

Вселенная

пространство ★ время

Международный научно-популярный журнал
по астрономии и космонавтике

№4 (164) 2018

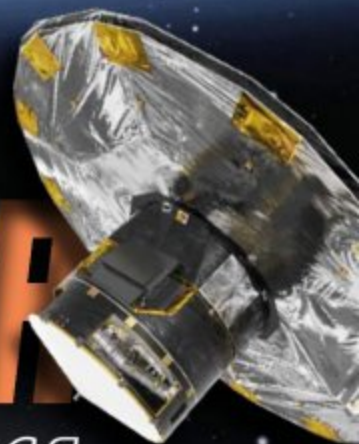
В поисках ответа на вопрос о происхождении жизни ученым вначале следовало выяснить, откуда взялись ее составляющие — химические элементы, входящие в состав органических молекул. Оказалось, что большинство их возникло в недрах звезд — все мы действительно созданы из «звездной пыли».

*Космические
связи* и их роль
в сотворении
Вселенной

«БЕЛЫЕ ДЫРЫ» —

возможный компонент
темной материи?

GAIA
Обозревая
просторы
Галактики



НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА
ТУМАННОСТЬ
«ЛАГУНА»
к 28-летию
телескопа Hubble

МИСТЕРИИ
звездных
останков

ЗАГАДКА
первых
галактических
скоплений

Ультрафиоле-
товый каталог
окрестностей
Галактики

Космические связи и их роль в сотворении Вселенной

СТР. 4

«ЗВЕЗДНЫЕ ФАБРИКИ» ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

СТР. 14

МИСТЕРИИ ЗВЕЗДНЫХ ОСТАНКОВ

СТР. 16

Руководитель проекта, главный редактор:
Гордиенко С. П.

Выпускающий редактор:
Манько В. А.

Редактор:
Размыслович К. Р. (Минск)

Редакционный совет:
Митрахов Н. А. — Президент информаци-
онно-аналитического центра «Спейс-Ин-
форм», директор киевского представи-
тельства ГП КБ «Южное», к.т.н.

Вавилова И. Б. — ученый секретарь Совета
по космическим исследованиям НАН Укра-
ины, вице-президент Украинской астроно-
мической ассоциации, кандидат ф.-м. наук

Рябов М. И. — старший научный сотрудник
Одесской обсерватории радиоастрономи-
ческого института НАН Украины, кандидат
ф.-м. наук, сопредседатель Международ-
ного астрономического общества


Олейник И. И. — генерал-полковник,
доктор технических наук, заслуженный
деятель науки и техники РФ



«БЕЛЫЕ ДЫРЫ» -

ВОЗМОЖНЫЙ КОМПОНЕНТ
ТЕМНОЙ МАТЕРИИ?

СТР. 20




НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА
ТУМАННОСТЬ
«ЛАГУНА»
К 28-летию телескопа
Hubble

СТР. 36



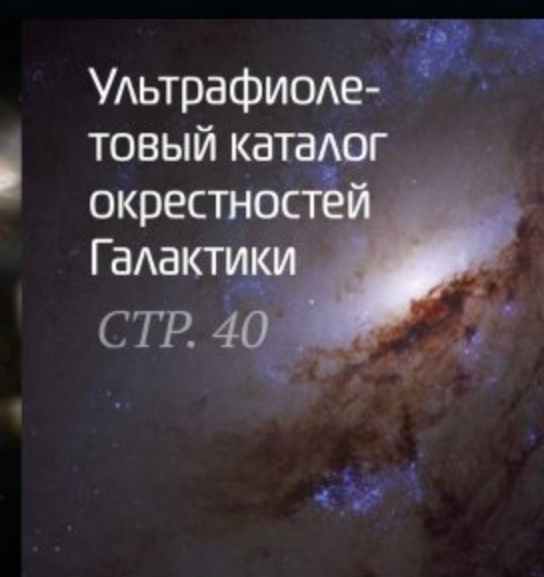
GAIA

Обозревая просторы
Галактики *СТР. 24*



ЗАГАДКА
первых
галактических
скоплений

СТР. 38



Ультрафиолетовый каталог
окрестностей
Галактики

СТР. 40

Андронов И. Л. — декан факультета
Одесского национального морского уни-
верситета, доктор ф.-м. наук, профессор,
вице-президент Украинской ассоциации
любителей астрономии

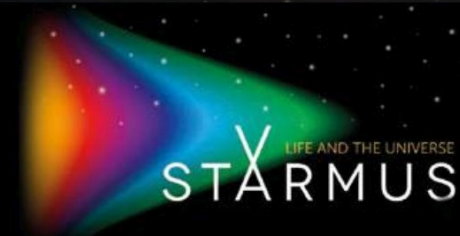
Дизайн, верстка:
Кисилица Елена
IT-сопровождение:
Голойда Андрей

Учредитель и издатель:
ЧП «Третья планета»
Зарегистрировано Государственным комите-
том телевидения и радиовещания Украины.
Свидетельство КВ 7947 от 06.10.2003 г.

© ВСЕЛЕННАЯ, пространство, время —
№ 164 (4) 2018

ВСЕЛЕННАЯ, пространство, время —
международный научно-популярный
журнал по астрономии и космонавтике,
рассчитанный на массового читателя





разработано Греерік

Космические связи и их роль в сотворении Вселенной

Джордж Смут

Американский астрофизик,
Нобелевский лауреат, профессор
Калифорнийского университета
в Беркли (США)

Cosmic Connection
George Smoot

Astrophysicist, Nobel Laureate,
University of California Berkeley (USA)

Доклад прочитан 19 июня 2017 г.
на фестивале
STARMUS (Тронхейм, Норвегия)

Перевод:

Валерия Ковеза
Редакторы перевода:
Сергей Гордиенко,
Владимир Манько



Джордж Смут

Джордж Фицджеральд Смут (George Fitzgerald Smoot III) — американский астрофизик и космолог. Родился 20 февраля 1945 г. в Юконе (штат Флорида), в 1962 г. окончил Высшую школу Верхнего Арлингтона в штате Огайо (Upper Arlington High School, Ohio). Вначале изучал в основном математику, после поступления в Массачусетский технологический институт занялся физикой, в 1966 г. получил степень бакалавра, в 1970 г. защитил диссертацию доктора философии в области физики частиц. Позже сосредоточил свои интересы на космологии и перешел в Национальную лабораторию Лоуренса при Калифорнийском университете в Беркли (Lawrence Berkeley National Laboratory), где участвовал в эксперименте HARPE, в котором при помощи стратосферного воздушного шара предпринималась попытка обнаружения антиматерии в верхних слоях атмосферы Земли. С середины 1970-х переключился на исследования реликтового излучения. С помощью Луиса Альвареса и Ричарда Мюллера (Luis Alvarez, Richard

Muller) разработал дифференциальный радиометр. Этот инструмент, установленный на самолете Lockheed U-2, помог установить, что полная скорость вращения Вселенной в пределах точности измерений равна нулю.

В настоящее время — профессор физики в Калифорнийском университете в Беркли; с 2010 г. также занимает должность профессора в парижском Университете Дидро. Один из авторов проекта COBE по изучению неоднородностей температуры реликтового фона с помощью специального космического аппарата. Эксперимент успешно завершился в 1992 г. По его результатам в 2006 г. Джордж Смут совместно с Джоном Мазером (John Mather) получил Нобелевскую премию по физике «за открытие анизотропии и чернотельной структуры энергетического спектра космического фонового излучения». Ранее, в 2003 г., за свои научные достижения был награжден медалью Эйнштейна. В 2009 г. выиграл миллион долларов в телешоу канала Fox (став вторым победителем в истории этого шоу). Сыграл самого себя в одном из эпизодов сериала «Теория Большого Взрыва».

Изначально я планировал рассказать больше про космологию, Большой Взрыв, о событиях, приведших к возникновению жизни и, в конце концов, к фестивалю STARMUS. Но в итоге я решил, что мой доклад будет носить немного иной характер: я расскажу о космических связях — о том, как сформировался космос, как образовались атомные ядра, все химические элементы, соединения и, наконец, жизнь. Основное внимание в своем выступлении я хотел бы уделить вопросу образования химических элементов. Здесь возникают следующие принципиально важные вопросы: откуда они взялись? Что мы узнали об их происхождении с помощью телескопов и теоретических рассуждений? Кроме того, как появляются самые тяжелые элементы? Ведь, как вы вскоре узнаете, образование более легких — процесс относительно несложный.

По мере развития науки древнее искусство алхимии приобрело сомнительную репутацию шарлатанской практики. Но в современных реалиях «алхимия Вселенной» наполнилась новым смыслом с появлением периодической таблицы элементов — универсальной схемы, которая легко умещается на салфетке. Можно сказать, что в наши дни это древнее понятие в каком-то смысле вернуло себе доброе имя.

Современная «алхимия» возникла на рубеже XIX и XX столетий благодаря работам Анри Беккереля и Марии Склодовской-Кюри (Henri Becquerel, Maria Skłodowska-Curie). В результате Склодовска-Кюри стала единственной женщиной, получившей целых две Нобелевских премии — по химии и по физике. В частности, награда была присуждена за открытие возможности преобразовывать одни элементы в другие, точнее —

того, что они могут это делать сами по себе. Позже обнаружилось, что этот процесс связан с одним из трех открытых позже видов радиоактивного распада (альфа, бета и гамма).

Существует два вида «алхимии»: распад и синтез. Первый предполагает разделение тяжелого элемента на несколько более легких, причем суммарное количество протонов и нейтронов в новых ядрах, как правило, остается таким же, как в исходном. Второй вид — синтез — представляет собой процесс, при котором несколько ядер легких элементов объединяются в одно ядро более тяжелого. Важный аспект, касающийся этого процесса, описывается с помощью графика, называемого кривой энергии связи. Эта энергия определяет, насколько сильна связь между составляющими атомного ядра. График показывает, что у легких элементов она относительно слаба, а при продвижении далее, к более тяжелым ядрам, она увеличивается, достигая

максимума у атома железа, у которого энергия связи составляет около 7% от общей массы частиц, входящих в состав его ядра. У элементов, следующих дальше по периодической таблице в направлении урана, она начинает постепенно снижаться.

По сути, в этой закономерности и заключен ответ на вопрос, откуда взялись все химические элементы.

Самая первая научная работа, в которой была предпринята попытка объяснить происхождение химических элементов, увидела свет в 1948 г. Она известна под названием «Альфа, Бета, Гамма», поскольку ее авторами были Георгий Гамов, Ральф Альфер и Ханс Бете (Ralph Alpher, Hans Bethe). Данные, опубликованные в работе, фактически получил Гамов и его ученик Альфер, а Бете они пригласили стать соавтором, чтобы последовательность фамилий была созвучна с первыми буквами греческого алфавита. Работа



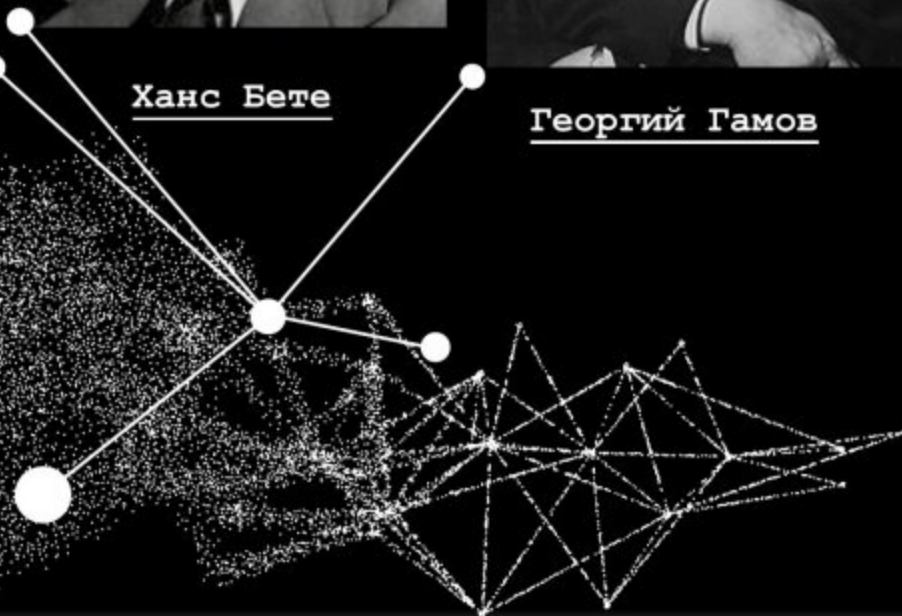
Ральф Альфер



Ханс Бете



Георгий Гамов



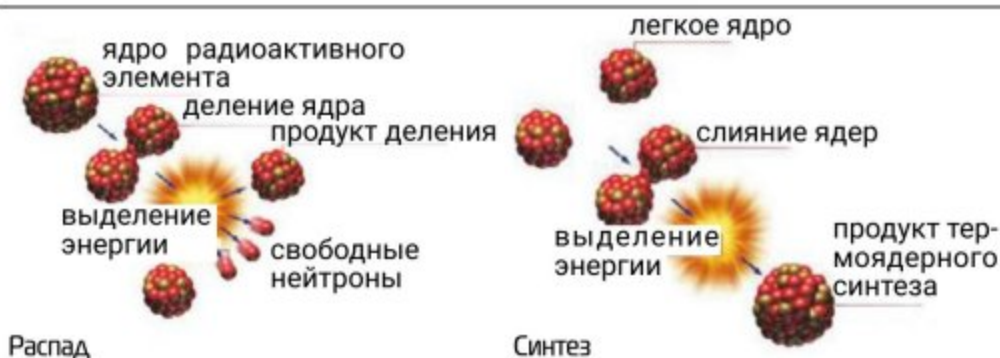
принесла своим авторам Нобелевскую премию по физике в 1967 г., и Бете ее тоже вполне заслужил: его дальнейшие исследования помогли пролить свет на образование первых атомных ядер после Большого Взрыва.

Именно идея, лежавшая в основе этого труда, и получила название Теории Большого Взрыва, в ходе которого, как предполагалось ее авторами, родились ВСЕ химические элементы. Она также привела Гамова, Альфера и Роберта Германа (Robert Herman) к формулировке основ процесса, известного нам теперь как нуклеосинтез. В то же время Гамов часто спорил с известным космологом Фредом Хойлом (Fred Hoyle), который был настроен в отношении этой теории весьма скептически. Кстати, он как раз и придумал ироничное выражение «Большой Взрыв» в попытке высмеять идею Гамова... но оно прижилось в качестве общепринятого названия этой концепции. Сам Хойл в совместной работе с Уильямом Фуллером, Джеффри и Маргарет Бербиджами (Geoffrey Burbidge, Margaret Burbidge, William Fowler) сформулировал теорию, предполагающую образование химических элементов в ядрах звезд в процессе их жизненного цикла, которая тоже удостоилась Нобелевской премии по физике в 1983 г.

Но как же определить, чья теория верна? Для этого придется углубиться в аспекты ядерной физики. Это самая неприятная сторона космологии: для ее понимания нужно хорошо разбираться в направлениях физики, поскольку разные этапы существования Вселенной определяются различной физикой. В данный момент нас интересует именно ядерная.

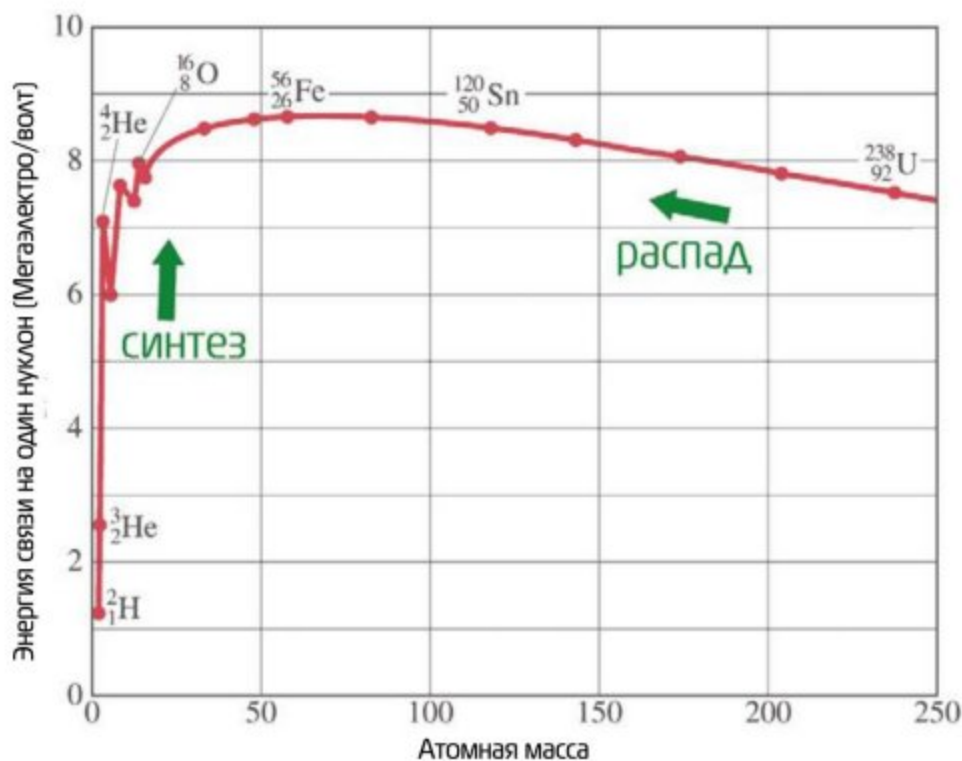
Если тщательно рассмотреть процесс Большого Взрыва, предполагаемый одноименной теорией (а именно этим и занимались Гамов, Альфер и Герман в 1948 г. и позже, в 1950-е), становится очевидным, что для того, чтобы слить воедино атомные ядра — объекты, в состав которых входят нейтроны и протоны — необходимо преодолеть силу электростатического отталкивания, существующую между ними, а для этого потребуются определенная кинетическая

Современная «алхимия»: ядерный синтез и распад



▲ Превращение одних элементов в другие, о котором мечтали алхимики, постоянно происходит в природе при процессах радиоактивного распада. Обратный процесс — синтез тяжелых атомных ядер из более легких — протекает в недрах звезд (а также при взрывах сверхновых) в условиях сверхвысоких давлений и температур.

▼ Удельная энергия связи — величина общей энергии связи атомного ядра, приходящаяся на один нуклон (протон или нейтрон) — возрастает у химических элементов от дейтерия к железу, после чего начинает снижаться. Для ядер тяжелее свинца она становится меньше сил электростатического отталкивания: такие элементы не имеют стабильных изотопов.



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

энергия. Соответственно, нужен мощный нагрев: расчеты показывают, что на каждое атомное ядро должно приходиться несколько десятков миллиардов фотонов. В результате около 20% массы ранней Вселенной, помимо водорода, составили атомы гелия, и совсем незначительное количество вещества пришлось на дейтерий, литий и бериллий. Это все, что может образоваться при Большом Взрыве.

Аргумент, который использовал Гамов в своих спорах с Хойлом, основывался на том, что его теория объясняла происхождение 99% массы молодой Вселенной. Но именно это предсказание ока-

залось ошибочным. В остальном эта теория описывала ранние этапы нашего мира очень неплохо: согласно ей, в первые секунды он должен был быть необычайно горячим. Один из докладчиков, которых вы сегодня видели на этой сцене — Роберт Вилсон (Robert Wilson) — совместно со своим напарником Арно Пензиасом в 1965 г. открыл то самое остаточное послесвечение Большого Взрыва с помощью антенны, на которой они работали. Это так называемое реликтовое излучение представляет собой тепло, оставшееся со времен молодости Вселенной, а Вилсон и Пензиас дока-

зали, что исходит оно из каждой ее точки, отовсюду. За свое открытие они удостоились Нобелевской премии по физике в 1978 г.

Кроме того, за подтверждение этого открытия была присуждена еще одна Нобелевская премия — команде, проводившей исследования с помощью спутника COBE в 1992 г. Новые, более тщательные наблюдения выявили, что в реликтовом излучении имеются небольшие перепады температуры. Эти перепады многое говорят об эволюции и свойствах нашей Вселенной. Однако вернемся все же к вопросу о

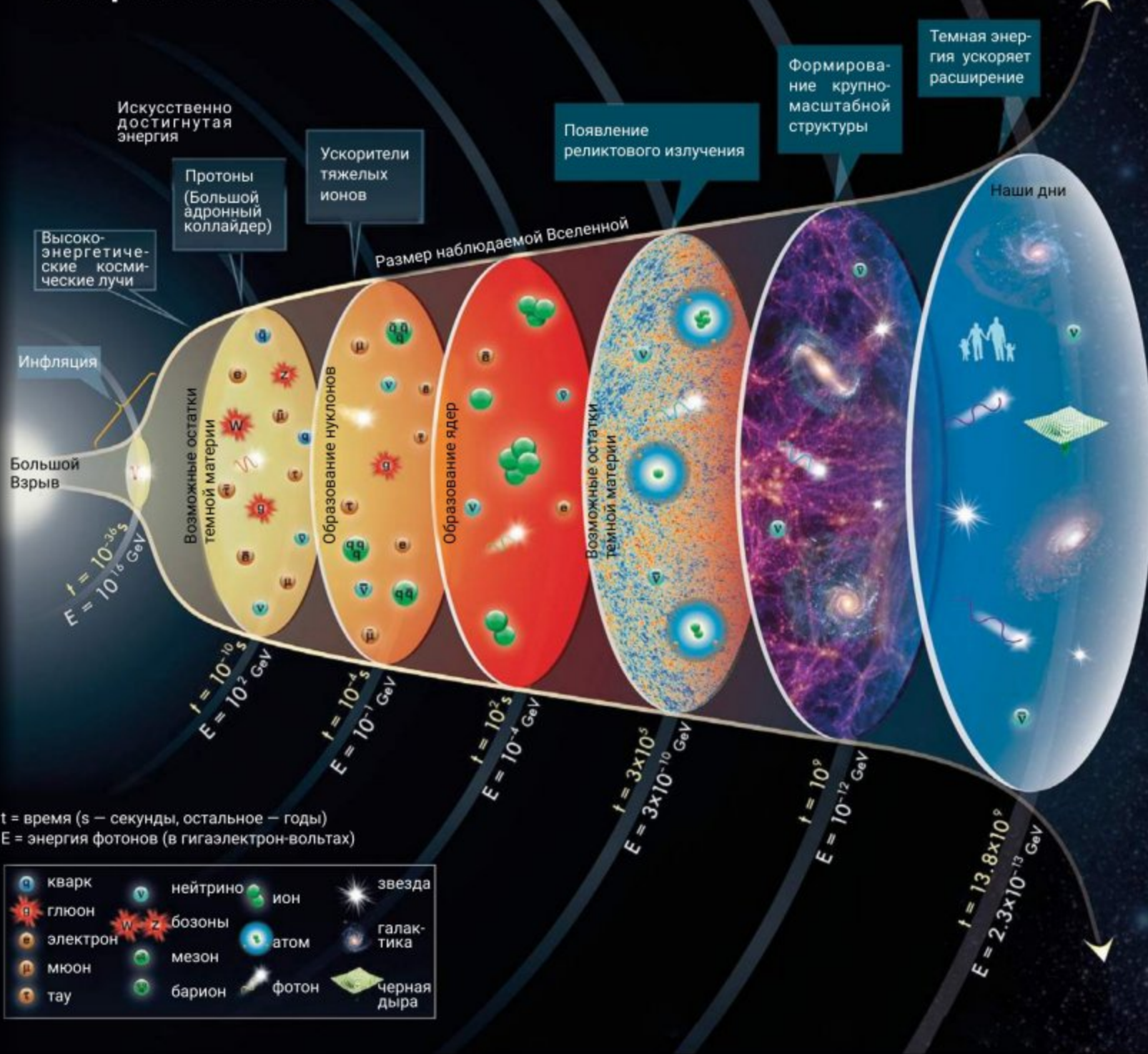
том, откуда взялось это излучение, и каким же образом все-таки образовались химические элементы.

Чтобы понять, каким образом происходил процесс нуклеосинтеза сразу после Большого Взрыва, необходимо произвести некоторые расчеты. Сперва происходит захват электронов протонами

с образованием нейтронов, потом — слияние в более тяжелые ядра, но совсем скоро возникает проблема: не существует стабильных ядер с атомной массой 5 и 8. Это представляет сложность, поскольку, чтобы «наполнить» Вселенную более тяжелыми элементами, необходимо прео-

▼ Первичный нуклеосинтез происходил на протяжении первых трех минут после Большого Взрыва, когда образовывавшаяся в ходе него кварк-глюонная плазма остыла настолько, что из нее «выкристаллизовались» протоны и нейтроны. Завершился он после того, как температура и плотность новорожденной Вселенной опустились ниже необходимых для термоядерного синтеза. Этот процесс объясняет наблюдаемое содержание во Вселенной водорода (75%), гелия-4 (23%), дейтерия (0,003%), гелия-3 (0,004%), а также еще меньших количеств лития и бериллия. Более тяжелые элементы в ходе него образоваться не могут.

История Вселенной



долететь этот барьер до того, как пространство расширится (а температура и плотность вещества соответственно снизятся) и пропадут условия, требуемые для поддержания реакций синтеза. Сделать эти расчеты нужно с максимальной возможной точностью, учитывая время жизни нейтрона до неминуемого распада¹ — а это около 10-15 минут.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что в первые мгновения своей жизни Вселенная наполнилась водородом, в меньшей степени — гелием, и вдобавок — совсем небольшим количеством легких элементов, причем все это произошло менее чем за 10 минут. А далее в течение очень длительного времени не происходило практически ничего.²

Для дальнейшего «роста» ядер в остывающей Вселенной уже не хватало энергии. Для продолжения процесса нуклеосинтеза должны были появиться объекты, в недрах которых имеются подходящие условия для возникновения более тяжелых химических элементов. Но гравитационные взаимодействия очень слабы, и микроскопическим частицам в разреженном газе требуется

¹ «Одиноким» нейтроны, находящиеся вне атомных ядер, весьма нестабильны и вскоре распадаются на протон и электрон.

² Космологи называют это время «темной эпохой» (она началась, когда реликтовое излучение из-за расширения Вселенной перешло из видимого в инфракрасный диапазон, и закончилась, когда зажглись самые первые звезды). Ее продолжительность сейчас оценивается в 250 млн лет.

огромное количество времени, чтобы благодаря едва заметным различиям плотности начать собираться в массивные газовые облака, впоследствии сжимающиеся под действием собственной силы тяжести, образуя звезды.

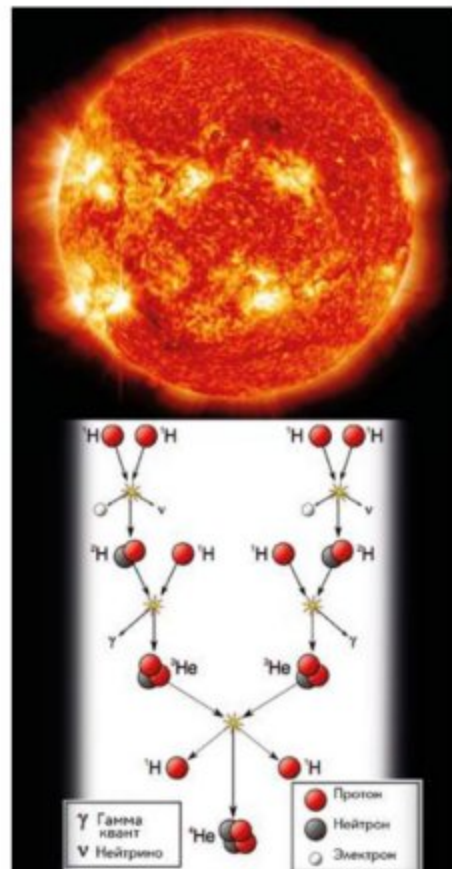
Жизненный цикл звезды состоит из очень простых стадий. В процессе активного существования она сжигает свой запас термоядерного топлива, производя все более тяжелые элементы, которые улетучиваются со звездным ветром и, в конце концов, выбрасываются в окружающее пространство во время взрыва Сверхновой.³ Потом эта материя снова собирается в газово-пылевые облака, сжимается под собственным весом, образует следующие поколения звезд, планеты, а возможно, и жизнь. Однако все тяжелые элементы, из которых состоят окружающие нас вещи — хотя их количество и незначительно превышает 1% от общей массы вещества во Вселенной — должны были откуда-то взяться.

Давайте рассмотрим, как наше Солнце «сжигает» водород. К нашему счастью, происходит это достаточно медленно. Протоны в его недрах носятся с огромной скоростью, пока, наконец, не сталкиваются и не сливаются. В таких «скитаниях» они проводят обычно от года до миллиарда лет, а затем за долю секунды происходит слияние в ядро

³ Согласно современным представлениям, взрывами сверхновых заканчивается жизненный цикл звезд, превышающих по массе Солнце как минимум втрое.

дейтерия (после чего — слияние двух ядер дейтерия в ядро гелия). Различными путями эта реакция внутри солнечного ядра происходит повсеместно, и водород постепенно «переплавляется» в гелий. В результате этого процесса надра нашего светила постепенно обогащаются гелием.

Таким образом, срок жизни Солн-



▲ Протон-протонный цикл — совокупность термоядерных реакций, в ходе которых водород превращается в гелий. Доминирует в звездах с массой порядка массы Солнца или меньше, находящихся на главной последовательности (на него приходится до 98% выделяемой ими энергии). Порядка 95% времени своего активного существования звезды «сжигают» водород.



ца ограничен. Как и другие звезды, оно имеет свой жизненный цикл, и следующая его стадия — превращение в красного гиганта — наступит приблизительно через 5 млрд лет. В этот период оно начнет выбрасывать в окружающее пространство большое количество синтезированного в его недрах вещества. Однако до этого отдаленного момента жизнь на Земле может наслаждаться на удивление равномерным и умеренным потоком чистой энергии, испускаемой нашей звездой.

Но как же происходит «сжигание» гелия? Можно предположить, что аналогичным образом: его ядра сталкиваются и «слипаются», образуя еще более тяжелые элементы. Однако тут есть загвоздка. Она заключается в том, что следующий элемент — бериллий⁴ — нестабилен. Его ядра распадаются сразу же после образования за 10^{-16} секунды — невероятно короткий промежуток времени. Продолжительности жизни атомов бериллия недостаточно, чтобы они успели столкнуться с другими ядрами и произвести углерод.

Решение этой проблемы предложил Фред Хойл: он допустил, что в таком случае углерод может возникать при столкновении одновременно трех ядер гелия, масса каждого из которых втрое



▲ Чем больше масса звезды, тем выше давление в ее ядре и тем быстрее в нем идут реакции термоядерного синтеза (и тем короче ее активное существование). Наше Солнце полностью «сожжет» свой водород примерно через 5 млрд лет, после чего на некоторое время станет красным гигантом, энерговыделение которого обеспечивается реакциями на основе гелия, а потом сбросит внешнюю оболочку и превратится в сверхплотный белый карлик, нагреваемый энергией гравитационного сжатия.

меньше, чем масса ядра углерода. Свою догадку он представил на семинаре в Калифорнийском технологическом институте, а спустя неделю был организован и проведен эксперимент, подтвердивший эту гипотезу. Теперь ученые имели представление о том, как в недрах звезд может образовываться углерод.

Как же происходит синтез кислорода? Оказалось, что для этого требуется атом углерода, сталкивающийся с гелием, причем в результате реакции выделяется значительное количество энергии. При этом потребление углерода для такой реакции не так уж ве-

лико — большая часть этого элемента сохраняется и накапливается внутри звезды, чтобы потом оказаться выброшенной в космос и стать основой для углеродных форм жизни, подобных нашей.

Если рассмотреть структуру звезды, то к концу жизненного цикла накопленный материал в ней располагается слоями, напоминающими луковицу: в самом внешнем водород «переплавляется» в гелий, глубже — гелий в углерод, кислород и так далее. Таким образом, образуется целый последовательный ряд все более тяжелых элементов. В центре светила накапливается железо — наиболее стабильный элемент,

⁴ Точнее, изотоп ⁹Be

После окончания активного цикла звезд часть их вещества возвращается в космическое пространство, участвуя в последующих процессах звездо- и планетообразования: более массивные выбрасывают продукты нуклеосинтеза (химические элементы тяжелее железа) в ходе взрывов сверхновых, менее массивные — сбрасывают внешнюю оболочку, обогащенную тяжелыми элементами (до железа включительно), на стадии превращения в белых карликов.



для «переплавки» которого требуется затратить больше энергии, чем высвобождается в результате реакции. Из-за этого процесс синтеза замедляется, выделение энергии ослабевает и звезду начинает сжимать собственная сила тяжести. В результате происходит ее гравитационный коллапс и она взрывается как Сверхновая.⁵

Что же мы узнали об этих взрывах невероятных масштабов с помощью телескопов?

На снимке участка неба, расположенного в Туманности Ориона, заметны спектральные линии, соответствующие различным химическим соединениям, обнаруженным в остатках жизнедеятельности звезд. Среди них — двуокись серы SO_2 , угарный газ CO , вода... все эти вещества присутствуют в облаке материи, образовавшемся после смерти светила. Это значит, что внутри звезды синтезируются не только сами элементы, но и их соединения, представляющие собой «кирпичики жизни». В таких туманностях ученые обнаруживают все необходимые составляющие для ДНК и всевозможные органические вещества. Подобные наблюдения позволяют сделать вывод, что материалы, из которых соткана земная жизнь, широко доступны во многих регионах Вселенной и выбрасываются в огромном количестве множеством звезд после их смерти.

Анализируя аналогичные выбросы звездной материи, мы находим те же самые соединения, куда бы мы ни посмотрели. Первых исследователей потрясло количество органики, которой наполнен космос благодаря взрывам сверхновых. Картина прояснилась: легкие элементы образовались сразу после Большого Взрыва, а более тяжелые, из которых состоят планеты и живые существа, были «выкованы» в недрах нескольких поколений звезд, существовавших до рождения Солнца.

Еще один момент, вызывающий живой интерес космологов — это

Массивные звезды незадолго до взрыва сверхновой имеют «луковичную» структуру: чем ближе к центру — тем выше температура и давление, и соответственно тем более тяжелые атомные ядра синтезируются в термоядерных реакциях. Конечным результатом таких процессов является железо.

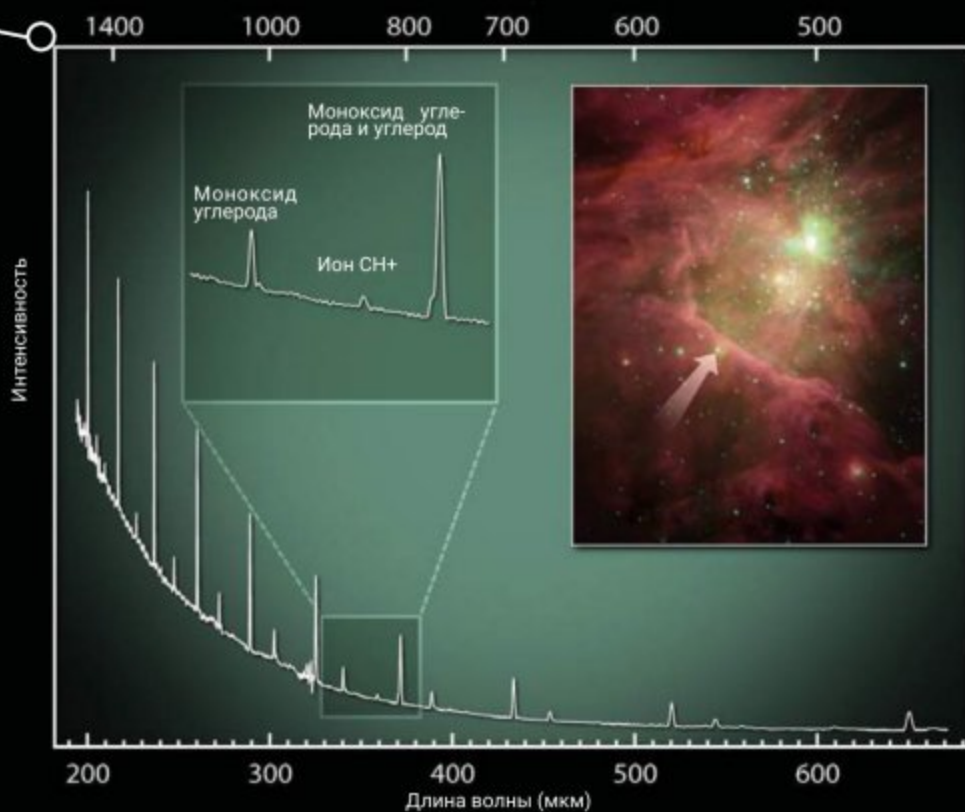
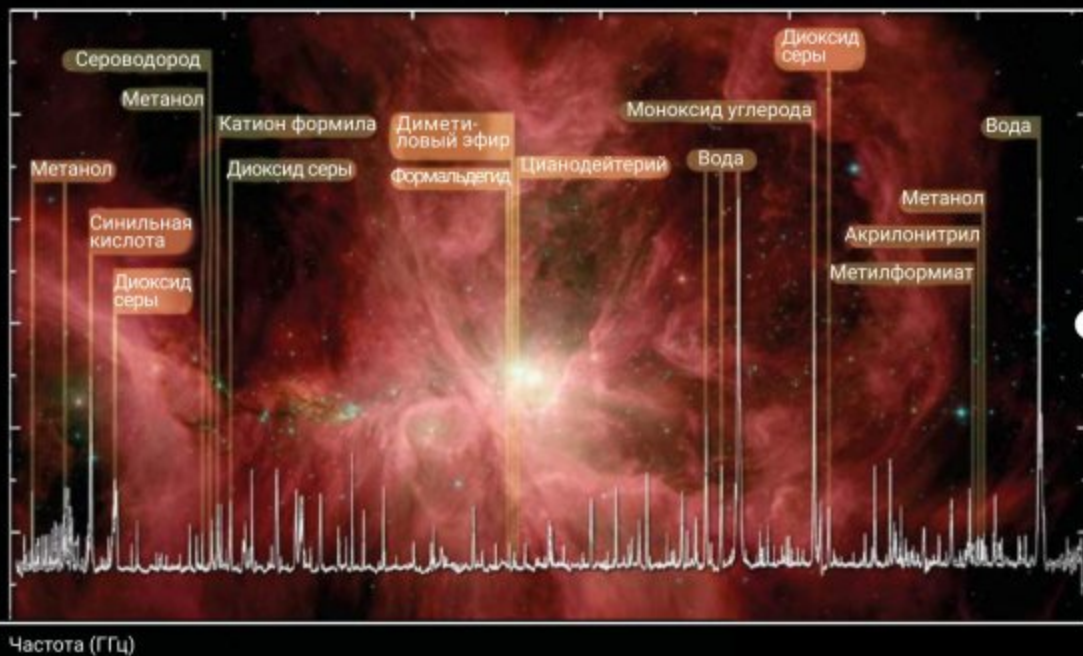


▼ Крабовидная туманность (M1) образовалась на месте вспышки Сверхновой 1054 г. В ходе подобных вспышек, сопровождающих гравитационный коллапс массивных светил, возникают химические элементы тяжелее железа. Второй путь их синтеза — столкновения нейтронных звезд (один из таких объектов «обитает» в центре туманности и представляет собой остаток взорвавшегося гиганта).



⁵ Энергия при взрывах сверхновых выделяется за счет неконтролируемого гравитационного сжатия, лавинообразного термоядерного синтеза элементов вплоть до железа и — на финальной стадии — захвата огромного количества электронов протонами с образованием нейтронной звезды.

► С помощью инструмента HIFI космического телескопа Herschel астрономы получили спектр Большой Туманности Ориона в дальнем инфракрасном диапазоне и обнаружили в нем множество линий излучения (на графике показаны в виде пиков), соответствующих различным атомам и молекулам. Это наиболее детальный спектр области звездообразования, зарегистрированный к настоящему времени.



◀ Ранее фотографирование Большой Туманности Ориона и ее спектральные исследования производились с помощью инфракрасного космического телескопа Spitzer (NASA). На сделанных им снимках (на врезке) астрономы заметили несколько неизвестных звезд, которые на предыдущих изображениях не были видны из-за того, что их скрывают от нас плотные облака межзвездной пыли. Внизу приведен спектр туманности, полученный телескопом Herschel, с указанием некоторых химических соединений, излучающих в соответствующих линиях.

распространенность химических элементов. Судить о ней можно, исходя из принципа, который мы называем ядерным статистическим равновесием. Он показывает, что при термоядерном синтезе одних элементов образуется больше, чем других. Меньше всего должно быть самых тяжелых ядер (тяжелее железа). Это связано с тем, что условия, необходимые для их образования, экстремальны: только во время вспышек сверхновых, когда на протяжении непродолжительного отрезка времени условия становятся наиболее похожими на сам Большой Взрыв, возможно слияние атомов,

рождающие самые последние элементы периодической таблицы. В таких взрывах материя распадается на составные части, высвобождается огромное количество свободных нейтронов, и они — по схеме, предложенной Гамовым — могут захватываться атомными ядрами, увеличивая их массу и образуя таким путем все более тяжелые элементы. Итак, Вселенная состоит на 75% из водорода, на 23% — из гелия, а на все остальные химические элементы (от лития до урана) приходится лишь 2%.

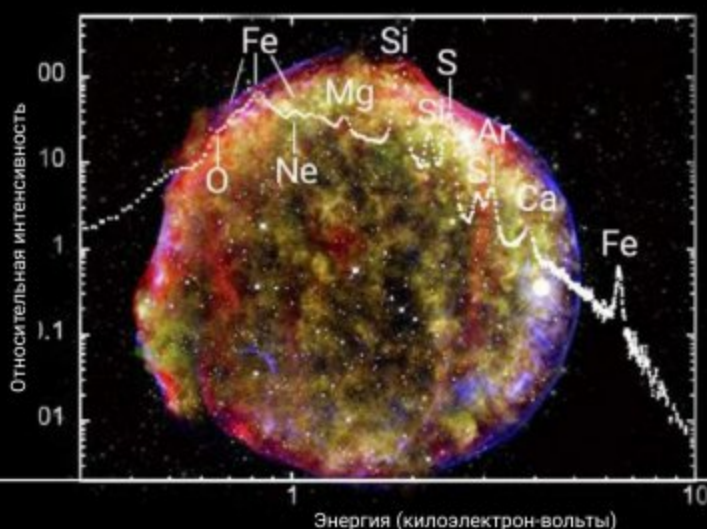
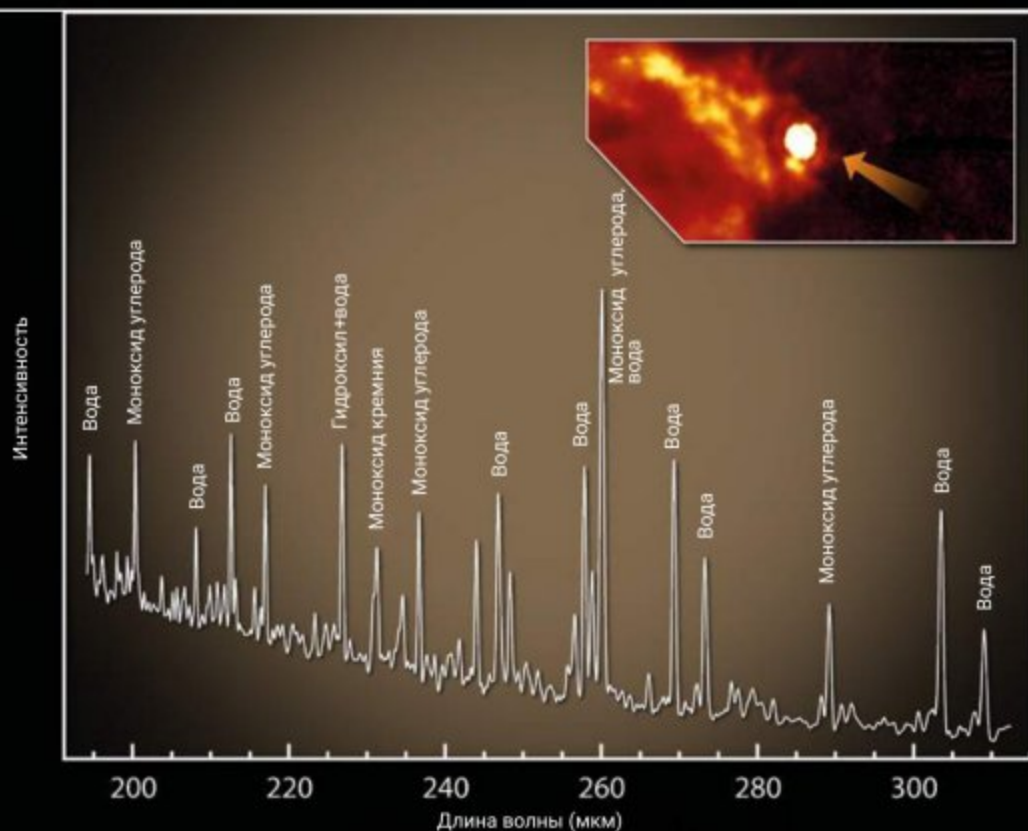
Таким образом, с помощью современных наблюдательных средств мы можем проследить, как образуют-

ся тяжелые элементы, и обнаружить места в нашей Галактике, где старые звезды выбрасывают отработанные материалы для использования следующими поколениями светил.

В астрономии принято говорить, что взгляд во Вселенную — это взгляд в прошлое, поскольку свету от далеких галактик требуется много времени на то, чтобы добраться до нас. Но я хочу отметить, что заглянуть в прошлое можно и с помощью изучения ископаемых материалов на Земле. Исследуя их, мы можем проследить, как вскоре после завершения Тяжелой Бомбардировки астероидами и кометами на нашей планете возникла

► Звезда VY Большого Пса считается самым крупным звездоподобным объектом Млечного Пути из уже открытых. Согласно последним оценкам, она в 30-40 раз тяжелее Солнца, а по размерам превосходит его в 2000 раз, то есть, оказавшись в центре Солнечной системы, эта звезда поглотила бы все планеты вплоть до Сатурна. На врезке показан ее снимок, сделанный с помощью прибора SPIRE космического телескопа Herschel, а также полученный им спектр, в котором можно идентифицировать линии множества молекул, содержащихся в звездной атмосфере.

Светимость VY Большого Пса в полмиллиона раз превышает светимость Солнца (ее относят к классу красных сверхгигантов), но, поскольку она находится от нас очень далеко, ее невозможно увидеть невооруженным глазом. Срок активного существования таких объектов не превышает пары десятков миллионов лет. Часть синтезированных в недрах звезды химических элементов и их соединений попадает в окружающее пространство еще при ее «жизни» — вместе со сбрасываемой ею внешней оболочкой и постоянно испускаемым мощным звездным ветром.



◀ Рентгеновский спектр остатка Сверхновой Тихо (она вспыхнула в 1572 г. и позже была отнесена к типу Ia), полученный европейским спутником XMM-Newton. Отмечены линии излучения отдельных элементов, синтезированных в звездных недрах и выброшенных в межзвездное пространство.

примитивная жизнь, внутриклеточный механизм постепенно становился все более сложным, потом отдельные клетки начали объединяться в многоклеточные организмы, а со временем появились формы жизни, напоминающие современные.

Конечно, это лишь несколько способов, с помощью которых мы пытаемся восстановить события, происшедшие после Большого Взрыва, но они в значительной степени помогают нам объяснить, как возникло наше привычное окружение: откуда появились все элементы, как стало возможным формирование новых поколений звезд, планет, возникновение подхо-

дящих условий для жизни. Конечно, это не универсальные ответы. Структура и химический состав различных планет могут сильно отличаться друг от друга: например, у одних ядро уже остыло, а у других — все еще раскалено. Возможно, если бы условия на Земле были более благоприятными, жизнь могла бы появиться и развиваться намного быстрее. Однако основополагающим фактом остается то, что все элементы, входящие в состав и необходимые для живых организмов, возникли в результате Большого Взрыва и жизнедеятельности предшествующих поколений звезд.

Несомненно, со времен Большого

Взрыва произошло множество событий, представляющих научный интерес, но я специализируюсь на изучении процессов, имевших место в первые три минуты существования нашей Вселенной: от образования протонов и нейтронов до формирования первых атомных ядер. Далее из этой первичной материи сформировались атомы, самое раннее поколение звезд и первые галактики. И хотя современная химия не занимается превращением железа в золото, можно сказать, что, узнав о происхождении элементов, мы раскрыли секрет алхимии Вселенной. ■

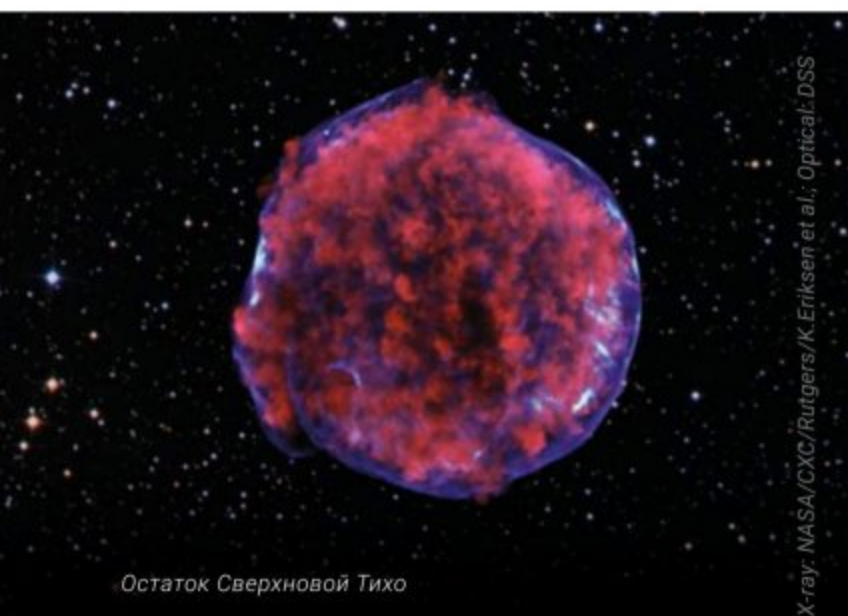
«ЗВЕЗДНЫЕ ФАБРИКИ» ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Одна из самых известных фраз Карла Сагана гласит, что все мы сделаны из звездной пыли. На самом деле это не художественное преувеличение: фраза весьма неплохо описывает реальную картину. Все элементы тяжелее бериллия во Вселенной образовались в результате различных процессов, так или иначе связанных с эволюцией звезд или их производных.

Значительный вклад в производство тяжелых элементов внесли сверхновые. Их по праву можно назвать

«звездными фабриками». Вещество, выбрасываемое ими в окружающее пространство, сделало возможным формирование каменных тел, в том числе и нашей Земли.

Современные телескопы, ведущие наблюдения практически во всех диапазонах электромагнитного спектра, открыли перед нами невероятное разнообразие остатков сверхновых и позволили увидеть процесс разлета выброшенного при их взрывах вещества во всем его великолепии.



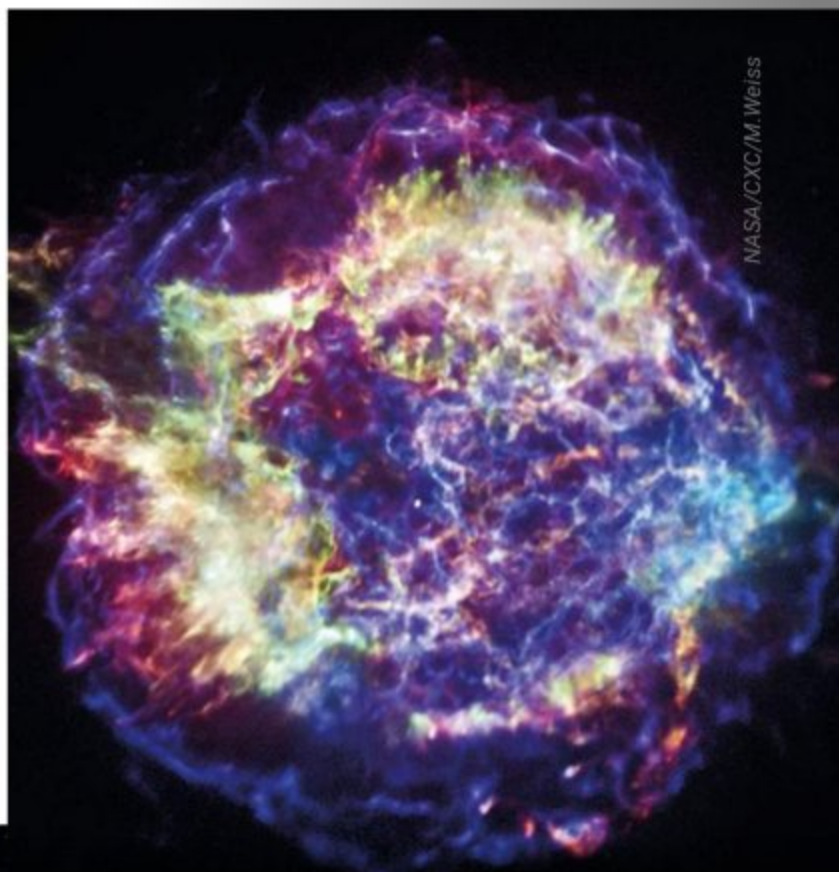
Остаток Сверхновой Тихо

Остаток Сверхновой Тихо,

получившей свое название в честь великого датского астронома Тихо Браге (Tycho Brahe) — именно он 6 ноября 1572 г. заметил появление на небе новой яркой звезды и внес значительный вклад в ее изучение. Этот день считается концом представлений о вечности и неизменности «сферы неподвижных звезд».

Представленный снимок получен рент-

геновским телескопом Chandra. Красным цветом обозначено излучение низкоэнергетической части диапазона, наблюдаемого этим инструментом. Его испускает вещество, выброшенное во время взрыва. Голубым цветом показаны рентгеновские фотоны высоких энергий. Они соответствуют ударной волне, насыщенной высокоэнергетическими электронами, и образуют необычный узор, состоящий из полос. Подобные структуры ранее не наблюдались в других остатках сверхновых.



NASA/CXC/M. Weiss

Остаток Сверхновой Кассиопея А

Кассиопея А —

наиболее мощный радиоисточник земного неба (не считая Солнца), открытый в 1948 г. Два года спустя в той же точке небесной сферы удалось идентифицировать слабую туманность, после чего астрономам стало ясно, что они имеют дело с остатком Сверхновой, вспышка которой должна была наблюдаться во второй половине XVII века. Тем не менее, несмотря на ее благоприятное расположение для жителей Северного полушария, никто из ученых того времени никакой подобной вспышки не видел (во всяком случае, достоверные сообщения об этом отсутствуют). Возможно, это связано с большим количеством пыли, выброшенной при взрыве звезды и поглотившей излучение оптического диапазона.

Приведенное изображение составлено на основе данных, полученных при фотографировании в видимом свете телескопом Hubble (золотистый условный цвет), и снимков рентгеновского телескопа Chandra (красный, зеленый, голубой цвета). На врезке показана предполагаемая структура нейтронной звезды, расположенной в центре остатка.

Нейтронные звезды являются самыми плотными материальными объектами Вселенной. По мере погружения к центру их плотность увеличивается. Оранжевым цветом на схеме обозначена кора, красным — ядро, вероятно, состоящее из твердой внешней оболочки и сердцевины, вещество в которой пребывает в «сверхтекучем» состоянии.

Остаток Сверхновой N49

находится в Большом Магеллановом Облаке, на расстоянии около 160 тыс. световых лет. Иногда его образно называют «космической пулей». Это связано с тем, что на сним-

ках, сделанных рентгеновским телескопом Chandra, астрономы идентифицировали объект, движущийся со скоростью около 1400 км/с от расположенного в центре N49 мощного источника рентгеновского и гамма-излучения, по всей видимости, представляющего собой нейтронную звезду.

Остаток Сверхновой N 49

Точечный источник

«Пуля»

X-ray: (NASA/CXC/Ames/Chandra), Optical: NASA/STScI/ UIUC/Y.H.Chou & R. Williams et al.

NASA/CXC/Rutgers/J.Hughes et al.

Остаток Сверхновой SN 1006

Остаток Сверхновой SN 1006

удален от нас на 7100 световых лет. Она наблюдалась на земном небе китайскими

и арабскими астрономами в 1006 г. Согласно летописям, звезда светила столь ярко, что ночью в ее сиянии были хорошо различимы предметы. Некоторые внимательные астрономы сумели разглядеть ее в дневное время.

Остаток Сверхновой в соседней галактике

X-ray: (NASA/CXC/MIT/D.Dewey et al. & NASA/CXC/SAO/J.DePasquale), Optical: (NASA/STScI)

В честь 10-летия начала своей работы на околоземной орбите космический телескоп Chandra сфотографировал один из наиболее удаленных из всех известных остатков сверхновых — **1E 0102.2-7219**

в Малом Магеллановом Облаке (расстояние до него оценивается в 190 тыс. световых лет). Здесь его рентгеновский снимок представлен наложенным на изображение в оптическом диапазоне, полученное орбитальной обсерваторией Hubble.

Остаток Сверхновой IC 443

NASA/DOE/Fermi LAT Collaboration, Fermi Bessh and John Fox/Adqm Block, NOAA/AURA/NSF, JPL-Caltech/UCLA

Остаток Сверхновой IC 443,

также известный как туманность «Медуза», расположен на расстоянии 5 тыс. световых лет от Солнца. Данное изображение составлено по результатам съемки орбитальной гамма-обсерватории Fermi (пурпурный условный цвет) и инфра-

красного телескопа WISE (синий цвет соответствует излучению с длиной волны 3,4 мкм, голубой — 4,6 мкм, зеленый — 12 мкм, красный — 22 мкм); желтый цвет отображает видимый диапазон. Голубые петли указывают на регионы, где вещество, выброшенное при взрыве сверхновой, взаимодействует с плотными облаками межзвездного газа.

Мистерии звездных останков

История проблемы

Первый пульсар открыла в середине 1967 г. Джослин Белл (Jocelyn Bell Burnell) — студентка кембриджского Колледжа Мюррея Эдвардса. Радиопульсы, приходящие из одной и той же точки небесной сферы с почти идеальной периодичностью, поначалу посчитали сигналами от внеземной цивилизации. Когда таких «звездных маяков» открыли достаточно много, астрономы поняли, что имеют дело с неизвестным физическим феноменом, не имеющим отношения к «братьям по разуму».

В том же 1967 г. итальянский астроном Франко Пачини (Franco Pacini) предложил интересную интерпретацию теоретической модели так называемой нейтронной звезды — объекта, сжатого своей гравитацией до такой степени, что практически все электроны в слагающих его атомах «упали» на протоны с образованием нейтронов. Такой сценарий описали еще в 30-е годы Вальтер Бааде и Фриц Цвикки (Walter Baade, Fritz Zwicky). По закону сохранения момента импульса при сжатии от размеров, во много раз превышающих диаметр Солнца, до сферы радиусом 10-15 км скорость

На этом изображении окрестностей пульсара PSR B1509-58 результаты съемки в рентгеновском диапазоне, проведенной в 2009 г. телескопом Chandra, показаны оранжевым цветом и наложены на более поздний снимок инфракрасного орбитального телескопа WISE (Wide-field Infrared Survey Explorer) — различным участкам ИК-спектра в нем соответствуют условные красный, зеленый и голубой цвета. Пульсар, находящийся в южном созвездии Циркуля на расстоянии 17 тыс. световых лет, получил неофициальное название «Рука Бога»: на более детальных рентгеновских снимках многие исследователи рассмотрели структуру, напоминающую кисть человеческой руки.



NASA/CXC/SAO/P. Slane, et al.

«Рука Бога» — облако горячего газа необычной структуры размером около 150 световых лет, окружающее пульсар PSR B1509-58 (яркий сгусток в нижней части снимка) и нагревающееся благодаря взаимодействию с его высокоэнергетическим излучением. Приведенное изображение получено американским рентгеновским телескопом Chandra. Диаметр PSR B1509-58 оценивается в 20 км, его возраст составляет около 2700 лет — это один из наиболее молодых известных пульсаров.

вращения образовавшегося тела должна получиться просто гигантской — до нескольких сотен оборотов в секунду. Как показал Франко Пачини, если исходным телом, подвергшемся сжатию, была звезда — значит, она обладала магнитным полем, которое также должно сохраниться и вдобавок стать в миллионы раз мощнее. У полюсов такого «сверхплотного магнита» будут расположены своеобразные «горячие пятна», излучающие в широком спектральном диапазоне. Когда

в результате вращения одно из таких пятен окажется повернутым в сторону наземных наблюдателей, они увидят вспышку или зарегистрируют радиоимпульс. Свойства объекта, открытого Джослин Белл, полностью подходили под такое описание. Позже он и его аналоги получили название пульсаров.

К настоящему времени число открытых пульсаров превысило 1800, причем два из них удалось обнаружить в других галактиках (Большом Магеллановом Облаке и Туманности Андромеды). Выяснилось, что они отличаются большим разнообразием: их периоды лежат в диапазоне от 1,4 миллисекунд до 8,5 секунд, у некоторых объектов они меняются, а часть из них иногда на время перестает пульсировать. Всем этим феноменам ученые пытаются найти объяснения. Осенью 1991 г. у пульсара PSR B1257+12 по изменению частоты его импульсов были выявлены планетоподобные спутники, ставшие первыми подтвержденными планетами за пределами Солнечной системы.

В поисках сверхплотного вещества

Пульсары представляют огромный интерес для ученых, поскольку материя в них находится в таких условиях и форме, которые не могут быть получены в земных лабораториях (во всяком случае, современные технологии нам точно этого не позволяют). Их изучение может предоставить нам много интересной информации о свойствах элементарных частиц, а также о возникновении и эволюции Вселенной. К сожалению, все методы их исследований пока сводятся к астрономическим наблюдениям в различных спектральных диапазонах. Ближайший пульсар, имеющий обозначение J0437-4715, находится от нас на расстоянии 512 световых лет. И именно с его помощью астрономы надеются решить одну из самых сложных проблем астрофизики.

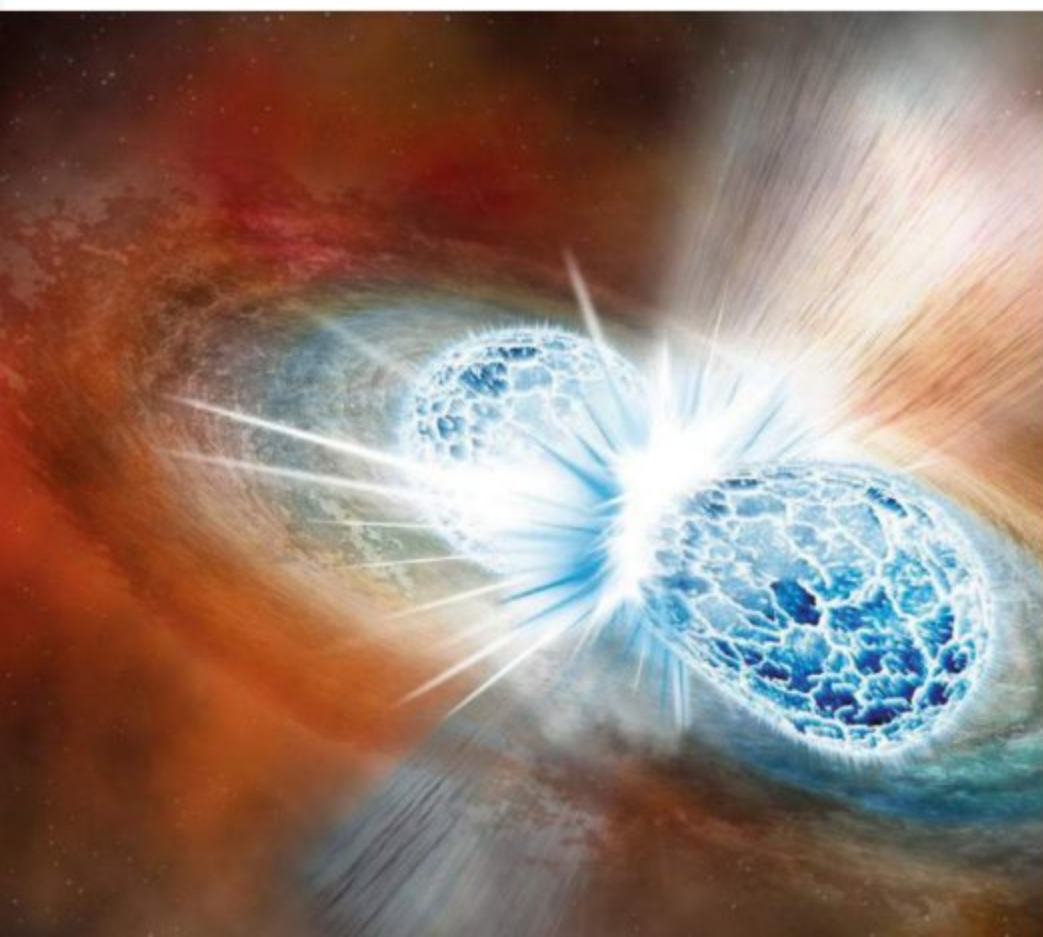
NASA/CXC/SAO: X-ray; NASA/JPL-Caltech: Infrared



Нейтронная звезда со сверхмощным магнитным полем в представлении художника. Сверху и снизу видны «горячие пятна».

Как уже упоминалось, пульсары испускают вспышки излучения в широком диапазоне спектра, в том числе в его высокоэнергетической части — рентгеновских и гамма-лучах. Их может зарегистрировать специальный рентгеновский телескоп NICER (Neutron star Interior Composition Explorer), установленный на внешней поверхности Международной космической станции. Он получает данные об энергии каждого фотона и о точном времени его «прибытия». После предварительной обработки этих наблюдений, которая, как ожидается, завершится летом текущего года, ученые смогут с хорошей точностью оценить диаметр пульсара. А это, как объяснила в своем выступлении на собрании Американского физического общества сотрудница Университета Альберты Шэрон Морсинк (Sharon Morsink, University of Alberta, Canada), даст нам возможность лучше понять, как ведет себя материя в экстремальных условиях нейтронной звезды.

«Существует множество различных методологий,



Слияние двух нейтронных звезд сопровождается мощным взрывом, для которого астрономы придумали название «килоновая». Предполагается, что в ходе таких событий синтезируются ядра тяжелых химических элементов, после чего они рассеиваются в космическом пространстве. В частности, таким путем возникла основная часть ядер тяжелее железа — селен (атомный номер 34), рутений (44), барий (56), неодим (60), эрбий (68), платина (78), золото (79). Позже все они участвуют в формировании новых поколений звезд и планет.

Элементы до железа включительно синтезируются при взрывах сверхновых (гравитационном коллапсе массивных звезд после полного истощения в их недрах термоядерного «горючего»), в результате которых и появляются нейтронные звезды. Иногда они образуются в двойных системах, после чего такая пара сверхплотных объектов на протяжении миллиардов лет обращается вокруг общего центра масс по медленно сокращающейся орбите, пока не столкнется, закончив свое существование вспышкой килоновой.

придуманных для того, чтобы выяснить, как вела бы себя сверхплотная материя, но все они плохо согласуются между собой, — объяснила ученоя, входящая в состав рабочей группы NASA по определению диаметров пульсаров. — И результаты этого несогласования могут быть проверены, потому что каждая методика предсказывает, насколько велика должна быть нейтронная звезда». В принципе, очевидно, что решение загадки сверхплотного вещества заключено внутри наиболее плотных объектов Вселенной. И раскрыть эту тайну мы не можем, пока не узнаем их точные размеры (а следовательно — и плотность).

Физика частиц в глубоком космосе

По словам одного из разработчиков телескопа NICER Завена Арзуманяна, нейтронные звезды — самые возмутительные объекты, о которых большинство людей никогда не слышали. Фактически они представляют собой остатки ядер массивных звезд, взорвавшихся как сверхновые после завершения в них реакций термоядерного синтеза и последующего гравитационного коллапса. Пока мы не видели вблизи ни одного подобного объекта и можем судить о них только по теоретическим расчетам, предсказывающим для них диаметр порядка 20 км. Когда астрономы получат возможность сравнить эти предсказания с результатами измерений реальных значений (для чего и создавался NICER), они смогут существенно сузить выбор теоретических моделей и получить представление о том, что происходит внутри пульсаров. Все, что нам известно на данный момент — это то, что материя ведет себя там очень странно.

Если размеры нейтронных звезд нам пока неизвестны, то массу некоторых из них удалось измерить с неплохой точностью. Например, масса J0437-4715 в 1,44 раза больше солнечной — это значит, что плотность пульсара заметно выше плотности атомного ядра, то есть он является самым плотным из всех известных материальных объектов.

При таких экстремальных плотностях материя ведет себя совершенно не так, как мы привыкли. Значительную роль в ее поведении играют уже не протоны и нейтроны, а кварки — крошечные частицы, из которых состоят и нейтроны, и протоны, и электроны. Кварки не могут существовать свободно, сами по себе: они всегда объединены в какую-то из элементарных частиц (состоящих из трех различных кварков каждая). Однако, когда вещество достигает экстремальных плотностей, они могут образовывать более крупные и сложные частицы или, возможно, переходить в совсем уже загадочную форму — «кварковый суп». Все эти варианты, так или иначе, будут отражаться на плотности пульсаров, а значит — и на их размерах. Вот почему их желательно измерить с как можно лучшей точностью. Исследования нейтронных звезд имеют и вполне земное применение: в частности, их результаты помогут выяснить, как отдельные нейтроны располагаются в ядрах атомов элементов конца периодической таблицы, что важно для ядерной физики и энергетики.

Что измеряет NICER

Большинство нейтронных звезд, по словам Шэрон Морсинк, имеет диаметр от 20 до 28 км, хотя, по всей видимости, существуют и «мелкие» экземпляры — раз-



▼ Компьютерная симуляция внешнего вида телескопа NICER, установленного на внешней поверхности Международной космической станции (его фотографии после установки пока не имеется). Телескоп представляет собой кубическую конструкцию левее центра изображения, на передней поверхности которой расположены цилиндрические структуры, служащие для фокусировки рентгеновских лучей на детекторах.

Нейтронная звезда в разрезе

С помощью рентгеновской спектроскопии специалисты NASA хотят получить информацию о внутреннем строении нейтронных звезд — самых плотных объектов Вселенной

Внешняя кора

атомные ядра, свободные электроны

Внутренняя кора

тяжелые атомные ядра, свободные нейтроны и электроны

Внешнее ядро

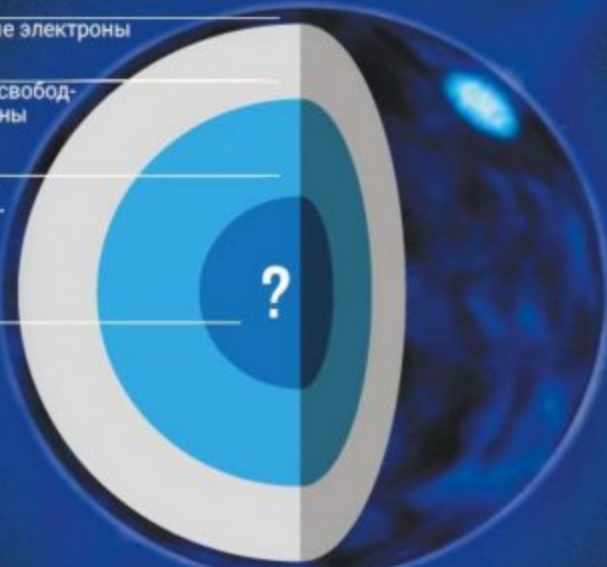
«квантовая жидкость» — фактически смесь протонов, нейтронов и электронов

Внутреннее ядро

неизвестное сверхплотное состояние материи (при котором элементарные частицы, возможно, распадаются на составляющие их кварки либо переходят в форму т.н. гиперонов)

Атмосфера

водород, гелий, углерод



Пучки рентгеновских лучей, испускаемые из магнитных полюсов нейтронной звезды и вращающиеся вместе с ней

NATURE

мером до 16 км. Это очень узкий диапазон с точки зрения астрономии... но, тем не менее, он недостаточно узок, чтобы получить ответы на вопросы, которые интересуют астрофизиков. Для более детальной информации они изучают рентгеновские лучи, исходящие от быстро вращающихся «горячих точек» на поверхностях пульсаров. Хотя последние и являются невероятно компактными и, по-видимому, почти однородными сферами, их магнитные поля вызывают вытеснение энергии из недр к верхним слоям. С помощью телескопа NICER группа Морсинк собирается изучить две вещи. Во-первых, точно измерив период пульсаций, а также форму импульсов, ученые хотят определить скорость вращения их источников. Не исключено, что им удастся даже зарегистрировать доплеровский сдвиг линий излучения, вызванный приближением и удалением яркого пятна. Во-вторых, грандиозные массы нейтронных звезд обязаны вызывать релятивистские эффекты в их окрестностях — в частности, наблюдатели надеются обнаружить вы-

сокоэнергетические фотоны, излученные в то время, когда «горячая точка» повернута в сторону, противоположную направлению на Землю, путь которых оказался изогнут мощной гравитацией сверхплотного объекта. Количество таких фотонов также поможет уточнить радиус пульсара.

Исследования с помощью телескопа NICER ведутся уже почти год (он был установлен на МКС в июне 2017 г.), и рабочая группа прибора близка к публикации своих результатов. По крайней мере, такое обещание озвучила Шэрон Морсинк членам Американского физического общества, объяснив, что для лучшей достоверности необходимо набрать статистику по как можно большему числу фотонов. Сейчас команда специалистов приступает к изучению следующего по удаленности пульсара, находящегося от Солнечной системы почти вдвое дальше, чем J0437-4715. Предварительные данные об этом объекте уже имеются, и, возможно, уже к концу лета мы будем знать точные радиусы двух ближайших нейтронных звезд.

«БЕЛЫЕ ДЫРЫ» -

ВОЗМОЖНЫЙ КОМПОНЕНТ ТЕМНОЙ МАТЕРИИ?

В математических уравнениях, описывающих нашу Вселенную, она выглядит идеально симметричной: каждой частице должна соответствовать античастица, а «стрела времени» может быть направлена как в прошлое, так и в будущее. На практике все оказывается немного сложнее — начиная хотя бы с подавляющего преобладания вещества над антивеществом и упрямой «однаправленности» течения времени. Многие из этих несоответствий

ученые пока не смогли убедительно объяснить... но именно такие парадоксы и служат лучшим стимулом для развития науки.

Похожий случай произошел с теоретической противоположностью и без того загадочных черных дыр — так называемыми «белыми дырами». Эти объекты также имеют горизонт событий сферической формы, внутрь которого ничто не может проникнуть — ни материя, ни излучение (в противоположность черным ды-

рам, гравитация которых настолько мощная, что из них ничто не может вырваться). Они предсказываются вычислениями, однако достоверно подтвердить их существование пока не удалось. По внешнему виду они должны быть похожи на очень яркие звезды со своеобразным спектром. Согласно современным представлениям, черные и белые дыры могут быть связаны: материя и энергия, «проваливающиеся» в черную дыру, потенциально могут извергать-

ся из белой дыры либо где-то в далеком космосе, либо вообще в другой вселенной. Некоторые исследователи считают, что сразу после рождения белые дыры распадаются в ходе процесса, напоминающего Большой Взрыв (для него придумали название «Малый Взрыв» — Small Bang).

В 1970-х годах британский астрофизик Стивен Хокинг (Stephen Hawking) высказал предположение о том, что черные дыры должны медленно «испаряться», преобразуя

свою массу в излучение. Некоторые из них могут терять больше массы, чем получают извне — такие объекты, в конечном счете, спустя достаточно большое время просто исчезнут. В 2014 г. Карло Ровелли, физик-теоретик из Экс-Марсельского университета во Франции (Carlo Rovelli, Aix-Marseille Université), и его коллеги предположили, что черные и белые дыры могут

быть связаны еще и таким способом: когда черные дыры «умирают» — они становятся белыми. Более того: образовавшиеся таким или иным способом белые дыры, теоретически являющиеся точными противоположностями черных, потенциально способны составлять значительную часть таинственной темной материи, которая никак не проявляет себя

▼ На этом снимке, полученном космическим телескопом Hubble, запечатлено богатое галактическое скопление Abell 3827. Необычные голубоватые структуры, окружающие центральные галактики — гравитационно-линзированное изображение значительно более удаленного объекта, находящегося за скоплением. Наблюдения четырех сливающихся галактик, расположенных в центре снимка, свидетельствуют о том, что темная материя вокруг одной из них не движется вместе с этой галактикой, что может указывать на наличие взаимодействий неизвестной природы с участием невидимой материи (ее распределение приблизительно показано синими контурными линиями).



посредством электромагнитного излучения, однако на нее приходится примерно три четверти всей гравитирующей массы Вселенной.

Одной из самых важных (и сложных) задач современной физики считается объединение Общей теории относительности, объясняющей механизм действия гравитации, с квантовой теорией, описывающей поведение элементарных частиц. В последней пространство и время квантуются, то есть состоят из квантов — неделимых «ячеек» ненулевой протяженности. Как установила группа Ровелли, в таком пространстве испаряющиеся черные дыры исчезнуть не могут, поскольку иначе должен был бы неизбежно наступать момент, когда их размеры становились бы меньше одной такой «ячейки». Вместо этого на определенной стадии «испарения» они должны превращаться в белые дыры — по крайней мере, так показывают вычисления ученых, выполненные в 2014 г. Согласно их оценкам, чтобы «дожить» до такого превращения, черной дыре, по массе равной Солнцу, потребуется огромное количество времени — в квадриллион (10^{15}) раз больше текущего возраста Вселенной.

В наши дни черные дыры образуются при гравитационном коллапсе остатков сверхмассивных звезд после того, как они исчерпали все свое термоядерное «горючее» (такие процессы сопровождаются грандиозными взрывами, наблюдаемыми как вспышки сверхновых). Однако ранее Стивен Хокинг предсказал возможность существования

другого класса этих объектов — так называемых «первичных черных дыр», возникших в течение секунды после Большого Взрыва из-за случайных колебаний плотности в горячей, быстро расширяющейся новорожденной Вселенной. Им для полного испарения и превращения в белую дыру нужно значительно меньше времени. И вот именно они, как предполагает Ровелли и соавтор исследования Франческа

ЧЕРНАЯ ДЫРА

Горизонт событий

(невозможно вырваться наружу)

Сингулярность

Горизонт событий

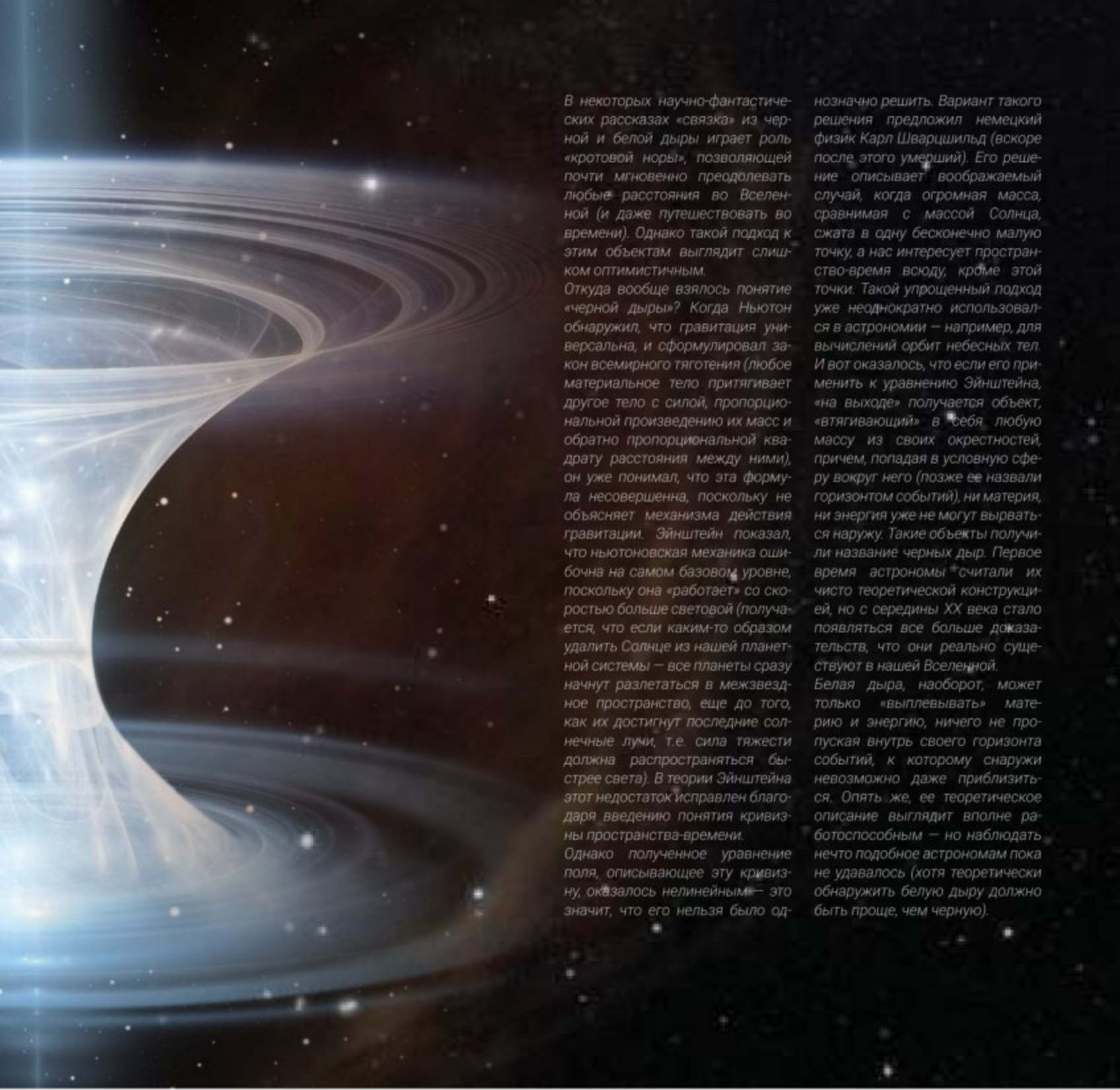
(невозможно проникнуть внутрь)

БЕЛАЯ ДЫРА

Видотто из Университета Страны Басков в Испании (Francesca Vidotto, Universidad del País Vasco, Bilbao), могут составлять заметную часть загадочной темной материи.

Дело в том, что белые дыры, как и черные, по сути, представляют собой концентрации большой массы в сравнительно малом объеме. Даже имея микроскопические размеры, они все равно могут быть довольно массивными: объект размером

с песчинку должен быть тяжелее нашей Луны. Их излучение при этом будет сравнительно слабым. Локальная плотность темной материи в окрестностях Солнца, рассчитанная по скоростям движения близлежащих звезд, составляет около одного процента солнечной массы на кубический парсек (или порядка 0,03% солнечной массы на кубический световой год). Чтобы обеспечить такую плотность только



В некоторых научно-фантастических рассказах «связка» из черной и белой дыры играет роль «кротовой норы», позволяющей почти мгновенно преодолевать любые расстояния во Вселенной (и даже путешествовать во времени). Однако такой подход к этим объектам выглядит слишком оптимистичным.

Откуда вообще взялось понятие «черной дыры»? Когда Ньютон обнаружил, что гравитация универсальна, и сформулировал закон всемирного тяготения (любое материальное тело притягивает другое тело с силой, пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними), он уже понимал, что эта формула несовершенна, поскольку не объясняет механизма действия гравитации. Эйнштейн показал, что ньютоновская механика ошибочна на самом базовом уровне, поскольку она «работает» со скоростью больше световой (получается, что если каким-то образом удалить Солнце из нашей планетной системы — все планеты сразу начнут разлетаться в межзвездное пространство, еще до того, как их достигнут последние солнечные лучи, т.е. сила тяжести должна распространяться быстрее света). В теории Эйнштейна этот недостаток исправлен благодаря введению понятия кривизны пространства-времени.

Однако полученное уравнение поля, описывающее эту кривизну, оказалось нелинейным — это значит, что его нельзя было од-

нозначно решить. Вариант такого решения предложил немецкий физик Карл Шварцшильд (вскоре после этого умерший). Его решение описывает воображаемый случай, когда огромная масса, сравнимая с массой Солнца, сжата в одну бесконечно малую точку, а нас интересует пространство-время всюду, кроме этой точки. Такой упрощенный подход уже неоднократно использовался в астрономии — например, для вычисления орбит небесных тел. И вот оказалось, что если его применить к уравнению Эйнштейна, «на выходе» получается объект, «втягивающий» в себя любую массу из своих окрестностей, причем, попадая в условную сферу вокруг него (позже ее назвали горизонтом событий), ни материя, ни энергия уже не могут вырваться наружу. Такие объекты получили название черных дыр. Первое время астрономы считали их чисто теоретической конструкцией, но с середины XX века стало появляться все больше доказательств, что они реально существуют в нашей Вселенной.

Белая дыра, наоборот, может только «выплывать» материю и энергию, ничего не пропуская внутрь своего горизонта событий, к которому снаружи невозможно даже приблизиться. Опять же, ее теоретическое описание выглядит вполне работоспособным — но наблюдать нечто подобное астрономам пока не удавалось (хотя теоретически обнаружить белую дыру должно быть проще, чем черную).

за счет белых дыр, достаточно одного подобного объекта массой в миллионную долю грамма на 10 тыс. кубических километров. По размеру такая «кроха» окажется меньше протона — это на порядки меньше длины волны даже самого высокоэнергетического гамма-излучения, поэтому для современных приборов они остаются невидимыми.

Что будет, если такая белая дыра случайно

столкнется с частицей обычного вещества (с тем же протоном)? Она просто «отскочит» от него, слегка изменив его скорость и траекторию. Однако такие события крайне маловероятны. Зарегистрировать этот тип темной материи можно только при ее взаимодействии со сверхплотными объектами — например, с нейтронными звездами — либо же с «нормальными» черными

дырами. Но такие эксперименты современная наука по понятным причинам поставить не может.

Сколь экзотической ни казалась бы идея невидимых микроскопических белых дыр, странствующих по Вселенной с момента ее рождения, группа Ровелли далее пришла к еще более удивительным выводам. Оказалось, что некоторые белые дыры могли существовать... еще до Большого Взрыва!

Теперь ученые сосредоточили свои теоретические исследования на вопросе, каким образом эти загадочные объекты (возможно, «доставшиеся по наследству» от некоей предыдущей вселенной) повлияли на эволюцию нашего мира. Не исключено, что эти исследования помогут объяснить многие загадки «асимметричности» нашей Вселенной — например, почему время в ней течет только в одном направлении.

GAIA

Обозревая просторы
Галактики**Владимир
Решетник**

кандидат физ.-мат. наук, доцент
кафедры астрономии и физики
космоса Киевского националь-
ного университета имени Тара-
са Шевченко

**Владимир Николаевич Решетник**

Родился в Киеве в 1981 г. В 2001 г. окончил физический факультет Киевского национального университета им. Тараса Шевченко, там же в 2006 г. защитил диссертацию кандидата физико-математических наук. После окончания аспирантуры остался работать на кафедре астрономии и физики космоса КНУ (с 2013 г. — доцент кафедры). Является членом жюри всеукраинских и международных олимпиад по астрономии и астрофизике, участник предметной комиссии и жюри Малой академии наук, Член Международного астрономического союза. Активно сотрудничает с Главной астрономической обсерваторией НАН Украины, Институтом космических исследований ГКАУ и НАНУ, Международным центром астрономических и медико-экологических исследований на пике Терскол (Кавказ). Автор более сотни научных публикаций. Область научных интересов связана с астрофотометрией, исследованием оптических транзиентов, физикой малых тел Солнечной системы и моделированием процессов в ядрах комет.

Изображение небесной сферы, составленное по данным нового обзора Gaia. Главная плоскость Млечного Пути расположена горизонтально. Вблизи нее хорошо заметны темные пылевые облака, поглощающие значительную часть видимого света. Верхний и нижний края соответствуют северному и южному галактическим полюсам (где видимая плотность звезд минимальна). Два отдельных туманных сгустка справа внизу — Большое и Малое Магеллановы Облака, ближайšie к нам сравнительно крупные галактики. При большем увеличении становятся видны и другие туманные объекты — в основном это шаровые звездные скопления, с трудом разрешаемые на отдельные звезды, а также галактики Туманность Андромеды (M31) и Туманность Треугольника (M33).

При построении изображения в основном использована информация о положении, блеске и цвете свыше 1,7 млрд звезд, полученная астрометрическим телескопом Gaia с июня 2014 г. по май 2016 г.



ESA/Gaia/DPAC

Прошлое и настоящее астрометрии

Наши представления о мироздании менялись в зависимости от того, насколько детально было изучено ночное небо. В древности, когда наблюдения звезд велись только невооруженным глазом, они казались неподвижными и равноудаленными, как будто прикрепленными к огромной прозрачной сфере. Ее так и называли — «сфера неподвижных

звезд». Тем не менее, отдельные ученые предпринимали робкие попытки хотя бы пересчитать это звездное величие. Одним из них был древнегреческий астроном Гиппарх Никейский. Его главная заслуга заключается в том, что он не просто вел подсчеты количества звезд, но и с максимальной доступной в его время точностью «зафиксировал» их положение на небе в использовавшейся тогда эклиптической системе координат. Вдобавок он предложил все видимые звезды поделить на

шесть групп в соответствии с их блеском: самым ярким ученый присвоил первую величину, а самым слабым (на пределе видимости глазом) — шестую.

Научный подвиг Гиппарха по достоинству оценили его потомки 1800 лет спустя. В начале XVIII века знаменитый английский астроном Эдмунд Галлей (Edmund Halley) обратил внимание на то, что положения на небе трех ярких звезд — Сириуса, Арктура и Альдебарана — заметно отличаются от тех, которые в свое время измерил его древнегрече-

ский коллега, при том, что остальные объекты в пределах точности измерений остались примерно «на своих местах». Галлей высказал догадку, что «сдвинувшиеся» звезды — не просто яркие, но и достаточно близкие к Солнцу, благодаря чему их движение мы видим более выразительно. Но если предположить, что относительные скорости этих звезд сравнимы со скоростями планет относительно Земли (а в среднем примерно так оно и оказалось) — это значит, что расстояния до них в сотни тысяч и даже миллионы раз больше!

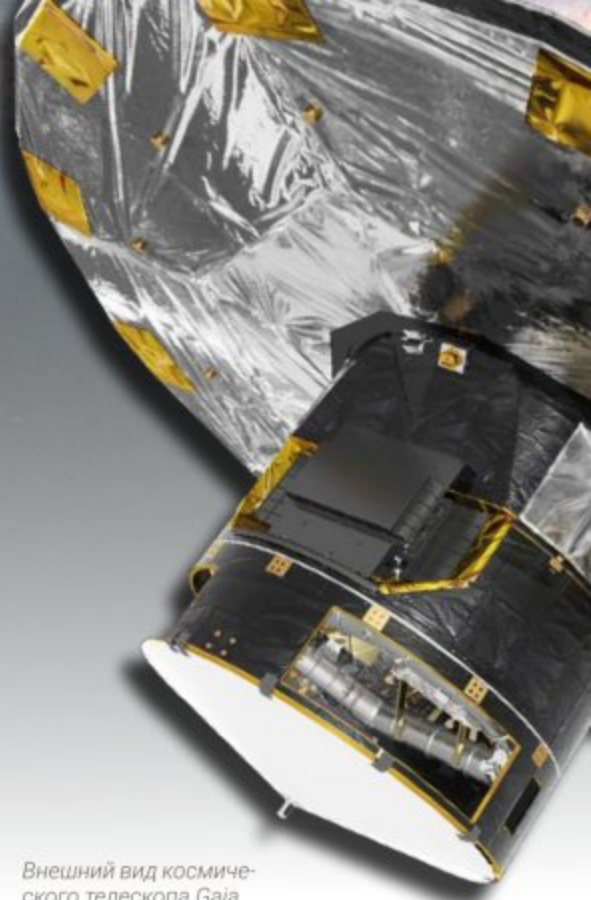
Впервые измерить межзвездные расстояния смог уже в XIX веке немецкий ученый Фридрих Бессель (Friedrich Wilhelm Bessel), который исследовал слабую двойную звезду в созвездии Лебедя, даже не имевшую традиционного греческого обозначения (до сих пор чаще всего используется ее порядковый номер — 61 Лебедя). Она также из года в год довольно быстро смещалась на фоне еще более слабых звезд, двигаясь не по прямой, а по извилистой линии с периодом отклонений, равным одному земному году. Астрономы поняли, что эти отклонения связаны с обращением нашей планеты вокруг Солнца и отображают годичный параллакс звезды — величину, позволяющую с помощью простых тригонометрических формул вычислить расстояние до нее. По оценкам Бесселя, оно оказалось чуть больше десяти световых лет, что не так уж сильно отличается от современного значения (11,4 светового года). Это открытие, благодаря которому человечество начало осознавать истинные масштабы Вселенной, также стало возможным благодаря совершенствованию техники астрономических измерений.

Как уже было сказано, без помощи оптических инструментов мы можем увидеть звезды примерно до 6-й величины. Любуясь вдаль от городской засветки звездным небом, можно подумать, что таких светил, по крайней мере, не меньше, чем песчинок на пляже, но на самом деле последних значительно больше (число звезд, видимых невооруженным глазом на всей небесной сфере — порядка 8 тыс.). С появлением телескопа стало ясно,

что существуют и более слабые объекты, очевидно, гораздо более многочисленные. Им присвоили значения блеска свыше 6. Мощнейшие современные инструменты позволяют увидеть звезды примерно до 30-й величины.

Однако профессиональных астрономов давно уже интересует не количество звезд, а их точное положение на небе и его изменение со временем. Абсолютное большинство их «проживает» в огромных гравитационно-связанных системах, получивших название галактик. Мы живем в одной из таких систем, известной под названием Млечный Путь (или Галактика с большой буквы). По оценкам астрономов, в ней содержится около 200 млрд звезд. Свыше 70% от этого числа — сравнительно тусклые и маленькие красные карлики, значительно более слабые, чем наше Солнце: даже в большие телескопы мы можем наблюдать подобные звезды только в непосредственной близости, в радиусе нескольких сотен световых лет. Изредка встречаются и огромные яркие светила. Такие объекты хорошо видны с больших расстояний. Между прочим, большинство звезд, видимых невооруженным глазом, значительно мощнее Солнца, в то время как из 70 ближайших звезд, расположенных от нас не более чем в 17 световых годах, без телескопа или бинокля мы можем увидеть только 9. Все это свидетельствует о том, что наши представления о Вселенной очень сильно зависят от результатов наших наблюдений.

Выше уже было описано, какую пользу могут принести науке систематическое изучение звездного неба и составление каталогов небесных объектов. Звездный каталог — фактически таблица со сведенными данными о звездах. В каталогах может указываться самая разнообразная информация: например, кроме координат, обычно приводится блеск, реже — спектр. Некоторые специализированные каталоги могут хранить сведения о физических свойствах звезд (их температуре, массе, размерах и многом другом). Упомянутый выше Гиппарх был одним из первых, кто составил звездный каталог на основании как собственных наблюдений, так и наблюдений своих пред-



Внешний вид космического телескопа Gaia

шественников. Позже этим знаниям нашлось и более «приземленное» применение: сейчас они используются для создания фундаментальной системы координат и службы времени — координаты на местности, время на часах и дата в календаре определяются по измерениям положений звезд на небе.

Со временем звездные каталоги становились все объемнее, их составление требовало огромной кропотливой работы и новых специальных астрономических инструментов. Изобретение телескопа совершило революцию в астрономии, позволив изучать более слабые звезды и определять их положение с намного большей точностью.

Однако уже в начале XX века ученые столкнулись с, казалось бы, неустранимым препятствием. Дело в том, что мы смотрим на небесные тела сквозь толщу земной атмосферы, которая никогда не бывает абсолютно стабильной: на разных высотах в ней постоянно дуют ветра и возникают прочие возмущения, влияющие на ход световых лучей и «размазывающие» изображения звезд в колеблющиеся пятнышки размером не менее одной десятой угловой секунды (как правило — заметно крупнее). Путем усреднения результатов большого количества наблюдений можно получить точность астрометрии порядка 0,01-0,02 угловой секунды, но для наземных инструментов это предел.



ESA/ATG mediatlab

стами Европейского космического агентства спутник HIPPARCOS (High Precision PARallax Collecting Satellite). Результатом четырех лет его работы стало создание каталога из 118 тыс. звезд с невероятной на тот момент точностью — погрешность в определении координат составила порядка 0,001 угловой секунды, что в десятки раз лучше любых предыдущих наземных измерений. С таким разрешением мы смогли бы разглядеть монетку на расстоянии тысячи километров.

Успех миссии HIPPARCOS сподвиг европейских ученых на создание нового уникального проекта, получившего название Gaia. Его главной задачей является определение координат объектов до 20-й звездной величины с точностью на порядок более высокой, чем в каталоге HIPPARCOS. Для звезд до 10-й величины погрешность измерения координат должна составить 10^{-5} угловой секунды, что соответствует видимому размеру монеты на Луне при наблюдении с Земли. С такой же точностью будут определены и параллаксы. После завершения миссии Gaia мы узнаем расстояние до всех ярких звезд нашей Галактики. Для слабых звезд указанные параметры измерить сложнее, по-

этому «сфера деятельности» телескопа в основном ограничивается тысячей световых лет от Солнца.

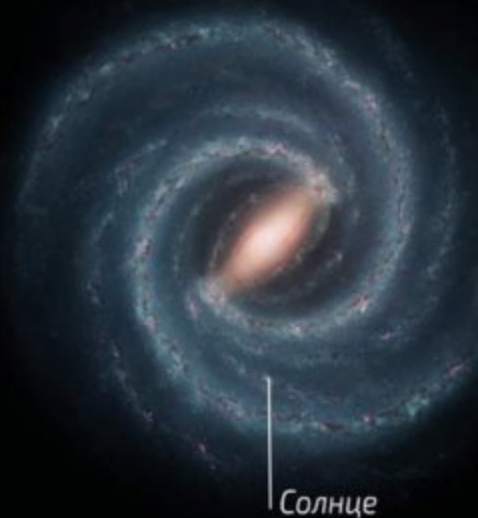
Все объекты в Галактике постоянно движутся: например, наше светило обращается вокруг центра Млечного Пути с линейной скоростью более 200 км/с. Как результат, звезды не находятся все время в одном положении на небе — они смещаются, или, как говорят астрономы, имеют собственные движения. Поэтому результатом миссии Gaia, кроме координат и параллаксов, будет и каталог собственных движений звезд. Точно измеряя их положения в разные моменты времени и зная расстояния до них, мы сможем вычислить проекцию их скоростей на небесную сферу. Чтобы определить направление движения звезды в трехмерном пространстве, не хватает только одного параметра — скорости ее приближения или удаления (так называемой лучевой или радиальной скорости). Для этого на борту Gaia установлен специальный спектрометр, который по смещению спектральных линий вследствие эффекта Доплера позволяет вычислить этот параметр. Правда, надежные измерения этот прибор

Проблема была решена с наступлением космической эры, когда астрономы получили возможность разместить телескопы за пределами атмосферы. 8 августа 1989 г. запущенная с космодрома Куру во Французской Гвиане ракета-носитель Ariane 4 вывела на вытянутую околоземную орбиту с апогеем 35,8 тыс. км созданный специали-

→ Современные представления о Млечном Пути

Находясь внутри галактики Млечный Путь, мы не можем увидеть ее со стороны. Здесь представлен возможный вид нашей звездной системы в представлении художника. Слева галактический диск изображен «плашмя», что дает возможность рассмотреть его спиральную структуру и центральную перемычку (бар), состоящую в основном из старых красных звезд. Такая перемычка имеется примерно у двух третей всех известных галактик. Положение Солнца указано приблизительно.

Справа — вид Млечного Пути с ребра (нечто подобное можно наблюдать на небе вблизи 30° ю.ш., когда галактический центр поднимается к зениту). Основная масса объектов Галактики заключена в главном диске толщиной примерно 700 световых лет, «вложенном» в более масштабную, но менее густонаселен-



ную структуру — ее толщина может достигать 3 тыс. световых лет.

Диаметр Галактики оценивается в 100 тыс. световых лет. Примерно такой же размер имеет галактическое гало — область сферической формы, заполненная разреженным газом и слабыми красными карликами, про-

странственная концентрация которых убывает от центра к периферии. В гало также содержится большинство шаровых звездных скоплений. Считается, что Млечный Путь, как и все прочие крупные галактики, окружает еще одно, вдвое большее гало, состоящее из невидимой темной материи.

esa

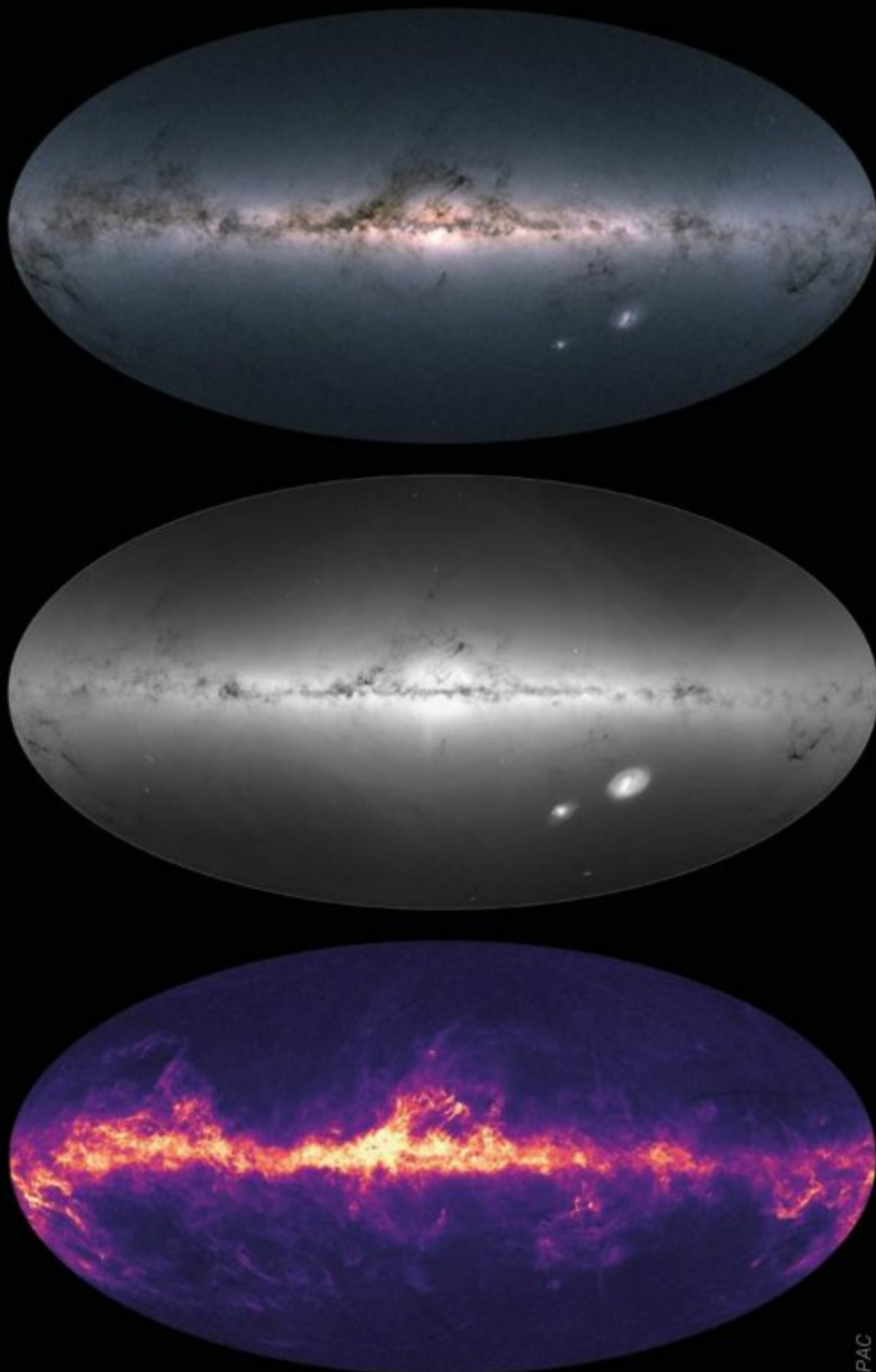
может выполнить только для относительно ярких звезд, для слабых лучевые скорости определить не удастся. Тем не менее, ожидаемое количество исследованных объектов должно превысить сотню миллионов — на два порядка больше, чем астрономы уже изучили. В качестве основной задачи миссии Gaia было заявлено определение точного положения и расстояния до более чем миллиарда звезд, что составляет около полупроцента всех звездобразных объектов Млечного Пути. В это число попадает большинство ярких и массивных светил нашей звездной системы и ближайших галактик (Большого и Малого Магеллановых Облаков), а также шаровые скопления в галактическом гало. Почти неохваченными остаются маленькие тусклые звезды типа красных карликов и объекты, находящиеся за большими темными пылевыми облаками, свет от которых не может быть зарегистрирован наблюдателями, находящимися в окрестностях Солнца.

Вдобавок новый телескоп должен измерить точные положения множества астероидов и кометных ядер, что позволит уточнить их орбиты и спрогнозировать вероятность их столкновения с Землей. Ожидается открытие тысяч малых тел Солнечной системы. Особенно интересуют астрономов представители группы Атиры. Траектории астероидов этой группы пролегают внутри земной орбиты, соответственно они всегда находятся ближе к Солнцу, чем наша планета. Такая конфигурация значительно усложняет их поиски и изучение с помощью наземных инструментов, поскольку большую часть времени они проводят на небе рядом с Солнцем и теряются в его лучах. Вместе с тем объекты этой группы являются потенциально опасными, поэтому детальные исследования эволюции их орбит в данном контексте очень важны.

Этапы миссии

Идея миссии Gaia появилась, как уже было сказано, после завершения проекта HIPPARCOS в 1993 г. Спустя семь лет она вошла в список программ Европейского космического агентства, а в 2006 г. были назначены основные испол-

→ ЧТО ИССЛЕДУЕТ ОБСЕРВАТОРИЯ GAIA?



ESA/Gaia/DPAC

Данные телескопа Gaia позволили получить детальную информацию о различных характеристиках «звездного населения» Млечного Пути и соседних галактик. Вверху — общая яркость и цвет звезд, в центре — их плотность на единицу площади небесной сферы, внизу — распределение межзвездной пыли, вычисленное по степени поглощения света удаленных объектов.

нители. Часто большим научным проектам требуются многие годы длительного и упорного труда для их осуществления. К счастью, этот проект был поддержан и профинансирован (его общая стоимость оценивается в 740 млн евро, включая разработку, запуск, обслуживание и обработку полученных результатов), в его реализации участвуют сотни астрономов по всему миру, десятки обсерваторий и научных организаций.

Ракета-носитель «Союз-СТ» с разгонным блоком «Фрегат» и космическим аппаратом Gaia стартовала с космодрома Куру 19 декабря 2013 г. Спустя три недели аппарат занял рабочую позицию в точке Лагранжа L_2 , лежащей в 1,5 млн км от Земли в направлении, противоположном Солнцу.

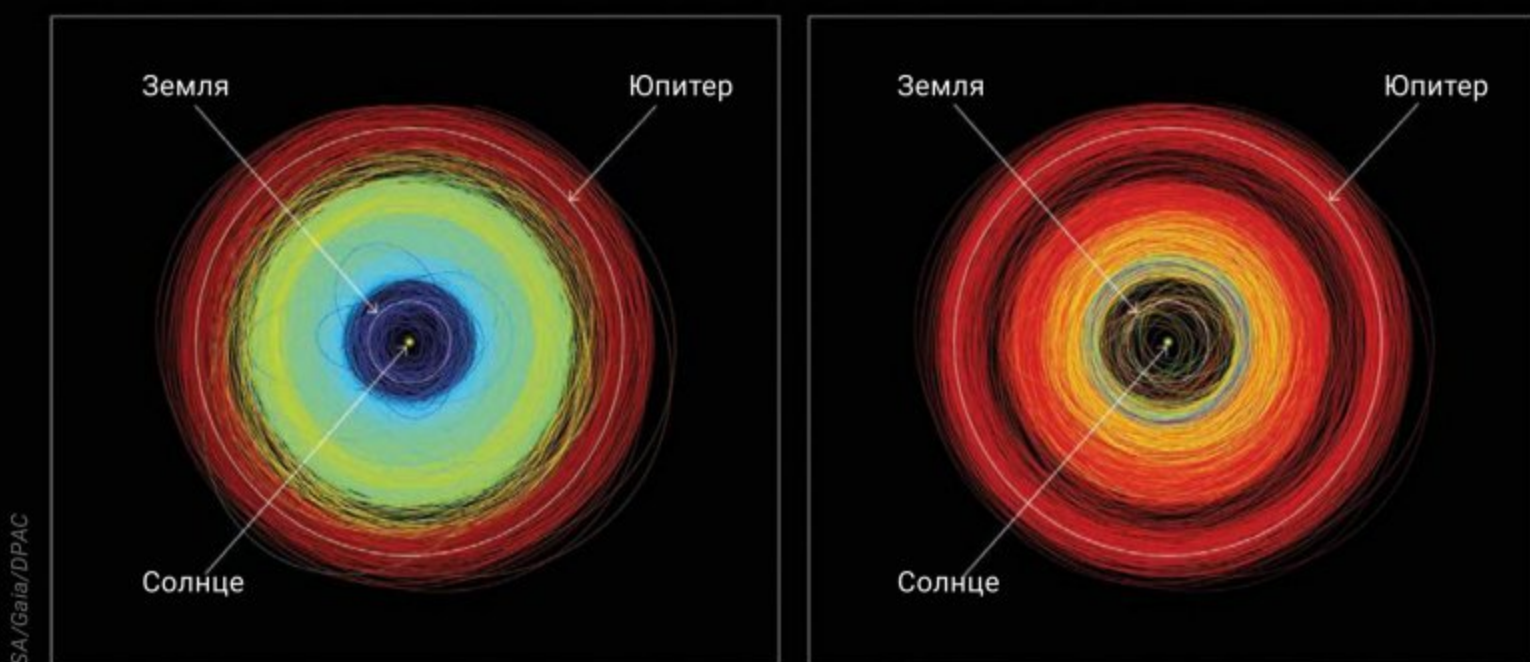
Масса аппарата — около двух тонн, включая 710 кг полезной нагрузки и примерно 400 кг топлива для бортовых двигателей. Для выполнения своих научных задач Gaia

оснащен двумя специально сконструированными многозеркальными телескопами с размерами первичных зеркал $1,45 \times 0,5$ м. Главные зеркала расположены под углом $106,5^\circ$ и фокусируют изображение на общем чувствительном элементе, что позволяет измерять угловое расстояние между звездами на небе с высокой точностью. Камера состоит из 106 ПЗС-матриц размером 4500×1966 пикселей, общий ее размер — $1 \times 0,5$ м (суммарно около 940 мегапикселей), что делает ее самой большой камерой, когда-либо запущенной в космос. За пять лет работы каждое исследуемое небесное тело должно быть сфотографировано в среднем 70 раз. Телескопы одновременно осуществляют сканирование неба и регистрируют все объекты, которые попадают в их поле зрения — как принадлежащие Солнечной системе и Млечному Пути, так и внегалактические. В силу последнего обстоятельства ученые

надеются составить самый объемный каталог квазаров — активных ядер далеких галактик. Некоторые квазары сейчас используются для построения фундаментальной системы координат. Таким образом, наблюдения нового инструмента помогут улучшить точность определения координат на Земле.

Кроме точных измерений положения (ученые надеются, что точности Gaia будет достаточно, чтобы измерить небольшие колебательные движения некоторых звезд, вызванные гравитационным влиянием их планетоподобных спутников), камера телескопа способна регистрировать изменения блеска наблюдаемых объектов. Хотя это и не является главной задачей проекта, но в рамках миссии планируется обнаружить и исследовать сотни тысяч переменных звезд, тысячи вспышек новых и сверхновых. Данные обо всех выявленных нестационарных объектах публикуются на

→ GAIA: ПЕРВЫЙ ОБЗОР АСТЕРОИДОВ



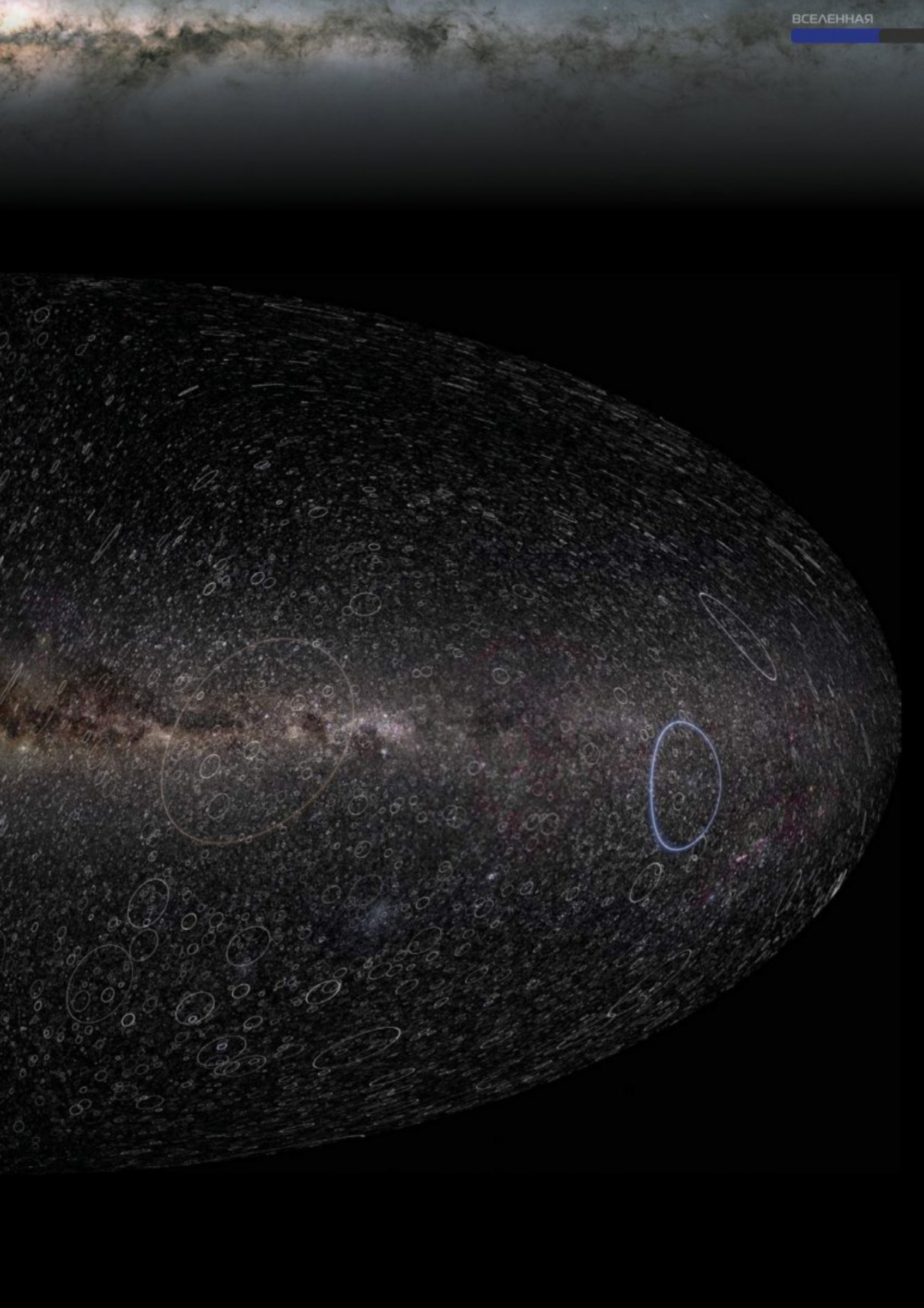
Данные о более чем 14 тыс. астероидов, полученные европейским аппаратом Gaia. На диаграммах белым цветом нанесены орбиты Земли и Юпитера, в центре находится Солнце. Слева различные цвета отображают средние радиусы орбит отдельных тел; синим и фиолетовым показаны околоземные астероиды,

зеленым и желтым — объекты Главного пояса, красным и оранжевым — юпитерианские «троянцы». Справа — отражательная способность (альbedo) астероидов, по мере увеличения показанная цветами от красного до желтого (самые светлые тела имеют условный зеленый и синий цвет).

Карта параллаксов, измеренных в ходе миссии Gaia с июля 2014 г. по май 2016 г. Сдвиги звезд на небесной сфере, отображающие годовое обращение Земли вокруг Солнца, для наглядности преувеличены в 100 тыс. раз. Хорошо заметно, что вблизи эклиптики

(пересекающей изображение по диагонали из левой нижней части в правую верхнюю) звезды смещаются вдоль отрезков параллельных прямых, а чем ближе они к эклиптическим полюсам — тем больше их траектории похожи на окружности. Главная галактиче-

ская плоскость расположена горизонтально. Большой неправильный овал правее центра — ближайшая к Солнечной системе яркая звезда Толиман (α Центавра), голубоватый эллипс недалеко от правого края — Сириус, находящийся от нас примерно вдвое дальше.





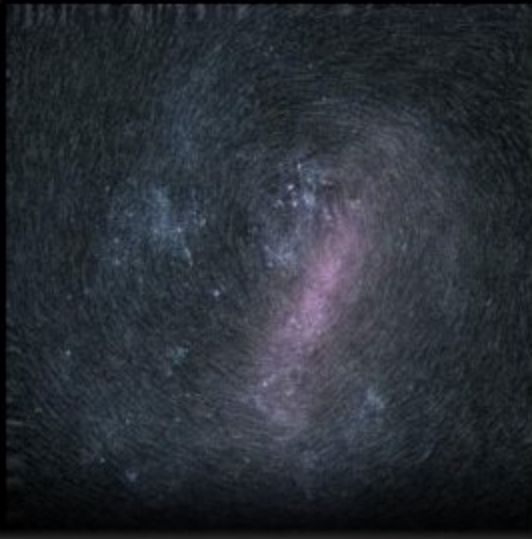
◀ Большое Магелланово Облако (БМО) — ближайшая к Млечному Пути крупная галактика — по данным европейского космического аппарата Gaia. Это изображение можно назвать своеобразным «цифровым портретом»: оно построено с использованием информации о местоположении и спектре отдельных звезд, определенных астрометрическим телескопом. Хорошо заметно, что эта галактика имеет центральную перемичку (бар), состоящую в основном из сравнительно старых красных звезд. Немного выше ее центра виден регион активного звездообразования, ранее считавшийся отдельной звездой и получивший обозначение 30 Золотой Рыбы.

ший 25 апреля 2018 г., содержит данные, собранные за 22 месяца наблюдений. Главным достижением стало измерение положения и блеска 1 692 919 135 звезд. Для 1,3 млрд объектов были определены цвет, собственное движение и параллакс, для более чем 161 млн звезд измерены температуры поверхностей, для почти 77 млн оценены размеры и полные мощности свечения. Лучевые скорости вычислены для 7 млн светил. Также во второй выпуск вошли более 500 тыс. кривых блеска переменных звезд. Огромное количество новых данных обрабатывают ученые многих стран. Фактически после публикации второй редакции каталога Gaia человечество впервые ознакомилось с трехмерной картой нашей части Галактики.

Появление третьего выпуска каталога Gaia ожидается в 2020 г. В нем должны быть улучшены точности определения координат и блеска звезд, добавится информация о двойных и кратных звездных системах, будут измерены лучевые скорости для всех непеременных звезд. Ученые собираются провести более детальный анализ и классификацию наблюдаемых объектов.

Наконец, после завершения миссии Gaia должен быть опубликован

▶ Беспрецедентная точность измерений телескопа Gaia за четыре года его работы позволила определить собственные движения многих звезд БМО и установить преобладающее направление его вращения (по часовой стрелке). Полученные данные нанесены на увеличенный снимок этой галактики в виде белых черточек. Подобные измерения для объектов за пределами Млечного Пути выполнены впервые.



специальной интернет-странице миссии Gaia, чтобы позже провести их более детальные исследования при помощи специализированных наземных телескопов. Результаты таких наблюдений также попадают в базу данных проекта с целью их дальнейшего объединения и унификации.

Первые результаты

В первый выпуск каталога Gaia, опубликованный 14 сентября 2016 г., вошли результаты наблюдений, выполненных за первые 14 месяцев работы аппарата — в частности, положения и звездные величины более чем 1,1 млрд звезд, кривые блеска свыше 3 тыс. переменных звезд и точные положения около 2 тыс. квазаров, с помощью которых строится фундаментальная система координат.

Второй выпуск каталога, вышед-

→ GAIA: ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ



Второй выпуск каталога Gaia, составленный по результатам 22 месяцев наблюдений, содержит данные о точном положении и блеске 1 692 919 135 звезд, а также о параллаксах и собственном движении 1 331 909 727 звезд. Дополнительно для 1,38 млрд звезд измерен показатель цвета, для 7 224 631 звезд — лучевые скорости, для 161 497 595 звезд выполнены оценки поверхностной температуры, для 76 956 778 — оценки радиуса и светимости. Уточнены параметры 550 737 переменных источников, для 87 733 672 объектов вычислено поглощение их света межзвездной пылью.

финальный выпуск каталога (возможно, ему будет предшествовать промежуточный четвертый выпуск). В нем специалисты хотят собрать всю наиболее точную астрометрическую и фотометрическую информацию, каталоги всех выявленных переменных, двойных и кратных звезд, все полученные данные об астероидах, квазарах и галактиках. Также появится отдельный каталог экзопланет, открытых космическим аппаратом.

Следует отметить, что проделанная работа и дальнейший анализ данных чрезвычайно сложны: в ходе него астрономы сталкиваются с новыми явлениями, приходится принимать во внимание факторы, которые ранее никогда не влияли на процесс обработки наблюдений. Например, нужно учитывать гравитационное влияние тел Солнечной системы: оказалось, что искривление пространства в окрестностях Юпитера достаточно велико, чтобы лучи света от далеких звезд, проходящие вблизи планеты, изменяли свое направление, а видимые положения этих звезд сдвигались относительно истинных. Таким образом, высокая точность измерений координат позволит ученым лишиться раз проверить Общую теорию относительности.

Межзвездная среда заполнена очень разреженным газом (в основном водородом), но местами в ней встречаются относительно плотные газово-пылевые облака. Иногда плотность вещества в них такова, что они не пропускают излучение оптического диапазона, и тогда на фоне множества неярких звезд мы видим темные силуэты, самые выразительные из которых называют «угольными мешками». Особенно много таких темных туманностей в главной плоскости нашей Галактики и в направлении на ее центр, поэтому мы практически не регистрируем свет от звезд, расположенных за центральным галактическим сгущением (балджем). Точные наблюдения на различных длинах волн позволяют установить величину поглощения света в разных направлениях. Одним из результатов миссии Gaia стала весьма детальная трехмерная карта распределения поглощающей материи в Млечном Пути, благодаря чему мы можем оценить, сколько пыли в нашем «звездном доме».

Астрономы разработали много методов измерения расстояний



ESA/Gaia/DPAC

▲ Комплекс туманностей в Змееносца — одна из самых любимых целей астрофотографов. Это его изображение не является фотографией: оно составлено с использованием цифровых данных о положении, блеске и цвете звезд, полученных телескопом Gaia. На нем доминируют наиболее яркие массивные светила, местами «затмеваю-

щие» своих менее ярких «соседей». Видны также несколько шаровых звездных скоплений, содержащих до нескольких сотен тысяч старых звезд. Наиболее примечательное из них — M4 в созвездии Скорпиона, расположенное правее и выше центра — считается самым близким подобным объектом к Солнечной системе.



ESA/Gaia/DPAC

Один из первых результатов обработки второго релиза данных телескопа Gaia — изображение темной туманности Barnard 68 в созвездии Змееносца. Достаточно плотный сгусток межзвездной пыли и газа практически полностью блокирует видимый свет от расположенных позади него звезд. Впрочем, ученые предполагают, что в самом этом сгустке уже начались процессы звездообразования — гравитационного сжатия вещества, сопровождаемого его фрагментацией и разогревом. Информация о цвете звездного фона пока обрабатывается.

между объектами во Вселенной, но абсолютное большинство из них основывается на умении измерять параллаксы. Повышение точности таких измерений приведет к уточнению иных, косвенных методов, а значит — поможет улучшить оценки расстояний в широких пределах, вплоть до межгалактических.

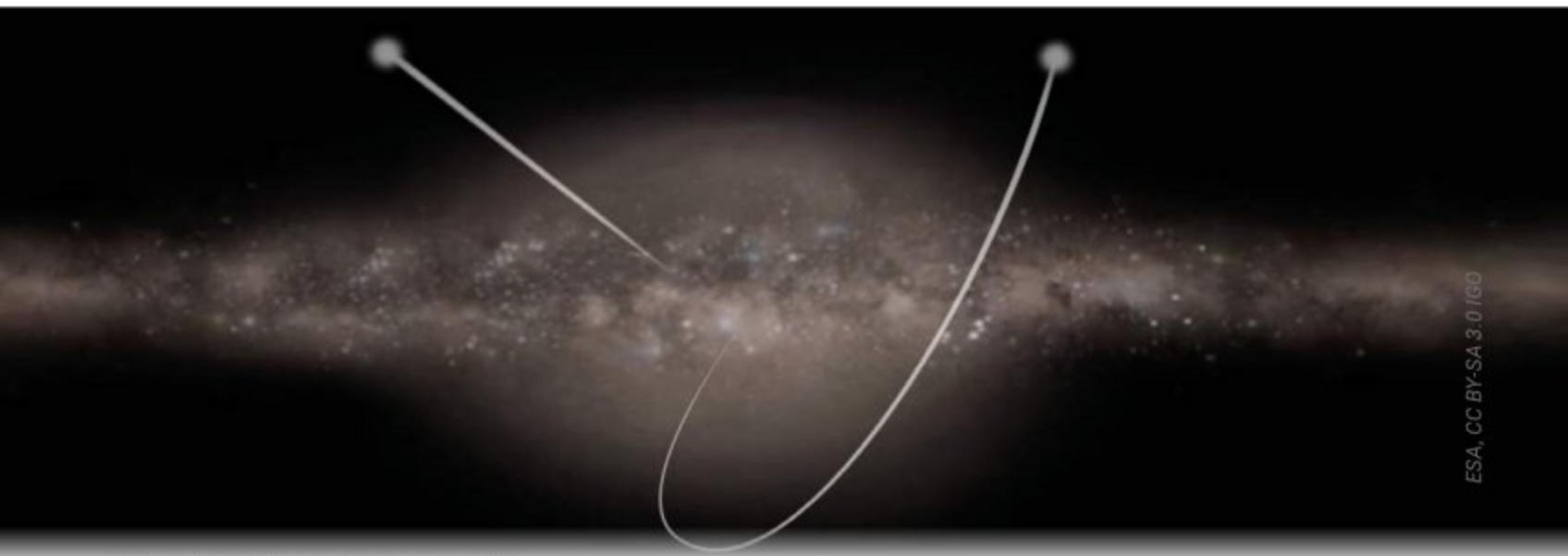
Даже предварительные результаты, представленные в первых выпусках каталога Gaia, позволяют предсказать положение звезд нашей Галактики на тысячи лет вперед. Моделирование показывает, как будут двигаться относительно яркие звезды и как изменятся очертания созвездий. Но одно впечатляющее открытие следует отметить особо: космический телескоп доказал существование так называемых сверхбыстрых звезд.

В пределах Млечного Пути открыты сотни объектов, скорости которых значительно превышают характерные для «нормальных» звезд — иногда они достигают значений более

1000 км/с. Такие звезды не могут быть удержаны гравитацией нашей Галактики и со временем покинут ее. По оценкам ученых, общее количество подобных объектов в нашей звездной системе составляет порядка тысяч. Вероятнее всего, сверхбыстрые звезды возникают при взрывах сверхновых в двойных системах или при участии сверхмассивной черной дыры в галактическом центре, чье гравитационное воздействие играет роль своеобразной катапульты. Также не исключено ускорение в плотных шаровых скоплениях или рядом с двойными черными дырами. Весьма вероятно, что некоторые сверхбыстрые звезды прилетели к нам из соседних галактик (по крайней мере, в отношении одной из них предварительное моделирование по данным наблюдений Gaia показывает, что это действительно так). Астрономы продолжают изучение этого интересного феномена.

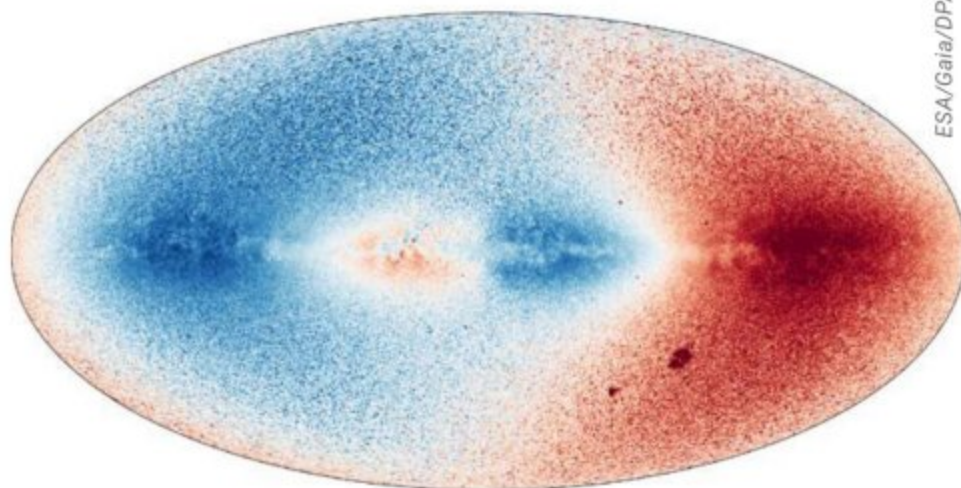
Успех миссии Gaia определит будущее науки на десятилетия. В ка-

ком-то смысле она станет «Святым Граалем» современной наблюдательной астрономии. Анализом и осмыслением наблюдений телескопа ученые всего мира будут заниматься еще не один год. Огромный объем полученных данных позволит не только выявить закономерности в развитии звезд и нашей Галактики в целом, но также даст возможность выявить (и в дальнейшем изучить) новые, доселе неизвестные экзотические объекты нашей Вселенной. Результаты миссии не потеряют ценности спустя многие годы, когда будут реализованы новые, более масштабные программы, поскольку наблюдения Gaia позволят проследить эволюцию объектов, изменения их физических и динамических параметров. В настоящее время космический аппарат Gaia находится в хорошем состоянии и продолжает свою работу, но и уже полученная информация, безусловно, оправдала все затраты на реализацию проекта.



▲ Художественное представление траекторий двух сверхскоростных звезд, покидающих пределы Млечного Пути. Шесть таких объектов удалось обнаружить в результате анализа данных, полученных обсерваторией Gaia, с помощью искусственных нейронных сетей. Каким образом подобные звезды разогнались до своих нынешних скоростей, пока не совсем понятно; по-видимому, в некоторых случаях «ускорителем» могла послужить сверхмассивная черная дыра в галактическом центре, превышающая по массе Солнце более чем в 4 млн раз.

► Радиальные скорости объектов небесной сферы, измеренные космическим телескопом Gaia. Голубым цветом показаны звезды, приближающиеся к Солнечной системе (линии в их спектрах за счет эффекта Доплера смещены в синюю сторону), красным — удаляющиеся.



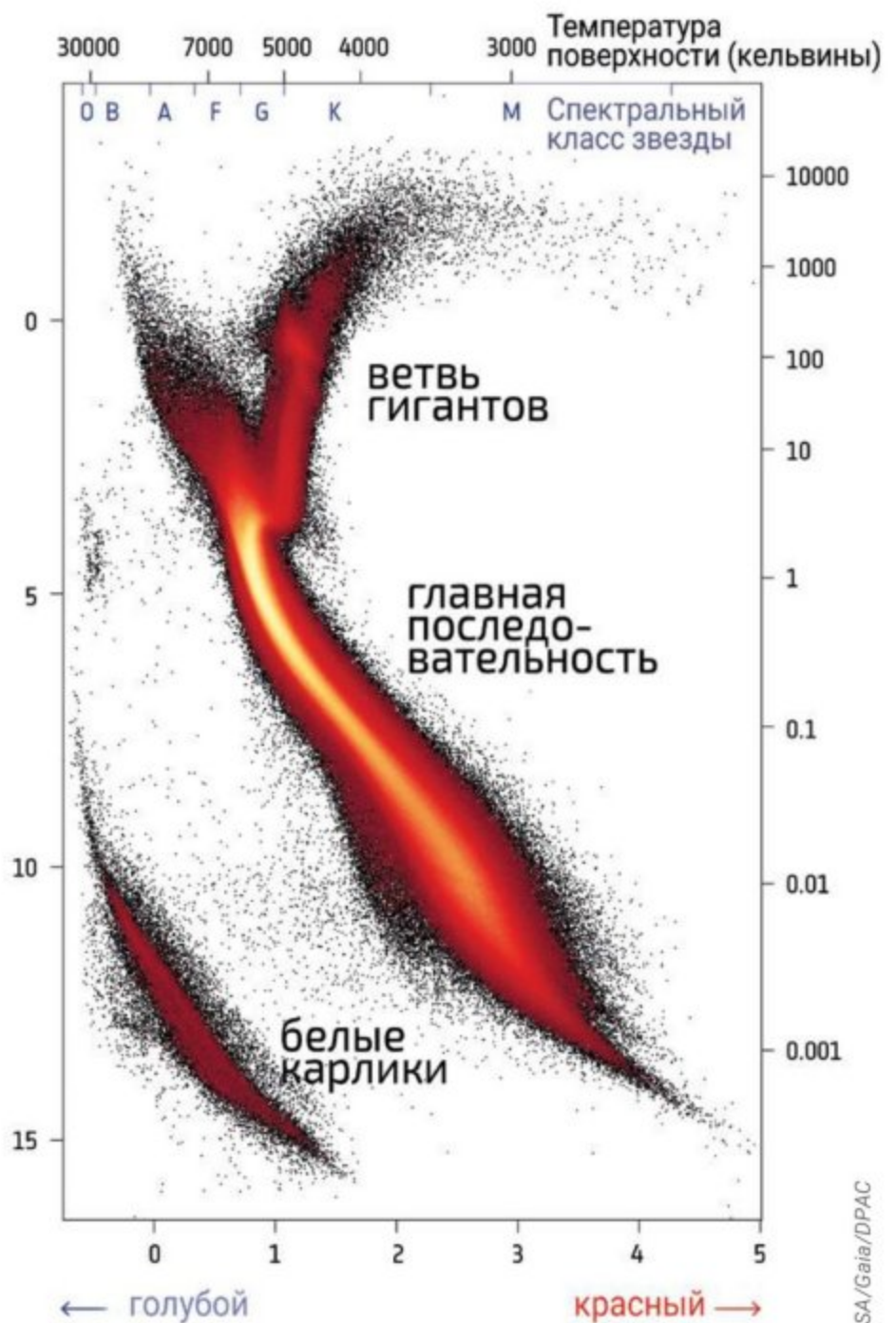
ESA, CC BY-SA 3.0 IGO

ESA/Gaia/DPAC

Когда в 1910 г. датский химик Эйнар Герцшпрунг и американский астроном Генри Расселл (Ejnar Hertzsprung, Henry Norris Russell) решили разместить все изученные на тот момент звезды на графике, по одной оси которого была отложена их светимость, а по другой — температура поверхности, определяемая по спектральным характеристикам, они не ожидали, что в результате выведут довольно стройную закономерность, вскоре получившую их имя. Эта закономерность может быть проще всего описана так: чем выше температура звезды — тем интенсивнее она излучает. Все объекты, укладываемые в основное «русло» диаграммы, стали называться звездами главной последовательности. Обнаружились и системные отклонения от нее — «ветвь красных гигантов», видимая вверху справа и в центре, а также отдельное подсемейство белых карликов («выгоревших» светил, излучающих только за счет гравитационного сжатия).

Диаграмма Герцшпрунга-Расселла оказалась вполне универсальным инструментом как в астрофизике, так и в изучении звездной эволюции. Позже выяснилось, что в ней в неявном виде присутствует третий компонент — масса звезды (общая закономерность, опять же, выглядит так: чем тяжелее — тем горячее). По мере формирования и дальнейшего активного существования каждое светило проходит свой «путь» по графику. Стало ясно, что объекты типа Солнца, например, под конец жизненного цикла превращаются в красных гигантов, а потом, после сброса внешней оболочки — в белых карликов. Появилась возможность по спектру звезды определить ее температуру и оценить абсолютную светимость, после чего по известному видимому блеску вычислить расстояние до нее (т.н. фотометрический параллакс). Именно поэтому астрономы уделяют большое внимание уточнению диаграммы. Здесь представлен ее вариант, составленный по изме-

GAIA: ДИАГРАММА ГЕРЦШПРУНГА-РАССЕЛЛА



рениям яркости и расстояний до более чем 4 млн звезд, изученных телескопом Gaia. Практически все они находятся в сфере радиусом 5 тыс. световых лет с центром в Солнце. Верхняя часть графика соответствует высокому абсолютному блеску, по горизонтальной оси отложен показатель цветности (слева направо — от голубого к красному) и соответствующая ему поверхностная температура. Последовательность белых

карликов находится в левом нижнем углу. Именно в их случае миссия нового телескопа оказалась особенно продуктивной: он смог «рассмотреть» много слабых звездочек, ранее недоступных наблюдениям. Сейчас ученые заняты поиском связи между массой/температурой звезды и ее металличностью (содержанием химических элементов тяжелее гелия), а также возможным наличием экзопланет на орбитах вокруг нее.

Новый взгляд на туманность «Лагуна»

К 28-летию телескопа Hubble

Телескоп VST Европейской Южной обсерватории (VLT Survey Telescope), установленный на чилийском плато Паранал, сделал этот впечатляющий снимок туманности «Лагуна» в середине 2013 г. Здесь в огромном облаке газа и пыли идет активное формирование новых поколений звезд, которые на протяжении следующих сотен миллионов лет будут входить в состав рассеянных звездных скоплений, а позже разлетятся по Галактике. Представленное изображение является частью одного из 11 обзоров южного неба, производимых с помощью телескопов ESO для дальнейшей публикации в открытых источниках с целью популяризации астрономии.

ESO/VPHAS+ team

В это, возможно, трудно поверить, но легендарный космический телескоп Hubble служит астрономам уже 28 лет — на околоземную орбиту он был выведен 24 апреля 1990 г. Конечно, в его долгой истории нашлось место как выдающимся успехам, так и неприятностям. Строительство телескопа сопровождалось рядом проблем, приведших к серьезному перерасходу средств и срыву запланированных сроков. Уже после запуска обнаружился дефект его главного зеркала, чуть не поставивший крест на всем проекте.

Но теперь это все — в далеком прошлом. Без малейшего преувеличения, на данный момент Hubble является одним из самых значимых научных инструментов за всю историю человечества. Как любят повторять астрономы, космический телескоп позволил нам заглянуть в те уголки Вселенной, о существовании кото-

рых мы раньше даже и не подозревали.

В честь годовщины запуска Hubble сотрудники его группы сопровождения опубликовали новое красочное изображение туманности M8 «Лагуна» — региона активного звездообразования, находящегося от нас на расстоянии 4 тыс. световых лет в направлении созвездия Стрельца. Формально туманность была открыта в 1654 г. итальянским астрономом Джованни Баттистой Годьерной (Giovanni Battista Hodierna), однако имеются сведения, что о ней знали уже средневековые арабские ученые: при благоприятных условиях наблюдений этот объект несложно заметить на ночном небе даже невооруженным глазом.

Туманность «Лагуна» имеет весьма внушительные размеры, простираясь на 55 световых лет в длину и на 20 световых лет в ширину. Ее площадь на земном

небе втрое превышает площадь полной Луны. Поэтому Hubble может фотографировать лишь ее отдельные участки. Чтобы понять, почему эта туманность получила такое название, стоит посмотреть на ее снимки, сделанные широкоугольными наземными телескопами.

На опубликованном изображении, полученном в видимом свете камерой широкого поля WFC3, запечатлен участок туманности шириной около 4 световых лет. Оно демонстрирует поистине фантастический пейзаж, украшенный «горами», «хребтами» и «полостями». Все эти «детали рельефа», состоящие из межзвездной пыли, сформированы мощным световым давлением излучения молодых горячих звезд, расположенных внутри «Лагуны».

В центре снимка можно увидеть одно из таких светил — голубой гигант Herschel 36, масса



которого превосходит массу Солнца в 32 раза, а светимость — в 200 тыс. раз. Его возраст оценивается примерно в миллион лет.

Среди созданных излучением Herschel 36 газовой-пылевой «скульптур» особенно выделяются две структуры, чем-то похожие на смерчи. Длина каждого из них составляет около половины светового года. Межзвездные «смерчи» напоминают своих земных «тезок» не только внешне, но и внутренне. Как предполагают астрономы, их воронкообразная форма объясняется температурными различиями

между разными частями туманности.

Hubble осуществляет съемку не только в видимом, но и в ближнем инфракрасном диапазоне. Благодаря этой способности он может заглянуть сквозь пылевые облака — в самое сердце «Лагуны». Второе опубликованное изображение демонстрирует тот же самый регион, но уже в ИК-спектре. На нем можно увидеть множество звезд. Большинство из них являются фоновыми, но несколько расположено внутри самой туманности. Что касается гиганта Herschel 36, то в этом спектральном диапазоне он сияет даже ярче.

На снимках также заметны темные компактные газово-пылевые сгустки — так называемые глобулы. Они характеризуются резко очерченными границами и более высокой плотностью вещества, нежели в обычных межзвездных пылевых облаках. Крупные глобулы имеют массу, достаточную для того, чтобы внутри них начали фор-

мироваться новые звезды. Но даже мощности Hubble недостаточно, чтобы заглянуть в их недра. Астрономы надеются рассмотреть, что же скрывается внутри глобул, с помощью телескопов нового поколения — в частности, космической обсерватории Джеймса Уэбба (James Webb Space Telescope), запуск которой должен состояться в 2020 г.

СПРАВА — центральная область туманности «Лагуна», сфотографированная камерой WFC3 космического телескопа Hubble в спектральных линиях ионизированного кислорода OIII (502 нм, показана условным голубым цветом), водорода H α (656 нм, условный зеленый цвет) и азота NII (658 нм, условный красный цвет).

СЛЕВА — тот же регион, отснятый в линиях 1,25 и 1,6 мкм ближнего инфракрасного диапазона (соответственно голубой и оранжевый условные цвета). Изображения были опубликованы на сайте орбитальной обсерватории по случаю ее 28-й годовщины.



Загадка

первых галактических скоплений

Галактические скопления являются крупнейшими гравитационно-связанными структурами Вселенной. Они могут объединять сотни, а порой и тысячи галактик, суммарная масса которых варьируется в диапазоне от 10^{13} до 10^{15} солнечных. До недавних пор астрономы считали, что первые протоскопления начали формироваться, когда возраст Вселенной составлял около 3 млрд лет. Однако результаты двух новых исследований, опубликованные в журналах *Nature* и *Astrophysical Journal*, говорят о том, что ученым придется серьезно пересмотреть прежние оценки.

Ключевую роль в этих исследованиях сыграли радиотелескопы Европейской Южной обсерватории ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) и APEX (Atacama Pathfinder Experiment). Две международные группы астрономов обнаружили с их помощью необыкновенно плотные концентрации галактик, которые, по-видимому, находятся в процессе слияния и образования ядер будущих гигантских скоплений.

Первая группа под руководством Тима Миллера из университета Далузи в Канаде (Tim Miller, Dalhousie University, Halifax, Canada) обнаружила протоскопление, получившее обозначение SPT2349-56. Оно состоит из 14 галактик, свет которых был испущен ими, когда возраст Вселенной составлял около 1,4 млрд лет — в десять раз меньше нынешнего.

Галактики SPT2349-56 находятся в процессе сближения, образуя, по словам исследователей, «плотную кучу». Все они характеризуются крайне бурным звездообразованием. Интенсивность рождения новых светил в этой компактной области невероятно высока: ежегодно в SPT2349-56 появляются тысячи молодых звезд. Нигде в ранней Вселенной до сих пор не наблюдалось такого уровня активности. Для сравнения: скорость звездообразования в Млечном Пути соответствует примерно одной солнцеподобной звезде в год.

Другая группа астрономов, возглавляемая Айвеном Отео из Эдинбургского университета в Великобритании (Ivan Oteo, University of Edinburgh), исследовала скопление, состоящее из богатых пылью звездообразующих галактик. Из-за своего цвета оно получило неофициальное название «Красное пылевое ядро». Впервые оно было замечено в виде слабых световых пятен в ходе наблюдений, выполненных инфракрасным космическим телеско-

пом Herschel и радиотелескопом SPT (South Pole Telescope), расположенном на Южном полюсе.

Во время последующих наблюдений с использованием антенн ALMA и APEX группа Отео установила, что эти объекты обладают необычной структурой и относятся к гораздо более ранней эпохе, чем изначально предполагалось. Мы видим их такими, какими они были через 1,5 млрд лет после Большого Взрыва. Всего «Красное пылевое ядро» состоит из двух групп, включающих в себя 14 и 10 массивных галактик. Размер каждой из них сравним с расстоянием между Млечным Путем и соседними с ним Магеллановыми Облаками (160-200 тыс. световых лет).



Этот коллаж объединяет три изображения удаленной группы взаимодействующих и сливающихся галактик в молодой Вселенной. Слева — широкоугольный снимок, полученный с помощью радиотелескопа SPT (South Pole Telescope) в Антарктиде. На нем заметно только размытое яркое пятно. В центре — изображение, полученное телескопом APEX (Atacama Pathfinder Experiment), на котором видно больше деталей. Справа — наиболее детальный снимок, сделанный с помощью антенного массива ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array). Он показывает, что отснятый объект в действительности представляет собой группу из 14 сближающихся галактик в процессе формирования галактического скопления.



SO/ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/Miller et al.



Так художник представляет себе группу взаимодействующих галактик в ранней Вселенной. Из подобных групп к настоящему времени сформировались галактические скопления — самые массивные непосредственно наблюдаемые объекты. Ранее считалось, что эти события происходили спустя примерно 3 млрд лет после Большого Взрыва, поэтому астрономы были очень удивлены, когда новые наблюдения, выполненные радиотелескопами ALMA и APEX, показали, что описанные процессы имели место, когда наш мир был как минимум вдвое моложе.

ESO/M. Kommesser

По словам Отео, для его команды это стало весьма неожиданной находкой. Время жизни подобных богатых пылью звездообразующих галактик крайне невелико, поскольку они очень быстро расходуют свои запасы межзвездного газа, и образование новых светил в них на определенном этапе резко замедляется. В какой бы уголок Вселенной астрономы раньше не заглядывали, такие активные объекты всегда были представлены в весьма небольшом количестве.

Еще один важный аспект проблемы заключается в том, что, согласно современным теоретическим и компьютерным моделям, формирование массивных галактических протоскоплений должно было

занять не менее трех миллиардов лет. Однако это не соответствует реальной картине. Более того, дополнительные наблюдения на телескопе APEX показывают, что количество звездообразующих галактик, по всей вероятности, втрое больше, чем предполагалось до сих пор.

Пока ученые не могут объяснить, как столь массивные галактики успели проэволюционировать и тесно сблизиться за такое короткое время. Все это означает, что для раскрытия загадки появления во Вселенной первых гигантских галактических скоплений астрономам потребуется провести еще немало наблюдений и исследований.

Ультрафиолетовый каталог окрестностей Галактики

Основная часть излучения самых молодых и горячих звезд Вселенной приходится на ультрафиолетовую часть спектра. Его изучение крайне важно для астрономов. Наблюдая за новорожденными звездами, мы можем лучше понять, как

именно они сформировались и каковы механизмы их распределения в галактиках.

Как ни странно, до недавних пор ученые не располагали ультрафиолетовым каталогом звезд и скоплений, расположенных в близлежащих

галактиках. Ситуация изменилась с публикацией результатов обзора LEGUS (Legacy ExtraGalactic UV Survey).

Чтобы составить каталог, международная команда астрономов воспользовалась результатами наблюдений телескопа Hubble. Было выбрано свыше 500 объектов, расположенных на расстояниях от 11 до 58 млн световых лет от Млечного Пути (большее из чисел

Приведенные изображения являются частью каталога LEGUS — наиболее полного и детального обзора сравнительно близких галактик в ультрафиолетовом диапазоне, который был составлен по материалам съемки, произведенной орбитальной обсерваторией Hubble. Каталог предназначен для систематизации данных о молодых звездах и областях звездообразования, наблюдающихся в окрестностях Млечного Пути. Фотографирование велось в ближней ультрафиолетовой и видимой части спектра с помощью Камеры широкого поля WFC3 и Усовершенствованной обзорной камеры ACS.



Галактика M66 (NGC 3627) — один из компонентов так называемого «Триплета Льва» — удалена от нас на 35 млн световых лет (как и два других компонента — M65 и NGC 3628). Все три системы активно воздействуют друг на друга своей гравитацией, провоцируя сжатие облаков межзвездного водорода и способствуя активному звездообразованию.

Расстояние до галактики M106 (NGC 4258) оценивается в 20 млн световых лет. Она известна благодаря двум дополнительным «невидимым» спиральным «рукавам», состоящим в основном из горячего газа — их можно зарегистрировать в радиодиапазоне или с помощью рентгеновских космических телескопов. Области звездообразования, хорошо заметные благодаря горячим голубым звездам, рассыпаны в кольцеобразной области, окружающей центральное сгущение.



Компактная голубая карликовая галактика UGCA 281 находится в созвездии Гончих Псов на расстоянии 18,5 млн световых лет. Несмотря на небольшие размеры, она содержит две гигантские области звездообразования — в них видно множество ярких новорожденных звезд, окруженных облаками межзвездного газа (в основном водорода; на изображении показаны условным зеленым цветом). Остальная часть с точки зрения звездообразовательной активности выглядит достаточно спокойной и состоит из старых красноватых светил. Сквозь них «просвечивают» более далекие спиральные и эллиптические галактики.



близко к предельному расстоянию, на котором орбитальный телескоп способен различить наиболее яркие звезды и скопления). Основными критериями отбора служили масса галактик, скорость звездообразования в них, а также процент содержания элементов тяжелее водорода и гелия. Дополнительно принимались во внимание данные, полученные ранее специальным ультрафиолетовым телескопом GALEX.

В результате исследователи отобрали 30 га-

лактик, для которых был составлен каталог звезд и звездных скоплений; еще для полусотни объектов составили каталог только звезд. В общей сложности в LEGUS вошло 8 тыс. звездных скоплений (масса некоторых из них в 10 раз превышает массу крупнейших скоплений Млечного Пути) и 39 млн звезд, как минимум в пять раз более массивных, чем Солнце. Все эти объекты сравнительно молоды: возраст звезд составляет от 1 до 100 млн лет, скоплений — от 1 до 500 млн

лет. Вдобавок были получены общие ультрафиолетовые изображения их родительских галактик.

Астрономы надеются, что публикация каталога позволит им лучше понять, как происходят процессы звездообразования и как окружающая среда влияет на пути эволюции молодых светил. Также данные LEGUS должны помочь разобраться в том, как именно звезды собираются в крупные пространственные структуры наподобие спиральных рукавов.

Кроме того, новый

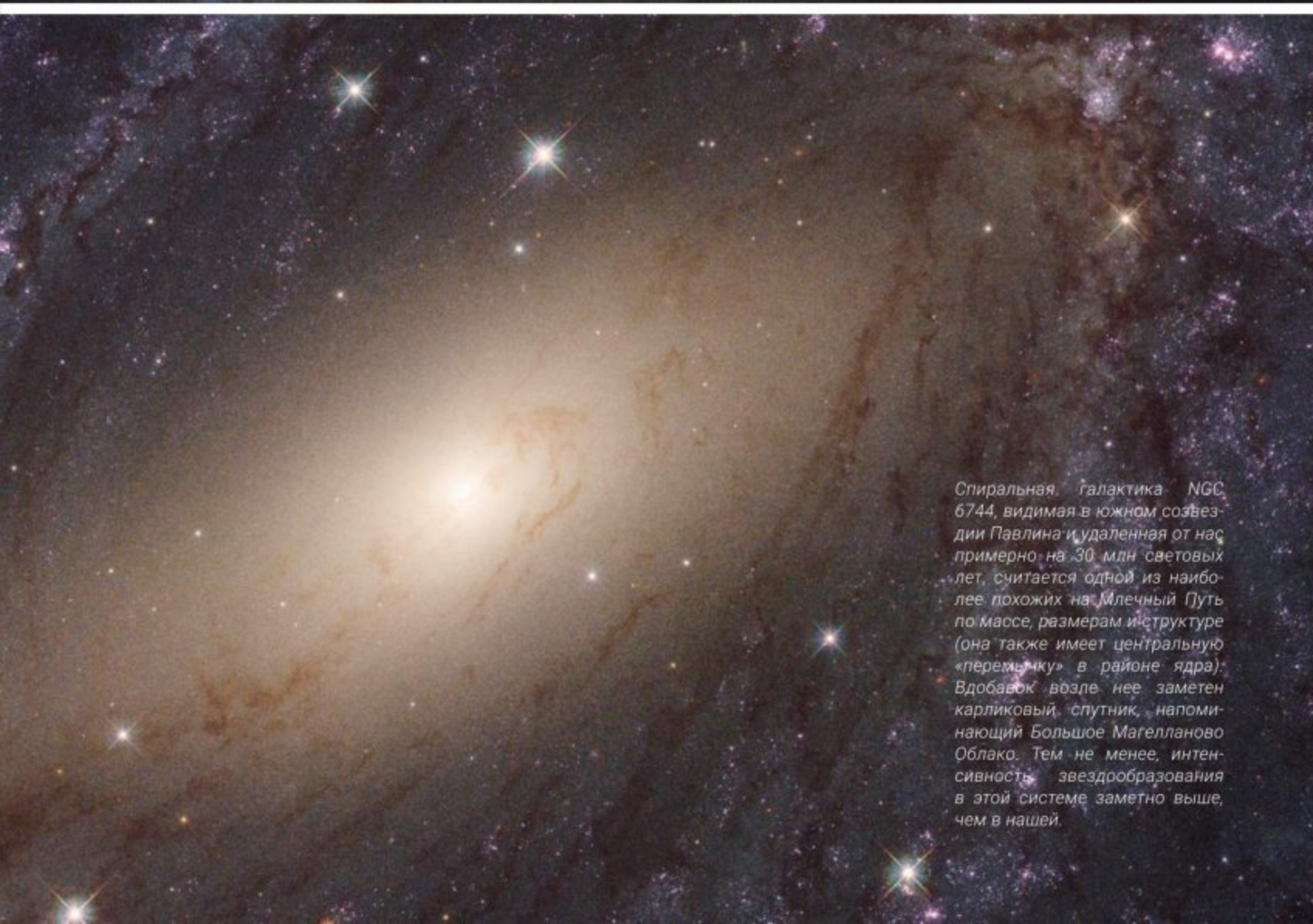
каталог также станет большим подспорьем в изучении самых далеких галактик, чье ультрафиолетовое излучение из-за эффекта Доплера (красного смещения) «переместилось» в инфракрасную часть спектра. Ожидается, что анализ данных LEGUS поможет заметно улучшить интерпретацию результатов наблюдений космического телескопа Джеймса Уэбба (James Webb Space Telescope), запуск которого назначен на 2020 г.



В галактике UGC 5340, удаленной от нас на 40 млн световых лет, активное звездообразование сосредоточено в трех крупных регионах (на снимке справа внизу). Вероятнее всего, там оно инициируется гравитационным взаимодействием с невидимым спутником этой звездной системы. Однако вся она также характеризуется интенсивным формированием молодых звезд и благодаря этому имеет на снимках голубовато-белый цвет.



В крупной спиральной галактике M96 (NGC 3368), расположенной в 35 млн световых лет от нас в направлении созвездия Льва, звездообразование в основном происходит вдоль темных волокон межзвездной пыли, очерчивающих ее спиральные рукава. Молодые звезды освещают окружающие облака водорода, ионизируя их и заставляя светиться характерным розовым цветом.



Спиральная галактика NGC 6744, видимая в южном созвездии Павлина и удаленная от нас примерно на 30 млн световых лет, считается одной из наиболее похожих на Млечный Путь по массе, размерам и структуре (она также имеет центральную «перемычку» в районе ядра). Вдобавок возле нее заметен карликовый спутник, напоминающий Большое Магелланово Облако. Тем не менее, интенсивность звездообразования в этой системе заметно выше, чем в нашей.

Генеральные спонсоры:



EARTH
OBSERVING
SYSTEM

Listening To The Pulse Of The Planet



AUTO
Standard
Group

Издается при поддержке:



Национальная академия наук Украины



Государственное космическое агентство Украины



Главная астрономическая обсерватория НАН Украины



Аэрокосмическое общество Украины



Информационно-аналитический центр «Спейс-Информ»



Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга Московского государственного университета



Украинская астрономическая ассоциация

Международное Евразийское астрономическое общество