

С юбилеем, “Спитцер”!

В.Г. КУРТ,
доктор физико-математических наук
Астрокосмический центр ФИАН

25 августа 2018 г. исполняется 15 лет со дня запуска космической обсерватории “Спитцер” (Земля и Вселенная, 2004, № 3, с. 29–30). Этот космический аппарат с комплексом аппаратуры для наблюдений в инфракрасном и субмиллиметровом диапазонах входит в пятерку самых дорогих (около миллиарда долларов) и самых сложных обсерваторий NASA и ESA. Эти аппараты предназначены для астрономических наблюдений в широком спектральном диапазоне: от гамма-излучения и до миллиметровых радиоволн. Наиболее известна из них космическая обсерватория



с оптическим 2,5-м телескопом, названная в честь американского астронома Эдвина Хаббла (Земля и Вселенная, 2005, № 6; 2010, № 6). В это семейство входят также обсерватории

“Чандра” (рентгеновская; Земля и Вселенная, 2000, № 4, с. 59–60; 2017, № 4), “Гайя” (астрометрическая; Земля и Вселенная, 2014, № 3) и “Гершель” (инфракрасная; Земля и Вселенная, 2012, № 3).

В предлагаемой статье приводятся диапазоны наблюдений различных объектов во Вселенной, освещаются условия работы космической обсерватории “Спитцер”, представлены состав ее научных приборов и основные результаты за почти 6 лет исследований по основной программе, а также рассказывается о перспективных проектах в этой области спектра.

КРИОГЕННАЯ ТЕХНИКА НА БОРТУ

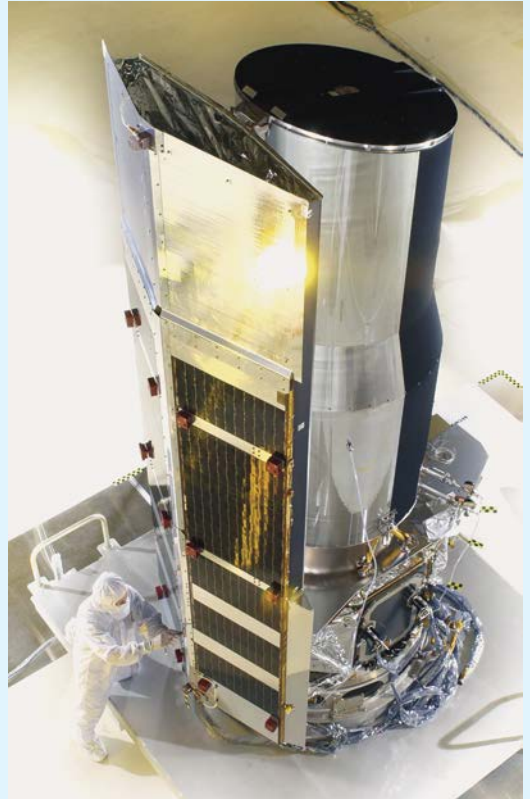
Телескопы всех научных спутников инфракрасного диапазона (в том числе и субмиллиметрового) требуют создания

на борту космического аппарата системы охлаждения (вплоть до температуры жидкого гелия 2–4 К (–270 °С)) главного и вторичного зеркал, а также всей аппаратуры

регистрации излучения и элементов монтировки телескопа. В противном случае фон, создаваемый тепловым излучением зеркал и всех элементов конструкции, будет



Криостат с охлажденным до температуры 2,7 К гелием, установленный на космической обсерватории "Спитцер". Фото NASA/JPL.



Установка теплозащитного экрана на космическую обсерваторию "Спитцер" в Лаборатории реактивного движения. Фото NASA/JPL.

на много порядков превышать излучение исследуемых астрономических объектов. Для осуществления столь глубокого охлаждения на спутнике устанавливается криостат (сосуд Дьюара) с жидким гелием, хранящимся при температуре 4 К. Регулируемый клапан давления над поверхностью жидкого гелия обеспечивает его медленное испарение в открытое космиче-

ское пространство, и в криостате поддерживается давление около 0,1 атмосферы. При таком давлении температура жидкого гелия еще снижается и устанавливается на уровне 2,7 К. С помощью металлических и газовых теплопроводников все элементы телескопа: зеркала, их оправы и другие элементы конструкции охлаждаются почти до такой температуры. Конечно, при

этом гелий из криостата понемногу улетучивается в космос, так что приходится брать с собой на орбиту большой его запас, вплоть до нескольких тысяч литров жидкого гелия плотностью 0,1 г/см³.

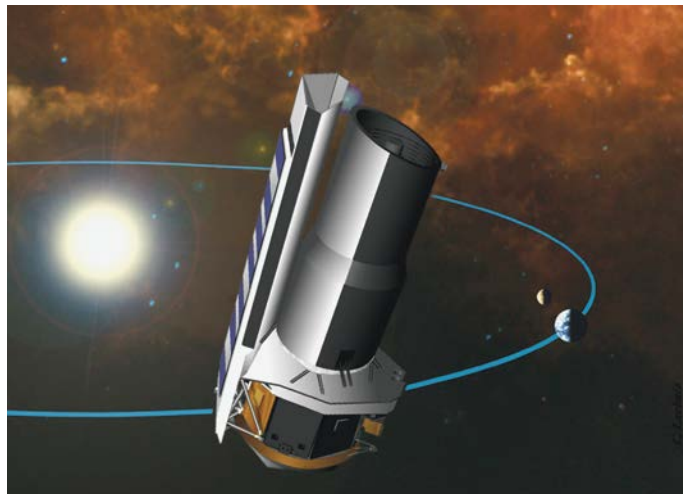
С целью экономии гелия криостат закрывают от Солнца хорошо отражающим теплозащитным экраном, а также стараются сделать так, чтобы тепловое излучение Земли и Луны не нагревало

криостат: дело в том, что всегда температура Земли (и на дневной, и на ночной стороне) равна около 300 К, а наша планета занимает на небе, видимом со спутника на низкой орбите, очень большой телесный угол – вплоть до 120–140°, то есть почти полнеба.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ДИАПАЗОНЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Космические аппараты, работающие в инфракрасном и субмиллиметровом диапазонах, приходится выводить на высокоапогейные орбиты или даже в точку Лагранжа L2 на расстоянии 1,5 млн км от Земли, чтобы уменьшить нагрев от Земли и Луны. В этой точке (их всего 5) притяжение спутника от Луны и от Земли равны друг другу. Выполнять же наблюдения в данных диапазонах с поверхности Земли практически невозможно, так как земная атмосфера поглощает почти полностью это излучение, да и сама также светится довольно ярко.

Чем же интересен этот диапазон и почему астрономы должны переживать и преодолевать столь большие трудности? Дело в том, что в инфракрасном диапазоне спектра светится холодное вещество Вселенной. Это планеты Солнечной системы, их спутники, астероиды и кометы, а также межпла-



Космическая обсерватория “Спитцер” на гелиоцентрической орбите. Рисунок NASA/JPL.

нетная пыль, сконцентрированная в плоскости эклиптики. При хорошем угловом разрешении (менее одной угловой минуты дуги) в этом же диапазоне можно изучать и экзопланеты, облака холодной пыли и газа в нашей Галактике; а их масса составляет 10–15% от массы всех звезд в Галактике. Ярко светятся в ИК-диапазоне и холодные звезды: коричневые и бурые карлики с температурой поверхности всего 1–3 тыс. К.

Внегалактические объекты, наблюдающиеся в ИК-диапазоне от 1 мкм и вплоть до 1 мм (впрочем, это уже, скорее, радиодиапазон), также представляют огромный интерес для ученых. К ним относятся обычные галактики, карликовые, неправильные галактики

и квазары, излучающие гигантский поток энергии в этом диапазоне (главным образом нетепловой природы). Только в этой области спектра можно исследовать зоны звездообразования в нашей и других галактиках, то есть плотные и маленькие протопланетные комплексы, в которых звезды еще не вспыхнули или очень слабо светятся, закрытые пылевыми облаками (звезды типа Т Тельца; Земля и Вселенная, 2018, № 1). Облака холодного газа с температурой всего 10–100 К могут светиться как обычным тепловым (чернотельным) излучением Планка, так и мазерным, с необычайно узкими спектральными линиями в ИК- или радиодиапазонах (с шириной линий вплоть до нескольких



Старт ракеты-носителя "Дельта-2" с космической обсерваторией "Спитцер" 25 августа 2003 г. с базы ВВС США на мысе Канаверал. Фото NASA.

мощное инфракрасное излучение, природа которого до сих пор не совсем ясна.

Максимум реликтового космологического излучения приходится на длину волны 1,9 мм, а его виновская часть (лежит в более коротковолновой области) как раз и приходится на ИК- и субмиллиметровый диапазоны: 10–100 мкм. Для исследования этого излучения необходимы достаточно крупные телескопы с угловым разрешением лучше 1', что позволяет исследовать пространственные космологические флуктуации микроволнового фона. Это дает, в свою очередь, возможность вычислить несколько (порядка десятка) космологических параметров, позволяющих судить о первых мгновениях рождения Вселенной.

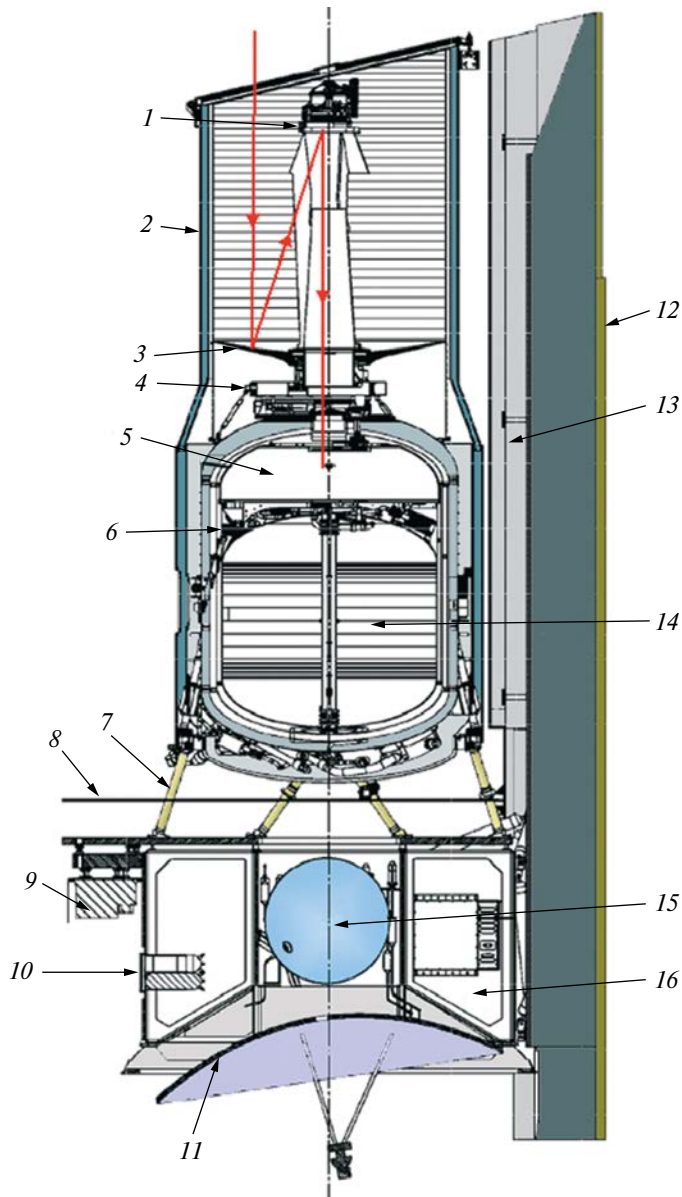
Для решения всех вышеперечисленных космологических проблем и предназначены специализированные космические аппараты с телескопами, работающими в инфракрасном и субмиллиметровом диапазонах. К ним относятся запущенные одновременно 14 мая 2009 г. космические обсерватории "Планк" и "Гер-

герц при частоте в центре линии около 10^{13} Гц). Тогда яркостная температура в этих линиях может достигать миллионов или даже десятков миллиардов градусов.

Встречаются и особые галактики с аномально высоким процессом звездообразования. Астрономы получают важную информацию в ИК-диапазоне об остатках Сверхновых: например, Крабовидной туманности или о ярчайшем радиоисточнике Кассиопея-А (Cas-A; Земля и Вселенная, 2008, № 1). В их оболочках

светится как газ самого остатка, так и межзвездный газ, который эта быстро расширяющаяся оболочка захватила в процессе своего расширения. Инфракрасное излучение "выдает" присутствие горячей пыли во внешней части оболочки, тогда как излучение в видимом и рентгеновском диапазонах свидетельствует о сложной волокнистой структуре горячего газа с температурой вплоть до десятков миллионов градусов. Среди квазаров существует особый класс, имеющий

Схема внутреннего устройства космической обсерватории "Спитцер": 1 – телескоп, 2 – корпус телескопа, 3 – крышка отсека с приборами, 4 – клапан криостата для охлаждения аппаратуры телескопа, 5 – отсек с научными приборами, 6 – вакуумная оболочка вокруг криостата, 7 – ферма крепления криостата со служебным модулем, 8 – экран служебного модуля, 9 – звездный датчик, 10 – буферная батарея системы энергоснабжения, 11 – узконаправленная радиоантенна, 12 – панель солнечной батареи системы энергоснабжения, 13 – теплозащитный экран, 14 – криостат (бак с гелием), 15 – бак с азотом, 16 – блоки электроники и гироскопы. Рисунок NASA/JPL.



шель" (Земля и Вселенная, 2009, № 5, с. 43–45; 2012, № 3; 2013, № 6, с. 110–111; 2014, № 1).

НЕМНОГО
О КОСМИЧЕСКОМ АППАРАТЕ

Американская космическая обсерватория "Спитцер" стартовала 25 августа 2003 г. с базы ВВС США на мысе Канаверал с помощью ракеты-носителя "Дельта-2", которая вывела ее на промежуточную круговую орбиту высотой 588 км, а затем космический аппарат перевели на гелиоцентрическую орбиту, близкую к орбите Земли. Расстояние между спутником и нашей планетой медленно увеличивалось и через год

достигло 1,5 млн км. К 2005 г. обсерватория вышла на орбиту с перигеем 0,98 а.е. и апогеем 1,02 а.е., наклоном – 1,13° и периодом обращения – 367,2 сут. Благодаря выводу на эту орбиту, с большим уда-

лением от Земли и Луны, удалось существенно уменьшить расход жидкого хладагента, что, в свою очередь, продлило время активной работы обсерватории до 10 лет. Обсерватория и сейчас, после выработки хлада-

гента, сохраняет свою частичную работоспособность.

Космический аппарат диаметром 2,1 м, длиной 4,45 м и общей массой (с криостатом) 950 кг. Он состоит из трех отсеков – криогенного телескопа, служебного модуля и солнечной батареи с солнцезащитным экраном. В его верхней части на служебном модуле установлены криогенный бак с 360-ю литрами жидкого гелия, над ним расположены охлаждаемая гелием камера с научными приборами и телескопом, имеющим эффективную апертуру 0,85 м (точность наведения на исследуемый астрономический объект не хуже 5" и удерживается с погрешностью 0,3"). Телескоп массой 50 кг заключен в цилиндрическую оболочку, служащую одновременно защитой от пыли и тепла; он установлен на баке криостата с жидким гелием, который его охлаждал до 8,4 К (главное зеркало – до 5,5 К). В нижней части аппарата (в служебном модуле) размещены системы ориентации и управления, связи, терморегулирования; хранения, обработки и передачи информации. Бортовой компьютер с объемом оперативной памяти 25 Мбайт записывал информацию емкостью до 8 Гбит и передавал ее на Землю со скоростью до 2,2 Мбит/с. "Спитцер"

оснащен системой ориентации со звездной коррекцией, трехосной системой стабилизации (четыре гиродина) и двумя комплектами по 6 микродвигателей системы управления. Пространственное положение космического аппарата изменяла система ориентации со скоростью на 1' за 20 с или на 1° за 100 с. Сбоку к корпусу телескопа и служебного модуля прикреплены солнцезащитный экран и панель солнечной батареи системы энергоснабжения длиной 3,3 м, шириной 0,72 м с мощностью 427 Вт. Изготовила и испытала аппарат американская компания "Lockheed Martin Space Systems", телескоп разработала и изготовила фирма "Ball Aerospace". Научный руководитель программы – доктор М.Вернер (Лаборатория реактивного движения).

Первоначально обсерватория получила обозначение SIRTf (Space Infrared Telescope Facility – устройство космического инфракрасного телескопа), а после успешного выведения на орбиту ей дали имя замечательного американского астронома Лаймана Спитцера, известного своими работами в области формирования звезд, физики межзвездной среды, звездных атмосфер и плазмы (см. статью Герасютина С.А. в этом номере журнала).

Л.Спитцер был одним из первых ученых, кто предложил использовать спутники для астрофизических исследований вне земной атмосферы. Сейчас "Спитцер" принадлежит к крупнейшим в мире космическим инфракрасным обсерваториям; она уступила этот титул лишь через шесть лет обсерватории "Гершель", которая была запущена на орбиту в 2009 г. Стоимость проекта на момент запуска составила 720 млн долларов (без учета эксплуатации), за 10 лет работы она возросла до 1,5 млрд долларов.

НАУЧНАЯ АППАРАТУРА ОБСЕРВАТОРИИ

Приборы обсерватории "Спитцер" создавались в ходе совместной программы Лаборатории реактивного движения (JPL) и Калифорнийского технологического института (CalTech). На ее борту установлен криогенный телескоп, построенный по стандартной оптической схеме Ричи-Кретьена (оба зеркала гиперболической формы) с диаметром главного зеркала всего 85 см. Главное зеркало телескопа было сделано из бериллия, с фокусным расстоянием 10,2 м (то есть со светосилой 1 : 12). Температура зеркала за все время активной работы аппарата не превышала 5,5 К, тогда как детекторы охлаждались до

Монтаж зеркала телескопа и инфракрасной камеры IRAC для последующего крепления на криостате обсерватории "Спитцер". Фото NASA/JPL.

нескольких милликельвинов. В фокальной плоскости телескопа были помещены три регистрирующих прибора, работавшие в диапазоне 3–180 мкм:

– многозональная инфракрасная камера для получения изображений (IRAC);

– инфракрасный спектрометр (IRS);

– детектор для получения изображений в дальнем ИК-диапазоне (MIPS).

Прибор IRAC позволял получать одновременно изображения в четырех коротковолновых диапазонах – 3,6; 4,5; 5,8 и 8 мкм; для этого использовались четыре охлаждаемые матрицы из антимонида индия (InSb); в результате получались изображения с разрешением 256×256 пикселей. Наблюдаемый объект с угловым размером 1" в фокусе телескопа соответствовал 50 мкм. Например, с помощью прибора IRAC в трех диапазонах 2 декабря 2007 г. было получено изображение одной из близких к нам (650 св. лет) планетарных туманностей NGC 7293 (Caldwell 63) "Улитка" (или "Око Бога") в Водолее. Удалось запечатлеть детали ее яр-



кой внутренней области размером около 3 св. лет и слабое внешнее гало диаметром более 6 св. лет. Красный цвет в середине "глаза" отображает момент выбрасывания газа из центральной погибшей горячей звезды – белого карлика. Более яркий красноватый круг – это пылевой диск, окружающий белый карлик. От звезды радиально распространяются 20 тыс. кометных узелков, состоящих из "хвостов" и "ядрышек". Установлено, что скорость рас-

ширения туманности составляет 31 км/с, и на основе этого был определен ее возраст – 10 600 лет.

Второй прибор – ИК-спектрометр IRS – позволял получать спектры в области от 10 до 40 мкм. В двух диапазонах – 10–19,5 мкм и 19–37 мкм – было реализовано высокое спектральное разрешение, а в диапазоне 14–40 мкм – низкое. Все три охлаждаемые матрицы спектрометра имели разрешение 128×128 пикселей; третий, длинноволновой интервал длин



Планетарная туманность NGC 7293 (Caldwell 63) "Улитка" (Helix), или "Око Бога", находящаяся в созвездии Водолея на расстоянии 650 св. лет от Солнца. В ее центре расположен белый карлик, вокруг которого в результате взрыва образовалось газопылевое облако (отмечено зеленым цветом). Изображение получено 2 декабря 2007 г. с помощью прибора IRAC: голубой цвет соответствует 3,6–4,5 мкм; зеленый – 5,8–8 мкм, красный – 24 мкм. Фото NASA/JPL.

волн, был снабжен тремя охлаждаемыми матрицами: с разрешением 128×128 элементов для длины волны 24 мкм, 32×32 пикселя – для диапазона 70 мкм и разрешением 20×20 пикселей для 160 мкм. Благодаря таким показателям с помощью прибора IRS на обсерватории "Спитцер" 17 декабря 2005 г. в диапазоне 24 мкм путем объединения 11 тыс. снимков, сделанных за 18 ч экспозиции, было получено изображение нашей соседки – спиральной галактики туманности Андромеды (M31; NGC 224) диаметром 220 тыс. св. лет. Звезды здесь рождаются в рукавах, а ближе к ядру остаются их более древние представители. Такие снимки помогают исследовать тонкую структуру пылевых облаков и определять, где на-

ходятся области звездообразования.

С помощью фотометра MIPS были получены изображения в дальнем ИК-диапазоне и проведены спектральные исследования в трех каналах: 24, 50–100 и 160 мкм с полем зрения $5,3' \times 5,3'$.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ОБСЕРВАТОРИИ

15 мая 2009 г., то есть после 5,5 лет активного функционирования, запас жидкого гелия в криостате закончился, однако и после этого обсерватория продолжила исследования, хотя уже и с не такой высокой чувствительностью регистрирующей аппаратуры. Главное ее научное достижение – наблюдение активных зон рождения звезд в нашей Галактике и газопылевых комплексов в туманности Ориона.

Обсерватория получила 400 тыс. изображений всей галактической плоскости в четырех длинах волн; был составлен полный обзор области Млечного Пути в интервале галактических долгот от 0° до 278° в длинноволновом диапазоне. Всего же за 10 лет наблюдений вдоль полосы галактической плоскости было получено 800 тыс. изображений (см. на сайте обсерватории: <http://www.spitzer.caltech.edu/>) различных объектов: туманностей, скоплений звезд, межзвездных пылевых облаков, газопылевых протопланетных дисков, областей звездообразования, двойных нейтронных звезд, остатков сверхновых, коричневых карликов, экзопланет.

Одно из впечатляющих изображений, сделанных в пределах нашей Галактики обсерваторией



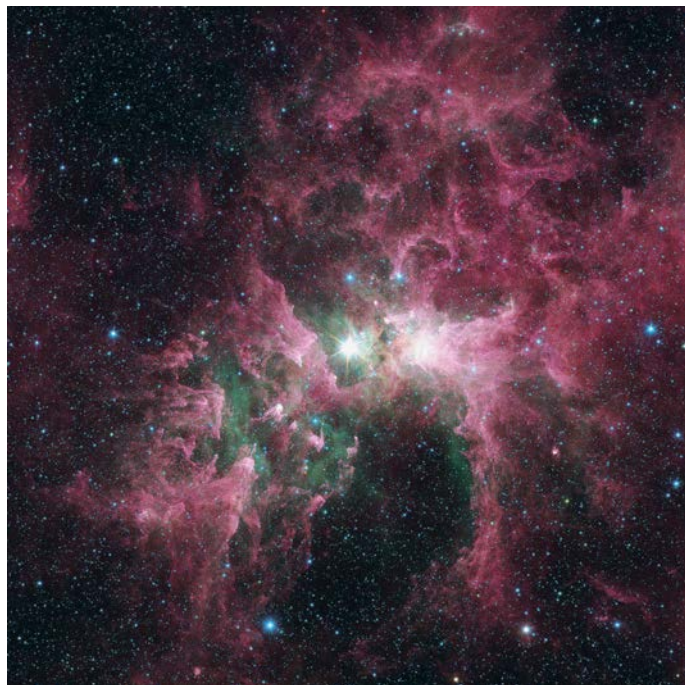
Спиральная галактика туманность Андромеды (M31; NGC 224), удаленная от нас на 2,52 млн св. лет. Заметен контраст древних звезд (синий цвет) и волнообразных дуг пыли, закручивающихся к центру (малиново-красный); области звездообразования (белый) находятся в рукавах. Снимок получен 7 декабря 2005 г. в диапазоне 24 мкм с помощью прибора IRS Фото NASA/JPL.

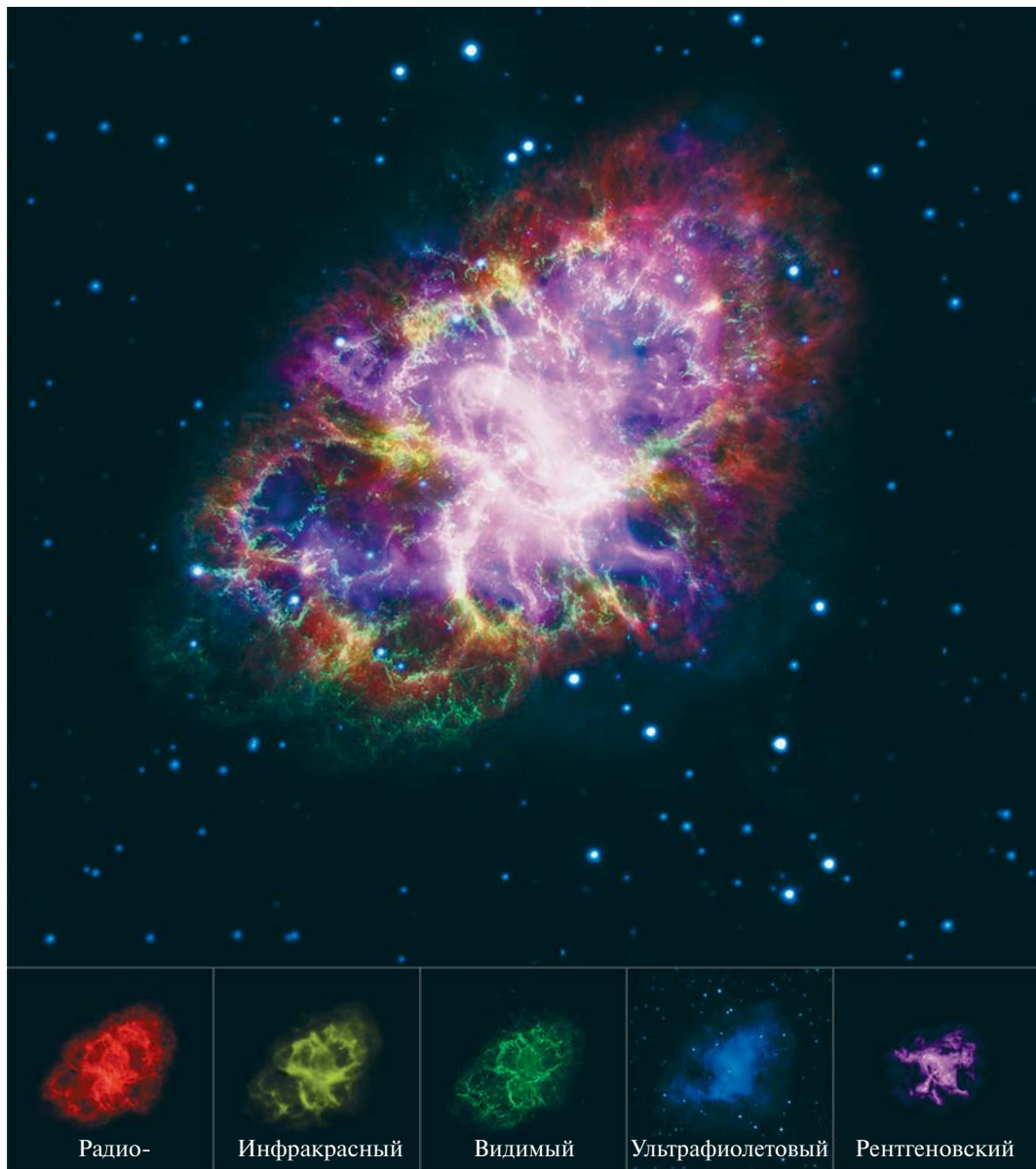
“Спитцер”, демонстрирует яркую диффузную туманность Киля (Carina Nebula, NGC 3372), распо-

ложенную в 7500 св. лет от Солнца. Это область ионизованного водорода размером 150 св. лет,

где пыль и газ сформировались под действием звездного ветра и излучения сверхмассив-

Эмиссионная туманность в созвездии Киля (NGC 3372) – область ионизованного водорода, находящаяся в 7500 св. лет от нас. Излучение горячих звезд создало пузырь раскаленного газа, который все еще расширяется (на снимке пыль окрашена в малиновый цвет, газ – в зеленый). Звездный ветер и ультрафиолетовое излучение горячих звезд “давят” на холодный водород, создавая новые звезды. В центре находится массивная звезда с массой $100 M_{\odot}$. Вероятно, она скоро станет Сверхновой. Изображение получено 22 августа 2013 г. Фото NASA/JPL.





Крабовидная туманность (M1, NGC 1952) в созвездии Тельца (около 7 тыс. св. лет от нас) – остаток Сверхновой 1054 г. Волокна туманности содержат, кроме водорода и гелия, другие вещества – азот, кислород, неон и серу; они раскрашены разными цветами – в зависимости от диапазона. Изображение в рентгене, оптике, УФ- и ИК-спектрах синтезировано из снимков, полученных в разных длинах волн (указаны внизу) с помощью оптического 8,2-м телескопа VLA Европейской Южной Обсерватории и космического телескопа Хаббла; а также на обсерваториях “Спитцер”, “Чандра” и “ХММ-Newton”. Фото NASA/JPL/STScI/NRAO/ESO.

ной звезды Eta Carinae (HD 93308) с массой $100 M_{\odot}$. Туманность из газопылевых облаков массой 140 тыс. M_{\odot} в своих границах имеет несколько звездных скоплений: две большие группы звезд спектрального класса O и B, одно из самых молодых звездных скоплений Trumpler 14; скопление Trumpler 16 “приютило” звезду Вольфа–Райе WR25 – по-видимому, самую яркую звезду нашей Галактики. Внутри туманности Киля находятся туманности Гомункулус и Замочная скважина, а также несколько рассеянных звездных скоплений.

Обсерваторией “Спитцер” получены уникальные изображения небесных объектов в Млечном Пути: например, знаменитой Крабовидной туманности (M1, NGC 1952) в созвездии Тельца. Эта Сверхновая наблюдалась в эпоху раннего средневековья в 1054 г. Ее ажурная волокнистая структура представляет собой расширяющуюся со скоростью около 1200 км/с оболочку общей массой 0,05–0,1 M_{\odot} в форме правильного эллипсоида размером 9×6 св. лет. Ионизованный газ волокон с температурой 17 тыс. градусов К состоит из водорода с примесью гелия, азота, кислорода, неона и серы. В центре туманности расположена нейтронная звезда – пульсар PSR B0531+21 – самый мощный источ-



Ярчайший радиоисточник Кассиопея-А (Cas-A), находящийся на расстоянии в 11 тыс. св. лет от нас. Это – остаток взрыва Сверхновой, свет от которого достиг Земли 320 лет назад. Газовое облако, расширяется со скоростью около 5 тыс. км/с. Сейчас основной поток излучения Cas A генерируется в рентгеновском диапазоне, возникающем от газа, нагретого ударной волной. Изображение синтезировано из снимков, полученных в разных диапазонах: видимый – с помощью Космического телескопа Хаббла, рентгеновский – “Чандра”; снимок в ИК-диапазоне (24 мкм) сделан 6 сентября 2006 г. с помощью прибора IRS на обсерватории “Спитцер”. Фото NASA/JPL/STScI.

ник гамма- и рентгеновского излучений в нашей Галактике, с периодом пульсаций 0,033 с.

Другой интересный объект, который наблюдала обсерватория “Спитцер”, – мощнейший радиоисточник Кассиопея-А (Cas-A), находящийся в одном из рукавов нашей Галактики на расстоянии 11 тыс. св. лет от нас. Это остывающая нейтронная звезда, оставшаяся от катаклизма – взрыва звезды с массой 15–25 M_{\odot} . Вспышка Сверхновой Cas A произошла 330 лет назад, однако она никем тогда

не наблюдалась. Разлетающееся в пространстве с громадной скоростью (около 65 тыс. км/с) раскаленное газовое облако с температурой 30 млн К занимает в поперечнике 15 св. лет. Каждый отдельный сгусток остатка имеет размеры в десятки раз больше, чем диаметр Солнечной системы. В остатке Сверхновой, кроме водорода и гелия, обнаружены кислород, сера, кремний, железо, титан и другие тяжелые элементы.

В 2015 г. “Спитцер” получил впечатляющее



Эмиссионная туманность NGC 2174 “Голова обезьяны” в Орионе, расположенная на расстоянии в 6400 св. лет от Солнца. В ней формируются новые звезды. Представленное излучение различных атомов газопылевого облака окрашено в искусственные цвета: зеленый – соответствует излучению водорода (8,0 мкм), красный – линии серы (24 мкм), голубой – линии кислорода (3,5 мкм). Снимок получен 19 августа 2015 г. Фото NASA/JPL/STScI.

изображение эмиссионной туманности NGC 2174 “Голова обезьяны” в созвездии Ориона (6400 св. лет от нас). Сияющее в зелено-красных условных цветах огромное облако ионизированного газа (HII) – это регион интенсивного звездообразования. Плотные газопылевые облака в течение нескольких миллионов лет будут разбросаны в пространстве звездным ветром и излучением новорожденных звезд. Туманность окружает рассеянное скопление молодых звезд.

Примером внегалактических объектов, которые

наблюдала обсерватория “Спитцер”, могут служить сливающиеся спиральные галактики NGC 2207 и IC 2163, расположенные в 140 млн св. лет от Солнца в созвездии Большого Пса. Они гравитационно взаимодействуют уже в течение 40 млн лет, постепенно превращаясь в один объект. Кроме того, на примере взаимодействующих галактик ученые могут проследить процессы слияния галактик: в них скрываются много ультраярких рентгеновских источников (ULXs). Скорее всего, природа

сильного рентгеновского излучения таких источников кроется в особом типе двойных систем, где одним из компаньонов является сверхмассивная черная дыра. В этой паре галактик насчитывается 28 таких ULXs источников.

“Спитцер”, помимо наблюдений галактических и внегалактических объектов, “заглядывал” и поближе – в Солнечную систему. В 2009 г. с его помощью было открыто необычное внешнее кольцо Сатурна – самое большое из известных колец в Солнечной системе (его вертикальная высота составляет около $40 R_C$; радиус Сатурна R равен $60\,330$ км). Если бы мы могли наблюдать это кольцо на нашем небе, то оно было бы равно диаметрам двух полных Лун на небе, – по одному с каждой стороны от Сатурна. Замечено, что частицы кольца расположены довольно далеко от основной системы колец – от $128 R_C$ до $207 R_C$; орбита кольца имеет наклон в 27° по отношению к плоскости основных колец планеты. В отличие от него наклон колец у Юпитера и Урана обычно расположен в пределах нескольких градусов – что обусловлено гравитационным воздействием планет-гигантов на их кольца и спутники. Из-за гравитационного ускорения произошла задержка формирования спутников планет на начальной



Взаимодействующие спиральные галактики NGC 2207 и IC 2163, находящиеся в 140 млн св. лет от Земли в созвездии Большого Пса. Изображение синтезировано из снимков, полученных с помощью Космического телескопа им. Хаббла (44 и 55 мкм, голубой и зеленый цвета) и обсерватории "Спитцер" (8 мкм, розовый и красный). Фото NASA/JPL.

стадии образования Солнечной системы.

Вещество кольца можно обнаружить, начиная с 6 млн км от Сатурна, оно простирается примерно еще на 12 млн км. Один из самых удаленных спутников Сатурна – Феба – движется в пределах этого нового кольца, и, вероятно всего, поставляет материал для этого образования. Насколько можно понять (из сравнения с размерами Земли), необходимо "уложить" примерно миллиард объемов нашей планеты для того, чтобы заполнить объем этого кольца. До сих пор самым дальним и самым большим из колец Сатурна было кольцо E, которое простирается на расстоянии 3–8 R_C ; материал оно получает от

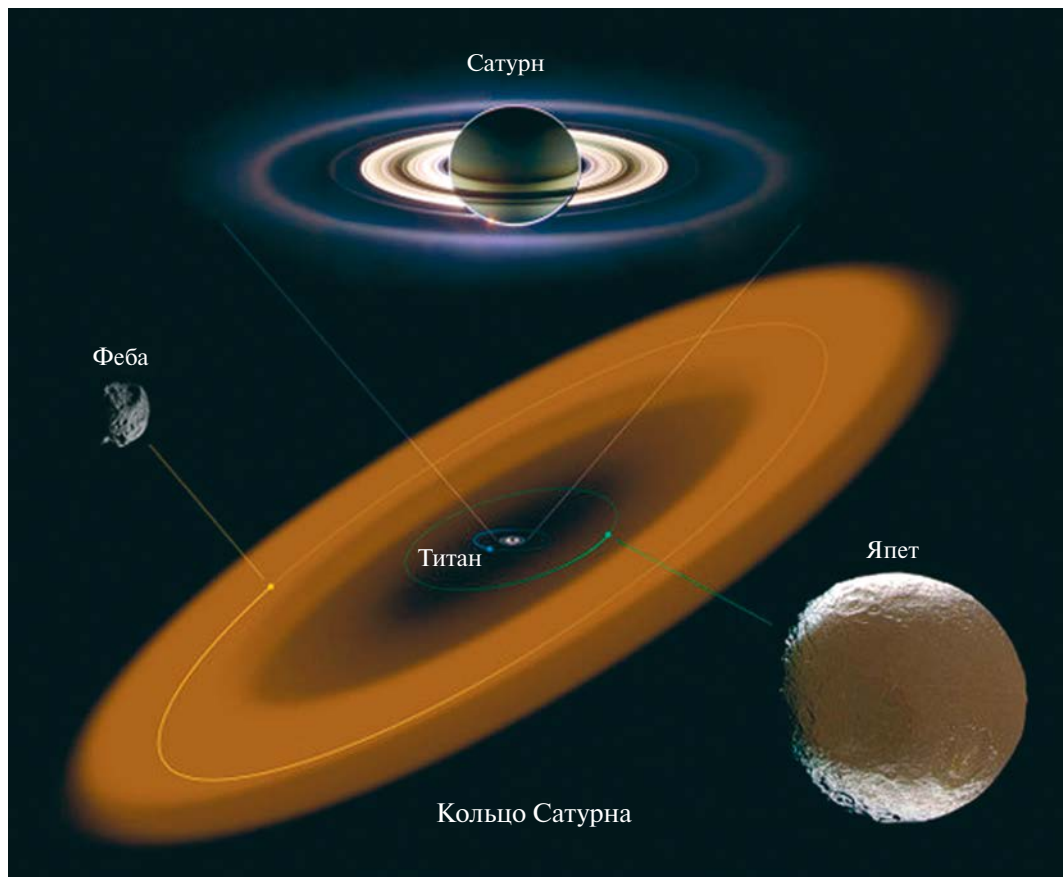
активных гейзеров Энцелада, бьющих из недр этого ледяного спутника на высоту до 100 км. Такое экстремально разреженное кольцо (в 1 м³ кольца находится всего 10–20 частиц вещества, его температура – 80 К), состоящее из частиц льда и пыли, практически невидимо, поэтому ранее и не удавалось его обнаружить обычными методами.

В Солнечной системе "Спитцер" наблюдал также кометы и астероиды, объекты пояса Койпера.

ПРОШЛОЕ И БУДУЩЕЕ ИНФРАКРАСНОЙ АСТРОНОМИИ

Следующими космическими обсерваториями NASA и ESA стали "WISE" и "Гершель", запу-

щенные на орбиту 14 декабря 2009 г. и 14 мая 2009 г. соответственно. Первая из них работала на полярной солнечно-синхронной орбите высотой 500 км (аналогичной орбите первого ИК-спутника "IRAS") и имела на борту скромный 40-см телескоп Ричи-Кретьена. Телескоп получал изображения в широком поле зрения в диапазоне от 3 до 22 мкм. За полгода работы он построил карту всего неба в этих длинах волн. Жидкий гелий из его криостата испарился через 10 месяцев после запуска в декабре 2010 г. Обсерватория "Гершель" стартовала 14 мая 2009 г., в ее криостате содержалось 2 тыс. л жидкого гелия,



Система Сатурна в инфракрасном диапазоне. Основная часть открытого нового кольца расположена в 6 млн км от планеты и простирается примерно на 12 млн км. Диаметр кольца эквивалентен примерно 300 радиусам Сатурна (вверху). Сатурн с основной системой колец выглядит как маленькая точка в центре системы (внизу). Показаны орбиты и снимки спутников Фебы и Япета. Рисунок А. Вербискер.

масса станции составляла 3300 кг. Главное зеркало телескопа диаметром 3,5 м было изготовлено по схеме Ричи-Кретьена из карбида кремния. Обсерватория является четвертым приоритетным аппаратом ESA (после АМС “Розетта”, космических обсерваторий “Планк” и “Гайя”).

Обсерватория “Планк” была предназначена для

исследований мелкомасштабных флуктуаций реликтового космологического излучения на пространственных масштабах меньше $10'$. В настоящее время уже опубликованы первые результаты обработки полученных с его помощью данных и их интерпретация. Главными результатами “Планка” являются космологические параметры

ранней Вселенной, в том числе постоянная Планка, возраст Вселенной, доля видимого вещества, а также доля темной материи и темной энергии.

Зеркало телескопа “Гершель” (при диаметре 3,5 м) из карбида кремния имело фокусное расстояние 28,5 м и светосилу 1:8,7. Для максимальной экономии жидкого гелия обсерватория была выве-



Зеркало телескопа диаметром 3,5 м изготовлено французской фирмой EADS-Astrum (Тулуза), оно установлено на космической обсерватории “Гершель” во время сборки в Нидерландах. 2007 г. Фото ESA.

дена в точку Лагранжа L2. Научная аппаратура состояла из двух камер для получения изображений и спектров астрономических объектов и супергертеродинного радиоприемника для исследований в дальнем ИК- и субмиллиметровом диапазонах.

Следует упомянуть еще и о японской космической инфракрасной обсерватории “Акари”, регистрировавшей источники в диапазоне 9–180 мкм (Земля и Вселенная, 2008, № 2, с. 30–31). Она успешно функционировала на орбите свыше полутора лет и за это время смогла наблюдать более

5 тыс. источников. Для экономного сохранения жидкого гелия в его криостате хранилось 16 кг твердого замороженного водорода.

Итак, несмотря на большие трудности и высокую стоимость всех инфракрасных и субмиллиметровых обсерваторий они строились и, по видимому, будут и дальше развиваться в сторону увеличения диаметра главного зеркала и уменьшения шумов детекторов, а также увеличения их чувствительности.

Один из перспективных проектов космических ИК-обсерваторий –

российский “Субмиллиметр”. На нем будет установлено зеркало диаметром 10 м из карбида кремния и несколько детекторов для регистрации излучения и получения спектров в диапазоне от 30 мкм и до 2–3 мм. “Субмиллиметр” предполагается вывести в точку Лагранжа L2 (удаление от Земли на 1,5 млн км). В разработке этой обсерватории принимает участие Европейское космическое агентство. Проект включен в 10-летнюю программу (до 2025 г.) космических исследований России.

Другой европейский проект, “EChO” (The Exoplanet Characterisation Observatory – обсерватория для определения характеристик экзопланет), направлен на исследование атмосфер экзопланет с целью выявления их пригодности для жизни. Телескоп обеспечит высокое разреше-

ние при спектроскопии в диапазонах от оптического до инфракрасного. Измерения газовых составляющих атмосфер позволят зафиксировать в них молекулы воды, оксида и диоксида углерода, метана и аммиака: можно будет установить многие важные атмосферные параметры

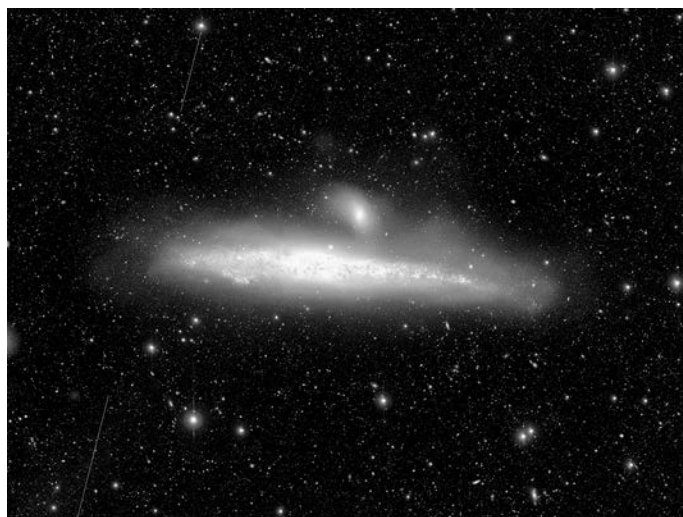
экзопланет (в том числе химический состав, тепловой режим и, возможно, временные и пространственные вариации атмосферной структуры). Обсерваторию предполагается запустить в 2022 г. на орбиту вокруг точки Лагранжа L2 в 1,5 млн км от Земли в направлении от Солнца.

Информация

Тайны галактического гало

Используя 8,2-м телескоп “Субару” японской Национальной астрономической обсерватории (Гавайи), астрофизики во главе с М. Танака (Университет Тохоку, Япония) идентифицировали 11 карликовых и две содержащих гало галактик во внешних областях крупной спиральной галактики NGC 4631 “Кит” в созвездии Гончих Псов. Это позволило глубже понять формирование этих “приливных хвостов” галактик.

Обнаружены два гало, обращенных вокруг галактики: одно, получившее название Stream SE, расположено перед галактикой, второе – Stream NW – находится за галактикой NGC 4631 (если смотреть на нее с Земли).



Галактика NGC 4631 “Кит”, расположенная в 25 млн св. лет от нас в созвездии Гончих Псов. Снимок получен в 2017 г. с помощью 8,2-м телескопа “Субару” в японской Национальной астрономической обсерватории (Гавайи).

Основываясь на расчетах содержания металлов в веществе звезд этих гало, ученые пришли к заключению, что они образовались в результате гравитационного взаимодействия между галактикой “Кит” и одной из карликовых галактик, обращенных

ся вокруг нее. Вероятно, это связано с тем, что в составе этого приливного потока находится карликовая галактика, гравитационно взаимодействующая с NGC 4631.

*Журнал “Astrophysical Journal”,
2017. V. 842. № 2.*