

ISSN 0044-3948

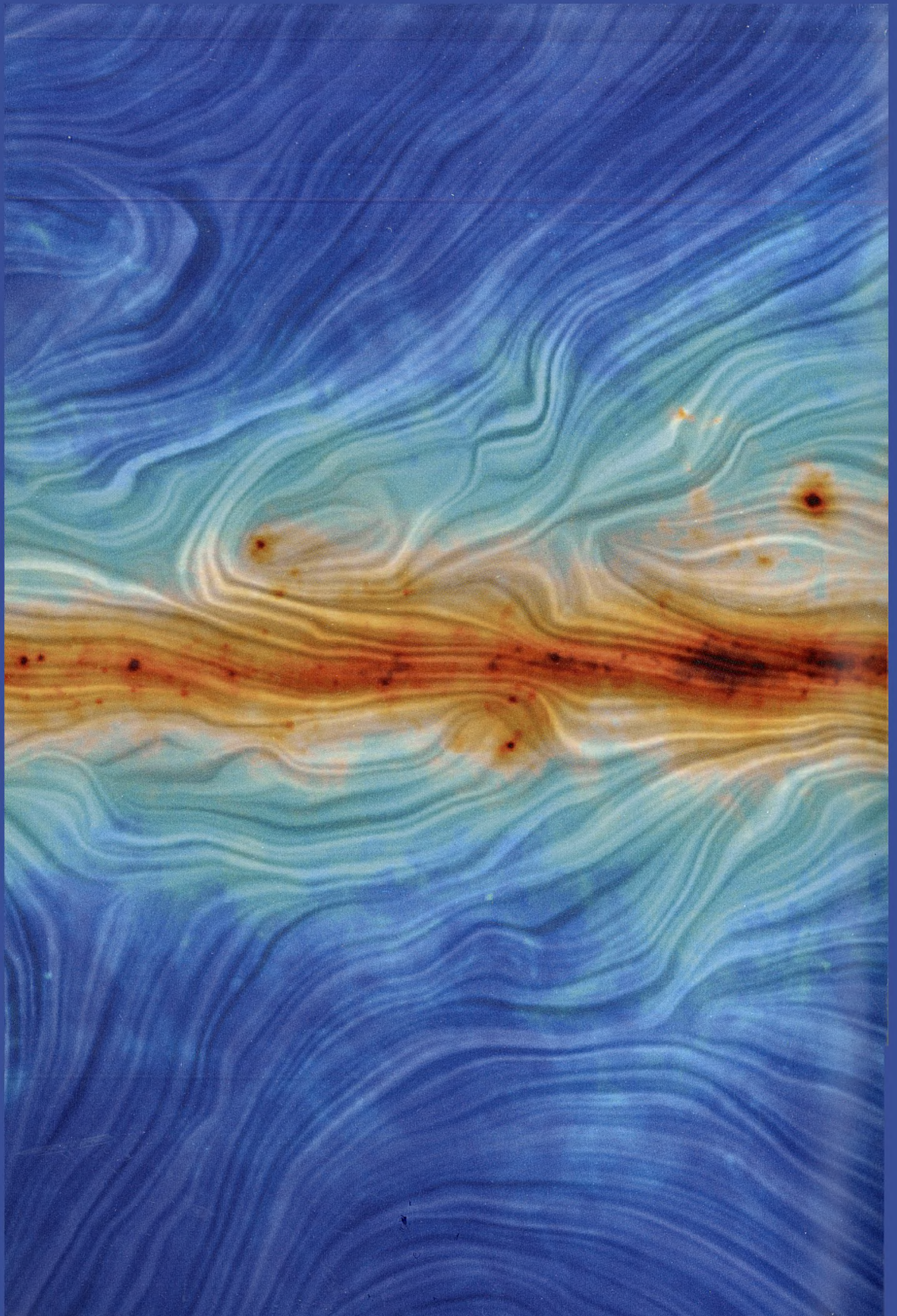
ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

КОСМОНАВТИКА
АСТРОНОМИЯ
ГЕОФИЗИКА

МАЙ-ИЮНЬ

3/2015





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

3/2015



Новости науки и другая информация:

Структуры вокруг черной дыры в Галактике [31]; Солнце в декабре 2014 г. – январе 2015 г. [32]; Магнитное поле нашей Галактики [35]; Испытание новой российской ракеты-носителя [86]; Приоритеты “Радиоастрона” [93]; Планетная система у необычного пульсара [99]; Новые проекты РКК “Энергия” [103]; Первый испытательный полет “Ориона” [106]; Юбилейные снимки туманности “Орел” [108]; Уникальные снимки “Розетты” [110]

Новые книги: Биография Тихонравова (Б.Н. Кантемиров. “Михаил Клавдиевич Тихонравов (1900–1974)” [61]

В номере:

- 3 МОСКАЛЕНКО И.В. Космическая обсерватория “Ферми”: шесть лет на орбите
20 КИСТОВИЧ А.В., ПОКАЗЕЕВ К.В. Аномальные волны – реальность!

КОСМОНАВТИКА XXI ВЕКА

- 36 СИНЯВСКИЙ В.В. Ядерная энергетика в околоземном космосе

ЛЮДИ НАУКИ

- 48 ГЕРАСЮТИН С.А. Энрико Ферми
56 ШАМАЕВ В.Г. Гавриил Сергеевич Хромов
62 ЕРОХИН Н.С. Семён Самойлович Моисеев

ГИПОТЕЗЫ, ДИСКУССИИ, ПРЕДЛОЖЕНИЯ

- 67 БАРКИН Ю.В. Механизм эндогенной активности планетарных процессов

АСТРОНОМИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

- 77 УГОЛЬНИКОВ О.С. 2014: Олимпиада на Новгородской земле

ЛЮБИТЕЛЬСКОЕ ТЕЛЕСКОПОСТРОЕНИЕ

- 88 САРЫЧЕВ Д.С. Телескоп Ньютон-500 мм на монтажке Добсона

ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ

- 94 ЩИВЬЁВ В.И. Небесный календарь: июль – август 2015 г.

ХРОНИКА СЕЙСМИЧНОСТИ ЗЕМЛИ

- 100 СТАРОВОЙТ О.Е., ЧЕПКУНАС Л.С., КОЛОМИЕЦ М.В. Сейсмичность Земли в июле – декабре 2014 г.



Zemlya i Vselennaya (Earth and Universe); Moscow, Maronovsky per., 26, 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; Chief Editor V.K. Abalakin; Deputy Editor V.M. Kotlyakov; Deputy Editor S.P. Perov

На стр. 1 обложки: Первый старт российской РН тяжелого класса “Ангара-А5” с космодрома Плесецк. 23 декабря 2014 г. Фото Роскосмоса (к стр. 86).

На стр. 2 обложки: Карта магнитного поля Млечного Пути, охватывающая область $\pm 30^\circ$ от экватора. Окрашена в искусственные цвета. По данным, полученным космической обсерваторией “Планк” в 2009–2013 гг. ESA (к стр. 35).

На стр. 3 обложки: Художественное изображение окрестностей пульсара PSR B0943+10 в созвездии Льва. Пульсар, возможно, окружают аккреционный диск и планеты. Пушчинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН, 2015 г. (к стр. 99).

На стр. 4 обложки: Комета C/2014 Q2 Лавджоя с волнистым ионным хвостом. Сложная структура хвоста объясняется влиянием переменного солнечного ветра на струи газа, выбрасываемого из ядра кометы. Синий цвет обусловлен рекомбинацией молекул окиси углерода, зеленый цвет комы вокруг головы создают молекулы диуглерода. Комета вернется через 8 тыс. лет. Астрономы В. Попов и Э. Иванов смонтировали это изображение из трех снимков, полученных 11 января 2015 г. Обсерватория Ирида (Болгария).

In this issue:

- 3 MOSKALENKO I.V. Fermi Space Observatory: Six Years in Orbit
20 KISTOVICH A.V., POKAZEYEV K.V. Anomalous Waves are Real!

COSMONAUTICS OF THE 21st CENTURY

- 36 SINYAVSKY V.V. Nuclear Energy in Near-Earth Space

PEOPLE OF SCIENCE

- 48 GERASYUTIN S.A. Enrico Fermi
56 SHAMAEV V.G. Gavriil Sergeevich Khromov
62 EROKHIN N.S. Semyon Samoylovich Moiseyev

HYPOTHESES, DISCUSSIONS, SUGGESTIONS

- 67 BARKIN YU.V. Mechanism of Endogenous Activity of Planetary Processes

ASTRONOMICAL EDUCATION

- 77 UGOLNIKOV O.S. 2014: Olympiad on Novgorod Land

AMATEUR TELESCOPE MAKING

- 88 SARYCHEV D.S. Newtonian 500-mm Telescope on Dobsonian Mount

AMATEUR ASTRONOMY

- 94 SHCHIV'YOV V.I. Celestial Calendar: July–August 2015

CHRONICLES OF THE EARTH'S SEISMICITY

- 100 STAROVOYT O.E., SHEPKUNAS L.S., KOLOMIETS M.V. Seismicity of the Earth in July – December 2014

Редакционная коллегия

Главный редактор член-корреспондент РАН В.К. АБАЛАКИН,
Зам. главного редактора академик В.М. КОТЛЯКОВ,
Зам. главного редактора доктор физ.-мат. наук С.П. ПЕРОВ,
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,
член-корр. РАН 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

Космическая обсерватория “Ферми”: шесть лет на орбите

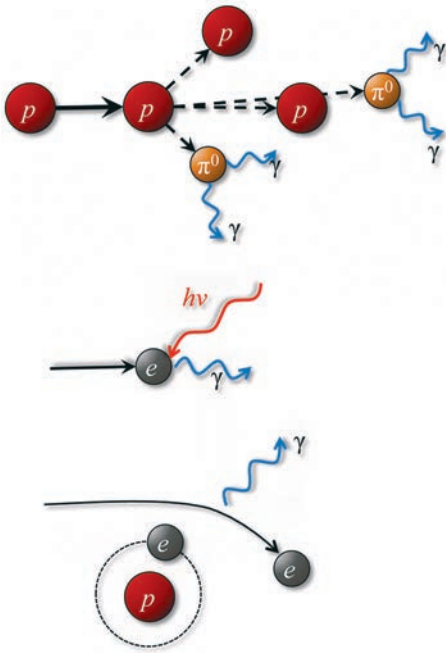
И.В. МОСКАЛЕНКО,
доктор философии
Стэнфордский университет

Шесть лет исследует гамма-излучение Вселенной американская космическая обсерватория “GLAST” (Gamma-ray Large Area Space Telescope – космический широкоугольный гамма-телескоп), названная в честь Энрико Ферми (Земля и Вселенная, 2008, № 5, с. 58). За это время “Ферми” зарегистрировал более 5×10^{11} фотонов с энергией более 20 МэВ. За первые два года наблюдений число обнаруженных источников гамма-излучения увеличилось в 10 раз – почти до 2 тыс., открыты новые типы



источников, получена уникальная информация об источниках уже известных типов. Благодаря необычному режиму работы обсерватория каждые три часа

обозревает все небо. В статье рассказывается об истории гамма-астрономии, о принципах детектирования фотонов наивысших энергий, о гамма-телескопе на обсерватории “Ферми” и основных результатах исследований. Накопленные данные будут исследовать еще не одно поколение астрофизиков. Наблюдения астрофизических источников и космологических процессов во Вселенной с помощью обсерватории “Ферми” продолжатся до 2018 г.



$pp \rightarrow \pi^0(\gamma 2) + X$ –
рождение и распад
нейтральных пионов

обратное
комptonовское
рассеяние

тормозное
излучение

ГАММА-АСТРОНОМИЯ

Гамма-излучение представляет собой наиболее высокоэнергичную часть электромагнитного спектра. Границы его условно начинаются с 0,5 МэВ (энергия покоя электрона), где заканчивается рентгеновский диапазон, и ничем не ограничены со стороны больших энергий. Как и во всех других диапазонах электромагнитного излучения, в гамма-диапазоне излучение переносят фотоны. Энергия этих фотонов настолько велика, что, сталкиваясь между собой, они могут рождать элементарные частицы, как правило это пары электрон–позитрон. Энергия фотона на нижней границе гам-

ма-диапазона в 500 тыс. раз превышает энергию фотона видимого света, а самые высокоэнергичные фотоны, которые наблюдались с помощью атмосферных черенковских телескопов, имеют энергию, превышающую энергию фотонов видимого света в 10^{14} раз (100 ТэВ).

Гамма-телескопы отличаются от обычных телескопов. Общее у них только название и предназначение – наблюдать электромагнитное излучение от астрономических объектов. Фотоны таких высоких энергий невозможно сфокусировать с помощью линзы или зеркала, так как они не преломляются и не отражаются обычной оптикой. Поэтому использует-

Основные процессы генерации гамма-излучения высоких энергий.

ся метод конверсионной техники: первичный гамма-квант превращают в электрон-позитронную пару, измеряют направления движения частиц и их энергии, а затем восстанавливают направление прихода первоначального фотона. На первых гамма-телескопах для этого использовали искровые камеры. На гамма-телескопе нового поколения, обсерватории “Ферми”, установлены полупроводниковые кремниевые пластины, которые определяют с большой точностью координаты проходящих через них заряженных частиц. Такая же технология применяется и в наземных ускорителях. Энергию фотона измеряют, зная полное энергосодержание порожденного им каскада в калориметре. Чтобы каскад развился и полностью поглотился в инструменте, подбирают соответствующие материалы и конструкцию телескопа.

Гамма-излучение в диапазоне до нескольких МэВ возникает в результате ядерных переходов, радиоактивного распада, аннигиляции электронов и позитронов. Они

дают характерные линии в спектре, что и помогает их идентифицировать. Другие процессы с участием электронов, такие как обратное комптоновское рассеяние, тормозное и синхротронное излучение в сильных магнитных полях, дают непрерывный спектр. В зависимости от энергии электронов тормозное излучение и обратное комптоновское рассеяние способны генерировать фотоны и значительно больших энергий. Также при высоких энергиях рождаются нейтральные пионы и каоны в протон-протонных и протон-ядерных столкновениях. Нейтральные пионы распадаются на два фотона с одинаковой энергией, которые испускаются в противоположные стороны. Если пион движется, что и происходит в реальности, то из-за релятивистских эффектов испущенный вперед фотон в системе наблюдателя обладает более высокой энергией, чем фотон, испущенный назад. Нейтральные каоны тоже распадаются, часто с испусканием одного или более нейтральных пионов, которые, в свою очередь, распадаются с испусканием двух фотонов.

Во всех процессах, приводящих к генерации гамма-излучения с энергиями более 10 МэВ (тормозное излучение, обратное комптоновское рассеяние, рождение и

распад нейтральных пионов), участвуют частицы высоких энергий. Таким образом, регистрация гамма-излучения от астрономических источников позволяет изучать процессы ускорения частиц и их взаимодействие с межзвездным веществом, в том числе в других галактиках.

ИСТОРИЯ ГАММА-АСТРОНОМИИ

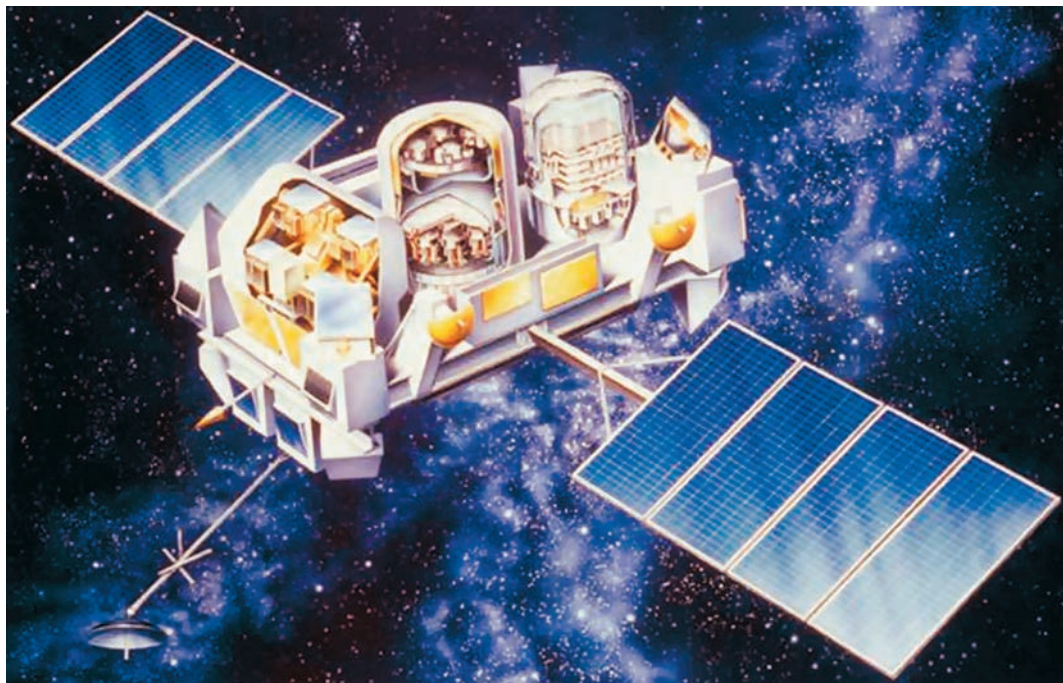
Рентгеновская и гамма-астрономия – две самые молодые области астрономии, возникшие с началом космической эры, однако первые эксперименты были выполнены ранее на стратосферных баллонах (Земля и Вселенная, 2009, № 2; 2014, №№ 5, 6). Атмосфера не пропускает рентгеновское и гамма-излучение, поэтому прямые наблюдения в таких диапазонах невозможны, хотя не прямые наблюдения допустимы при энергии выше 50 ГэВ. Экранирующее свойство атмосферы сохраняет земную биосферу от губительного гамма-излучения.

В начале 1960-х гг. появились первые сообщения о наблюдении гамма-излучения приборами на космических аппаратах. Первые систематические исследования выполнены на американском ИСЗ “OSO-3” (Orbiting Solar Observatory – орбитальная солнечная обсерватория), запущенном

в 1967 г. Обсерватории удалось зафиксировать 621 фотон с энергиями свыше 50 МэВ. Несмотря на плохое угловое разрешение – 25°, было обнаружено, что Галактическая плоскость является ярким источником гамма-излучения, был зафиксирован избыток излучения в направлении Галактического центра, а также обнаружено изотропное излучение.

Примерно в это же время группа американских военных спутников “Вела” (“Vela”), предназначенных для контроля за соблюдением СССР договора 1963 г. о частичном запрещении испытаний ядерного оружия, обнаружила всплески гамма-излучения, не имеющие отношения к ядерным взрывам. Эти гамма-всплески стали предметом исследования научной группы, созданной в Лос-Аламосской национальной лаборатории. Анализируя время прихода импульсов, зарегистрированных различными спутниками, удалось установить внеземную природу гамма-всплесков (Земля и Вселенная, 1993, № 2). Теперь известно, что они представляют собой результат мощнейших взрывов в глубинах Вселенной.

В ходе первых экспериментов удалось доказать существование космического гамма-излучения, и целью гамма-



астрономов стало увеличение эффективных размеров телескопа и улучшение углового разрешения. Первая половина 1970-х гг. ознаменовалась запусками американского малого астрономического спутника “SAS-2” и европейской космической гамма-обсерватории “COS-B”. Приборы ИСЗ “SAS-2” зафиксировали около 8 тыс. фотонов с энергией выше 30 МэВ. Исследования подтвердили, что излучение высоких энергий идет от Галактической плоскости и центра Галактики. Было открыто гамма-излучение от пульсаров Краб (PSR B0531+21), Вела (PSR B0833-45, или PSR J0835-4510) и Геминга (PSR B0630+17; Земля и

Вселенная, 1998, № 6). Обсерватория “COS-B” проработала на орбите более семи лет и зафиксировала 200 тыс. фотонов. Впервые были получены подробные карты неба в гамма-диапазоне 300 МэВ – 5 ГэВ и составлен каталог из 25 источников.

Следующим этапом стал запуск в 1991 г. Комптоновской космической гамма-обсерватории “CGRO” массой 17 т. На ее борту находились четыре инструмента – детектор гамма-всплесков (BATSE), ориентированный сцинтилляционный спектрометр (OSSE), комптоновский телескоп (COMPTEL) и гамма-телескоп высоких энергий (EGRET), – работавшие

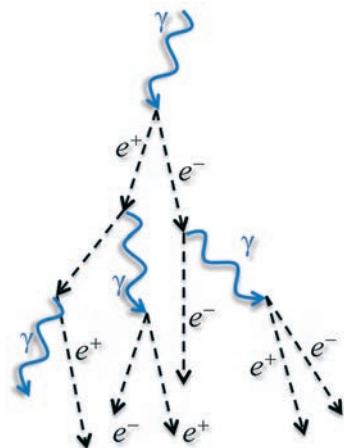
Комптоновская космическая гамма-обсерватория “CGRO”. На ней установлены инструменты: ориентированный сцинтилляционный спектрометр OSSE, комптоновский телескоп COMPTEL (в середине) и энергичный гамма-телескоп EGRET. По углам расположены детекторы гамма-всплесков BATSE. Рисунок NASA.

в диапазоне 20 кэВ – 30 ГэВ. Это стало уже настоящей революцией в гамма-астрономии! За девять лет исследований BATSE зарегистрировал 8021 вспышку, в том числе 2704 гамма-всплеска, 1192 солнечных вспышки, 1717 магнитосферных всплесков, 185 мягких гамма-

репитеров (нерегулярно вспыхивающие нейтронные звезды с очень сильным магнитным полем – магнетары) и 2003 других вспыхивающих источника. Прибор OSSE обнаружил интенсивную линию 511 кэВ, соответствующую аннигиляции позитронов, идущую из центральной части Галактики. Результатом исследований COMPTEL стал первый обзор неба в диапазоне 0,8–30 МэВ. В обзор вошли 63 источника, среди них – активные ядра галактик, пульсары, кандидаты в черные дыры, гамма-всплески и остатки сверхновых. Гамма-телескоп EGRET выполнил обзоры неба в нескольких диапазонах энергий и обнаружил 271 источник, включая 70 активных ядер галактик, радио-квазары и блазары, радиогалактику Центавр А (NGC 5128), Большое Магелланово Облако и шесть пульсаров. Не установлена природа 170 источников.

Гамма-излучение с энергиями свыше 50 ГэВ можно наблюдать с поверхности Земли, если использовать метод, основанный на регистрации черенковского излучения, возникающего в результате развития электромагнитного каскада в атмосфере. При взаимодействии с атомным ядром или электроном в верхних слоях атмосферы высокоэнергетический фотон рож-

дает пару электрон–позитрон, которые, в свою очередь, излучают фотоны тормозного излучения. Эти фотоны снова рождают пары, создавая электромагнитный каскад, который развивается до тех пор, пока энергия возникающих в каскаде фотонов не опустится ниже порога образования пар. Каскадные электроны и позитроны со скоростями, превышающими скорость света в среде, в данном случае в воздухе, генерируют черенковское излучение (излучение Вавилова – Черенкова), достигающее поверхности Земли. Вспышки черенковского излучения очень коротки – примерно 5 нс, их интенсивность – всего 50 фотонов/м² в пределах 100 м от оси каскада, максимум приходится на область ультрафиолета. Зафиксировать вспышки можно только в безлунные ночи, для этого нужны большие оптические зеркала. Кроме того, надо уметь отличать электромагнитные каскады от адронных, которых гораздо больше. Наземные гамма-телескопы получили название “атмосферные черенковские телескопы”. Они могут состоять из одного зеркала или быть объединены в группу похожих телескопов, то есть иметь несколько зеркал, одновременно нацеленных на один и тот же участок неба. На-



Электромагнитный ливень в атмосфере, образованный энергичным гамма-квантом.

пример, гамма-телескоп **H.E.S.S.** в Намибии состоит из четырех зеркал диаметром 10 м, расположенных на расстоянии 60 м, его энергетический диапазон – 100 ГэВ – 100 ТэВ. Совсем недавно появились и водяные черенковские телескопы, которые состоят из множества огромных водяных баков с фотоумножителями внутри. При этом каскад, начавшийся у границы атмосферы, продолжает развиваться в воде внутри баков, где и регистрируется фотоумножителями. К последним относятся телескопы **Milagro** в штате Нью-Мексико, США (Земля и Вселенная, 1994, № 5, с. 50) и **HAWK** (Высокогорная водяная черенковская гамма-об-



серватория) в Мексике, построенная с применением опыта использования Milagro. Все черенковские телескопы для наблюдения гамма-излучения помещают высоко в горах. Детекторы черенковского излучения используются и в других видах телескопов, таких как подземные нейтринные телескопы в США, Канаде, Японии и в самом большом ледяном нейтринном телескопе **IceCube** (США) объемом 1 м^3 , расположенном под антарктическим льдом на глубине 1,5 км на Южном полюсе. С конца 1970-х гг. такие детекторы регистрируют ча-

стицы высоких энергий в Баксанской нейтринной обсерватории Института ядерных исследований РАН (Земля и Вселенная, 2011, № 1). Похожим образом работают и подводные нейтринные телескопы, например NT-200 в озере Байкал (Россия) и Antares в Средиземном море (Франция).

В настоящий момент только с помощью черенковских телескопов (атмосферных и водяных) можно наблюдать гамма-излучение в диапазоне не более 10^{12} эВ. Атмосферные черенковские телескопы обладают хорошим угловым разрешением, обычно лучше $0,1^\circ$.

Антенна диаметром 10 м на одном из четырех идентичных атмосферных черенковских телескопов H.E.S.S. в Намибии. Фото H.E.S.S.

Но их поле зрения невелико, всего несколько градусов, энергетическое разрешение – 30–40% для отдельного зеркала и 10–15% – для группы телескопов. Водяные черенковские телескопы позволяют вести круглосуточные наблюдения, их поле зрения практически охватывает все небо над установкой, угловое разрешение приближается к $0,1^\circ$ при энергиях более 10 ТэВ (HAWK), а энер-

гетическое разрешение в этом диапазоне не превышает 50%. Водяные черенковские телескопы создают серьезную конкуренцию атмосферным телескопам.

ОБСЕРВАТОРИЯ «ФЕРМИ»

Космическая гамма-обсерватория “**GLAST**” была запущена 11 июня 2008 г. на круговую околоземную орбиту высотой 565 км, наклоном 25,58° и периодом обращения 95,6 мин. Вскоре после запуска она получила название “**Ферми**”

Высокогорный водный черенковский телескоп HAWK в Мексике площадью 150 м². Он состоит из 300 огромных баков с водой и фотоумножителями внутри. Фото HAWK.

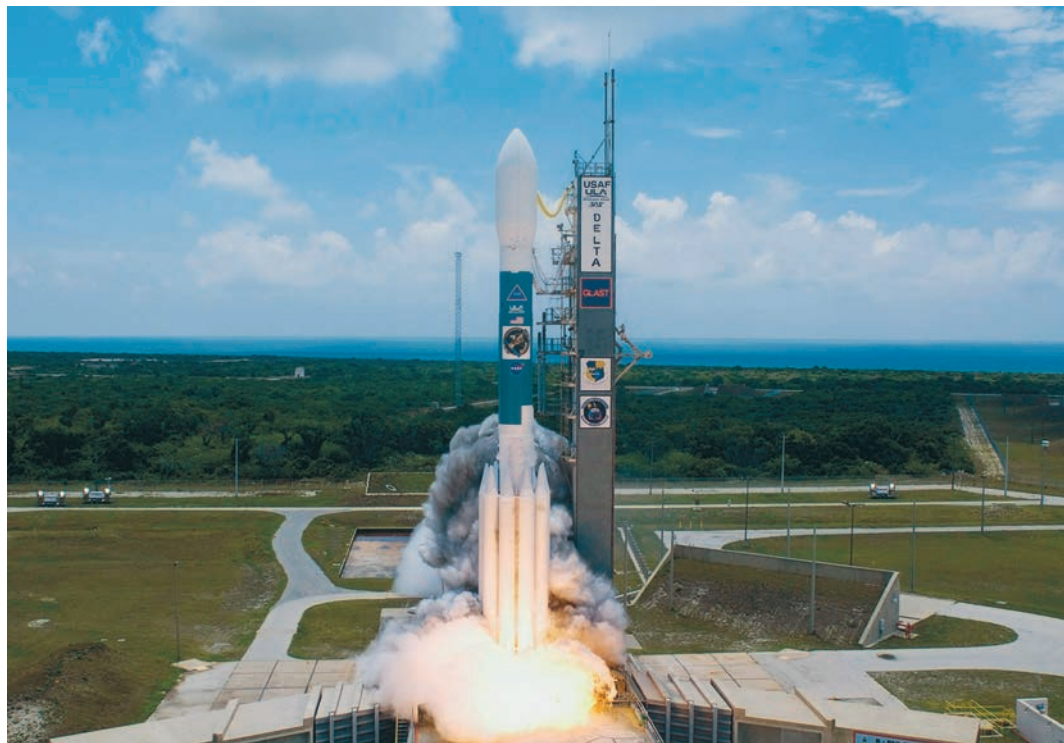
в честь выдающегося американско-итальянского физика, лауреата Нобелевской премии по физике Энрико Ферми. Ученый внес значительный вклад в развитие квантовой теории, физики частиц, ядерной и статистической физики. В 1942 г. в Чикагском университете под его руководством был создан первый ядерный реактор с самоподдерживающейся реакцией. В астрофизике Э. Ферми предложил статистический процесс ускорения частиц ударными волнами – основной механизм ускорения космических лучей, впоследствии подтвержденный наблюдениями.

Обсерватория “Ферми” размером 2,5 × 2,5 × 2,9 м и массой 4303 кг создана по программе международного сотрудничества США, Франции, Герма-

нии, Италии, Швеции и Японии. На телескопе установлено два инструмента: гамма-телескоп с большой эффективной поверхностью **LAT** (Large Area Telescope) и детектор гамма-всплесков **GBM** (Gamma-ray Burst Monitor). Детектор гамма-всплесков состоит из 14 отдельных приемников с полем зрения, покрывающим все небо, 12 из них работают в диапазоне энергий 8 кэВ – 1 МэВ, два – 150 кэВ – 40 МэВ. Детекторы обладают очень хорошими временным и энергетическим разрешениями и очень плохим угловым разрешением, достаточным, тем не менее, чтобы обеспечить целеуказание для гамма-телескопа LAT.

Основной инструмент, гамма-телескоп LAT, работает в диапазоне





20 МэВ – >300 ГэВ и включает 16 (4×4) идентичных модулей. Каждый модуль состоит из трекера и калориметра, весь инструмент окружен системой антисовпадений. Трекеры содержат по 18 кремниевых пластин из двух слоев, они обеспечивают измерение X- и Y-координат пролетевшей частицы. 16 верхних пластин покрыты тонким слоем вольфрама для конвертации начального фотона в пару электрон-позитрон. Калориметры содержат 96 кристаллов йодида цезия с примесью таллия CsI(Tl) размером $2,7 \times 2,0 \times 32,6$ см каждый. Кристаллы расположены в восьми слоях для измерения полной

энергии каскада (первоначального фотона или частицы) и измерения профиля каскада. Последний необходим для дополнительного разделения адронных каскадов, в основном инициированных протонами, и электромагнитных ливней. Вертикальная толщина калориметра составляет 8,6 радиационной длины (радиационная длина – это средняя толщина вещества, на которой энергия электрона уменьшается в e раз – в основном вследствие тормозного излучения), а всего инструмента – 10,1. Детектор антисовпадений снаружи телескопа, обладающий эффективностью 99,97%, необхо-

Запуск космической обсерватории “GLAST” (“Ферми”) ракетой-носителем “Дельта-2” с мыса Канаверал 11 июня 2008 г. Фото NASA.

дим для отсеечения фона заряженных частиц, который на много порядков превышает поток гамма-квантов. Собранный инструмент выглядит как прямоугольный параллелепипед с сечением $1,8 \times 1,8$ м и с высотой 0,72 м. Его поле зрения – 2,4 стер, эффективная площадь – 8 тыс. см^2 , энергетическое разрешение – 10–15%, угловое – $3,5^\circ$ при 100 МэВ, достигающее примерно



Космическая гамма-обсерватория “Ферми” на орбите. Во врезке – эмблема проекта. Рисунок NASA.

0,1° при энергии фотона выше нескольких гигаэлектронвольт.

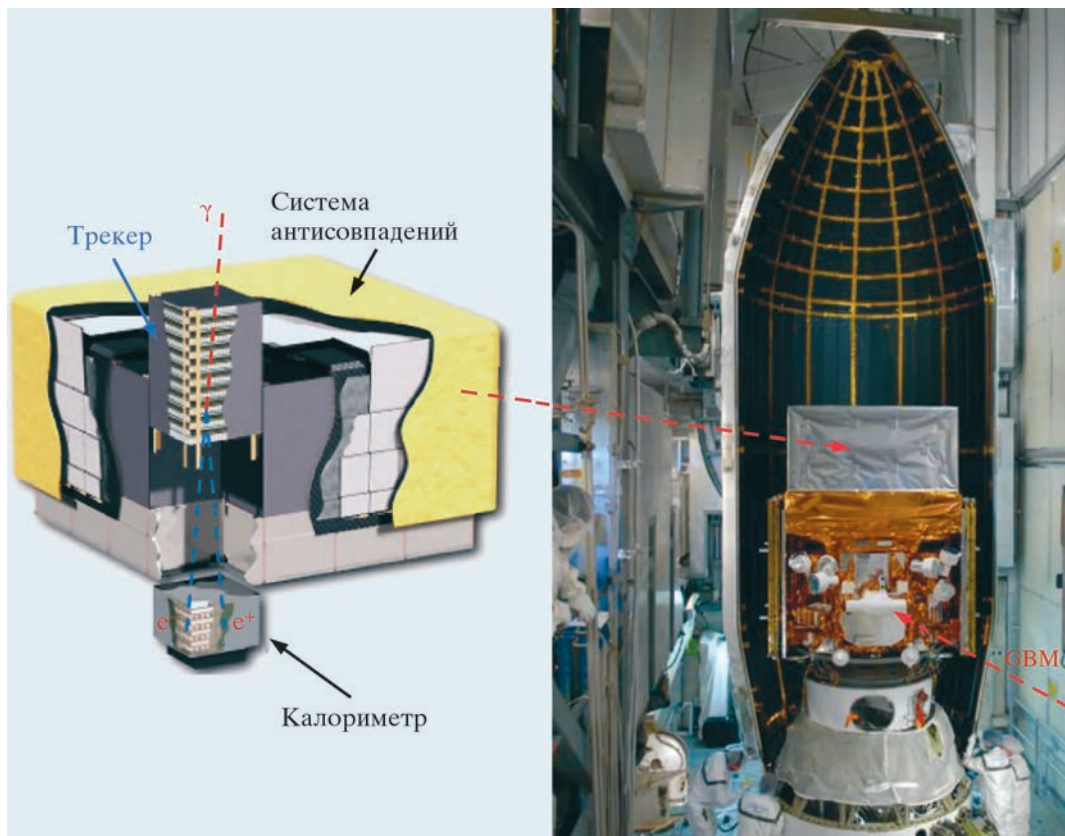
Значительное поле зрения телескопа (2,4 стер) позволяет одновременно охватить до 20% всей небесной сферы, поэтому “Ферми” используется в непривычном для других телескопов режиме. Стандартный режим – обзор всего неба каждые 3 ч, таким образом каждый участок неба наблю-

дается в течение 30 мин. В случае отдельных событий, для которых важны непрерывные наблюдения, таких, например, как солнечные вспышки или гамма-всплески, сканирование неба прекращается и телескоп автоматически направляется в нужную область неба. Важнейший аспект работы телескопа LAT – полная доступность его данных для всего мирового сообщества.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

За время эксплуатации обсерватория “Ферми” зарегистрировала более 5×10^{11} фотонов.

В **первый каталог “Ферми”**, опубликованный по итогам первых двух лет, вошли источники, обнаруженные в диапазоне 100 МэВ – 100 ГэВ. В каталог включены 1873 источника различной природы, из них 577 не идентифицированы. Среди отождествленных источников есть уже известные и впервые обнаруженные. К первым относятся радиогалактики и квазары, гамма-всплески, Большое Магелланово Облако, диффузное галактическое излучение, изолированные пульсары, вспышки на Солнце и в атмосфере Земли, зем-



ной лимб. Хотя источники таких типов уже были открыты, “Ферми” значительно увеличил их число, а также точность и качество измерений. Ко вторым относятся галактики с большой скоростью звездообразования, Малое Магелланово Облако, шаровые скопления, планетарные туманности, остатки сверхновых, двойные звезды, новые звезды, пульсары в двойных системах и миллисекундные пульсары, Луна, гамма-излучение спокойного Солнца, возникающее при взаимодействии космических лучей с атмосфе-

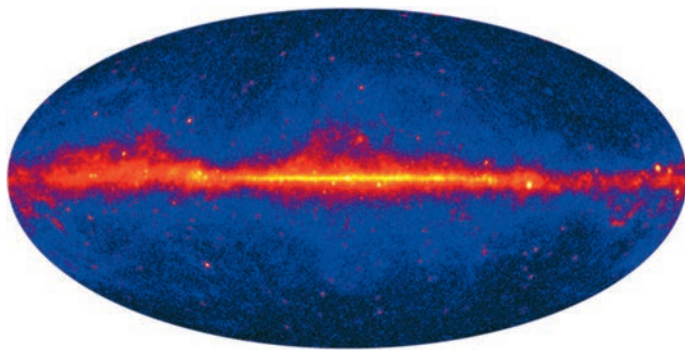
рой Солнца и солнечными фотонами.

Дальнейшее накопление статистики позволило создать первый **каталог источников “Ферми” высоких энергий**, в который вошли источники с энергией более 10 ГэВ, опубликованный по итогам первых трех лет исследований. В каталоге 514 источников, 65 из них не идентифицированы. Такой каталог представляет собой очень важный мост между спутниковой и наземной гамма-астрономией, так как до недавнего времени существовал значительный разрыв меж-

Схема гамма-телескопа LAT и космическая обсерватория “GLAST” (“Ферми”) во время подготовки к старту. Указан детектор гамма-всплесков GBM. Космодром Канаверал. Рисунок и фото NASA.

ду диапазонами энергий этих двух типов телескопов. Поскольку обсерватория “Ферми” обзревает все небо, такой каталог можно использовать для планирования наблюдений наземными телескопами, чьи ресурсы значительно ограничены.

Карта обзора неба при энергиях больше 1 ГэВ, составленная по результатам четырех лет наблюдений телескопом LAT на обсерватории “Ферми”. Многие источники видны невооруженным глазом. NASA.



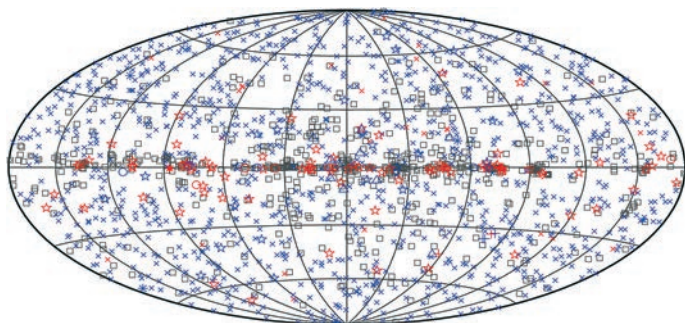
К одному из самых интересных относится открытие загадочных **пузырей Ферми** (Fermi bubbles). “Пузыри”, то есть гигантские выбросы газа из центральных частей галактик, часто наблюдаются в радио- и рентгеновском диапазоне. Их связывают с процессами аккреции на центральную сверхмассивную черную дыру. Открытие таких же пузырей в нашей Галактике обсерваторией “Ферми” оказалось совершенно неожиданным. Они представляют собой огромные структуры, простирающиеся на 55° выше и ниже Галактической плоскости и предположительно связанные с прошлой активностью в центре Галактики. Спектр их излучения достаточно жесткий, доходит до

100 ГэВ. Такой спектр свидетельствует либо о недавнем происхождении этих пузырей, что входит в противоречие с их предположительно огромными размерами, либо о процессах ускорения в этих пузырях, что также нелегко объяснить. В настоящее время нет доминирующей гипотезы об их происхождении. Накопление данных “Ферми” позволит более детально изучить их морфологию и, возможно, пролить свет на их происхождение.

Самый распространенный класс источников в каталоге “Ферми” – **ак-**

тивные ядра галактик (1092): блазары, радио-квазары с жестким спектром, Сейфертовские галактики и активные ядра других типов. В центре каждой галактики находится сверхмассивная черная дыра, которая ведет себя по-разному в зависимости от окружения. В нашей Галактике аккреция на центральную черную дыру очень мала, поэтому она ничем себя не проявляет, кроме редких случаев небольшой активности в рентгеновском диапазоне. У блазаров активная аккреция на центральную черную дыру при-

Первый каталог источников Ферми в диапазоне энергий более 100 МэВ, составленный по результатам первых двух лет наблюдений. Обозначены 1873 источника, зарегистрированные обсерваторией “Ферми”. Рисунок Fermi-LAT, NASA



- | | |
|---|--------------------------|
| □ Неидентифицированные: 575 | +* Галактики: 6 |
| ×× Активные ядра галактик: 1092 | ☆ Пульсары: 108 |
| * Галактики со взрывным звездообразованием: 4 | ○ Остатки сверхновых: 10 |
| | ○ Другие: 77 |



Пузыри Ферми – огромные структуры, видимые в гамма-диапазоне. Они простираются на 55° выше и ниже Галактической плоскости и предположительно связаны с прошлой активностью в центре Галактики. Рисунок NASA.

водит к формированию огромного диска из горячего газа размером до нескольких парсек. Этот диск интенсивно излучает в инфракрасном и рентгеновском диапазонах, а оптическое излу-

чение сильно поглощается межзвездной пылью и поэтому чаще всего не видно. Не все аккрецирующее вещество поглощается черной дырой, часть его выбрасывается в виде релятивистских

струй из плазмы длиной десятки и сотни килопарсек, движущихся почти со скоростью света. Тип активности таких галактик в основном зависит от ориентации аккреционного диска и струй относительно наблюдателя. Если одна из струй направлена на наблюдателя (блазары), то ее излучение усиливается вследствие релятивистских эффектов. Это также объясняет высокую светимость блазаров, быстрые изменения их яркости, высокую поляризацию излучения и кажущееся движение струи со сверхсветовой скоро-

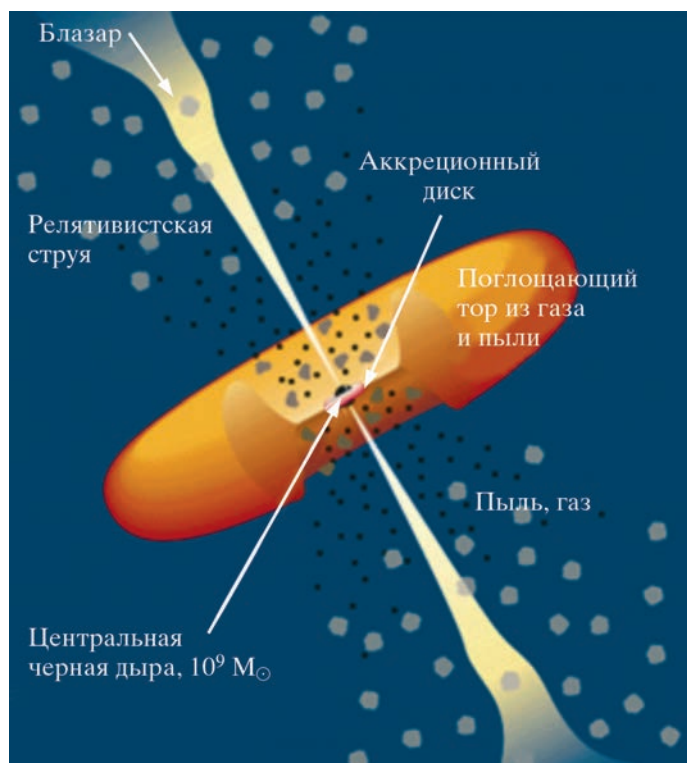
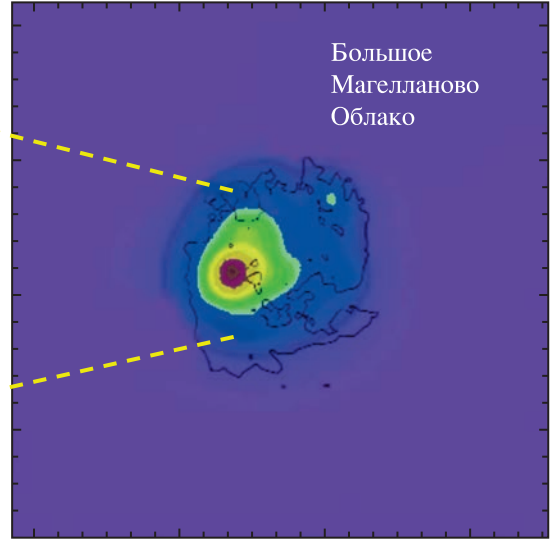
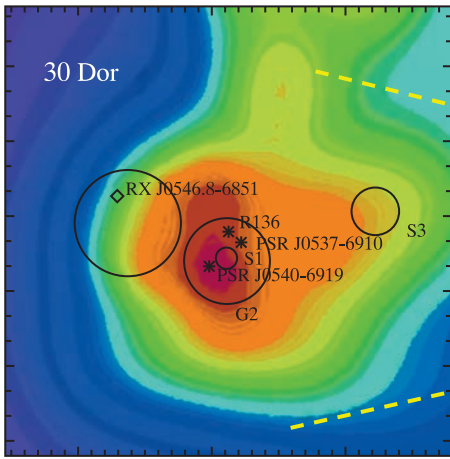


Схема строения активного ядра галактики. В центре находится сверхмассивная черная дыра массой $10^9 M_\odot$, которая аккрецирует окружающее вещество. Центральный регион окружен толстым газопылевым тором. Из пространства около центральной черной дыры вылетают две релятивистские струи плазмы, направленные в противоположные стороны. Наблюдатель, на которого направлена струя, увидит блазар.



Большое Магелланово Облако (справа) и регион активного звездообразования 30 Doradus в гамма-лучах (более 100 МэВ). Внизу – шкала интенсивности излучения. Рисунок Fermi-LAT.

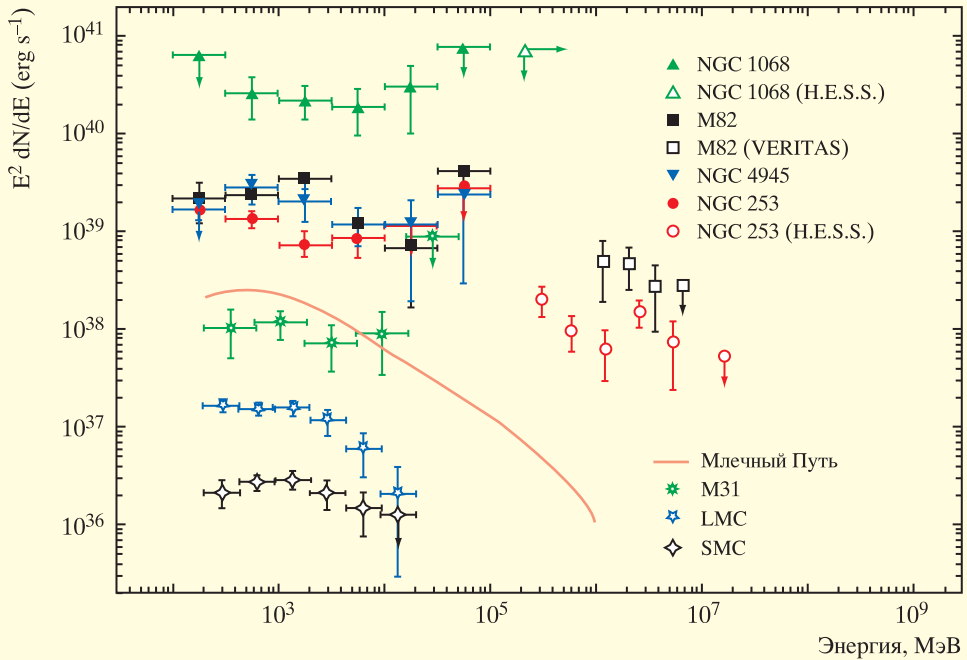
стью. Активные ядра галактик – одни из наиболее ярких объектов во Вселенной, поэтому они видны с огромных расстояний.

Гамма-излучение обнаружено также у **обычных галактик**: Большого и Малого Магеллановых Облаков, галактики в созвездии Андромеда (M31), галактик со взрывным звездообразованием M82, NGC 253, NGC 1068, NGC 4945. Магеллановы Облака и M31 находятся сравнительно недалеко от нас, и гамма-из-

лучение от них можно разрешить. В частности, наблюдается мощный поток гамма-излучения от региона активного звездообразования 30 Doradus в Большом Магеллановом Облаке, спутнике нашей Галактики. Наблюдение звездообразования в другой галактике предоставляет возможность впервые “увидеть” процессы ускорения частиц и распространения космических лучей “снаружи”. Вблизи этого региона нет других источников космических лучей, что позволило впервые оценить коэффициент диффузии космических лучей в межзвездной среде в другой галактике. Он оказался довольно близок к тому, что наблюдается и в нашей Галактике.

Детальные наблюдения и моделирование **диффузного гамма-из-**

лучения от нашей Галактики позволяют понять процессы его генерации и в других нормальных галактиках. Спектр становится жестче при переходе от Магеллановых Облаков и M31 к галактикам со взрывным звездообразованием. Это можно объяснить, вспомнив, что из нормальных галактик большая часть космических лучей улетает без взаимодействия и вытекает тем быстрее, чем больше энергия частиц. Этим объясняется более крутой наклон спектра космических лучей при сравнении его со спектром ускоренных частиц в оболочках остатков сверхновых. В галактиках со взрывным звездообразованием межзвездная среда становится настолько турбулентной, что выход ускоренных частиц сильно затруднен. Спектр кос-



мических лучей в межзвездной среде остается почти таким же, как и в источниках – оболочках остатков сверхновых. Основной же процесс генерации гамма-излучения – рождение пионов в протон-протонных и протон-ядерных столкновениях космических лучей с частицами межзвездного газа, при этом показатель спектра гамма-излучения близок к показателю спектра протонов в межзвездной среде.

Самыми энергичными процессами во Вселенной считаются **гамма-всплески** (Земля и Вселенная, 2005, № 6). Современные теории связывают гамма-всплески с коллапсом сверхновых или гиперновых звезд в

удаленных галактиках. В результате такого коллапса в течение короткого времени генерируется пучок интенсивного излучения. Поскольку источники большинства гамма-всплесков находятся в миллиардах световых лет от Земли, они должны обладать огромной мощностью. Гамма-всплески были известны еще до “Ферми”, например, максимальная энергия фотонов одного из четырех гамма-всплесков, зарегистрированных телескопом EGRET, равнялась 18 ГэВ. Оставалось неясным, насколько далеко может простираться спектр всплесков и насколько типично для них наличие высокоэнергичных фотонов. Недавно опубликованный

Спектр гамма-излучения от нормальных галактик становится жестче при переходе от Магеллановых Облаков и M31 к галактикам со взрывным звездообразованием. Из нормальных галактик космические лучи вытекают тем быстрее, чем больше их энергия. Рисунок Fermi-L AT.

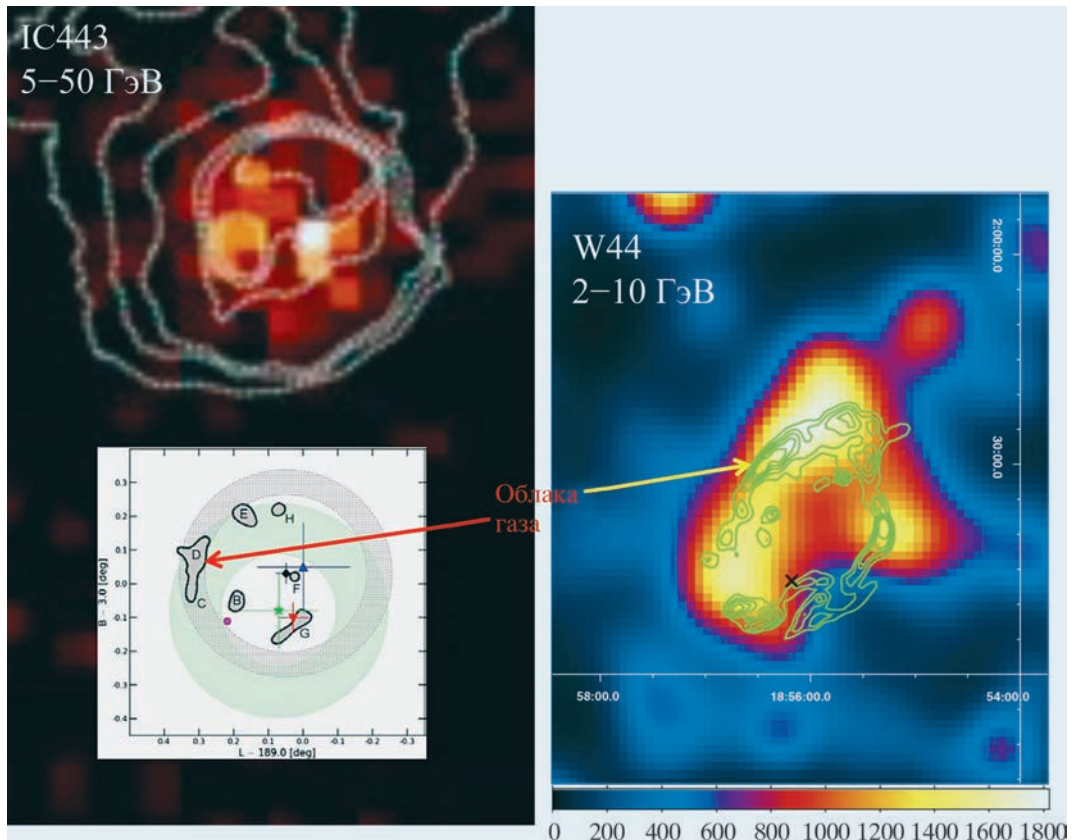
каталог гамма-всплесков “Ферми” содержит 35 событий с энергией фотонов, превышающей 20 МэВ. Они относятся к самым ярким всплескам из тех, что одновременно зафиксировали телескоп LAT и монитор GBM. Максимальная энергия фотонов составила более 33 ГэВ в системе наблюдателя, что соответствует

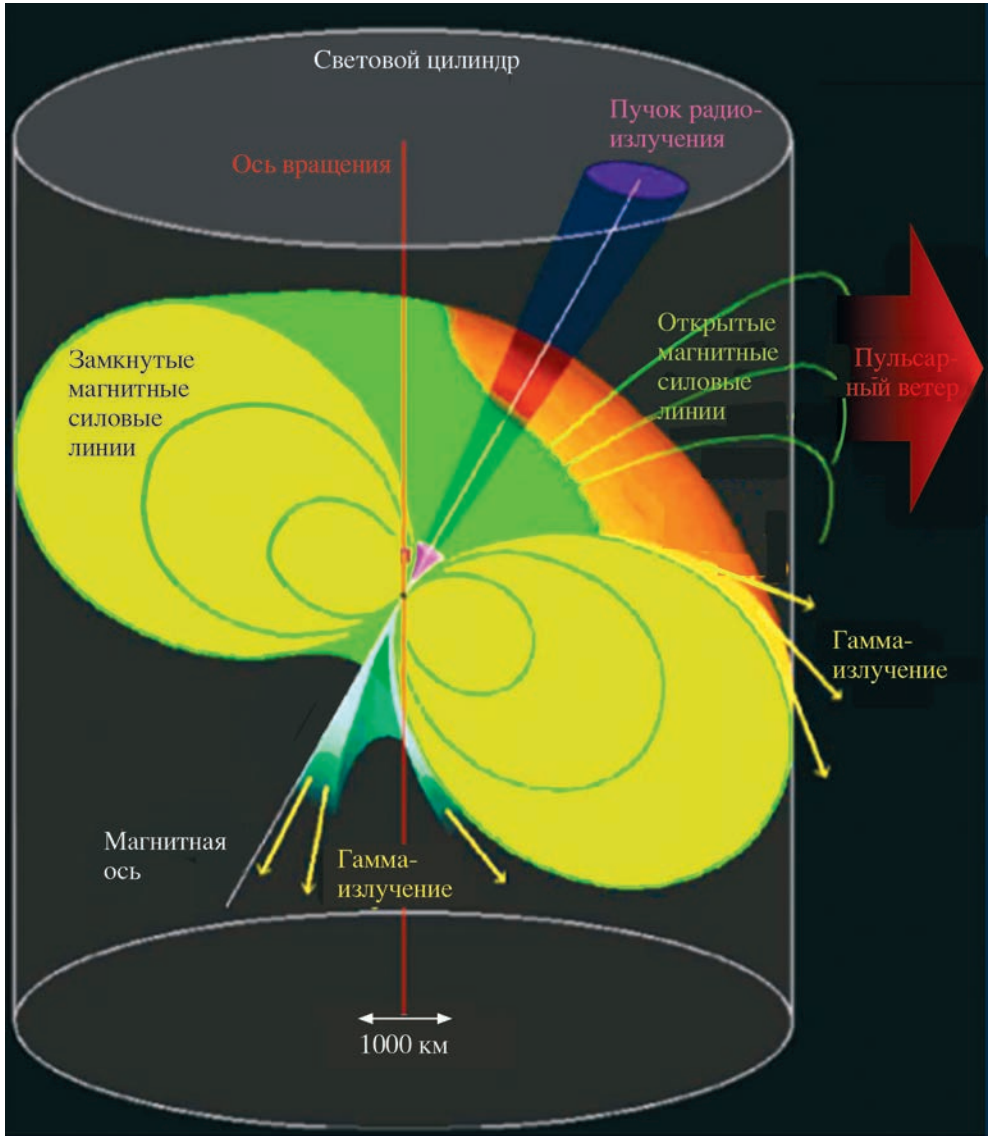
примерно 100 ГэВ в системе источника. Такие фотоны наблюдались от очень далеких источников, включая самый удаленный из увиденных “Ферми” – имеющий красное смещение $z = 4,35$ и находящийся на расстоянии 12 млрд св. лет.

Другой распространенный класс источников гамма-излучения – **пульсары** (быстро вращающиеся нейтронные звезды с сильным магнитным полем; Земля и Вселенная, 1971, № 2; 1991, № 1). В настоящий момент известны 117 пульсаров, до “Ферми” их было только семь. Среди них примерно 2/3 – молодые пульсары, половина из них – почти невидимые в радиодиапазоне и найденные благодаря наблюдениям “Ферми”. Оказалось, что пучок гамма-излучения от пульсара более широкий, чем пучок радиоизлучения, и,

следовательно, в гамма-диапазоне можно увидеть большее количество пульсаров, чем в радио-диапазоне. Это открытие важно для понимания процессов, происходящих в магнитосфере пульсаров. Еще треть – миллисекундные пульсары; считается, что это старые нейтронные звезды в двойных системах, раскрученные аккрецией вещества со звезды-компаньона. Такие пульсары имеют очень стабильный период и могут использоваться для поиска гравитационных волн. Количество известных миллисекундных пульса-

Остатки сверхновых IC443 и W44 в гамма-диапазоне. Во врезке – расположение облаков газа вокруг IC443 и W44. Стрелками указаны контуры межзвездного газа разной толщины. Рисунок Fermi-LAT.





ров значительно увеличилось благодаря наблюдениям “Ферми”.

Необходимо отметить знаменитый пульсар PSR B0531+21 в Крабовидной туманности (M1, NGC 1952), открытый в 1968 г., он вращается с периодом 0,033 с. Пульсар и туманность – остатки взрыва Сверхновой в

июле 1054 г. Это событие записано в летописях китайских и арабских астрономов как появление “звезды-гостя”. Оба объекта излучают на всех длинах волн и часто использовались в качестве “стандартной свечи”, так как поток излучения от них очень стабильный. Одно из замечательных

Схема пульсара. Радиоизлучение выходит вдоль направления оси магнитного диполя, гамма-излучение – более широким конусом.

открытий обсерватории “Ферми” – вспышки 2009 г. и 2010 г. в Крабовидной туманности. Светимость

туманности увеличивалась на короткий период в пять раз. В 2011 г. была зарегистрирована мега-вспышка, в течение которой светимость увеличивалась в 30 раз! Вспышки меньшей мощности наблюдаются по нескольку раз в год. Временной анализ этих вспышек дает размер излучающей области менее 0,0004 пк. Пульсирующее же излучение от самого пульсара PSR B0531+21 наблюдается даже при энергиях, превышающих 100 ГэВ!

Остатки сверхновых долгое время считались основными источниками космических лучей, но отсутствовало прямое доказательство ускорения в них протонов. Наблюдаемое излучение вполне можно было объяснить обратным комптоновским рассеянием или синхротронным излучением ускоренных электронов. Изучение остатков сверхновых IC443 и W44 возрастом около 20 тыс. лет с помощью обсерватории “Ферми” показали, что, во-первых, морфология гамма-излучения коррелирует с распределением газа, во-вторых, спектр гамма-излучения с энергией ниже 10 ГэВ имеет форму, характерную для распада пионов. Впервые было убедительно

доказано существование энергичных протонов в оболочках остатков сверхновых. Всего зафиксировано гамма-излучение от более чем десятка остатков сверхновых, что позволяет изучать процессы ускорения частиц в ударных волнах.

Вспышки на Солнце и ускоренные во вспышках частицы могут нарушить магнитное поле Земли и привести к проблемам с радиосвязью, вызвать сильные полярные сияния и повлиять на наше самочувствие. Кроме этого, тормозное излучение электронов и распад нейтральных пионов, рожденных ускоренными протонами, дают гамма-всплеск, из-за близости Солнца он может быть очень ярким. Солнечные вспышки многократно наблюдала обсерватория “Ферми”, но и спокойное светило – яркий источник гамма-излучения, точнее два источника. Космические лучи, приходящие из Галактики, наполняют Солнечную систему (Земля и Вселенная, 1988, № 3; 2002, № 4). Они бомбардируют планеты, спутники и атмосферу Солнца, в результате возникают каскады (ливни) вторичных частиц и множество нейтральных пионов, поэтому все тела Солнечной

системы светятся в гамма-диапазоне. Вторым источником гамма-излучения Солнца – обратное комптоновское рассеяние Галактических электронов на оптических фотонах Солнца. Эти фотоны наполняют гелиосферу и рассеиваются электронами космических лучей. Данное излучение приходит со всего неба, но наиболее интенсивно оно вблизи направления на Солнце, так как вблизи него плотность фотонов наибольшая. Наблюдения гамма-излучения от диска Солнца позволяют изучить распределение плотности вещества и магнитных полей в его атмосфере. Наблюдения излучения от рассеяния солнечных фотонов на Галактических электронах позволяют понять, как распределяются заряженные частицы во внутренней гелиосфере, включая пространство в непосредственной близости от поверхности Солнца.

В заключение отметим, что космическая обсерватория “Ферми” оказалась настолько удачным инструментом, что уже собранного ею огромного количества данных астрофизикам хватит для работы надолго. Телескоп будет продолжать обзоры неба до 2018 г., а возможно, и дольше.

Аномальные волны – реальность!

А.В. КИСТОВИЧ,
доктор физико-математических наук
К.В. ПОКАЗЕЕВ,
доктор физико-математических наук
МГУ им. М.В. Ломоносова



В статье приведен обзор сообщений о наблюдении и измерении аномальных волн в океане. Авторы проанализировали физические модели образования аномальных волн.



ЧТО ТАКОЕ АНОМАЛЬНЫЕ ВОЛНЫ

На протяжении длительного времени аномальные волны считались редко встречающимися, их называют блуждающими или волнами-убийцами. Это смертельная угроза даже для самых современных кораблей: поверхность, на которую обрушивается гигантская волна, испытывает давление до 100 т/м^2 .

Области морских течений считаются наиболее вероятными зонами образования аномальных волн. Такие волны могут быть как в форме гребней, так и впадин, что подтверждают очевидцы. Дальнейшее исследование требует учета эффектов нелинейности в ветровых волнах, способных приводить к образованию небольших групп волн (пакетов) или

отдельных волн (солитонов), распространяющихся на большие расстояния без значительного изменения своей структуры. Характерными особенностями таких групп волн считается то, что они движутся независимо от волнения моря и имеют небольшую протяженность волнового фронта (менее 1 км), причем высоты резко спада-

ют по краям волнового фронта.

При описании этих необычных волн очевидцы говорят или о “стене воды”, или о “дыре в море”, или о нескольких крупных волнах. В океанологии под аномальной волной (АВ) понимается большой, иногда гигантский гребень, сопровождаемый неглубокой впадиной. Но более удивительно, что огромные волны зачастую возникают внезапно. По мнению большей части исследователей, АВ формируются из ветровых волн или зыби, их характерные масштабы (длина, период) приходятся на диапазон длин и периодов ветровых волн.

Инструментальные измерения, выполненные на морских платформах и буях в разных акваториях Мирового океана в последние годы, и спутниковые измерения перевели АВ из разряда фольклора в реальность. При этом замечено, что они бывают не только в шторм, но и при любой погоде, даже при спокойной воде в глубине и на мелководье. Они проявляются также на берегу в форме внезапных мощных заплесков на крутой склон или когда быстро затопливается пляж. Использование космических аппаратов для регистрации АВ



позволяет резко увеличить объем информации и объективно оценить их географическое распределение. Существование АВ после анализа многочисленных натурных данных можно считать доказанным. Полученные сведения показывают более частую распространенность этого явления, чем предполагалось.

Изучение АВ принципиально важно для ко-

раблестроения и морской гидротехники, занимающейся проектированием портовых сооружений и платформ на морских шельфах. Конечная цель исследований – разработка методов прогноза подобных явлений. Эта задача включает в себя анализ статистики (частоты встречаемости) волн-убийц на основе длинных рядов наблюдений, которые постепенно



Морской корабль, атакованный мощной волной.

накапливаются для различных акваторий Мирового океана. Необходимо провести районирование акватории Мирового океана по степени риска, выявить условия, предшествующие возникновению аномальных волн.

Существует несколько различных определений необычной волны. Одно из них основано на случайности ветрового волнения, в котором распределение значений волновых параметров (в данном случае высот волн) описывается функцией плотности вероятности и всегда возможны большие (экстремаль-

ные) значения волновых параметров. Аномальные волны могут рассматриваться как значения типичных функций распределения высот ветрового волнения в области малой вероятности. Зная функцию плотности вероятности высот ветровых волн, можно рассчитать, например, высоты волн, возможные раз в 10 или 50 лет, поэтому их называют экстремальными. Под аномальными понимают такие, статистика которых не удовлетворяет значениям типичных функций распределения ветровых волн, в частности рэлеевскому распре-

делению. Оно наиболее часто используется для описания статистических характеристик ветрового волнения.

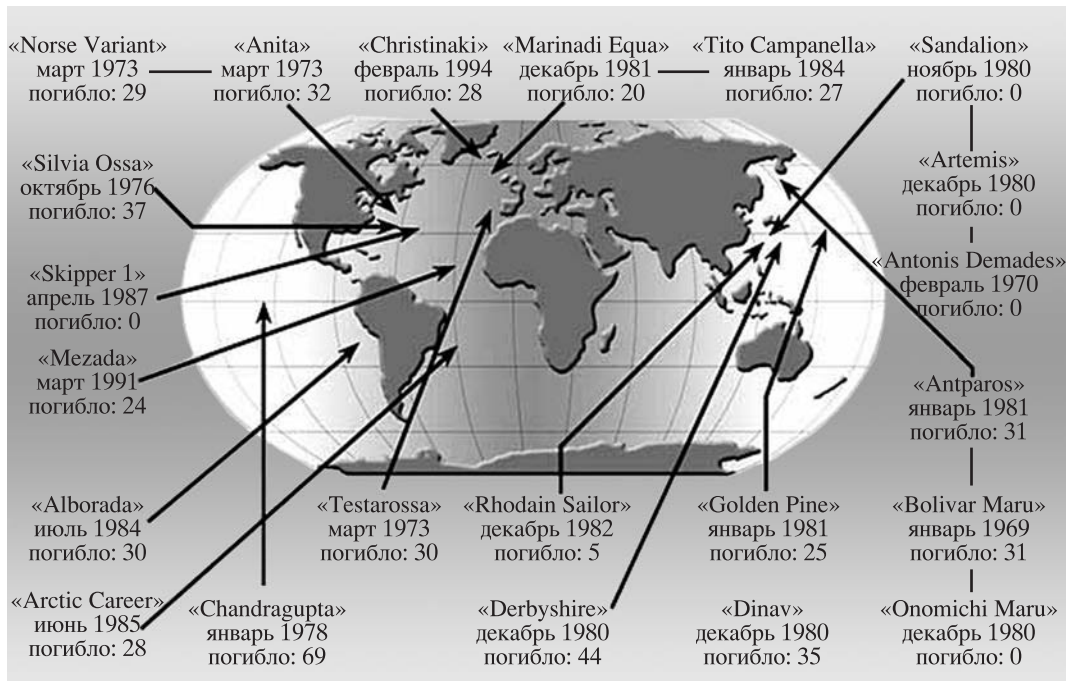
Другие определения предлагают считать аномальной такую волну, которая отличается большей амплитудой, несимметричностью, крутизной (отношение высоты волны к ее длине) и сопровождается впадиной. Это определение сформировалось под влиянием многих описаний АВ, но позже выяснилось, что перечисленные признаки не всегда главные даже при катастрофических последствиях. В океанологии закрепился только амплитудный критерий волны-убийцы (H_a): она должна превышать значительную высоту ветровых волн (H_S) в 2–2,2 раза. Под значительной понимается средняя высота трети наиболее высоких волн.

ИСТОРИЧЕСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА

Приведем наиболее яркие, на наш взгляд, описания встреч с АВ.



Небольшое судно накрыло аномальной волной.



Карта мира, на которой указаны места, где аномальные волны, обрушившиеся на супертанкеры в 1968–1994 гг., привели к трагическим последствиям.

Возможно, самым первым официальным сообщением о них был доклад 1840 г. выдающегося мореплавателя и исследователя Ж.С. Дюмон-Дюрвиля во Французской академии наук о наблюдении им в 1826 г. в Южных морях одиночной волны высотой больше 30 м. Докладчика осмеяли, несмотря на то что три человека подтвердили правдивость его слов.

7 февраля 1933 г. в северной части Тихого океана танкер «Рамапо» попал в систему периодических гигантских волн, вызванных мощным штормом. Во время этого шторма ветровое воздействие охватило огромную территорию (несколько тысяч миль в поперечнике) и продолжалось нескольких дней. Скорость ветра достигала 60–66 узлов (111–122 км/ч). Танкер развернули кормой к ветру, это позволило оценить длину волн в 300–450 м, набегающих с периодом 14,8 с. Члены команды смогли измерить с капитанского мостика ее высоту – около 34 м (!).

В 1956 г. капитан Грант, командовавший грузовым судном «Юниор», в 100 милях от мыса

Гаттерас встретился с 30-м волной.

В 1963 г. кадет французского военно-морского флота Фредерик-Моро во время кругосветного плавания крейсера «Жанна д'Арк» попал в семибальный шторм юго-западнее Токио и оказался свидетелем явления, названного «Три сестры». В течение 30 с корабль оказался под последовательным воздействием трех АВ высотой 15–20 м и шириной 800 м, движущихся со скоростью не менее 10 м/с. Их отличала высокая крутизна гребня (почти вертикального), спадавшая на краях фронта волны.

По сообщению капитана Байлса, его грузовое судно «Замок Эдинбург» в 1964 г. попало в «дыру в океане», наклон ее стен



Морское судно, носовую часть которого повредила аномальная волна.

к горизонту был не менее 30° . Это заставило поверить в правдивость слов капитана Джонсона, утверждавшего, что во время Второй мировой войны его крейсер "Бирмингем" провалился в такую же воронку.

В 1966 г. итальянский круизный лайнер "Микеланджело" попал под удар гигантской волны, тоже

в форме воронки в океане. Она разбила иллюминаторы, находящиеся на 24 м выше ватерлинии, убила одного члена экипажа и двух пассажиров.

В 1968 г. супертанкер "Слава мира" затонул в течении Агульяс, разорванный пополам одиночной неожиданно возникшей волной. В том же году советские стереока-

меры в районе Антарктики зафиксировали волны высотой 25 м.

В 1969 г. в Мексиканском заливе глубиной 100–350 м регистрировали АВ высотой 20–23 м, а отношение H_α/H_β равнялось 2,3. В сентябре 2004 г. там же зафиксирована 27-м волна, когда бушевал ураган "Иван".

В 1969–1971 гг. в Северной Атлантике неоднократно регистрировались волны высотой 15–22 м. 16 апреля 2005 г. круизное судно "Норвежская заря" вблизи берегов штата Джорджия столкнулось с волной, захлестнувшей его до десятой палубы. Она появилась внезапно, по сути дела ниоткуда, и также внезапно исчезла. В январе 2006 г. корабль "Норвежская душа" был задет 15-м волной у побережья острова Тортола из группы Вирджинских островов в Северной Атлантике.

В 1974 г. у побережья Южной Африки огромная волна сильно повре-



На танкер "Эссо Лангедок" накатилась гигантская волна. 1980 г. Фото Ф. Лижура.



Круизный корабль “Бремен” накрывает волна-убийца высотой 30 м в Южной Атлантике. Март 2001 г.

дила норвежский танкер “Уильстар”, полностью разрушив его носовую часть.

В ноябре 1975 г. в озере Верхнем (Канада) из системы Великих американских озер судно “Андерсон” подверглось воздействию двух АВ. Моряки “Андерсона” не пострадали, а вот судьба экипажа находившегося неподалеку грузовоза “Эдмунд Фитцджеральд” оказалась трагичной – все погибли.

В 1980 г. недалеко от Дурбана Ф. Лижур сделал редкую фотографию гигантской 30-м волны,

накатившейся на танкер “Эссо Лангедок”, на котором он находился.

В 1981 г. в Северном море была зафиксирована почти симметричная одиночная волна высотой около 15 м, тогда как окружающие ее волны не превышали 8 м. Как показывает статистика, в этом регионе в 1969–1985 гг. отмечены 20-м волны (отношение $H_{\alpha}/H_S - 2,1-2,7$). 1 января 1995 г. там же нефтяная платформа Драпнера подверглась воздействию 26-м волны, названной “Новогодней”.

В феврале 2000 г. к западу от побережья Шотландии океанографическое судно выдержало встречу с 29-м волной и измерило ее характеристики.

В марте 2001 г. в Южной Атлантике были

серьезно повреждены 30-м волной и оказались на грани гибели круизные корабли “Бремен” и “Звезда Каледонии”. Отметим, что в этой части Атлантики нет никаких течений! В марте 2007 г. круизное судно “Принсендам” испытало удар 21-м волны у оконечности Южной Америки.

Не только на открытых океанских просторах, но и во внутренних морях наблюдаются гигантские волны. Например, запись с буя получена 22 ноября 2001 г. в районе Геленджика на Черном море. При глубине 85 м высота волны составила около 10 м, однако отношение H_{α}/H_S достигло рекордной величины – 4–5. В этом же районе 1 февраля 2003 г. зарегистрирована волна 12,3-м. Вероятность их появления



Паром "Риверданс", выброшенный на берег в результате столкновения с аномальными волнами. 5 февраля 2008 г.

согласно рэлеевскому распределению – один раз в 50 лет.

5 февраля 2008 г. в Ирландском море паром "Риверданс" был выброшен на побережье Ланкашира после столкновения с АВ.

Это далеко не все свидетельства опасных встреч судов с АВ. По данным компании "Пентов", занимающейся страхованием морских перевозок, только в 1981–1991 гг. 29 судовладельцев обратились за возмещением ущерба, понесенного в результате столкновения их кораблей с АВ. В 1969–1994 гг. в Тихом и Атлантическом океанах выведены из строя или погибли 22 супертанкера.

С каждым годом частота подобных свидетельств только возрастает, но они отрывочны и субъективны. Ученые предложили программу "MaxWave" (максимальная волна) под эгидой ESA для измерения пара-

метров волн с помощью радаров, установленных на спутниках дистанционного зондирования. Наблюдения с орбиты выявили ошеломляющие факты: за трехнедельный период зафиксированы 10 волн высотой более 25 м. Это позволяет пересмотреть подход к АВ как к чему-то из ряда вон выходящему и признать их неотъемлемой частью отличительных особенностей моря.

МОДЕЛИ ОБРАЗОВАНИЯ АНОМАЛЬНЫХ ВОЛН

В настоящее время исследование АВ идет по трем основным направлениям: визуальные наблюдения, теоретическое и лабораторное моделирование. Очевидно, что они должны обладать большой энергией. Главный вопрос, на который стремятся ответить исследователи: каким образом происходит фокусировка энергии в сравнительно небольшом простран-

стве с последующим ее переносом? Подавляющее большинство ученых считают наиболее вероятным способом генерации АВ фокусировку энергии. Обычно выделяют следующие типы фокусировки энергии: за счет дисперсионного сжатия волновых пакетов, течения, топографии дна, неустойчивости Бенджамина – Фейра (неустойчивость на боковых частотах), нелинейного взаимодействия волн, а также в штормовых зонах. Иногда выделяют генерацию АВ при внезапном опускании части морского дна.

Идея фокусировки энергии за счет дисперсионного сжатия базируется на линейной модели поверхностных волн. Эволюция во времени некоторого возмущения поверхности исследуется на основании Фурье-разложения.

Может возникнуть ситуация, когда волны с большими скоростями будут догонять волны с меньшими скоростями, в результате произойдет их сложение. По прошествии времени фазовые сдвиги между спектральными компонентами изменяются, следовательно, поверхностная волна тоже меняет свою фор-

му. Чтобы сформировалась АВ, необходимы определенные соотношения между скоростями и направлениями распространения складывающихся волн. В случае одномерных волн подобную ситуацию можно описать, а вот в случае двумерных волн объяснить довольно сложно, если вообще возможно. Расчет даже для одномерных волн показывает, что она при фокусировке за счет дисперсионного сжатия не сможет существенно увеличить свою крутизну, то есть не преобразуется в АВ. Таким образом, либо аномальная волна должна быть пологой, либо линейная теория не способна объяснить это явление.

Кроме того, этот механизм практически не пригоден для реального волнения, поскольку сложение разнонаправленных волн с разными по направлению векторами не может быть синхронизовано.

С другой стороны, идея дисперсионного сжатия выглядит довольно реалистично для одномерных систем, и эксперименты по созданию АВ, проведенные в длинном узком бассейне, подтверждают это. Только необходимо учесть: волны, сгенерированные при выполнении данных опытов, нельзя назвать инфинитезимальными, или малыми, так что налицо нелинейное сжатие волны.

Откуда появилась идея математического описания АВ в виде суммы отдельных ничем не выдающихся гармонических колебаний? Все дело в том, что натурные исследования АВ позволяют воссоздать данное событие. Известно, что образование АВ возможно вследствие сложения независимых гармонических колебаний, плотность вероятности огибающей которых определяется рэлеевским распределением. Оценки частоты возникновения АВ дают крайне малую вероятность наблюдения такого события за год. В то же время спутниковые снимки прямо указывают на то, что АВ большой амплитуды наблюдаются на поверхности Мирового океана в среднем один раз за двое суток.

Метод фокусировки за счет течения при образовании АВ наиболее наглядный, поэтому остановимся на нем более подробно. Согласно установленному факту, АВ с определенной регулярностью формируются в регионах с океаническими потоками: Агульяс недалеко от восточного побережья Южной Африки, Курисио рядом с Японией, Гольфстрим вблизи восточного побережья США. Понятно, что даже слабый поток, движущийся со скоростью близкой к фазовой скорости спектральных составляющих ветрового волнения, при продолжительном воздействии мо-

жет приводить к фокусировке энергии ветрового волнения.

Одно из первых исследований посвящено изучению механизма образования АВ вследствие их трансформации (ветровые волны, зыби) на пространственно неоднородном потоке. Авторы провели ряд оригинальных лабораторных экспериментов и натурные измерения волн на приливных скоростях. В лабораторных условиях впервые было исследовано явление блокировки гравитационно-капиллярных волн. Блокировка волн встречным потоком, в частности, выражается в формировании экстремальной амплитуды волн, то есть формируются АВ. Изменение скорости течения могут вызвать различные причины, в их числе изменение топографии дна водоема или поперечного сечения акватории, например пролива.

К форме проявления трансформации волны относится сулой – взброс воды на поверхности моря, происходящий, в частности, при резком уменьшении скорости, особенно приливной, выходе течения из узкой протоки или при сильных ветрах, направленных против скорости потока. Сулои возникают, когда ветер и скорость направлены навстречу друг другу. Волны в сулое короче и круче, чем обычные ветровые волны, они более асимметричны.



Аномальная волна на Фонтанке в Санкт-Петербурге, созданная встречным течением. Волна бежит слева направо, течение движется в противоположном направлении.

Вследствие малых масштабов сулоя он не представляет опасности для крупных судов, но создает неудобства только для маломерного флота. Для наблюдения сулоя или блокировки ветровых волн не обязательно ехать на Белое или Баренцево море – внимательный человек может заметить его с моста на Фонтанке в Санкт-Петербурге.

Описанные выше явления генерации волн на пространственно неоднородных течениях часто наблюдаются не только в морях, но и в озерах, водохранилищах и реках. Хотя взаимодействие волн и потоков при этом не формирует АВ, как в океане, учет их взаимодействия часто очень важен, поскольку может приводить к формированию волн, делающих проводку судов (речного и озерного типа) невозможной. Это хорошо знакомо речникам. Практика судовождения по-

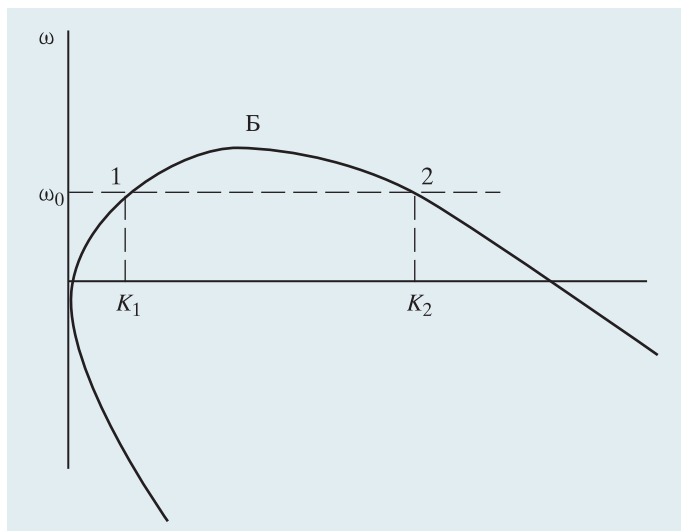
казала, что при сильном ветре, направленном по течению реки, проводка судов возможна. Ветер такой же скорости, но направленный в противоположную сторону, формирует крутые и высокие волны, делающие невозможной проводку судов.

Рассмотрим распространение волн на стационарном пространственно неоднородном потоке. В первом приближении его скорость считается неизменной по вертикали. Пусть волны движутся в направлении увеличения скорости встречного потока. Вследствие стационарности процесса частота волн в неподвижной системе координат будет неизменной. Применяя уравнение для фазовой скорости гравитационных волн и выражение, связывающее частоту, волновое число и фазовую скорость, получаем квадратное уравнение

для величины фазовой волны.

Из решения этого уравнения следует, что волны не распространяются в область встречного течения, где скорость больше четверти фазовой скорости волн. В критической точке скорость движущейся воды равна и противоположно направлена групповой скорости волн, результирующая групповая скорость волн обращается в ноль. Эта критическая точка называется точкой блокировки, в ней происходит не только остановка волн, но и ее отражение: волны начинают двигаться в другую сторону. На дисперсионной кривой одному значению частоты соответствуют две волны, бегущие влево. У фазовых скоростей этих волн одинаковое направление, у групповых – противоположное. Для одной волны групповая скорость больше нуля, для другой – отрицательная. Первая волна – прямая, или падающая, вторая – обратная, или отраженная. Продолжительное время считалось, что второе решение не имеет физического смысла, но экспериментальные

Диаграмма дисперсионного соотношения для гравитационных волн, распространяющихся на встречном течении. Частоте ω_0 соответствуют две волны с волновыми числами k_1 и k_2 ; Б – точка блокировки, где групповая скорость равна нулю; 1 (частота ω_0 , волновое число k_1) – прямая волна, групповая скорость положительная, 2 (частота ω_0 , волновое число k_2) – отраженная волна, групповая скорость отрицательная.



исследования доказали реальность отраженных волн. Изменение амплитуды волны можно получить из уравнения сохранения энергии, которое в данном случае принимает вид сохранения волнового действия.

Приведенные выше результаты справедливы только для гармонических гравитационных волн малой амплитуды. Нелинейность, спектральный состав волнения, капиллярность, диссипация приводят к существенному отличию законов изменения параметров волн от законов изменения гармонических волн малой амплитуды, движущихся в идеальных условиях. Например, при капиллярности появляются две точки, в которых групповая скорость равна нулю. Эта особенность приводит к двойной блокировке.

Измерения показывают, что приведенные

выше отношения хорошо выполняются в лабораторном эксперименте. В низкочастотном участке рассматриваемого диапазона ($F \leq 2,5$ Гц) на встречном течении в критической точке блокировки наблюдается рост волн в 3–4 раза! Для более высоких частот (выше 4 Гц) наблюдается быстрое затухание волн, обусловленное ростом волнового числа, уменьшением групповой скорости и соответствующим ростом вязкого затухания. Таким образом, в окрестности точки блокировки для низких частот изменение высоты волны определяется в основном взаимодействием волн с потоком, на более высоких частотах преобладает влияние диссипации.

Еще одна возможность формирования АВ заключена во влиянии прибрежной топографии на формирование карти-

ны волн. Этот принцип используется в волновых генераторах для концентрирования энергии. На мелководье вблизи побережья волны разворачиваются на прибрежных отмелях, отражаются от островных препятствий и от мелей, формируя сложную дифракционную картину. Она хорошо знакома бывавшим на мелководном побережье Балтийского моря. Примером фокусировки волн на топографии прибрежной зоны считаются “бродячие” волны на отмели Кортеса у побережья Калифорнии. Основные требования возникновения АВ – развитие процесса в прибрежной зоне с изменяющейся глубиной воды и сильное течение. В таких условиях может происходить фокусировка энергии системы протяженных волн в ограниченной фокальной зоне, положение и размеры которой определя-



Волна, созданная волнопродуктором, распространяется слева направо навстречу потоку. Неоднородность течения вдоль лотка создается специальным профилем дна. Наблюдается блокировка гравитационной волны. Лабораторный эксперимент.

ются топографией дна и направлением скорости движения водной массы.

Часть АВ относят к типу экстремальных штормовых, поскольку они рождаются и развиваются внутри штормовой области, а затем выходят из нее.

Существует гипотеза формирования АВ за счет аккумуляции ветровой энергии, когда ветровое поле создается и перемещается движущейся штормовой зоной. Аномальная волна, порождаемая при этом, выше волны, порожденной неподвижным штормом. В то же время нельзя не принимать во внимание свидетельства возникновения волн, подобных “Трем сестрам”, в относительно спокойном океане, когда на сотни миль вокруг не наблюдается никаких штормов.

Многочисленные исследовательские группы предлагают использовать уравнение Шредингера или его модифицированные варианты для объяснения АВ. Получаемые при этом решения

для возвышения морской поверхности имеют вид медленно меняющейся огибающей, заполненной наиболее мелкомасштабными колебаниями. Появление нелинейного уравнения Шредингера (НУШ) в качестве эволюционного уравнения процесса вовсе не исключительное свойство поверхностных волн в гидродинамике. Это уравнение применяется при описании эволюции огибающей несущей волны любой природы.

Ряд исследователей АВ утверждают, что в действительности стандартного НУШ недостаточно для получения ожидаемой картины волнения. Поэтому для описания нелинейной эволюции волнового пакета необходимо пользоваться модифицированным НУШ более высокого порядка, это якобы дает картину АВ, подобную морскому волнению, повредившему платформу Драпнера в Северном море.

Из фундаментальных уравнений гидродина-

мики следует, что само НУШ и его модификации могут описывать лишь волны малой крутизны. При большой крутизне уравнение Шредингера не имеет никакого отношения к описанию волн на воде. С другой стороны, повсеместно наблюдаются цуги волн, которые так и просятся быть представленными в качестве решений НУШ. И это неудивительно, поскольку известные записи даже АВ, наподобие солитона огибающей, приведенные к единому масштабу по вертикали и горизонтали, обладают малой крутизной! Возможно, очевидцы несколько преувеличивают крутизну АВ либо крутизна их велика по отношению к плоскости палубы кораблей, попавших под их удар. Таким образом, если отказаться от требования большой крутизны АВ, то перспектива использования НУШ при описании их как амплитудно-модулированного волнения становится очевидной.

Исследования, проведенные на основании численного моделирования нелинейных процессов, показали: предлагаемый механизм может объяснить формирование АВ лишь в искусственных

обстоятельствах, но ни в какой мере не на морских просторах!

Последние инструментальные и дистанционные измерения показывают, что АВ появляются значительно чаще, чем

следует из теорий ветрового волнения. Значит, аномальные волны – суровая и часто трагическая реальность, но наука еще далека от возможности их прогнозирования.

Информация

Структуры вокруг черной дыры в Галактике

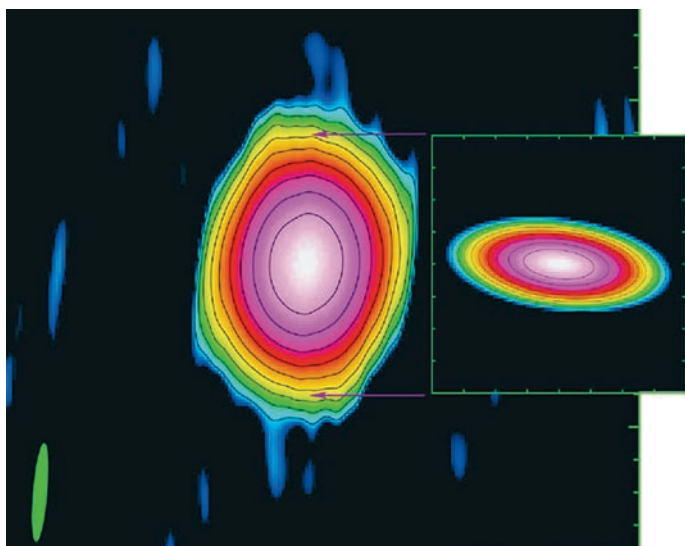
Астрофизики международного проекта “Радиоастрон” впервые смогли разглядеть структуры, связанные с процессами в сверхмассивной черной дыре в центре нашей Галактики. Черная дыра массой $4,5 \times 10^6 M_{\odot}$ в созвездии Стрельца закрыта от нас плотными газопылевыми облаками, поэтому ее можно обнаружить только благодаря наблюдаемому рассеянному излучению. С помощью радиотелескопов можно увидеть мутное пятно, получившее название радиоисточник Sgr A*. Никаких деталей в нем до сих пор разглядеть не удалось. “Радиоастрон”, используя радиоинтерферометр со сверхдлинной базой, получает изображения астрофизических объектов с исключительно высоким разрешением.

Ученые Астрокосмического центра ФИАН доктора физико-математических наук Ю.Ю. Ковалёв и В.А. Соглас-

нов совместно с зарубежными коллегами профессорами К. Гвинном (Университет Калифорнии) и М. Джонсоном (Гарвард-Смитсоновский астрофизический центр) на основе результатов изучения пульсаров предсказали, что на длине волны 1,3 см “Радиоастрон” может увидеть неоднородности в пятне Sgr A*. В среде, окружающей

черную дыру, обнаружены неоднородности размером 300 км, которые могут создавать на газопылевом “экране” пятнышки размером около 1 миллионной доли угловой секунды. По-видимому, это волны плотности вещества в аккреционном диске.

*Пресс-релиз АКЦ ФИАН,
20 января 2015 г.*



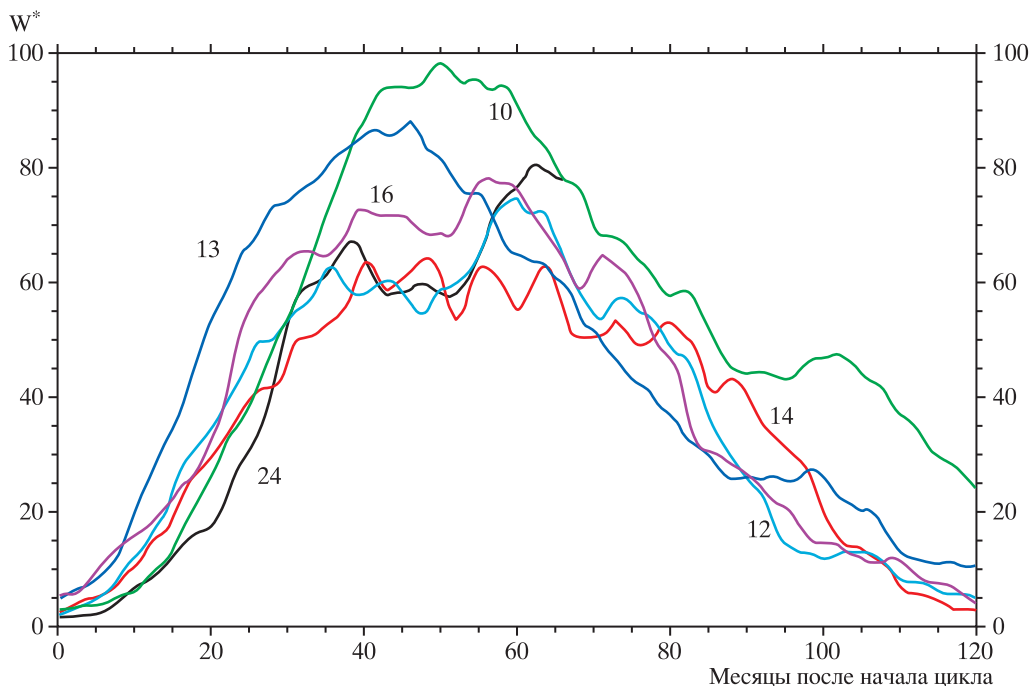
Видимое радиоизображение центра нашей Галактики (Sgr A), полученное 3 июля 2014 г. на длине волны 1,3 см. Разным цветом обозначены сгустки вещества в аккреционном диске вокруг черной дыры (во врезке – модель этого образования). По данным космической обсерватории “Радиоастрон”. АКЦ ФИАН.*

**Солнце
в декабре 2014 г. – январе 2015 г.**

В эти месяцы окончательно стало понятно, что максимум текущего 24-го цикла солнечной активности пришелся на апрель 2014 г. и составил $W^* = 81,9$. Таким образом, текущий солнечный цикл, как и прогнозировалось в наших обзорах, стал низким, открывающим новую,

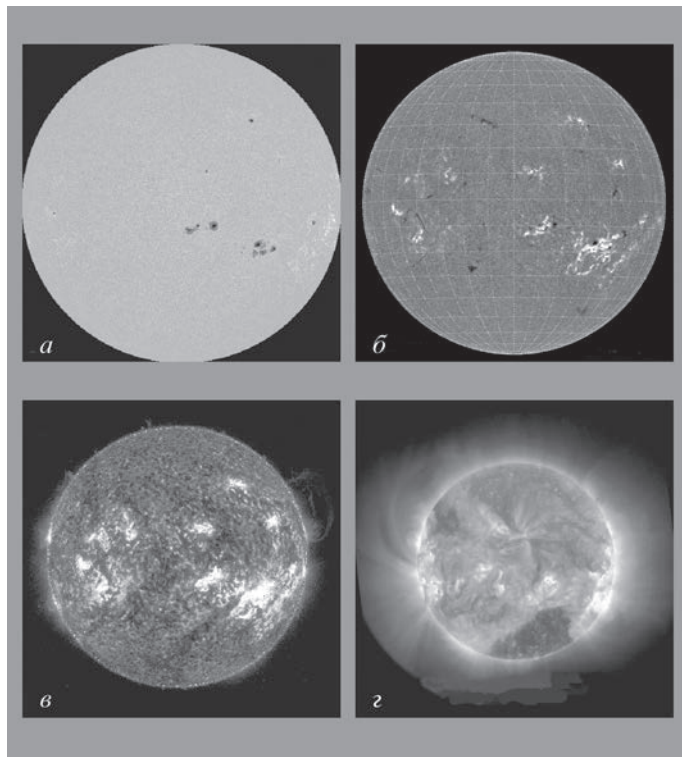
почти неизвестную нам эпоху “пониженной” солнечной активности. В эту эпоху с большой вероятностью солнечные циклы будут в основном низкой и средней величины. В истории достоверных солнечных циклов (1849–2015) это вторая эпоха “пониженной” солнечной активности (1878–1933). Но

в то время наблюдательные данные о Солнце ограничивались числами Вольфа, площадью групп солнечных пятен, временем прихода межпланетных ударных волн (внезапные импульсы геомагнитного поля – SI и SSC) и величиной возмущения геомагнитного поля (Аа-индекс). Только с нача-

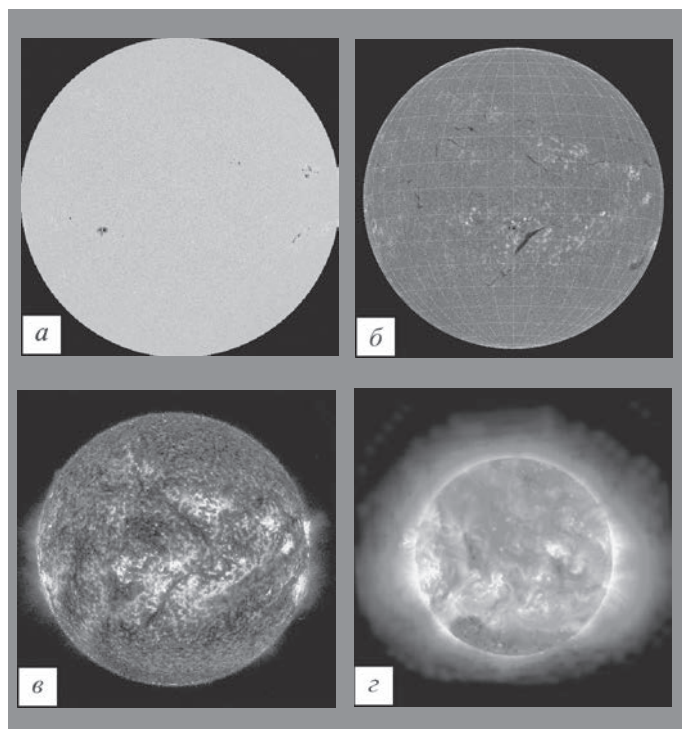


Ход развития (66 месяцев) текущего 24-го цикла солнечной активности среди всех достоверных (с 1849 г.) солнечных циклов, W^* – сглаженные за 13 месяцев относительные числа солнечных пятен.

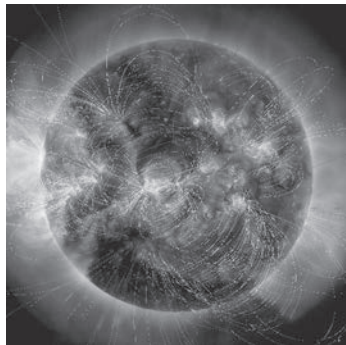
Солнце 20 декабря 2014 г.: а) фотосфера в непрерывном спектре ($\lambda = 4500 \text{ \AA}$); б) в самой сильной водородной линии H_{α} ($\lambda = 6563 \text{ \AA}$); в) в линии крайнего ультрафиолета $He II$ ($\lambda = 304 \text{ \AA}$); г) в линии крайнего ультрафиолета $Fe XII$ ($\lambda = 195 \text{ \AA}$). Изображения получены космическими солнечными обсерваториями "SDO" и "STEREO A" (<http://sdo.gsfc.nasa.gov/data/>).



лом космической эры (19-й цикл) наблюдения Солнца и его влияния на окружающую среду дают все более полную информацию. Следовательно, нам довольно много известно о Солнце в эпоху повышенной солнечной активности (1944–1996) и в переходном периоде к 23-му циклу (1996–2008), когда вслед за ослаблением общего магнитного поля Солнца уменьшились практически все характеристики. Вероятно, во время эпох солнечной активности действуют все наблюдательные правила, установленные для активных солнечных явлений, в том числе и правило



Солнце 13 января 2015 г.: а) фотосфера в непрерывном спектре ($\lambda = 4500 \text{ \AA}$); б) в самой сильной водородной линии H_{α} ($\lambda = 6563 \text{ \AA}$); в) в линии крайнего ультрафиолета $He II$ ($\lambda = 304 \text{ \AA}$); г) в линии крайнего ультрафиолета $Fe XII$ ($\lambda = 193 \text{ \AA}$). Изображения получены космическими солнечными обсерваториями "SDO" и "STEREO A" (<http://www.solarmonitor.org/>).



Комбинированный снимок гигантской приполярной корональной дыры Южного полушария Солнца в линиях крайнего ультрафиолета ($\lambda = 171, 11$ и 193 \AA). Снимок получен 28 января 2015 г. космической солнечной обсерваторией "SDO" (<http://spaceweather.com>). На изображении наложены расчетные магнитные силовые линии.

Гневнышева – Оля, по которому нечетный цикл должен быть выше четного. Можно предположить с большой долей уверенности, что 25-й цикл будет средним по величине, но солнечная активность возрастет ($W^* = 110-120$).

Пятнообразовательная активность Солнца в рассматриваемый период уверенно держалась на среднем уровне, лишь дважды в декабре поднимаясь до высокого уровня. Число групп пятен на видимом диске Солнца менялось от 3 до 12. В подавляющем большинстве группы пятен были небольшими и спокойными, 4 из них были большими по площади (все в Южном полушарии), 1 группа средне-

го размера образовалась в Северном полушарии, 2 – в Южном. Всего же из 50 групп солнечных пятен 22 появились в Северном полушарии, то есть продолжается тенденция значительного превышения групп солнечных пятен в Южном полушарии. Кривая роста сглаженных за год значений относительного числа пятен четко обозначила максимум цикла и пошла на спад. Текущие среднемесячные значения чисел Вольфа – $W_{\text{дек.}} = 78,0$ и $W_{\text{январ.}} = 67,0$. Сглаженное значение относительного числа солнечных пятен в мае, июне и июле 2014 г. составило $W^* = 80,5; 79,7$ и $78,6$ соответственно.

В декабре первые два дня и 14–21 декабря относительное число солнечных пятен держалось на высоком уровне. Минимальное ежедневное значение относительных чисел солнечных пятен отмечено 7 декабря ($W = 39$), максимальное – 17 декабря ($W = 121$). Вспышечная активность была на высоком уровне 4 декабря. Сутками раньше в большой группе пятен Южного полушария было отмечено всплытие значимого нового магнитного потока и, как следствие, за 28 ч 4–5 декабря произошли 3 солнечных вспышки большого (M6.1) и средних баллов. Большие солнечные вспышки связаны с прохождением по видимому солнечному диску комплекса активных областей (КАО), состоящего из 2 больших групп пятен. В период с 17 по 20 декабря в этих группах пятен за 72 ч произошло 3 больших вспышечных события. Пер-

вое (2B/M8.7 – 17 декабря) и третье (X1.8/3B – 20 декабря), самое мощное, зарегистрированы в более северной группе пятен КАО, а 18 декабря произошла вспышка балла M6.9/2N в более южном компоненте. Несмотря на то, что эти вспышечные события происходили в долгом интервале, благоприятном для Земли, в геомагнитном поле лишь 22 декабря отмечена малая магнитная буря, а 23–24 декабря – лишь отдельные суббури. Средний уровень вспышечной активности отмечен 1, 6, 13, 19, 21, 22 и 26 декабря. В остальные дни вспышечная активность была на низком уровне. Выбросы солнечных волокон (10 событий) наблюдались 7, 9 (4), 10, 20 и 29 (3) декабря. Возмущения от выбросов 9 декабря вызвали малую магнитную бурю 12 декабря. Коронграфы космической обсерватории "SOHO" зарегистрировали 109 корональных выбросов вещества разной интенсивности, среди которых 1 был типа "гало", 2 – типа "частичное гало III" (угол раствора $180^\circ-270^\circ$) и 6 – типа "частичное гало II" (угол раствора $90^\circ-180^\circ$). Три рекуррентные и одна вновь образовавшаяся корональные дыры проходили по видимому диску Солнца, однако значимых возмущений в околоземном космическом пространстве они не вызвали. На средних широтах Земли отмечены 4 малые магнитные бури: 7–8, 12, 21–22 и 29–30 декабря. На геостационарных орбитах очень высокий поток релятивистских электронов

с энергиями больше 2 МэВ наблюдался 7–15 и 31 декабря.

В январе 2015 г. уровень пятнообразовательной активности Солнца заметно понизился, но держался на среднем уровне. На видимом диске Солнца наблюдалось от 9 до 3 групп солнечных пятен, в том числе 1 большая и 3 среднего размера. Максимальное наблюдаемое число солнечных пятен отмечено **10 января** ($W = 88$), минимальное – 21 января ($W = 30$). Высокий уровень вспышечной активности наблюдался 13 января (вспышка балла M5.6, M4.9/2B с двумя рентгеновски-

ми всплесками в группе пятен Северного полушария). Вспышки среднего балла отмечены 2, 14, 22, 26 и 28 (2) января. Выбросы солнечных волокон (16 событий) наблюдались 8, 9, 11, 17, 20 и 23 января. Коронографы космической обсерватории “SOHO” зарегистрировали более 100 корональных выбросов вещества разной интенсивности, среди них были 2 типа “частичное гало II” (угол раствора 90° – 180°). В январе наблюдались 3 рекуррентные и 1 вновь образовавшаяся корональные дыры, но их геоэффективность была незначительной. Единственная

малая магнитная буря зарегистрирована 4–5 января, 7 и 8 января были отмечены две интенсивные магнитные суббури. На геостационарных орбитах очень высокий поток релятивистских электронов с энергиями больше 2 МэВ наблюдался 1–2 января – продолжение потока 31 декабря.

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

Информация

Магнитное поле нашей Галактики

На основе результатов регистрации микроволнового фона Вселенной в 2009–2013 гг. космической обсерваторией “Планк” (ESA) составлены карты реликтового излучения (Земля и Вселенная, 2014, № 1). Среди исследованных ис-

точников излучения – газопылевые облака, в которых происходит звездообразование. Слабое магнитное поле заполняет Млечный Путь, его создает вращение заряженного газа вокруг центра Галактики и пронизывают межзвездные облака. Под действием магнитного поля частицы пыли приобретают одинаковую ориентацию, наблюдаемую по рассеянию фонового излучения. Поляризованную эмиссию межзвездной пыли чувствительные датчики “Планка” зафиксировали в диапазоне 353 ГГц. Недавно специалисты подготовили карты высокого разрешения, охва-

тывающие область $\pm 30^\circ$ от ее экватора, на которых запечатлено взаимодействие межзвездной пыли и магнитного поля нашей Галактики (см. стр. 2 обложки). Межзвездное магнитное поле сильнее всего в центральном диске Галактики. Ученые надеются определить влияние магнитного поля на структуру и эволюцию Млечного Пути, изучить его роль в звездообразовании.

Пресс-релиз
Института космической астрофизики (Франция),
15 декабря 2014 г.

Ядерная энергетика в околоземном космосе

В.В. СИНЯВСКИЙ,
доктор технических наук
Ракетно-космическая корпорация “Энергия”
им. С.П. Королёва

В статье рассмотрены результаты проектных и концептуальных разработок РКК “Энергия” ядерных энергетических и электроракетных двигательных установок мощностью до 15 МВт для перспективных космических



аппаратов и комплексов нового поколения. Они способны эффективно решать широкий спектр задач в околоземном космосе и при организации лунных баз, а также в межпланетных экспедициях*.

ИСТОКИ КОСМИЧЕСКОЙ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Успешное развитие космонавтики в XXI в. зависит от прогресса наукоемких технологий и создания новых высокоэнергетических систем. На быстрорастущем рынке космических услуг будут востребованы ядерная энергетика, наиболее

энергоёмкие электро- ракетные двигательные установки для космических аппаратов.

Космическая ядерно- энергетическая установка (ЯЭУ) представляет собой атомную электростанцию, спроектированную для эксплуатации в условиях космоса, важ-

нейшими из которых считаются:

– отсутствие атмосферы, что позволяет для защиты оборудования от излучения ядерного реактора использовать не круговую, как в условиях Земли, а теньевую радиационную защиту существенно меньшей массы;

* В.П. Легостаев, В.А. Лопота, В.В. Синявский. Перспективы и эффективность применения космических ядерно-энергетических установок и ядерных электроракетных двигательных установок. Космическая техника и технологии, 2013, № 1, с. 4–16.

Советский космический аппарат "УС-А" с ЯЭУ "Бук" мощностью около 3 кВт. Периодически запускался в космос в 1970–1987 гг.



– возможность отвода не преобразованного в термодинамическом цикле тепла лишь излучением, что приводит к необходимости иметь в составе ЯЭУ холодильник-излучатель достаточно большой площади;

– невесомость, что позволяет разворачивать в космосе достаточно легкие и большие по площади конструкции.

Электроракетный двигатель – новый тип используемого в космосе двигателя, в котором тяга создается потоком плазмы или ионов, ускоренным электрическим или электромагнитным полем. Источником энергии такого двигателя будет солнечное или ядерное излучение. Основное преимущество электроракетного двигателя перед традиционным химическим – высокое значение удельного импульса $F_{уд} = F/G$, где F – тяга, G – расход рабочего тела. Удельный импульс ЖРД – 3–4,5 км/с, электроракетный двигатель будет развивать удельный импульс в межпланетном пространстве – 40–60 км/с. Это сокращает количество

рабочего тела (топлива) для выполнения задачи полета и, следовательно, позволяет значительно увеличить массу полезной нагрузки. Плата за это – малая тяга, существенно ниже силы тяжести у поверхности Земли, поэтому электроракетные двигательные установки могут использоваться только в космическом пространстве.

Космические ядерно-электроракетные двигательные установки (ЯЭРДУ) могут быть использованы:

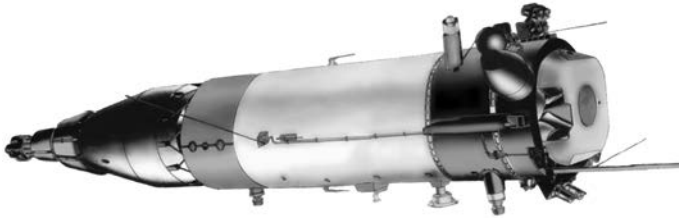
– в качестве источника электроэнергии на энергоемких космических аппаратах;

– в составе перспективных космических транспортных средств, в том числе многоразовых, на основе электроракетной двигательной установки, питаемых бортовой ЯЭУ;

– в транспортно-энергетическом модуле для доставки тяжелых аппаратов на рабочие орбиты и последующее длительное энергоснабжение их аппаратуры.

Наша страна пока еще мировой лидер в области космической ядерной

энергетики. У специалистов ряда предприятий атомной (ОАО "Красная Звезда", Физико-энергетический институт) и ракетно-космической (КБ "Арсенал") отраслей есть опыт создания, испытаний и эксплуатации на околоземной орбите космических аппаратов с ядерным источником электроэнергии. В 1970–1988 гг. успешно эксплуатировались ИСЗ "УС-А" морской разведки с термоэлектрической ЯЭУ "Бук" мощностью до 3 кВт. Космический аппарат "УС-А" разработан и изготовлен в НПО машиностроения и КБ "Арсенал". В 1987–1988 гг. прошли летные испытания КА "Плазма-А" ("Космос-1818 и -1876") с термоэмиссионной ЯЭУ "Топаз" мощностью 5 кВт, во время которых впервые было осуществлено питание электроракетных двигателей от ядерного источника энергии. К началу 1990-х гг. в НИЦ "Курчатовский институт" был выполнен комплекс наземных ядерно-энергетических испытаний ЯЭУ "Енисей" с термоэмиссионным реактором-преобразователем мощностью



Советский экспериментальный космический аппарат "Плазма-А" с термоэмиссионной ЯЭУ "Топаз" мощностью 5 кВт. 1987–1988 гг.

5 кВт, которая разрабатывалась для геостационарного ИСЗ "Эстафета". К настоящему времени на основе этих технологий в ОАО "Красная Звезда" разработаны проекты термоэмиссионных ЯЭУ мощностью от 25 до 100 кВт.

В конце 1950-х гг. при поддержке С.П. Королева в РКК "Энергия" (тогда ОКБ-1) одновременно с разработкой межпланетного экспедиционного корабля (Земля и Вселенная, 2007, № 2) начались исследования по созданию для него термоэмиссионной ЯЭУ мощностью 2,2–15 МВт в виде трех блоков по 5 МВт. В 1960-е гг. в рам-

ках эскизных проектов сверхтяжелых ракет-носителей Н-1 и Н-1М были разработаны проекты двигательных установок мегаваттной мощности. Рассматривался магнитоплазмодинамический двигатель электрической мощностью 500 кВт с литием в качестве рабочего тела, удельным импульсом 55 км/с, КПД 0,55, тягой 8,3 кгс. В конце 1970-х гг. такой двигатель был создан и испытан в РКК "Энергия".

В 1970–1980-е гг. в РКК "Энергия" в кооперации с предприятиями атомной и космической отраслей разработаны проекты ядерных электроракетных двигательных уста-

новок – с термоэмиссионной ЯЭУ мощностью несколько сот киловатт и холловскими плазменными двигателями мощностью десятки киловатт для межорбитального буксира "Геркулес". Проектные параметры буксира следующие: электрическая мощность ЯЭУ – 550 кВт, удельный импульс двигательной установки – 30 км/с, тяга двигателя – 2,6 кгс, ресурс – 16 тыс. ч, рабочее тело – ксенон, масса буксира – 14,5–15,7 т, в том числе ЯЭУ – 6,9 т.

В октябре 2009 г. на заседании Комиссии при Президенте РФ по модернизации и технологическому развитию экономики России был официально утвержден новый проект "Создание транспортно-энергетического модуля на основе ядерной энергодвигательной установки мегаваттного класса". Главными разработчиками



Проектный облик космического аппарата с термоэмиссионной ЯЭУ второго поколения. Разработка КБ "Арсенал". 1990-е гг.

Испытания в вакуумной камере магнитоплазменного электроракетного двигателя мощностью 500 кВт, рабочее тело – литий, удельный импульс – 55 км/с, КПД – 0,55, ресурс – почти 500 ч. 1970-е гг.



назначены ОАО «НИКИЭТ» (реактор) и ГНЦ «Исследовательский центр им. М.В. Келдыша» (ЯЭУ с газотурбинной схемой преобразования энергии и ионные электроракетные двигатели). Ис-

следовательский центр разработки транспортно-им. М.В. Келдыша стал энергетического модуля также ответственным за в целом.

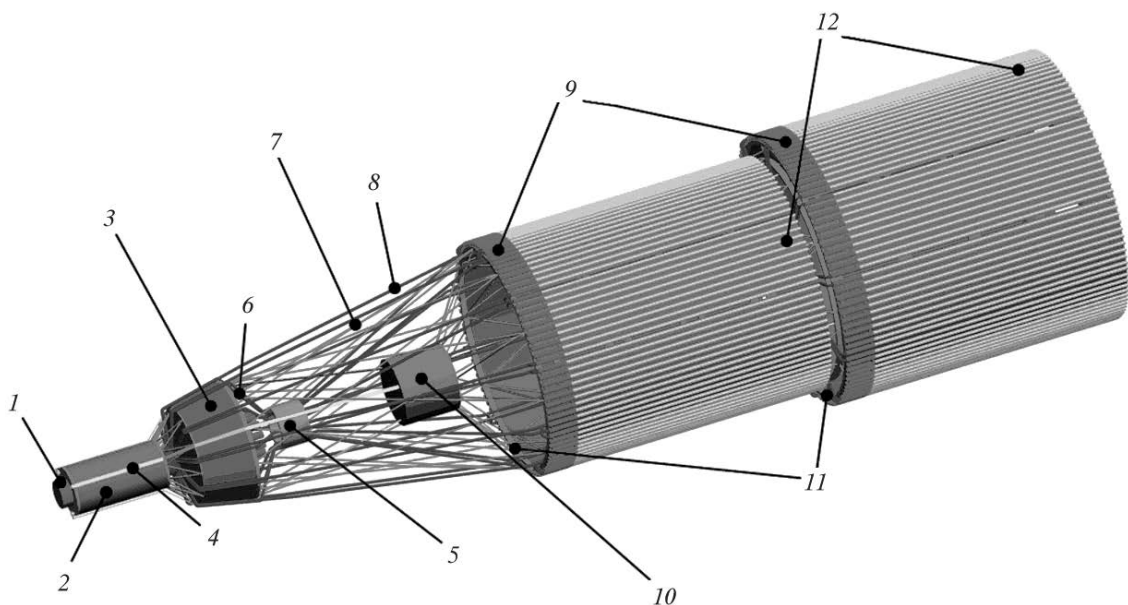
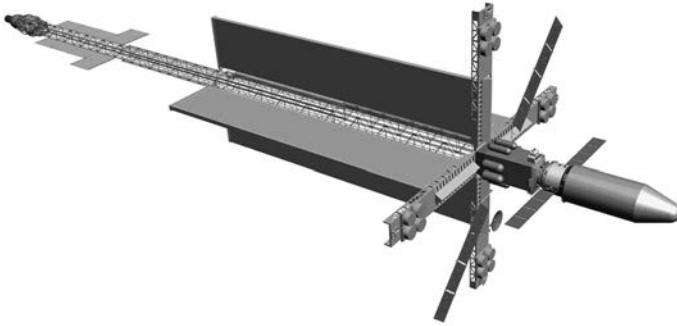


Схема термоэмиссионной ЯЭУ для межорбитального буксира «Геркулес»: 1 – блок генераторов пара цезия и системы удаления газообразных продуктов деления модулей; 2 – ТРП модульной схемы; 3 – многослойная радиационная защита; 4 – сильноточная шина; 5 – многоканальный МГД-насос с общей магнитной системой всех модулей; 6 – трубопровод литиевой системы охлаждения на входе в модуль термоэмиссионного реактора-преобразователя; 7 – опорная ферма; 8 – трубопровод литиевой системы охлаждения на выходе из модуля термоэмиссионного реактора-преобразователя; 9 – теплообменник литий – натрий зоны испарения тепловой трубы; 10 – силовой преобразовательный блок; 11 – опорное кольцо (раздвижная ферма полезной нагрузки не показана); 12 – зона конденсации тепловых труб холодильника-излучателя. Проект конца 1980-х гг.



Транспортно-энергетический модуль мегаваттной мощности на основе ЯЭУ с газотурбинной установкой и капельным холодильником-излучателем.

Перечень задач определяет диапазон электрических мощностей ЯЭУ, требуемый ресурс в ряде случаев накладывает ограничение на удельную массу установки (отношение массы ЯЭУ к ее электрической мощности). При выборе облика ЯЭУ и двигательной установки должны учитываться такие характеристики: удельная масса, габариты, ресурс, надежность, степень технической готовности, стоимость и сроки разработки, потенциал развития, возможность повторного запуска и регулирования мощности, параметры тока, совместимость ЯЭУ с различными типами двигателей.

ТЯЖЕЛЫЕ АППАРАТЫ ГЛОБАЛЬНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

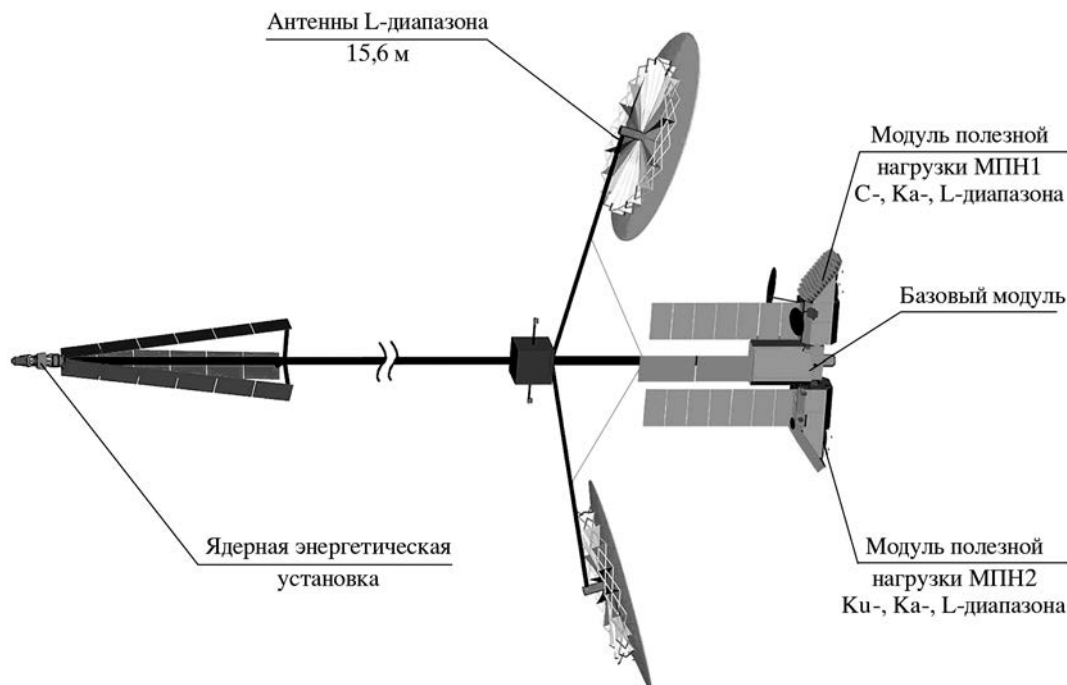
В начале 2000-х гг. в РКК «Энергия» были выполнены исследования и проектные разработки системы глобальной космической связи, которая могла бы экономически конкурировать с дешевой

сетевой связью. Целесообразность ее создания связана с практически заполненной геостационарной орбитой работающими и пассивными ИСЗ, а также с исчерпанием частотного ресурса. При этом учитывался положительный опыт создания и коммерческого использования геостационарных спутников серии «Ямал», при создании платформы которых новые технические решения составили 95%, что позволило им стать конкурентными на мировом рынке космических услуг. С учетом быстрого морального старения функциональной аппаратуры таких аппаратов предполагалась замена модулей с технологическим связным оборудованием или всего аппарата примерно через каждые семь лет. Это потребовало ввести несколько этапов создания системы из трех-четырех тяжелых геостационарных многофункциональных аппаратов с наращиванием потребляемой ими электрической мощ-

ности. Были выполнены проекты таких ИСЗ с солнечными батареями мощностью 30–80 кВт. На следующем этапе планировалось использовать в качестве источника электроэнергии двухрежимную термоэмиссионно-термоэлектрическую ЯЭУ мощностью 400 кВт с ресурсом до года для доставки базового модуля на геостационарную орбиту, 150–180 кВт в режиме длительного функционирования (не менее 10–15 лет) для электрообеспечения аппаратуры ИСЗ связи массой до 20 т.

КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ

Одна из актуальных прикладных задач ядерной энергетики, в том числе с большим коммерческим потенциалом, – обеспечение всепогодного круглосуточного оперативного радиолокационного наблюдения с высоким разрешением обширных районов земной поверхности. При этом область применения радиолокационных методов зондирования будет неуклонно расширяться, что обусловлено такими их уникальными свойствами, как:



Проект тяжелого геостационарного спутника глобальной системы связи с ЯЭУ мощностью 180 кВт. Разработка РКК "Энергия". Начало 2000-х гг.

- мониторинг независимо от погодных условий;

- чувствительность к неровностям поверхности (рельеф местности, конфигурация растительного покрова, океанические волны);

- чувствительность к содержанию воды в сельскохозяйственных культурах, почвах, льдах;

- возможность осуществлять подповерхностное зондирование (поиск линз грунтовых вод, обнаружение оча-

гов подземных пожаров, определение профилей влажности почв).

Основное преимущество радиолокационного метода по сравнению с оптическим – независимость от метеоусловий и освещенности, что важно при достижении различных оперативных целей. Впервые ЯЭУ применили на советском низкоорбитальном радиолокационном ИСЗ "УС-А". В настоящее время ряд социально-экономических, научных и коммерческих задач также могут быть решены только в условиях оперативного получения информации, и радиолокационные системы с мощной бортовой энергетикой могут стать единственно приемлемыми для их решения.

Разработка радиолокаторов с синтезированной апертурой позволяет получать радиолокационные изображения с высоким разрешением при использовании антенн относительно небольших размеров. С помощью космических средств это может обеспечить решение следующих задач:

- наблюдение районов с контролем строительства сооружений, состояния дорог и магистралей, перемещения транспорта;

- наблюдение за надводной обстановкой в морских акваториях, включая районы аварий, чрезвычайных ситуаций и незаконного лова рыбы; обнаружение и распознавание надводных кораблей;

– оперативное картографирование труднодоступных районов; уточнение и обновление топографических карт.

Среди научных, социально-экономических и коммерческих задач, эффективно решаемых с применением радиолокаторов с синтезированной апертурой, можно выделить:

– картографирование районов в интересах геологии, экологии, сельского и лесного хозяйства, землепользования, архитектуры, дорожного строительства;

– наблюдение районов стихийных бедствий, экологических катастроф, террористических актов;

– контроль ледовой обстановки в интересах судовождения;

– исследование океанических процессов, влияющих на жизнедеятельность человека (приливы, цунами, штормы, загрязнения);

– контроль зон рыболовства;

– контроль нефте- и газопроводов, линий электропередач, оросительных каналов с целью выявления мест аварий, повреждений, несанкционированного подключения.

Следует отметить, что космический радиолокатор с фазированной решеткой – достаточно гибкая система, так как легко перестраивается электронным управлением отдельных ячеек. Легкость перестраивания системы позволяет часть

ее ресурсов (на коммерческой основе, на основе международных или межгосударственных соглашений) передать другим государствам. При необходимости такая система может быть встроена в международные системы коллективной безопасности, борьбы с терроризмом и незаконным оборотом наркотических средств. Кроме очевидных политических и социальных преимуществ такая система может дать ощутимую экономическую выгоду за счет продажи части ресурсов радиолокационной станции отдельным государствам или международным организациям. При этом будет осуществляться экспорт не сырья, а дорогой высокотехнологической продукции.

Платформа с ЯЭУ электрической мощностью от 50 до 500 кВт в составе высокоорбитального многофункционального КА с мощным радиолокатором на борту удовлетворяет современным требованиям к таким системам.

ОЧИСТКА ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ОРБИТЫ

Одной из задач использования многоцветного ядерного электро ракетного буксира может быть решение проблемы очистки от нефункционирующих спутников. Назрела необходимость удаления отработавших аппаратов, прежде всего с геостационарной ор-

биты, учитывая дефицитность и дороговизну (20–50 млн долларов) точек, где могут быть расположены новые телекоммуникационные ИСЗ. На основе флота из двух десятков многоцветных буксиров электрической мощностью 150–200 кВт может быть создана система очистки от крупных объектов размером 2–3 м и средней массой 2,5 т, которых сейчас насчитывается более 1200. Это представляется выгодной коммерческой задачей. Оценки показывают, что затраты на очистку космоса от “мусора” могут достичь около 3 млрд долларов в год.

Предложено задействовать три модификации такого буксира.

Многоцветный аппарат-тральщик эксплуатируется на геостационарной орбите и предназначен для сбора пассивных аппаратов. Этот буксир оснащен оборудованием для обнаружения, захвата, установки и крепления пассивного аппарата или другого объекта в состыкованной с буксиром грузовой платформе. Имеются устройства как для стыковки “пустой” грузовой платформы, так и для расстыковки загруженной платформы и приема новой “пустой” платформы. **Многоцветный межорбитальный буксир** будет обеспечивать периодическую доставку на геостационарную орбиту новых (незагруженных) платформ. Он специализируется на снабжении этой

орбиты серийными грузами и порожнего возвращения на рабочую орбиту высотой около 800 км для забора нового груза. **Буксир третьей модификации** будет понижать высоту перицентра грузовой платформы с собранными пассивными аппаратами до 800 км. В принципе возможно и может оказаться экономически целесообразным совмещение в одном транспортном средстве второго и третьего типа буксира, но этот вариант, требующий экономических оценок, не рассматривается. Было предложено все модификации буксира оснастить электроракетным двигателем с ЯЭУ мощностью 150 кВт. Кроме того, с радиационно-безопасной орбиты высотой 800 км каждый буксир достигает геостационарной орбиты своим ходом.

На основе универсального буксира можно создать серию космических средств транспортного и транспортно-энергетического назначения, в том числе:

– заправщика рабочим телом (например, ксенон) электроракетных двигательных установок поддержания орбиты тяжелых информационных аппаратов для увеличения ресурса их работы;

– ремонтника, который доставляет и заменяет вышедшие из строя или морально устаревшие модули дорогостоящих информационных ИСЗ;

– монтажника, собирающего на рабочих орбитах тяжелые космические аппараты или комплексы из доставляемых служебных и функциональных модулей;

– транспортные средства для перемещения космических аппаратов из одной рабочей точки геостационарной орбиты в другую.

Буксир второй модификации может быть использован как электроракетный транспортный аппарат для доставки космических аппаратов или других полезных грузов на любые орбиты и транспортировки их с одной орбиты на другую. Третья модификация может быть использована для снятия с орбиты, например геостационарной, аварийного дорогого или уникального КА и доставки его на орбиту, например, близкую к орбите Международной космической станции, с целью выяснения причин неработоспособности, ремонта и последующего возвращения на рабочую орбиту. Близкой к этой задаче является необходимость снять с орбиты аппараты после выработки ресурса или прекращения по другим причинам функционирования.

УДАЛЕНИЕ “МЕЛКОГО”
МУСОРА

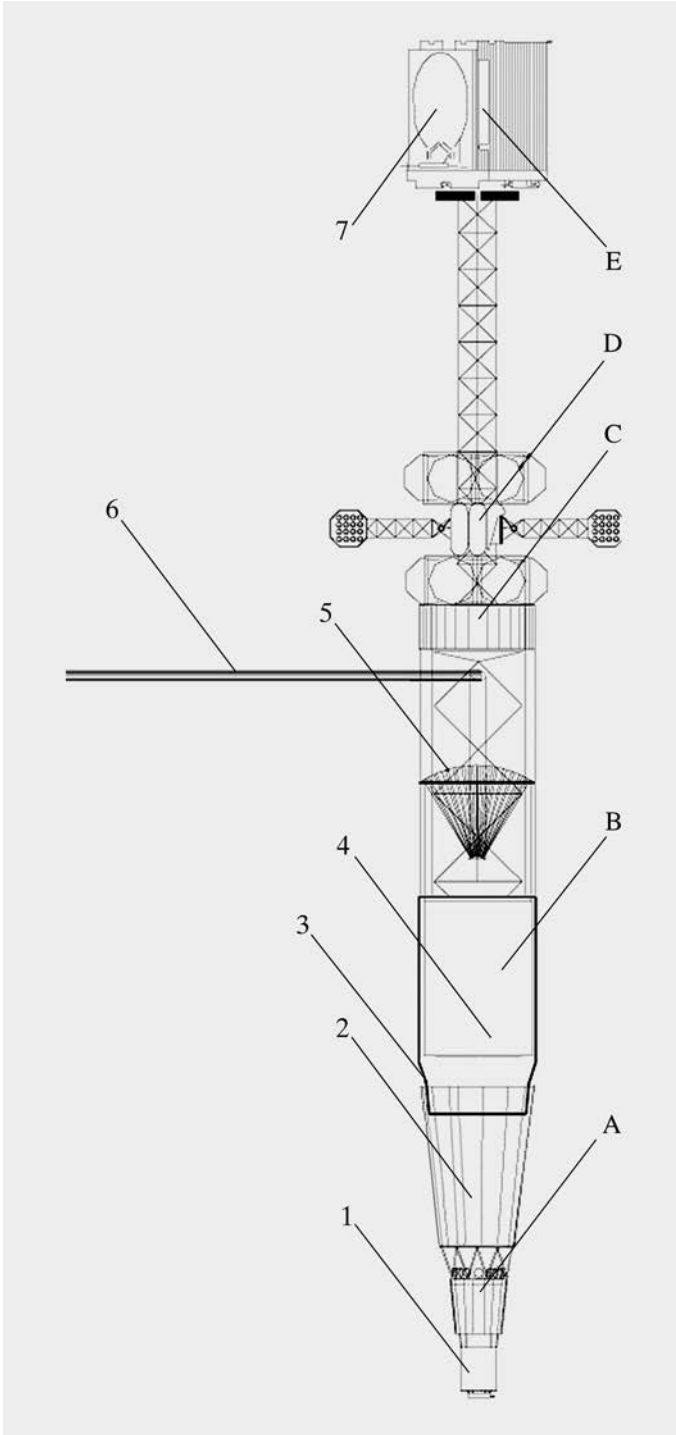
В начале XXI в. в РКК “Энергия” была предложена концепция очистки околоземного космоса

на высоте 800–2000 км от мелкого “мусора” размером 0,1–10 мм с помощью маневрирующего космического аппарата с ЯЭУ мощностью 150 кВт и ресурсом до 10 лет. Радиолокатор миллиметрового диапазона обнаруживает микрочастицы на расстоянии до 100 км, лазерный локатор выполняет точное наведение луча силового лазера на парах металлов с КПД до 30% на уничтожаемый “мусор”. При дальности 3 км возможно обеспечение плотности мощности на поверхности частицы 10^{12} Вт/см². Чтобы испарилась алюминиевая частица диаметром 3 мм, нужна полная энергия в $1,5 \times 10^5$ Дж. Для полной очистки космоса от мелких частиц потребуются несколько рассматриваемых аппаратов, их эффективность может быть повышена при использовании накопителей электроэнергии.

Рассматриваемую задачу нельзя решить при отсутствии мощного источника электроэнергии на борту. Поэтому использование ЯЭУ для двух целей – питания энергоемкой аппаратуры и мощной двигательной установки делает такую систему высокоэффективной.

ЭНЕРГОКОМПЛЕКСЫ
С ДИСТАНЦИОННОЙ
ПЕРЕДАЧЕЙ ЭНЕРГИИ

В перспективе ЯЭУ могут найти применение в космических системах по



Маневрирующий КА с лазерной системой длиной 35 м для очистки космоса на высоте 1000–2000 км от “мелкого мусора”: А – ЯЭУ; В – силовой лазер; С – блок управления и энергоснабжения силовых систем; D – ЭРДУ; Е – блок систем управления КА и наведения; 1 – термоэмиссионный реактор; 2 – холодильник-излучатель ЯЭУ; 3 – термостат резонатора; 4 – резонатор; 5 – выводящая оптическая система; 6 – выходящий луч; 7 – антенна радара.

местить на достаточно безопасном расстоянии от расположенного в космосе потребителя электроэнергии. Целесообразность использования принципов беспроводной передачи электроэнергии в той или иной энергетической космической системе (несмотря на неизбежные потери электрической мощности в канале передачи) обусловлена следующими причинами:

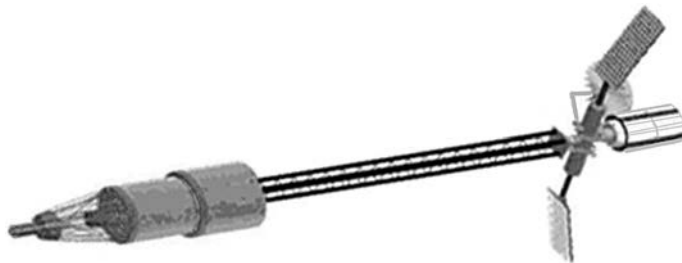
- невозможность либо нецелесообразность применения ядерной или солнечной энергетической установки большой мощности в силу особенностей его целевого назначения и/или условий функционирования при большой потребной мощности системы электропитания;

- необходимость снабжения с помощью энергетической станции нескольких пространственно разделенных

дистанционной передаче электроэнергии потребителям с помощью лазер-

ного излучения. Энергетическую станцию на основе ЯЭУ можно раз-

Многоразовый межорбитальный буксир на основе термоэмиссионной ЯЭУ и многомодульной электроракетной двигательной установки для доставки грузов на геостационарную орбиту и орбиту Луны. Проект РКК "Энергия". Конец 1980-х гг.



космических потребителей;

– неприемлемо высокая удельная масса и/или относительно небольшой ресурс энергетической установки, приводящие к разделению источника энергии и потребителя;

– повышение эффективности космических средств за счет покрытия пиковых потреблений посредством беспроводной передачи энергии без увеличения проектной мощности автономных энергоустановок.

Таковыми потребителями могут быть различные космические средства.

Использование энергетических модулей с бортовой ЯЭУ на перспективных энергоемких исследовательских, сборочно-монтажных и других орбитальных станциях позволит практически полностью отказаться от крупногабаритных панелей солнечных батарей и громоздких электрических аккумуляторов. Низкий уровень микрогравитации технологических энергоемких аппаратов может быть обеспечен за счет передачи энергии от находящейся поблизости (но механически не свя-

занной) энергетической станции.

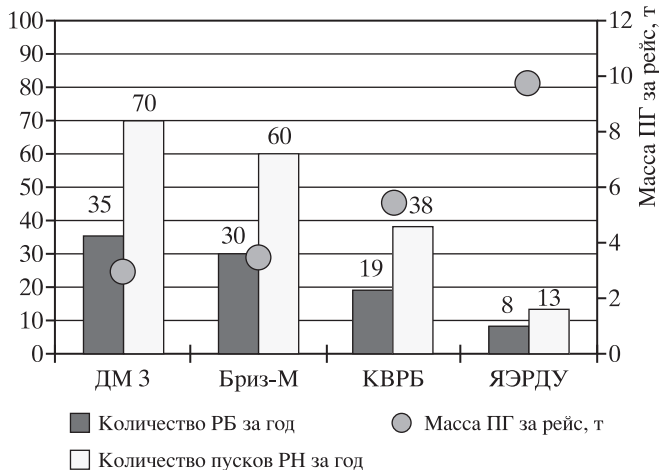
Система из трех-четырех космических энергетических модулей (орбитальных атомных электростанций) может быть использована для перевода космического аппарата с низкой опорной орбиты на геостационарную и другие орбиты за счет передачи по лазерному лучу энергии на борт с электроракетными двигателями. Энергетические модули с бортовой ЯЭУ на орбите вокруг Луны могут обеспечить питание по сфокусированному СВЧ или лазерному лучу лунной базы. Подобная схема энергоснабжения может быть реализована в будущем и для марсианской базы.

**МНОГОРАЗОВЫЙ БУКСИР
ДЛЯ БОЛЬШИХ ГРУЗОПОТОКОВ**

Важнейший способ повышения эффективности транспортных операций в космосе – многоразовое использование элементов транспортной системы. ЯЭРДУ мощностью не менее 500 кВт позволяет создать многоразовый межорбитальный буксир

и тем самым значительно повысить эффективность многосвязной космической транспортной системы.

Особенно эффективна такая система в программе обеспечения больших годовых грузопотоков, например при освоении Луны. Предполагается создание и обслуживание постоянно наращиваемой обитаемой базы с экспериментальными технологическими и производственными комплексами. По проектам РКК "Энергия" при строительстве базы на поверхность Луны должны доставляться модули массой около 10 т, на орбиту Луны – до 30 т. Суммарный грузопоток с Земли на орбиту Луны при строительстве обитаемой лунной базы и посещаемой лунной орбитальной станции оценивается в 700–800 т, годовой грузопоток для обеспечения функционирования и развития базы – в 400–500 т. Однако, учитывая достаточно длительное время транспортировки и значительное время нахождения полезного груза в радиационных поясах Земли, не все грузы могут быть



Гистограмма результатов анализа годовой потребности в разгонных блоках и ракетах-носителях для обеспечения годового грузопотока с орбиты Земли на орбиту Луны в пределах 100 т/год. Преимущество ядерного электроракетного буксира по сравнению с ЖРД – снижение в 4–7 раз количества требуемых пусков РН “Протон”. РБ – разгонный блок, РН – ракета-носитель, ПГ – полезный груз.

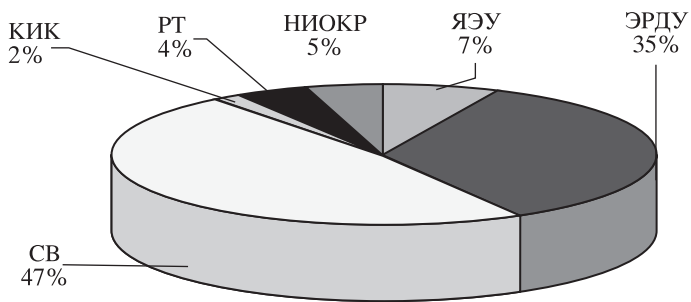
доставлены с использованием межорбитального буксира с ЯЭРДУ. С учетом этих обстоятельств межорбитальный буксир на основе ЯЭРДУ может обеспечить грузопоток примерно 100–300 т/год.

Наша страна в настоящее время занимает около 40% мирового рынка коммерческих транспортных услуг по обеспечению запуска КА в космос. Новые технологии, в том числе основанные на использовании ЯЭУ и ЭРДУ, могут позволить снизить удельную стоимость космической транспортировки, увеличить в несколько раз массу доставляемых неделимых

грузов и не только сохранить мировое лидерство в обеспечении коммерческих пусковых услуг, но и повысить эту долю.

Существенное влияние на техническую эффективность оказывает величина стартовой массы межорбитального буксира на сборочно-монтажной радиационно-безопасной орбите высотой не менее 800 км, то есть фактически грузоподъемность используемых сейчас ракет-носителей. Один из путей повышения эффективности с ЯЭРДУ – увеличение стартовой массы до предельной грузоподъемности РН по доставке

грузовых модулей на радиационно-безопасную орбиту. Так, на примере обеспечения грузопотока между орбитами Земли и Луны в 100 т/год показано, что при двухпусковой схеме развертывания ММБ с использованием различных РН (существующих и перспективных) оптимальным будет межорбитальный буксир с ЯЭУ мощностью 0,8–1,7 МВт и ЭРДУ судельным импульсом 42–61 км/с. Оптимальная продолжительность рейса составит



Структура затрат транспортной системы, состоящей из 6 многоразовых межорбитальных буксиров и позволяющей обеспечивать грузопоток 100 т/год. ЯЭУ – ядерная энергоустановка; ЭРДУ – электроракетная двигательная установка; НИОКР – научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки; СВ – средства выведения; КИК – контрольно-измерительный комплекс; РТ – рабочее тело.

6–9 месяцев, в зависимости от типа ракеты-носителя.

Высокую эффективность космической транспортной системы с использованием рассматриваемого буксира наглядно демонстрирует сравнение эффективности электроракетного (ЯЭДУ) и буксиров на основе различных разгонных блоков с химическими ракетными двигателями (ДМ-3, Бриз-М, КВРБ). Показано преимущество ядерного буксира как в возможности доставки груза в 2–3 раза большей массы, по сравнению с ЖРД, так и по количеству требуемых пусков ракет-носителей класса “Протон” (снижение в 4–7 раз).

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ БУКСИРА

В качестве критерия экономической эффективности межорбитальной транспортной системы целесообразно использовать значение удельной стоимости транспортировки единицы массы полезного груза с поверхности Земли на целевую орбиту. Экономико-математическая модель для оценки экономической эффективности буксиров учитывает основные элементы затрат в транспортной системе: на создание и

выведение на орбиту (с помощью ракеты-носителя и разгонного блока) модулей буксира, на закупку рабочего тела электроракетной установки, эксплуатационные затраты, а также затраты на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) и возможные капитальные затраты. Удельная доля затрат существенно зависит от ресурса ЯЭУ и количества буксиров для выполнения заданного годового грузопотока. Так, например, для одного многоразового буксира с ЯЭУ мощностью 1 МВт, ресурсом 5 лет и заменой электроракетной установки в каждом рейсе в задаче доставки грузов с орбиты Земли на орбиту Луны основные составляющие удельной стоимости – затраты на выведение (40–50%), изготовление электроракетных двигательных установок для каждого рейса (30–35%), изготовление ЯЭУ (6–8%). Затраты на НИОКР, отнесенные к единичному изделию, составят 30–40%. При больших грузопотоках, например 100 т/год, потребуются флот из 6–8 таких буксиров, доля НИОКР снизится до 6% при затратах на ЯЭУ до 10%.

Стоимостные показатели зависят от оптималь-

ных параметров буксира, то есть предполагается, что максимальная эффективность с экономической точки зрения обеспечивается достижением оптимальных технических характеристик. Учитывается также влияние фактора времени на величину удельной стоимости транспортировки.

Комплекс выполненных в РКК “Энергия” проектных исследований показал экономическую эффективность применения многоразового буксира на основе ЯЭУ мощностью порядка 1 МВт по сравнению с одноразовым буксиром с ЖРД при доставке на орбиту Луны высотой 100 км полезного груза суммарной массой 100 т в год. Удельная стоимость доставки на низкую опорную орбиту единицы массы полезного груза с помощью ядерного электроракетного буксира на ракете-носителе грузоподъемностью такой, как у “Протона-М”, будет в три раза ниже, чем при использовании одноразовых буксиров на основе разгонных блоков с ЖРД. Ядерные источники электроэнергии мощностью в несколько мегаватт и маршевые электроракетные плазменные двигатели могут обеспечить индустриализацию околоземного космоса и промышленное освоение Луны.

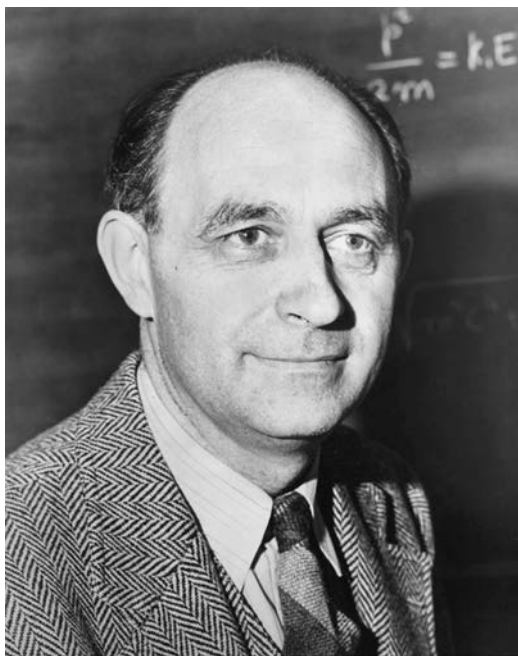
Энрико Ферми

“Среди современных нам ученых великий итальянский физик Э. Ферми занимает особое место. В наше время, когда узкая специализация в научных исследованиях стала обычным явлением, трудно указать столь универсального физика, каким был Э. Ферми. Он внес большой вклад в развитие теоретической, экспериментальной и даже технической физики” – так писал академик Б.М. Понтекорво, ученик Э. Ферми.

Энрико Ферми (Enrico Fermi) родился 29 сентября 1901 г. в Риме. Он был

младшим из трех детей железнодорожного служащего Альберто Ферми и Иды де Гаттис, учительницы. Несмотря на то что в семье и среди окружающих никто не побуждал его к занятиям наукой, Энрико еще мальчиком проявляет исключительный интерес к математике и физике. Выдающиеся познания в точных науках Э. Ферми приобрел в основном самообразованием. В 1918 г. Энрико поступает одновременно в Высшую нормальную школу и на физико-математический факультет Пизанского университета. Для поступления в Высшую школу нужно было выдержать очень трудный вступительный экзамен. Ученик Нормальной школы автоматически становился студентом университета, обучение таких студентов в университете было бесплатным.

Будучи студентом, Энрико стремился познать новые отрасли физики, касающиеся строения материи, теории относительности и квантовой теории. Но эти разделы не были известны в Италии, по ним не читались университетские курсы. Он вспоминал позднее: *“Когда я поступил в университет, классическую физику и теорию относительности я знал так же, как и теперь”*. В университете профессора не смогли дать ему ничего нового, уже в то время Ферми разбирался в проблемах физики лучше своих учителей. Ферми много работает в лаборатории университета, пишет несколько теоретических статей по классической и статистической механике, теории относительности. В 1922 г. он с отличием защищает диплом по оптике рентгеновских лучей.



Э. Ферми. 1940-е гг.

В том же году и с такой же оценкой Ферми получил диплом об окончании Высшей нормальной школы.

После окончания университета Ферми на короткое время едет в Германию и Голландию, поскольку в Италии он не нашел специалистов по физике высокого уровня. Нидерландский физик-теоретик П. Эренфест высоко оценил дар Ферми как крупного физика. Моральная поддержка П. Эренфеста имела в жизни Ферми большее значение, чем его встречи за границей с блестящими молодыми физиками-теоретиками В. Паули и В. Гейзенбергом.

Вернувшись в Рим, итальянское правительство назначает Ферми стипендию, и по направлению Министерства образования он отправляется для дальнейшего изучения современной физики в Германию, к Максиму Борну, возглавлявшему в то время отделение теоретической физики Гёттингенского университета им. Георга-Августа. В Гёттингене он самостоятельно выполнил ряд исследований по теоретической физике. В конце 1924 г. Ферми обучается в Лейдене (Голландия) у П. Эренфеста, под его влиянием у Ферми появляются черты серьезного исследователя. С января 1925 г. до осени 1926 г. Ферми работает временным профессором университета во Флоренции, читает лекции по теоретической механике и математической физике. В эти годы в своих исследованиях он затрагивает проблемы общей теории относительности, квантовой теории и теории электронов в твердом теле. В 1926 г. он создал новую разновидность статистической механики, которая успешно описывала поведение электронов, а позднее была применена к протонам и нейтронам. Статистика Ферми позволила лучше понять электропроводность металлов и привела к построению более эффективной модели атома. Атомная физика тесно связана с другими областями физики, что подтверждают многие термины, вошедшие в научную литературу, напри-



Профессор Университета Флоренции Э. Ферми. 1926 г.

мер газ Ферми, фермион, модель ядра по Ферми, модель атома Томаса – Ферми, фермиевские моменты нуклонов в ядре. В университете Флоренции его назначают на должность свободного доцента, он пишет блестящую книгу “Введение в атомную физику”, которая позднее стала основным учебником по теоретической физике для студентов университетов.

Когда в Римском университете в 1927 г. была учреждена первая кафедра теоретической физики, Ферми, успевший обрести международный авторитет, был избран ее главой и в должности профессора преподавал в столичном университете до 1938 г. В 1928 г., когда ему было всего 27 лет, он был избран членом Королевской академии Италии. В 1929 г. Ферми избрали членом-корреспондентом Академии наук СССР, впоследствии он стал членом многих академий мира. Ферми основал первую в Италии школу современной физики. В исследовательский коллектив вошли сотрудники университета и его наиболее способные



Э. Ферми. Рим. Начало 1930-х гг.

ученики. Вскоре вокруг него сформировалось ядро школы физиков-ядерщиков – Э. Амальди, Дж. Бернардини, Дж. Вик, Э. Майорана, Дж. Оккиалини, Б. Понтекорво, Дж. Рака, Ф. Разетти, Б. Росси, Э. Сегре, и вскоре в международных научных кругах ее стали называть группой Ферми. Они принимали участие в семинарах Римского института физики. По утверждению Б.М. Понтекорво, «Ферми был прирожденным учителем, его лекции в университете по квантовой механике, атомной физике, математической физике, термодинамике и его любимый курс по геофизике отличались большой ясностью и строгостью изложения, что, однако, не было результатом особой подготовки к лекциям (Ферми почти никогда не готовился к ним), но объяснялось глубокими знаниями и исключительной ясностью ума учителя. В конечном счете, качество лекций являлось отражением его самостоятельной работы, проводимой еще школьником, когда он пытался осознать и понять различные

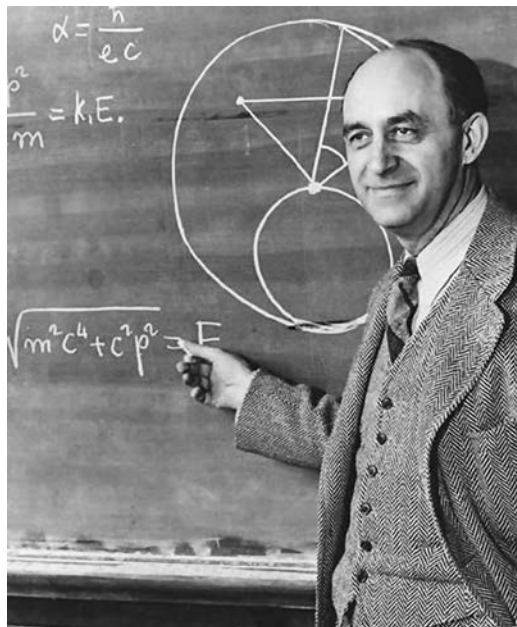
явления природы. Собственным примером он учил их страстно любить физику, равно как и понимать дух и этику науки. Ферми упорно подчеркивал исключительную моральную ответственность ученого при опубликовании научной работы... В физике, по мнению Ферми, нет места для путаных мыслей, а физическая сущность любого, действительно понимаемого вопроса может быть объяснена без помощи сложных формул. Правильность такого мнения иллюстрировалась замечательной способностью Ферми быть понятным слушателям самого различного уровня. Ферми всегда подчеркивал огромную важность для студентов хорошей подготовки по классической физике, и он сам любил читать лекции по элементарной физике. Общий курс математической физики, прочитанный Ферми в Риме, представлял собой нечто вроде энциклопедии, содержавшей элементы электродинамики, теорий потенциала, относительности, распространения тепла, диффузии и упругости... Пленительная ясность мыслей, характерная для лекций Ферми, выделяет также все его книги (Ферми написал их семь) и статьи... двухтомный «Курс элементарной физики» для средних школ и великолепное «Введение в атомную физику», служащее в качестве учебника теоретической физики в Римском университете».

Теоретическая деятельность Ферми в 1926–1933 гг. шла по трем главным направлениям. Первое – квантовая механика, он успешно объяснял и пропагандировал ее в научных кругах. Второе направление было связано со статической механикой. Третье – изучение структуры атомов и молекул. Свои исследования в данной области он изложил в книге «Молекулы и кристаллы». В 1929–1930 гг. Ферми внес принципиальный вклад в становление квантовой электродинамики, он подготовил канонические правила квантования электромагнитного поля, отличные от подхода Гейзенберга – Паули.

Вот как оценил научный подход Ферми американский астрофизик, Нобелевский лауреат Х. Бете: *“Метод работы Ферми над теоретическими проблемами больше всего поражал меня своей простотой. Он мог проникнуть в существо любой задачи, какой бы сложной она ни казалась. Он срывал с нее покров математических усложнений и ненужного формализма. С помощью такого метода он мог, часто не более чем за полчаса, решить весьма сложную физическую задачу. Он был мастером получения важных результатов минимальными усилиями и простейшим математическим аппаратом”*.

В начале 1930-х гг. Ферми перенес свое внимание с внешних электронов атома на атомное ядро. В 1933 г. он предложил теорию бета-распада, с ее помощью удалось объяснить, каким образом ядро спонтанно испускает электроны и роль частиц нейтрино, лишенных электрического заряда и не поддававшихся тогда экспериментальному обнаружению. Существование таких частиц было постулировано Паули, а название придумал Ферми (нейтрино экспериментально обнаружено в 1956 г.). Теория бета-распада Ферми затрагивала новый тип сил, названных слабым взаимодействием. Статья Ферми о бета-распаде была отвергнута из-за своей новизны английским журналом “Нэйчер” (Природа), но опубликована в итальянском и немецком журналах.

После 1933 г. Ферми перенес свое внимание на атомную физику. Это случилось после открытия И. и Ф. Жолио-Кюри искусственной радиоактивности. Ферми пришел к выводу, что нейтроны должны быть наиболее эффективным орудием для получения радиоактивных элементов. В 1934 г. Ферми опубликовал свою теорию сильных и слабых взаимодействий элементарных частиц. С этого времени он проводит эксперименты по бомбардировке нейтронами элементов периодической таблицы в надежде синтезировать но-



Э. Ферми читает лекцию. 1930-е гг.

вые радиоактивные изотопы. Первого успеха удалось достичь при бомбардировке фтора. 22 октября 1934 г., поместив между источником нейтронов и активируемым серебряным цилиндром парафиновый клин, Ферми заметил, что клин не уменьшает активность нейтронов, а несколько увеличивает ее. Проведя опыт сначала с парафином, потом с водой, Ферми констатировал увеличение активности медленных нейтронов в сотни раз. Результаты опытов Ферми опубликовал в статьях “О возможном нахождении элемента с атомным номером выше 92” и “Искусственная радиоактивность, создаваемая нейтронной бомбардировкой”. В опытах, выполненных в Риме в 1934–1935 гг., Ферми и его группа получили сотни новых радиоактивных изотопов. В эксперименте с ураном образовалась смесь изотопов, вскоре ошибочно объявили о синтезе 93-го элемента. Как оказалось впоследствии, в действительности это были продукты деления урана. Деление урана было от-



Вручение Нобелевской премии Э. Ферми. Стокгольм. 1939 г.

крыто в 1938 г. О. Ганом, Л. Майтнер и Ф. Штрассманом.

Работу группы Ферми очень высоко оценили в научном мире. Эти исследования привели к рождению новой области знаний – нейтронной физики. Открытие эффекта замедления нейтронов (эффект Ферми), по словам Б. Понтекорво, заложило основы *“ядерной физики, а также новой области техники, как мы говорим сегодня – атомной техники”*.

Еще в 1928 г. Ферми вступил в брак с Лаурой Капон, принадлежавшей к известной в Риме еврейской семье. У супругов Ферми родились сын и дочь. После принятия итальянским правительством в сентябре 1938 г. антисемитских гражданских законов Ферми и его жена решили эмигрировать. В декабре 1938 г. он был награжден Нобелевской премией по физике “за доказательства существования новых радиоактивных элементов, синтезированных при облучении нейтронами, и связанное с этим открытие ядерных

реакций, вызываемых медленными нейтронами”. *“Наряду с выдающимися открытиями Ферми всеобщее признание получили его искусство экспериментатора, поразительная изобретательность и интуиция... позволившая пролить новый свет на структуру ядра и открыть новые горизонты для будущего развития атомных исследований”*, – заявил, представляя лауреата, Х. Плейель из Шведской королевской академии наук. После вручения премии, в начале 1939 г., Ферми с семьей поехал из Стокгольма в Нью-Йорк. В США сразу пять университетов предложили ему должность профессора физики. Выбрав Колумбийский университет в Нью-Йорке, Ферми читал там лекции до июля 1942 г.

В январе 1939 г. в США из Копенгагена прибыл Нильс Бор, чтобы провести несколько месяцев в Институте фундаментальных исследований в Принстоне. Он сообщил об открытии расщепления урана при бомбардировке его нейтронами. Многие физики начали обсуждать возможность цепной реакции; если бы удалось ею управлять, уран стал бы взрывчатой вещью неслыханной силы. Тогда же Ферми высказывает мысль, что при делении урана следует ожидать испускания быстрых нейтронов и если число вылетевших нейтронов станет больше, чем число поглощенных, то путь к цепной реакции будет открыт.

В конце 1939 г. на переговорах с Управлением военно-морского флота Ферми упомянул о возможности создания атомного оружия на основе цепной реакции с мощным выделением энергии. Управление финансировало его для продолжения исследований. Ферми и Э. Сегре сделали вывод, что плутоний можно использовать в качестве “взрывчатки” для атомной бомбы. Хотя плутоний (Pu), элемент с порядковым номером 94, еще не был известен, оба ученых были убеждены в том, что элемент ^{239}Pu должен расщепляться и может быть синтезирован в урановом



Э. Ферми в лаборатории во время строительства ядерного реактора в Чикаго. 1942 г.

реакторе при захвате нейтрона ураном-238. После открытия искусственной радиоактивности в лабораториях развернулись исследования, чтобы получить новые изотопы.

К весне 1941 г. Ферми разработал теорию цепной реакции в уран-графитовой системе, он планирует осуществить ряд экспериментов по делению урана. Летом была реализована серия экспериментов по измерению потока нейтронов. Совместно с Ф.В. Андерсоном он выполнил около 30 опытов по замедлению и диффузии нейтронов в графите, в июне 1942 г. коэффициент размножения нейтронов достиг значения больше единицы. Это означало, что цепная реакция в достаточно большой решетке из урана и графита и выбор конструкции реактора возможны. Тогда же в США начали реализовывать Манхэттенский проект по

созданию атомной бомбы. Ферми назначили одним из его руководителей. Он придумал метод определения критических размеров котла и конструкцию ядерного реактора. Боясь, что атмосферный азот будет хорошо поглощать нейтроны, Ферми настоял на том, чтобы все огромное устройство было помещено в гигантскую палатку из материи для оболочек аэростатов. Так появилась возможность поддерживать соответствующий состав атмосферы, окружающей реактор. С октября по декабрь 1942 г. реактор строился на площадке для игры в сквош под трибунами университетского футбольного стадиона Стэгг-Филд в Чикаго. Воздвигаемый реактор был сложен из брусков графита (чистого углерода), чтобы замедлять нейтроны и сдерживать скорость протекания цепной реакции. Уран и оксид урана размещались меж-



Э. Ферми – один из руководителей Национальной лаборатории в Лос-Аламосе. 1945 г.

ду графитовыми брусками. 2 декабря 1942 г. сотрудники лаборатории медленно выдвинули кадмиевые регулирующие стержни, поглощающие нейтроны, и запустили цепную реакцию. *“Было ясно, – писал впоследствии английский физик, лауреат Нобелевской премии Дж. Кокрофт, – что Ферми открыл дверь в атомный век”*. Ферми назвал первый ядерный реактор “pila”, в переводе с итальянского – что-то сложенное из многих одинаковых слоев вещества. Используя свой реактор в качестве источника нейтронов, он открыл новое направление в области ядерной физики – нейтронную оптику, ряд важных вопросов которой изложил в книге “Лекции по атомной физике”.

Эксперименты на ядерном реакторе в Чикаго продолжались до июля 1944 г., когда Ферми принял американское гражданство, в следующем месяце семья переехала в Лос-Аламос, так как он стал одним из руководителей Национальной лаборатории в

Нью-Мексико. Несколько позднее Ферми был назначен руководителем отдела современной физики, входившего в Национальную лабораторию в Лос-Аламосе по созданию атомной бомбы, которой руководил Р. Оппенгеймер. 16 июля 1945 г. близ Аламогордо (штат Нью-Мексико) Ферми стал свидетелем первого взрыва атомной бомбы.

После завершения в 1945 г. строительства в Чикаго циклотрона (ускорителя частиц) Ферми начал эксперименты по изучению взаимодействия между пи-мезонами и нейтронами, незадолго до того открытыми. Ферми принадлежит также теоретическое объяснение происхождения космических лучей и источника их высокой энергии. В 1946 г. Ферми вернулся в Чикаго и занял должность профессора в Институте ядерных исследований, который сейчас носит его имя. Он продолжил свои исследования в области ядерной физики и физики элементарных частиц, чтение лекций. Среди его учеников в 1940–1950-е гг. в Чикаго можно выделить Г. Андерсона, М. Гелл-Манна, М. Гольдбергера, Ц. Ли, Ч. Яна, Дж. Чу, О. Чемберлена, М. Розенблюта, Дж. Штейнбергера. Помимо этого, в 1950 г. Ферми стал одним из первых членов Комитета советников при Комиссии по атомной энергии США.

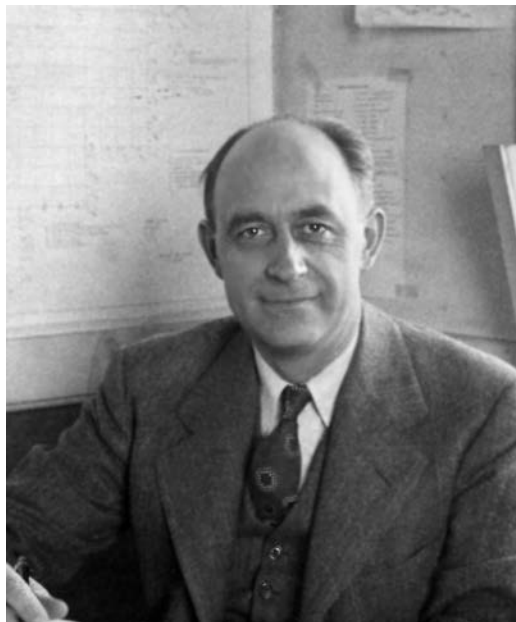
В науке Ферми всегда оставался молодым, энергичным. В возрасте около 50 лет, имея богатейшие знания в области ядерной энергетики и прекрасную базу для исследований, Ферми изменяет направление своей научной деятельности и начинает заниматься частицами высоких энергий и астрофизикой. Он и здесь достиг замечательных результатов. В частности, его привлекает одна из центральных проблем современной физики – мезон-нуклонное взаимодействие. Его научный труд о рассеянии положительных и отрицательных пи-мезонов разных энергий протонами (1953) открыл новую главу в экспериментальной и теоретической физике. В исследованиях по рассеянию

пи-мезонов на водороде Ферми особенно ярко проявил себя как выдающийся теоретик и экспериментатор. Он был не только руководителем, но и непосредственным исполнителем.

Особенность физических идей Ферми – их долголетие. Ряд последних работ великого ученого был оценен лишь после его смерти. Одна из них – совместные исследования Э. Ферми и Ч. Янга по составным моделям элементарных частиц. На их основе появились новые модели (одна из последних – модель кварков), сыгравшие большую роль в развитии физики элементарных частиц. Ферми создал теорию происхождения космических лучей и раскрыл механизм ускорения частиц в них (1949), разработал статистическую теорию множественного рождения мезонов (1950), открыл изотопический квадруплет, ставший первым адронным резонансом (1952). Именем Ферми названы единица длины в ядерной физике и физике элементарных частиц (1 ферми = 1×10^{-15} м), элементарная частица (фермион), энергия Ферми (системы невзаимодействующих фермионов).

На склоне лет Ферми, по словам Э. Сегре, собирался написать книгу, посвященную тем трудным вопросам физики, о которых часто говорят “как хорошо известно”. Ферми даже собирал вопросы, лишь кажущиеся элементарными. Но, к сожалению, у него не осталось на это времени. Ферми считал, что к 1946 г. выполнил лишь треть из задуманного, а две трети собирался осуществить, до предела уплотняя свой рабочий день. По словам Б. Понтекорво, даже за то, что Ферми успел сделать, он достоин шести-восьми Нобелевских премий.

30 октября 1954 г. Э. Ферми умер от рака желудка у себя дома в Чикаго. На следующий год в честь него новый, 100-й элемент был назван фермием.



Советник при Комиссии по атомной энергии Э. Ферми. США. 1950 г.

Незадолго до смерти Э. Ферми Комиссия по атомной энергии США учредила для него специальную премию, в 1956 г. получившую его имя. Премией награждаются ученые, внесшие выдающийся вклад в исследование, использование и производство энергии. Его имя носят Чикагский институт ядерных исследований, Национальная ускорительная лаборатория и космический телескоп, а также улицы во многих итальянских городах. Именем Ферми названа американская космическая гамма-обсерватория, запущенная на околоземную орбиту в 2008 г. (см. статью И.В. Москаленко в этом номере журнала). На сайте Аргоннской национальной лаборатории Министерства энергетики США он назван “последним универсальным ученым”.

С.А. ГЕРАСИУТИН

Гавриил Сергеевич Хромов

7 января 2014 г. на 77-м году жизни скончался кандидат физико-математических наук Гавриил Сергеевич Хромов, известный астроном, исследователь и популяризатор науки, много времени посвящавший организационной и текущей работе с астрономами-любителями. В 1965–1972 гг. – Ученый секретарь ГАИШ МГУ; в 1972–1979 гг. – замести-

тель председателя Астрономического совета АН СССР; в 1979–1986 гг. – старший научный сотрудник ГАИШ МГУ; в 1987–1997 гг. – заместитель директора по научной работе Института новых физических прикладных проблем Украинской академии наук, где возглавлял отдел координатно-временного обеспечения; в 1998–2003 гг. – заведующий отделом астрономии Всероссийского института научной и технической информации РАН (ВИНИТИ); в 2003–2014 гг. – ведущий научный сотрудник Института проблем развития науки РАН. С 1970-х гг. Гавриил Сергеевич был вице-президентом Всесоюзного астрономо-геодезического общества (ВАГО), а затем, после его реорганизации в 1990-е гг., – президентом Межрегиональной общественной организации “Астрономо-геодезическое объединение”.

Г.С. Хромов родился 12 июля 1937 г. в семье доктора географических наук Сергея Петровича Хромова, известного метеоролога и климатолога, создателя отечественной школы синоптической метеорологии, профессора Московского университета, одного из организаторов Бюро погоды СССР (ныне Гидрометцентр РФ). В честь С.П. Хромова назван научно-исследовательский корабль “Профессор Хромов”. Гавриил Сергеевич увлекся астрономией, в 1951 г. он был принят в ВАГО и оставался его членом более 60 лет. В 1959 г. он закончил механико-математический факультет МГУ по специальности астрономия и поступил на



Президент Межрегиональной общественной организации “Астрономо-геодезическое объединение”, вице-президент Всесоюзного астрономо-геодезического общества при АН СССР Г.С. Хромов.

работу в ГАИШ МГУ, в группу члена-корреспондента АН СССР И.С. Шкловского. В 1962–1965 гг. учился в аспирантуре физического факультета МГУ, кандидатскую диссертацию защитил под руководством члена-корреспондента Академии педагогических наук СССР Б.А. Воронцова-Вельяминова, автора учебника по астрономии для средних школ, по которому десятки лет учились школьники. Выдающийся ученый, специалист по внегалактической астрономии Б.А. Воронцов-Вельяминов был также выдающимся популяризатором астрономии. Его неоднократно переиздававшиеся “Очерки о Вселенной” привели в астрономию многих известных ученых. Б.А. Воронцов-Вельяминов высоко ценил научную работу Г.С. Хромова и, по свидетельству бывшего директора ГАИШ МГУ Д.Я. Мартынова, считал возможным допустить к защите кандидатскую диссертацию Гавриила Сергеевича как докторскую. Формальные причины помешали этому. В 1965 г. Гавриила Сергеевича назначили Ученым секретарем ГАИШ МГУ, он сменил на этом посту астрометриста профессора В.В. Нестерова. Тогда же Г.С. Хромова избрали членом Международного астрономического союза.

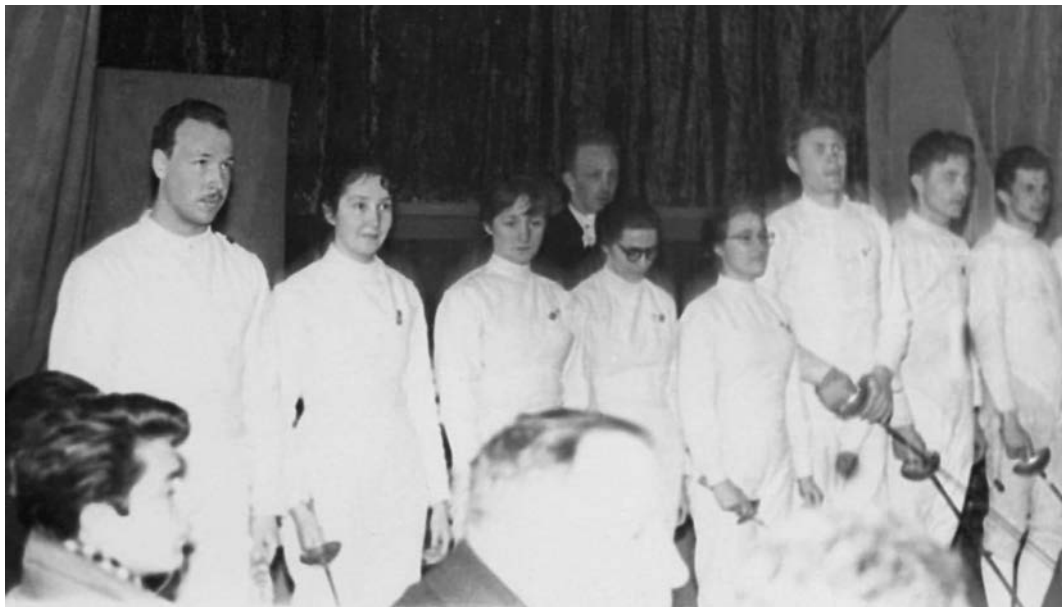
Выполняя обязанности Ученого секретаря, Г.С. Хромов продолжал теоретические и наблюдательные исследования планетарных туманностей. Гавриил Сергеевич удачно сочетал в себе способности теоретика и экспериментатора. Одним из первых в мире он выполнил фотометрический обзор планетарных туманностей в ближней инфракрасной области спектра, сконструировал для этого специальный фотометр. Его книга “Приемники излучения в наземной астрономии”, вышедшая в 1982 г. в серии “Астрономия” Итогов науки и техники ВИНТИ, пользовалась большим успехом у астрономов-экспериментаторов.

В 1972 г. Г.С. Хромова пригласили в Астросовет АН СССР на должность заместителя председателя, председате-



Гавриил Хромов. Латвийская ССР. Конец 1940-х гг.

лем был член-корреспондент АН СССР Э.В. Мустель. По свидетельству многих, в том числе и моих бывших руководителей – В.В. Подобеда и А.П. Гуляева, работал он много и успешно: развивал международные связи, координировал деятельность астрономических учреждений СССР, разрабатывал программы развития космической геодезии в нашей стране. Впоследствии он написал хорошую книгу по космической геодезии. К сожалению, произошло это после распада СССР, и она не была опубликована. Я читал ее в рукописи и поражался, как специалист-астрофизик хорошо изложил, в общем-то, астрометрический материал. Гавриил Сергеевич умел быстро усваивать новые знания и успешно их применять, такая его особенность проявилась в плодотворной работе не только в области исследования планетарных туманностей, но и в других областях, включая наукометрию (изучение эволюции науки через многочисленные измерения и статистическую обработку научной ин-



Сборная МГУ 1958 г. по фехтованию. Капитан команды Г.С. Хромов (первый слева).

формации), которая его всегда интересовала.

В 1979 г. Гавриил Сергеевич из Астросовета вернулся в ГАИШ МГУ, где работал до 1986 г. В эти годы Г.С. Хромов завершил работу над докторской диссертацией «Планетарные туманности (физика и эволюция)». По ее результатам он написал монографию «Планетарные туманности: физика, эволюция, космогония» (М.: Наука, 1985). Это была первая попытка обобщения и изложения разнообразного массива фактических данных и теоретических представлений о планетарных туманностях и их центральных звездах.

С тех давних пор мы с Гавриилом Сергеевичем работали вместе, и меня всегда удивляли его работоспособность, увлеченность стоящими перед ним задачами, исполнительность, сочетавшаяся с незаурядной инициативностью. Вспоминаю годы работы Г.С. Хромова в ВИНТИ заведующим отделом астрономии – его второе возвращение в Академию наук. Он умело руководил коллективом длительное время,

и сотрудники его ценили. Заведенный им порядок работы с документами и статьями, особенно внимательное отношение к нештатным референтам, коллектив поддерживает и после его ухода. Гавриил Сергеевич, несмотря на свою требовательность, умел создавать и дружелюбную обстановку.

В годы работы в ВИНТИ Гавриил Сергеевич выпустил книгу «Наука, которую мы теряем» (1995 г.), в которой разложил по полочкам прошлое и текущее состояние нашей науки: «Мы теряем мощную фундаментальную науку, огромную по объему и, возможно, первенствующую в мире по квалификации и интеллектуальному уровню своих работников». По мнению российского общественного деятеля Ю.И. Мухина, «Г.С. Хромов написал очень толковую книгу "Наука, которую мы теряем". Написал очень точно и правдиво». Книга актуальна до сих пор и, изданная тиражом в 5000 экземпляров, быстро разошлась. Г.С. Хромов всегда был неравнодушен к судьбам науки и положению научных работников. Об этом он много

писал еще в советские времена в “Известиях” и других печатных изданиях. Жалко, что к мнению специалистов у нас и тогда, и сейчас не прислушиваются.

С середины 1990-х гг. Г.С. Хромов вплотную занимался вопросами науковедения и истории науки и техники, поэтому закономерен его переход в 2003 г. в Институт проблем развития науки РАН. Как он сам говорил, “это место, в котором мне комфортно, и я занимаюсь весьма полезным делом”.

Гавриил Сергеевич большое внимание уделял работе в ВАГО, вел большую переписку с любителями астрономии, лично беседовал с ними при их приходе непосредственно в ВАГО. В 1979 г. была основана серия книг “Библиотека любителя астрономии”, и Г.С. Хромов стал председателем ее редколлегии. В 1979–1993 гг. было выпущено 12 книг, посвященных телескопостроению и практике наблюдений небесных тел – тому, что во все времена сильно интересует астрономов-любителей.

Большая заслуга Гавриила Сергеевича в том, что он сумел сохранить ВАГО в бурные 1990-е гг., когда от общественных организаций требовали постоянной перерегистрации и многие из них были закрыты. Благодаря Г.С. Хромову ВАГО – “Астрономо-геодезическое объединение”, как оно стало называться, существует и сегодня все в том же помещении на Садово-Кудринской улице, 24. Этот адрес хорошо известен многим поколениям астрономов.

Г.С. Хромов занимался популяризацией науки, перевел или отредактировал около десятка книг. Например, ему принадлежит перевод научно-фантастического романа Ф. Хойла и Дж. Эллиота “Андромеда” (М.: Мир, 1966), вышедшего в серии “Зарубежная фантастика”. Предисловие к роману написал И.С. Шкловский, обративший внимание читателей на то, что “один из его [романа] авторов, Фред Хойл, –



Г.С. Хромов на Пленуме ЦС ВАГО. Фрунзе, 18 марта 1987 г.

всемирно известный астрофизик-теоретик, автор многих выдающихся трудов в самых различных областях этой увлекательной науки. Особенно велики заслуги члена Королевского общества



Г.С. Хромов на трибуне 9-го съезда ВАГО. Новосибирск, 1990 г.



Г.С. Хромов, директор ИПРАН член-корреспондент РАН Л.Э. Миндели и ученый секретарь ИПРАН В.Л. Мамаев. 2009 г.

профессора Хойла в области космогонии – науки о происхождении и развитии планет, звезд, галактик”.

В 1997–2001 гг., когда мне довелось выпускать “Астрономический календарь” ВАГО, Гавриил Сергеевич и профессор МГУ, известный астрометрист А.П. Гуляев были активными членами его редколлегии и научными редакторами. Г.С. Хромов получил грант от Российского фонда фундаментальных исследований, что оказало существенную, если не решающую помощь в подготовке “Астрономического календаря” 1997 г. Для этого сборника он написал статью “Вспоминая давно ушедшее...” о своих первых шагах в астрономии: “...мой интерес к астрономии воплотился в жгучую потребность в телескопе, который, по моим тогдашним представлениям, должен был немедленно открыть моему взору некий новый, хотя и постоянно присутствующий где-то совсем рядом мир”. Многих из нас та-

кая “жгучая потребность” тоже привела в астрономию. С теплотой Гавриил Сергеевич вспоминает о своих учителях: Германе Герасимовиче Ленгаузере, Клавдии Тихоновне Стояновой и других. “Никогда больше меня не обучали именно основам астрономической культуры, владение которой, собственно говоря, и должно отличать профессионального астронома от всех прочих людей, населяющих Земной мир”, – пишет он.

Любимым местом отдыха Гавриила Сергеевича был Крым, а точнее поселок Кацивели, близ которого находится 22-м радиотелескоп, установленный в 1967 г. и принадлежащий академической Крымской астрофизической обсерватории (КрАО), снова в 2014 г. вошедшей в систему крупнейших научных центров России. В Кацивели он ездил практически каждую осень. Оттуда совершал наезды в Севастополь и поселок Научный, где рядом с КрАО нахо-

дится Южная станция, ныне Крымская лаборатория ГАИШ МГУ. В Кацивели же мы несколько раз пересекались с ним. Он водил меня по окрестностям, которые хорошо знал. Как-то, по моей просьбе, привел на местное кладбище, где похоронены академик Григорий Абрамович Шайн, руководитель Симеизской обсерватории в 1925–1945 гг., организатор и директор КрАО, его супруга и верная помощница астроном Пелагея Федоровна Шайн. Там же теперь похоронен и мой однокурсник Николай Семенович Нестеров, бывший заведующий лабораторией РТ-22.

Нельзя не упомянуть о спортивной стороне жизни Г.С. Хромова. Он занимался парусным и горнолыжным спор-

том, но особенно преуспел в фехтовании на саблях. Гавриил Сергеевич был капитаном сборной МГУ по этому виду спорта и, кажется, имел звание мастера.

Г.С. Хромов написал около дюжины научных книг. Даже резкая потеря зрения в последние годы жизни не смогла изменить его деятельную натуру, он продолжал писать. Гавриил Сергеевич прожил свою жизнь ярко, бескомпромиссно, плодотворно, оставив после себя большое научное наследие.

В.Г. ШАМАЕВ,

кандидат физико-математических наук
МГУ им. М.В. Ломоносова

НОВЫЕ КНИГИ

Биография Тихонравова

В 2014 г. в издательстве “Наука” в серии “Научно-биографическая литература” вышла книга известного историка космонавтики *Б.Н. Кантемирова “Михаил Клавдиевич Тихонравов (1900-1974)”*. В ней описывается жизнь и творчество одного из основоположников космонавтики, сподвижника и друга С.П. Королёва, выдающегося ученого, конструктора и инженера, талантливого педагога, историка, деятеля науки и техники, Героя Социалистического Труда, лауреата Ленинской премии, доктора технических наук М.К. Тихонравова (Земля и Все-

ленная, 1991, № 6). Работая в ГИРД, он сконструировал первую отечественную жидкостную экспериментальную ракету ГИРД-09 на гибридном топливе, стартовавшую 17 августа 1933 г. с подмосковного полигона Нахабино (Земля и Вселенная, 1981, № 5; 1993, № 5). В 1946 г. М.К. Тихонравов разработал проект аппарата ВР-190 для полета двух пилотов на высоту 200 км. Он первым предложил схему компоновки жидкостных баллистических ракет большой дальности полета на основе идеи “эскадры ракет” К.Э. Циолковского, что позволило создать межконтинентальную ракету Р-7 (1957, ОКБ-1 под руководством С.П. Королёва; Земля и Вселенная, 1982, № 5; 1987, № 5). С 1953 г. Михаил Клавдиевич исследовал техническую возможность запуска ИСЗ, он подготовил

чертежи первых спутников, проектировал другие космические аппараты и готовил документацию.

В книге девять глав: “Первые страницы жизни”; “Планеры и махолет. Птицы, бабочки, жуки”; “Экспериментальное ракетостроение”; “Первое знакомство с Фау-2”; “Проект ВР-190”; “Ракетный пакет Тихонравова”; “Спутник. Время пришло”; “Тихонравов в ОКБ-1”; “Необъятный Тихонравов”. В конце книги приведены даты жизни и деятельности М.К. Тихонравова, список его научных трудов (1924–1983), публикаций о нем, библиография и перечень сокращений.

Книга рассчитана на специалистов в области ракетостроения и космонавтики, а также на всех интересующихся историей отечественной науки и техники.

Семён Самойлович Моисеев

В 2014 г. исполнилось 85 лет со дня рождения заслуженного деятеля науки и техники РФ, почетного члена Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, доктора физико-математических наук С.С. Моисеева (1929-2002), крупного российского ученого, физика-теоретика, специалиста в области физики плазмы, механизмов генерации и трансформации волн в неоднородных средах, теории турбулент-

ности, нелинейных процессов самоорганизации в неравновесных средах.

Семён Самойлович Моисеев родился 23 ноября 1929 г. в Полтаве (Украина). Его отец, Самуил Михайлович (1898–1987), закончил Харьковский медицинский институт в 1926 г., в 1935 г. стал главным врачом областной больницы, в 1941–1945 гг. работал главным хирургом военных госпиталей. За заслуги перед родиной Самуил Михайлович был награжден 4 боевыми орденами и 8 медалями. После войны он получил звание “Заслуженный врач УССР”.

Окончив с отличием в 1952 г. Харьковский государственный университет, С.С. Моисеев преподавал в Славянске и Полтаве. Однако его пылкий ум жаждал большего – поиска новых знаний, тем более что в это время перед наукой была поставлена задача века – реализовать принципиально новый источник энергии на основе управляемого термоядерного синтеза. В 1960 г. С.С. Моисеев уезжает на работу в Новосибирск, в Институт ядерной физики СО АН СССР. В лаборатории академика Р.З. Сагдеева вместе с будущими академиками А.А. Галеевым и В.Е. Захаровым, профессорами В.Н. Ораевским и Г.М. Заславским, а также с другими сотрудниками, ставшими позднее известными учеными, он получает ряд выдающихся результатов, представленных на авторитетных международных конференциях и получивших признание мирового научного сообщества. Вспомнить хотя бы ана-



Профессор С.С. Моисеев. 1998 г.

лиз проблемы аномальной боровской диффузии в термоядерных установках и низкочастотных неустойчивостей неоднородной плазмы, условий реализации эффективной трансформации электромагнитных волн в нестационарной и неоднородной плазме, развитие нового подхода к диагностике плазмы на основе эффекта генерации высших гармоник в слоях плазменных резонансов. Это составило основу его диссертаций: кандидатской (1962), которую С.С. Моисеев защитил в Институте ядерной физики (Новосибирск), и докторской (1969 г., Харьковский физико-технический институт).

Научная деятельность С.С. Моисеева была многогранной. Она касалась развития теоретических моделей волновых и нелинейных процессов для использования в области физики плазмы, гидродинамики, ядерной энергетики.

В 1968 г. Семён Самойлович переезжает из Новосибирска в Харьков, где работает в Физико-техническом институте (ХФТИ) в лаборатории академика Я.Б. Файнберга. Здесь он изучает устойчивость и нагрев плазмы применительно к плазменно-пучковым системам, предлагает перспективные идеи. В частности, он обнаружил нелокальный перенос электромагнитных полей резонансными частицами в неоднородной плазме, приводящий к эффекту кинетического просветления волновых барьеров; рассмотрел механизмы генерации электромагнитного излучения при трансформации волн на градиентах плотности плазмы; изучил процесс возникновения резонансных конусов (с высокими амплитудами полей) при возбуждении электромагнитных волн источниками малых размеров в плазме. Кроме того, С.С. Моисеев определил, как формируются неравновесные степенные распределения заряженных частиц в столкновительных средах. Итоги исследований он опубликовал в виде обзоров в сборнике "Вопросы теории плазмы" и в журнале "Успехи физических наук". Открытия,

сделанные в период работы в ХФТИ, оказались весьма важными, что отражено в регистрации ряда патентов, авторских свидетельств на изобретения. За теоретические и экспериментальные исследования по теме "Просветление волновых барьеров в плазме" Семён Самойлович вместе с соавторами в 1979 г. был удостоен Государственной премии Украинской ССР в области науки и техники.

С 1980 г. С.С. Моисеев по приглашению академика Р.З. Сагдеева работал в Москве в Институте космических исследований АН СССР, с которым связан следующий этап его научной деятельности. Здесь Семён Самойлович показал возможность повышения эффективности поглощения мощного лазерного излучения в неоднородной плазме за счет каналирования и самофокусировки волновых пучков. Затем он с сотрудниками продолжил исследования механизмов генерации электромагнитного излучения в плазме, связанные с плазменными резонансами, итоги которых были опубликованы в монографии "Неравновесные и резонансные процессы в плазменной радиофизике", написанной в соавторстве с А.А. Рухадзе, А.Б. Шварцбургом, М.В. Кузелёвым и Н.С. Ерохиным. Работы Семёна Самойловича по физике плазмы в ИКИ АН СССР заслужили высокую оценку – он был удостоен Государственной премии СССР в области науки и техники за 1987 г.

С.С. Моисеев занимается в ИКИ АН СССР и прикладными задачами в области гидродинамики атмосферы и Океана. В частности, он пришел к выводу, что возможен спиральный механизм генерации крупномасштабных тропических вихрей вследствие возникновения обратного каскада энергии, от малых масштабов к крупным (С.С. Моисеев, Р.З. Сагдеев, А.В. Тур, Г.А. Хоменко, А.М. Шукуров. Доклады Академии наук СССР, 1983). Это позволило выявить новый подход к проблеме формирования тайфунов, внетропических цикло-



С.С. Моисеев на Международной конференции по нелинейным процессам и турбулентности, проходившей на теплоходе, следовавшем по маршруту Пермь – Казань в 1990 г.

нов и мониторинга зон циклогенеза. На основе теории обратного спирального каскада была обоснована физическая система возникновения предвестников и индикаторов формирования тайфунов, а также созданы предпосылки для разработки современной методики прогнозирования крупномасштабных кризисных процессов в атмосфере типа тайфунов и циклонов внетропических широт. Успех, достигнутый группой Семёна Самойловича в теории, дал возможность организовать две корабельные экспедиции в Тихий океан для проведения натурных измерений в зонах интенсивного циклогенеза. Обработка экспериментальных данных корабельных экспедиций показала, что прогностическими признаками могут быть повышенные флуктуации фоновых параметров атмосферы, например инфразвук, согласование динамики фрактальных параметров и спирально-

сти атмосферной турбулентности в зонах циклогенеза. С.С. Моисеев с учениками развивали в дальнейшем эти исследования: проанализировали процессы формирования неколомгоровских спектров, структурные характеристики гидродинамической спиральной турбулентности и механизмы генерации спиральности, влияние спиральности турбулентности на транспорт энергии и частиц. Фактически Семён Самойлович сформировал новое перспективное направление научных исследований – спиральную динамику нелинейных процессов в атмосфере, Океане и жидком ядре Земли, физике плазмы, биофизике. Полученные результаты суммированы в монографиях, написанных в соавторстве: “Вопросы теории плазмы” (выпуск 7, 1973), “Неравновесные и резонансные процессы в плазменной радиофизике” (М.: Наука, 1982), “Нелинейная неустойчивость в плазме и гидродинамике” (Бристоль, 1999), “Турбулентность и структуры, хаос, флуктуации и спиральная самоорганизация в природе и лаборатории” (Нью-Йорк, 1999).

С.С. Моисеев вместе с В.И. Карасём и коллегами из Харьковского университета и Физико-технического института продолжил начатые еще в ХФТИ исследования неравновесных распределений частиц по энергиям в твердотельной плазме и их применения для прямого и более эффективного преобразования ядерной энергии в электричество. На основе теоретических и экспериментальных исследований быстрых ионов в тонких металлических нанопленках они предложили схему вторично-эмиссионного радиоизотопного источника тока (ВЭРИИТ) с неоспоримыми преимуществами по сравнению с уже имеющимися атомными батареями – более высокий к.п.д., увеличенный срок службы, большая экологическая безопасность. Создание опытного образца батареи ВЭРИИТ позволит также стимулировать перспективную технологию XXI в. – производ-

ство многослойных структур из тонких металлических нанопленок.

В последние годы своей жизни С.С. Моисеев изучал эффекты киральности, представляющие большой интерес для создания наноматериалов с необычными электродинамическими характеристиками. Эти исследования входят в перспективное научное направление – электродинамика бианизотропных сред. В плазме с малой добавкой киральной компоненты могут возникать особенности, например черенковское взаимодействие поперечных волн с заряженными частицами, достигимость области плазменного резонанса для падающих из вакуума электромагнитных волн.

Суммируем главные направления научных исследований С.С. Моисеева:

- проблема устойчивости в плазме и гидродинамике;

- линейная и нелинейная трансформация волн в неоднородной и нестационарной плазме;

- спиральная динамика нелинейных сред;

- неравновесные распределения заряженных частиц и радиоизотопные источники тока;

- волновые процессы в киральных средах.

Перечислим результаты многолетних изысканий Семёна Самойловича:

- найдены новые типы плазменных неустойчивостей, существенно влияющих на удержание замагниченной плазмы;

- определена эффективная линейная и нелинейная трансформация волн в неоднородной плазме, обнаружены генерации высших гармоник при взаимодействии электромагнитных волн с неоднородной плазмой;

- выявлено эффективное кинетическое просветление широких волновых барьеров (подтверждено экспериментально);

- установлена спиральная крупномасштабная неустойчивость мелкомасштабной турбулентности в геофизике;



Профессор С.С. Моисеев в Университете Бен-Гуриона. Израиль, 2000 г.

- разработаны неколмогоровские режимы сильной турбулентности в гидродинамике и особенности явлений переноса;

- обоснована физическая система предвестников крупномасштабных природных катастроф;

- проанализированы степенные распределения заряженных частиц в твердотельных пленках, разработан новый тип атомной батареи – вторично-эмиссионного радиоизотопного источника тока;

- открыт новый механизм ультрарелятивистского ускорения заряженных частиц электромагнитными волнами в слабо неоднородной плазме.

Работы С.С. Моисеева стимулировали развитие перспективных научных исследований в физике. Его тру-

ды имеют международное признание, о чем свидетельствуют многочисленные ссылки на его статьи. Хотя Семён Самойлович был теоретиком, он постоянно стремился инициировать экспериментальную проверку. Впечатляют его отношение к науке, доброта к людям и коммуникабельность, уважение позиции оппонентов в научных дискуссиях, выдающаяся духовная сила.

Профессор С.С. Моисеев работал в известных научных центрах мира: Центре МГД-исследований Университета Бен-Гуриона (Израиль), Институте физики плазмы в Ньюегейне (Нидерланды). На протяжении ряда лет он был руководителем секции по турбулентности на Генеральных Ассамблеях Европейского геофизического общества, входил в Оргкомитеты ряда других крупных международных конференций. Семён Самойлович неоднократно посещал Таджикистан в качестве лектора, где физикам-теоретикам университета в Душанбе читал спецкурс "Трансформация волн в неоднородных и нелинейных средах". В 1989 г. и 1991 г. в Душанбе он активно участвовал в организации Всесоюзных конференций "Взаимодействие электромагнитных волн с плазмой".

За выдающийся вклад в физику и подготовку научных кадров С.С. Моисеев был удостоен в 2001 г. почетного звания "Заслуженный деятель науки Российской Федерации". Под его руководством было подготовлено и защищено 20 кандидатских и 10 докторских диссертаций. Семён Самойлович подготовил множество учеников, получивших признание в мировом научном сообществе, среди них Н.С. Ерохин, В.И. Карась, Л.А. Назаренко, В.Е. Новиков, С.И. Кононенко, В.В. Мухин, А.В. Тур, В.В. Яновский, О.Г. Чхетиани, О.Г. Онищенко. Ученики научной школы С.С. Моисеева продолжают начатые им исследования в физике плазмы, гидродинамике атмосферы и Океана, астрофизике и развивают его идеи в этих областях.

Семёна Самойловича всегда окружало много коллег, которые относились к нему по-разному, но их объединяло понимание уникальности этого человека, они нуждались в общении с ним. Важной особенностью С.С. Моисеева было удивительное умение обнаружить толкового человека и разглядеть в нем задатки успешного ученого. Он всегда был нацелен на сотрудничество с коллегами и не скрывал своего желания участвовать в наиболее интересных работах. Но чаще идеи и предложения исходили от него.

По воспоминаниям многочисленных коллег, Семён Самойлович был человеком редчайшей души и доброты, оставившим в памяти друзей и учеников неизгладимый след. Многие коллеги восхищались им, его научными идеями и выступлениями. С.С. Моисеев был очень жизнелюбивым человеком. В нем удивительно гармонично сочетались мудрость и яркое почти юношеское восприятие жизни. С одинаковым воодушевлением и напором он мог заниматься как спектральными свойствами спиральной турбулентности, так и созданием новых источников питания – батареек ВЭРИИТ.

С.С. Моисеев скончался 5 июня 2002 г. после тяжелой продолжительной болезни. Он похоронен на Востряковском кладбище, где установлена мемориальная доска. Друзья, коллеги и ученики хранят память о Семёне Самойловиче как о преданном науке ученом, прекрасном организаторе, исключительно ответственном человеке, скромном, доброжелательном и внимательном товарище, любившем жизнь и ценившем хорошую шутку. В ИКИ РАН в 2004 г., 2009 г. и 2014 г. проводились Международные конференции "Трансформация волн, когерентные структуры и турбулентность", посвященные С.С. Моисееву.

*Н.С. ЕРОХИН,
доктор физико-математических наук,
ИКИ РАН*

Механизм эндогенной активности планетарных процессов

Ю.В. БАРКИН,
доктор физико-математических наук
ГАИШ МГУ

Ключевая проблема в науках о Земле заключается в установлении источника энергии, обеспечивающего наблюдаемую высокую активность планет и спутников. Автор предлагает решать эту труднейшую проблему, используя механизм энергетического возбуждения их внутренних оболочек (ядра, мантии и др.) под гра-

витационным воздействием окружающих небесных тел. Геодинамическая концепция состоит в том, что внутреннее строение планет, их спутников и Солнца представляет собой системы оболочек, таких, в частности, как ядро и мантия. Оболочки совершают друг относительно друга поступательно-вращательное движение

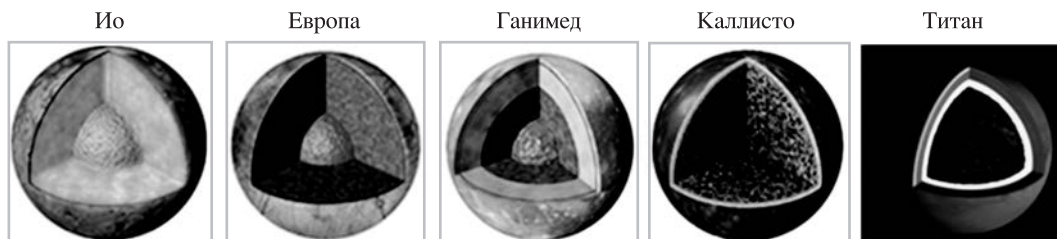
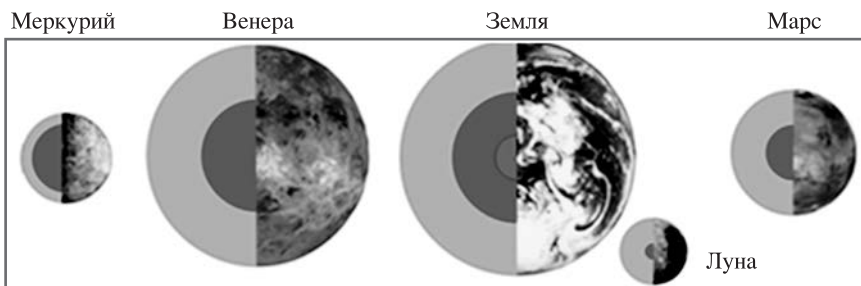
и испытывают деформационные изменения. Автор разработал новую геодинамическую модель и описал типы движений оболочек. На основе предложенного механизма можно заложить основы теории природных процессов и объяснить их пространственно-временные свойства.

ОТ НЬЮТОНА
К СОВРЕМЕННОЙ
ГЕОМОДЕЛИ

Великий Исаак Ньютон и его последователи – основоположники небесной механики – не обладали достаточными данными и знаниями о внутреннем строении небесных тел, чтобы объяснить механизмы природных процессов, их активность и цикличность. Ньютон

сформулировал основные законы механики, открыл закон всемирного тяготения, объяснил движение планет вокруг Солнца и Луны вокруг Земли, а также приливы в океанах. Утверждается, что он был фактическим создателем единой физической программы описания всех физических явлений на базе механики. Однако прак-

тически все вопросы о механизмах природных изменений на планетах и спутниках, их энергетике, цикличности долгие годы и после Ньютона оставались без ответа и не решены до сих пор. Тем не менее с годами были получены, особенно в последние десятилетия, обширные научные данные об изменчивом мире планет и спутников. Не-



смотря на прогресс, перечень нерешенных проблем постоянно расширяется. Ньютоновские модели планет и спутников в виде сплошных тел оказались весьма ограниченными.

Автор считает, что небесные тела представляют собой систему оболочек, каждую из которых следует рассматривать как отдельное тело, наделенное теми или иными индивидуальными физическими свойствами. Фундаментальная особенность структуры небесных тел – их оболочечная структура. Это универсальное свойство относится ко всем телам Вселенной, включая Солнечную систему и Солнце.

Каждая оболочка может рассматриваться как сферический шаровой слой с концентрическим распределением плотно-

сти вещества. В действительности они не концентрические, более того, центры масс оболочек (включая ядро) не совпадают с центром масс планеты и взаимодействуют друг с другом, совершая сложные движения под действием гравитационных сил окружающих небесных тел Солнечной системы и Галактики.

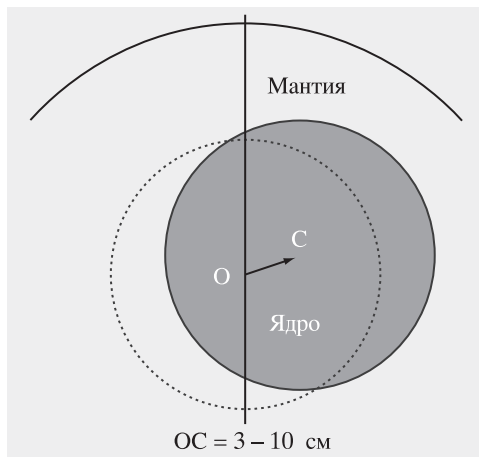
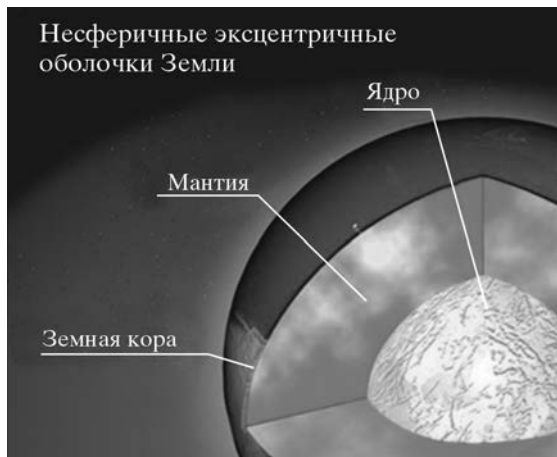
Можно утверждать, что и главные центральные оси инерции эксцентричных, неоднородных, изменяемых оболочек не совпадают с осями инерции планеты, а совершают повороты и смещаются. Оболочки деформируются, изменяется геометрия их масс, идут тектонические процессы, возникают другие трансформации (например, формирование трещин и разломов, подъем плюмов и дегазация). Вследствие этого небес-

Внутреннее строение планет земной группы и крупных спутников Юпитера и Сатурна.

ные тела “оживают”, становятся исключительно активными, а колебания ядра и мантии напоминают по своей сути биение сердца.

Основные исследования автор выполнил в 1996–2002 гг., и в последние годы они получили развитие. В работах автора показано, что механизм вынужденных колебаний ядра и мантии планеты способен обеспечить энергией все наблюдаемые планетарные явления. Они позволили создать единую теорию природных процессов небесных тел.

Ряд свидетельств о поворотах жидкого и твер-



Несферичность и смещение ядра относительно внешней оболочки (мантии). Эксцентричность центра масс OC – расстояние от геометрического центра Земли (O) до ее центра масс (C).

дого ядер относительно мантии были получены еще в XX в. на основе результатов исследований магнитного поля Земли и точных сейсмографических данных.

Фундаментальное положение о смещениях ядра и оболочек небесного тела было сформулировано и исследовано значительно позднее. Небесная механика взаимодействующих оболочек небесных тел получила эффективное развитие в работах автора и его коллег. Важный вклад в указанные исследования внесли доктора физико-математических наук

В.Г. Вильке, А.В. Шатина, профессор Ш. Джин (Китай). Отметим, что впервые вынужденные колебания твердого ядра Земли под действием притяжения Луны и Солнца исследовали член-корреспондент РАН Ю.Н. Авсюк (1996) и доктор физико-математических наук Ю.В. Баркин (1996). Смещения твердого ядра в жидком ядре практически не оказывают заметного гравитационного влияния на верхние слои мантии. На первый план здесь выступают взаимодействие и относительные поступательные смещения ядра и мантии Земли (их центров масс).

В настоящее время получили признание устойчивые взгляды о том, что лунно-солнечные приливы в теле Земли обладают чрезвычайно слабой энергетикой и не вносят существенного вклада в эндогенную активность планеты

и в планетарные природные процессы (около 1%). Дефицит приливной энергии обнаружен и на других телах Солнечной системы.

Оказалось, что механизм лунно-солнечных приливных деформаций мантии, который хоть в какой-то мере объяснял цикличность процессов, не способен выступить в роли основного. Каким же другим более мощным источником энергии и механизмом эндогенной активности обладают небесные тела? Без ответа на этот важнейший вопрос многие современные исследования в геологии, геофизике и в планетологии теряют свое научное значение. В работах 1996 г. и 2002 г. автор предложил решить эту проблему, используя механизм гравитационного возбуждения оболочек небесного тела внешними небесными телами.

КОЛЕБАНИЯ ЦЕНТРА МАСС И ЯДРА ЗЕМЛИ

Наиболее важно знать источник энергии, обеспечивающий небывалую активность Земли и других небесных тел (Ио, Титан, Энцелад, Европа, Тритон). Известные энергетические механизмы, такие как радиогенное тепло, приливное трение, солнечная радиация и некоторые другие, не в силах объяснить ни общую энергетiku, ни цикличность процессов, не говоря уже о распространенных планетарных явлениях – инверсии природных процессов по отношению к противоположным полушариям (например, Северному и Южному), резких скачков активности полярных областей.

Приливное трение вносит исключительно малый вклад (около $0,4 \times 10^{12}$ Вт) в общий тепловой поток Земли, который, по современным оценкам, составляет $46 \pm 3 \times 10^{12}$ Вт, то есть около 1%. Диссипация приливной энергии на Энцеладе может объяснить только 1/27 часть наблюдаемого теплового потока, а на Ио – лишь его незначительную часть. Высокая активность природных процессов на Титане, предсказанная автором в 2002 г., делает этот спутник чрезвычайно похожим на Землю. Об этом впервые было написано в моей статье 2002 г., за два года до прибытия АМС “Кассини” к Сатурну. Тем не менее

часто возникает недоуменный вопрос: почему Титан так активен, откуда берется тепло?

Указанные проблемы решаются с помощью геодинамического механизма вынужденной раскачки ядра и мантии Земли. Смещения центра масс Земли по отношению к мантии в настоящее время (примерно с 1993 г.) доступны для изучения методами космической геодезии.

Выявлен спектр колебаний и вековое смещение центра масс Земли в северном направлении (район полуострова Таймыр). Эти геодезические явления – следствие действия рассматриваемого механизма. Некоторые из них были предсказаны и позднее получили подтверждение в статьях автора 1995 г. и 2001 г.

По смещениям центра масс Земли на основе предлагаемой геомодели удастся восстановить некоторые относительные смещения ядра и мантии планеты, изучить их следствия – деформацию мантии, вариации ее упругой энергии, мощности диссипации и изменения теплового потока и других полей, перераспределение флюидных масс.

ЭНЕРГЕТИКА И МОЩНОСТЬ ПРОЦЕССОВ ЗЕМЛИ

Автор проанализировал составляющие упругой энергии и мощности диссипации для всех относительных колебаний и смещений ядра и ман-

тии Земли, которые соответствуют наблюдаемым колебаниям и смещениям центра масс Земли с амплитудами в несколько сантиметров или долей сантиметра. Для каждой гармоники были определены приливные деформации мантии, вызванные гравитационным воздействием смещающегося ядра, и рассчитана упругая энергия и диссипация энергии в вязкоупругой мантии планеты. Суммарная мощность диссипации оценена в $0,427 \times 10^{13}$ Вт. В приведенной оценке не учтены короткопериодические колебания ядра (суточные, недельные). Колебания с недельными и суточными периодами дают весьма большой вклад в диссипацию энергии. Так, колебание центра масс Земли с периодом 13,7 суток, весьма значительное по амплитуде – 3–3,5 см, приводит к колоссальной диссипации энергии – $3,38 \times 10^{14}$ Вт. В будущем предстоит получить более полные и точные оценки мощностей диссипации вследствие колебаний центра масс Земли с короткими периодами, включая суточные и часовые. По оценке автора, полная мощность диссипации энергии – 10^{14} – 10^{15} Вт – весьма внушительна. По-видимому, она дополняется механизмами разогрева материала мантии и ядра на их границе при формировании плюмов (также вследствие смещений и колебаний

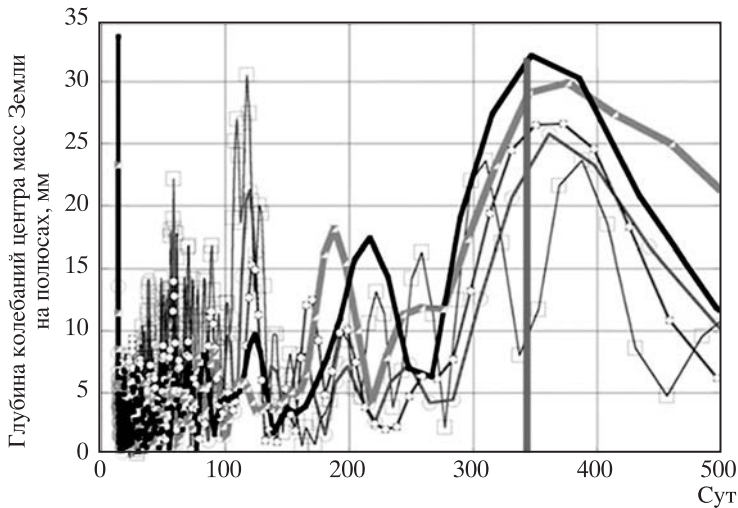


График спектра полярных колебаний центра масс Земли, полученного в результате доплеровских измерений спутников. Выделяются годовое и двухнедельное колебания. По данным Гобиндасса и др. 2009 г.

оболочек Земли), относительно поворотами и скручиванием слоев мантии и ядра.

Выполненная оценка мощности диссипации энергии Земли не полная. Например, в расчетах были учтены лишь полярные колебания ядра вдоль оси вращения Земли. Экваториальные составляющие приведут примерно к удвоению полученной оценки мощности диссипации. Есть и другие важные составляющие, связанные, например, с взаимными поворотами оболочек. Особо следует изучить поступление тепловой

энергии вследствие деформаций промежуточного слоя между ядром и мантией.

Можно предположить, что на многих телах Солнечной системы, в частности на Энцеладе, Европе, Титане, Ио, Меркурии, и в других планетных системах указанный механизм вынужденного взаимодействия, смещения и деформаций оболочек способен обеспечить их энергетические запросы и высокий уровень эндогенной активности.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС ЗЕМЛИ

Упругой энергии и мощности диссипации достаточно для обеспечения наблюдаемой активности Земли. В монографии Ю.Н. Авсюка (1996) приводятся следующие оценки мощности основных природных процессов: сейсмических событий — 3×10^{10} Вт; вулканических собы-

тий — 10^{10} Вт; тепловой конвекции — 10^{13} Вт; лунно-солнечных приливов — 4×10^{11} Вт. Для функционирования магнитного поля Земли требуется меньшая энергия, для теплового потока Земли — $4,4-4,8 \times 10^{13}$ Вт. Предложенный выше механизм генерации и диссипации упругой энергии мантии с избытком объясняет указанный тепловой поток. Мощность сейсмического и вулканического процессов составляет малую часть от мощности диссипации энергии по части колебаний ядра, выявленных по колебаниям центра масс Земли при спутниковых наблюдениях.

В разработанной автором геодинамической модели описаны основные колебательные движения оболочек. Изучены приливы в вязкоупругой мантии планеты, которые порождаются гравитационными силами взаимо-

действия с подвижным ядром. Их изменение во времени приводит к рассеянию механической энергии в материале планеты (в мантии), которая переходит в тепло и формирует температурное поле внутри планеты. Проблемы геодинамики, геофизики и других наук о Земле решаются с помощью гравитационного механизма вынужденной раскачки ядра и мантии небесного тела.

Выполненные исследования решают энергетическую проблему нашей планеты. В частности, мощность диссипации упругой энергии мантии Земли для наблюдаемых движений и колебаний центра масс (и ядра), по нашим оценкам, может составлять 10^{15} – 10^{16} Вт. Это гигантское значение мощности с лихвой объясняет всю эндогенную деятельность и геодинамическую активность Земли.

Энергия черпается из механической энергии поступательно-вращательных движений небесных тел и из энергии относительных смещений их оболочек. Геодинамическая модель синхронных относительных смещений оболочек (ядро и мантия) в телах Солнечной системы объясняет фундаментальные свойства планетарных процессов, таких как цикличность, единство и синхронность, полярная активность, скач-

кообразность активности природных процессов.

Автор первым установил и интерпретировал синхронность скачкообразных изменений природных процессов на Солнце, Земле, Луне и Марсе. Возбудимость системы оболочек планеты, энергия колебаний ядра, его смещений и деформации мантии определяются в зависимости от двух факторов: эксцентricности в положении центров масс ядра и мантии и их несферичности (или эллипсоидальности).

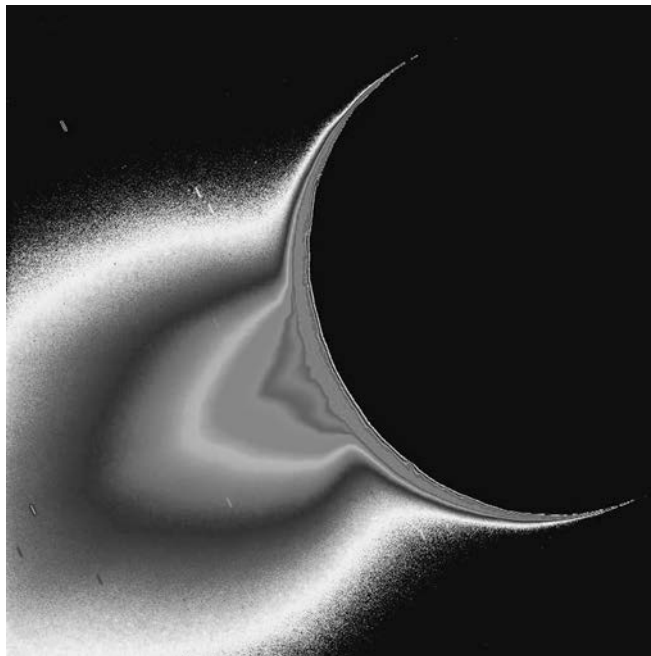
Для ряда тел Солнечной системы установлены большие постоянные смещения центров масс относительно их геометрических центров: для Луны – 1,9 км, Марса – 3,3 км, Венеры – 1,5 км, Земли – 1,1 км, Меркурия – 0,6 км, Титана – 0,27 км. Исследования показали, что возбудимость оболочек небесного тела, его энергетика, эндогенная активность пропорциональны динамическим сжатиям оболочек и величине эксцентricности оболочек. Параметры несферичности оболочек Земли и Луны, а также ряда планет и спутников в настоящее время оценены в результате сейсмических, спутниковых, геодезических и альтиметрических исследований. У небесных тел с высокой эндогенной активностью, например у Ио, Европы,

Энцелада, большая эллипсоидальность.

АКТИВНОСТЬ ТИТАНА, ЭНЦЕЛАДА И ЕВРОПЫ

В 2002 г. автор, проанализировав особенности действия механизма гравитационного возбуждения оболочек спутника Сатурна Титана, предсказал его высокую активность: *“На Титане происходят бурные атмосферные процессы. Природные процессы на Титане так же едины, как и на Земле. Они диктуются и направляются одним и тем же механизмом – механизмом раскачки и блужданий оболочек... Метановый океан Титана, вполне вероятно, представляет собой систему морей, формирование которых было вызвано направленными радиальными смещениями оболочек Титана. Все оболочки Титана, включая океан и атмосферу, глубоко динамически взаимосвязаны и пронизаны едиными ритмами и циклами в своем существовании и эволюции... Возможно, что это второй мир в Солнечной системе (после Земли), где бурно проявляют себя все природные процессы: атмосферные процессы и процессы в океанической оболочке, тектонические процессы и вулканическая деятельность”*. Уже первые снимки и исследования “Кассини” полностью

Гейзер на спутнике Сатурна Энцеладе. Снимок получен АМС "Кассини" 28 ноября 2005 г. Фото NASA.



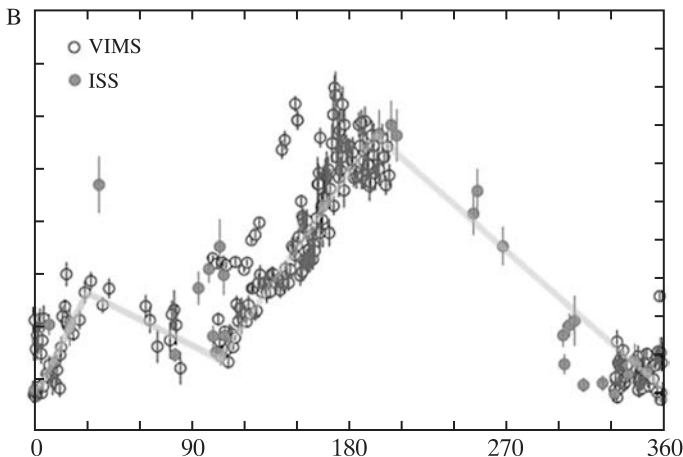
подтвердили сделанные предсказания. Получила подтверждение высокая природная активность Титана. В его противоположных полушариях были открыты системы углеводородных морей (Земля и Вселенная, 2007, № 4, с. 23; 2013, № 5, с. 21–23).

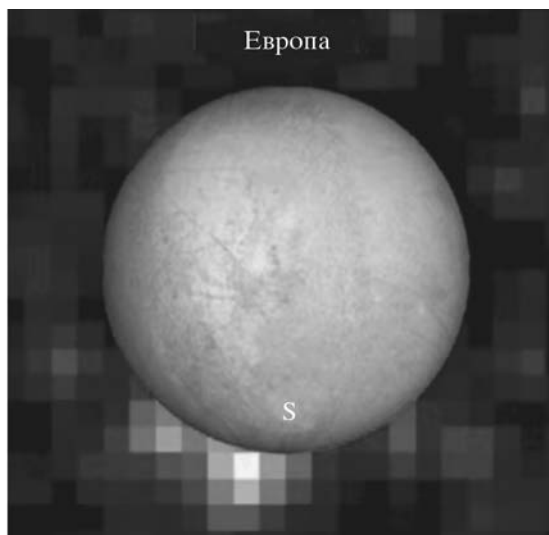
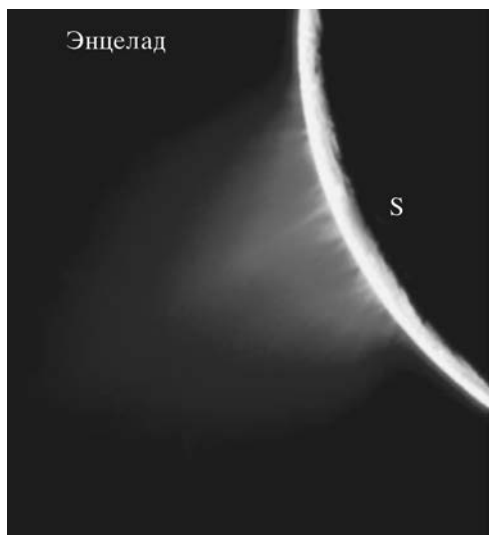
Установлена высокая активность другого спутника Сатурна – Энцелада: “Механизм раскачки оболочек Энцелада следует рассматривать как основной энергетический источник для его тектонической активности. Этот механизм является ответственным за формирование трещин и разломов на поверхности Энцелада, ледяных вулканов и потоков глобальной протяженности”

(Баркин, 2002). Спустя примерно три года после указанной публикации на Южном полюсе Энцелада был открыт действующий гейзер (плюм) с выбросами веществ и газов на высоту до 300 км, что свидетельствует о его необычайной и переменной активности (Земля и Все-

ленная, 2007, № 4, с. 83; 2007, № 5, с. 34). Современные данные указывают на осветление шлейфа гейзера Энцелада во время определенной позиции на эллиптической орбите. Приливные вариации напряжений на Энцеладе не объясняют наблюдаемые изменения

График изменений яркости плюма Энцелада в зависимости от положения спутника на эллиптической орбите (значения средней аномалии указаны по оси абсцисс в градусах). Значения яркости (B) даны в условных единицах. По данным измерений приборами VIMS и ISS АМС “Кассини”. Фото NASA/К. Порко.





Гейзеры водяного пара в южном приполярном регионе (S) спутника Сатурна Энцелада. Ультрафиолетовое свечение в южной полярной области (S) спутника Юпитера Европы. Снимки получены АМС "Кассини" 10 октября 2007 г. и АМС "Галилео" с наложением данных КТХ (декабрь 2012 г.). Фото NASA/ESA/Л. Рот.



Так художник изобразил водную дегазацию из двух источников на самом большом астероиде Солнечной системы Церере. 23 января 2014 г. Парижская обсерватория.

яркости плюма. Корреляция яркости с орбитальным положением Энцелада свидетельствует, что приливные напряжения важны, но другие эффекты, несомненно, присутствуют. Согласно концепции автора характер изменения плюма, его яркости В, обуславливается не циклическими, а пилообразными (резкими, ускоренными, скачкообразными) относительно колебаниями ядра и верхней оболочки Энцелада.

По единому динамическому критерию, эндогенная активность Европы, спутника Юпитера, также исключительно высока и уступает лишь его спутнику Ио. В последние годы это положение получило дополнительное подтверждение. В южной полярной области этого спутника был обнаружен плюм, по природе похожий на южно-полярный плюм-гейзер на Энцеладе. Тем самым подтверждена универсальность механизма возбуждения активности подобных плюмов. Оказывается, что это одно из основных свойств всех процессов дегазации на планетах и спутниках, которое дик-

туется механизмом гравитационного возбуждения их оболочек. Речь, конечно, идет не только о Солнечной системе, но и о многих экзопланетных системах.

В последнее время гейзерная активность на Европе не наблюдалась, что вызвало некоторый переполох в научных кругах. Согласно рассматриваемой геодезии ее можно отнести к разряду больших скачкообразных вариаций эндогенной активности спутника, в том числе 2005 г.

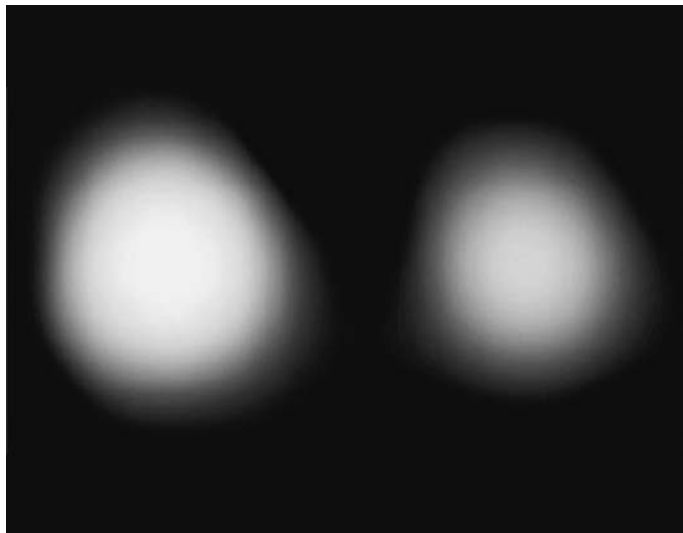
В последние годы активность гейзеров обнаружена на астероиде Церера. Европейские астрономы сообщили, что обнаружили гейзеры водяного пара на поверхности Цереры, крупнейшем объекте Главного пояса астероидов. Водяной пар извергается со скоростью около 6 км/с. Представление современных

авторов о приливной природе действия указанных выше гейзеров не соответствует действительности. Как уже отмечалось, приливной механизм в принципе не может обеспечить энергетику рассматриваемых процессов.

Из выполненных исследований следует вывод, что эндогенная активность планеты (или спутника) определяется гравитационным воздействием на ее оболочки окружающих небесных тел и действием механизма их вынужденной раскачки. Это приводит к энергетическому возбуждению оболочек и возникновению новых высокоэнергетических приливов, которые контролируют и направляют процессы дегазации.

В июле 2015 г. АМС "Новые горизонты" достигнет окрестностей планетной системы Плу-

Плутон и Харон. Изображение получено в Обсерватории ALMA (Атакама, Чили).



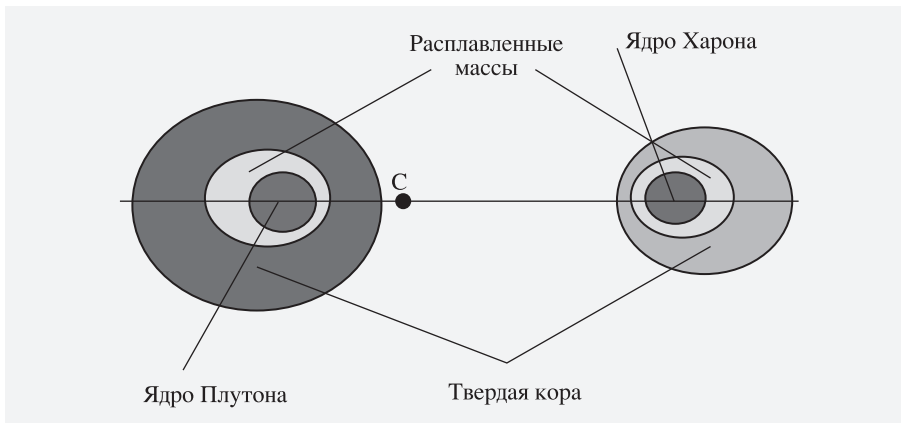


Схема строения недр Плутона и Харона. Внешние твердые оболочки тел смещены своими утолщениями в противоположные стороны. Их ядра смещены к барицентру (С) двойной планеты Плутон – Харон.

тон – Харон (Земля и Вселенная, 2006, № 3, с. 108–109). По мнению автора, здесь, как и на Титане, будет обнаружена высокая эндогенная активность (Земля и Вселенная, 2007, № 6, с. 97). Это обусловлено эксцентричным положением основных оболочек и сложным барицентрическим движением центров масс Плутона и Харона.

На активное действие механизма раскочки и

возбуждения оболочек планет и спутников указывают многие другие явления. Например, была подтверждена концентрация гладких равнин в Северном полушарии Меркурия и предсказанная ранее асимметрия его Северного и Южного полушарий. Исследования, выполненные на основе гравитационного механизма возбуждения оболочек, позволили обосновать активизацию

природных процессов, геологической, тектонической деятельности в полярных областях планет и спутников.

Указанные выше положения планетодинамики, в том числе геодинамическая модель вынужденных относительных колебаний оболочек небесных тел, разработанная автором, ее эффективность и универсальность в настоящее время подтверждены данными АМС.

2014: Олимпиада на Новгородской земле

О.С. УГОЛЬНИКОВ,

кандидат физико-математических наук
Институт космических исследований РАН,
заместитель председателя Центральной предметно-методической комиссии по астрономии Всероссийской олимпиады школьников

Минуло 20 лет с того момента, как в Ярославле состоялась первая Всероссийская олимпиада по астро-

номии. Эстафету через два десятилетия принял другой древний русский город – Великий Новгород, в кото-

ром 7–12 апреля 2014 г. прошел заключительный этап Всероссийской олимпиады по астрономии.

Первое проведение Олимпиады в новом для нее городе часто связано с неожиданными ситуациями и проблемами. Но, как стало понятно уже с первых минут пребывания в Новгороде, текущей Олимпиады это правило не коснется. Олимпиада 2014 г. стала одной из лучших по уровню организации. Ответственная и профессиональная работа коллектива, возглавляемого директором Новгородского института открытого образования Е.Е. Смирновой, сделала Олимпиаду не только главным астрономическим форумом для школьников, но и прекрасным культурным мероприятием, на кото-

ром участники могли дышать, общаться друг с другом и наслаждаться красотами весенней новгородской земли.

Параллельно с организационной подготовкой Олимпиады шла разработка заданий, которые предстояло решать участникам. Эту функцию исполняет Центральная предметно-методическая комиссия. Работа началась еще осенью 2013 г., разработано более 200 заданий-кандидатов и подробные решения для публикации и видеопрезентации для разбора после туров. Для каждой из трех возрастных параллелей (9, 10 и 11 классы) было отобрано по 6 задач теоретиче-

ского тура и по 3 задачи практического тура.

7 апреля 2014 г. прошла церемония открытия XXI Олимпиады в актовом зале Новгородского университета им. Ярослава Мудрого. Многие участники встретились со старыми друзьями из всех уголков России, но были и те, кто приехал на Олимпиаду впервые. Отметим, что новгородская олимпиада собрала рекордное число участников – 167, и это было не единственное абсолютное достижение 2014 г. Теоретический тур Олимпиады состоялся 8 апреля, практический тур – 10 апреля, они продолжались по 5 ч. Чтобы избежать рисков,



связанных с непредсказуемой погодой, практический тур проводился в аудиториях. На нем участники анализировали фотографии, графики и наблюдательные данные. После обеда в дни туров участникам Олимпиады предлагалась культурно-экскурсионная программа, а после ужина члены жюри разбирали задания прошедшего тура. Кроме решений заданий участникам разъяснялась система оценки каждого из них, а также основные ошибки, допущенные участниками. Это было возможно, так как к моменту разбора жюри успевало проверить большинство работ.

В третий и пятый день Олимпиады оглашались личные оценки за решения задач прошедшего тура и участники получали возможность для

апелляции, если, по их мнению, оценка не соответствовала объявленным критериям. Отметим, что апелляция по результатам второго тура проводилась на текущей Олимпиаде впервые. Жюри и Оргкомитет при этом считали важным держать общую таблицу Олимпиады, сохранив ее интригу.

В случае ясной погоды по вечерам участники Олимпиады проводили астрономические наблюдения с помощью биноклей и телескопов, которые привезли с собой в Новгород. Это не входило в соревновательную часть Олимпиады, зато стало ее неотъемлемым культурным событием, в котором участие принимали и члены Оргкомитета и жюри. Олимпиада совпала по времени с противостоянием Мар-

Участники Олимпиады за решением задач. Фото автора.

са, на небе были хорошо видны Юпитер и многие другие объекты.

Торжественное закрытие Олимпиады состоялось 12 апреля, в День космонавтики, в зале областной филармонии, расположенной в сердце города – Новгородском кремле. Результаты, показанные участниками, были под стать духу праздника: превзойдены все предыдущие показатели. Впервые за 21 год жюри выставило абсолютную оценку – 96 баллов из 96 возможных в теоретическом туре. Такой результат показал Алексей Шепелев, ученик 9 класса из г. Жуковского Московской области. Абсолютный уровень

в практическом туре (60 баллов из 60 возможных) достигнут Иваном Утешевым, участником из Саранска (Республика Мордовия). Он также стал обладателем нового рекорда общего результата на Олимпиаде – 155 баллов из 156 возможных. Что самое удивительное – Иван учится в 9 классе, а такие результаты показал, выступая в параллели 10 класса! Осенью 2014 г. Иван Утешев выступал на Международной олимпиаде по астрономии в старшей возрастной группе и также установил рекорд по количеству набранных баллов.

Награждение победителей XXI Олимпиады. Фото Е.Н. Фадеева.

Столь высокие результаты, показанные самыми молодыми участниками (и не только обладателями рекордов), настраивают организаторов Олимпиады и жюри на оптимистический лад. Значит, у астрономического движения в России хорошее будущее, а уже через несколько лет нам стоит ожидать пополнения рядов ученых-астрономов талантливыми молодыми исследователями Вселенной.

Победители XXI Всероссийской олимпиады по астрономии (обладатели золотых медалей):

Шепелев Алексей Сергеевич, 9 класс, МОУ лицей № 14 городского округа Жуковский, Московская область;

Ткачёв Максим Сергеевич, 9 класс, МБОУ лицей № 9 г. Белгоро-

да, Белгородская область;

Утешев Иван Александрович, 9 класс (выступал за 10 класс), ГБОУ “Республиканский лицей для одаренных детей” г. Саранска, Республика Мордовия;

Федотова Алёна Дмитриевна, 10 класс, СОШ № 179 Московского института открытого образования, Москва;

Гришин Кирилл Алексеевич, 10 класс, МБОУ лицей № 57 городского округа Тольятти, Самарская область;

Желтоухов Сергей Геннадьевич, 10 класс, МОУ “Лицей” г. Дедовска, Истринский муниципальный район, Московская область;

Батраков Александр Алексеевич, 10 класс, МБОУ “Кингисеппская средняя общеобразо-





Диск Земли над поверхностью Луны. К задаче "Земля в небе Луны".

карте видимого полушария Луны отметьте точку поверхности Луны, над которой сделана фотография. Считать высоту космического аппарата над Луной малой, либрациями Луны пренебречь.

Решение. По фотографии мы можем определить фазу Земли – около 0,8, а также угол γ , определяющий положение оси терминатора по отношению к лунному горизонту, он равен 13° .

К Луне повернуты дневное и вечернее полушария Земли. По снимку мы можем приблизительно определить точку на Земле, в которой Солнце расположено в зените. Очевидно, в ней в этот момент полдень. На фотографии видны материки на Земле, указанная точка попадает на западное экваториальное побережье Африки. Ее географическая долгота около 0° (точнее, 10° в.д.). Поэтому можно сделать вывод, что фотография сделана около 12 ч по Всемирному времени (точнее, 11 ч 20 мин). Для того чтобы ответить на другие вопросы, изобразим картину в той же проекции, но мысленно переместимся назад от плоскости рисунка, удалившись от Земли. Так как Солнце находится от точки наблюдения намного дальше и Земли, и Луны, фазы обо-

вательная школа № 1", Ленинградская область;

Иванов Дмитрий Максимович, 10 класс, МОУ "Лицей № 1" г. Подольска, Московская область;

Вахлов Даниил Григорьевич, 11 класс, ГБНОУ "Университетская Ломоносовская гимназия", Архангельская область;

Сушко Вадим Александрович, 11 класс, МОУ гимназия № 1 городского округа Жуковский, Московская область;

Агапов Семён Петрович, 11 класс, МОУ СОШ № 1 с углубленным изучением отдельных предметов городского округа Фрязино, Московская область;

Васильев Константин Игоревич, 11 класс, ГБОУ г. Москвы СОШ № 444 с углубленным изучением математики, информатики и физики, Москва;

Андреев Арсений Алексеевич, 11 класс, ГБОУ Московская гимназия на Юго-Западе № 1543, Москва.

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ
ОЛИМПИАДЫ С РЕШЕНИЯМИ

9–10 классы, практический тур

1. Земля в небе Луны.

Перед Вами фотография Земли над лунным горизонтом, полученная космическим аппаратом. Определите Всемирное время, в которое она получена, и фазу Луны, видимую в этот момент на Земле. На прилагаемой

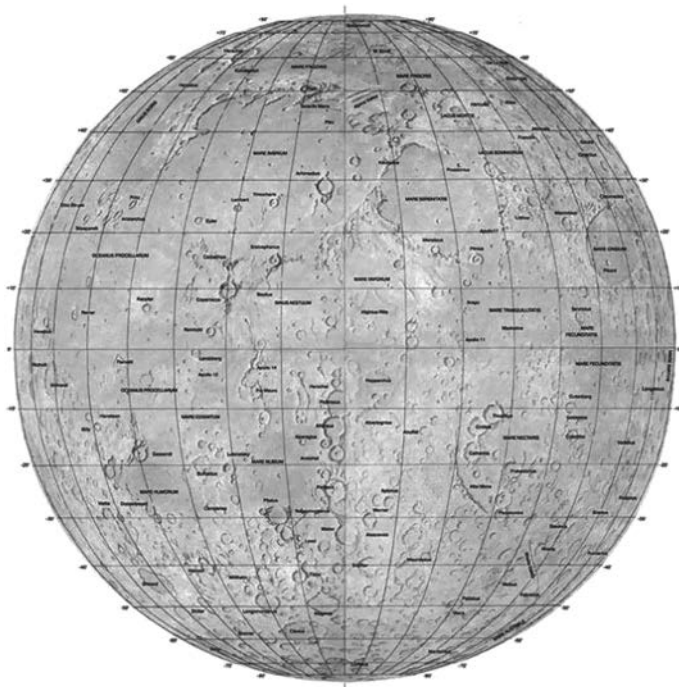
их тел будут одинаковы (0,8). На рисунок попадает все обратное полушарие Луны, Земля находится позади нее. Фаза Луны при наблюдении с Земли составит 0,2. Это растущая Луна, так как она видна с вечернего полушария Земли. Фото сделано над освещенной поверхностью Луны, где Солнце располагается над горизонтом.

Лунный экватор практически не наклонен к плоскости орбиты Луны, точки пересечения лимба и терминатора – это полюса Луны. Полюс слева – южный, так как с этой же стороны у Земли видно Южное полушарие. Точка съемки также показана на снимке, она располагается в 13° южнее экватора. Долгота ее близка к $+90^\circ$ (так как лунными либрациями мы пренебрегаем). С Земли эта точка будет видна на правом краю растущего серпа Луны.

10 класс, теоретический тур

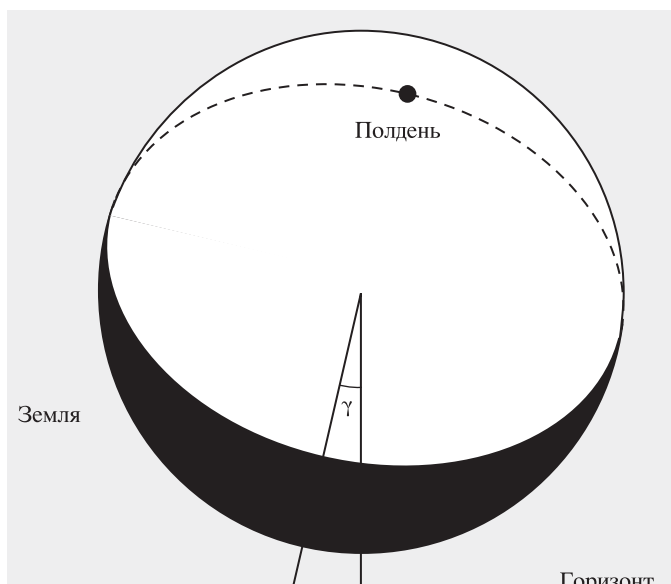
2. Распад звездного скопления.

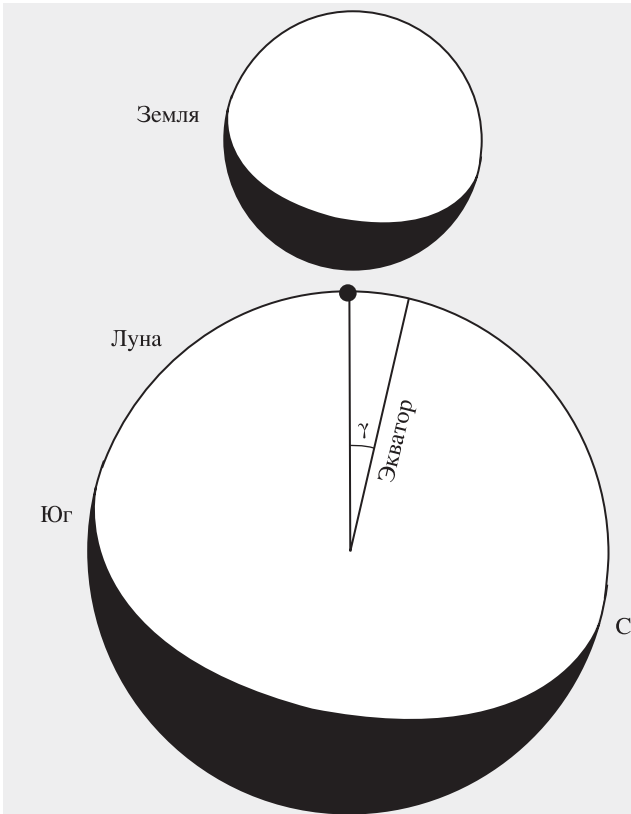
Фазы Земли и угол γ – положение оси терминатора по отношению к лунному горизонту. К задаче "Земля в небе Луны".



Небольшое рассеянное звездное скопление радиусом 1 пк состоит из не группирующихся в пары 100 одинаковых звезд. Через какое-то время скопление распа-

дается, две его звезды образуют двойную систему, а остальные по отдельности покидают область скопления. Оцените расстояние между звездами в двойной си-





Расположение Земли и Луны. К задаче "Земля в небе Луны".

стеме. Начальные скорости звезд и их скорости после вылета из скопления считать малыми.

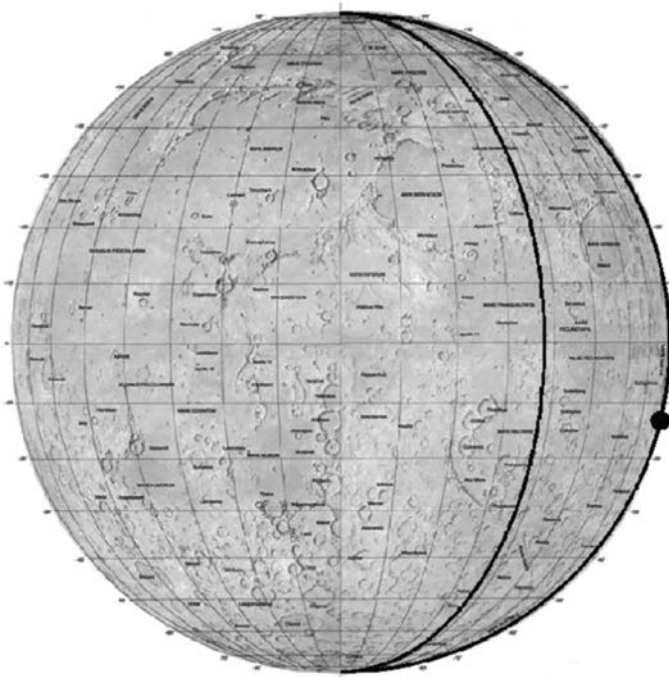
Решение. Мы пренебрегаем начальными скоростями звезд скопления, поэтому можно сразу сказать, что оно гравитационно связано, его полная энергия отрицательна. В некоторый момент времени его покидает одна из звезд. Для этого ей необходимо выйти из "потенциальной ямы" с энергией

$$E_1 = -\frac{G(N-1)M^2}{R}, \text{ здесь}$$

N – число звезд в скоплении, M – масса одной звезды, R – характерное расстояние между звездами, которое можно считать равным радиусу скопления, G – гравитационная постоянная. Данная энергия есть потенциальная энергия взаимодействия покидающей скопление звезды $N-1$ с другими звездами. Следующей звезде будет немного проще покинуть скопление, для этого потребуется энергия

$$E_2 = -\frac{G(N-2)M^2}{R}.$$

Здесь мы не учитываем возможное умень-



Карта Луны с указанием точки съемки Земли. К задаче "Земля в небе Луны".

шение размеров скопления после вылета звезд, так как оно будет энергетически компенсировано появлением у оставшихся звезд кинетической энергии. В итоге, чтобы скопление покинули все звезды, кроме двух, нужна энергия

$$E = \sum_{i=1}^{N-2} E_i = -\frac{GM^2}{R} \sum_{i=1}^{N-2} (N-i).$$

Указанная сумма – это арифметическая прогрессия, первый член которой равен $N-1$, последний – 2 , число членов прогрессии равно $N-2$. Воспользовавшись формулой для суммы прогрессии, получаем:

$$E = -\frac{GM^2}{R} \frac{(N+1)(N-2)}{2} \approx -\frac{GM^2 N^2}{2R}.$$

Здесь мы учли, что число N достаточно велико. То же выражение можно получить, просуммировав величины потенциальной энергии попарного взаимодействия звезд, считая расстояния между ними равными R . Дополнительной кинетической энергией, уносимой вылетающими звездами, мы по условию задачи пренебрегаем. Следовательно, именно такая отрицательная энергия E должна характеризовать единственную двойную систему, оставшуюся на месте скопления. Мы вновь пренебрегли изначальными потенциальными энергиями двух звезд как много меньшими по модулю, чем энергия E .

Предположим, что орбиты звезд в двойной системе круговые. Тогда полная энергия есть половина потенциальной энергии системы. Отсюда получаем выражение для потенциальной энергии:

$$E_p = -\frac{GM^2}{r} = 2E = -\frac{GM^2 N^2}{R}.$$

Расстояние между звездами составит:

$$r = \frac{R}{N^2} = 20 \text{ a.e.}$$

11 класс, теоретический тур

3. Два затмения подряд.

На какое минимальное расстояние по по-

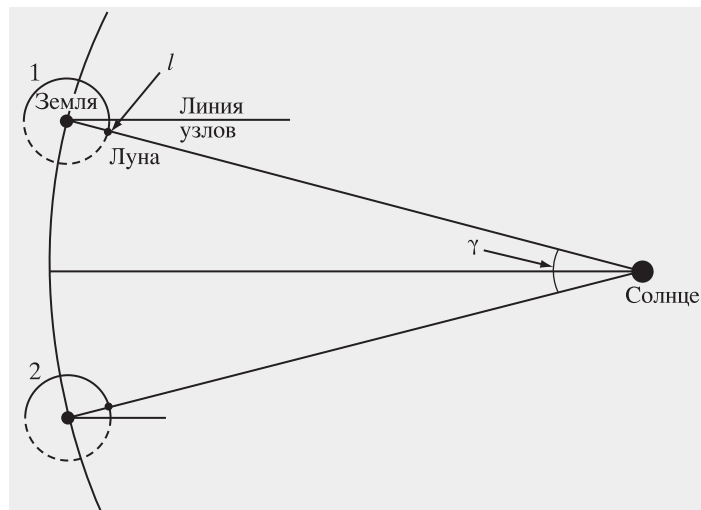
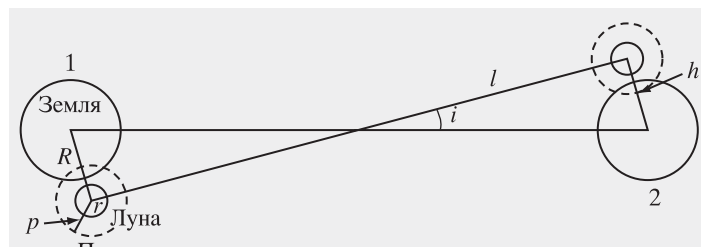
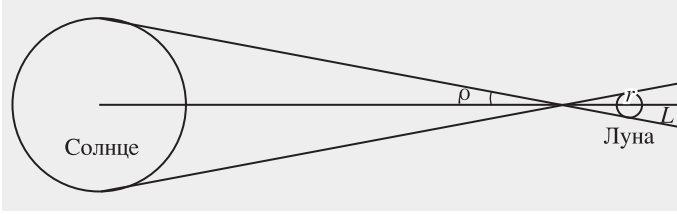


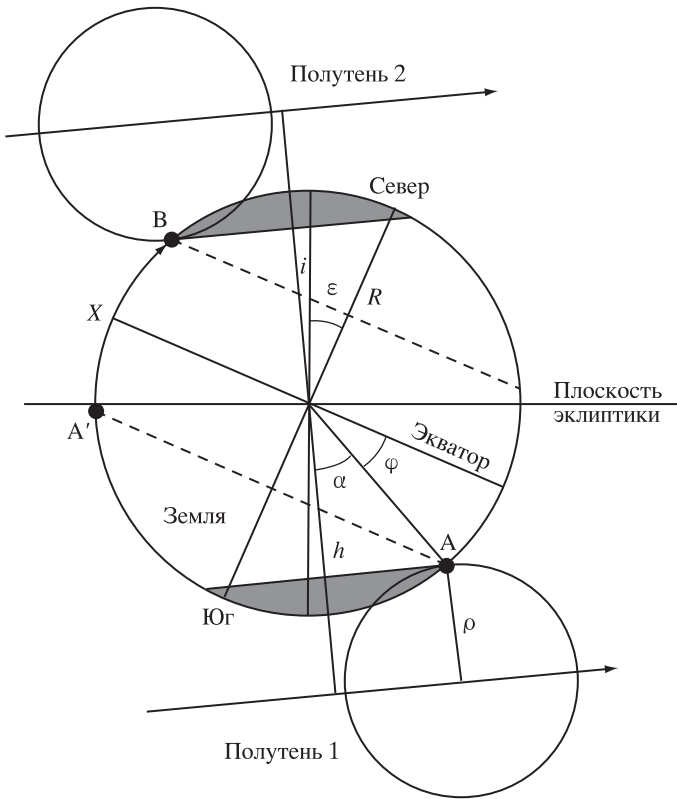
Схема перемещения Луны по отношению к Солнцу. 1 – расстояние в космическом пространстве от линии узлов, γ – дуга, которую проходит Земля по гелиоцентрической орбите. К задаче “Два затмения подряд”.



Взаимное расположение Земли, Луны и ее полутени во время двух последовательных затмений (1 и 2) со стороны Солнца. 1 – расстояние в космическом пространстве от линии узлов, h – минимальное расстояние между проекциями центров Земли и Луны, R – радиус Земли, r – радиус Луны, p – радиус лунной полутени, i – наклон орбиты Луны к плоскости эклиптики. К задаче “Два затмения подряд”.



Вычисление радиуса лунной полутени. L – радиус орбиты Луны, ρ – угловой радиус Солнца, r – радиус лунной полутени, g – радиус Луны. К задаче “Два затмения подряд”.

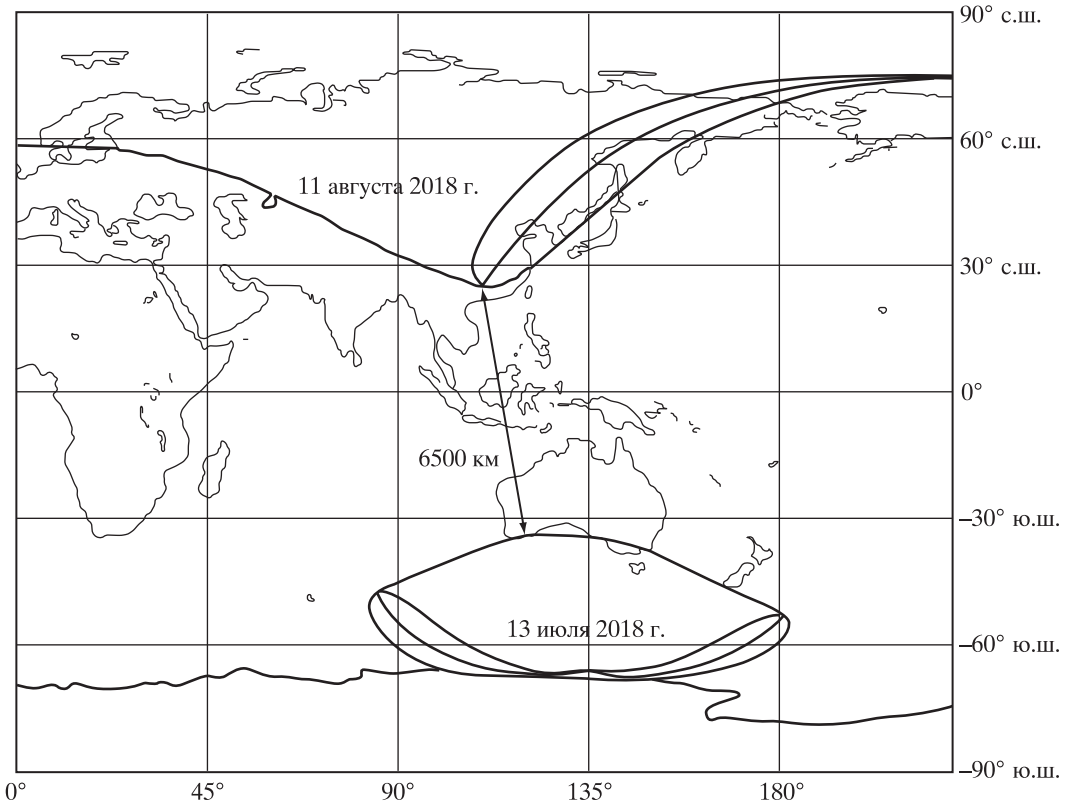


Положение лунной полутени на Земле во время двух последовательных солнечных затмений. α – угол с вершиной в проекции тени Земли, образованный перпендикуляром к траектории центра тени и направлением на точку с минимальным модулем широты в области видимости затмения; ε – угол наклона экватора к эклиптике; φ – широта точки наблюдения затмений; h – минимальное расстояние между проекциями центров Земли и Луны; i – наклон лунной орбиты к плоскости эклиптики; r – радиус лунной полутени; R – радиус Земли. К задаче “Два затмения подряд”.

верхности Земли должен переместиться наблюдатель, чтобы иметь возможность увидеть два частных солнечных затмения, разделенных интервалом в один лунный месяц? Орбиты Земли и Луны считать круговыми.

Решение. Как известно, два солнечных затмения могут происходить с интервалом в один лунный месяц, если линия узлов орбиты Луны совпадет с линией Земля – Солнце посередине между этими новолуниями. В подавляющем большинстве случаев (при круговых орбитах Земли и Луны – всегда) затмения будут частными. Во время одного новолуния Луна будет располагаться севернее плоскости эклиптики, во время другого – южнее, поэтому затмения будут наблюдаться в разных полушариях Земли. Необходимо найти минимально возможное расстояние между областями видимости этих явлений.

Синодический период Луны (S) составляет 29,53 сут. За это время Земля проходит в своем орбитальном движении дугу $\gamma = 29,1^\circ$. Пусть положения Луны в оба новолуния симметричны относительно линии узлов, во время новолуний Луна отстояла от линии узлов на угол $\gamma/2$. Это соответствует расстоянию в пространстве $l = L \times \gamma/2 = 97,6$ тыс. км. Здесь мы учли, что угол $\gamma/2$ невелик, L – радиус орбиты Луны.



Карта Земли с указанием мест, откуда будут наблюдаться затмения 13 июля и 11 августа 2018 г. К задаче "Два затмения подряд".

Рассмотрим картину со стороны Солнца и учтем, что оно значительно дальше от Земли, нежели Луна. Минимальное расстояние между проекциями центров Земли и Луны составит $h = l \times i = L \times i \times \gamma/2 = 8760 \text{ км}$, где i – наклон лунной орбиты к плоскости эклиптики. Полученное расстояние больше радиуса Земли, поэтому центральные солнечные затмения в такой конфигурации не наблюдаются. Но частные происходят, в чем можно убедиться, рассчитав

радиус лунной полутени $\rho = r + L \times \rho = 3500 \text{ км} \sim 2r$, где r – радиус Луны, ρ – угловой радиус Солнца. Мы вновь учли, что расстояние до Солнца велико. Угловые радиусы Солнца и Луны в небе Земли можно считать одинаковыми, и $L \times \rho \approx r$.

Изобразим Землю и две проекции полутени в более крупном масштабе. Обратим внимание, что области видимости обоих затмений (выделены серым цветом) могут смещаться ближе к экватору за счет наклона са-

мого экватора и лунной орбиты к плоскости эклиптики. Эффект будет максимальным, если оба фактора сложатся друг с другом, тогда затмение произойдет вблизи весеннего равноденствия у восходящего узла орбиты Луны или вблизи осеннего равноденствия у нисходящего узла орбиты Луны. Найдем минимальную (по модулю) широту точки наблюдения затмений:

$$\varphi = 90^\circ - \arccos \frac{h - \rho - \varepsilon - i}{R} - \varepsilon - i = 90^\circ - 27,1^\circ.$$

По прошествии лунного месяца точка наблюдения первого затмения А может оказаться на другой стороне терминатора Земли за счет ее вращения; вспомним, что синодический период Луны близок к по-

лучелому числу суток. Наблюдателю достаточно будет преодолеть путь X вдоль меридиана из точки A' в точку B . Это соответствует дуге 2ϕ , длина пути составит 6 тыс. км.

Ситуация, близкая к описанной в этой задаче, случится 13 июля и 11 августа 2018 г. Области видимости частных солнечных затмений будут разделены расстоянием около 6500 км.

Информация

Испытание новой российской ракеты-носителя

23 декабря 2014 г. состоялся первый запуск ракеты-носителя тяжелого класса “Ангара-А5” стартовой массой 768 т с космодрома Плесецк (см. стр. 1 обложки). Через 12 мин после старта орбитальный блок (разгонный блок “Бриз-М” и макет) отделился от третьей ступени. “Бриз-М” выполнил несколько коррекций орбиты и вывел габаритно-массовый макет массой 2,04 т на геостационарную орбиту высотой 35,8 тыс. км. У России появилась современная и экологически чистая ракета нового поколения.

“Ангара-А5” создавалась почти 20 лет в Государственном космическом научно-производственном центре им. М.В. Хруничева. Главная причина задержки летных испытаний состоит в том, что на создание “Ангары” выделялось меньше 4% запланированных средств. Полноценное финансирование началось



Ракета-носитель тяжелого класса “Ангара-А5” в монтажно-испытательном корпусе космодрома Плесецк. Декабрь 2014 г. Фото ГКНПЦ им. М.В. Хруничева.

только в 2006 г. Отодвинул сроки старта и кризис 2008 г. К 2010 г. ракета уже была готова к испытаниям, но запускать ее было неоткуда. Строительство стартового комплекса в Плесецке на космодроме “Северный” в 2009–2010 гг. остановилось и возобновилось лишь в 2012 г. Универсальный стартовый комплекс состоит из гигантского пускового устройства (масса – 1185 т), кабель-заправочной башни (1700 т), стенда для сборки головной части (более 40 т), транспортно-установочно-

го агрегата для РН легкого и тяжелого класса (197 т и 400 т соответственно), циклопического бетонного газоотводного канала, 211 сооружений со сложнейшим оборудованием, которые соединены подземными коридорами длиной 5 км и инженерными коммуникациями длиной 22 км. С комплекса “Северный” можно запускать все версии новой ракеты. В 2014 г. успешно испытали сразу два варианта – легкую “Ангару-1.2” и тяжелую “Ангару-А5”.

Ракеты-носители серии “Ангара” собираются по модульному принципу, который считается самым перспективным. Первая ступень состоит из одинаковых элементов – универсального ракетного модуля (УРМ-1) длиной 25 м, диаметром 2,9 м и массой 133 т, оснащенного кислородно-керосиновым двигателем РД-191. Вторая ступень – УРМ-2 массой 36 т с двигателем РД-0124. “Ангара-1.2” стартовой массой 171 т сможет выводить на околоземную орбиту 3,8 т груза. Напомним, что 9 июня 2014 г. из Плесецка стартовала легкая “Ангара-1.2”, содержащая УРМ-1 и УРМ-2 (Земля и Вселенная, 2014, № 6, с. 106–107). Три УРМ-1 формируют “Ангара-А3” среднего класса (стартовая масса – 481 т, грузоподъемность – 14,6 т), пять УРМ-1 – тяжелую “Ангара-А5” (773 т; 24,5 т), семь УРМ-1 – сверхтяжелую “Ангара-А7” (1133 т; 35 т). Семейство РН “Ангара” заменяет все использующиеся в настоящее время российские космические носители.

Прототип первой ступени “Ангары” (УРМ-1) проходил летные испытания в 2009 г., 2010 г. и 2013 г. в составе ракеты-носителя KSLV-1 (Южная Корея). В качестве верхних ступеней на “Ангаре-1.2” может использоваться разгонный блок “Бриз-КМ”, который прошел летные испытания в составе российской конверсионной ракеты “Рокот”, а на “Ангаре- А5” исполь-



“Ангара-А5” на стартовом комплексе незадолго до запуска. Космодром Плесецк, 23 декабря 2014 г. Фото ГКНПЦ им. М.В. Хруничева.

зуются разгонные блоки “Бриз-М” и КВТК.

Предстоит сделать еще 10 пусков, прежде чем эту ракету примут в эксплуатацию в 2020 г. Серийное производство ракет-носителей “Ангара” развернется на заводе ПО “Полет” в Омске, входящем в структуру Объединенной ракетно-космической корпорации. В 2018 г. РН “Ангара”

начнет стартовать с нового российского космодрома Восточный. После окончания испытаний, с 2021 г., “Ангара-А5” планируется использовать для запусков пилотируемой транспортной системы к МКС.

*Пресс-релизы Роскосмоса и
ГКНПЦ им. М.В. Хруничева,
23 декабря 2014 г.*

Телескоп Ньютон-500 мм на монтировке Добсона

Я увлекся астрономией лет в 12, после того как мне рассказали о космосе, планетах, звездах. Это было очень интересно и запомнилось на всю жизнь. Мои первые шаги в астрономии – восхищение от созерцания звездного неба. Потом появились книга Ф.Ю. Зигеля

“Астрономы наблюдают”, первый телескоп с объективом диаметром 50 мм из насадочной линзы (+1 диоптрия) от фотоаппарата, приобретенной в магазине фототоваров. Окуляр к этому телескопу я взял из школьного микроскопа. Труба и фокусер были склеены

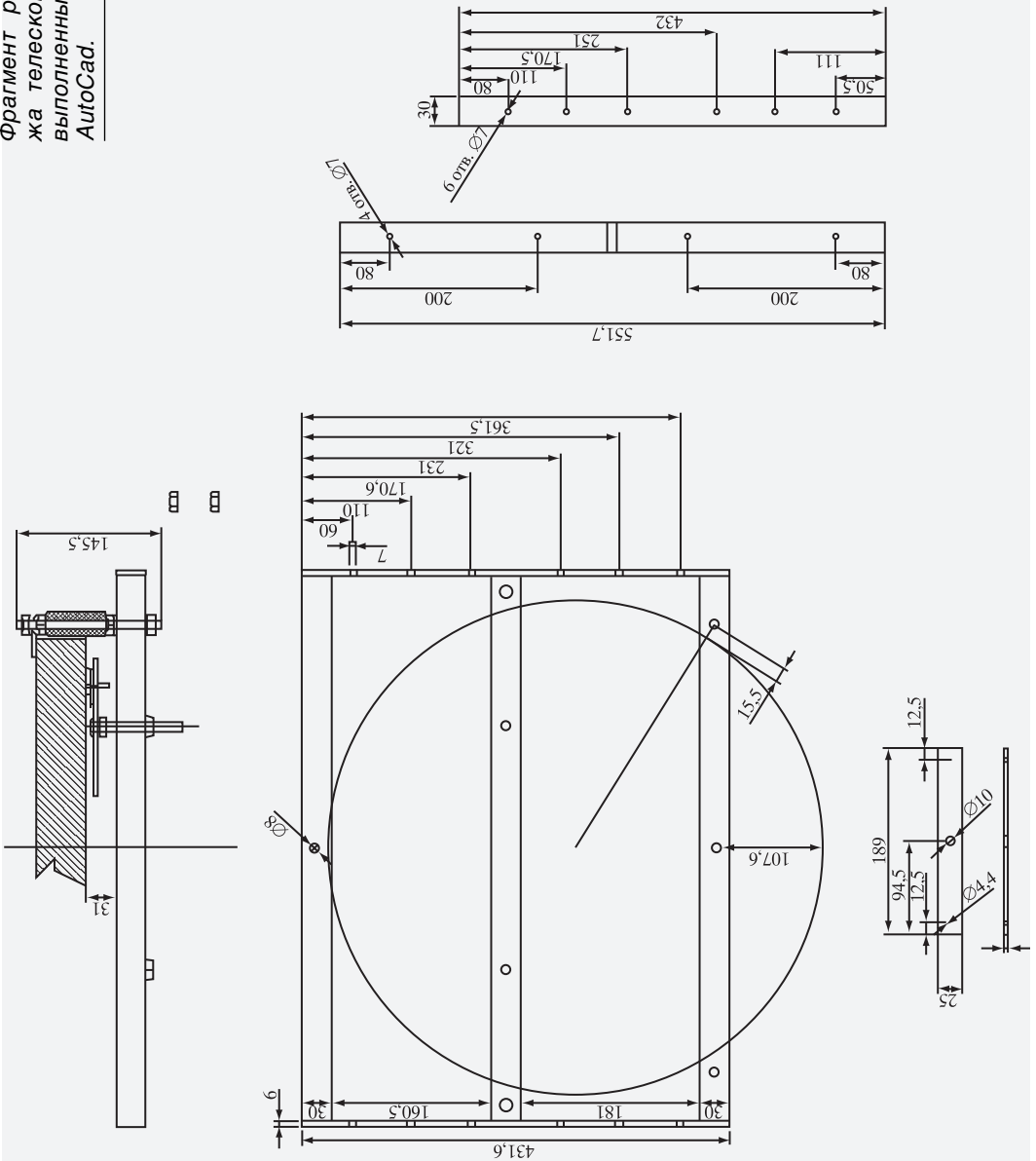
из ватмана. Вместо монтировки – струбцина от фотоаппарата ФЭД. Телескоп давал примерно 60-кратное увеличение. Первые объекты моих наблюдений – Луна и яркие планеты. Я стал регулярно читать журнал “Земля и Вселенная”, книги из серии “Библиотека астронома-любителя” и Л.Л. Сикорука “Телескоп астронома-любителя”, занимался в кружке телескопостроения в Доме юных техников микрорайона Вешняки – Владыкино, где изготовил из витринного стекла зеркало диаметром 100 мм для телескопа Ньютона.

В 2012 г. я приобрел два Мидовских телескопа Шмидта – Кассегрена с автоматическим веде-



Дмитрий Сергеевич Сарычев у своего телескопа Ньютон-500 на монтировке Добсона. Наблюдательная площадка фестиваля “Астробфест-2014”.

Фрагмент рабочего черте-
жа телескопа Ньютон-500,
выполненный в программе
AutoCad.



*Корзина главного зеркала,
расположенная на качалке.*

нием. У большего из них диаметр главного зеркала – 8 дюймов (20,3 см). Увидев в него туманность Кольцо (M57) в Лире, я был поражен ее необычной формой. Через некоторое время принял решение изготовить самостоятельно более светосильный телескоп для наблюдения объектов дальнего космоса. Остановил свой выбор на системе Ньютона и монтажке Добсона из-за ее простоты изготовления и удобства использования. В Интернете я нашел сайт <http://www.obsessiontelescopes.com>, посмотрел на фотографии телескопов Дэйва Крейга (США) и понял: это то, что мне надо. Заказал у Д. Крейга его книгу “The Dobsonian Telescope” об изготовлении телескопа. Прочитав ее, решил остановиться на диаметре главного зеркала 20 дюймов (500 мм) с относительным фокусом $F = 4,5$. Изучал вопрос по изготовлению оптики, нашел хорошие отзывы об оптике Антона Савельева из компании “Астросиб”, у него заказал оптику. Изготовил рабочие чертежи в программе AutoCAD.



В августе 2013 г. каждый день после работы и в выходные я занимался монтажкой. Квадратную раму оправы главного зеркала сварил из листа нержавеющей стали 30 x 30 мм. Березовую фанеру разной толщины приобрел в строительном магазине, из нее выпилил и склеил клеем класса D3, покрыл полуматовым яхтным лаком основные деревянные конструкции. Внутренние деревянные поверхности телескопа я покрасил черной матовой акриловой краской. Трубы 32 x 1 см из D16T для фермы телескопа были приобретены по объявлению в Интернете (они предназначались изначально для байдарок,

но мне прекрасно подошли). Искателей на телескопе два: Telrad, который представляет собой разновидность коллимационного искателя, и обычный искатель минирефрактор 50 x 8 с диагональным зеркалом для удобства поиска объектов. Корзина главного зеркала плавно перемещается по радиальным дюралевым направляющим, которые прикреплены к корпусу болтами M8. На их радиальную поверхность клею “Момент” приклеен рельефный ламинат. Опираются направляющие на четыре фторопластовые опоры толщиной 5 мм, размер трех из них – 75 x 75 мм. Вращение по азимуту



Одна из четырех фторопластовых опор оси склонения телескопа.

производит монтаж за счет трения ламинат – фторопласт. В качестве оси применил болт из бронзы диаметром 14 мм. Ламинат я натирал воском для уменьшения

трения. Труба телескопа сбалансирована относительно центра масс оси склонений телескопа. Перемещается труба по двум осям достаточно легко и плавно.



Эффект обратного хода после остановки полностью отсутствует. Метизы для телескопа приобрел из нержавеющей стали. Оправу вторичного зеркала, крепеж фермы и фокусер заказывал в интернет-магазинах. Изготавливать их сам не стал, так как не располагаю соответствующим оборудованием.

В строительстве телескопа мне помогал мой семнадцатилетний сын Сергей. Все работы проходили в коридоре городской квартиры, но жена Ольга терпеливо перенесла процесс изготовления телескопа: пиление, сверление, шлифование, покраска, фрезеровка. Телескоп удалось построить примерно за восемь месяцев.

Первый свет телескоп увидел на фестивале “Астрофест-2014” (Земля и Вселенная, 2015, № 2). К моему телескопу выстраивались большие очереди для наблюдения объектов звездного неба: Марс, Юпитер, Сатурн, яркие галактики и объекты каталога Мес-

Корзина вторичного зеркала телескопа.



Крепежные элементы фермы трубы телескопа.

сье. Погода, к сожалению, была не совсем подходящая.

В конце августа 2014 г. мне удалось поехать с телескопом в Рязанскую область, где я был поражен небесными объектами М57 (туманность Кольцо, NGC 6720), М51 (галактика Водоворот, NGC 5194) и М31 (Туманность Андромеды), увидел множество искрящихся шаровых звездных скоплений.

Может, наверное, возникнуть вопрос: как же я справляюсь с телескопом? Отвечаю: вдвоем с сыном очень даже неплохо. Перевезти его можно в джипе или микроавтобусе. Общий вес телескопа – 80 кг. Для его переноски предусмотрены

надувные колеса и две съемные ручки. Телескоп приподнимается по такому же принципу, как

действует строительная тачка, и его может перемещать один человек даже в собранном виде.



Участник "Астрофеста-2014" наблюдает Марс в мой телескоп Ньютон-500.

Для съемных элементов телескопа и для него самого сшиты чехлы из плотной синтетической ткани. При наблюдении небесных объектов, находящихся ближе к зениту, труба телескопа занимает вертикальное положение, и до окуляра можно добраться только с помощью небольшой

стремянки, так как окуляр находится на высоте 2,1 м от земли. Хранится телескоп в квартире в разобранном виде.

В заключение я хотел бы обратиться к нашим любителям астрономии: не бойтесь изготавливать большие телескопы! Это не так сложно, как кажется на первый

взгляд. Ставьте перед собой цель и идите к ней, главное – желание и стремление. Потом будет очень приятно наблюдать в серьезный оптический прибор, изготовленный собственными руками!

*Д.С. САРЫЧЕВ,
Подольск (Московская обл.)*

Фото автора

Информация

Приоритеты “Радиоастрона”

На заседании Государственной комиссии Роскосмоса рассмотрены итоги трехлетней эксплуатации космической обсерватории “Радиоастрон” (КА “Спектр-Р”; Земля и Вселенная, 2012, № 6), отмечены ее выдающиеся достижения в исследовании глубокого космоса. В рамках научной программы проекта “Радиоастрон” изучались три группы космических объектов: квазары, сверхмассивные черные дыры (ядра галактик) и пульсары; нейтронные звезды и мазеры; области образования звезд и планет в нашей Галактике. Всего изучено более 100 небесных объектов.

Наземный сегмент “Радиоастрона” (радиоинтерферометрия со сверхдлинной базой, РСДБ-сеть)

состоит из более 30 радиотелескопов России, Австралии, Великобритании, Германии, Индии, Испании, Италии, Китая, Нидерландов, Польши, США, Украины, Финляндии, Швеции, ЮАР и Японии.

В ходе исследований были получены следующие важнейшие научные и технические результаты:

– создан самый большой исследовательский инструмент за всю историю человечества, его размер равен расстоянию от Земли до Луны – 350 тыс. км;

– достигнуто рекордное угловое разрешение в 14 миллионов долей секунды дуги; на базе интерферометра зарегистрированы сигналы от многих наиболее далеких небесных объектов;

– получены первые результаты по исследованию поляризации со сверхвысоким разрешением.

При наблюдении квазаров, находящихся в миллиардах световых лет от Земли, астрофизики получили изображения выбросов горячего вещества из них, измерена ширина сопла выбросов (джеты) вблизи центральной сверхмассив-

ной черной дыры и определена тонкая структура магнитного поля. Плазма в джетах оказалась значительно горячее, чем считалось. Это изменило понимание природы излучения релятивистских выбросов квазаров. Научные группы проекта “Радиоастрон” открыли компактную структуру дисков рассеивания в пульсарах, что позволит ученым определить характеристики пульсаров и рассеивающей турбулентной плазмы. Обнаружены компактные источники мазерного излучения молекул гидроксила (на частоте 1665 МГц) и воды (22 235 МГц) в нескольких областях звездообразования в нашей Галактике. Проведенные впервые наблюдения с таким высоким разрешением дают возможность изучать физику тонкой структуры областей звездообразования, кинематику и динамику протозвезд.

Техническое состояние бортовых систем и научно-оборудования позволило продлить программу исследований “Радиоастрона”.

*Пресс-релиз АКЦ ФИАН,
6 ноября 2014 г.*

НЕБЕСНЫЙ КАЛЕНДАРЬ: июль – август 2015 г.

Таблица 1

ОСНОВНЫЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ

Дата	Время, ч	Событие
Июль		
1	9	Венера проходит в 0,4° южнее Юпитера
2	2	Полнолуние
5	19	Луна в перигее
6	13	Земля в афелии
8	20	Луна в последней четверти
16	1	Новолуние
18	14	Луна проходит в 5° южнее Юпитера
19	0	Луна проходит в 1° южнее Венеры
19	7	<i>Венера проходит в 2,9° южнее звезды Регул (α Льва)</i>
20	10	Луна в апогее
23	5	Венера переходит от прямого движения к попятному
23	19	Меркурий в верхнем соединении с Солнцем
24	3	Луна в первой четверти
26	9	Луна проходит в 2° севернее Сатурна
26	16	Уран переходит от прямого движения к попятному
31	10	Полнолуние
Август		
2	10	Луна в перигее
2	19	Сатурн переходит от попятного движения к прямому
7	2	Луна в последней четверти
13	7	<i>Максимум метеорного потока Персеиды</i>
14	14	Новолуние
15	19	Венера в нижнем соединении с Солнцем
18	1	Луна в апогее
22	17	Луна проходит в 2° севернее Сатурна
22	19	Луна в первой четверти

Таблица I (окончание)

Дата	Время, ч	Событие
26	21	Юпитер в соединении с Солнцем
29	18	Полнолуние
30	15	Луна в перигее

Примечание. Во всех таблицах и 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
Июль 1	06	38	23	09	04:18	19:54	03:26	20:46	01:14	22:57
11	07	19	22	12	04:24	19:50	03:36	20:39	01:43	22:32
21	07	59	20	37	04:34	19:43	03:50	20:27	02:18	21:59
31	08	39	18	27	04:44	19:33	04:07	20:10	02:53	21:24
Август 10	09	17	15	47	04:56	19:19	04:25	19:50	03:27	20:48
20	09	55	12	41	05:08	19:03	04:44	19:28	04:00	20:11
30	10	32	09	16	05:20	18:46	05:02	19:03	04:32	19:34

Примечание. В таблице дано среднее солнечное время.

Пример. Определить время захода Солнца 23 августа 2015 г. в Москве (широта – $55^{\circ}45'$, долгота – $2^{\circ}32^m$, 2-я часовая зона – московское время UT + 3^ч). Пользуясь Таблицей II, интерполируем по широте значение времени восхода Солнца на 23 августа, получаем $19^{\circ}23^m$. Вычтем из него долготу места, прибавим 3^ч, получим $19^{\circ}53^m$.

Таблица III

ЭФЕМЕРИДЫ ПЛАНЕТ

Дата	α		δ		m	d	F	Продолжительность видимости для разных широт, ч			Период видимости
	ч	м	°	'				45°	55°	65°	
Меркурий											
Июль 1	05	06,9	+20	35	-0,2	6,9	0,52	-	-	-	
11	06	16,8	+23	09	-1,0	5,7	0,81	-	-	-	
21	07	46,4	+22	34	-2,0	5,1	0,99	-	-	-	
31	09	12,8	+17	58	-1,3	5,0	0,96	-	-	-	

Таблица III (продолжение)

Дата	α		δ		m	d	F	Продолжительность видимости для разных широт, ч			Период видимости
	ч	м	°	'				45°	55°	65°	
Август 10	10	23,8	+11	15	-0,5	5,3	0,85	-	-	-	
20	11	21,0	+04	06	-0,1	5,8	0,75	-	-	-	
30	12	07,1	-02	29	0,1	6,5	0,63	-	-	-	
Венера											
Июль 1	09	35,0	+14	58	-4,6	32,6	0,34	2,6	2,2	-	Вечер
11	09	55,5	+11	41	-4,7	38,0	0,26	2,0	1,5	-	Вечер
21	10	05,1	+08	48	-4,7	44,7	0,17	1,3	-	-	Вечер
31	10	01,1	+06	49	-4,5	51,8	0,08	-	-	-	
Август 10	09	43,1	+06	14	-4,0	57,3	0,02	-	-	-	
20	09	18,9	+07	07	-4,1	57,9	0,02	-	-	-	
30	09	01,6	+08	45	-4,5	53,3	0,07	1,6	1,5	1,1	Утро
Марс											
Июль 1	06	18,0	+24	07	1,6	3,6	1,00	-	-	-	
11	06	47,2	+23	49	1,6	3,6	1,00	-	-	-	
21	07	15,9	+23	11	1,7	3,6	1,00	-	-	-	
21	07	44,0	+22	15	1,7	3,6	1,00	-	-	-	
Август 10	08	11,5	+21	03	1,7	3,7	0,99	-	-	-	
20	08	38,3	+19	35	1,8	3,7	0,99	0,7	-	-	Утро
30	09	04,4	+17	54	1,8	3,7	0,99	1,2	1,1	-	Утро
Юпитер											
Июль 1	09	36,1	+15	11	-1,6	32,4	1,00	2,1	1,3	-	Вечер
11	09	43,5	+14	34	-1,6	31,9	1,00	1,5	-	-	Вечер
21	09	51,3	+13	54	-1,6	31,5	1,00	0,8	-	-	Вечер
31	09	59,4	+13	12	-1,6	31,1	1,00	-	-	-	
Август 10	10	07,6	+12	28	-1,6	30,9	1,00	-	-	-	
20	10	15,8	+11	42	-1,6	30,8	1,00	-	-	-	
30	10	24,3	+10	56	-1,6	30,8	1,00	-	-	-	
Сатурн											
Июль 1	15	48,5	-17	51	0,2	18,1	1,00	5,7	3,7	-	Ночь
11	15	46,8	-17	48	0,3	17,9	1,00	5,0	3,3	-	Вечер

Дата	α		δ		m	d	F	Продолжительность видимости для разных широт, ч			Период видимости
	ч	м	°	'				45°	55°	65°	
21	15	45,6	-17	47	0,4	17,7	1,00	4,5	2,9	–	Вечер
31	15	45,1	-17	47	0,4	17,4	1,00	4,0	2,5	–	Вечер
Август 10	15	45,3	-17	50	0,5	17,1	1,00	3,6	2,2	–	Вечер
20	15	46,1	-17	56	0,5	16,8	1,00	3,1	1,9	–	Вечер
30	15	47,5	-18	03	0,5	16,5	1,00	2,8	1,6	–	Вечер

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

ВИДИМОСТЬ ПЛАНЕТ

Меркурий в июле – августе не виден.

Венера в начале июля восходит по вечерам в средних и южных широтах нашей страны. 1 июля планета пройдет в 0,4° южнее Юпитера. 19 июля Луна пройдет рядом с Венерой, и в эти же сутки Венера пройдет в 2,9° южнее звезды Регул (α Льва). Вечерняя видимость планеты сокращается. 23 июля Венера переходит от прямого движения к попятному, до конца августа она не видна. 15 августа планета находится в нижнем соединении с Солнцем. Венера появляется на небе в конце августа. В начале июля в период вечерней видимости ее видимый угловой диаметр увеличивается с 32,6" до 44,7", а в самом конце августа будет довольно значительным – 53,3", блеск Венеры будет немного ярче –4,5". Узкий серп планеты можно наблюдать в бинокль. В июле она перемещается по созвездию Льва, в конце августа – по созвездию Рака.

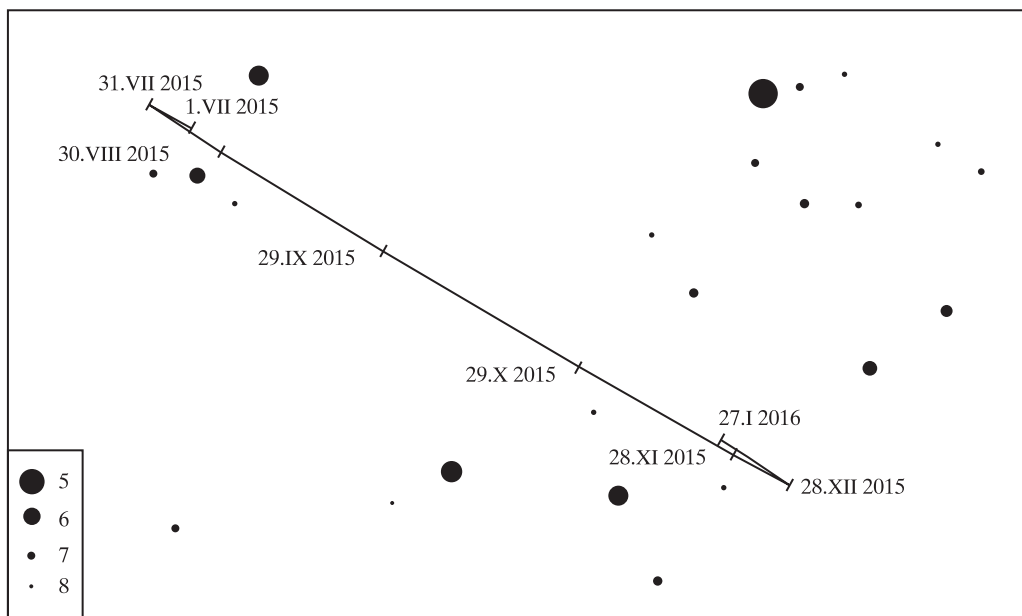
Марс в конце августа появляется по утрам в средних и южных широтах России незадолго до восхода Солнца в созвездии Рака. Начинается утренняя видимость Красной планеты.

Юпитер в начале июля располагается в созвездии Льва, его можно наблюдать в вечернее время в южных и средних широтах нашей страны. В начале июля видимый угловой диаметр Юпи-

тера немного больше 30", блеск – 1,6^m. 18 июля Луна пройдет недалеко от планеты. В средних широтах видимость Юпитера быстро заканчивается в начале июля, в южных широтах его можно наблюдать до 20-х чисел июля. 26 августа Юпитер находится в соединении с Солнцем. До сентября он не виден.

Сатурн в июле – августе можно наблюдать в вечернее время в средних и южных широтах России, он находится в созвездии Весов. В северных широтах планета не видна. В начале июля в южных и средних широтах нашей страны продолжительность видимости Сатурна постепенно уменьшается с 5,7^ч до 3,7^ч, в конце августа – с 2,8^ч до 1,6^ч. Видимый угловой диаметр планеты уменьшается с 18,1" в начале июля до 16,5" в конце августа. 2 августа Сатурн переходит от попятного движения к прямому. Луна пройдет недалеко от него 26 июля и 22 августа.

Уран появится в июле в южной части созвездия Рыб. Блеск этой планеты-гиганта немного ярче 6^m, что позволяет зорким людям увидеть его на темном небе невооруженным глазом. 26 июля Уран переходит от прямого движения к попятному. Противостояние с Солнцем состоится 12 октября. 26 декабря Уран переходит от попятного движения к прямому.



Видимый путь на небесной сфере Урана в июле 2015 г. – январе 2016 г.

Таблица IV

ЭФЕМЕРИДЫ УРАНА В 2015 г.

Дата			α		δ		m	d
			ч	м	°	'		
Июнь	2015	1	01	14,9	+07	14	5,8	3,4
Июль	2015	31	01	15,9	+07	19	5,8	3,5
Август	2015	30	01	14,2	+07	08	5,7	3,6
Сентябрь	2015	30	01	10,4	+06	45	5,7	3,6
Октябрь	2015	29	01	06,0	+06	18	5,7	3,6
Ноябрь	2015	28	01	02,4	+05	57	5,7	3,6
Декабрь	2015	28	01	01,2	+05	50	5,8	3,5
Январь	2016	27	01	02,8	+06	01	5,9	3,4

МЕТЕОРНЫЙ ПОТОК ПЕРСЕИДЫ

В августе ежегодно любители астрономии готовятся к наблюдению одного из самых известных метеорных потоков – **Персеиды**, максимум которого в 2015 г. ожидается 13 августа в

7ч УТ. Зенитное часовое число метеорного потока Персеиды (ZHR) – около 100 метеоров или немного меньше. Метеорный поток Персеиды образуется в результате прохождения Земли

через шлейф пылевых частиц, выпущенных кометой 109P/Свифта – Туттля. Диаметр шлейфа 80 млн. км. Земля входит в него ежегодно с 17 июля до 24 августа. В течение 2015–2017 гг. рядом с Землей будет проходить участок шлейфа потока Персеид, возмущенный гравитационным влиянием Юпитера и сдвинутый им ближе к Земной орбите. Это означает, что в указанный период следует ожидать повышенной активности потока. Наибольшее влия-

ние гравитации Юпитера придется на 2016 г. В 2015 г. можно ожидать, что активность Персеид окажется выше традиционных для последних лет уровней, и ZHR составит около 120. Луна в максимум потока Персеиды будет вблизи новолуния и в этот раз не будет мешать наблюдениям. Радиант метеорного потока: $\alpha = 49^\circ$, $\delta = +58^\circ$. Скорость метеоров – 59 км/с. В 2014 г. ZHR потока достигло 68 метеоров. Интересно, каким оно будет в 2015 г.?

В.И. ЩИВЬЁВ

г. Железнодорожный (Московская обл.)

Информация

Планетная система у необычного пульсара

Астрономы Пушинской радиоастрономической обсерватории В.В. Виткевич, Ю.И. Алексеев, В.Ф. Журавлёв и Ю.П. Шитов открыли в 1968 г. загадочный пульсар PSR B0943+10, расположенный в созвездии Льва (см. стр. 3 обложки). За последний семилетний цикл наблюдений на радиотелескопе БСА ПРАО АКЦ ФИАН обнаружен устойчивый характер вариаций его основных параметров, многолетний квазипериодический процесс в распределении моментов прихода импульсов, что может свидетельствовать о периодических гравитационных возмущениях, идущих от планетной системы вокруг этого пульсара.

В 1982 г. зарегистрировано переключение между двумя режимами (модами) радиоизлучения пульсара, проявлявшееся в его усилении (вспышках) и ослаблении. Позднее пушинские астрономы вместе с зарубежными учеными открыли другие уникальные явления: скорость дрейфа индивидуальных импульсов, форму и степень линейной поляризации усредненного импульса в фазе вспышки. Эти регулярные изменения возникают сразу после начала вспышки, длятся в течение десятков минут и повторяются в каждом последующем эпизоде вспышечной моды по строгому закону. Наблюдения этого пульсара, выполненные российскими астрономами на радиотелескопе БСА ПРАО АКЦ ФИАН за последние несколько лет, показали, что на протяжении каждого эпизода вспышечной моды происходит непрерывное и существенное усиление его интенсивности.

Параллельно с нашими специалистами В. Хермен из Института космических исследований в Утрехте (Голландия) и его коллеги изучали поведение PSR B0943+10 с помощью наземных радиотелескопов LOFAR и GMRT, а также космической рентгеновской обсерватории “ХММ-Ньютон”. Наблюдения показали, что яркость пульсара в рентгеновском диапазоне не была постоянно низкой, как считалось ранее, а периодически менялась.

По мнению ведущего научного сотрудника ПРАО АКЦ ФИАН доктора физико-математических наук С.А. Сулеймановой, перечисленные нестабильности основных параметров пульсара PSR B0943+10 в фазе вспышки, как и само переключение режимов его излучения, свидетельствуют о возмущающем влиянии внешней среды на магнитосферу пульсара.

*Пресс-релиз АКЦ ФИАН,
4 февраля 2015 г.*

Сейсмичность Земли в июле – декабре 2014 г.

За период с июля по декабрь 2014 г. в Службе срочных донесений Геофизической службы РАН обработано более 2300 землетрясений, из них 19 имели магнитуду $M \geq 6,5$, ощутимых на поверхности было 60. Подробная информация обо всех землетрясениях июля – августа 2014 г. опубликована (Земля и Вселенная, 2014, № 6), поэтому остановимся на наиболее крупных, произошедших в сентябре – декабре.

На территории России высокая сейсмическая активность наблюдалась, как обычно, на Дальнем Востоке: на Курильских островах, Камчатке и Сахалине отмечено 182 землетрясения. Территория Восточной Сибири и Кавказа характеризуется умеренной сейсмичностью. Максимальная магнитуда 42 событий в Восточной Сибири и 90 событий на Кавказе не превышала 4,5, максимальная ощутимость достигала не более 2–3 баллов.

20 июля на территории России землетрясение с

$M = 5,9$ зарегистрировано в районе Курильских островов. Его очаг находился в Тихом океане на глубине 70 км у восточного побережья Курильских островов. Землетрясение ощущалось в Рейдово силой 5–6 баллов, в Малокурильском силой 4 балла, в Южно-Курильске силой 3–4 балла и в Курильске силой 3 балла.

Землетрясение с $M = 6$ случилось 2 октября на полуострове Камчатка. Его очаг находился в юго-восточной части полуострова, на глубине 150 км, в 95 км к юго-западу от Петропавловска-Камчатского, в 123 км к юго-востоку от Октябрьского и в 225 км к северо-востоку от Северо-Курильска. В Северо-Курильске его сила достигла 4 баллов, в Петропавловске-Камчатском – 3–4 баллов.

В Европе заметное землетрясение произошло 22 ноября, его очаг находился на территории Румынии на глубине 40 км, в 20 км к северу от Фокшан (Румыния). Отголоски докатились до городов Молдавии и Украи-

ны. В Одессе, Николаеве, Запорожье и Херсоне в домах звенела посуда, раскачивались люстры. В этом регионе землетрясения нередки, так как уезд Вранча, расположенный вблизи южного отрога Северокарпатского хребта, относится к самым сейсмоопасным в Европе. Из г. Фокшаны, рядом с которым находился эпицентр, поступила информация о первых повреждениях. Так, в городе разрушены коммуникации, несколько домов остались без газа и воды, у некоторых строений обвалились крыши и разбились окна.

Несколько землетрясений с $M > 6,5$ зафиксированы в районе Тихоокеанского сейсмического пояса, обладающего высокой сейсмичностью, три из них – 7 июля, 24 августа и 14 октября – в Центральной Америке. Очаг землетрясения 14 октября с $M = 7,2$ находился на побережье Никарагуа, на глубине 80 км, в 77 км к западу от Чинандеги (Никарагуа), в 96 км к юго-востоку от Сан-Мигеля (Сальвадор)



*Последствия землетрясения
в Китае 3 августа 2014 г.*



и в 98 км к юго-западу от Чолутеки (Гондурас). В Сан-Мигеле погиб один человек, в Усулутане (Сальвадор) разрушено 12 домов. Землетрясение ощущалось силой 7 баллов в Сан- Сальвадоре, 5 баллов – в Антигуо-Каскатлан и Сан-Маркосе (Сальвадор). Землетрясение с $M = 7,2$ в этом регионе было 9 октября (Земля и Вселенная, 2005, № 6). Такие крупные землетрясения в соседних районах наблюдались в 2012 г.: 5 сентября в Коста-Рике с $M = 7,9$ и 7 ноября в Гватемале с $M = 7,4$, тогда погибло 48 человек и были разрушены десятки домов (Земля и Вселенная, 2013, № 2).



В юго-западной части Тихоокеанского сейсмического пояса 15 ноября произошло землетрясение с $M = 7,1$. Очаг находился на севере Молуккского моря на глубине 33 км, в 158 км к северо-западу от Тернате и в 176 км к северо-востоку от Манадо (Индонезия). Землетрясение вызвало панику во многих районах провинций Северные Молукки и Северный Сулавеси. По предварительным данным, в Манадо обрушился мост и стена



Извержение вулкана Бардарбунга (Исландия) в августе 2014 г.

отеля, в обоих случаях обошлось без пострадавших. Предупреждение об угрозе цунами на севере Индонезии, объявленное Тихоокеанским центром по предупреждению цунами после произошедшего землетрясения, было отменено.

Эпицентр землетрясения 18 августа с $M = 6,2$ находился на границе Иран – Ирак в провинции Илам, в 310 км к северо-востоку от Багдада. Глубина очага не превышала 10 км, что привело к серьезным разрушительным последствиям. По-

ступили сведения о 250 жителях района Мурман, получивших травмы и ранения. Как сообщило агентство ИРНА, в провинции Илам разрушены 8 из 11 деревень, серьезный ущерб нанесен сельскохозяйственным районам г. Абадан (Земля и Вселенная, 2014, № 6).

В августе 2014 г. отмечается активизация сейсмичности в районе острова Исландия, число землетрясений с $M = 4-5$ до конца года достигло почти двухсот.

23 августа в Исландии началось извержение вулкана Бардарбунга, для полетов авиации в районе было объявлено “красное предупреждение”. Оно относится прежде всего к гражданским авиакомпаниям, вы-

полняющим полеты над Исландией, поскольку вулканический пепел может представлять опасность для двигателей самолетов. Напомним, что в 2010 г. извержение вулкана под исландским ледником Эйяфьятлайокудль на шесть дней парализовало воздушное сообщение в небе над большей частью Европы и обернулось колоссальными убытками для авиаперевозчиков (Земля и Вселенная, 2011, № 1). Власти Исландии эвакуировали людей из прилегающих к вулкану территорий и перекрыли дороги в регионе. За историю наблюдений Бардарбунга неоднократно извергался с периодичностью раз в несколько веков, последнее из-

вержение произошло в 1910 г.

Самые крупные разрушения на земном шаре во втором полугодии 2014 г. были от землетрясения 3 августа с $M = 6,3$ в провинции Юньнань (Китай; Земля и Вселенная, 2014, № 6). 22 ноября 2014 г. в провинции Сычуань (Китай) зарегистрировано еще одно разрушительное землетрясение с $M = 6$, также повлекшее за собой человеческие жертвы и разрушения. Его очаг находился на глубине 10 км, в 241 км к юго-западу от Ченгду, в

427 км к западу от Чонггинга и в 637 км к северо-западу от Гуанга. В результате землетрясения 5 человек погибли и около 60 получили ранения, 42 из них – учащиеся начальной школы г. Тагун. Различные повреждения получили 25 тыс. домов, более 6 тыс. жителей временно переселены в безопасные районы. Подземные толчки незначительно повредили здание аэропорта в Кандине, но на авиасообщении это не сказалось. Телекоммуникации и система энергоснабжения также

серьезно не пострадали, за исключением г. Тагун, находившегося в эпицентре землетрясения.

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

О.Е. СТАРОВОЙТ,
кандидат физико-математических наук
Л.С. ЧЕПКУНАС,
кандидат физико-математических наук
М.В. КОЛОМИЕЦ
Геофизическая служба
РАН

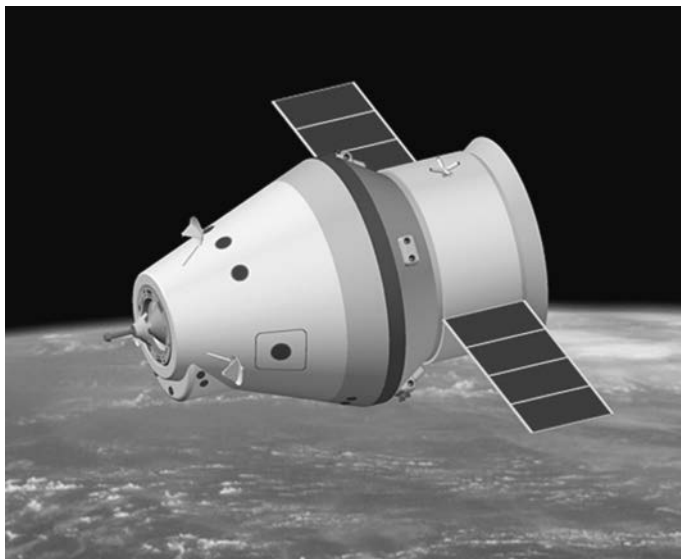
Информация

Новые проекты РКК “Энергия”

Транспортные корабли “Союз” используются более 45 лет и уже морально устарели, несмотря на многократную модернизацию. В 1980-х гг. шла работа над проектом корабля “Заря”, но из-за финансовых проблем ее не довели до конца. В 2000 г. РКК “Энергия” им. С.П. Королёва начала проектировать крылатый корабль “Клипер”, но надежды на большой пассажиропоток не оправдались, и в 2005 г. Роскосмос проект закрыл. В это время в США появилась амбициозная программа создания много-

разового пилотируемого КК “Орион”. В конце 2013 г. РКК “Энергия” и Роскосмос заключили контракт на разработку до 2015 г. рабо-

чей документации пилотируемого транспортного корабля нового поколения. В рамках контракта корпорация обязуется провести



Проект российского пилотируемого транспортного корабля нового поколения. Рисунок РКК “Энергия”.

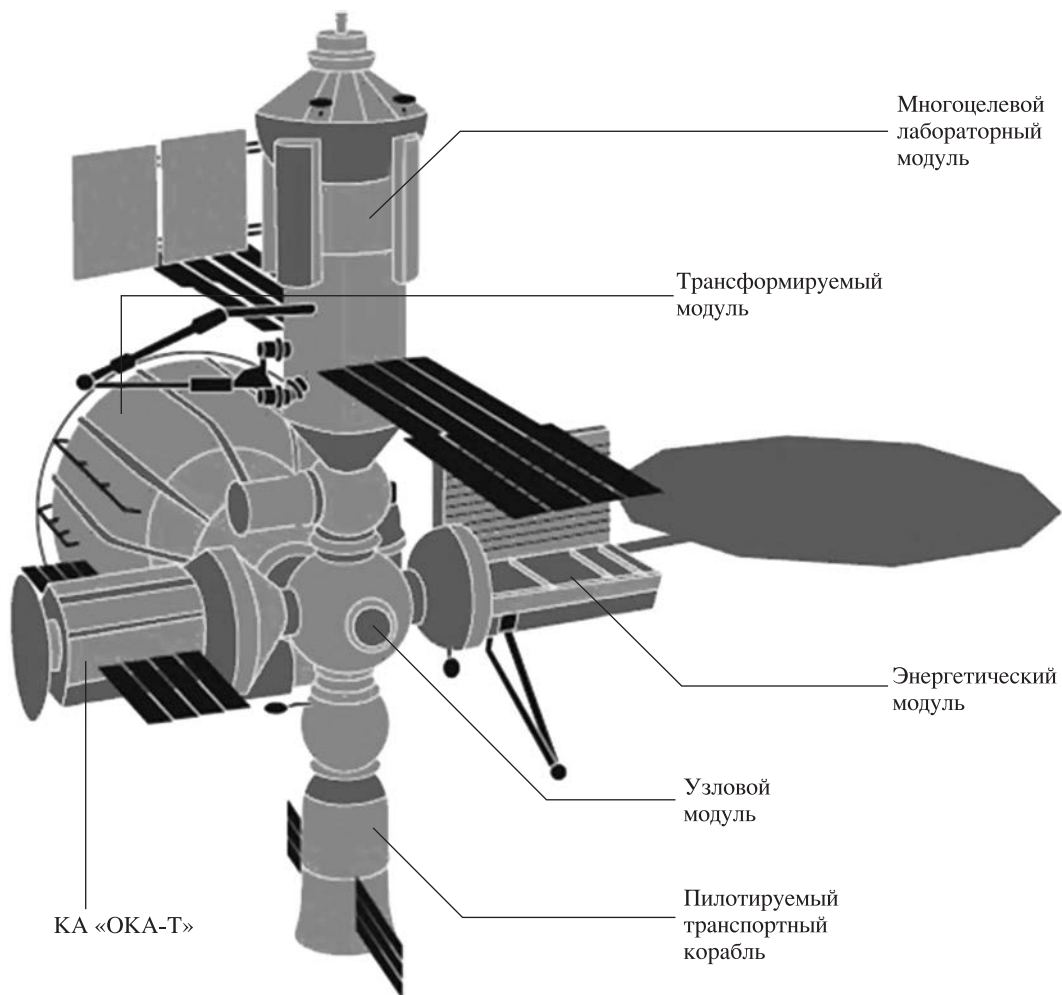


Схема новой российской многомодульной орбитальной станции. РКК «Энергия».

наземные испытания корабля и отработать основные технологические процессы его изготовления. Для запуска корабля предполагается использовать РН «Ангара-А3» (средний класс) и «Ангара-А5» (тяжелый класс).

Принято решение о модульном построении базового корабля из двух элементов: многоразового спускаемого (возвращаемо-

го) аппарата и служебного (приборно-агрегатного) отсека одноразового использования. По форме кабина экипажа (спускаемый аппарат) корабля похожа на конус, служебный отсек – на цилиндр. Экипаж нового корабля – 6–7 человек (при полетах к Луне – до 4 человек), масса доставляемого на орбиту груза может достигать 2,5 т, масса возвращаемого на Землю груза –

1,5 т. Длина корабля – 6,1 м (вариант – 11,8 м), максимальный диаметр корпуса – 4,4 м, общая масса – 12–14 т (околоземные орбитальные полеты), 16,5 т (полеты с выходом на окололунную орбиту) и более 25 т (марсианская экспедиция), масса спускаемого (возвращаемого) аппарата с системой мягкой посадки – 7,8 т, объем герметичной кабины экипажа – 17 м³. Длительность

автономного полета корабля рассчитана на месяц, в составе станции – год, после модернизации при полетах к астероидам и на Марс – до 300 сут. В конструкции корабля будут применяться новые виды теплозащитных материалов, углепластиков и металлов – алюминиевые сплавы с улучшенными прочностными характеристиками. Это позволит снизить массу корабля на 20–30% и продлить срок его эксплуатации. К кораблю в случае усложнения программы будут пристыковываться бытовые отсеки.

Макет пилотируемого транспортного корабля нового поколения был продемонстрирован на авиасалоне МАКС-2013. Управлять кораблем смогут со своих мест сразу два человека. Для санузла предусмотрен небольшой отсек за раздвижной шторкой. Кресла-ложементы “Казбек” будут заменены на универсальные “Чегет” с амортизаторами.

В 2021–2023 гг. планируется выполнить к МКС

три беспилотных запуска корабля в низкоорбитальной модификации. В 2024 г. должен состояться первый запуск корабля с экипажем на МКС, полет тяжелой версии корабля запланирован только на 2025 г. Заявленный график работы, вероятно, претерпит значительные изменения, так как в отрасли возникли организационные и финансовые проблемы.

Роскосмос рассматривает проект создания после 2025 г. собственной орбитальной станции. Она будет иметь от МКС существенное отличие – возможность обзирать до 90% территории России при наклоне орбиты $64,8^\circ$ тогда как сейчас лишь 5° . Запуска КК “Союз-МС” с космодрома Восточный на орбиту наклонением $51,6^\circ$ (на ней летает МКС) сопряжены с существенным риском для экипажей на этапе выведения. При возникновении на борту нештатной ситуации космонавты смогут приводниться в Тихий океан. В то же время на этапе выведения в $64,8^\circ$ трасса полета

пройдет над сушей. Для создания станции планируется применять аппараты и модули, ранее предназначавшиеся для использования на МКС: “ОКА-Т”, узловой и многоцелевой лабораторный модули. Напомним, что многофункциональный лабораторный модуль “Наука” стартовой массой 20,3 т должен был войти в состав российского сегмента МКС еще в 2007 г., его запуск перенесли на 2013 г., затем на 2014 г. и теперь на первый квартал 2017 г. Эксплуатацию станции будут обеспечивать КК “Прогресс-МС” и “Союз-МС”, в ее состав могут войти трансформируемый и энергетический модули. Одной из функций станции должны стать летно-конструкторские испытания пилотируемых средств лунной инфраструктуры. В будущем она может использоваться как плацдарм по освоению Луны.

*Пресс-релизы Роскосмоса и РКК “Энергия”,
17 и 25 ноября, 4 декабря
2014 г.*

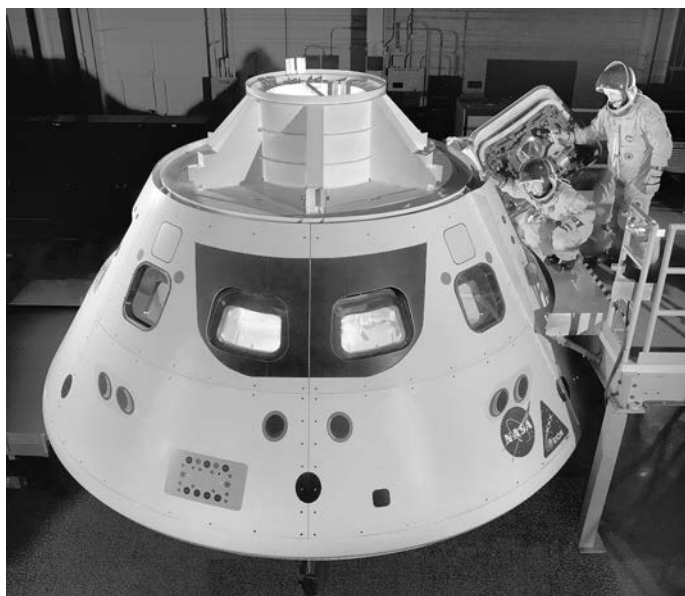
Первый испытательный полет “Ориона”

5 декабря 2014 г. человечество сделало первый шаг на пути к пилотируемому полету на Марс. Именно так специалисты NASA оценивают первый запуск с космодрома Канаверал ракеты-носителя “Дельта-4” (“Delta-IV Heavy”) с капсулой (кабина экипажа) корабля – прототипа будущего

американского пилотируемого КК “Орион” (“Orion”), создаваемого специально для полетов в дальний космос. За полетом наблюдали приглашенные русские, китайские, японские и европейские специалисты.

Цель полета – тестирование систем спускаемого аппарата корабля “Орион” в экстремальных условиях: при высоком уровне радиации и температуре плазмы. На корабле были установлены 1200 различных датчиков, регистрирующих данные о вибрациях, уровне шума и температуре. Помимо научной аппаратуры на его борту находился микрочип с именем более миллиона человек, а также сувениры – часть скелета тиранозавра, флаги, монеты, музыка и даже кислородный шланг скафандра с

КК “Аполлон-11” и кусочек лунного грунта. Капсулу вывели на околоземную орбиту высотой 5,8 тыс. км – в 14 раз выше, чем МКС. Она сде-



Макет спускаемого аппарата (капсулы) корабля “Орион”, в котором проходили тренировки экипажи. Центр пилотируемых полетов Л. Джонсона. 2012 г. Фото NASA.



Старт РН “Дельта-4” с капсулой КК “Орион”. Космодром Канаверал. 5 декабря 2014 г. Фото NASA.



Проект американской РН "SLS" на стартовом комплексе космодрома Канаверал. Рисунок NASA.



Приводнение капсулы КК "Орион" в акватории Тихого океана. 5 декабря 2014 г. Фото NASA.

лала два витка вокруг Земли за 4,5 ч, пролетев 96 тыс. км, вошла в плотные слои атмосферы со скоростью почти 32 тыс. км/ч, температура на ее поверхности достигала 2,2 тыс. градусов. Затем были раскрыты 11 тормозных парашютов и капсула корабля приводнилась в акватории Тихого океана приблизительно в 1 тыс. км от порта Сан-Диего. Ее встретили специалисты NASA и военные моряки на многоцелевом судне ВМС США "Ан-

коридж", который доставил ценный груз для исследования. Оказалось, что капсула и все ее системы находятся в прекрасном состоянии. Тестовый полет корабля обошелся в 370 млн долларов.

В NASA подчеркивают, что это первый полет корабля после завершения программы "Аполлон" в 1972 г., созданного для отправки человека в дальний космос. Второй испытательный полет "Ориона" намечен на 2018 г., первый пилотируе-

мый полет корабля с экипажем из двух астронавтов предполагается совершить в 2021 г., начало полетов к Луне – 2026–2027 гг. США планируют, что именно этот корабль доставит в будущем человека на астероид, а затем и на Марс.

На корабле "Орион" (длина – 11,5 м, диаметр – 5,3 м, размах панелей солнечных батарей – 13,8 м, общая масса – 21–25 т) могут разместиться до 6 астронавтов или 4 астронавта

с 2,5 т груза, срок активного функционирования – 210 сут. Спускаемый аппарат корабля, или капсула (кабина экипажа), имеет форму конуса высотой более 3 м, диаметр его основания – 5,3 м, общий внутренний объем – 19,5 м³, объем жилого пространства – 8,9 м³, масса – 9,5 т. Спроектировала и построила корабль американская аэрокосмическая и оборонная компания “Локхид Мартин” при участии

специалистов ESA. В качестве основного отсека (модуля обслуживания) корабля в первых полетах предполагается использовать модернизированный европейский космический грузовик ATV. В будущем для запусков КК “Орион” будет применяться сверхтяжелая ракета-носитель “Space Launch System” (“SLS”, система космических запусков). Двухступенчатая РН “SLS” с системой аварийного спасения экипа-

жа (высота – 102,3 м, диаметр – 8,4 м, стартовая масса – около 2 тыс. т) сможет запускать грузы массой 70–129 т и использоваться для пилотируемых экспедиций за пределы околоземной орбиты. Первый запуск “SLS” запланирован на конец 2018 г.

*Пресс-релизы NASA,
5 и 7 декабря 2014 г.*

Информация

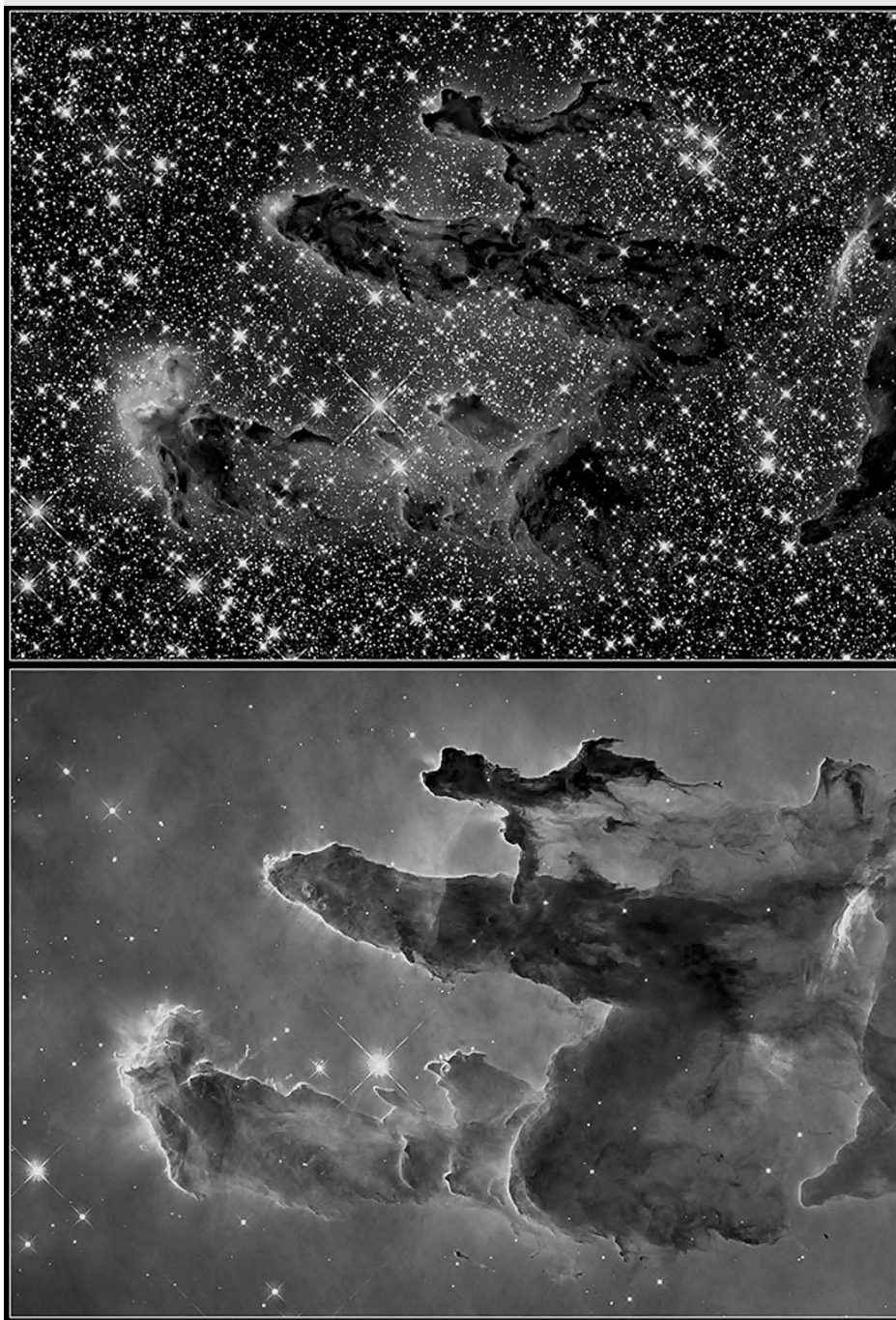
Юбилейные снимки туманности Орел

Чтобы отметить 25-летие (1990–2015) исследования Вселенной с помощью Космического телескопа им. Э. Хаббла, астрономы получили новую версию известного изображения скопления М16 в видимом и ИК-диапазоне, названного

“Столпы творения”. Результатом стал более четкий и подробный вид этого региона, впервые сфотографированного в 1995 г. КТХ. Звезды в нем формируются внутри структур, похожих на колонны из холодного газа и пыли. Их длина примерно световой год, они удалены от нас на 6500 св. лет и находятся в скоплении М16, возраст которого около 2 млн лет. Скопление окружено материнскими облаками пыли и светящегося газа туманности Орел в созвездии Змеи. Форма колонн создана мощными ветрами и ультра-

фиолетовым излучением молодых массивных звезд. В области звездообразования в М16 наблюдается сложная вихревая структура, ее детали запечатлены с помощью широкоугольной камеры WFC-3. Возможно, наше Солнце сформировалось в похожем окружении. По расчетам ученых, “Столпы творения” будут наблюдаться еще на протяжении 1 тыс. лет, затем постепенно рассеются в космическом пространстве.

*Пресс-релиз Института
КТХ, NASA,
6 января 2015 г.*



Скопление M16 в туманности Орел в созвездии Змеи, окруженное облаками пыли и светящегося газа. Снимки сделаны в конце 2014 г. КТХ в видимом и инфракрасном диапазонах. Фото NASA.

**Уникальные снимки
“Розетты”**

Во время исследования ядра кометы 67P/Чурюмова – Герасименко на орбите ее искусственного спутника АМС “Розетта” сделала несколько интересных снимков (Земля и Вселенная, 2015, № 1). На одном из них запечатлены в ноябре 2014 г. газовые струи и выбросы



Струи газа и выбросы пыли, вырывающиеся из ядра кометы Чурюмова – Герасименко. Снимок получен 22 ноября 2014 г. АМС “Розетта” с расстояния 30 км от кометы, разрешение – 2,8 м. Фото ESA.



Высокие скалы и валуны на ядре кометы Чурюмова – Герасименко. Мозаика размером 2,6 × 2,9 км составлена из снимков, полученных 10 декабря 2014 г. АМС “Розетта”, разрешение – 1,7 м. Фото ESA.

Ф.СП-1	<p style="text-align: center;">АБОНЕМЕНТ</p> <div style="text-align: right; border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">70336 <small>(индекс издания)</small></div> <p style="text-align: center;">на <u>газету</u> на <u>журнал</u></p> <p style="text-align: center;">Земля и Вселенная <small>(наименование издания)</small></p> <div style="text-align: right; border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Количество комплектов</div> <p style="text-align: center;">на ___ год по месяцам:</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center; border-collapse: collapse;"> <tr><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>12</th></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table> <p>Куда _____ <small>(почтовый индекс) (адрес)</small></p> <p>Кому _____ <small>(фамилия, инициалы)</small></p>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																										
	<p style="text-align: right;">ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center; border-collapse: collapse;"> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td>ПВ</td><td>место</td><td>литер</td></tr> </table> <div style="text-align: right; border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">70336 <small>(индекс издания)</small></div> <p style="text-align: center;">на <u>газету</u> на <u>журнал</u></p> <p style="text-align: center;">Земля и Вселенная <small>(наименование издания)</small></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">Стоимость</td> <td style="width: 10%;">подписки пере-адресовки</td> <td style="width: 10%;">_____руб. _____коп.</td> <td style="width: 10%;">_____руб. _____коп.</td> <td style="width: 10%;">Количество комплектов</td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">на ___ год по месяцам:</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center; border-collapse: collapse;"> <tr><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>12</th></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table> <p>Куда _____ <small>(почтовый индекс) (адрес)</small></p> <p>Кому _____ <small>(фамилия, инициалы)</small></p>				ПВ	место	литер	Стоимость	подписки пере-адресовки	_____руб. _____коп.	_____руб. _____коп.	Количество комплектов		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12												
ПВ	место	литер																																			
Стоимость	подписки пере-адресовки	_____руб. _____коп.	_____руб. _____коп.	Количество комплектов																																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																										

пыли, вырывающиеся из нескольких точек на ядре кометы. Хотя комета находилась далеко от Солнца, активность выбросов увеличилась в 100 раз по сравнению с августом 2014 г. “Розетта” сможет проследить, как и в какой области ядра будет происходить образование хвоста кометы, определить его параметры и химический состав.

На другой фотографии видны скалы высотой примерно километр, у их подножия находится относительно ровная поверхность, на которой лежат валуны размером до 20 м. Данные, полученные “Розеттой”, показывают, что лед ядра кометы Чурюмова – Герасименко содержит отличное от воды на Земле относительное количество дейтерия.

По плану “Розетта” должна сопровождать и исследовать комету до июля – августа 2015 г. во время приближения ее к нашему светилу. Перигелий комета пройдет 13 августа 2015 г. на расстоянии 1,29 а.е. (около 193 млн км) от Солнца.

*Пресс-релизы ESA,
22 ноября и 10 декабря
2014 г.*

Дорогие читатели!

*Напоминаем, что подписаться на журнал
“Земля и Вселенная” вы можете с любого
номера по Объединенному каталогу
“Пресса России”*

(II полугодие 2015 г.) во всех отделениях связи.

*Подписаться можно и по Интернету,
воспользовавшись каталогом журналов
на сайте Почта России.*

Подписной индекс – 70336.

Заведующая редакцией Г.В. Матросова

Зав. отделом космонавтики и геофизики С.А. Герасютин

Художественные редакторы О.Н. Никитина, М.С. Вьюшина

Литературный редактор О.Н. Фролова

Оператор ПК Н.Н. Токарева

Корректор Г.В. Печникова

Обложку оформила О.Н. Никитина

Сдано в набор 23.03.2015. Подписано в печать 26.04.2015. Дата выхода в свет 13.05.2015

Формат 70 × 100^{1/16} Цифровая печать

Уч.-изд.л. 12,3 Усл. печ.л. 9,1 Усл.кр.-отт. 2,6 тыс. Бум.л. 3,5

Тираж 281

Зак. 105

Цена свободная

Учредители: Российская академия наук, Президиум

Издатель: Российская академия наук. Издательство “Наука”

117997 Москва, Профсоюзная ул., 90

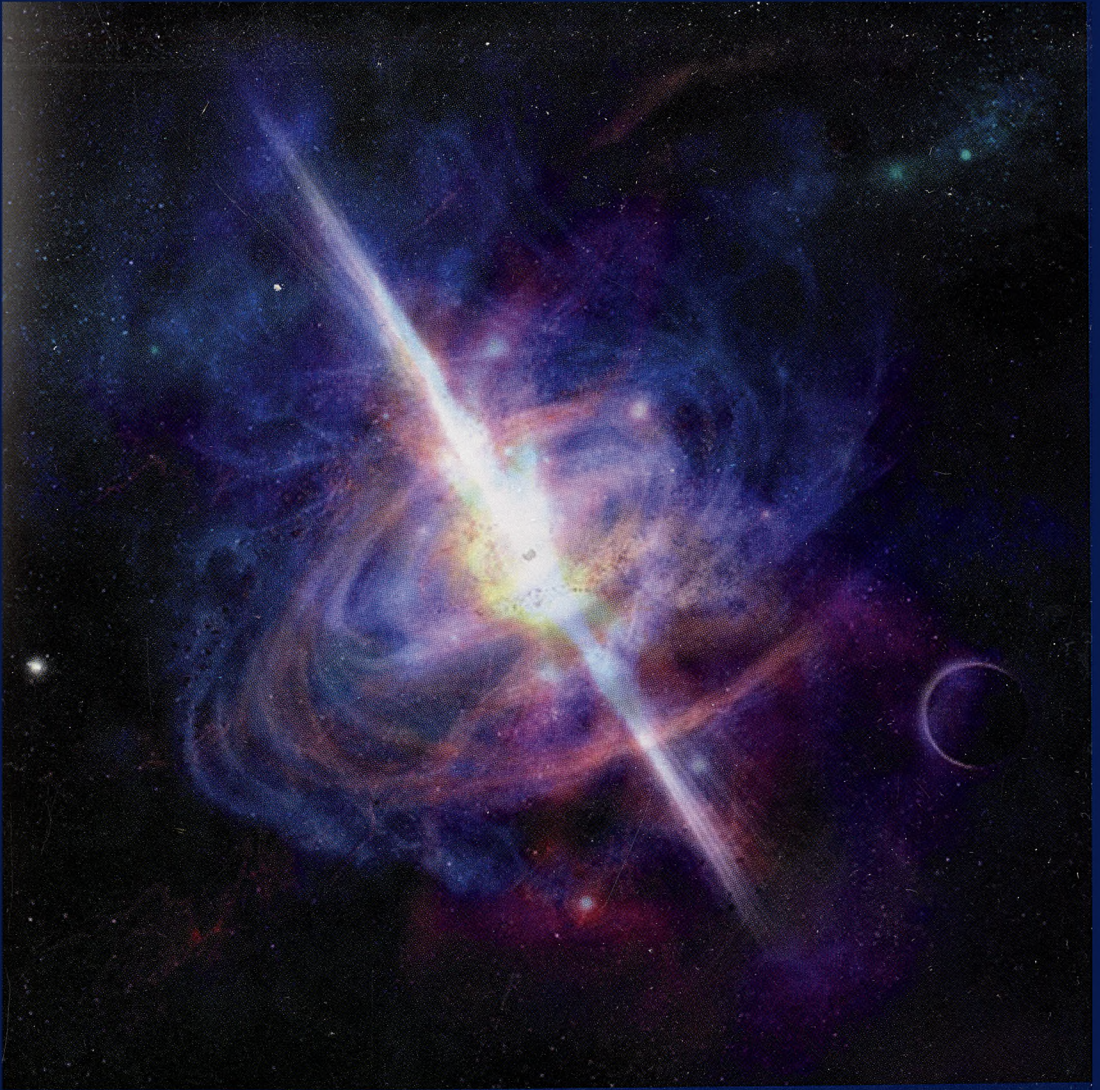
Адрес редакции: 119049, Москва, Мароновский пер., 26

Телефоны: (факс) (499) 238-42-32, 238-29-66

E-mail: zevs@naukaran.ru

Оригинал-макет подготовлен издательством «Наука» РАН

Отпечатано в ППП «Типография «Наука»,
121099 Москва, Шубинский пер., 6





"НАУКА"
Индекс 70336