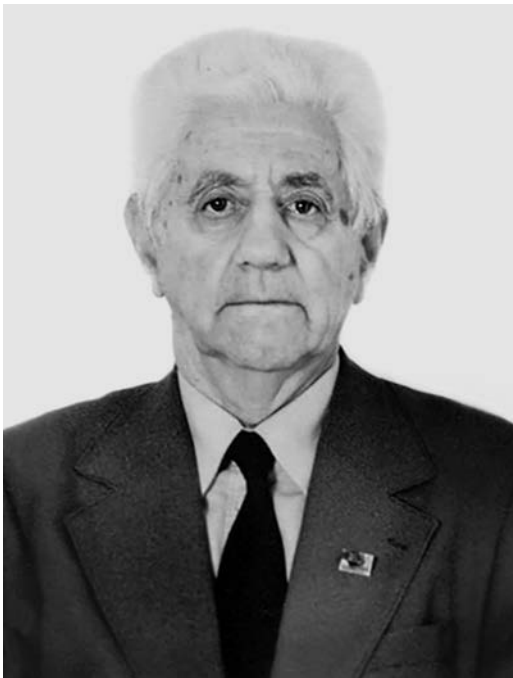
11 августа 2016 г. ушел из жизни Роман Львович Хотинок – известный специалист в области метеорной астрономии, сыгравший немалую роль и в метеоритике, особенно в распространении знаний среди населения и выявлении находок новых метеоритов.

Р.Л. Хотинок родился 2 апреля 1928 г. в Москве у Яузских ворот. Астрономией заинтересовался с детства, после посещения Московского планетария.

В 11 лет прочитал книги К.Э. Циолковского “Грезы о Земле и небе” и Я.И. Перельмана “Ракетой на Луну”. Возвратившись в 1943 г. из эвакуации (в Пермскую область, где продолжал пополнять свои астрономические познания в библиотеке, даже тайно от родителей пропуская ради этого школу...), он в 1945 г. стал членом Всесоюзного астрономо-геодезического общества (ВАГО), где занимался в основном наблюдениями метеоров.

В 1945–1968 гг. Роман Львович работал в летние каникулы демонстратором-экскурсоводом в планетарии и на других астрономических площадках в Москве. В 1949 г. была опубликована его первая научная статья “Дрейф метеорных следов над Тулой”. В последующие годы он написал около сотни статей по метеорной астрономии и метеоритике. В 1949 г., после метеорной экспедиции в пос. Фирюза под Ашхабадом Р.Л. Хотинок поступил на 2-й курс физмата Ашхабадского педагогического института, который окончил в 1952 г. (с 1951 г. – университет).

Годы получения им высшего образования и начала научной деятельности прошли в Туркмении. Это были трудные первые послевоенные годы: студентом будущий ученый подрабатывал в вечерней железнодорожной школе рабочей молодежи. По распределению полгода работал учителем физики в железнодорожной школе в г. Чарджоу, а с 1953 г. – три года учителем физики и астрономии



Р.Л. Хотинок. Начало 2000-х гг.

в железнодорожной школе в приграничном военном городке Кушка (на границе с Афганистаном) и одновременно – в вечерней школе при Доме офицеров. Он вел астрономический кружок, по ночам наблюдал метеоры. Прекрасное небо и сравнительно слабая инструментальная база окончательно определили область его научных интересов – главным образом, это была метеорная астрономия. В те годы в обсерватории под Ашхабадом работал известный исследователь метеоров И.С. Астапович (Земля и Вселенная, 1978, № 2; 1998, № 2), что, вероятно, также помогло Р.Л. Хотинку в выборе специализации. Именно И.С. Астапович, а также выдающийся астроном и геофизик В.В. Федынский (Земля и Вселенная, 1978, № 6; 2008, № 2), позднее еще и известный исследователь метеоритов Е.Л. Кринов (Земля и Вселенная, 1984, № 5) стали научными наставниками Р.Л. Хотинка.

Летом 1955 г. Роман Львович вернулся в Москву и поступил на работу в вечернюю школу Управления милиции г. Москвы, где также преподавал физику и астрономию. Учениками его были руководящие московские милиционеры – начальники отделений милиции и МУРа, служб охраны библиотеки им. В.И. Ленина, ВДНХ и метрополитена – в основном капитаны, майоры и полковники, для которых молодой знающий учитель стал высочайшим авторитетом.

Весной 1957 г. он поступил на работу в Астрономический совет АН СССР (ныне Институт астрономии РАН, ИНАСАН), где занялся подготовкой к наблюдениям искусственных спутников Земли. Уже летом 1957 г. в командировке от Астросовета он проводил практические занятия в Фирюзе для будущих начальников станций по наблюдениям ИСЗ (около 150 человек). Возвратившись в Москву в мае 1958 г., он организовал станцию для наблюдений третьего ИСЗ на крыше старого ГАИШ МГУ на Красной Пресне. За

удачно сфотографированное во время этих наблюдений полярное сияние получил благодарность от директора ИЗМИРАНа Н.В. Пушкова (Земля и Вселенная, 2004, № 1).

Летом 1959 г. станция наблюдений ИСЗ Астросовета была переведена на территорию Института физики атмосферы АН СССР в деревню Ново-Шихово Звенигородского района Московской области, и Роман Львович был назначен ее первым начальником. Всего он провел около 2 тыс. наблюдений ИСЗ и предложил элементарный метод определения их координат – по одной звезде (вместо двух). В 1960 г. уволился из Астросовета и два учебных года преподавал физику в вечерней школе, а в 1962 г. перешел на работу в только что открытый Дворец пионеров на Ленинских (ныне Воробьевых) Горах. Здесь Роман Львович стал первым сотрудником отдела астрономии – заведовал астрономическим кабинетом и обсерваторией, вел занятия в кружках, выезжал в экспедиции по наблюдениям серебристых облаков и метеоров. Результаты наблюдений метеорных потоков публиковались в научных журналах (“Бюллетене ВАГО” и в сменившем его “Астрономическом вестнике”). В 1964–1967 гг. он заведовал также астрономическим кабинетом в Московском планетарии, продолжая наблюдения метеоров. Долгое время Р.Л. Хотинка был руководителем Метеорного отдела Московского отделения ВАГО, занимался организацией работы метеорных экспедиций, участниками которых становились в основном молодые начинающие любители астрономии, готовил к публикации результаты обработки их наблюдений (Земля и Вселенная, 1991, № 4). В 1967–1972 гг. Роман Львович работал методистом отдела астрономии в павильоне “Космос” на ВДНХ. Продолжая и в дальнейшем руководить метеорными наблюдениями любителей, он оказывал им помощь в доведении “до числа” результатов обработки



Р.Л. Хотинок осматривает фрагменты метеоритного дождя "Царёв". 1979 г.

их наблюдений. При этом Роман Львович четко понимал, что на первый взгляд примитивные визуальные наблюдения (счет метеоров) могут дать при правильной постановке дела вполне объективные данные о численности метеорных частиц в окрестностях земной орбиты (что становилось особенно важным для разработки методов обеспечения безопасности полетов космических аппаратов). Именно Р.Л. Хотинок предложил наблюдения болидов из космоса как наиболее эффективных.

В 1972 г. Роман Львович перешел на работу в Комитет по метеоритам АН СССР (КМЕТ) и занялся в основном научно-организационной работой по поиску новых метеоритов для коллекции

АН СССР. Еще работая на ВДНХ, участвовал в двух экспедициях КМЕТ (в 1970–1971 гг.) по изучению грандиозного и знаменитого Сихотэ-Алинского железного метеоритного дождя (общей массой около 100 т), который выпал 12 февраля 1947 г. в Приморском крае в Уссурийской тайге (Земля и Вселенная, 1968, № 5; 1976, № 5). В 1973–1975 гг. Роман Львович принимал участие еще в трех метеоритных экспедициях.

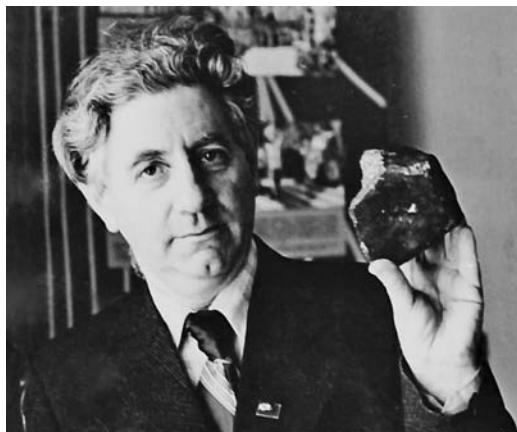
В КМЕТ приходило много писем о наблюдениях болидов и находках метеоритов, а также бандероли с образцами для диагностики. Роман Львович вел обширную переписку с населением по поводу таких "подозрительных" камней и кусков железа, которые могли бы оказаться метеоритами. Все они проверялись, Р.Л. Хотинок лично написал около 5 тыс. ответов. Знавших его людей привлекала не столько значимость получаемых им результатов, сколько полное и безусловное погружение в изучаемую область, широкие и действенные контакты со специалистами и многочисленными любителями. В КМЕТ среди множества получаемых сообщений о новых находках (часто смешных и безграмотных) он умел выделить такие, которые (если говорить о содержащихся в них сведениях) могли привести к открытию нового метеорита. К своим "народным" корреспондентам он относился строго, но уважительно и благожелательно, и это приносило успех – рост национальной метеоритной коллекции.

Особенно памятным стало деятельное участие Р.Л. Хотинка в сборе у населения и доставке в Москву многочисленных фрагментов обнаруженного в 1979 г. самого большого в СССР каменного метеоритного дождя "Царёв" (Земля и Вселенная, 1980, № 3, с. 35). Всего было найдено 80 его осколков массой от 294 кг до 50 г. (общей массой в 1,6 т!). Как выяснилось из архива болидов в КМЕТ, метеоритный дождь выпал в Волгоградской области

6 декабря 1922 г., но попытка тогда же найти его фрагменты не удалась даже Л.А. Кулику. Они были обнаружены лишь спустя 57 лет на полях совхоза газосварщиком Б.Г. Никифоровым – любителем астрономии, который обратил внимание на тяжелые камни, использовавшиеся односельчанами для утяжеления... борон на полях, и прислал в КМЕТ АН СССР образец. На поверхностях его распла в черной каменной массе-матрице сразу заблестели мелкие включения никелистого метеоритного железа – первый признак неземной природы находки. В Метеоритном комитете Роман Львович вел большую работу и по сбору сведений от населения о наблюдавшихся болидах. Р.Л. Хотиник совместно с И.Т. Зоткиным обработали хранящийся в КМЕТе архив (около 2500 сообщений) о полетах болидов в атмосфере с начала XX в. и оценили массу “притока” метеорной материи на Землю – около 100 т в сутки.

Роман Львович был весьма незаурядным человеком. Участвуя в экспедициях в район падения Сихотэ-Алинского метеоритного дождя (в одной из которых приняла участие и его жена), он удивлял нас, его коллег, своим умением влиться в жизнь таежного лагеря... Возвращаясь с ним из дальних участков в лагерь (порой в полной темноте), мы уверенно находили, благодаря его интуиции, дорогу среди таежных зарослей...

После драматической ликвидации в конце 1970-х гг. КМЕТ как самостоятельного научного учреждения и включения его в одну из лабораторий ГЕОХИ АН СССР Р.Л. Хотиник продолжил интенсивную работу и там. Последним ярким событием в нашей метеоритике, в исследовании которого принял участие Роман Львович, было падение железного метеорита “Стерлитамак” в Башкирии 17 мая 1990 г. Он упал на хлебное поле, образовав кратер диаметром 10 м и глубиной 5 м. В этом кратере Романом Львовичем,



Р.Л. Хотиник с образцом метеорита. 1982 г.

приехавшим на место падения уже на следующий день с сотрудником ГЕОХИ, сразу было найдено два фрагмента метеорита весом 3 и 6 кг, а с помощью миноискателя – еще около 1,5 кг осколков вокруг. Через год школьники обнаружили там же фрагмент весом 315 кг. Общую массу метеорита оценили примерно в 1 тонну.

В итоге научно-организационной работы Роман Львович выявил 25 новых метеоритов (рекорд СССР!), пополнивших метеоритную коллекцию КМЕТ. Общий стаж его деятельности в метеоритике составил около 40 лет.

Уйдя на пенсию в январе 2001 г. Роман Львович, особенно в последние годы жизни, неожиданно проявил себя в совсем иной области: он углубился в философские обобщения, в размышления о природе человеческого познания, в проблему взаимосвязи процессов в физическом, социальном и интеллектуальном мирах. Его многочисленные (более сотни) оригинальные высказывания и афоризмы в этой области были собраны его друзьями и выложены в интернете председателем Российского общества любителей метеоритики А.К. Станюковичем. Трудно сейчас оценить эту сторону его личности. Скажем, его выражение “энтропия

общества” (то есть общество существует, но создать ничего не может), вероятно, стоило бы применять в области общественных наук. Более того, с большим вниманием и интересом относились к философским размышлениям Романа Львовича такие известные деятели науки, как академик Н.С. Кардашёв, космолог профессор А.Д. Чернин, который на кончину Р.Л. Хотинка откликнулся словами: “Роман Львович – энтузиаст науки, человек мудрый, остроумный и жизнерадостный. Таким мы его и будем помнить”.

На прощании с Романом Львовичем 15 августа его многолетние коллеги говорили о нем теплые слова и вместе с его научными заслугами особенно отмечали его удивительно спокойный, бесконфликтный характер, умение общаться с людьми и мудро “гасить” самые острые разногласия.

Р.Л. Хотинок был прекрасным семьянином, прожив со своей женой Серафимой Аркадьевной 54 года и воспитав в дружной семье дочку и внучку. До последних лет, пока позволяло здоровье, он не прерывал связей со своими коллегами и часто звонил нам, делаясь своими соображениями, в том

числе новыми – в философии. Роман Львович написал и поместил в интернете свою научную автобиографию, ценные сведения из которой и помогли составить этот некролог (с автобиографией и другими материалами о нем можно ознакомиться в интернете по адресу: <http://www.meteoritics.ru/forum/viewtopic.php?t=462>).

Именем Романа Львовича Хотинка названа малая планета – астероид (№ 4428 “Хотинок”), открытая Н.С. Черных 18 сентября 1977 г. в КрАО.

Смерть Р.Л. Хотинка произошла перед самым максимумом особенно активного метеорного потока “Персеиды”. Этот космический – прощальный на этот раз – салют был для нас как бы посвящением нашему другу, безупречному рыцарю, Дон Кихоту метеорной астрономии и метеоритики, философу Жизни и Космоса Роману Львовичу Хотинку.

В.И. ЦВЕТКОВ,

кандидат физико-математических наук

МГТУ им. Н.Э. Баумана

А.И. ЕРЕМЕЕВА,

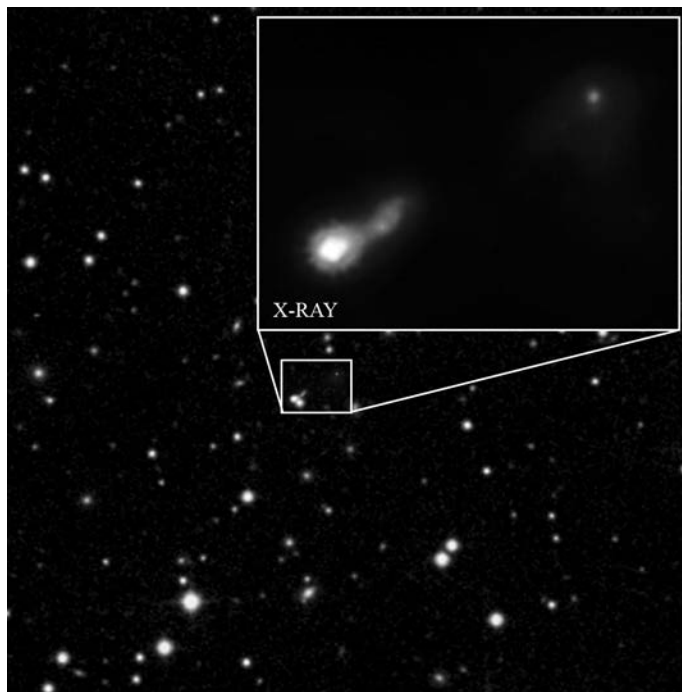
кандидат физико-математических наук

ГАИШ МГУ

“Пылающий” гамма-источник

Блазары – очень компактные квазары, связанные со сверхмассивной черной дырой, расположенной в центре активной гигантской эллиптической галактики. Падающая на черную дыру материя извергается в форме мощного, узкого потока заряженных частиц. Они формируют гамма-фотоны, причем каждый характеризуется энергией, в сотни миллионов раз превышающей энергию самого высокоэнергетического рентгеновского фотона.

В 1996 г. космическая рентгеновская обсерватория “НЕАО-2” (“Эйнштейн”) открыла блазар 1ES1741 + 196 мощностью 180 кэВ ($z = 0,084$) в созвездии Геркулеса, который относится к лацертидам. Дополнительные наблюдения позволили выяснить, что он представляет собой тройную систему, включающую эллиптическую галактику с двумя галактиками “компаньонами”. Гравитационное взаимодействие между этими



Блазар 1ES1741 + 196 в центре активной гигантской эллиптической галактики, испускающий джеты заряженных частиц. Рисунок.

объектами может оказывать влияние на излучаемые этой системой гамма-лучи.

Профессор А. Абейсекара (Гарвард-Смитсоновский астрофизический центр, США) исследовал с помощью космической обсерватории “Чандра” источники гамма-излучения по программе VERITAS (Very Energetic Radiation Imaging Telescope Array System – томография объектов высоких энергий системой телескопов); на основе полученных

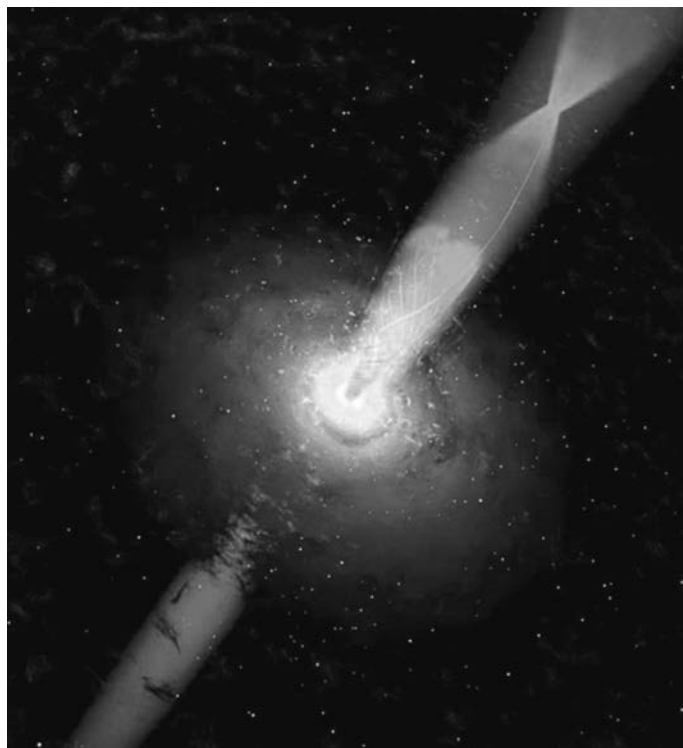
данных он построил модель тусклого гамма-блазара 1ES1741 + 196. Согласно этой модели, к формированию гамма-лучей блазара приводят два процесса: прямое излучение гамма-фотонов и рассеяние электронов на других фотонах, имеющих изначально более низкие энергии.

*Пресс-релиз
Гарвард-Смитсоновского
астрофизического центра,
7 июня 2016 г.*

Джет далекой черной дыры

Астрономы с помощью космической рентгеновской обсерватории “Чандра” обнаружили джет длиной 300 тыс. св. лет, который испускается сверхмассивной черной дырой в квазаре V3 0727 + 409 (созвездие Рыси, 1,23 млн св. лет от нас) благодаря его “подсвечиванию” реликтовым излучением Вселенной. Электроны реактивного джета распространяются на сотни тысяч световых лет через потоки радиации высоких энергий со скоростью, близкой к скорости света. Сталкиваясь с микроволновыми фотонами, их энергия увеличивается и превращается в рентгеновское излучение.

Это открытие подтверждает гипотезу о широком распространении в ранней Вселенной черных дыр с мощными джетами. Свет, идущий от этого джета, был излучен всего лишь через 2,7 млрд лет после Большого взрыва. В это время мощность космического микроволнового реликтового излучения была намного выше, чем сегодня. В близ-



Квазар V3 0727 + 409 в созвездии Рыси, находящийся на расстоянии 1,23 млн св. лет от нас. Во врезке – детали рентгеновской эмиссии джета длиной 300 тыс. св. лет, испускаемого сверхмассивной черной дырой. Рентгеновское изображение получено 15 декабря 2015 г. космической обсерваторией “Чандра” (экспозиция – 5 ч 33 мин). Фото NASA.

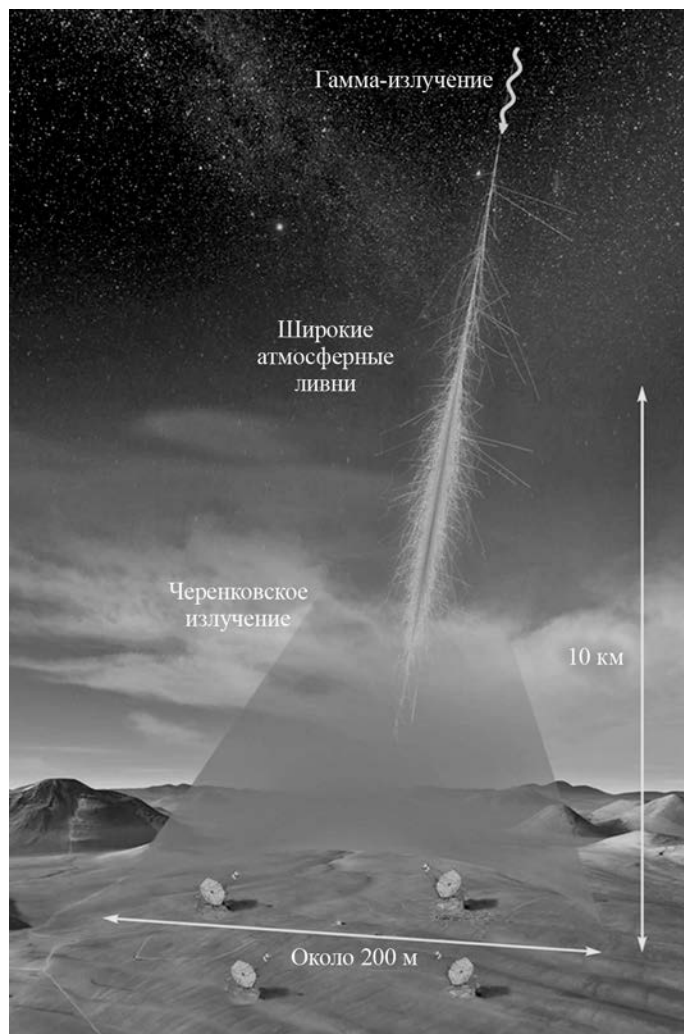
лежащих областях Вселенной неоднократно обнаруживались длинные джеты, идущие от сверхмассивных черных дыр, однако механизм испускания джетами рентгеновских лучей был неизвестен. В случае квазара V3 0727 + 409 этот процесс состоит в ускорении фотонов реликтового

излучения до энергий, соответствующих рентгеновскому излучению. Яркость этого джета в рентгеновском диапазоне примерно в 150 раз выше, чем она была бы, если бы он находился в более близких областях Вселенной.

*Пресс-релиз NASA,
16 февраля 2016 г.*

Уникальный гамма-телескоп

Изучение космического гамма-излучения является одной из важнейших задач науки. Оно позволяет получить информацию, необходимую для проверки фундаментальных законов физики в наиболее экстремальных условиях во Вселенной – в таких, как взрывы звезд на поздних стадиях эволюции; в процессах, создаваемых нейтронными звездами и черными дырами. Для того, чтобы их решить, в Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе совместно с Академией наук Армении, с Министерством науки, технологий и инноваций Аргентины и Гейдельбергским университетом (Германия), Дублинским институтом перспективных исследований (Ирландия) и Университетом штата Пенсильвания (США) разрабатывается проект уникальной высокогорной гамма-обсерватории “ALEGRO” (Atmospheric Low Energy Gamma-Ray Observatory – обсерватория атмосферного слабоэнергетического гамма-излучения) в диапазоне энергий от 5 до 30 ГэВ. Она предназначена для наблюдения космических гамма-источников с большей в несколько раз



чувствительностью, чем на Космической обсерватории им. Ферми (Земля и Вселенная, 2015, № 3). Это позволит исследовать быстропеременные процессы в источниках с экстремальным выделением энергии, искать частицы – продукты распада темной материи. Космическое гамма-излучение несет в себе информацию о наиболее ярких и высокоэнергичных событиях, происходящих в нашей Галактике и далеко

за ее пределами. К таким явлениям относятся взрывы звезд на поздних стадиях эволюции (сверхновые и гиперновые); потоки ультрарелятивистских частиц и ударные волны, создаваемые нейтронными звездами и черными дырами, обращающимися вокруг своей оси сотни раз в секунду; мощные высокоскоростные истечения (джеты) активных ядер галактик, формирующиеся в окрестности сверхмассивных черных дыр.

Для достижения рекордной чувствительности телескопа “ALEGRO” и снижения его пороговой энергии детектирования (до 5 ГэВ) разрабатываются новые кремниевые фотонные счетчики с высокой квантовой эффективностью. Планируется монтировать четыре чаши телескопа диаметром около 30 м в вершинах ромба со сторонами 50–100 м. Площадь поверхности, собирающей свет зеркала, составит примерно 800 м², а общая площадь – более 3000 м². Телескоп планируется установить на высоте 4–5 км над уровнем моря.

Инновационные технологии сверхчувствительного детектирования на высокогорных гамма-телескопах позволят впервые получить спектры и кривые блеска излучения гамма-всплесков и гамма-излучения от релятивистских истечений (джетов) сверхмассивных черных дыр, блазаров, остатков сверхновых звезд и других экзотических астрофизических объектов с экстремальным энерговыделением. Рекордная чувствительность телескопа в диапазоне энергий от 10 до 1000 ГэВ позволит искать частицы – продукты

распада темной материи, исследовать природу одной из наиболее фундаментальных проблем современной космологии и физики элементарных частиц.

Оценочная стоимость проекта “ALEGRO” – на порядок меньше стоимости современных космических гамма-телескопов со сходными характеристиками.

*А.М. БЫКОВ,
доктор физико-математических наук
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе,
11 апреля 2014 г.*

Информация

Тестирование телескопа им. Уэбба

За полтора месяца (с 25 ноября 2015 г. по 4 февраля 2016 г.) на готовящуюся к запуску американскую космическую обсерваторию им. Джеймса Уэбба (“James Webb Space Telescope”, “JWST”) успешно установлены 18 сегментов зеркал рефлектора. Каждое из шестиугольных сегментов диаметром 1,3 м и весом около 40 кг тщательно устанавливалось на свое место с помощью манипулятора. Теперь полностью собрано 6,5-м главное

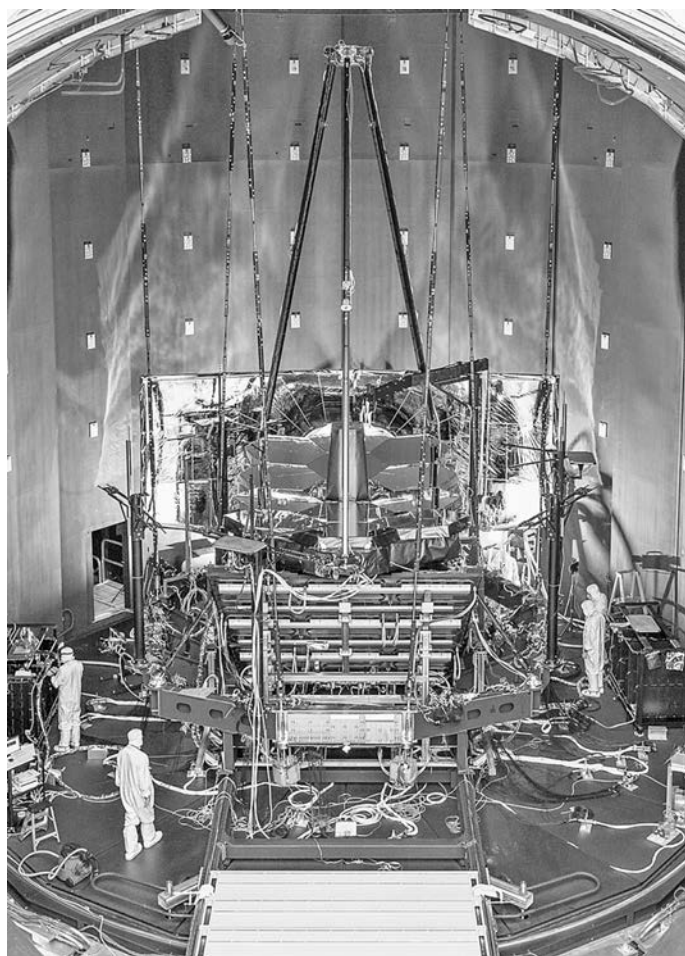
зеркало телескопа из бериллия, покрытого золотой пленкой массой 720 кг и площадью собирающей поверхности 25 м². Кроме отражающего покрытия, в чаше рефлектора установлены моторы и распорки, корректирующие кривизну его поверхности. Для точной фокусировки главного зеркала крепеж нельзя смещать более чем на 38 нм. После установки другой оптики и элементов начнутся тщательные тесты для проверки работы телескопа. “JWST” будет работать в инфракрасной области спектра, а не в видимом и ультрафиолетовом диапазонах, как Космический телескоп им. Хаббла. В октябре 2018 г. Космическую обсерваторию им. Джеймса Уэбба планируется запустить на

околоземную орбиту и разместить в точке Лагранжа L2 системы Солнце–Земля, в 1,5 млн км от нашей планеты.

Помимо “JWST” NASA предполагает создать космическую обсерваторию нового поколения “WFIRST” “Широкоугольный инфракрасный обзорный исследователь” (“The Wide Field Infrared Survey Telescope”). Но и она будет работать в основном в инфракрасном диапазоне. Какая оптическая обсерватория восполнит пробел, который возникнет через несколько лет после окончания работы KTX? В связи с этим Ассоциация университетов для исследований в астрономии (AURA) собрала ученых и технологов для оценочного проектирования будущей “Кос-

мической обсерватории высокой четкости” (“High-Definition Space Telescope”, “HDST”), названной “супер Хабблом”. Новый аппарат в будущем должен помочь сделать следующие шаги в нашем понимании происхождения и эволюции Вселенной. Диаметр главного зеркала оптического телескопа должен увеличиться до 10–12 м, что в 5 раз больше, чем у революционного в свое время КТХ (2,4 м); таких размеров можно достичь, соединив 54 сегмента зеркала. “HDST” должен быть в 100 раз более чувствительным, чем его предшественник; он будет функционировать даже при комнатной температуре, что потребует установки дорогостоящих систем охлаждения. С его помощью предстоит исследовать экзопланеты и решить многие фундаментальные проблемы астрофизики. Для того, чтобы воплотить в жизнь столь амбициозный план, NASA придется сотрудничать с другими космическими агентствами.

*Пресс-релиз NASA,
29 сентября 2016 г.*



Сборка зеркала космической обсерватории им. Джеймса Уэбба, предназначенного для термических испытаний в тепловой вакуумной камере в Космическом центре им. Л. Джонсона. Эта версия телескопа получила название “Pathfinder” (“Следопыт”). Снимок сделан 1 сентября 2016 г. Фото NASA.

Труд К. Э. Циолковского “Исследование мировых пространств реактивными приборами”

(К 90-ЛЕТИЮ ОПУБЛИКОВАНИЯ)

Т.Н. ЖЕЛНИНА

Музей космонавтики им. Германа Оберга, Фойт (Германия)

В богатейшем научном наследии К.Э. Циолковского по теоретической космонавтике выделяются произведения, написанные в 1896–1923 гг. Именно работы этого периода принесли российскому ученому заслуженную мировую славу основоположника космонавтики и обессмертили его имя. Две части труда “Исследование мировых пространств реактивными приборами”, опубликованные с перерывом в восемь лет (в мае 1903 г. и с октября 1911 г. по апрель 1912 г.) в петербургских журналах “Научное обозрение” и «Вестник воздухоплавания», стали первыми в мире научными работами, в которых были изложены основы теории ракетно-космического полета. До выхода в свет в декабре 1919 г. работы Р. Годдарда “Метод достижения предельных высот” труды Циолковского оставались единственными в мире публикациями, в которых доказывалась возможность преодоления силы земного тяготения с помощью ракеты с химическим топливом. (Напомним, что Р. Эсно – Пельтри в опубликованной в 1913 г. статье “Соображения о результатах безграничного уменьшения веса моторов” настаивал, что

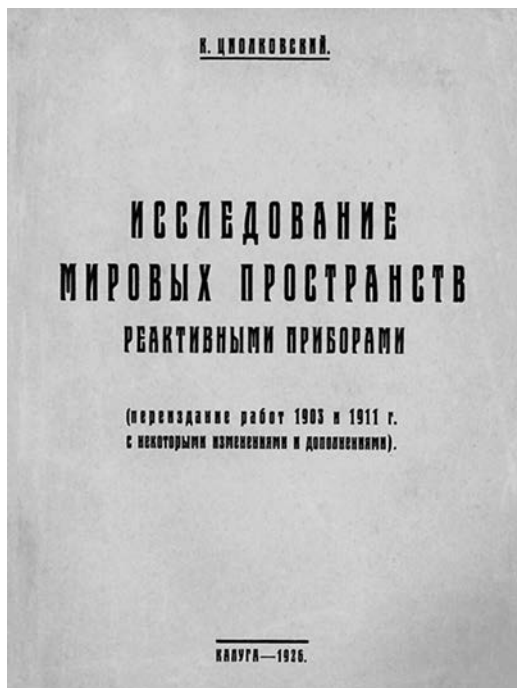


К.Э. Циолковский, лето 1926 г. Фото С.А. Чистоклетова. Архив РАН.

только ракета с ядерным двигателем будет способна развить космические скорости.) Скажем еще об одном выдающемся произведении Циолковского этого периода – повести “Вне Земли”, опубликованной в сокращении в январе – апреле 1918 г. в журнале “Природа и люди”. В конце лета 1920 г. она была переиздана отдельной брошюрой Калужским обществом изучения природы и местного края. Это – не имевшая аналогов в литературе того времени хроника космического путешествия, насыщенная техническими деталями и бытовыми подробностями, удивительно сходными с реальностью (какой она предстает по мере развития космонавтики).

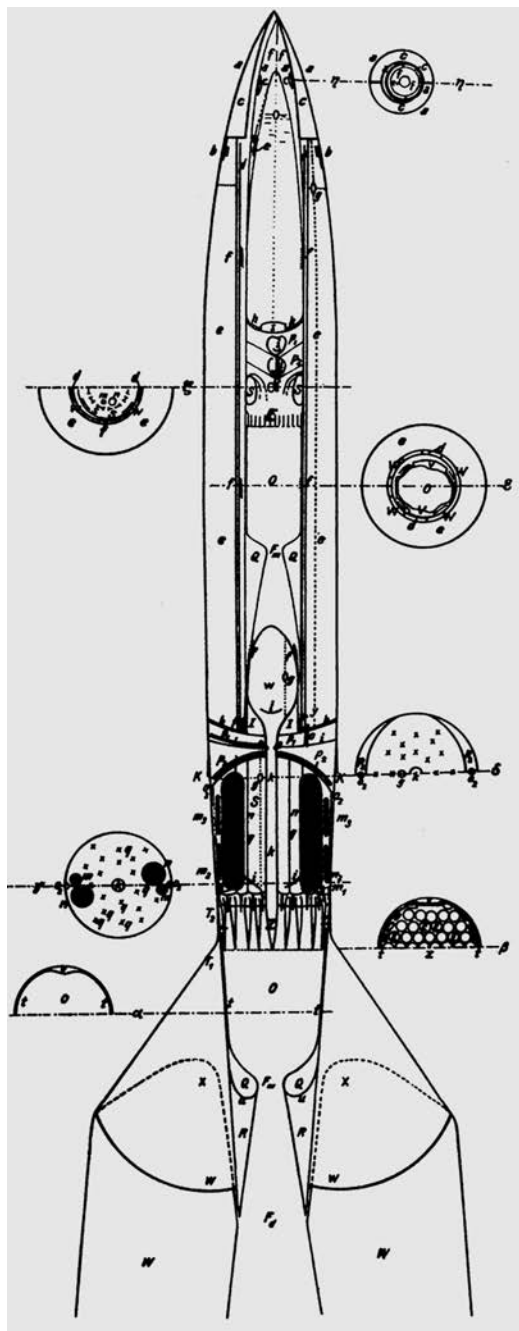
Следующий период научной деятельности Константина Эдуардовича (с 1924 г. – до конца жизни; ученый скончался 19 сентября 1935 г.) отличается тем, что его изыскания по космонавтике стали систематическими и постепенно все больше доминировали над его интересами в других областях науки и техники. Импульсы к активной и непрерывной деятельности именно в области космонавтики к ученому в избытке поступали извне: в эту эпоху вопросы, связанные с осуществлением полета в космос, интенсивно разрабатывались многими исследователями и оживленно обсуждались в различных изданиях не только в Советском Союзе, но и за рубежом (и, прежде всего, в Германии). Исследования в области теории межпланетных сообщений (как тогда называли эту сферу знания), перестали быть уделом отдельных, не общавшихся между собой ученых. Теоретический потенциал космонавтики возрастал усилиями международного научного сообщества, пронизанного тесными творческими контактами, в которые Константин Эдуардович был вовлечен одним из первых.

Среди работ К.Э. Циолковского последнего десятилетия в его жизни немало произведений, занимающих особое место в творчестве ученого и в



Первая страница обложки брошюры “Исследование мировых пространств реактивными приборами” (переиздание работ 1903 и 1911 гг. с некоторыми изменениями и дополнениями)”.

истории космонавтики. Открывает этот ряд, бесспорно, труд “Исследование мировых пространств реактивными приборами”, напечатанный в виде брошюры тиражом 2000 экземпляров в первой половине ноября 1926 г. в одной из калужских типографий на средства автора с подзаголовком “Переиздание работ 1903 и 1911 гг. с некоторыми изменениями и дополнениями”. Сразу стоит оговориться, что подзаголовок не вполне точен. Константин Эдуардович взял несколько глав из труда “Исследование мировых пространств реактивными приборами” (1903/1911–1912), но в целом одноименная работа 1926 г. стала совершенно новым произведением ученого (тем более, что оно явилось первой публикацией К.Э. Циолковского по космонавтике за шесть лет, прошед-

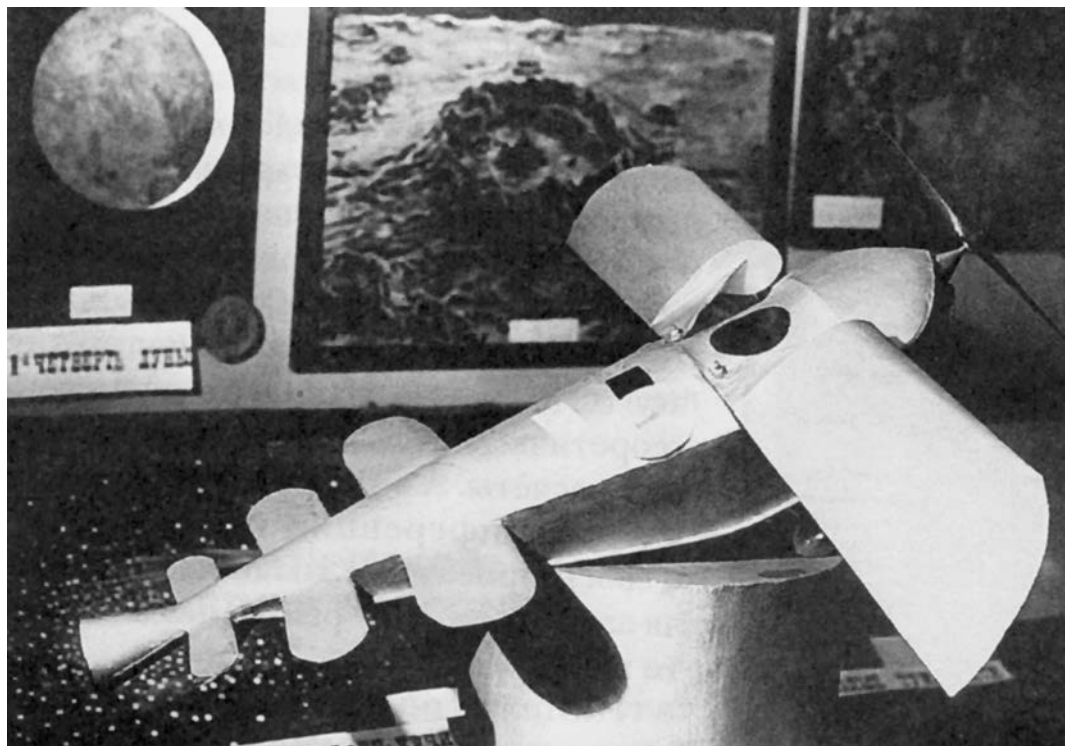


Наиболее известный и детально разработанный проект "Modell B" высотной двухступенчатой ракеты Г. Оберта. Рисунок из книги "Ракета к планетам" (1923).

ших после издания брошюры "Вне Земли", 1920!). Уже тот факт, что работа написана 69-летним ученым довольно быстро (с начала лета до середины осени 1926 г.), свидетельствует о том, насколько важно было для него приобщиться к процессу дальнейшей разработки теоретических проблем космонавтики.

Труд "Исследование мировых пространств реактивными приборами" (1926 г.) примечателен тем, что в его содержании ярко запечатлен отблеск эпохи. Вышедшая в 1923–1925 гг. техническая литература свидетельствовала о предельной сосредоточенности исследователей на решении проблемы гигантского запаса топлива, требуемого для полетов в космос. Ведь даже при допускавшейся тогда скорости истечения газов из сопла двигателя в 5000 м/с и более масса топлива должна была в десятки, а то и в сотни и тысячи раз (в зависимости от цели полета) превосходить массу самой космической ракеты.

В поисках ответа на вопрос, как осуществить космический полет, располагая заведомо малым количеством топлива, которое баки ракеты способны на деле вместить, Г. Оберт и Ф.А. Цандер выдвинули проекты космических транспортных средств, основанные на принципе многоступенчатости. Летом 1923 г. Оберт в книге "Ракета к планетам" представил проект двухступенчатой ракеты, разгоняемой в полете до скорости 500 м/с дополнительной, "вспомогательной" ступенью. Ракета предлагалась в двух вариантах: беспилотном («Modell B») для изучения верхних слоев земной атмосферы и пилотируемом («Modell E») для создания и обслуживания околоземных станций и гигантских зеркал (диаметром до 100 км) – накопителей солнечной энергии. Полеты к другим небесным телам Г. Оберт предложил осуществлять на межпланетных кораблях, снабженных отдельными топливными баками; они заправляются топливом на орбитальных



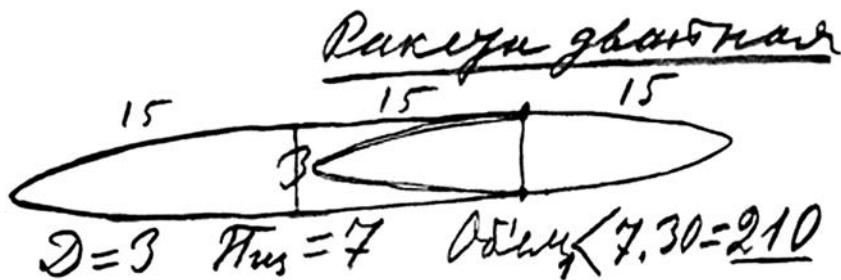
Модель “межпланетного корабля” Ф.А. Цандера, представленная на Первой мировой выставке моделей межпланетных аппаратов и механизмов в Москве (апрель–июнь 1927 г.). Фото из альбома выставки. Музей космонавтики им. Германа Оберта, Фойт (Германия).

станциях, с которых стартуют, направляясь к цели своего путешествия. Достигнув небесного тела, корабль отделяется от топливного бака, который останется на орбите вокруг планеты, и затем совершает спуск на ее поверхность. Дальнейшие действия происходят в обратном порядке: корабль взлетает с небесного тела, стыкуется с топливным баком и возвращается на околоземную станцию.

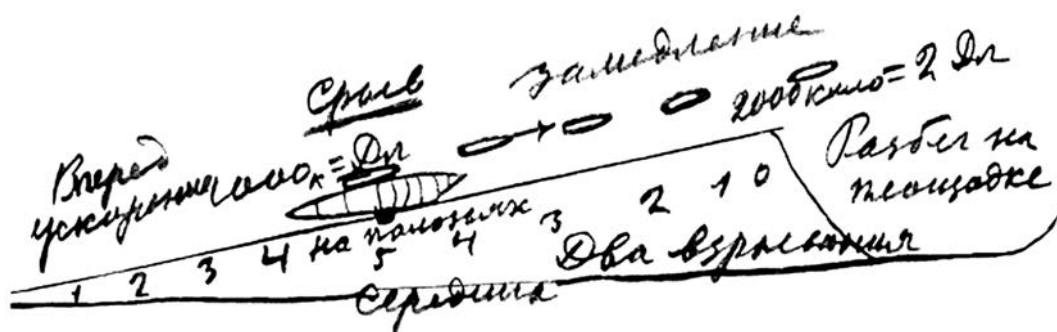
Ф.А. Цандер, найдя проект многоступенчатой ракеты Г. Оберта (как и проект одиночной ракеты Циолковского 1903 г.) труднореализуемым, в качестве альтернативы летом 1924 г. предложил в статье “Перелеты на другие планеты” двухступенчатую аэрокосмическую систему из большого (стратосферного) и малого (космического) самолетов. Предусматривалось не “отбрасывать”

отработанные элементы конструкции – стратосферный самолет – а расплавлять и использовать в качестве дополнительного горючего для космического самолета. Силовая установка должна была состоять из воздушно-реактивного двигателя, использующего в качестве окислителя кислород окружающего воздуха при полете в атмосфере, и жидкостного ракетного двигателя, включавшегося при достижении околоземного космоса. Для межпланетных перелетов предполагалось использовать силу давления света – солнечный парус, а спуск космического самолета в атмосферах планет осуществлять планированием.

Последнюю идею в конце 1925 г. повторил В. Гоман в книге “Достижимость небесных тел. Исследование проблемы космического полета”. Он также



Этот рисунок Циолковского не датирован, но он вполне мог быть иллюстрацией к работе "Исследование мировых пространств реактивными приборами", 1926 г. Космическая транспортная система, состоящая из "земной" и "космической" ракет (вид сбоку). Архив РАН. Публикуется впервые.



Рисунок, изображающий разгон "земной ракеты" по восходящему наземному пути и момент отделения от нее "космической" ракеты. Появился 11 августа 1926 г. в рукописи К.Э. Циолковского; совпадает с описанием принципа действия космической транспортной системы. Единственное отличие – "космическая" ракета расположена на "земной" ракете, а не вложена в нее. В черновиках Циолковского часто встречаются идеи, "не попавшие" в законченные работы. Архив РАН. Публикуется впервые.

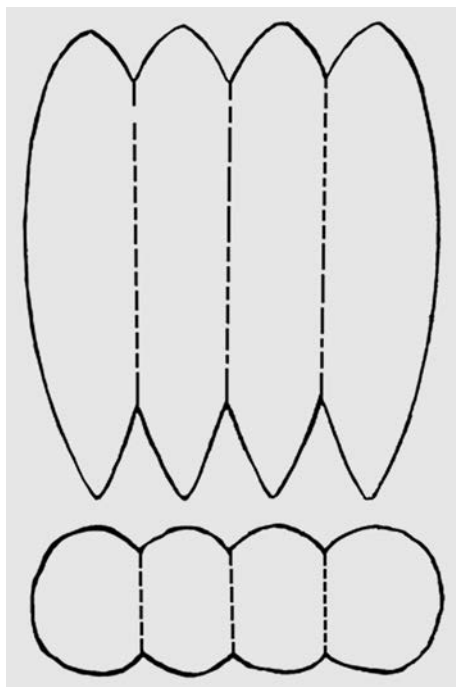
выдвинул еще два предложения: экономить расход топлива за счет выбора таких траекторий, при которых сила тяготения небесных тел "помогала" бы движению межпланетного корабля пополнять запасы топлива в ходе путешествия, используя для этого вещества, которые можно было найти на других небесных телах (промежуточных или конечных целях межпланетного полета). Исходя из этого, Гоман рассматривал Луну как перевалочный пункт на пути к планетам Солнечной системы, разделив тем самым мнение, высказанное впервые в 1924 г. М. Валье в книге "Прорыв в космос. Возможен ли он тех-

нически? Научно-популярное рассмотрение вопроса".

В ранних работах К.Э. Циолковский исходил из того, что в целом для околоземных полетов (и вокруг Солнца) достаточно будет запаса топлива, в четыре–восемь раз превосходящего массу ракеты со всем содержимым (кроме топлива); при этом ученый считал целесообразным наклонный старт космической ракеты вне плотных слоев атмосферы, куда она может быть поднята дирижаблем. Он не устал повторять о том, что, прежде чем прокладывать межпланетные трассы, следует прочно обосноваться на околоземных орбитах и уже оттуда летать к другим небесным

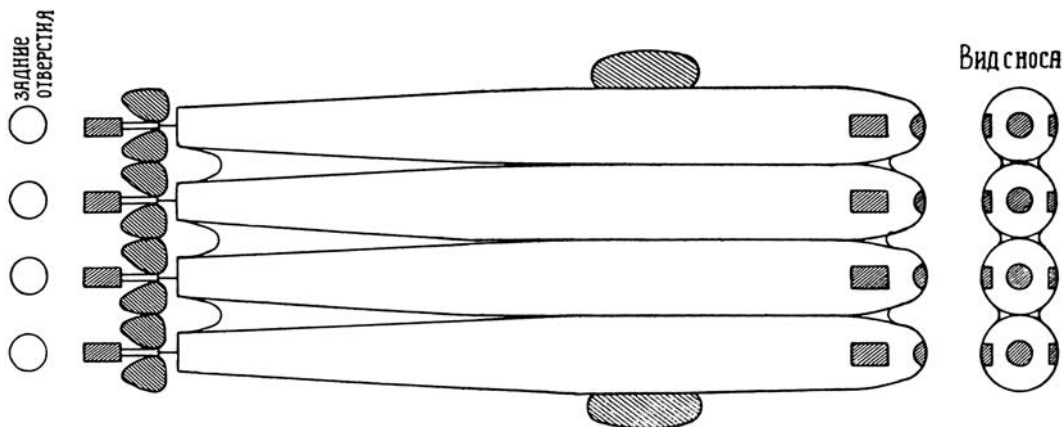
телам. Обе эти идеи в схожем контексте в 1923 г. высказал Г. Оберт. Осенью 1921 г. в рукописях Константина Эдуардовича появилась мысль о том, чтобы предварительно разогнать ракету по наземному восходящему пути. Весной – летом 1924 г. он пришел к выводу о необходимости придавать ракете ускорение с помощью вспомогательных средств и прибегать к аэродинамическому торможению при спуске в атмосфере планет с целью уменьшения расхода топлива. В 1926 г. К.Э. Циолковский уже рассматривал конкретные случаи перелетов: Земля – околоземная орбита – Земля и Земля – Венера – Земля и находил, что для их осуществления понадобится топлива, соответственно, в 99,9999 раз больше, чем весит ракета без топлива.

Размышляя над возможностью реализовать идею космического полета (несмотря на практически неодолимое соотношение массы топлива и «сухой» массы ракеты) Циолковский, вслед за Обертом и Цандером, остановился на принципе ступенчатости. Но, в отличие от составной ракеты Оберта и составного самолета Цандера, ученый предложил космическую транспортную систему (КТС) смешанного типа. Она состояла из обладающего аэродинамическим качеством космического летательного аппарата (КЛА) с жидкостным ракетным двигателем и сообщаемой ему начальную скорость наземной ракеты (также на жидком топливе), которая должна была двигаться на воздушной подушке (или слое какого-либо смазывающего вещества) по восходящей под углом 20–30° к эстакаде. Дополнительно Циолковский высказал идеи использования при старте скорость вращения Земли, а при разгоне по наземному пути и в плотных слоях атмосферы – дополнительных источников энергии из внешней среды. Сочетая в себе некоторые черты проектов Оберта и Цандера, космическая транспортная система Циолковского принципиально отличалась



“Аэроплан-крыло – ракета”. Рисунок К.Э. Циолковского, датируется 18 июля 1924 г. Именно так ученый представлял себе “космическую ракету” – вторую ступень двухступенчатой космической транспортной системы (вид сверху в разрезе) в работе “Исследование мировых пространств реактивными приборами”, 1926 г. Архив РАН.

от них двумя особенностями, отразившимися в облике отдельных ступеней. Убеденный в преимуществе как можно более продолжительного наземного разгона КТС (ученый был уверен, что это позволит существенно снизить требуемый запас топлива), он отвел первой (задней) ступени роль гигантской ракетной катапульты. Предпочтение, которое Константин Эдуардович отдавал в то время несущему корпусу в поисках подходящей аэродинамической формы КЛА, сказалось на конструкции второй (передней) ступени: отказавшись от крыльев, он соединил “боками” несколько фюзеляжей веретенообразной формы. В брошюре “Исследование мировых пространств ре-



“Космическая” ракета К.Э. Циолковского, 1926 г. Иллюстрация из книги Н.А. Рынина “К.Э. Циолковский. Его жизнь, работы и ракеты”, 1931.

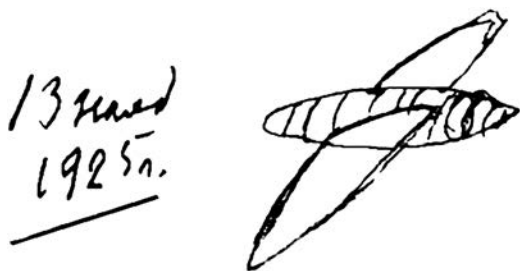
активными приборами” (1926) ученый называл ступени просто – “земная” ракета и “космическая” ракета. Но вскоре он стал использовать для обозначения аппарата, выходящего на орбиту и при возвращении на Землю совершающего планирующий спуск в атмосфере (заимствованный у своего берлинского корреспондента А.Б. Шершевского), термин “ракетоплан”. В рукописях К.Э. Циолковского впервые он встречается 27 декабря 1926 г., а в начале 1930-х гг. прочно входит в обиход советских ракетчиков.

Константин Эдуардович не сомневался в том, что строительство и использование предложенной в 1926 г. КТС – дело отдаленного будущего. Наибольшие трудности виделась ему в разработке наземных ракет. Создание же ракетоплана, “соединяющего” достижения ракетной и авиационной техники, он считал актуальной задачей своего времени. Ее решение он представил в разделе “Как можно начать работу космических достижений немедленно, сейчас же”. Сначала предполагалось приобрести опыт строительства и эксплуатации ракетных самолетов классической крылатой схемы, приспособленных для пребывания в разреженной атмосфере и в безвоздушном пространстве.

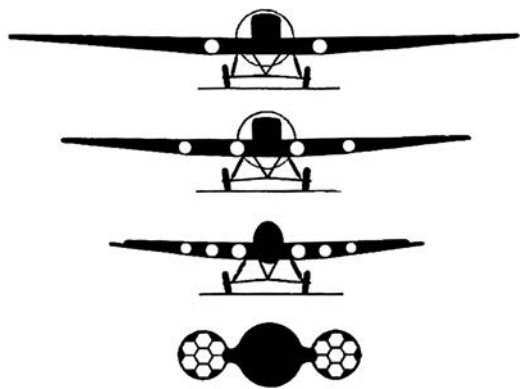
Затем предстояло крылатый ракетный самолет опытным путем “преобразовать” в многофюзеляжный КЛА. Далее необходимо было разработать системы управления и жизнедеятельности, научиться использовать в качестве источника движения в пустоте давление света и лучистую энергию Солнца и, опираясь на эти технические достижения, устраивать “обширные поселения” в космосе, удаляясь все дальше не только от Земли, но и от Солнца.

Мысль использовать авиационный опыт для осуществления космического полета в 1924–1926 гг. была довольно распространена в кругу исследователей и энтузиастов космонавтики. Ее вполне разделял Г. Оберт: в 1928–1929 гг. он разработал проект КТС для многократного использования, состоящей из двух ракетных самолетов, выполненных по схеме “летающее крыло”. Однако отдать приоритет ракетным самолетам на начальном этапе практических работ Оберт категорически отказался. Он настаивал на необходимости сначала научиться строить баллистические ракеты, рассчитанные на все большие высоты – с тем, чтобы в дальнейшем использовать этот опыт в ракетной авиации. Таким образом по вопросу о том, с чего начинать экспериментальную деятель-

ность, конечной целью которой виделся полет за пределы земного тяготения, мнения Циолковского и Оберта разделились. Единомышленником Константина Эдуардовича оказался М. Валье. Совпадение их позиций, к которым они пришли независимо друг от друга и которые обнародовали почти одновременно, поразительно. М. Валье, заявив о себе летом 1924 г. как о приверженце и популяризаторе идей Г. Оберта, очень скоро выработал собственный взгляд на решение проблемы межпланетных перелетов и на приоритеты в работах, направленных на создание КТС: ему представлялось целесообразным прокладывать маршруты к другим планетам, используя базы на Луне, а не через орбитальные станции. Строительство ракетных самолетов он считал более актуальной задачей, по сравнению с разработкой проектов высотных ракет. Идею ракетного самолета как предшественника КТС он обсуждал сначала в частной переписке с Ф. фон Гэфтом и Г. Обертом, потом стал уделять ей все больше места в своих многочисленных публичных докладах и, наконец, изложил ее в декабре 1926 г. в статье "От самолета к космическому кораблю" (она окончательно привела к его разрыву с Обертом). Циолковский и Валье не только (в противоположность Оберту) призывали начинать работу по преобразованию обычных самолетов в летательные аппараты, рассчитанные на космические высоты и скорости. Даже сущность этого преобразования представлялась им одинаково: замена винтомоторной группы жидкостными ракетными двигателями и постепенное (от конструкции к конструкции) уменьшение площади крыльев. Правда, искомый результат виделся им по-разному: для Циолковского было важно прийти к многофюзеляжному ракетоплану; Валье же в конце эволюционного ряда высотных самолетов с жидкостным ракетным двигателем представлял себе многоступенчатую космическую ракету



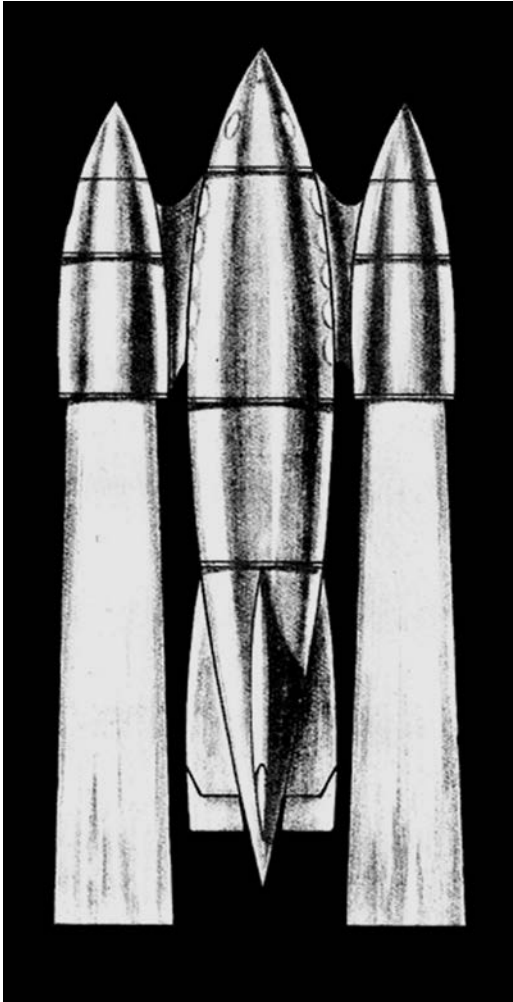
Наиболее ранний рисунок К.Э. Циолковского, изображающий ракетный самолет обычной крылатой схемы; с него предполагалось начать практические работы по овладению техникой ракетного полета. Архив РАН. Публикуется впервые.



Этапы развития самолета и превращения его в космический корабль по М. Валье: количество ракетных двигателей от типа к типу увеличивается, площадь крыльев уменьшается. В конструкции "космической" ракеты крыльев нет. Рисунок братьев Б. и Г. фон Рёмер, 1926.

конструкции Оберта. Но эта деталь не затеняла главного в воззрениях Циолковского и Валье: оба они были убеждены, что эксперименты с ракетными самолетами позволят скорее приблизиться к осуществлению космического полета, чем строительство баллистических ракет.

В дальнейшем Константин Эдуардович только укреплялся в этой мысли. В 1929 г. он вообще отказался от классической ракеты в качестве пер-



Космическая ракета М. Валье, которая “превратилась” из самолета в транспортное средство, способное преодолеть силу земного тяготения. Рисунок братьев Б. и Г. фон Рёмер, 1926.

вой ступени КТС и заменил ее несколькими ступенями в виде многофюзеляжных ракетопланов – “ракетными поездами”; начиная с 1932 г., ученый рассматривал ракетопланы только крылатых схем. В 1933 г. он предложил выполнять предварительный разгон ракетоплана стратосферным самолетом с воздушно-реактивным двигателем. С середины декабря 1934 г. Циолковский

утвердился во мнении, что наиболее перспективный способ достичь на орбитальном самолете первой космической скорости (7,9 км/с) заключается в дозаправке его топливом в полете от нескольких таких же самолетов. К сожалению, до сих пор все еще распространено ошибочное мнение о том, что для Циолковского путь в космос пролегал через использование многоступенчатых ракет. Оно основано на очень плохом знании рукописей ученого и на вольном (или невольном) стремлении во что бы то ни стало “осовременить” его представления и «подтянуть» их к современным реалиям космонавтики.

Транспортной составляющей проблематика труда “Исследование мировых пространств реактивными приборами” (1926) не исчерпывалась: немало страниц в нем отведено программе освоения космоса; в целом ее содержание никаких изменений (начиная с 1911 г.) не претерпело.

В 1926 г. Константин Эдуардович по-прежнему считал, что первостепенными задачами космонавтики должно быть создание станций сначала на околоземных орбитах, затем – на астероидах. Вместе с тем в его рассуждениях на эту тему появился новый аспект – он указывал на необходимость превращения внеземных станций в центры космической промышленности, поскольку служить в качестве межпланетных портов они смогут только при условии максимальной независимости от Земли. Соответственно, описывая устройство околоземных станций («многокамерных жилищ»), находящихся на расстоянии 1–2 тыс. км от Земли, Циолковский исходил из необходимости развития индустрии в космосе. Принцип полной независимости от земных ресурсов в процессе освоения космоса предопределил и ответ Циолковского на вопрос о том, как сообщить скорость межпланетным кораблям в перелетах между космическими станциями и небесными телами. Предложение ученого

использовать в качестве источников энергии КЛА электричество и силу давления света в 1926 г. принципиальной новизной не отличалось, но (прозвучав в совокупности с идеей индустриализации космоса) они придали его программе развития космонавтики комплексный характер.

Как обычно, Константин Эдуардович сам распространял экземпляры брошюры "Исследование мировых пространств реактивными приборами" среди своих многочисленных корреспондентов. Первыми ее получили Н.А. Рынин, Я.И. Перельман, Ф.А. Цандер, члены Русского общества любителей мироведения, и А.Б. Шершевский (последний быстро подготовил сокращенный перевод текста на немецкий язык и предпринял немалые усилия для того, чтобы заинтересовать издательство Р. Ольденбурга предложением издать его). Переговоры длились долго, к ним присоединился и Р. Ладеман (активный сторонник идеи космического полета, автор ряда статей по космонавтике), но издательство все же сочло невозможным финансировать издание немецкоязычных переводов работ иностранных ученых – К.Э. Циолковского, Р. Годдарда и Р. Эсно-Пельтри. Несмотря на это, многие германские энтузиасты, вдохновленные идеей космического полета, смогли ознакомиться с содержанием работы Циолковского в реферативном изложении А.Б. Шершевского и Р. Ладемана. Получили брошюру также члены ГИРД и ГДЛ, РНИИ и Военно-технической академии РККА им. Ф.Э. Дзержинского, Всеукраинская академия наук и редакции многих журналов. Говоря словами Я.И. Перельмана, это был "долгожданный подарок для многих" – капитальный труд, который гармонично вписался в интеллектуальный контекст научных поисков в области космонавтики во второй половине 1920-х гг.

1927. 2-го марта.

В Мюнхен (Германия)
Издательству
Р. Ольденбургу

От К. Циолковского
(Россия, Калуга, ул. Жорис)

Милостивый Господарь,
Сим разрешаю Вам с
большим удовольствием
и благодарностью издать
моя книгу "Исследова-
ние Мировых Прост-
ранств Реактивными
приборами" – в перево-
де А. Б. Шершевского.

Примечание при сим
законной Вандерлино
и самую книгу со
вложением моег оро-
графирин, датир 8
феврария 1927г.

Врашу примать увере-
ние в моег совершен-
нии к Вам почтение.

К. Циолковский
Ziolkowsky
Ciolkowsky (Latin).

Письмо К.Э. Циолковского в издательство Р. Ольденбурга. В дате письма допущена описка, правильно: "2 апреля 1927 г." Баварский экономический архив. Публикуется впервые.

Новый этап китайской пилотируемой программы

15 сентября 2016 г. состоялся запуск с космодрома Цзюцюань второго китайского орбитального модуля “Тяньгун-2” (“Tiangong-2”; tiangong – небесный чертог) с помощью ракеты-носителя “Великий Поход-2ФТ” (“Chang Zheng-2FT”; см. стр. 3 обложки, внизу). Как сообщило Китайское национальное космическое агентство (CNSA), модуль выведен на орбиту высотой 393 км, периодом обращения 91 мин и наклоном 42,8°. Длина модуля – 10,4 м, диаметр – 3,35 м, размах панелей солнечных батарей – 18,4 м, масса – 8,6 т, срок активно-

го существования – 2 года. Модуль создан на базе пилотируемого космического корабля “Шэньчжоу” (“Shenzhou” – волшебный челн), но существенно от него отличается. Модуль состоит из служебного и лабораторного отсеков диаметрами 2,35 и 3,35 м. В большем отсеке объемом 32 м³ будет жить экипаж, проводя эксперименты. В отсеке меньшего диаметра объемом 15 м³ располагаются системы управления, аккумуляторы, топливо и двигатели, с внешней стороны – панели солнечных батарей. В передней части модуля установлен андрогинно-периферийный стыковочный агрегат типа АПАС-89 (аналогичные установлены на модуле “Кристалл” орбитальной станции “Мир” и модуле “Заря” МКС) для стыковок с кораблями “Шэньчжоу”.

“Тяньгун-2” создан Китайской космической кор-

порацией науки и техники (CASTC) и Китайским научно-исследовательским институтом космической техники (CRIST). 10 июля 2016 г. он был доставлен на стартовую пусковую площадку космодрома Цзюцюань в провинции Ганьсу. Заместитель главного конструктора орбитального модуля “Тяньгун-2” Ляо Цзяньлинь сообщил, что китайские космонавты пробудут в модуле в общей сложности 33 дня. Во время полета будут тестироваться технологии системы жизнеобеспечения для будущей большой орбитальной станции. На модуле установлено 14 видов научного оборудования для проведения экспериментов, среди них: высокоточные “холодные” атомные часы с погрешностью – секунда за 30 млн лет; самый крупный в мире высокочувствительный детектор гамма-излучения POLAR, созданный учеными Швейцарии, Польши и Китая; медицинское оборудование для изучения влияния невесомости на сердечно-сосудистую систему человека; оборудование для наблюдения за развитием растений в космосе.

17 октября 2016 г. с космодрома Цзюцюань в провинции Ганьсу состоялся запуск космического корабля “Шэньчжоу-11” (“Shenzhou-11”) с экипажем в составе командира корабля Цзин Хайпэна и пилота Чэнь Дуна. Цзин Хайпэн в третий раз полетел в космос: первый – 25–28 сентября 2008 г. на КК “Шэньчжоу-7”, второй – 16–29 июня 2012 г. на КК

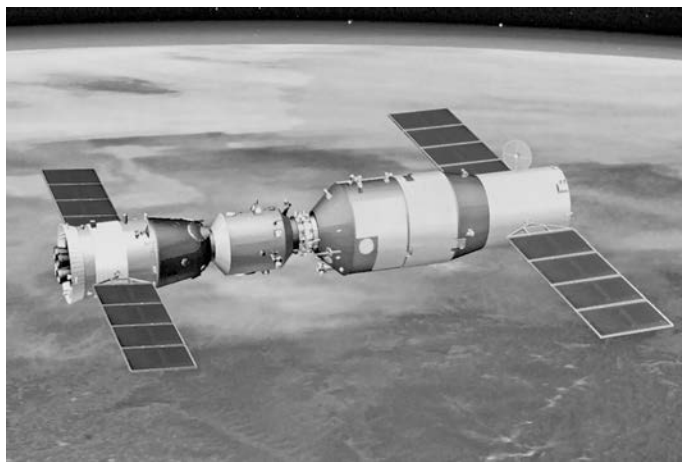


Экипаж КК “Шэньчжоу-11” Цзин Хайпэн и Чэнь Дун.
Фото CNSA.

“Шэньчжоу-9” и “Тяньгун-1” (Земля и Вселенная, 2009, № 1, с. 107–109; 2012, № 6, с. 108–109). Чэнь Дун – новичок в космосе.

Цзин Хайпэн (Jing Haipeng; 485-й астронавт мира, 6-й космонавт Китая) родился в 1966 г. в Юньчэне провинции Шэньси, имеет почетное звание “Космонавт-герой”, высшее образование, две степени бакалавра; летчик 1-го класса, старший полковник ВВС Народно-освободительной армии Китая (НОАК), в 1985–1996 г. служил в армии, в 1996 г. зачислен в отряд космонавтов.

Чэнь Дун (Chen Dong; 545-й астронавт мира, 12-й космонавт Китая) родился в 1978 г. в Лояне (провинция Хэнань, округ Чжэнчжоу) в семье рабочих, в 2003 г. окончил Летную академию ВВС Чанчунь, проходил службу в строевых частях ВВС НОАК, летал на сверхзвуковом перехватчике “Цзянь-5” (китайская копия советского самолета МиГ-17Ф); подполковник ВВС НОАК; в 2010 г. зачислен в отряд космонавтов. В мае 2016 г. прошел краткую ознакомительную тренировку в Центре европейских астронавтов (Кёльн, Германия). **17 октября** корабль “Шэньчжоу-11” состыковался с модулем “Тяньгун-2”, и экипаж приступил к выполнению программы полета. На **18 ноября 2016 г.** наме-



Стыковка КК “Шэньчжоу-11” с китайским орбитальным модулем “Тяньгун-2”. Рисунок CNSA.

чено возвращение экипажа на Землю.

На середину апреля 2017 г. запланирован запуск с помощью РН “Великий Поход-5” (“СЗ-5”) грузового космического корабля “Тяньчжоу-1” (“Tianzhou-1”) длиной 9 м, диаметром 3,35 м и массой 13,5 т для доставки топлива и расходных материалов общей массой до 6 т. Планируется проверить надежность автоматической стыковки грузовых кораблей, пополнить запасы топлива и отремонтировать вышедшее из строя оборудование.

Напомним, что первый китайский экспериментальный модуль “Тяньгун-1” запущен 29 сентября 2011 г. (Земля и Вселенная, 2012, № 1, с. 74); 18 июня 2012 г. он был состыкован с

КК “Шэньчжоу-9”. За 10 сут экипаж корабля в составе Цзин Хайпэн, Лю Ван и первой китайки-космонавта Лю Ян выполнили научные эксперименты в области космической медицины и технологии. 29 июня 2012 г. спускаемый аппарат КК “Шэньчжоу-9” совершил мягкую посадку (Земля и Вселенная, 2012, № 6, с. 108–109). В марте 2016 г. модуль “Тяньгун-1” прекратил функционировать: он находился на орбите уже 1630 сут (проектный срок службы превышен на 2,5 года). В ближайшие несколько месяцев “Тяньгун-1” войдет в плотные слои атмосферы и сгорит.

*По материалам
агентства “Синьхуа”,
16 сентября 2016 г.*

Пермский планетарий

В культурном пространстве Пермского края Планетарий – весьма значимое явление. В феврале 1960 г. в выставочном зале № 1 Пермского областного краеведческого музея был открыт Планетарий, работавший в этом здании до 1967 г. Начиная с 1961 г., сотрудники музея стали выезжать с передвижным планетарием в поселки области.

Вопрос о возведении отдельного здания Планетария возник после неожиданной для всех посадки 19 марта 1965 г. “в районе города Перми” космического корабля “Восход-2” с экипажем в составе П.И. Беляева и А.А. Леонова (Земля и Вселенная, 1965, № 2; 2015, № 4). Здание стационарного Планетария “для городских парков культуры и отдыха” (типовой проект № 103, 1959 г.) было сдано в эксплуатацию 7 декабря 1967 г. Затем Звездный зал был оборудован проектором “ЗКР-1” (малый Цейс) и дополнен по периметру аппаратами, созда-

ющими эффекты Звездного зала: закат и восход Солнца, мерцание Северного сияния, быстро бегущие облака, сверкающая молния, солнечное и лунное затмения, полет болида, снег, безбрежная морская гладь, “падающие” звезды, панорамы Луны, Марса, тропиков и затем пульт – рабочее место лектора – дополнили слайд-проекторами.

Купол Планетария стал одним из символов Перми – города, имеющего непосредственное отношение к освоению космоса и отечественному ракетостроению; его изображали на почтовых открытках и конвертах. В то время в нашем городе работало 19 предприятий ракетно-космической отрасли, которые неоднократно посещал Главный конструктор С.П. Королёв.

12 апреля 1968 г. горожане считают Днем рождения Пермского Планетария: именно в этот день в нем была прочитана первая лекция. Накануне открытия Плана-

тария в городе побывали с визитом, посвященным трехлетию посадки космического корабля “Восход-2”, летчики-космонавты СССР П.И. Беляев и А.А. Леонов – Почетные граждане Перми. Гости были оставлены значок Всесоюзного астрономо-геодезического общества для первого лектора планетария, которым стал А.А. Плохинский – ответственный секретарь Пермского отделения Всероссийского общества “Знание”.

История развития Планетария неразрывно связана с людьми, возглавлявшими работу в нем. Его директорами в разное время были Валентина Ивановна Фролова (1967–1973), Александра Ивановна Болотова (1973–1980), Тамара Львовна Пучнина (1980–1983). Начиная с 1983 г., на этом ответственном посту трудится Заслуженный работник культуры РФ Таисья Леонтьевна Балтина. Статус Планетария тоже менялся: до 1994 г. – это пермский планетарий, затем –



Здание Пермского планетария.

муниципальное учреждение культуры «Планетарий», с 2010 г. – носит название «Пермский планетарий»; с 2011 г. – муниципальное автономное учреждение культуры «Пермский планетарий». Его учредителем является администрация г. Перми в лице Департамента культуры и молодежной политики.

По инициативе директоров российских планетариев (в их числе и Т.Л. Балтина) в 1994 г. действующие на тот период планетарии нашей

страны объединились в Ассоциацию планетариев России. В 1999 г. Пермский планетарий вошел в Ассоциацию музеев космонавтики, а с 2006 г. наш Планетарий стал «членом-корреспондентом Федерации космонавтики России».

Сегодня коллектив сотрудников Планетария настойчиво трудится над сохранением накопленного потенциала, а также ищет новые формы развития. В работе Планетария сохранился уникальный культурный код – высокие требования к лектору: умение популяризировать сложный материал, составить, написать и подобрать аудио- и видеосопровождение к лекции, умение

держат внимание аудитории, обязателен красивый эмоциональный голос, и, конечно, виртуозное управление с пульта всеми спецэффектами.

Планетарий достойно представляет наш город и регион: во все времена его коллектив постоянно ищет и находит новые формы в работе – даже тогда, когда многие планетарии России и СНГ и вовсе прекращали свою деятельность.

Укрепление материально-технической базы Планетария, его техническое переоснащение проходило в несколько этапов. В 1991 г. были приобретены и установлены слайд-проекторы, перенесены на фотопленку стеклянные диапозитивы,



изготовлены новые слайды; в 2003 г. приобретены и установлены мультимедийные проекторы; в это же время создавались мультимедийные программы. В 2010 г. в Планетарии был проведен капитальный ремонт Звездного зала и купола. В результате (впервые за 40 лет) были полностью заменены внешний купол (в экстремальных условиях очень морозной зимы), а также система электроснабжения Звездного зала; был смонтирован металлический внутренний купол-экран – второй

металлический купол среди планетариев России; была установлена новая система вентиляции, кондиционирования и молниезащиты; обновлены стены и пол. Изготовление и монтаж внутреннего металлического купола оказались очень сложной и ювелирно точной работой: необходимо было сохранить все параметры прежнего купола, так как качество проецирования звездного неба и всех аппаратов-спецэффектов напрямую зависят от формы купола. Очень сложные пуско-наладоч-

Дважды Герой Советского Союза летчик-космонавт Г.М. Гречко с коллективом Планетария в Звездном зале.

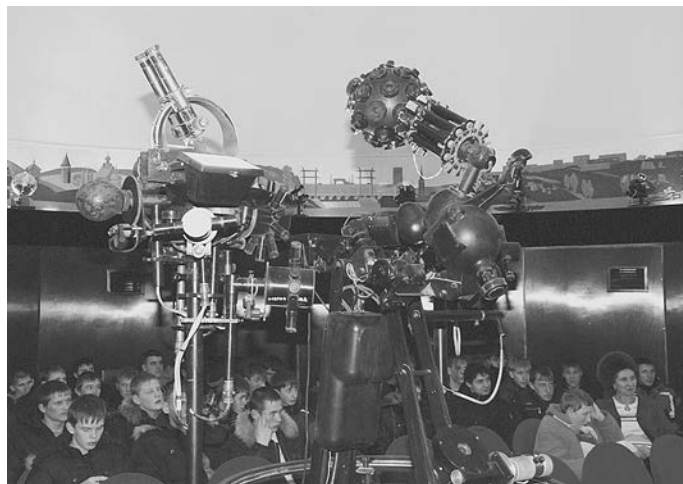
ные работы аппарата “планетарий” и многочисленного видеопроеционного оборудования были проведены успешно.

Модернизация пульта управления эффектами Звездного зала выполнена технической группой под руководством инженера В.Ю. Камалова. Эти специалисты изготовили

вали взамен пришедших в негодность детали аппарата “планетарий”, реставрировали механику действия спецэффектов. В 2012 г. был приобретен и установлен аппаратно-программный комплекс для формирования полнокупольной проекции. В репертуаре Планетария появляются цифровые полнокупольные фильмы и видеосюжеты.

Все эти годы коллектив обновляет имеющиеся и создает новые программы; их разработка и проведение возложены на лекторов, художников, инженеров и других специалистов.

Ведущим направлением в деятельности Планетария была и остается популяризация астрономии и других естественных наук с помощью различных форм и методов культурно-просветительской работы. Коллективом лекторов созданы объемные информационные циклы программ, такие, как “Астрономия и космонавтика”, “Природа и мы”, “История”, “Духовно-нравственная культура”, “Тематические и нравственно-патриотические программы”, “Интерактивные игры”, “Спектакли оптического теат-



ра”. Одними из первых мы самостоятельно создали мультимедийную программу “Приключения небесной принцессы”, которая в настоящее время демонстрируется во многих планетариях в России и в СНГ. Сегодня в афише Планетария более 160 программ. Полнокупольные цифровые программы и фильмы – увлекательное зрелище в пространстве всего купола – расширили и украсили существующий репертуар. Но даже и сейчас, когда появилась масса возможностей для демонстрации программ, лекторы прекрасно используют в ретроспективе видеоряда стеклянные диапозитивы. Наш художник Анна Колесник освоила технику создания “новых стекол” – стеклянных диапозитивов (рисунок наносится на стекло определенного формата для демонстрации полу-

чившихся диапозитивов “на фонаре” (проекционное оборудование установлено в 1968 г.).

Каждый из лекторов, работающих сегодня в Планетарии, – индивидуален, у каждого – свой неповторимый имидж; это – мастера, создающие атмосферу занимательной и познавательной игры, умеющие популярно донести до любого зрителя научные знания. Каждый владеет приемами так называемого “театра одного актера”. Работа эта уникальна: нужно владеть навыками научного работника, сценариста, режиссера, артиста, музыкального и технического операторов. Этой профессии не обучают ни в одном учебном заведении России.

Начиная с 1974 г., работает лектором ведущий специалист Е.А. Бессонова (с 2008 г. – Заслуженный работник культуры РФ). Елена Алексеевна



*Выставка детского рисунка
в фойе Планетария.*

В классический для планетариев репертуар добавили необычные программы лекторы Н.Л. Ельцова, Н.А. Новикова, А.И. Воронова. “Изюминками” называют школьные педагоги циклы лекций по мировой художественной культуре и истории: “Земля славянская”, “Иконопись на Руси. Творчество А. Рублева”, “Мастера эпохи Возрождения”, “Море и звезды (по творчеству И.К. Айвазовского)”, “Чудо-край”, “От Руси до России”, “Романовы. Царская династия”, “Отечественная война 1812 года”.

Начиная с 2003 г., под руководством лекторов Н.Л. Ельцовой и Н.А. Новиковой в нашем Планетарии работает астрономический кружок “Школа маленьких звездочетов” для детей от 7 до 10 лет. Руководители кружка подходят к занятиям творчески: малыши быстро усваивают материал по астрономии, влюбляются в науку. Большой интерес вызывают у них наблюдения в телескопы небесных светил – Солнца, Луны и планет Солнечной системы.

Звездный зал – благодатная площадка для сценического воплощения истории развития астрономии и космонавтики. Представление в

по праву считается “визитной карточкой” нашего коллектива, она – одна из лучших лекторов, работающих в планетариях России. Наша коллега обладает самым главным – виртуозно овладевает вниманием зрителя, используя для этого все возможности сложной техники Звездного зала. Ее программы охватывают все разделы естественно-научной тематики и рассчитаны на зрителей всех возрастов. О ней снят фильм из цикла “Человек и его дело” на Пермской студии телевидения. Творческий и артистический талант, харизма Елены Алексеевны – пример для творческого коллектива Планетария; мы стремимся “держать курс” на постоянное повышение планки лекторского мастерства.

С приходом в 1986 г. географа Татьяны Геннадьевны Фукаловой (с

2011 г. – Заслуженный работник культуры РФ) в программе Планетария появились лекции для младших школьников: “Времена года”, “Весна”, “Лето. Живые часы, компасы и барометры”, “Осень”, “Зимушка-зима”, “Ориентирование на местности”, “Земля и ее обитатели”, “Природа родного края”, “Разноцветная Земля”, “Сказки старого Урала”, “Хочу стать путешественником”, “Береги волшебницу природу”; для среднего школьного возраста: “Австралия”, “Атмосфера”, “Куда исчезла Атлантида?”. Кроме того, Татьяна Геннадьевна – автор классических учебных программ по астрономии, – таких, как “Движение Земли”, “Галактики, квазары, Вселенная”, “Мир звезд”, “Малые тела Солнечной системы”, “Неистовая Вселенная”, “Основы сферической астрономии”.



Запуск моделей ракет.

Планетарии может быть и музыкально-поэтической композицией, и спектаклем с драматургически выстроенными, умело расставленными эмоциональными акцентами. Образ – самое меткое “оружие” в театральных баталиях на таких представлениях. Дело зрителя – внимать, мыслить и фантазировать.

Начиная с 2005 г., многие астрономические темы приобрели новые краски в спектаклях Оптического театра, где ге-

рои “сходят” с экрана и “появляются” перед зрителями: “Там, на неведомых звездных дорогах”, “Чудесная сказка звездного дома”, “Ключ на старт, или космические приключения Буратино”; в новогодних спектаклях. Автором, режиссером и постановщиком этих спектаклей стала лектор Е.А. Попова, ну а актерами – сотрудники Планетария.

Образовательный момент остается основным, но с каждым годом все большей популярностью пользуются игровые программы, астрономические ринги (поединки ко-

манд и их болельщиков в Звездном зале); традиционно увлекательны детские праздники, концерты, тематические вечера, запуски моделей ракет.

Первым в России Пермский планетарий стал использовать свою площадку для проведения части обряда бракосочетания – “Звезды для влюбленных” (с 1999 г.) и романтических свиданий “Двое во Вселенной” (с 2011 г.). Популярностью пользуются программы “Выходного дня для всей семьи”, неотъемлемой частью досуга жителей города Перми стали вечерние сеансы.



Наблюдение частного солнечного затмения в телескоп "Coronado" на смотровой площадке Планетария. 2015 г.

Каждый день в Звездном зале неизменно зажигаются огни художественно-световой круговой панорамы нашего города, созданной заслуженным художником России А.П. Зыряновым. "Заходит" Солнце, "появляются звезды", звучит музыка и завораживающий, артистичный голос лектора.

"Самодостаточный внутренний мир" Планетария – это не только проводимые программы, показ фильмов, но и место для проведения художественных выставок в фойе. Здесь происходит знакомство зрителей не только с творчеством юных художников детских изостудий, но и с работами самобытных, взрослых мастеров; нередки и конкурсы рисунков на асфальте.

В результате тесного сотрудничества Планетария с Пермской региональной общественной организацией Ветеранов

ракетных и космических войск в лице ее организатора, ветерана космодрома Байконур полковника в отставке Д.П. Глотина тема космонавтики в нашем Планетарии получила дополнительное развитие. Более 50 докладов написаны этим ветераном космонавтики, проработавшим 12 лет с академиком С.П. Королёвым; они отредактированы методистом планетария Н.Н. Неверовой и используются на встречах со старшеклассниками и студентами ("Перекуем мечи на орала" – малоизвестные страницы космической биографии нашей страны), "Двенадцать ступенек в космос", "Испытание мужеством" – о посадке КК "Восход-2"; "Вклад Пермского края в создание, производство и эксплуатацию ракетно-космической техники", "Байконур вчера, сегодня, завтра").

При активной помощи и поддержке Пермского отделения Федерации космонавтики России в лице ее председателя – вице-президента, управляющего НПО "Искра" по маркетингу Ю.Л. Макаревича школьники, отмеченные за успехи в изучении истории и пропаганде достижений российской космонавтики, ежегодно награждаются медалями "Юный ггаринец", "Космонавтика. XXI век" и дипломами.

Делегация Президиума Федерации космонавтики России под руководством его президента – дважды Героя Советского Союза летчика-космонавта В.В. Ковалёнка в рамках выездных заседаний побывала в 2005 г. и в 2013 г. в Пермском планетарии. Состоялись незабываемые встречи с учащимися лицея № 2, авиационного техникума им. А.Д. Швецова и ДК "Юный космонавт".

Традиционно каждый год Планетарий проводит такие широкомасштабные мероприятия, как "Космический марафон" (в апреле), "Неделя астрономии" (в мае), "Месяц космической славы" и "Всемирная неделя космоса" (в октябре).



Делегация Бюро президиума Федерации космонавтики России во главе с летчиком-космонавтом В.В. Ковалёнком и ветераны Ракетных войск стратегического назначения на смотровой площадке Планетария.

Возросшая востребованность Планетария в получении глубоких знаний и расширении кругозора жителей города стали стимулом к созданию нашим коллективом новых программ – “Дорога в космос нам открыта”, “Полеты в космос”, “Про Мюнхгаузена, Бабу Ягу и ракету”, “Утро космической эры”, “Вперед, к

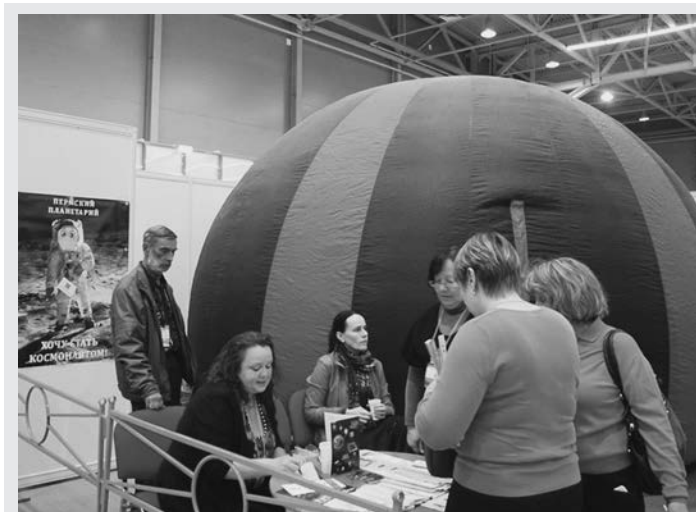
Марсу”, “Этот огромный, огромный мир!”.

По заказу предприятия ракетно-космической отрасли “Протон-ПМ” в канун отмечаемого им 50-летнего юбилея в Планетарии состоялась премьера мультимедийной профориентированной программы «От Икара до “Протона”». Ежегодно 12 апреля в Звездном зале подводятся итоги проводимой предприятием работы с подшефными школами (“Космические дали”) с непременной демонстрацией одноименной программы.

С приобретением мобильного планетария в 2011 г. существенно оживилась выездная рабо-

та: теперь маленький купол дает возможность не только посмотреть программу, но и полюбоваться звездами.

В июне 2013 г. в праздничные дни, посвященные 290-летию нашего города, была торжественно открыта смотровая площадка, которая облагородила внешний вид Планетария. При содействии Общественного комитета попечителей был установлен бинокляр, позволяющий всем жителям любоваться панорамой города днем и небесными объектами вечером. Приятным подарком для детей и родителей стала и детская площадка “Деревянная



Мобильный планетарий на выставке "Умный ребенок". 2015 г.



Детская площадка "Деревянная сказка".

сказка", оформленная также на территории Планетария.

Астрономы-любители Перми помогают в телескопы проводить наблюдения Солнца, Луны, планет Солнечной системы. Хорошим помощником в этом стал солнечный телескоп "Coronado". Мы первыми в России создали систему демонстрации "живого" Солнца на "внутреннем" куполе Звездного зала.

В течение почти полувековой деятельности Пермский планетарий и его сотрудники были отмечены заслуженными наградами: почетными знаками, медалями, дипломами и грамотами Федерации космонавтики России, Ассоциации планетариев России, администраций края, города и района.

Популярность нашего Планетария растет, насыщенная творческая жизнь продолжается, сегодня

его позиционируют как один из культурных брендов Прикамья, который рекомендовал себя как идеальный партнер для активных, творчески мыслящих людей, работающих в различных жанрах и на любых площадках города. Планетарий считается одним из социально значимых для города учреждений культуры.

Т.Л. БАЛТИНА,
директор

Пермского планетария

Наблюдения полного солнечного затмения 9 марта 2016 г. в Индонезии

С.А. ЯЗЕВ,
доктор физико-математических наук
Астрономическая обсерватория ИГУ
ИСЗФ СО РАН

8–9 марта 2016 г. состоялось очередное полное солнечное затмение. Это было повторение через сарос затмения, наблюдавшегося

26 февраля 1998 г. На этот раз лунная тень “пробежала” по акватории Тихого океана в районе Юго-Восточной Азии – по территории

Малайзии и Индонезии. Максимальная продолжительность полной фазы в районе Каролинских островов составила 4 мин 09 с.

С каждым годом растет количество наблюдателей затмений, прибывающих в пределы полосы полной фазы со всего мира. Увеличивается и число российских непрофессиональных наблюдателей, среди которых, тем не менее, немало опытных астрофотографов и любителей астрономии. Если на остров Шпицберген в марте 2015 г. рискнули поехать далеко не все “охотники за затмениями” (Земля и Вселенная, 2015, №№ 4, 5), то приэкваториальная Индонезия привлекла около сотни наблюдателей из России, отправившихся



Солнечная корона 9 марта 2016 г. Фото А. Мананникова.

в путешествие главным образом на собственные средства.

Вариантов для выбора места наблюдений было немало – в Индонезии насчитывается более 17 тыс. островов, более трети из них – обитаемые. Многие острова оказались и в пределах полосы полной фазы. Однако влажный экваториальный климат Индонезии, с большим количеством осадков, заставлял будущих участников всерьез беспокоиться о благоприятных погодных условиях в день затмения. Важно отметить, что март в Индонезии – такой период – “разделяющий” дождливый и сухой сезоны; поэтому вероятность хорошей погоды было крайне трудно оценить заранее. Большинство российских наблюдателей выбрали самые восточные острова Индонезии, и практика показала, что это был правильный выбор. Именно здесь, благодаря многолетним данным, шансы на ясное небо (оставаясь в целом не очень высокими) были все-таки несколько выше, чем в западной части тихоокеанского государства. Кроме того, учитывая тенденцию здешней погоды к формированию облачности над сушей, было предпочтительно расположить наблюдательные пункты на восточных побережьях выбранных островов. В этом случае затмение

можно было видеть над морем, тогда как облачность оставалась за спиной наблюдателя.

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ПУНКТЫ,
ВЫБРАННЫЕ РОССИЙСКИМИ
ТУРИСТАМИ

Остров Суматра.

В г. Палембанг работала семейная экспедиция С. Масликова (Новосибирский планетарий). К сожалению, наблюдения оказались неудачными – в просветы между облаками удалось увидеть только частные фазы затмения.

Остров Тидоре. Здесь были успешно выполнены наблюдения командой из 35-ти участников, основу которой составила российская группа под эгидой образовательного проекта “Intellect Tour” (руководители Е. Горбова и С. Короткий).

Участники этой группы: М. Семёнов, А. Олешко

и С. Короткий получили серию качественных изображений короны с разными экспозициями. Здесь же наблюдали затмение Л. Кошман, Е. Леонтьева и Е. Сухобокова (Московский планетарий), Н. Николаев (Московский городской Дворец детского юношеского творчества), А. Сельянов. Помимо этой группы на небольшом острове находились еще не менее ста наблюдателей со всего мира (преимущественно китайцев и японцев), а также примерно 20 русскоязычных туристов.

Остров Пулау-Маре.

Удачные съемки затмения (несмотря на легкую дымку) выполнили Александр Мананников и Наталья Горшкова. В наблюдениях на этом острове также принимали участие Дмитрий Пасека, Игорь Пастухов и Владимир Данчишин.



У берегов острова Хальмахеры. Фото С. Язева.

Остров Хальмахера.

Здесь работали М. Гаврилов, С. Язев, Д. Чулков и П. Ларин. Незадолго до начала полной фазы в поселке Були на восточном побережье острова (где разместились наблюдатели) пошел дождь. С. Язев, Д. Чулков и П. Ларин попытались на автомашине догнать уходящий в тучах “просвет”, отправившись в сторону поселка Маба. К сожалению, это не привело к успеху – удалось увидеть только частные фазы. Зато М. Гаврилов смог отснять полную фазу затмения на берегу моря в пос. Були сквозь просвет в облаках, сформировавшийся буквально за несколько минут до начала полной фазы.

В одном из отелей на выезде из Були располагались также несколько десятков туристов, приехавших со всего мира, чтобы наблюдать затмение. Сюда же “подтянулись” на мотоциклах и мотороллерах около сотни местных жителей. Всем им удалось увидеть только частные фазы затмения.

Остров Пулау-Плум.

На этом небольшом острове работала группа под руководством известного французского наблюдателя затмений Ксавье Юбера; к его команде присоединились несколько россиян, включая А. Кривеньшеву, проживающего в настоящее время в США. Здесь съемки проводились



Яркие точки на краю темного диска Луны – “четки Бейли”. Фото С. Короткого.

сквозь дымку, через “просветы” в облаках.

По-видимому, список российских наблюдателей не полон.

КТО В НАШЕ ВРЕМЯ
НАБЛЮДАЕТ КОРОНУ?

В целом кампанию – 2016 по наблюдению солнечного затмения можно считать для российских наблюдателей успешной. Несмотря на то, что на некоторых островах во время полной фазы затмения развивалась дымка (а кое-где и облачность) – подавляющему большинству наблюдателей удалось провести фотосъемки небесного явления – от частных фаз, “четок Бейли” и “бриллиантового кольца” – до

фотографирования короны с разными экспозициями. Комплексная компьютерная обработка серии фотографий, полученных М. Семёновым и А. Олешко (выполнена В. Юферевым) позволила получить превосходные изображения тонкой структуры солнечной короны 9 марта 2016 г.

Особенностью проекта–2016 стало то, что отдельные группы наблюдателей, работавшие на разных островах Индонезии, общались между собой. Еще до начала наблюдения затмения была достигнута важная договоренность об обмене данными; это означало, что шансы на успех существенно повысились – вероятность того, что



“Бриллиантовое кольцо” – рядом с ярким краем Солнца, выглядывающим из-за Луны, виден крупный хромосферный протуберанец сложной формы. Фото М. Гаврилова.

хотя бы кому-то повезет, была довольно высокой. Этот подход позволяет компенсировать фактический отказ российских государственных астрономических учреждений финансировать такие экспедиции по наблюдению затмения, вероятно, прежде всего по экономическим причинам; сказывается и определенная смена системы приоритетов – многие гелиофизики уже не считают наблюдения затменной короны актуальными. Отчасти это так, поскольку внеатмосферные обсерватории регулярно фотографируют корональную структуру, не нуждаясь

в наблюдениях затмений. Съёмки на спутниках проводятся в спектральных линиях за пределами видимого диапазона и информация о короне в интегральном свете с космических аппаратов не поступает (за исключением изображений верхней короны с низким разрешением космической солнечной обсерватории “SOHO”). Таким образом, эти данные не дают возможность дополнить непрерывный ряд фотонаблюдений “белой” короны, начатых еще в 1860 г. в ходе пионерских экспериментов А. Секки. Кроме того, есть и еще ряд задач, для решения которых не

обойтись без наземных съёмок короны во время затмений (они несопоставимо дешевле по сравнению со стоимостью внеатмосферных проектов).

В России только Иркутский государственный университет (при поддержке гранта Иркутского областного отделения Русского географического общества и компании “Tele-2”) организовал экспедицию, командировав в Индонезию профессиональных астрономов С. Язева и М. Гаврилова. Прочие, преимущественно любительские группы смогли действовать, привлекая для этого личные либо корпоративные средства.

Можно констатировать, что чисто профессиональные экспедиции в настоящее время заменяются так называемыми “гибридными” – когда привлекаются как государственные, так и корпоративные (спонсорские), а также личные средства. Это позволяет выполнять астрономические наблюдения, которые могут представлять научный интерес; при этом используемая любителями оптика и фототехника подчас отвечает самым высоким требованиям, что и продемонстрировала “кампания–2016”. Другое дело, что какие-то специальные задачи (например, с использованием поляризационной оптики) требуют специальной подготовки эксперимента

и могут решаться далеко не всеми потенциальными наблюдателями.

“КОРОНА–2016”

Подведем предварительные итоги наблюдений. Затмение 2016 г. наблюдалось на фазе “спада” 24-го цикла солнечной активности. Общая структура короны может быть уверенно отнесена к послемаксимальному типу (по классификации Э.Т. Несмяновича) – на высоких широтах были видны типичные “опалы” лучи. Следует отметить, что в южном полушарии лучи отклонялись от радиального направления в сторону плоскости экватора; в то время как лучи северного полушария – напротив, от экватора. В обоих полушариях в полярных областях отчетливо просматриваются

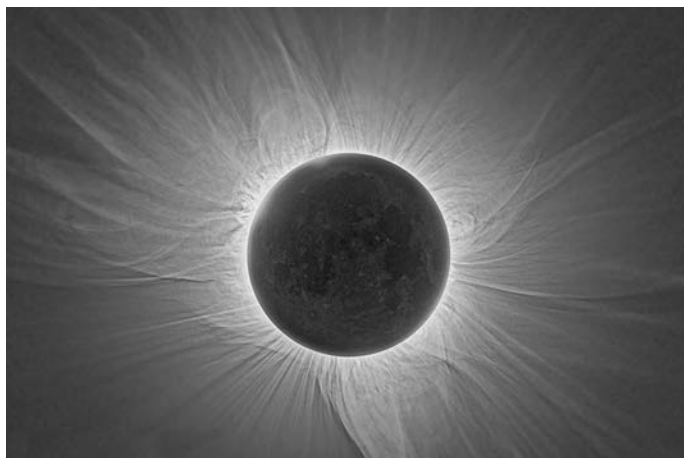


М. Гаврилов и С. Язев после окончания наблюдений. Остров Хальмахера, пос. Були (Индонезия). Фото Д. Чулкова.

системы лучевых структур (“перьев”, или “щеточек”) – впрочем, несколько отличающихся друг от друга. Полярные структуры на южном полюсе светила сформировались уже давно, вместе

с обширной южной корональной дырой (Земля и Вселенная, 2016, № 2). В то же время запоздалое формирование северной полярной корональной дыры (и видимо, связанная с этим обстоятельством существенная задержка магнитной реполюсовки в северном полушарии) привели к запоздалому формированию здесь полярных корональных структур – типичных для фазы “спада цикла”. Эта асимметрия выразилась в более четкой выраженности полярных “перьев” в южном полушарии (по сравнению с северным).

Данные, полученные в результате разных типов наблюдений, показывают, что текущий солнечный цикл уверенно вступил в фазу “спада”; наблюдения короны во время затмения



Комбинированное изображение солнечной короны 9 марта 2016 г. Получено А. Юфревым в результате обработки серии фотографий, выполненных А. Олешко и М. Семёновым.

это подтверждают. Яркая выраженная северно-южная “асимметрия развития” многих

проявлений солнечной активности позволяет прогнозировать относительно высокую

продолжительность как фазы “спада”, так и всего 24-го цикла в целом.

Информация

Новости о Плуtone

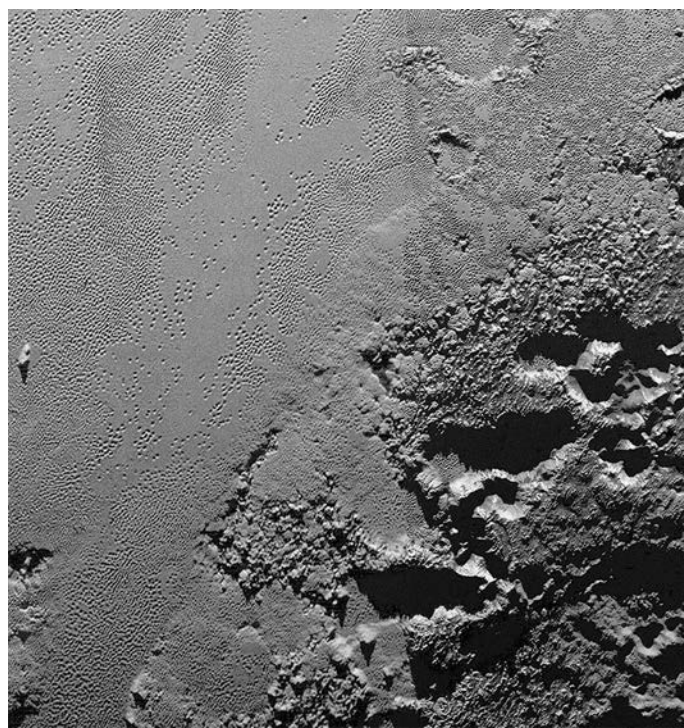
Во время сближения с Плутоном 14 июля 2015 г. АМС “Новые горизонты” получил серию снимков с разрешением 80 м, отображающую длинную полосу с северо-западного лимба планеты до терминатора в юго-восточной части (Земля и Вселенная, 2015, № 6, с. 94–98; 2016, № 1, с. 16–20; 2016, № 2, с. 106–107; 2016, № 4, с. 107). Ширина полосы меняется – от 90 км у северного лимба до 75 км на противоположном (южном) конце. Ракурс вдоль полосы также постепенно изменяется – на севере “взгляд” АМС скользит вдоль поверхности планеты, на юге – “смотрит” вертикально вниз. Мозаика отражает многочисленные детали различных типов ландшафтов на Плуtone, анализ которых поможет определить их происхождение и природу. Снимки, составившие мозаику, были получены камерой LORRI с расстояния 15,85 тыс. км от Плутона – за 23 мин до момента максимального сближения.

Снимки Плутона показали, что его поверхность отличается богатым разнообразием, геологической молодостью, а также демонстрирует явные

признаки продолжающейся тектонической активности. Одной из наиболее молодых областей считается Равнина Спутника, покрытая толстым слоем летучих льдов – азота, метана и угарного газа. Поверхность Равнины Спутника разбита на округлые, неправильной формы ячейки шириной 20–30 км, “центры” которых “приподняты” на несколько десятков метров относительно их краев. Для объяснения подобного рисунка были

предложены две гипотезы – теплового сжатия и конвекции. Оказалось, что толщина слоя летучих льдов на Равнине Спутника достигает 10 км, характерная скорость движения льдов составляет от полутора до нескольких сантиметров в год, а характерное время обновления поверхности – от полумиллиона до миллиона лет. Лед поднимается вверх в центрах ячеек и “тонет” на их краях.

Предполагается, что темные красноватые области



Горная область Крун Макула (*Krun Macula*) у границы Равнины Спутника на Плуtone. Снимок сделан 14 июля 2015 г. АМС “Новые горизонты” с расстояния 15 850 км (разрешение – 80 м). Фото NASA.

на Плуtone покрыты то- линами – сложными ор- ганическими веществами, содержащими азот. Одна из таких темных обла- стей – Крун Макула (Krun Macula) – изрезанная горис- тая местность, лежащая на 2,5 км выше Равнины Спутника и расположенная

у ее юго-восточного края. (“Крун” – хозяин подзем- ного мира в мандейской религии, “макула” – тем- нота.) Она покрыта множес- твом округлых, связанных между собой котловин шири- ной 8–13 км и глубиной 2,5 км. У границы Равни- ны Спутника эти котлови-

ны сливаются в глубокие долины протяженностью свыше 40 км, шириной до 20 км и глубиной до 3 км, причем дно долин оказы- вается покрытым азотным льдом.

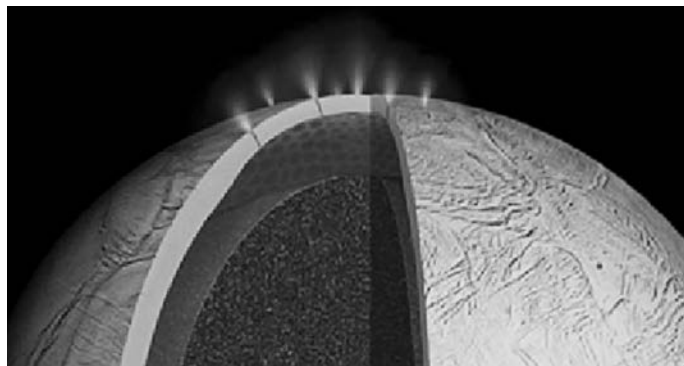
Пресс-релизы NASA, 25 мая и 15 июня 2016 г.

Информация

Фонтаны на Европе

Астроном У. Спарк и его коллеги из Института космического телескопа им. Хаббла (США) в течение 15 месяцев наблюдали спутник Юпитера Европа в моменты ее прохождения перед планетой-гигантом. За это время им удалось 10 раз исследовать спутник, и в трех случаях ученые заметили огромные фонтаны. Известно, что Европа имеет подледный океан толщиной около 100 км, содержащий вдвое больше воды, чем на Земле. Это – второе место в Солнечной системе, где может существовать бактериальная жизнь.

Начальная цель исследований состояла в том, чтобы определить, имеет ли Европа тонкую атмосферу (экзосферу). Спутник окутан очень разреженной кислородной атмосферой плотностью 10^{18} – 10^{19} молекул на квадратный метр. Используя транзитный метод, обнаружены выбросы струй водяного пара из трещин, вздымающихся до 220 км со скоростью 700 м/с над поверхностью Европы; они падают обратно на нее в виде дождя. Наличие



Несколько гейзеров высотой до 220 км на спутнике Юпитера Европе. Водяной пар проникает через трещины в ледяной коре толщиной около 100 км. Рисунок NASA.

фонтанов жидкости говорит о заманчивой перспективе собрать ее образцы во время полетов будущих АМС, не прибегая к бурению льда толщиной 5–20 км.

Напомним, что в 2012 г. группа ученых под руководством Л. Рота из Юго-Западного исследовательского института (США) зарегистрировала в спектре Европы сильную линию атомарного водорода L_{α} ($\lambda = 121,6$ нм). Свечение линий кислорода, исходящих от Европы, регистрировалось неоднократно, однако атомарный водород был обнаружен впервые в виде небольших облаков или струй. Они могли образоваться только в результате радиолитизации паров

воды энергичными заряженными частицами радиационных поясов Юпитера. В начале 2014 г. с помощью КТХ были открыты в южной околополярной области спутника гейзеры в отдельных точках – на 40° и 60° ю.ш., иногда бьющие из трещин.

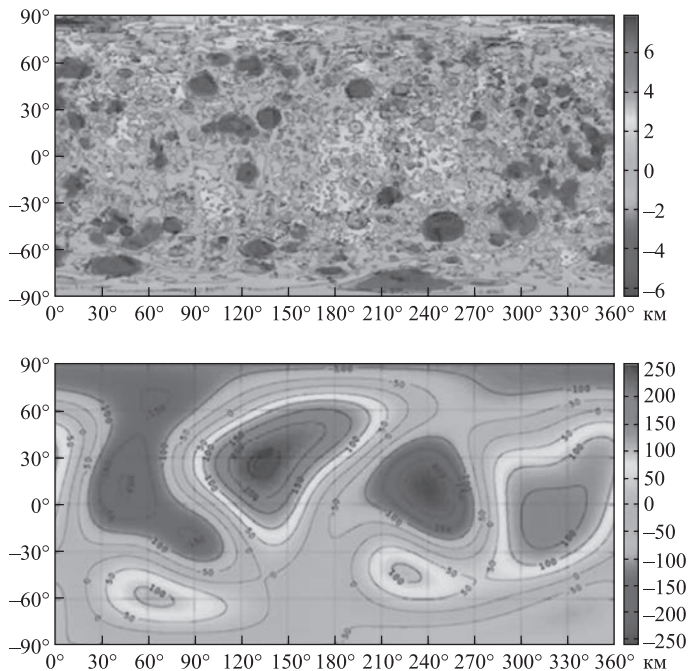
Европа стала вторым телом в Солнечной системе (после спутника Сатурна Энцелада), на поверхности которого есть вода. В 2005 г. фонтаны высотой 100 км на Энцеладе были обнаружены АМС “Кассини” (Земля и Вселенная, 2006, № 4, с. 110–111).

Пресс-релиз NASA, 27 сентября 2016 г.

“Доун”: новое о Церере

31 декабря 2015 г. и 8 января 2016 г. проведены коррекции орбиты АМС “Доун”, необходимые для обеспечения наилучшей съемки разрешением до 35 м карликовой планеты Цереры размерами $891,8 \times 962 \times 966,2$ км (Земля и Вселенная, 2015, № 1, с. 48; 2015, № 4, с. 102; 2015, № 5, с. 110). С этой целью включался ионный двигатель, который проработал 15 ч. Первые же снимки с низкой орбиты картографирования высотой 385 км показали разнообразные детали на поверхности карликовой планеты – осыпи и обрывы, трещины и разломы. Так, дно 32-км ударного кратера, расположенного к западу от 126-км кратера Данту, покрыто многочисленными хребтами и эскарпами, возникающими при частичном обрушении пород после его формирования. Аналогичные структуры можно видеть в Рее Сильвии – гигантском ударном бассейне на Весте. 19 января “Доун” снова вернулся к научной работе.

К настоящему времени снята вся поверхность Цереры за исключением небольшого пятка возле южного полюса, скрытого полярной ночью. Весна в южное полушарие Цереры придет в ноябре 2016 г.,



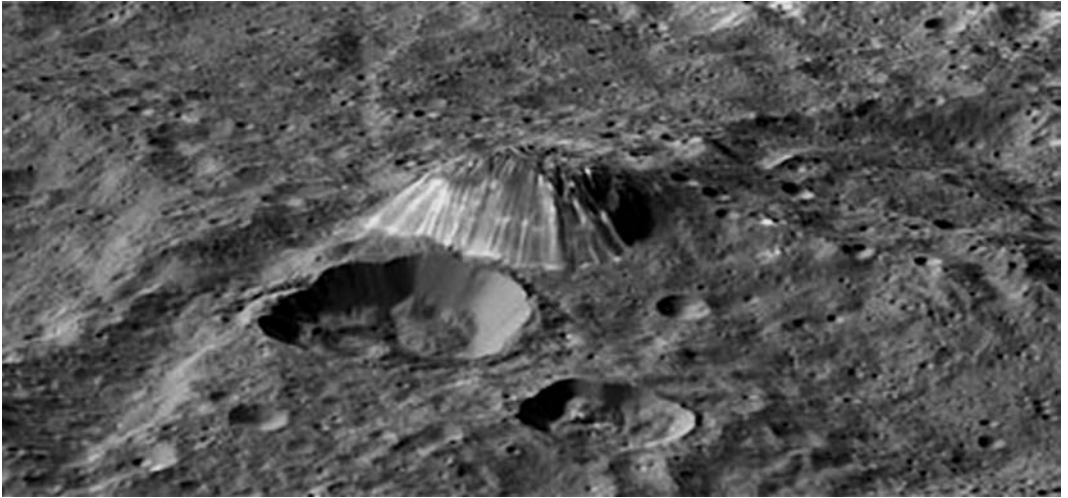
Топографическая карта Цереры (вверху) и карта гравитационных аномалий (внизу). Диапазон отклонений высоты от равновесного эллипсоида составляет от $-6,5$ до $+7,9$ км. NASA.

так что, возможно, камеры станции еще сфотографируют эту область в самом конце миссии.

Составлена топографическая карта Цереры и карта гравитационных аномалий. Считалось, что Церера лишена атмосферы и магнитного поля, поэтому АМС “Доун” не был оснащен магнитометром и плазменными детекторами. Однако в июле 2015 г., когда станция находилась на обзорной орбите на расстоянии 4400 км от Цереры, после вспышки на Солнце спектрометр нейтронов и гамма-лучей GRaND зафиксировал несколько всплесков электронов с энергиями от 20 до 100 кэВ. Средняя плотность Цереры

оказалась равной $2162,5 \pm 8$ $\text{кг}/\text{м}^3$, что говорит о наличии в ее составе значительного количества менее плотных веществ (водяного льда и солей). Сдвиг центра масс относительно геометрического центра карликовой планеты составляет всего $1,0 \pm 0,4$ км. Церера отличается очень низким альбедо (3,5%) с отдельными более яркими пятнами. Температура поверхности умеренная – 180–220 К.

Детектор нейтронов и гамма-лучей GRaND определяет элементный состав небесного тела путем регистрации спектра нейтронов и гамма-лучей, испускаемых атомами поверхности под действием



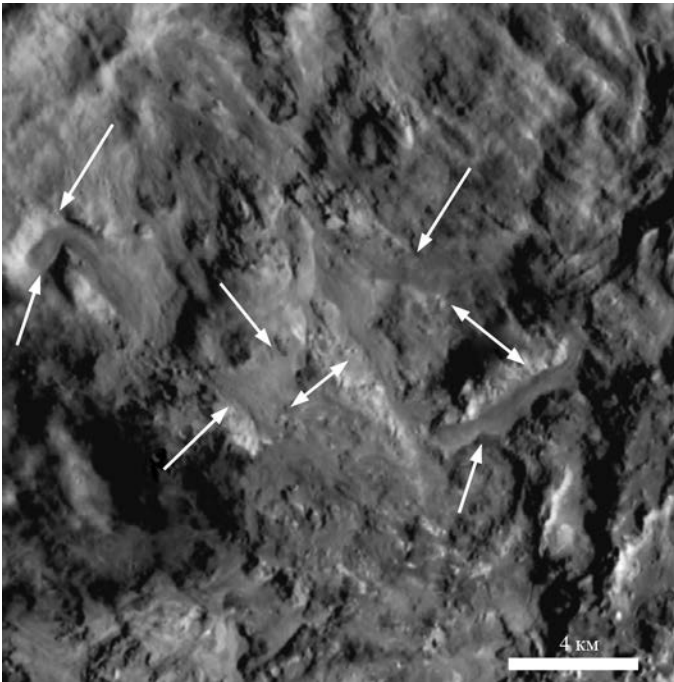
Гора Ахуна (*Ahuna Mons*) высотой 4,5 км на Церере. Снимок сделан 24 февраля 2016 г. АМС "Доун". Фото NASA.

космических лучей и энергичных заряженных частиц, приходящих от Солнца. В отличие от Весты, реголит Цереры богат гидратированными минералами, ее элементный состав

соответствует углистым хондритам. Как показали замеры, сделанные GRaND, околюполярные области Цереры могут содержать водяной лед уже на глубине в несколько десятков

сантиметров. Малый наклон оси вращения Цереры создает условия для постоянного затенения этих районов, лед мог сохраняться под метровым слоем реголита более миллиарда лет. Доля водяного льда в составе реголита в высоких широтах превышает 20% и плавно уменьшается к средним широтам.

На снимках Цереры был обнаружен необычный объект – гора Ахуна (*Ahuna Mons*), в основании представляющая эллипс размерами 13×21 км; ее высота – 4,5 км, крутизна склонов достигает $30\text{--}40^\circ$. По своим размерам, форме



Следы потоков мелкодисперсного материала в кратере Хаулани (*Haulani*) на Церере. Каналы обнаруживаются в сравнительно молодых кратерах. Снимок сделан 1 марта 2016 г. АМС "Доун". Фото NASA.

и морфологии эта гора уникальна для Цереры. Склоны покрыты радиальными линейными структурами с альбедо на 15% выше и на 5% ниже, чем среднее альбедо поверхности Цереры; они интерпретируются как борозды, оставленные скатившимися валунами. На вершине горы видны разломы длиной около 1,5 км, в центре вершины расположена небольшая депрессия. На склонах горы и на ее вершине очень мало ударных кратеров, что говорит о геологической молодости этого необычного объекта. Возраст горы оказывается меньше 72 млн лет. Помимо горы Ахуна на поверхности Цереры были обнаружены и другие конусы, меньших размеров.

Несколько ударных кратеров на Церере – таких, как Хаулани (Haulani),

Икапати (Ikapati), Оккатор (Occator), Яримба (Jarimba) и Кондос (Kondos) – отличаются плоским дном и следами от потоков. Они выглядят как гладкие равнины в форме лепестков, затопленные мелкодисперсным материалом и имеющие четкие границы. Некоторые потоки формируют “острова”, окружая блоки из более прочных пород. Как правило, каналы длинные и узкие – их ширина варьируется от нескольких десятков метров до 3 км. Возможно, эти детали рельефа вызваны криовулканическими процессами или движением ледников. Скорее всего, удар астероида индуцировал эндогенную активность Цереры, сформировались кратер Оккатор и теплое подледное озеро.

Начиная с 11 апреля, АМС “Доун” приступила

ко второму циклу съемки Цереры с низкой орбиты картографирования, которая продлится до 25 мая, а с 27 мая она начнет третий цикл. Также продолжается изучение состава поверхности карликовой планеты с помощью спектрометра видимого и инфракрасного диапазона VIR. Рассматривается вариант отправить станцию к третьему астероиду, но, к сожалению, топлива в баках осталось мало, и возможностей для маневра совсем немного. 1 июня 2016 г. АМС “Доун” находилась на расстоянии 3,42 а.е. от Земли и в 3,38 а.е. от Солнца. Радиосигналу с Земли требуется 57 мин для того, чтобы достичь борта станции и вернуться обратно.

*Пресс-релизы NASA,
январь – июнь 2016 г.*

Информация

“Юнона” исследует систему Юпитера

4 июля 2016 г. АМС “Юнона” (“Juno”), преодолев 2,8 млрд км, вышла на орбиту вокруг Юпитера: минимальной высотой 4700 км, максимальной – 8×10^6 км ($39 R_{\text{Ю}}$), с наклоном 89,8° и периодом обращения 53 сут 10 ч 03 мин. Задержка сигнала между Юпитером и Землей составляет 48 мин, поэтому выход на орбиту осуществлялся в автоматическом режиме (Земля

и Вселенная, 2016, № 5, с. 40). Станция должна будет сделать 37 витков вокруг планеты, каждый – с периодом в 14 сут. Планируется, что каждый раз при прохождении перицентра своей орбиты “Юнона” будет включать двигатели маневрирования, тем самым производя коррекцию орбиты. Программа исследований определена до февраля 2018 г., причина – воздействие мощной радиации Юпитера на бортовую электронику станции.

Одной из основных целей проекта станет изучение внутренней структуры газового гиганта. Прибор GSE (Gravity Science

Experiment – гравитационный научный эксперимент) путем измерения гравитационного поля Юпитера даст информацию о распределении масс внутри планеты, что, в свою очередь, поможет ответить на вопрос: твердое ли его ядро? В программу входят также исследование атмосферы и облаков до глубины 550 км, измерение количества аммиака и воды с помощью микроволнового радиометра MWR (Microwave Radiometer). По данным, полученным MWR, ученые надеются понять, как глубоко проникают циркуляции внутрь атмосферы, которые ранее обнаружил АМС “Галилео” (“Galileo”;

Земля и Вселенная, 2004, № 3). На “Юноне” установлено несколько приборов для изучения магнитосферы Юпитера и полярных сияний, распределение ионов вещества на его полюсах. Считается, что глубоко в атмосфере планеты под давлением в несколько миллионов атмосфер водород сжат настолько сильно, что переходит в металлическое состояние, становясь хорошим проводником электричества. За счет мощных токов, возникающих в жидком слое металлического водорода, рождается гигантское магнитное поле планеты-гиганта. Наблюдение полярных сияний в ультрафиолетовом диапазоне позволит лучше понять явления, происходящие в ее недрах. Станция оснащена только одной камерой для съемки в оптическом диапазоне JCM (JunoCam), аналогичной MARDI, установленной на марсоходе “Кьюриосити” (“Curiosity”); Земля и Вселенная, 2012, № 3, с. 110–112; 2015, № 1, с. 50–51).

На борту “Юноны” находится созданная итальянским космическим агентством памятная табличка, посвященная Галилео Галилею, а также три алюминиевые фигурки LEGO, изображающие Галилея, римского бога Юпитера и его жену Юнону. Юнона держит в руках увеличительное стекло – символ поиска истины, а Юпитер – молнию.

10 июля 2016 г. камера JCM станции сделала первый снимок Юпитера с расстояния 4,3 млн км



Северная полярная область Юпитера, изобилующая многочисленными штормами и атмосферными завихрениями. Изображение получено АМС “Юнона” 27 августа 2016 г. с расстояния 195 тыс. км от планеты-гиганта (разрешение – 1,8 км). Фото NASA/JPL.

на скорости 208 тыс. км/ч и 13 июля передала его на Землю. На снимке хорошо заметны особенности атмосферы Юпитера (в том числе знаменитое Большое Красное Пятно) и его крупнейших спутников Ио, Европы и Ганимеда. В районе полюса совершенно отсутствуют какие-либо признаки широтных зон и поясов, некоторые облака отбрасывают тени, так как находятся выше других. Среди уникальных данных – всплески радиоизлучения Юпитера, указывающие на эмиссию высокоэнергетических частиц, которые генерируют глобальные полярные сияния.

Первые снимки с высоким разрешением получены 27 августа 2016 г., когда “Юнона” прошла периеоивий – пролетела на самом близком расстоянии от планеты в 4200 км (в запланированных сериях сближения). За 6 ч “транзита” станция получила 6 Мб

уникальных данных, которые в течение полутора дней передавались на Землю (в том числе снимок северной полярной области Юпитера с расстояния 195 тыс. км до планеты). Вместо ожидавшихся регулярных воздушных потоков на изображении запечатлено множество штормов. Рядом с полюсом замечено множество светлых овалов – отдельных закрученных спирально штормовых систем, подобных земным ураганам. Между серой областью вблизи полюса (слева) и более светлой областью в средних широтах (справа) находится хорошо заметная волнистая граница из-за волн Россби – регулярных отклонений к северу и югу воздушных потоков, движущихся преимущественно с востока на запад.

*Пресс-релиз NASA,
27 сентября 2016 г.*

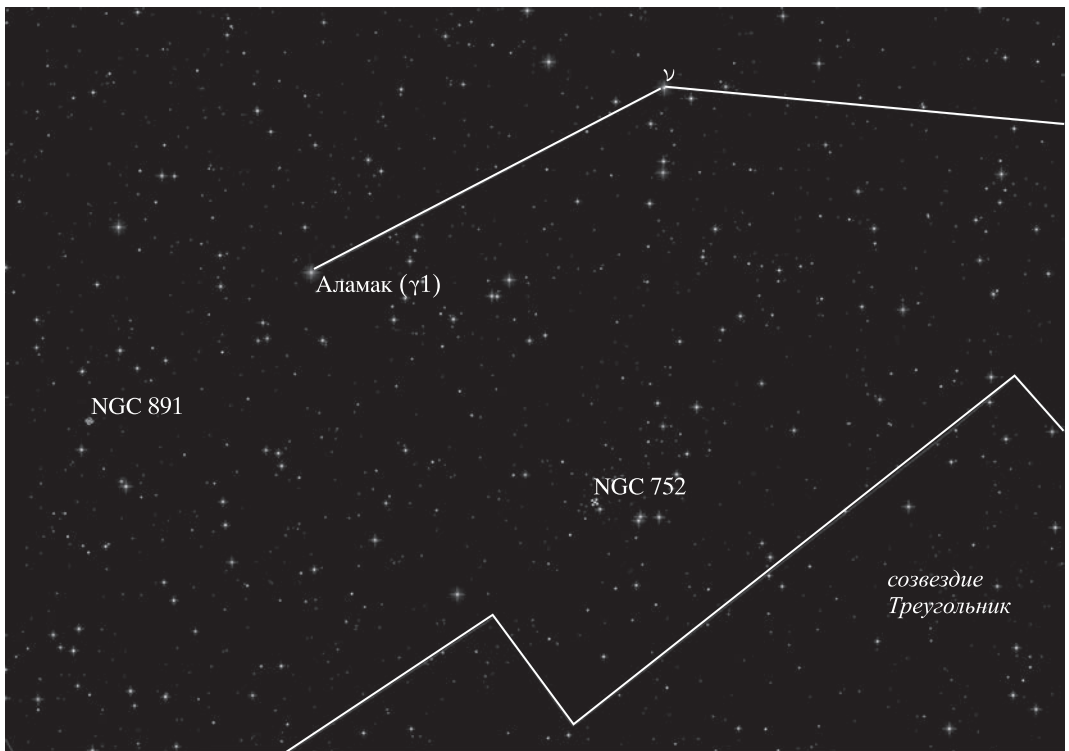
Астеризмы в созвездии Андромеды

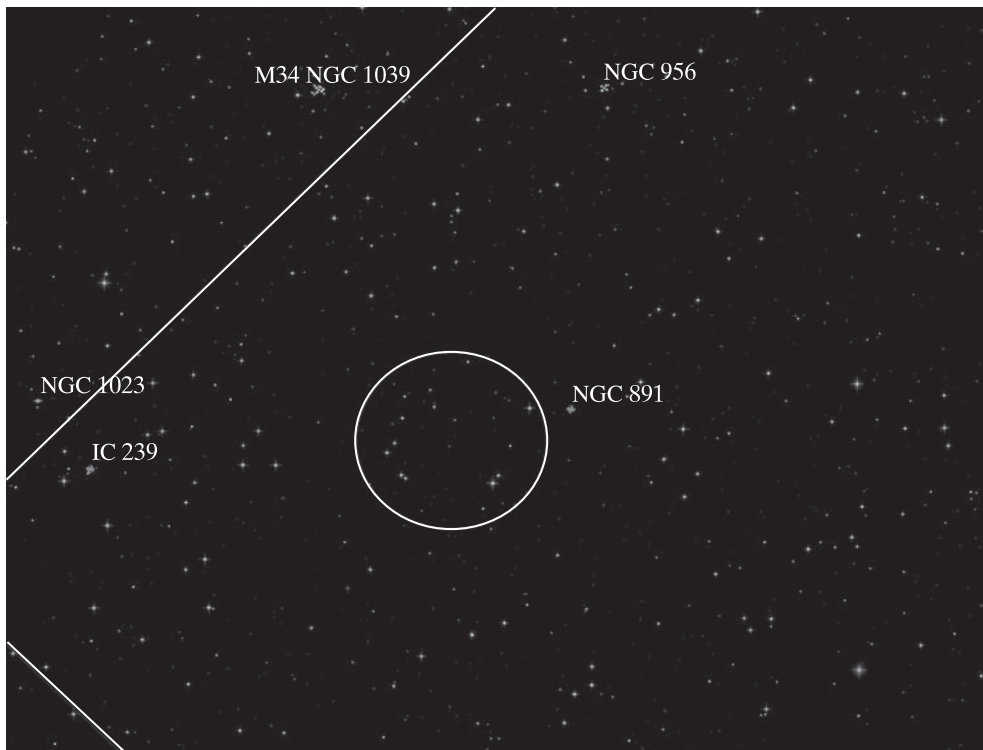
Осеннее созвездие Андромеды известно любителям астрономии в первую очередь благодаря знаменитой галактике. В ясные ночи ее легко увидеть невооруженным глазом; Шарль Месье внес ее в свой каталог под номером 31. Это – ближайшая к нам спиральная галактика

Туманность Андромеды (NGC 224), находящаяся в 2,52 млн св. лет от Земли. Рядом с М31 есть две карликовые эллиптические галактики – М32 (NGC 221) и М110 (NGC 205). Кроме них рекомендую обратить внимание на бинокулярные астеризмы (характерные, легко различимые на ночном

небе группы звезд, которые имеют сложившееся устойчивое название), которыми так богато это созвездие, а заодно изучить ближайшие объекты глубокого космоса. Фил Харрингтон в книге

Окрестности звезды γ Андромеды.





“Астеризмы” рассказывает о девяти объектах в созвездии Андромеды, интересных для астрономов-любителей.

Начнем с самого известного бинокулярного астеризма – **Харрингтон-14**, или **Клюшка для гольфа**, а также яркого звездного скопления, входящего в него. Харрингтон-14 расположен в юго-восточной части созвездия, недалеко от границы с созвездием Треугольника. Харрингтон пишет о “Клюшке для гольфа” следующее: *“Длинная цепочка звезд заканчивается рассеянным звездным скоплением, похожим на мячик для гольфа, чем-то напо-*

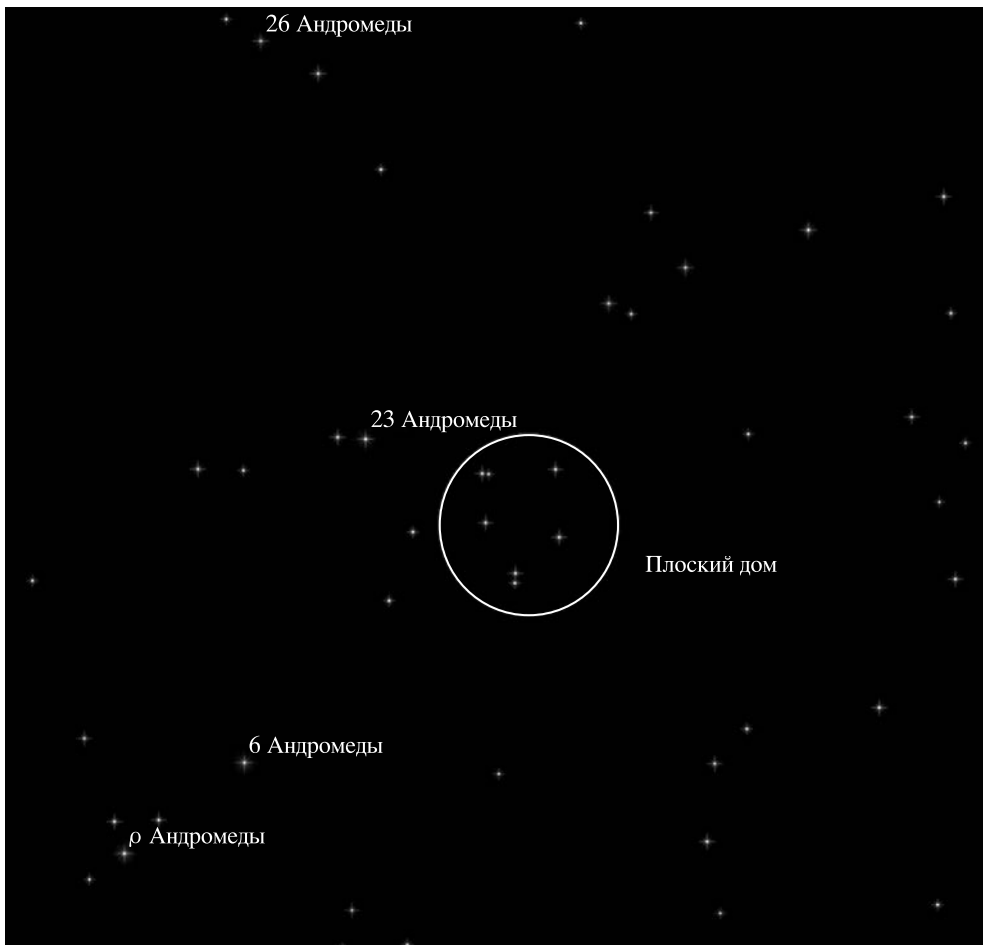
минающим другой знаменитый астеризм – Каскад Кембла в созвездии Жирафа”.

Рассеянное звездное скопление, упомянутое Харрингтоном, обозначается как **NGC 752**. Это скопление можно наблюдать невооруженным глазом; оно состоит из более 60 звезд до 8,9^m, занимает на небе площадь 75′. Интегральный блеск NGC 752 – 5,7^m. Довольно часто начинающие любители астрономии путают его с галактикой M33 (NGC 598) – Спиралью Треугольника: она обладает такой же “поверхностной” яркостью и даже аналогичными угловыми разме-

Астеризм Лейдерман-1.

рами. Для того, чтобы не ошибиться, рекомендуем воспользоваться биноклем; это позволит “разделить” скопление на отдельные звезды, а галактика будет видна в виде туманного пятна.

Чуть более чем в 4° северо-восточнее Харрингтона-14 находится красивейшая визуально-двойная звезда – γ Андромеды (или Аламак), система из желто-оранжевой звезды 2,1^m и голубоватого спутника 4,8^m. Между ними 9,6″, и они различимы даже в небольшой телескоп.



Астеризм Плоский дом.

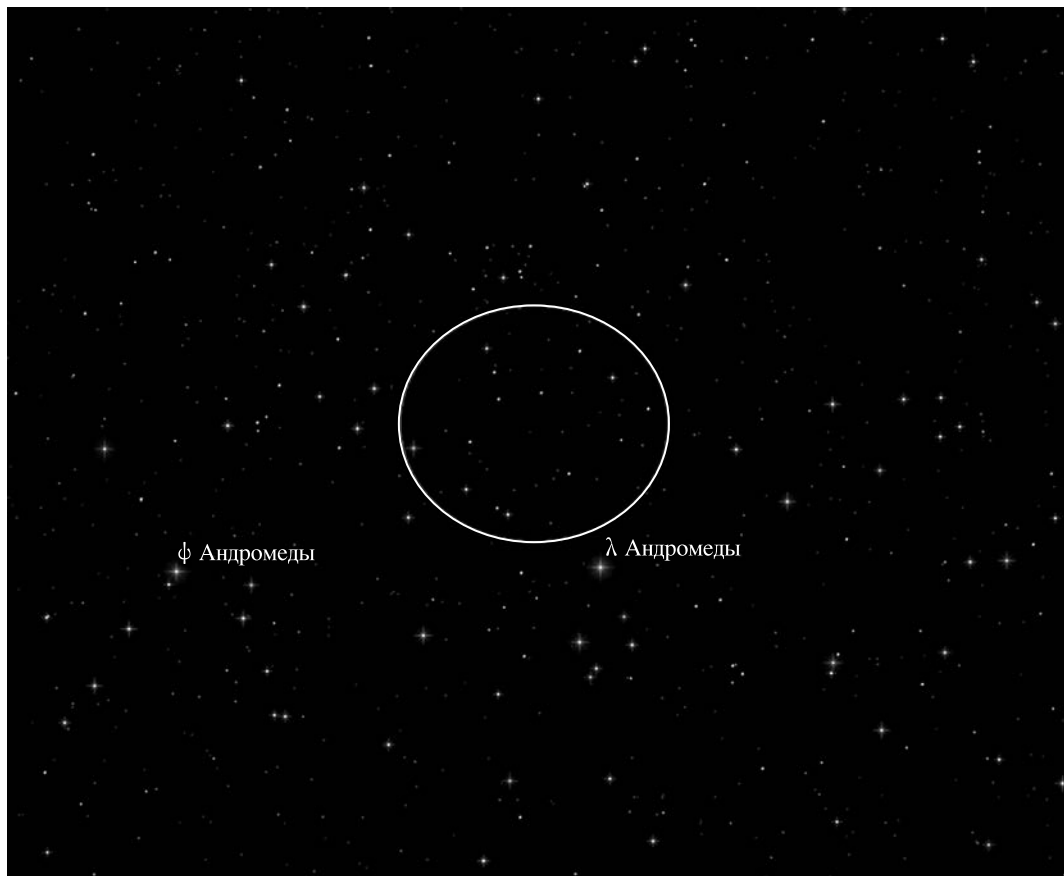
В мощные любительские инструменты можно увидеть, что γ Андромеды состоит из двух компонентов с блеском $5,1^m$ и $6,3^m$. Расстояние между ними – $0,5''$.

Западнее и выше Аламака расположена звезда ν Андромеды с блеском $4,1^m$; она видна невооруженным глазом и относится к тому же классу, что и Солнце. Именно эта причина заставила

астрономов выбрать ν Андромеды в качестве одного из первых кандидатов для поиска внесолнечных планет. В 1996 г. американские астрономы Дж. Марси и П. Батлер обнаружили первую планету в системе этой звезды – HD 9826b. Она почти в два раза меньше Юпитера, очень близко расположена к звезде и обращается вокруг нее за 4,7 земных суток! Скорее всего, на этой экзопланете нет жизни. Астрономы продолжили

исследовать систему, и в 1999 г. обнаружили еще две планеты, подобные Юпитеру. Одна из них превосходит наш гигант в 1,2 раза, вторая – в 10 раз.

Следующее открытие в системе ν Андромеды сделано в 2002 г., когда на расстоянии 750 а.е. от звезды астрофизики обнаружили ее спутник – красный гигант. Через восемь лет после открытия тусклого “компаньона” в системе звезды



была найдена четвертая планета – HD 9826 e.

Если мысленно провести линию между ν Андромеды и γ Андромеды и продолжить ее на 3° , то с помощью телескопа мы сможем обнаружить слабое светлое пятно – третий астеризм в Андромеде. Это галактика **NGC 891** с общим интегральным блеском около 10^m , открытая 27 августа 1783 г. В. Гершелем. По своей форме и размерам она похожа на нашу Галактику, но даже в крупный любительский инструмент разглядеть что-либо, кроме узкой ту-

манной полоски, нельзя. Если двигаться по линии ν Андромеды – γ Андромеды дальше, то сможем найти в созвездии Персея еще одно яркое и красивое рассеянное звездное скопление – M34 (NGC 1039). Почти в 3° восточнее M34 существует более слабое по блеску рассеянное звездное скопление **NGC 956**, входящее в созвездие Андромеды. Этот небольшой по площади ($8'$) астеризм с интегральным блеском около 9^m состоит из 17 звезд, блеск двух из них – 9^m , остальных – от 12^m до 13^m .

Астеризм ТПК 1.

По своей форме скопление напоминает букву S. Немного южнее NGC 891 расположен астеризм **Лейдерман-1**. Однако некоторые наблюдатели отмечают, что это просто область из 30 звезд, принятая когда-то за рассеянное звездное скопление.

Шестой астеризм, **Плоский дом**, находится в $1,2^\circ$ юго-западнее звезды 23 Андромеды ($5,7^m$). Он состоит из пяти звезд с блеском около 7^m . Лучше всего его наблюдать

в телескоп с “перевернутым изображением”, тогда звезды, образующие “трубу”, будут видны сверху. Ничего примечательного в окрестностях данного астеризма нет, кроме того, что в 5° восточнее есть Туманность Андромеды.

Теперь переместимся к другой звезде – λ Андромеды. Она расположена примерно на 8° западнее Плоского дома и светит как звездочка 4^m . В $1,1^\circ$ северо-восточнее звезды находится астеризм **ТПК 1**, похожий на трапецию. Это название – аббревиатура из первых букв фамилий открывателей: Ф. Теутша, А. Патрика и Ф. Кронберга. По словам финского любителя астрономии Джакко Салоранто, это “интересный астеризм, состоящий из 40 звезд на площади в 25 угловых минут. Правда, на фоне окрестных звезд астеризм выделяется не очень хорошо, и надо об-

ладать хорошей фантазией, чтобы разглядеть его”.

Изучая окрестности ТПК 1, стоит обратить внимание на три удаленных объекта разной природы. Первый – рассеянное звездное скопление NGC 7686, в 3° северо-восточнее λ Андромеды. Оно довольно яркое – $5,6^m$, занимает площадь $15'$. Второй объект, планетарная туманность **NGC 7662 Голубой снежок**, – это второй объект у другого астеризма. Для его поиска надо провести линию между κ Андромеды ($4,1^m$) и звездой η Андромеды ($6,0^m$); на расстоянии $2/3$ от первой мы заметим голубоватую слегка туманную звездочку $9,5^m$ – это и есть NGC 7662. Ее угловой размер достаточно велик – $17''$, что соответствует угловому размеру диска Сатурна вблизи противостояния. В $1,5^\circ$ южнее туманности расположена галактика NGC 7640. Ее интеграль-

ный блеск равен 10^m , но уверенно распознать этот объект можно только при темном небе.

В заключение хотелось бы отметить еще один астеризм, хорошо видимый даже невооруженным глазом, – **Слава Фридриха II**. Он появился как новое созвездие, предложенное немецким астрономом И.Э. Боде в 1787 г. Описание объекта опубликовано в 1801 г. в “Уранографии” Боде; название дано в честь прусского короля Фридриха Великого. Международным астрономическим союзом это созвездие не признано, но четыре звезды (ι , κ , λ и ψ Андромеды) по-прежнему воспринимаются как астеризм Слава Фридриха II, похожий на зеркально отраженную букву “У” кириллицы.

*Ю.В. СОЛОМОНОВ
Рисунки взяты из книги
Ф. Харрингтона
“Астеризмы”*

НЕБЕСНЫЙ КАЛЕНДАРЬ: март–апрель 2017 г.

Таблица 1

ОСНОВНЫЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ

Дата	Время, ч	Событие
Март		
1	21	Луна проходит в 5° южнее Марса
2	2	Нептун вступает в соединение с Солнцем
2	13	Венера переходит от прямого движения к попятному
3	8	Луна в перигее
5	11	Луна в первой четверти
6	23	Меркурий в верхнем соединении с Солнцем
12	14	Полнолуние
14	21	Луна проходит в 2° севернее Юпитера
18	17	Луна в апогее
20	10	Весеннее равноденствие
20	10	Луна проходит в 3° севернее Сатурна
20	15	Луна в последней четверти
25	10	Венера в нижнем соединении с Солнцем
28	2	Новолуние
30	12	Луна в перигее
30	15	Луна проходит в 6° южнее Марса
Апрель		
1	9	Меркурий в наибольшей восточной элонгации (19°)
3	18	Луна в первой четверти
6	5	Сатурн переходит от прямого движения к попятному
7	21	Юпитер в противостоянии с Солнцем
10	4	Меркурий переходит от прямого движения к попятному
10	22	Луна проходит в 2° севернее Юпитера
11	6	Полнолуние
12	23	Венера переходит от попятного движения к прямому
14	5	Уран в соединении с Солнцем
15	10	Луна в апогее
16	18	Луна проходит в 3° севернее Сатурна
19	9	Луна в последней четверти
20	5	Меркурий в нижнем соединении с Солнцем
23	21	Луна проходит в 6° южнее Венеры

Таблица I (окончание)

Дата	Время, ч	Событие
26	12	Новолуние
27	16	Луна в перигее
28	9	Луна проходит в 6° южнее Марса
28	17	Покрытие Луной звезды Альдебаран (α Тельца)

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

Таблица II

ЭФЕМЕРИДА СОЛНЦА

Дата	α		δ		45°		55°		65°		
					восход	заход	восход	заход	восход	заход	
	ч	м	°	'	ч:м	ч:м	ч:м	ч:м	ч:м	ч:м	
Март	01	22	47	-07	41	06:39	17:49	06:51	17:37	07:12	17:17
	11	23	25	-03	49	06:21	18:03	06:27	17:58	06:35	17:49
	21	00	01	+00	08	06:03	18:16	06:01	18:17	05:58	18:20
	31	00	38	+04	03	05:44	18:29	05:36	18:37	05:21	18:51
Апрель	10	01	14	+07	51	05:25	18:41	05:10	18:56	04:44	19:23
	20	01	51	+11	26	05:08	18:54	04:46	19:16	04:07	19:55
	30	02	29	+14	41	04:52	19:07	04:23	19:35	03:30	20:28

Примечание. В таблице дано среднее солнечное время.

Пример. Определить время восхода Солнца 16 апреля 2017 г. в Москве (широта – 55° 45', долгота – 2° 30^м, 2-я часовая зона – московское время UT + 3^ч). Пользуясь

Таблицей II, интерполируем по широте значение времени восхода Солнца на 16 апреля, получаем 04^ч 54^м. Вычтем из него долготу места, прибавим 3^ч, получим 05^ч 24^м.

Таблица III

ЭФЕМЕРИДЫ ПЛАНЕТ

Дата	α		δ		m	d	F	Продолжительность видимости для разных широт, ч			Период видимости	
	ч	м	°	'				45°	55°	65°		
Меркурий												
Март	01	22	31,1	-11	31	-1,3	4,8	0,99	–	–	–	
	11	23	40,3	-03	30	-1,8	5,0	0,99	–	–	–	
	21	00	49,3	+05	44	-1,2	5,7	0,84	0,6	0,4	–	Вечер
	31	01	44,3	+13	19	-0,4	7,2	0,47	1,2	1,3	1,5	Вечер
Апрель	10	02	05,0	+16	02	1,9	9,7	0,13	–	–	–	
	20	01	50,3	+13	10	6,5	11,6	0,00	–	–	–	
	30	01	32,6	+08	34	2,8	11,3	0,09	–	–	–	

Таблица III (окончание)

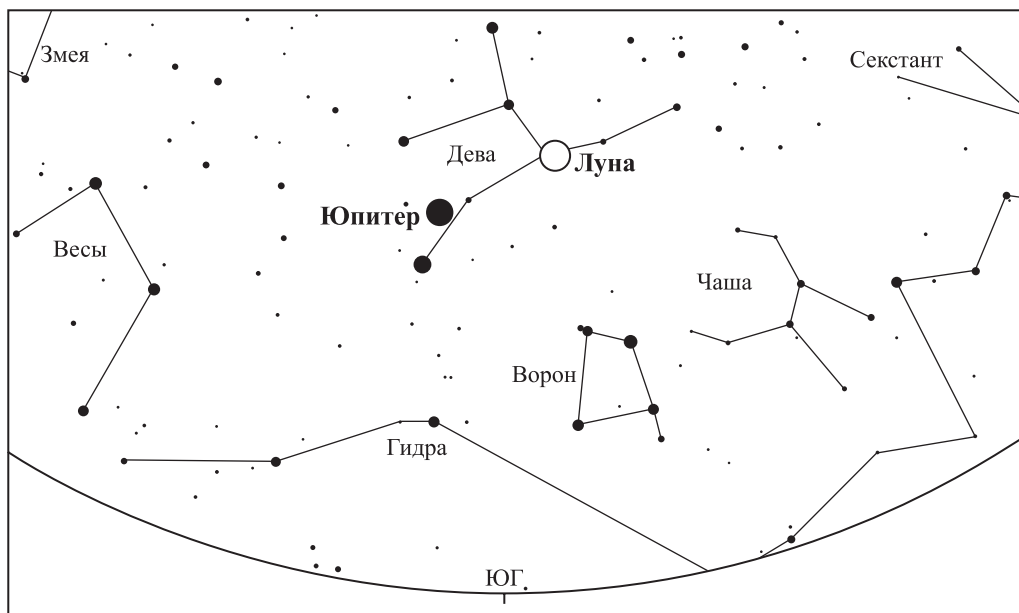
Дата	α		δ		m	d	F	Продолжительность видимости для разных широт, ч			Период видимости	
	ч	м	°	'				45°	55°	65°		
Венера												
Март	01	00	36,6	+10	53	-4,8	47,3	0,17	3,3	3,9	5,0	Вечер
	11	00	31,6	+12	00	-4,6	54,5	0,08	2,3	2,8	4,6	Вечер
	21	00	13,8	+10	45	-4,1	59,3	0,02	0,8	1,1	2,5	Вечер
	31	23	52,7	+07	32	-4,1	58,8	0,02	0,9	0,8	0,6	Утро
Апрель	10	23	41,0	+04	06	-4,5	53,1	0,08	1,4	1,2	–	Утро
	20	23	43,9	+01	58	-4,7	45,6	0,17	1,6	1,3	–	Утро
	30	23	59,3	+01	30	-4,7	38,8	0,26	1,8	1,3	–	Утро
Марс												
Март	01	01	25,9	+09	03	1,3	4,6	0,95	3,2	3,5	4,0	Вечер
	11	01	53,2	+11	47	1,4	4,5	0,95	2,9	3,2	3,7	Вечер
	21	02	20,8	+14	19	1,4	4,3	0,96	2,6	2,9	3,3	Вечер
	31	02	48,7	+16	37	1,5	4,2	0,96	2,4	2,6	2,9	Вечер
Апрель	10	03	17,0	+18	40	1,5	4,1	0,97	2,1	2,2	2,4	Вечер
	20	03	45,6	+20	26	1,6	4,0	0,97	1,7	1,8	1,3	Вечер
	30	04	14,6	+21	53	1,6	3,9	0,98	1,4	1,3	–	Вечер
Юпитер												
Март	01	13	24,0	-07	12	-2,2	42,1	1,00	9,4	9,4	9,1	Ночь
	11	13	21,0	-06	52	-2,2	43,0	1,00	9,9	9,7	9,3	Ночь
	21	13	17,1	-06	27	-2,3	43,7	1,00	10,2	10,0	9,5	Ночь
	31	13	12,6	-05	59	-2,3	44,1	1,00	10,5	10,0	9,3	Ночь
Апрель	10	13	07,9	-05	30	-2,3	44,2	1,00	10,4	9,8	8,8	Ночь
	20	13	03,2	-05	02	-2,3	44,0	1,00	9,9	9,2	7,9	Ночь
	30	12	58,8	-04	36	-2,3	43,6	1,00	9,2	8,4	6,8	Ночь
Сатурн												
Март	01	17	44,9	-22	05	0,5	16,2	1,00	3,4	2,6	–	Утро
	11	17	47,0	-22	05	0,5	16,5	1,00	3,7	2,8	–	Утро
	21	17	48,5	-22	05	0,5	16,7	1,00	4,1	3,1	–	Утро
	31	17	49,3	-22	05	0,4	17,0	1,00	4,4	3,3	–	Утро
Апрель	10	17	49,4	-22	04	0,4	17,3	1,00	4,8	3,6	–	Утро
	20	17	48,8	-22	03	0,3	17,6	1,00	5,1	3,8	–	Утро
	30	17	47,5	-22	02	0,3	17,8	1,00	5,6	4,1	–	Утро

Примечание. Координаты даны на момент 0^ч по Всемирному времени, F – фаза планеты.

ВИДИМОСТЬ ПЛАНЕТ

Меркурий 6 марта находится в верхнем соединении с Солнцем и начинает удаляться к востоку от него. С 21 марта начинается вечерняя видимость ближайшей к Солнцу планеты

на средних и южных широтах нашей страны, и с каждым днем продолжительность ее видимости увеличивается. Вскоре Меркурий появится и в северных широтах России, продолжитель-



Вид южной части звездного неба в Москве 14 марта 2017 г. в 2^ч 00^м по московскому времени. Отмечено положение Юпитера и Луны.

ность его видимости 31 марта достигает 1,2–1,5 ч, в зависимости от широты места наблюдения. В период видимости он перемещается по созвездию Рыбы, его видимый угловой диаметр увеличивается с 5,7'' до 7,2'', блеск уменьшается с 1,2^м до –0,4^м. 1 апреля Меркурий будет в наибольшей восточной элонгации и переходит в созвездие Овна, его блеск быстро “падает” и планета теряется в вечерних лучах светила. 10 апреля он переходит от прямого движения к попятному, а 20 апреля оказывается в нижнем соединении с Солнцем.

Венера перемещается по созвездию Рыбы. 2 марта она переходит от прямого движения к попятному и видна в вечернее время. 25 марта Венера находится в нижнем соединении с Солнцем, но расположена на значительном угловом расстоянии от него (более, чем на 8° севернее). В это время планета видна утром до восхода светила и вечером после его захода! Приближаясь к Солнцу на небесной сфере,

Венера становится ближе к Земле, ее видимый угловой диаметр (47,3'') величины растет с 1 марта и достигает 59,8'' в нижнем соединении с Солнцем. Затем она станет удаляться от Солнца на небесной сфере и становиться дальше от Земли, 30 апреля ее видимый угловой диаметр составит 38,8''. Продолжительность вечерней видимости Венеры уменьшается, в зависимости от широты места наблюдения, с 3,3–5,0 ч в начале марта и до 0,8–2,5 ч 21 марта. После нижнего соединения с Солнцем утренняя видимость Венеры в северных районах страны 31 марта составит 20 мин, а в апреле она покинет небосклон. На средних и южных широтах ее можно наблюдать в течение 0,9–0,8 ч 31 марта и 1,8–1,3 ч 30 апреля. Блеск Венеры в начале марта уменьшается с –4,8^м до –4,1^м, затем возрастает до –4,7^м в конце апреля. 12 апреля планета переходит от прямого движения к попятному. Луна пройдет недалеко от Венеры 25 апреля.

Марс приближается к Солнцу и виден вечером. Он перемещается по созвездиям: в начале марта – Рыб, 8 марта переходит в Овн, а 12 апреля окажется в Тельце. Продолжительность видимости Марса (в зависимости от широты места наблюдения) постепенно сокращается с 3,2–4,0 ч 1 марта до 1,4–0,0 ч 30 апреля. Марс удаляется от Земли, его видимый угловой диаметр уменьшается с 4,6" до 3,9", блеск снижается с 1,3^m до 1,6^m. Луна окажется вблизи Марса 1, 30 марта и 28 апреля.

Юпитер перемещается по созвездию Девы, немного севернее звезды Спика (α Девы), виден ночью. В апреле сложатся наилучшие условия его видимости. 7 апреля он будет в противостоянии с Солнцем, блеск планеты-гиганта

составляет около $-2,3^m$, видимый угловой диаметр – 42,1"–44,2". Облачный покров Юпитера можно наблюдать в небольшие инструменты, а галилеевы спутники даже в бинокль. Луна окажется вблизи него 14 марта и 10 апреля.

Сатурн виден утром на средних и южных широтах России в созвездии Стрельца. 6 апреля он переходит от прямого движения к попятному. Продолжительность видимости Сатурна увеличивается с 3,4–2,6 ч до 5,6–4,1 ч, в зависимости от широты места наблюдения. Блеск планеты-гиганта немного увеличивается (с 0,5^m до 0,2^m), видимый угловой диаметр растёт (с 16,2" до 17,8"). Луна окажется вблизи Сатурна 20 марта и 16 апреля.

ПОКРЫТИЕ ЛУНОЙ ЗВЕЗДЫ АЛЬДЕБАРАН

28 апреля в западных районах нашей страны, после захода Солнца, можно наблюдать покрытие Луной звезды Альдебаран (α Тельца). Эфемериды приведены для некоторых городов западного региона России, время указано Всемирное.

Москва: покрытие – 18 ч 29 мин, открытие – 18 ч 47 мин; Псков: покрытие – 18 ч 26 мин, открытие – 18 ч 47 мин; Калининград: покрытие – 18 ч 22 мин, открытие – 18 ч 59 мин; Краснодар: покрытие – 18 ч 28 мин, открытие – нет.

В. И. ЩИВЬЁВ
г. Балашиха,
Московская область

Дорогие читатели!

*Напоминаем, что подписаться на журнал
“Земля и Вселенная” вы можете с любого
номера по Объединенному каталогу
“Пресса России”
(I полугодие 2017 г.) во всех отделениях связи.
Подписаться можно и по Интернету,
воспользовавшись каталогом журналов
на сайте Почта России.
Подписной индекс – 70336.*

Планы колонизации Марса

27 сентября 2016 г. основатель и генеральный директор частной компании “SpaceX” Элон Маск анонсировал межпланетную транспортную систему (Interplanetary Transport System, ITS) для путешествий на Марс и другие планеты и представил амбициозный и авантюрный план колонизации Марса. Он объяснил причины колонизации Марса: человечество должно расселяться в космосе (эту идею обосновал К.Э. Циолковский), или ему грозит опасность исчезновения в результате какого-либо катаклизма. Разрабатываемая компанией “SpaceX” система состоит из четырех компонент: многоразовое использование ракеты-носителя и космического корабля, создание танкера-заправщика, дозаправка топливом корабля на околоземной орбите и добыча топлива вне Земли. Обнародованы предварительные сроки реализации проекта и приблизительные технические характеристики будущих ракет и грузовых кораблей.

По оценке Э. Маска, сейчас стоимость путешествия на Марс в расчете на одного человека составляет 10 млрд долларов. Для его осуществления

потребуется использовать эффективное ракетное топливо, иметь полностью возобновляемые ресурсы, которые можно производить прямо на Марсе, а также заправлять корабли на орбите перед отлетом.

На первом этапе для полетов на Марс будут использоваться грузовые корабли, запускаемые трехступенчатой ракетой-носителем сверхтяжелого класса “Тяжелый Фалькон” (“Falcon Heavy”) высотой 70 м, диаметром 12,2 м и стартовой массой 1420 т. Это “усиленная” версия

применяемой сегодня РН “Фалькон-9” (“Falcon-9”), которая выводит грузовые корабли “Дрэгон”, используемые на МКС. На каждой ступени новой ракеты будут работать по 9 ЖРД “Raptor” на жидком метане и кислороде общей тягой 22819 кН (тяга в вакууме – 24681 кН). В сентябре 2016 г. проведены первые испытания двигателя “Raptor” тягой 934 кН, проектный удельный импульс – 382 с. На низкую околоземную орбиту предполагается выводить грузы массой 54,4 т, на гео-



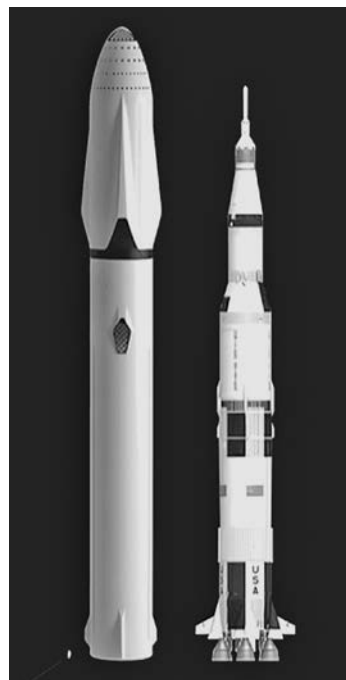
Глава компании “SpaceX” Э. Маск около макета кабины космического корабля “Дрэгон-2”. Фото “SpaceX”.

стационарную орбиту – 22,2 т, к Марсу – 13,6 т. В случае, если миссия пройдет успешно, “SpaceX” станет первой частной компанией, посадившей корабль на другой планете.

Намечен цикл функционирования межпланетной транспортной системы: сначала грузовой корабль выводится на околоземную орбиту, верхняя ступень ракеты-носителя отделяется от корабля и возвращается на Землю. На орбите корабль дозаправляется топливом, раскрываются панели солнечных батарей мощностью 200 кВт, затем он выводится на траекторию полета к Марсу. Согласно программе, запуски грузовых кораблей начнутся в 2018 г.: на Марсе будут развернуты базы и сброшены припасы для проживания первых колонистов. Каждый корабль сможет доставлять на Марс груз массой 2–3 т.

На втором этапе создается пилотируемый корабль “Красный дракон” (“Red

Dragon”) многоразового использования (12–15 раз), в котором помещается примерно 100 человек. Корабль длиной 49,5 м, диаметром 17 м и массой 1950 т оснащен 9 двигателями тягой 31 МН, на нем колонисты будут отправлять груз с Марса на Землю или улетать сами. Для запуска корабля предлагается применять ракету-носитель сверхтяжелого класса “BFR” диаметром 12 м и высотой 77,5 м. Общая высота комплекса (ракета-носитель и межпланетный корабль) – 122 м, стартовая масса – 10 500 т, масса топлива – 6 700 т. На первой ступени ракеты-носителя “BFR” установлено 42 двигателя общей тягой 128 МН, тяга в пустоте – 138 МН, из них 7 центральных на подвижных шарнирах. На низкую опорную орбиту она сможет выводить 550 т груза, а возвращать – 300 т. Это будет самая мощная в мире ракета-носитель, так как американская РН “Сатурн-5” имела стартовую



Сравнительные размеры ракет-носителей: “BFR” Э. Маска высотой 122 м и “Сатурн-5” – “Аполлон” (1968–1972) высотой 111 м. Рисунок “SpaceX”.



Инфраструктура колонии на Марсе. Слева – посадка грузового космического корабля. Рисунок “SpaceX”.

массу 2 965 т, высоту 110 м, выводила на околоземную орбиту 140 т (к Луне – 48 т), советская РН “Энергия” – 2 400 т, 59 м и 105 т соответственно. Ракета-носитель компании “SpaceX” будет использоваться для вывода корабля на орбиту многократно – до 1000 раз. Танкер на низкой околоземной орбите будет иметь массу 380 т, он применяется для дозаправки топливом корабля, планируется использовать танкер около 100 раз. Кроме того, планируется устанавливать

“заправки” для космических кораблей на других планетах – это позволит совершать путешествия в любые уголки Солнечной системы.

Колонизация Марса может занять около 100 лет, для этого на планете необходимо создать условия и построить автономный город для жизни около миллиона человек. Каждый корабль сможет вместить до 100 человек, поэтому компания “SpaceX” собирается использовать примерно тысячу кораблей, которые

совершат около 10 тыс. полетов продолжительностью в среднем 115 сут. Э. Маск предупредил, что смертность среди первых поселенцев на Марсе наверняка будет выше средней, поэтому желающим принять участие в эксперименте стоит подготовиться к этому. Вслед за Марсом предполагается запускать корабли к дальним планетам, например к спутнику Юпитера Европе.

*Пресс-релиз
компании “SpaceX”,
27 сентября 2016 г.*

Мнение редакции: Необходимо отметить – для того, чтобы реализовать этот грандиозный проект, предстоит решить множество научно-технических, медико-биологических, технологических и других проблем, а также затратить огромные средства, что совершенно невозможно для

частной компании; нужны совместные усилия ведущих космических держав и поддержка правительств в течение многих десятилетий. Скорее всего, это задача – не ближайшего столетия; тем более, что такую мощную ракету и такой огромный космический корабль вряд ли возможно создать.

Заведующая редакцией Л.В. Рябцева
Зав. отделом космонавтики и геофизики С.А. Герасютин
Художественные редакторы О.Н. Никитина, М.С. Вьюшина
Оператор ПК Н.Н. Токарева
Корректоры Р.В. Молоканова, Т.И. Шеповалова
Обложку оформила О.Н. Никитина

Сдано в набор 12.10.2016. Подписано в печать 15.12.2016. Дата выхода в свет 27.12.2016

Формат 70 × 100^{1/16} Цифровая печать
Уч.-изд.л. 12,3 Усл. печ.л. 9,1 Усл.кр.-отт. 2,5 тыс. Бум.л. 3,5

Тираж 263 Зак. 948 Цена свободная

Учредители: Российская академия наук, Президиум

Издатель: ФГУП «Издательство «Наука»

117997 Москва, Профсоюзная ул., 90

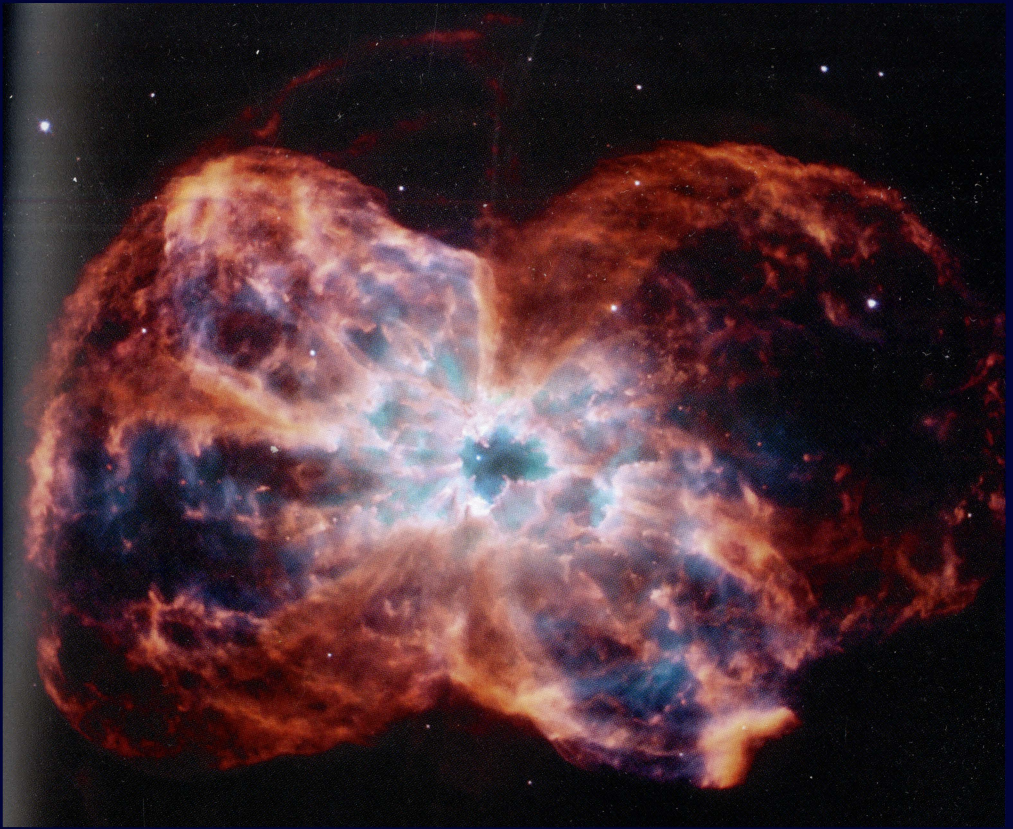
Адрес редакции: 117997, Москва, Профсоюзная ул., 90

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

E-mail: zevs@naukaran.com

Оригинал-макет подготовлен ФГУП «Издательство «Наука»

Отпечатано в ФГУП «Издательство «Наука» (Типография «Наука») 121099, Москва, Шубинский пер., 6





"НАУКА"
Индекс 70336