



АСТРОНОМИЯ

Новые открытия о том,
как сталкиваются
галактики, дают
представление о будущем
Млечного Пути

Ли Армус и Аарон Эванс

КОСМИЧЕСКИЕ СТОЛКНОВЕНИЯ

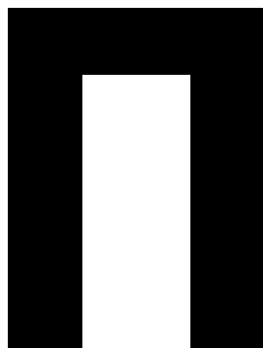
Прогнозируемое будущее:
на иллюстрации показано, как может
выглядеть система сливающихся
галактик «Млечный Путь —
Андромеда» с Плутона, который вместе
с Солнечной системой, возможно,
будет отброшен к окраинам Галактики

ОБ АВТОРАХ

Ли Армус (Lee Armus) — старший научный сотрудник Центра обработки и анализа инфракрасных изображений и сотрудник Калифорнийского технологического университета.



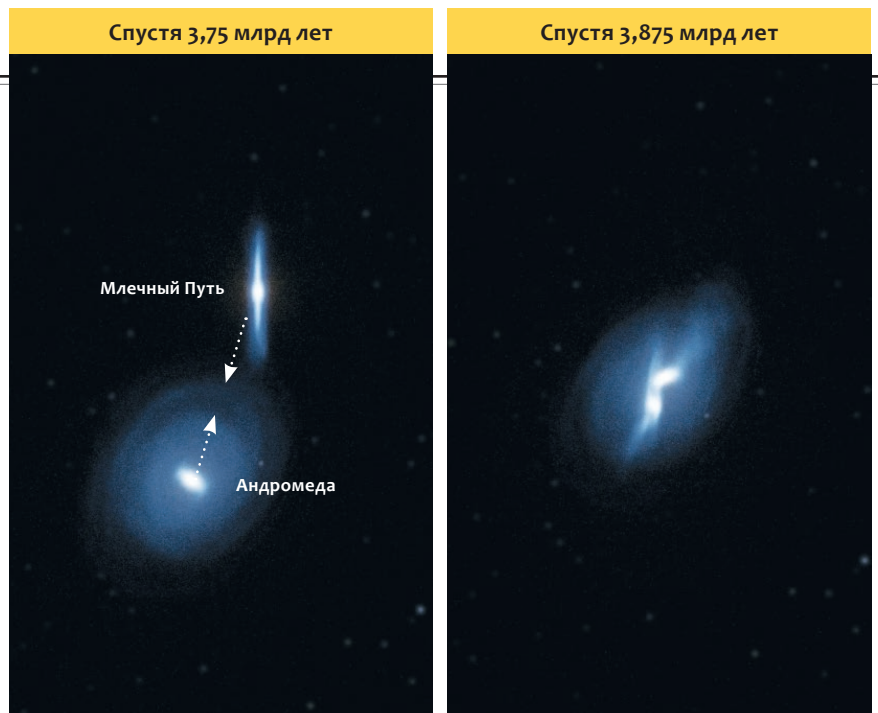
Аарон Эванс (Aaron S. Evans) — профессор астрономии Виргинского университета и астроном Национальной радиоастрономической обсерватории и Североамериканского научного центра «Атакамская большая антенная решетка миллиметрового/субмиллиметрового диапазона».



риблизительно через 5 млрд лет, когда Солнце расширится и превратится в красный гигант (звезду размером примерно с орбиту Земли), наша Галактика столкнется со своим ближайшим крупным соседом, Андромедой. Поскольку гравитация притягивает эту парочку в объятия друг друга для более тесного контакта, звезды сорвутся со своих орбит, образуя красочные шлейфы, а газ и пыль будут стягиваться к сближающимся ядрам, разрушая величественную картину грандиозных спиралей, которые существовали почти три четверти возраста Вселенной.

Последовательность этапов слияния

Однажды гравитация сблизит наш Млечный Путь с соседней спиральной галактикой Андромеда. Это столкновение, которое будет происходить в течение нескольких миллиардов лет, не нанесет ущерба большинству звезд и планет внутри галактик, поскольку звезды разделены слишком большим расстоянием, чтобы вступить в тесный контакт друг с другом. Однако они будут разбросаны и окажутся в новых местоположениях сливающихся друг с другом галактик. Эта последовательность изображений, полученных с помощью компьютерного моделирования, показывает прогнозируемый ход событий. Моделирование на основе наблюдения движения Андромеды, проведенного с помощью космического телескопа «Хаббл», показывает, что конечным результатом будет не спираль, а продолговатая «эллиптическая» галактика.



В конце концов центры галактик сольются и газ, устремившийся к центру, вызовет вспышку звездообразования, формируя звезды более чем в 100 раз чаще, чем это происходит сегодня в каждой из галактик. Он также будет подпитывать спокойные сейчас сверхмассивные черные дыры, которые прячутся в центрах обеих галактик. Черные дыры будут расти, одновременно испуская бурю высокоэнергетических частиц и излучения, которые с легкостью затмят свет всех звезд в обеих галактиках вместе взятых. Спустя еще примерно 100 млн лет две сверхмассивные черные дыры будут по спирали лететь навстречу друг другу и сольются в одну черную дыру в катаклизме, который породит сильнейшие гравитационные волны, чье эхо отзовется по всему пространству.

Этот похожий на фейерверк процесс, происходящий вокруг нас сегодня и еще чаще случавшийся в ранней Вселенной, на самом деле нельзя назвать столкновением в строгом смысле этого слова. Галактики — это почти пустое пространство. Примерно 300 млрд звезд в такой галактике, как Млечный Путь, в среднем отстоят друг от друга на пять световых лет. Плотность воздуха на Земле на уровне моря примерно в 100 млн млрд (в 10^{17}) раз больше, чем средняя плотность газа в межзвездном пространстве. Другими словами, хотя слияние коренным образом изменяет жизнь галактики и служит источником колоссальной энергии, большинство звезд во время этого события просто проходят, не задевая друг друга.

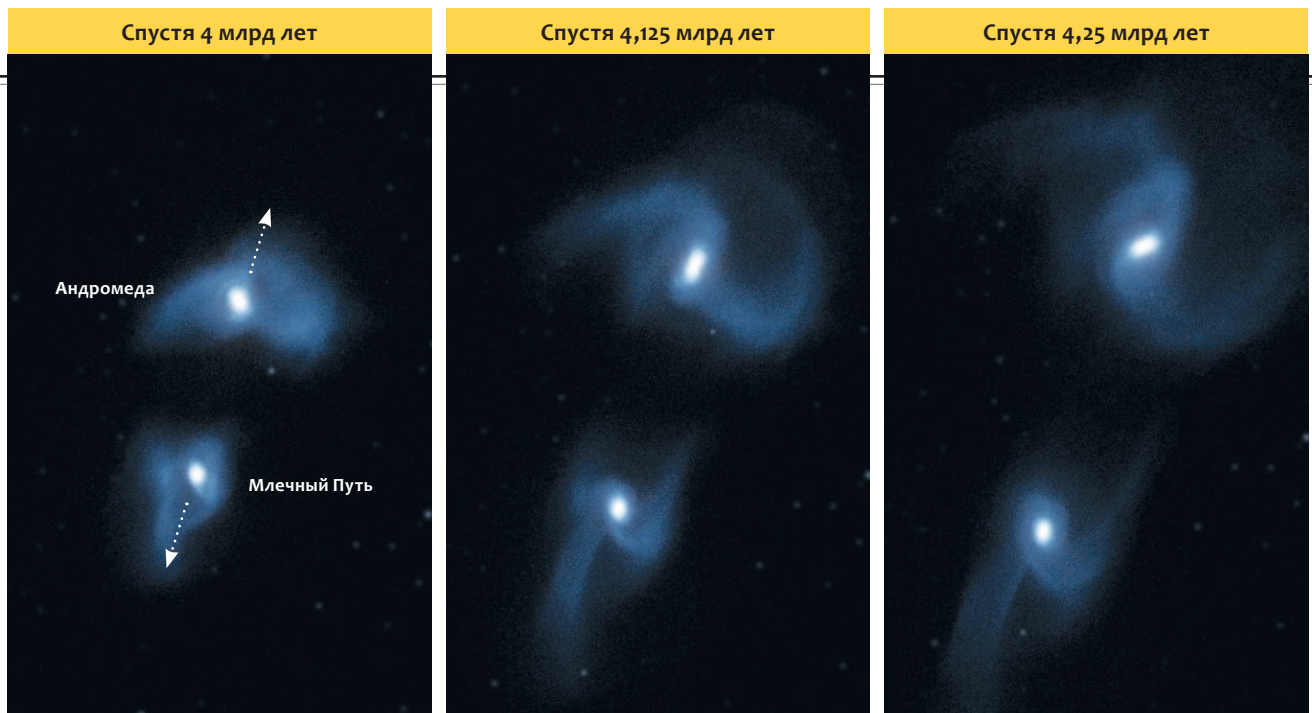
Тем не менее столкновения галактик интересны и важны. Изучая слияния других галактик,

мы можем увидеть картину собственного будущего. Исследование слияний галактик также помогает нам понять историю Вселенной, потому что, когда космос был моложе и плотнее, столкновения галактик случались гораздо чаще. Моделирование показывает, что за минувшие 10 млрд лет Млечный Путь прошел через пять крупных слияний на пути к тому, чтобы стать грандиозной спиралью, какой сегодня мы его наблюдаем.

Сейчас наступило захватывающее время для такой работы. До недавнего времени для тщательного измерения и моделирования сталкивающихся галактик астрономам не хватало приборов. Большая часть происходящего скрыта за густыми облаками пыли, сквозь которые трудно наблюдать что-либо в видимом диапазоне длин волн даже с помощью самых больших телескопов. С новыми приборами на уже работающих телескопах и тех, которые появятся в недалеком будущем, мы сможем получить ответы на некоторые важные вопросы о слиянии галактик, например о том, как в хаосе столкновения галактик рождаются звезды и как излучение, высвобождаемое в результате роста и — на конечном этапе — слияния центральных черных дыр, влияет на новую формирующуюся вокруг них галактику.

Когда сталкиваются галактики

Прошло почти 100 лет с тех пор, как Эдвин Хаббл впервые обнаружил, что многие светящиеся капли в небе, называвшиеся в то время «туманностями», — не космические объекты, расположенные в пределах Млечного Пути, а независимые «островные

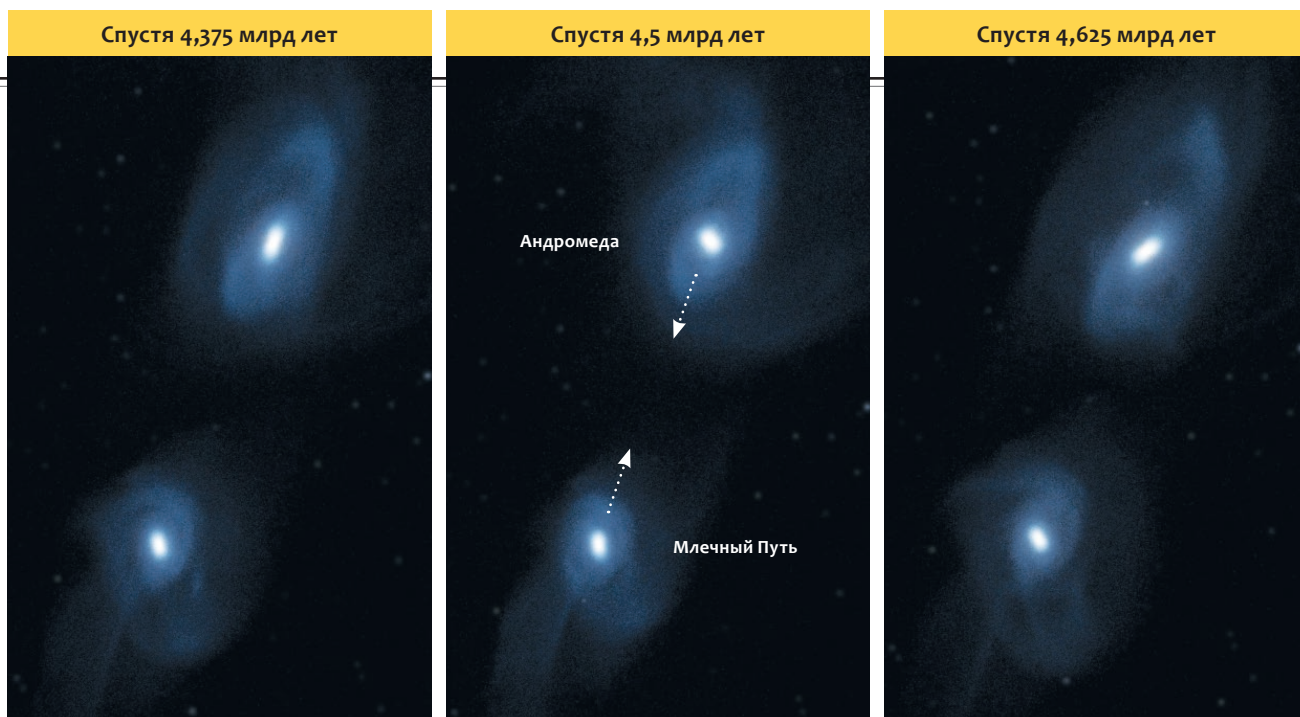


вселенные». Эти «внегалактические туманности» он разделил на три категории: сферической или эллиптической формы (эллиптические галактики), сплюснутые, со вздутием — «балджем» — в центре, а иногда и с перемычкой диска (спиральные галактики, такие как наша), и причудливо-хаотической формы (неправильные галактики).

Небольшая часть неправильных галактик на самом деле оказалась сильно искаженной парой или небольшой группой галактик. Спустя годы после открытия Хаббла такие пионеры, как Борис Александрович Воронцов-Вельяминов из Московского государственного университета, Фриц Цвикки (Fritz Zwicky) из Калифорнийского технологического института и Хэлтон Арп (Halton Arp) из обсерваторий Маунт-Уилсон и Маунт-Паломар, в деталях изучили этот класс «взаимосвязанных галактик». Фотографии с длительной экспозицией, сделанные с фотопластинок и опубликованные в «Атласе пекулярных галактик» Арпа 1966 г., ясно показывают неправильные формы, которые мы теперь распознаем как отличительные признаки сливающихся галактик. В 1970-х братья Юри и Алар Тоомре (Juri Toomre, Alar Toomre) использовали компьютеры для моделирования взаимодействий простых дисковых галактик на связанных параболических орбитах, воссоздав формы нескольких необычных галактик, в частности длинные широкие хвосты из звезд, выброшенных на большие расстояния во время слияния. Эти и другие ранние модели показали, что необычные, порой весьма зрелищные особенности, отмеченные Арпом и другими, могут быть объяснены

исключительно гравитационным взаимодействием. Используя современные компьютеры и продвинутые модели, научные группы под руководством Джошуа Барнса (Joshua Barnes) из Гавайского университета, Ларса Хернквиста (Lars Hernquist) из Гарвардского университета и Филипа Хопкинса (Philip Fajardo Hopkins) из Калтеха получили разнообразие новых картин взаимодействия галактик, подчеркивающее важную роль слияний в жизненном цикле галактик.

В 1983 г. была запущена *IRAS (Infrared Space Observatory, Инфракрасная астрономическая обсерватория)*. Она позволила составить первую полную карту неба в дальнем инфракрасном диапазоне, что придало мощный импульс изучению скрытой Вселенной и, в частности, слияний галактик. На длинах волн, которые регистрировал спутник, он мог фиксировать тепловое излучение теплой и холодной пыли. Межзвездная пыль в галактиках почти всегда свидетельствует о нахождении там звездного инкубатора. В обычных галактиках звезды рождаются в облаках, состоящих (в основном) из молекулярного водорода и пыли. Когда звезды проходят все этапы эволюции и умирают, они выбрасывают образующие межзвездную пыль тяжелые элементы, такие как углерод и кислород, которые были произведены в их недрах в ходе ядерного синтеза, тем самым еще больше обогащая окружающие облака пылью. (Пыль, уже имеющаяся в облаках, образовывалась в предыдущих эпизодах звездообразования.) В сталкивающихся галактиках этот процесс происходит в ускоренном темпе — слияние концентрирует газ и пыль



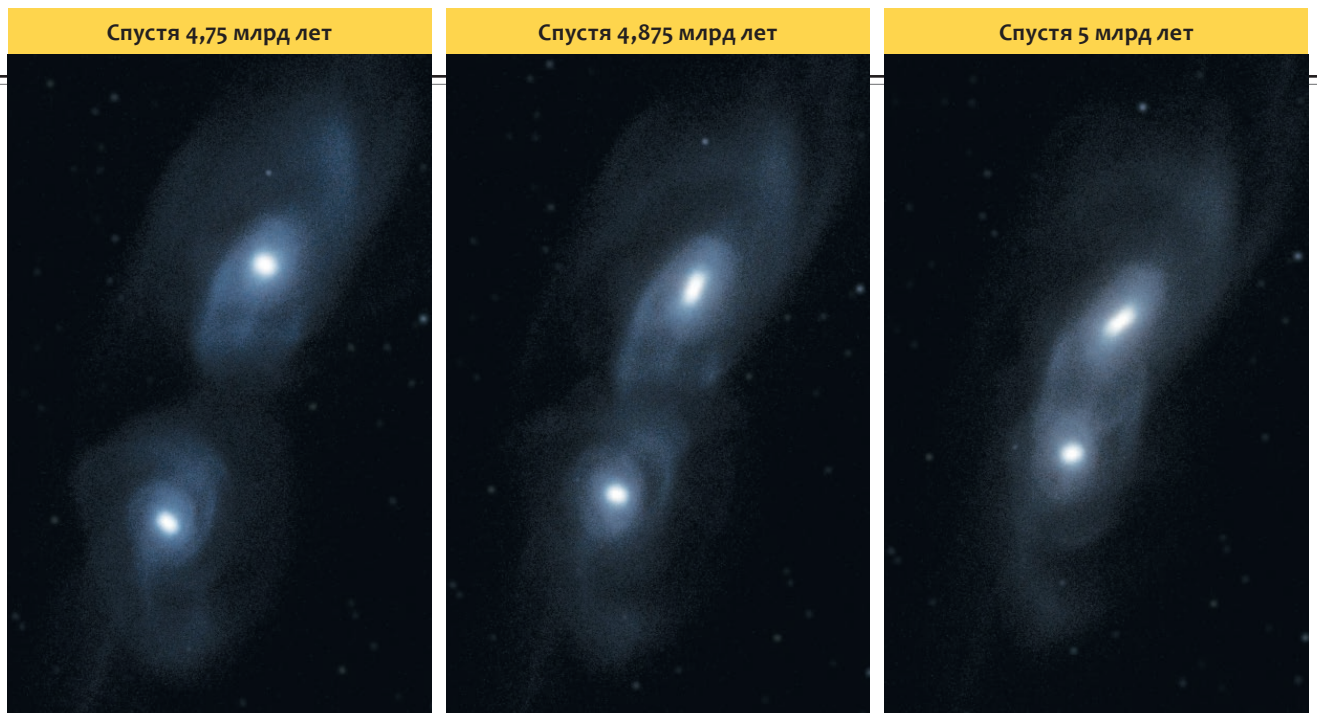
в компактные области, возбуждая волны формирования звезд, называемые вспышками звездообразования, которые, в свою очередь, производят новые тяжелые элементы и новую пыль. Поэтому, хотя молодые и массивные звезды большую часть своей энергии выделяют в виде излучения в коротковолновом ультрафиолетовом диапазоне, лишь ничтожной его части удастся пробиться к Земле. Окружающие частицы пыли поглощают ультрафиолетовое излучение и переизлучают его энергию в инфракрасном диапазоне. Телескопы, оснащенные чувствительными инфракрасными датчиками, могут измерять это излучение, позволяя нам заглядывать сквозь пелену пыли и изучать самые ранние стадии рождения звезд и рост сверхмассивных черных дыр.

Инфракрасная астрономическая обсерватория обнаружила в Млечном Пути и в тысячах других галактик множество таких звездных инкубаторов, что значительно углубило наши представления о слиянии галактик в двух важных аспектах. Во-первых, *IRAS* позволила точно измерить энергию, генерируемую этими объектами, и показала, что сливающиеся галактики — одни из самых ярких объектов во Вселенной. Во-вторых, *IRAS* обнаружила сталкивающиеся галактики на огромных расстояниях от нас исключительно на основе их инфракрасного излучения, что дало нам первую точную оценку количества слияний галактик за время существования Вселенной. Некоторые из этих столкновений произошли так далеко от Земли, что излучение, которое мы регистрируем, было испущено, когда Вселенная была в пять

раз моложе, чем теперь. В некоторых сливающихся галактиках более 90% суммарного выброса энергии приходится на излучение в дальнем ИК-диапазоне — их истинная природа полностью скрыта от оптических телескопов.

Но *IRAS* показала нам, что большой перекокс спектра излучения в сторону инфракрасной области — прекрасный способ найти сталкивающиеся и сливающиеся галактики. В частности, она позволила выявить класс галактик, названных яркими инфракрасными галактиками (ЯИГ). Это объекты, светимость которых в дальнем инфракрасном диапазоне в 100 млрд раз превышает светимость Солнца (примерно втрое больше суммарной мощности излучения всех звезд Млечного Пути), и часто они — не что иное, как сливающиеся галактики. Еще более редкое и захватывающее зрелище — ультраяркие инфракрасные галактики (УЯИГ). Эти галактики, светимость которых в дальнем инфракрасном диапазоне более чем в 1 трлн раз превышает яркость Солнца, почти всегда — неистовые столкновения галактик.

Шаг к объяснению того, что происходит в ядрах слившихся галактик, ученые сделали в конце 1980-х гг., когда установили связь между слияниями и другим классом небесных тел, называемых квазарами, которые питаются энергией активных сверхмассивных черных дыр. Это самые энергичные объекты во Вселенной, их светимость более чем в 1 трлн раз превышает светимость Солнца. Дэвид Сандерс (David Sanders), который в то время был научным сотрудником Калифорнийского технологического института, работая с Томом Сойфером (Tom



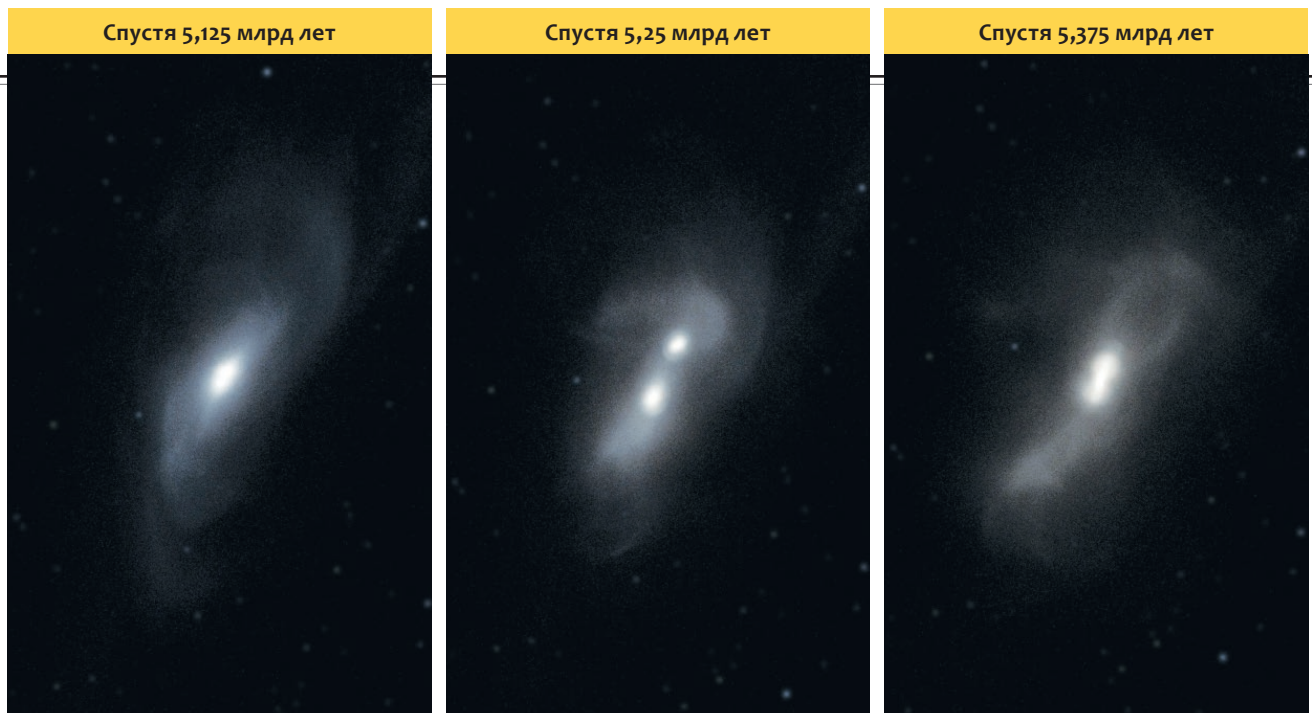
Soifer) и покойным Джерри Нойгебауэром (Gerdy Neugebauer), высказали предположение, что УЯИГ — это ранняя, окутанная пылью в прямом и переносном смысле фаза между слиянием галактик и квазарами. Эта эволюционная связь между УЯИГ и квазарами построена на предыдущих исследованиях Алана Стоктона (Alan Stockton) из Гавайского университета, Джона Маккенти (John MacKenty) из Института исследований космоса с помощью Космического телескопа в Балтиморе и Тимоти Хекмана (Timothy Heckman) из Университета Джона Хопкинса, которые показали, что галактики с активными черными дырами в их центрах часто выглядят деформированными, что соответствует их статусу сливающихся галактик.

Предполагаемая связь между яркими инфракрасными галактиками и квазарами, двумя типами небесных объектов, которые на первый взгляд не имеют ничего общего, позволила построить проверяемую модель, которая стимулировала исследования связи между этими очевидно несопоставимыми по своей природе классами [космических объектов]. Обеспечив основу для объединения ярких инфракрасных галактик, галактик с мощной вспышкой звездообразования, активных галактик и квазаров, она помогла возобновить интерес к тому, как слияние галактик влияет на их эволюцию в космическом масштабе времени. Поскольку более половины энергии излучения, испущенного звездами за всю историю Вселенной, превращается в пыль в излучение ИК-диапазона, роль сливающихся галактик, вероятно, имеет критическое значение.

Амбициозные цели

В 2004 г. мы оба и наши сотрудники стали инициаторами программы *GOALS* (*Great Observatories All-Sky LIRG Survey*, Составленный с помощью крупнейших [космических] обсерваторий и охватывающий все небо каталог УЯИГ), цель которой — сбор коллекции изображений и спектров сталкивающихся галактик с помощью трех крупнейших космических обсерваторий NASA: инфракрасного телескопа «Спитцер», оптического телескопа «Хаббл» и рентгеновского телескопа «Чандра». Эти приборы позволяют получить картину жизненного цикла сталкивающихся галактик в широком диапазоне длин волн. Каталог *GOALS* содержит все самые яркие инфракрасные галактики в местной окрестности Вселенной. Этот каталог включает более 200 объектов, расположенных в пределах 1,3 млрд световых лет, и позволяет проводить самые подробные на сегодня исследования ярких инфракрасных галактик.

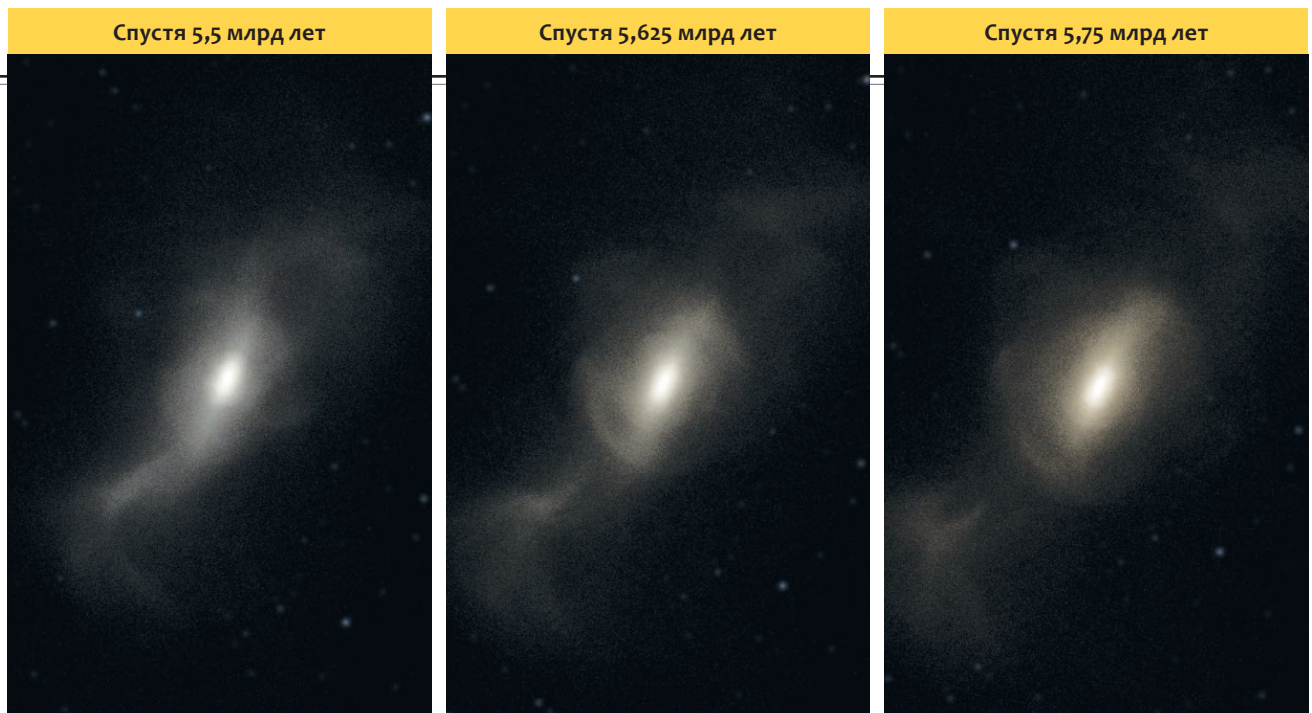
Наша научная группа использует и наземные телескопы, такие как Очень большая антенная решетка (VLA) в штате Нью-Мексико, 200-дюймовый телескоп «Хейл» на горе Паломар в Калифорнии, сдвоенные десятиметровые телескопы Обсерватории Кека на острове Гавайи и Атакамскую большую антенную решетку миллиметрового/субмиллиметрового диапазона (ALMA) в Чили. Наша группа получала данные также от работающего в дальнем ИК-диапазоне европейского космического телескопа «Гершель» и рентгеновского телескопа NASA *NuSTAR*; с помощью последнего изучают [источники] жесткого рентгеновского излучения очень высоких энергий.



Программа GOALS уже позволила значительно расширить наши знания о сталкивающихся галактиках. Например, давний вопрос заключался в том, что, молодые звезды или активные черные дыры, вносит больший вклад в излучение, исходящее от сливающихся галактик. Один из способов, с помощью которого мы можем разделить их вклад [в суммарное излучение] в течение различных периодов цикла слияния, — посмотреть на различие энергетических профилей (количество выделяемой энергии как функцию длины волны) этих двух типов объектов. Звезда — это простой тепловой источник излучения, большую часть своей энергии она излучает на длине волны [в районе] пика, которая зависит от ее температуры, и с уменьшением или увеличением длины волны выход ее энергии очень быстро падает. Напротив, аккреционный диск, питающий черную дыру, — вязкий и горячий; его температура возрастает от внешней стороны к горизонту событий черной дыры. Энергетический профиль аккреционного диска значительно шире, гораздо большая, чем у звезды, часть излучения у него приходится на высокоэнергетическую область спектра, а значит, он может нагревать и ионизировать (отрывать электроны у атомов) широкий диапазон элементов в окружающем газе. Обнаружение в спектре галактики сильного излучения высокоионизированных элементов — неопровержимое свидетельство того, что в ее центре находится аккрецирующая сверхмассивная черная дыра.

В ходе программы GOALS было обнаружено, что для всей популяции ярких инфракрасных

галактик вспышки звездообразования оказываются более важными источниками энергии, чем черные дыры. Примерно одна пятая часть всех ярких инфракрасных галактик из каталога GOALS, по всей видимости, содержит активные сверхмассивные черные дыры, но даже в этих галактиках вклад энергии звезд в суммарное излучение значителен. Но, возможно, мы пропустили активные черные дыры, которые настолько экранированы пылью, что даже с помощью инфракрасных приборов диагностики мы не в состоянии их обнаружить, — явление, которое в настоящее время подробно изучается двумя участниками программы GOALS, Джорджем Привоном (George Privon) из Национальной радиоастрономической обсерватории и Клаудио Риччи (Claudio Ricci) из Университета им. Диего Порталеса в Чили, а также группой специалистов Технического университета Чалмерса в Швеции под руководством Сюзанн Аалто (Susanne Aalto). Кроме того, активные черные дыры мы выявляем, как правило, на последних этапах слияния галактик, а это дает основания предположить, что рост значительной части сверхмассивной черной дыры, вероятно, отстает от процесса формирования звезд, что дает вспышкам звездообразования больше времени для того, чтобы внести свой вклад в суммарную энергию. И, судя по всему, наоборот, некоторые черные дыры также растут рано, как было предположено в результате наблюдений некоторых ЯИГ в инфракрасном диапазоне с помощью телескопов с самым высоким разрешением, проведенных участницей программы GOALS Энн Медлинг (Anne Medling)



из Толидского университета (штат Огайо, США). Точные временные рамки, в течение которых внутри галактик растут звезды и центральные сверхмассивные черные дыры, — предмет огромного количества текущих исследований, цель которых — получить ответ на одну из самых глубоких загадок последних двух десятилетий: почему соотношение масс центральной черной дыры и звезд в балджах нынешних спиральных и эллиптических галактик имеет почти постоянное значение примерно $1/1000$?

Новые выводы

В ходе других проектов последнего времени были получены новые сведения о ЯИГ и о том, как формируются звезды в сталкивающихся галактиках. Например, составив карту распределения газа, нагретого самыми массивными звездами внутри этих объектов, ученые, в том числе участники программы GOALS Кирстен Ларсон (Kirsten Larson) из Института исследований космоса с помощью Космического телескопа, Танио Диас-Сантос (Tanio Díaz-Santos) из Института техники и исследований — Эллада на Крите и Лорето Баркос-Муньос (Loreto Barcos-Muñoz) и Ицин Сун (Yiqing Song) из Виргинского университета обнаружили, что большая часть звезд в ЯИГ рождается в чрезвычайно компактных и ярких областях всплеск звездообразования. В этих областях скорость звездообразования и плотность газа в десять и более раз выше, чем мы наблюдаем в обычных галактиках. На ранней стадии слияния галактик наиболее активные области звездообразования располагаются, как правило, в районах, расположенных далеко от ядер ЯИГ. Однако по мере развития процесса слияния [галактик] основными областями звездообразования становятся компактные сгустки внутри и вокруг сливающихся ядер по мере того, как газ, первоначально находившийся в спиральных рукавах, устремляется к центру.

Интересно, что плотности центральных концентраций молекулярного газа в наиболее энергичных поздних стадиях слияния настолько высоки, что начинают напоминать гигантские молекулярные облака. Яркий пример такого явления — ближайшая ультраяркая инфракрасная галактика *Atr 220*, которая находится от нас на расстоянии 250 млн световых лет. Кадзуси Сакамото (Kazushi Sakamoto) из тайваньской *Academia Sinica* и Ник Сквилл (Nick Scoville) из Калтеха, используя антенную решетку *ALMA*, в мельчайших деталях построили карту распределения молекулярного газа в центре этого объекта, показав, что там содержится в несколько раз больше молекулярного газа, чем во всем Млечном Пути, причем сконцентрирован он в области размером не более 3 тыс. световых лет в поперечнике, что в 20 раз меньше диаметра газового диска Млечного Пути.

Хотя сливающиеся галактики — это мощные фабрики звезд, жизнь звездных скоплений, образовавшихся в результате такого столкновения, по всей видимости, удивительно коротка. Используя данные телескопа «Хаббл», Ангела Адамо (Angela Adamo) из Стокгольмского университета и участник программы GOALS Шон Линден (Sean Linden) из Массачусетского университета в Амхерсте наблюдали резкое падение числа скоплений как функцию возраста скопления, а это позволяет предположить, что значительное количество звездных скоплений в сливающихся галактиках разрушаются вскоре после своего рождения. Столкновение запускает усиленное звездообразование, но гравитационные приливные силы и звездные ветры сверхновых, как представляется, легко разрывают такие скопления на части.

Подобно тому как по мере эволюции звезд газ может быть выметен из скоплений, сливающиеся галактики тоже могут стать жертвой обратного воздействия со стороны сверхновых и центральных черных дыр, что окажет серьезное влияние на дальнейшую галактическую эволюцию. Огромные потоки ионизированного газа, вытекающие из сливающихся галактик, впервые были изучены в начале 1990-х гг. Хекманом и его сотрудниками, которые нашли там свидетельства мощных галактических ветров, получивших название галактических суперветров, в некоторых ЯИГ и УЯИГ с малым красным смещением. Последующие исследования, направленные на изучение этого горячего атомного газа, обнаружили не только то, что галактические ветры обычны для ЯИГ и УЯИГ, но и что самые быстрые из них могут вырываться из галактики и выбрасывать газ в межгалактическое пространство, как показали Дэвид Рупке (David Rupke) из Колледжа Родса и др. На фотографиях в самом мелком масштабе струи и пузырьки горячего газа, по которому распространяется ударная волна, отмечают области, где ядра «накачивают» энергию в галактику и формируют устремляющиеся наружу потоки, как это было запечатлено участницами программы GOALS Энн Медлинг и Вивиан У (Vivian U) из Калифорнийского университета в Ирвайне с помощью телескопов-близнецов Обсерватории Кека.

Галактические суперветры многофазны, то есть они могут содержать горячий и холодный атомарный и молекулярный газ. Ряд астрономов, в том числе Сакамото, Баркос-Муньос, Мигель Перейра-Сантаэлла (Miguel Pereira-Santaella) из испанского Центра астробиологии и Эдуардо Гонсалес Альфонсо (Eduardo González Alfonso) из Университета Алькала в Испании, изучали плотный молекулярный газ в суперветрах, часто обнаруживая большие количества холодного газа, вытекающего наружу из сливающихся галактик. Эти

вырывающиеся наружу потоки могут легко покрыть расстояние в 10 тыс. световых лет и иногда несут в себе больше газа, чем превращается в звезды в ядрах, тем самым лишая галактику топлива для идущего в ней звездообразования. Не менее важно и то, что эти ветры могут выносить тяжелые элементы (металлы) и пыль в межгалактическое пространство. Почти во всех случаях эти устремляющиеся наружу потоки зарождаются, по-видимому, около ядра сливающейся галактики и вызваны совокупным воздействием сверхновых, давления излучения и релятивистских струй (вырывающихся с огромной скоростью столбов газа) из черной дыры в ее центре. Эти потоки, вероятно, играют важную роль в жизненном цикле галактик, поскольку детальное моделирование Криса Хэйворда (Chris Hayward) из Института Флэтайрон позволяет предположить, что обратная связь со стороны звезд, вероятно, одновременно регулирует звездообразование и управляет потоками вещества в межгалактическое пространство.

Самые большие глаза в небе

Космический телескоп им. Джеймса Уэбба (или просто «Уэбб»), дата запуска которого уже многократно переносилась, имеет все шансы значительно расширить наши представления о слиянии галактик на протяжении космического времени. Запуск этого инфракрасного телескопа диаметром 6,5 м намечен на конец 2021 г. «Уэбб» — это приемник инфракрасных космических обсерваторий *IRAS* (работала в 1983 г.) и «Спитцер» (выведен из эксплуатации в 2020 г.), но он будет как минимум в 50 раз более чувствительным, с пространственным разрешением почти в десять раз большим, чем «Спитцер», и позволит получать четкие изображения галактик в ближнем и среднем диапазоне инфракрасной области спектра. Он будет нести также «многоточечные» (или «матричные») спектрометры, которые могут получать одновременно спектры в сотнях точек. Это позволит ему в мельчайших деталях фиксировать полную картину областей звездообразования и областей вокруг сверхмассивных черных дыр с активно идущей аккрецией в близлежащих к нам сливающихся галактиках.

Участники совместного проекта *GOALS* будут проводить наблюдения за четырьмя ближайшими яркими инфракрасными галактиками в рамках одной из 13 Директорских инициативных ознакомительных научных программ изучения космоса с помощью Космического телескопа им. Джеймса Уэбба. Другие ученые будут использовать эту обсерваторию для поиска ближайших ярких активных галактик, далеких квазаров и для фотографирования пустых участков космоса с огромными экспозициями в поисках самых первых галактик.

Предмет ознакомительных исследований с помощью телескопа «Уэбб» в рамках программы *GOALS* включает галактики с мощными вспышками звездообразования и активные центральные черные дыры. Все эти галактики застигнуты в период агонии слияния, и из всех них вырываются потоки галактического ветра. Эти галактики станут для нас ценными «лабораториями», помогающими понять, как эти процессы разворачивались в ранней Вселенной. Помимо ознакомительных программ, были отобраны несколько проектов для первого Цикла общих наблюдений с помощью Космического телескопа им. Джеймса Уэбба, в рамках которого будут изучать обратную связь со стороны молодых [звездных] скоплений и активных черных дыр, производить оценку доли областей звездообразования, скрытых от нас в оптическом диапазоне, и исследовать природу скрытых ядер в ярких инфракрасных галактиках.

Радиотелескоп *VLA* с 27 приемными тарелками планируется заменить Сверхбольшой антенной решеткой следующего поколения. Этот интерферометр с 263 тарелками, принимающий сигналы в радио- и миллиметровом диапазоне длин волн, позволит вести наблюдения областей звездообразования, активных черных дыр и света, сопровождающего взрывы звезд, с чувствительностью и разрешением в десять раз большими, чем *VLA*.

Таким образом, эти новые телескопы помогут выявить астрофизические процессы, происходящие при слиянии близлежащих галактик и галактик ранней Вселенной. Моделирование с высоким разрешением вкупе с этими наблюдениями, открывающими новые подробности, станет ключом к пониманию того, как процессы физической обратной связи помогают регулировать звездообразование и рост черных дыр в сливающихся галактиках. Будущие, уже запланированные и находящиеся пока в стадии изучения предложений обсерватории смогут обнаруживать гравитационно-волновые характеристики столкновений сверхмассивных черных дыр и пыльные ядра формирующихся галактик на протяжении большей части истории Вселенной. Так же как мы обнаруживаем новые экзотические объекты в самых дальних уголках Вселенной, мы продолжим использовать эти новые приборы, чтобы лучше понять, как галактики рождаются и проживают свою жизнь. ■

Перевод: А.П. Кузнецов

ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Colliding Galaxies. Rudolph Minkowski; September 1956.