

Ливин М.



РЕКВИЕМ ХАББЛУ

Немногие телескопы могут похвастаться таким весомым вкладом в астрономические исследования, как космический телескоп «Хаббл» («Hubble»).

В апреле 2008 года исполнилось 18 лет с тех пор, как «Хаббл» находится в космосе. И уже принято решение о списании этого уникального инструмента «в архив».

С помощью «Хаббла» было совершено 10 важнейших открытий в астрономии. За последние годы, вместе с другими обсерваториями, «Хаббл» обнаружил два новых спутника Плутона, неожиданно (и парадоксально) — обширную галактику в очень молодой Вселенной, а также спутник с массой планеты у коричневого карлика, весящего ненамного больше самой планеты. Нам удалось уточнить характеристики Вселенной, которые прежде существовали лишь в нашем воображении.

1. СТОЛКНОВЕНИЕ С КОМЕТОЙ

По космическим масштабам столкновение кометы Шумейкер-Леви 9 с Юпитером было рядовым событием: усеянные кратерами поверхности планет и их спутников показывают, что Солнечная система — настоящий тир. Но в масштабе жизни человека с таким событием можно столкнуться лишь однажды: в среднем комета врывается в планету раз в тысячу лет.

За год до гибели кометы Шумейкер-Леви 9 полученные «Хабблом» изображения показали, что она раскололась на две дюжины фрагментов, которые растянулись в цепочку. Первый из них врвался в атмосферу Юпитера 16 июля 1994 года, а за ним в течение недели упали и остальные. На изображениях видны выбросы, похожие на гриб ядерного взрыва, поднимающиеся над горизонтом Юпитера, а затем оседающие и рассыпающиеся через 10 минут после столкновения. Но последствия взрыва наблюдались еще в течение нескольких месяцев.

Следы столкновений помогают выяснить состав газового гиганта. От каждого из них волны разбежались со скоростью 450 м/сек. Судя по всему, это «тяжелые» волны, упругость в которых создается силой плавучести. Характер распространения волн указывает, что отношение кислорода

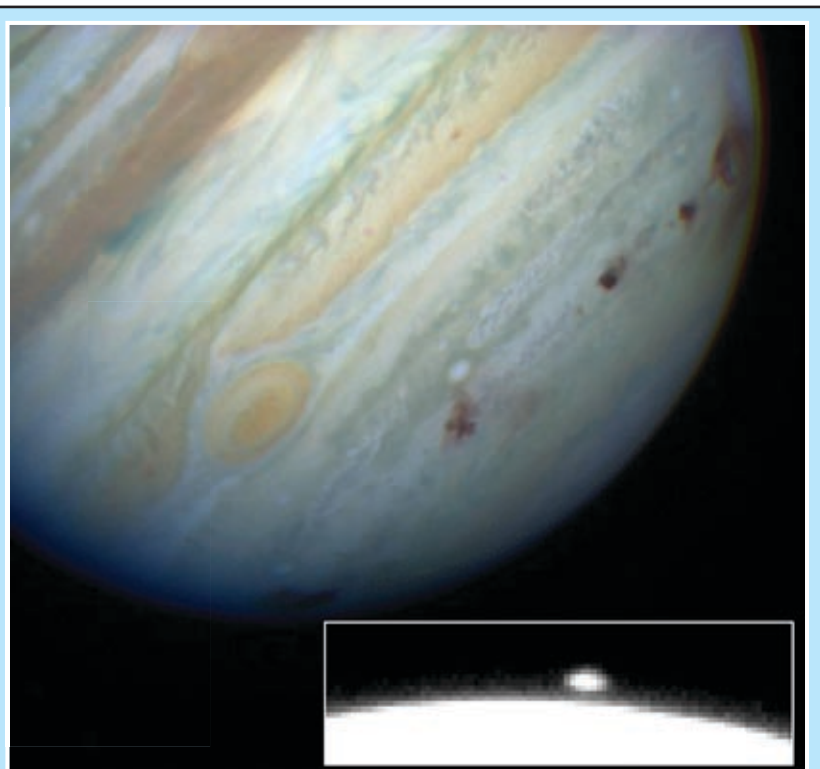


Первый ремонт «Хаббла» в декабре 1993 года. Астронавты Стори Масгрейв (Story Musgrave, на манипуляторе), Джеффри Хоффман (Jeffrey Hoffman, в грузовом отсеке) и другие члены команды шаттла устраняют недостатки главного зеркала

к водороду в атмосфере Юпитера может быть в 10 раз больше, чем на Солнце. Однако если Юпитер сформировался в результате гравитационной неустойчивости первичного газопылевого диска, то его состав должен быть таким же, как у диска, то есть соответствовать химическому составу Солнца. Это противоречие так и остается неразгаданным.

2. ВНЕСОЛНЕЧНЫЕ ПЛАНЕТЫ

В 2001 году Американское астрономическое общество обратилось с просьбой к специалистам выбрать наиболее значимое, с их точки зрения, открытие последнего десятилетия. По мнению большинства, им стало обнаружение планет вне Солнечной системы. Сегодня известно около 180



Восемь мест столкновений (темные пятна, некоторые наложились друг на друга и едва различимы), повредивших южное полушарие Юпитера, видны на изображении, полученном 22 июля 1994 года. На нижнем снимке: выброс, похожий на ядерный гриб, над лимбом планеты через 6 минут после столкновения 16 июля

таких объектов. Значительная их часть найдена с помощью наземных телескопов по небольшим колебаниям звезды, вызванным гравитационным воздействием обращающейся вокруг нее планеты. Пока такие наблюдения дают минимум информации: только размер и эллиптичность орбиты планеты, а также нижний предел ее массы.

Исследователи сосредоточились на тех планетах, орбитальные плоскости которых ориентированы вдоль нашего луча зрения. Наблюдение «Хабблом» первого из обнаруженных прохождений спутника звезды HD 209458 дало наиболее полную информацию о планете вне Солнечной системы. Она на 30% легче Юпитера, но при этом на столько же больше его в диаметре, возможно, потому, что излучение близкой звезды заставило ее раздуться. Данные «Хаббла» достаточно точны, чтобы выявить широкие кольца и массивные спутники, но их не оказалось. «Хаббл» впервые определил химический состав планеты вблизи другой звезды. В ее атмосфере содержатся натрий, углерод и кислород, а водород испаряется в пространство, создавая кометообразный хвост. Эти наблюдения — предтеча поисков химических признаков жизни в далеких уголках Галактики.

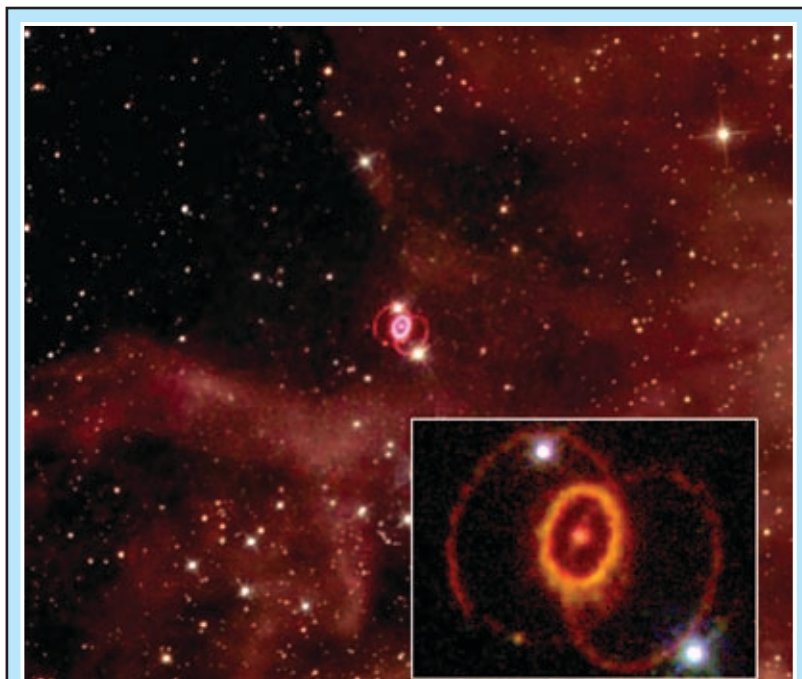
3. АГОНИЯ ЗВЕЗД

Согласно теории, звезда с массой от 8 до 25 масс Солнца завершает свою жизнь взрывом сверхновой. Исчерпав запасы топлива, она резко теряет способность удерживать собственный вес. Ее ядро коллапсирует, превращаясь в нейтронную звезду — массивный, сверхплотный объект, а внеш-

ние слои газа выбрасываются в пространство со скоростью 5% от скорости света. Но проверить данную теорию нелегко, поскольку в нашей Галактике сверхновые не взрывались с 1680 года. Однако 23 февраля 1987 года астрономам улыбнулась удача: произошел взрыв сверхновой в соседней галактике, спутнике Млечного Пути, — Большом Магеллановом облаке. В этот момент «Хаббл» еще не был запущен, но через 3 года он начал отслеживать процесс и вскоре открыл три кольца, окружающие взорвавшуюся звезду. Центральное видно на месте узкой перемычки у газового облака, имеющего форму песочных часов, а большие кольца — края двух чашеобразных полостей, видимо образованных звездой за несколько десятков тысяч лет до взрыва. В 1994 году «Хаббл» начал замечать яркие пятна, возникающие одно за другим на центральном кольце: это в него врезался выброс сверхновой. Наблюдения за агонией звезды продолжают.

В отличие от своих более массивных собратьев, звезды типа Солнца умирают более элегантно, сбрасывая свои внешние газовые слои постепенно, без взрыва. Это длится около 10 тыс. лет. Когда горячее центральное ядро звезды обнажается, оно своим излучением ионизует извергнувшийся газ, заставляя его светиться ярко-зеленым (ионизованный кислород) и красным (ионизованный водород).

В результате возникает планетарная туманность. Сегодня их известно около 2 тыс. «Хаббл» показал их необычайно сложные формы в тончайших деталях. В некоторых туманностях наблюдается несколько концентрических кругов, похожих на бычий глаз, что свидетельствует об эпизодическом, а не непрерывном выбросе газа. Причем предполагаемое время между двумя выбросами составляет примерно 500 лет, что слишком долго для динамических пульсаций (при которых звезда сжимается и расширяется в результате противобор-



Когда ударная волна от Сверхновой 1987А достигла ранее существовавшего газового кольца, запылали горячие пятна. Изображение, полученное «Хабблом»



Широко раскрытый в космическом пространстве Кошачий глаз — это прекрасная туманность, находящаяся на расстоянии в три тысячи световых лет от Земли. Классическая планетарная туманность — Кошачий глаз (NGC 6543) является последним, коротким, но очень ярким этапом в жизни звезды, похожей на Солнце. Умирающая звезда в центре туманности могла создать простую структуру из концентрических оболочек, богатых пылью, регулярно сбрасывая свои внешние слои. Но то, как образовался такой прекрасный и сложный узор, пока не до конца понятно. Космический глаз, который на этом четком изображении, полученном Космическим телескопом Хаббла, виден с такими подробностями, достигает в поперечнике более половины светового года



Пылевые диски, похожие на уродливых амеб, окружают формирующиеся звезды в туманности Ориона (некоторые диски обведены окружностями). Площадь каждого диска — 2040 а.е.²

ства гравитации и газового давления) и слишком быстро для тепловых пульсаций (при которых звезда выходит из равновесного состояния). Истинная же природа наблюдаемых колец остается неясной.

4. КОСМИЧЕСКОЕ РОЖДЕНИЕ

Установлено, что узкие и быстрые струи газа свидетельствуют о рождении звезды. Формируясь, она может извергнуть две тонкие струи длиной в несколько световых лет. Согласно одной из гипотез, крупномасштабное магнитное поле пронизывает газопылевой диск, окружающий молодую звезду. Ионизованное вещество, вынужденное течь вдоль магнитных силовых линий, напоминает бусины на вращающейся нитке. Наблюдения «Хаббла» подтвердили теоретический прогноз, согласно которому струи рождаются в центре диска.

В то же время данные, полученные «Хабблом», опровергли другое предположение, касавшееся околозвездных дисков. Считалось, что они сидят так глубоко в родительском облаке, что увидеть их невозможно. «Хаббл» же обнаружил с дюжину протопланетных дисков — проплидов, часто заметных в виде силуэта на фоне туманности. По крайней мере половина изученных молодых звезд обладает такими дисками, свидетельствующими о том, что сырьё для формирования планет в Галактике достаточно.

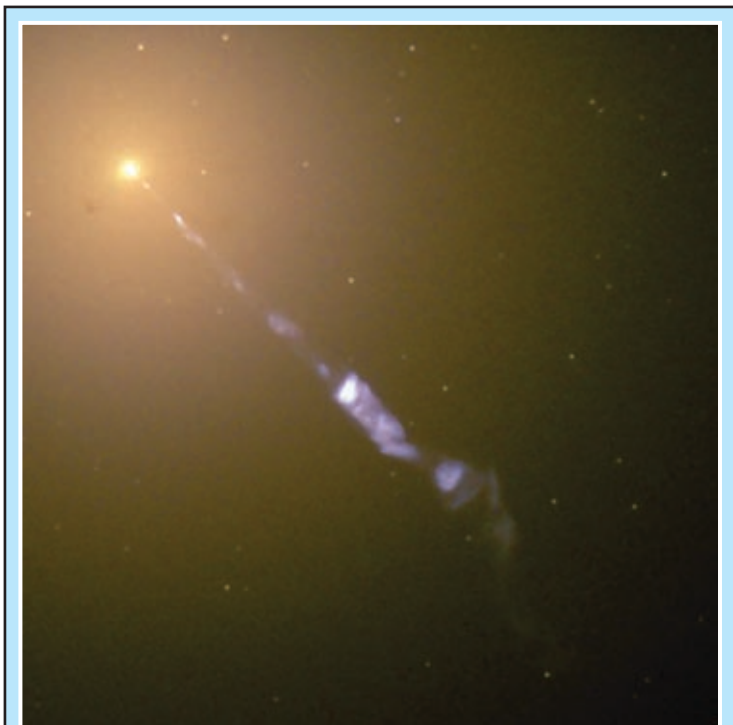
5. ГАЛАКТИЧЕСКАЯ АРХЕОЛОГИЯ

Астрономы считают, что крупные галактики, такие как Млечный Путь и наша соседка Туманность Андромеды, выросли, поглощая мелкие галактики. Признаки «галактического каннибализма» должны быть заметны по расположению, возрасту, составу и скоростям входящих в них звезд. Благодаря наблюдениям «Хаббла» за звездным гало (слабым сферическим облаком звезд и звездных скоплений вокруг основного галактического диска) Туманности Андромеды, исследователи обнаружили, что в гало входят различающиеся по возрасту звезды: у самых старых возраст достигает 11–13,5 млрд лет, а у самых юных — 6–8 млрд лет.

Последние, должно быть, случайно забрели сюда из какой-то молодой галактики (например, из поглощенной галактики-спутника) или же из более ранней области самой Андромеды (например, из диска, если часть его разрушилась при близком прохождении небольшой галактики или столкновении с ней). В гало нашей галактики нет заметного числа относительно молодых звезд. Так что при всей схожести формы Туманности Андромеды и Млечного Пути, как показывают наблюдения «Хаббла», истории двух галактик значительно отличаются друг от друга.

6. СВЕРХМАССИВНЫЕ ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ

С 1960-х годов астрономы получили доказательства того, что источником энергии квазаров и других активных ядер галактик служат гигантские черные дыры, захватывающие окружающее их вещество. Наблюдения «Хаббла» подтверждают данную теорию. Почти у каждой детально наблюдавшейся галактики нашлись указания на спрятанную в ее центре черную дыру. Особенно важными оказались два обстоятельства. Во-первых, изображения квазаров, полученные с высоким угловым разрешением, показали, что они располагаются в ярких эллиптических



Плазменная струя, бьющая из галактики М 87, по-видимому, генерируется аккрецирующей черной дырой массой в 3 млрд масс Солнца

или взаимодействующих галактиках. Это говорит о том, что нужны особые условия, чтобы питать центральную черную дыру.

Во-вторых, масса гигантской черной дыры тесно коррелирует с массой сферического звездного балджа (сгущения), окружающего галактический центр. Корреляция свидетельствует о том, что формирование и эволюция галактики и ее черной дыры тесно связаны.

7. САМЫЕ МОЩНЫЕ ВЗРЫВЫ

Гамма-всплески — короткие вспышки гамма-излучения, длящиеся от нескольких миллисекунд до десятков минут. Их разделяют на два типа в зависимости от их длительности. Границей считаются примерно 2 секунды; в более длительных вспышках образуются менее энергичные фотоны, чем в более коротких. Наблюдения, проведенные Комптоновской гамма-обсерваторией, рентгеновским спутником ВерроSAX и наземными обсерваториями, позволили предположить, что продолжительные вспышки возникают при коллапсе ядер массивных короткоживущих звезд, иными словами, — звезд типа сверхновой. Но почему только малая доля сверхновых дает гамма-всплески?

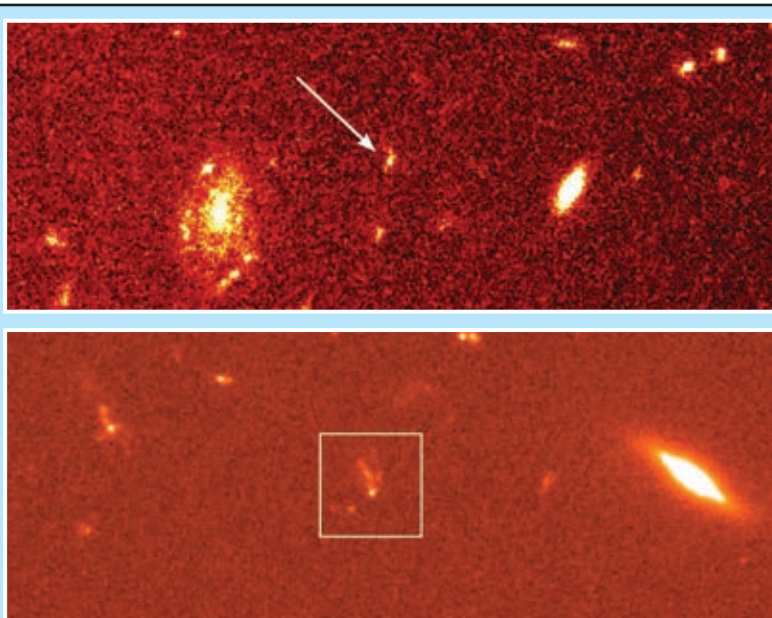
«Хаббл» обнаружил: несмотря на то, что во всех областях звездообразования в галактиках вспыхивают сверхновые, продолжительные гамма-всплески сконцентрированы в наиболее ярких областях, как раз там, где сосредоточены самые массивные звезды. Более того, продолжительные гамма-всплески чаще всего возникают в небольших, неправильных, бедных тяжелыми элементами галактиках. И это важно, поскольку дефицит тяжелых элементов в массивных звездах делает их звездный ветер менее мощным, чем у звезд, богатых тяжелыми элементами. Поэтому

на протяжении жизни бедные тяжелыми элементами звезды сохраняют большую часть своей массы и, когда приходит время взрываться, они оказываются более массивными. Коллапс их ядер приводит к образованию не нейтронной звезды, а черной дыры. Астрономы считают, что продолжительные гамма-всплески вызваны тонкими струями, выброшенными быстро вращающимися черными дырами. Решающими факторами для того, чтобы коллапс ядра звезды вызвал мощный гамма-всплеск, являются масса и скорость вращения звезды в момент ее смерти.

Отождествление коротких гамма-всплесков оказалось более сложным. Только в последние годы несколько таких событий произошло благодаря спутникам НЕТЕ 2 и Swift. «Хаббл» и рентгеновская обсерватория «Чандра» установили, что энергия таких вспышек слабее, чем продолжительных, и возникают они в совершенно разных типах галактик, включая и эллиптические галактики, где звезды сейчас почти не формируются. Похоже, что короткие вспышки связаны не с массивными, короткоживущими звездами, а с остатками их эволюции. Согласно наиболее популярной гипотезе, короткие гамма-всплески возникают при слиянии двух нейтронных звезд.

8. КРАЙ ВСЕЛЕННОЙ

Одна из фундаментальных задач астрономии — исследовать развитие галактик и их предков во временном интервале, максимально приближенном к моменту Большого взрыва. Чтобы понять, как выглядел когда-то наш Млечный Путь, исследователи решили получить изображения галактик различного возраста — от самых юных до самых старых. С этой целью, чтобы запечатлеть наиболее далекие (а значит, самые древние) галактики,



Вверху: Гамма-всплеск GRB 971214 глазами телескопа Хаббл. Всплеск зафиксирован на расстоянии 12 млрд. световых лет от Земли.

Внизу: Самый мощный за историю наблюдений гамма-всплеск, наблюдаемый 23.01.1999 г. В первый момент гамма-взрыва яркость всплеска была эквивалентна яркости 100 млрд. звезд. Мы увидели только одну-четыремиллионную долю от первоначальной яркости этого всплеска

«Хаббл» совместно с другими обсерваториями получил с длительными экспозициями изображения нескольких маленьких участков неба: глубокие снимки «Хаббла», сверхглубокий снимок «Хаббла» и глубокий обзор великих обсерваторий «Происхождение».

Сверхчувствительные снимки показывают галактики во Вселенной, когда ей было лишь несколько сотен миллионов лет, что составляет всего 5% от ее нынешнего возраста. Тогда галактики были меньше размером и имели менее правильную форму, чем теперь, что и следовало ожидать, если современные галактики образовывались путем слияния маленьких галактик (а не путем распада более крупных). Создаваемый сейчас космический телескоп «Джеймс Уэбб», наследник «Хаббла», сможет проникнуть в еще более далекие эпохи.

Глубокие снимки позволяют также проследить, как изменялась интенсивность звездообразования во Вселенной от эпохи к эпохе. Похоже, что она достигла своего пика примерно 7 млрд лет назад, а затем постепенно ослабла примерно в десять раз. В молодости Вселенной (то есть в возрасте 1 млрд лет) скорость звездообразования уже была велика и составляла 1/3 ее максимального значения.

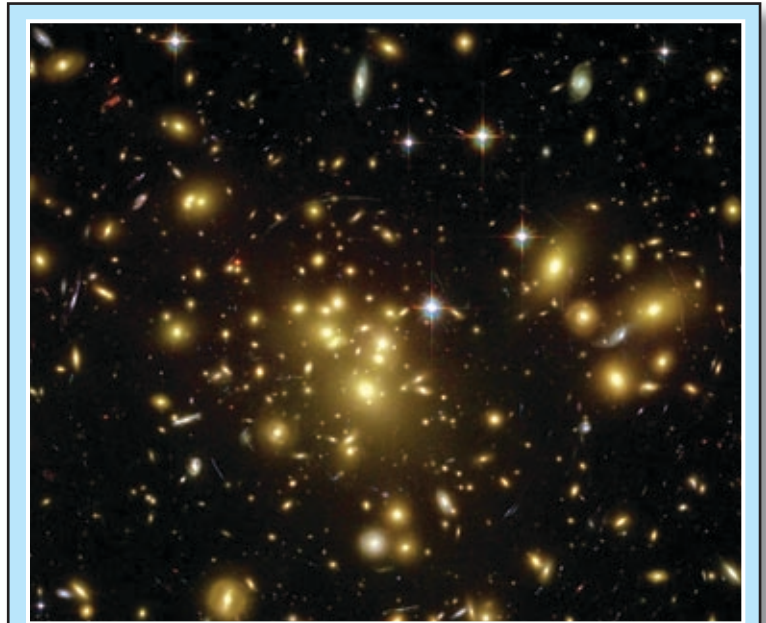
9. ВОЗРАСТ ВСЕЛЕННОЙ

Наблюдения Эдвина Хаббла и его коллег в 1920-е годы показали, что мы живем в расширяющейся Вселенной. Галактики разбегаются друг от друга так, как будто бы пространство Вселенной равномерно растягивается. Постоянная Хаббла (H0), указывающая современную скорость расширения, позволяет определить возраст Вселенной. Объяснение простое: постоянная Хаббла — это скорость разбегания галактик, поэтому, если пренебречь ускорением и торможением, величина, обратная H0, дает время, когда все галактики были рядом. Кроме того, значение постоянной Хаббла играет определяющую роль для роста галактик, формирования легких элементов и установления продолжительности фаз космической эволюции. Не удивительно, что точное измерение постоянной Хаббла было с самого начала основной целью одноименного телескопа.

На практике для определения данной величины требуется измерить расстояния до ближайших галактик, а это гораздо более трудная задача, чем считалось в XX веке. «Хаббл» детально исследовал цефеиды — звезды с характерными пульсациями, периоды которых указывают на их истинный блеск, а значит, и на расстояние до них, — в 31 галактике. Точность полученного значения постоянной Хаббла составила около 10%. В совокупности с результатами измерений реликтового излучения это определяет возраст Вселенной — 13,7 млрд лет.

10. УСКОРЯЮЩАЯСЯ ВСЕЛЕННАЯ

В 1998 году две независимые группы исследователей пришли к поразительно-му выводу: расширение Вселенной ускоряется. Обычно астрономы считали, что Вселенная тормозится, поскольку притяжение галактик друг к другу должно замедлять их разбегание. Сложнейшая загадка современной физики — вопрос о том, что вызывает ускорение. Согласно рабочей гипотезе, во Вселенной содержится невидимая составляющая, называемая «темной энергией». Совокупность наблюдений «Хаббла», наземных



Далекие галактики, в миллиарды раз более слабые, чем может увидеть невооруженный глаз, разбросаны на сверхглубоких снимках

телескопов и измерений реликтового излучения указывают, что в этой темной энергии содержится 3/4 полной плотности энергии Вселенной.

Ускоренное расширение началось примерно 5 млрд лет назад, а до того момента оно тормозилось. В 2004 году «Хаббл» обнаружил 16 далеких сверхновых, которые тогда вспыхнули. Данные наблюдения накладывают основные ограничения на теории о том, чем может быть темная энергия. Простейшая (и наиболее загадочная) возможность заключается в том, что энергия принадлежит самому пространству, даже если оно совершенно пустое. Сегодня наблюдение далеких сверхновых остается лучшим методом изучения темной энергии. Роль «Хаббла» в изучении темной энергии огромна, поэтому астрономы будут благодарны NASA, если телескоп будет сохранен.



Сопоставление разных по времени снимков привело не только к обнаружению далекой сверхновой, но и к выявлению ускоренного расширения Вселенной