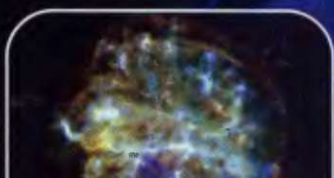
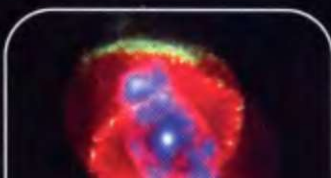


■ наука



НЕВИДИМАЯ ВСЕЛЕННАЯ

Рентгеновская астрономия, начинавшаяся со спутников для обнаружения ядерных взрывов, теперь помогает раскрывать тайны космоса



Рентгеновская астрономия – порождение ракетно-космического века. Она не могла появиться раньше в силу неумолимых законов физики. Атмосфера надежно защищает поверхность нашей планеты от коротковолнового электромагнитного излучения, поэтому регистрация рентгеновских квантов внеземного происхождения возможна лишь на больших высотах. Рентген самых высоких энергий можно обнаружить с помощью приборов, размещенных на борту стратостатов,

АСТРОНОМИЯ

но целиком рентгеновский диапазон открывается только при выносе аппаратуры непосредственно в космическое пространство.

На военной службе

Первые эксперименты такого рода были осуществлены в конце 1940-х годов в США под эгидой Пентагона. Как раз тогда сотрудник вашингтонской Военно-морской исследовательской лаборатории Герберт Фридман сконструировал

мос в носовых конусах трофейных немецких ракет “Фау-2”, стартовавших с военного полигона Уайт-Сэндз в штате Нью-Мексико. Первый же запуск принес важнейшую информацию – оказалось, что Солнце испускает рентгеновские лучи! Кстати, через пару десятков лет история повторилась: в 1969 году американские спутники ядерного мониторинга серии Vela зарегистрировали космические гамма-вспышки, которые сначала были приняты за атомные взрывы. Фридман пытался также обнаружить рентгеновское излучение звезд, но чувствительности тогдашних детекторов явно не хватало, и из этой затеи ничего не вышло. Однако со временем судьба вознаградила Фридмана за упорство – в 1964-м он и его сотрудники первыми обнаружили рентгеновское излучение

знаменитой Крабовидной туманности, возникшей на месте взорвавшейся в 1054 году сверхновой и оставившей после себя нейтронную звезду.

Фридман устанавливал свою аппаратуру на геофизических ракетах, но для систематического поиска космических рентгеновских источников необходимо длительное непрерывное наблюдение. Поэтому в начале 1960-х несколько американских астрофизиков пришли к убеждению, что детекторы рентгена следует размещать на спутниковых платформах. Среди них был выпускник Миланского университета доктор Рикардо Джаакони. В 1962 году его группа обнаружила Скорпион X-1 – первый рентгеновский источник за пределами Солнечной системы. К 1966 году эксперименты на ракетах и воздушных шарах позволили астрофизи-

Рентгеновская астрономия – порождение ракетно-космического века. Она не могла появиться раньше в силу неумолимых законов физики



РЕНТГЕНОВСКАЯ РАДУГА Вверху: рентгеновский дифракционный спектрометр высокого разрешения LETGS – набор золотых дифракционных решеток с периодом в 1 мкм. Справа: сборка главного зеркала

ровал модифицированный счетчик Гейгера, детектирующий кванты высоких энергий и потому способный засечь атмосферный ядерный взрыв (это и была основная цель). Именно с помощью этих приборов американские ученые и получили информацию об испытаниях первой советской атомной бомбы 29 августа 1949 года. В том же 1949 году Фридман и его коллеги начали отправлять новые счетчики в кос-



кам из США и Англии выявить более 30 таких источников. Это убедило руководителей NASA в целесообразности запуска рентгеновского спутника. В проекте он назывался X-Ray Explorer, но после выхода на орбиту был переименован в Uhuru, что на языке суахили означает "свобода" (он ушел в космос с установленной вблизи берегов Кении платформы 12 декабря 1970 года – в День независимости этой страны). Uhuru проработал около двух с половиной лет, и отправленная с него информация стала источником многих открытий. Этот аппарат зарегистрировал 339 рентгеновских источников, в том числе и объект в созвездии Лебедя, который стал первым в истории астрономии претендентом на роль черной дыры.

Спутники и телескопы

Uhuru был рентгеновским спутником, но никак не телескопом. Любой до-

стойный этого имени прибор обязан обладать оптической системой, способной собирать и фокусировать излучение, проходящее через апертуру. Ничего подобного на Uhuru не было и в помине. Вся фокусировка заключалась в том, что рентгеновские лучи перед попаданием на газоразрядные детекторы (фактически те же счетчики Гейгера) проходили сквозь узкое отверстие-коллиматор. Эта аппаратура хорошо регистрировала отдельные точечные источники, но не годилась для съемки протяженных объектов.

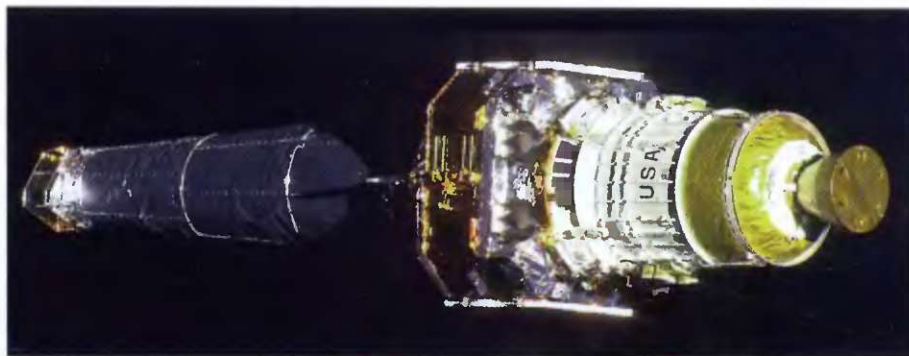
Джиаккони это прекрасно понимал. Еще в 1960 году в соавторстве с крупнейшим американским специалистом по космическим лучам Бруно Росси он опубликовал статью, содержащую первую в мире принципиальную схему настоящего рентгеновского телескопа с фокусирующей зеркальной системой. Устроена она была, мягко говоря, нестандартно. Рефлекторы обычных

телескопов отражают луч, падающий под любым углом, причем они создают изображение с меньшей абберацией, если этот угол не слишком велик (угол падения отсчитывается от перпендикуляра к поверхности). Поэтому главное зеркало подобного телескопа отбрасывает пучок света назад к апертуре. С рентгеновскими квантами такое не проходит – из-за своей большой энергии они практически не преломляются в веществе (а значит, невозможно создать рентгеновские "линзы") и не отражаются, а поглощаются при любых углах падения, кроме самых "пологих" (около 90 градусов). Поэтому для создания эффективного рентгеновского зеркала входящие лучи должны идти почти параллельно отражающей поверхности.

Вычисления показали, что зеркало для рентгеновского телескопа должно быть сужающейся полый трубкой с параболической или гиперболичес-

РЕНТГЕНОВСКИЙ ДИАПАЗОН

Единого определения рентгеновского диапазона не существует. Многие справочники определяют его как электромагнитные волны длиной 10–10⁵ нм (1 нм = 10⁻⁹ м). В астрофизике рентгеновский спектр измеряют в электронвольтах (эВ) и относят к нему кванты с энергиями от 100 эВ до 100 (иногда до 300–500) кэВ (килоэлектронвольт).



ВЕЛИКОЛЕПНАЯ ЧЕТВЕРКА

Орбитальный телескоп "Хаббл" положил начало целой серии астрономических инструментов космического базирования, которые NASA пиара ради окрестило "большими обсерваториями" (Great Observatories). Спустя ровно год после запуска "Хаббла", 5 апреля 1991 года, космический корабль "Атлантис" доставил в околоземное пространство второй инструмент – 17-тонную обсерваторию "Комптон", которая проводила на-

блюдения в жестком рентгене и в гамма-диапазоне. Из-за выхода гироскопов из строя "Комптон" проработал лишь 9 лет – 4 июня 2000 года он был снят с орбиты и затоплен в Тихом океане. Третья станция – рентгеновская обсерватория "Чандра" (Chandra X-Ray Observatory). Четвертый и пока последний представитель семейства "больших обсерваторий", инфракрасный телескоп "Спитцер", отправленный в космос 25 августа 2003 года, благополучно трудится во славу науки на своей околосолнечной орбите.

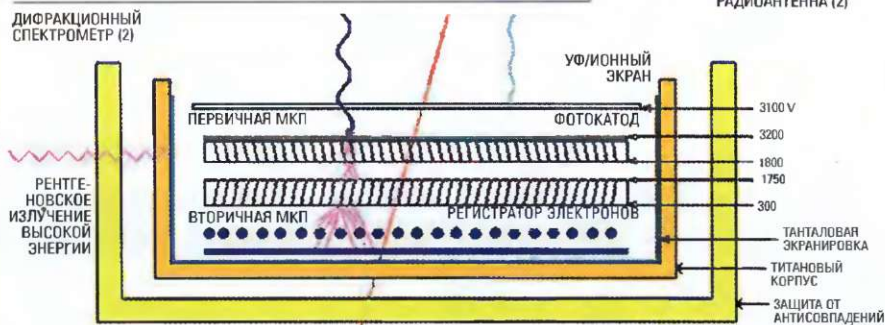
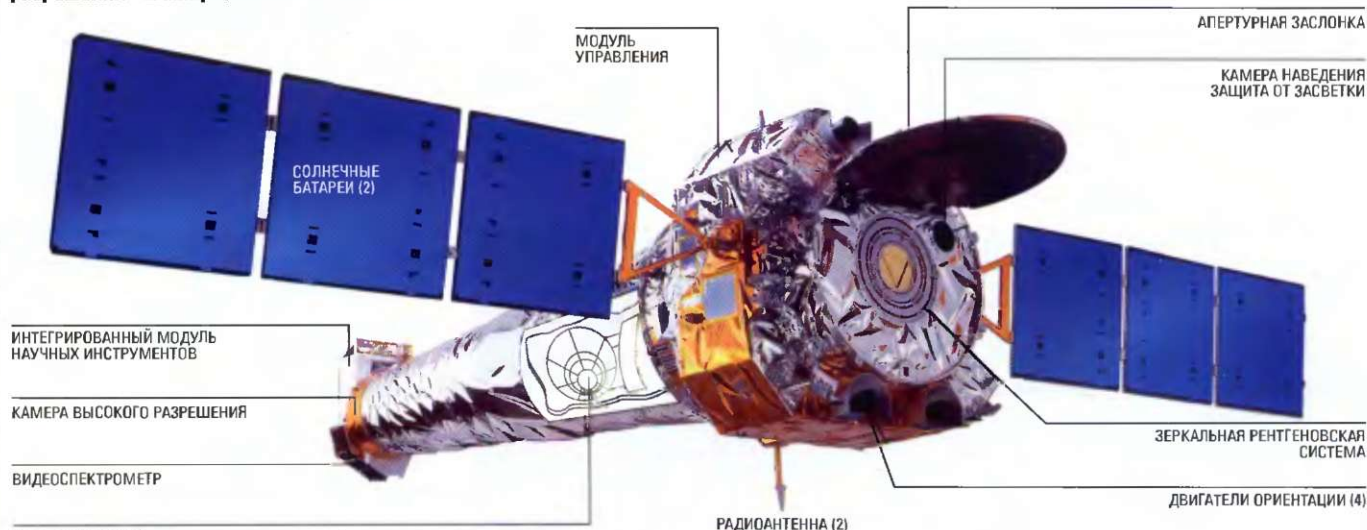


кой поверхностью. Рентгеновский луч входит внутрь нее со стороны раструба и после отражения выходит из узкого конца. Еще в 1952-м немецкий физик-оптик Ганс Волкер отметил, что для надлежащей фокусировки нужны две последовательно уста-

АНАТОМИЯ "ЧАНДРЫ" Основные элементы орбитальной обсерватории. Внизу: главная деталь рентгеновской камеры высокого разрешения – 2 микроканальные пластины

речь деньги и утвердили более скромный восьмизеркальный. Сначала его называли HEAO-2 (High Energy Astronomy Observatory-2), а после запуска присвоили имя Эйнштейна. Именно эта обсерватория, запущенная в космос 13 ноября 1978 года и проработавшая до апреля 1981 года, и стала первым рентгеновским телескопом.

"Эйнштейн" имел разрешающую способность порядка пяти угловых секунд и регистрировал рентгеновские кванты в диапазоне 200 эВ – 20 кэВ. Эта станция впервые осуществила высококачественное спектрографирование остатков сверхновых и открыла множество очень слабых внегалактических источников рентгеновского излучения.



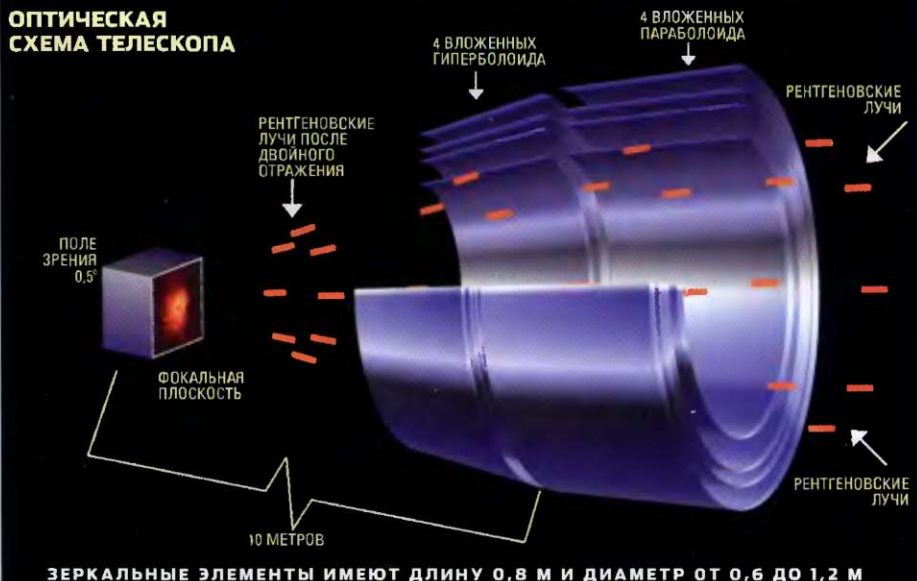
новленные отражающие поверхности. В свою очередь Джаккони и Росси поняли, что для увеличения чувствительности телескопа каждый фокусирующий блок должен состоять из нескольких вложенных друг в друга трубковидных зеркал с единой центральной осью. По этой схеме и строят рентгеновские телескопы.

Долгий путь к "Чандре"

Джаккони вместе с прочими энтузиастами рентгеновской астрономии задумался о большом рентгеновском телескопе еще до запуска Uhuru. В мае 1970 года в NASA был направлен проект инструмента с пятью парами зеркал диаметром до 105 сантиметров. Однако в Вашингтоне решили побе-

В 1980–1990-е годы европейские страны, СССР и Япония отправили в космос немало рентгеновских спутников и телескопов (самым мощным из них был немецкий ROSAT с зеркалами 80-сантиметрового диаметра, действовавший в 1990–1999 годах). Однако ни один из них не смог существенно улучшить качество наблюде-

ОПТИЧЕСКАЯ СХЕМА ТЕЛЕСКОПА



ний, сделанных "Эйнштейном". Астрономии XXI века был необходим инструмент, обладающий куда более широкими возможностями. Именно поэтому в 1976 году Джаккони и его коллега Харви Тананбаум направили в NASA новые предложения на этот счет. На сей раз в Вашингтоне выделили средства на их изучение, и проект обрел официальный статус.

Крещение

Будущую обсерваторию назвали AXAF (Advanced X-Ray Astrophysics Facility). Задумка была грандиозной – телескоп с шестью парами зеркал с максимальным диаметром 120 см, способный регистрировать в сто раз менее яркие рентгеновские источники, нежели "Эйнштейн". Однако руководство NASA имело иные приоритеты, да и с финансами, как всегда, была напряженка. Контракт на изготовление телескопа был утвержден лишь в 1988 году (его получила калифорнийская компания TRW). В начале 1990-х проекту угрожало закрытие из-за нехватки денег, и он был спасен лишь за счет некоторой потери качества – ученым пришлось согласиться, что телескоп получит 8 зеркал, а не 12 и будет оснащен меньшим числом

ГОРЯЧАЯ ВСЕЛЕННАЯ Обычные телескопы не в силах рассмотреть очень горячие (сотни миллионов градусов) космические объекты – их спектр смещен в рентгеновскую область

приборов. NASA окончательно утвердила этот усеченный проект в августе 1992-го, а спустя четыре с небольшим года оптическая система телескопа была смонтирована и отправлена для проверки в Центр космических полетов имени Маршалла. Калибровка

ошибка полировки не превышает нескольких размеров атомов, а точность позиционирования общей почти трехметровой сборки покрытых иридием пластин составляет 1,3 мкм!

Название телескопу решили выбрать на открытом конкурсе, собрав-

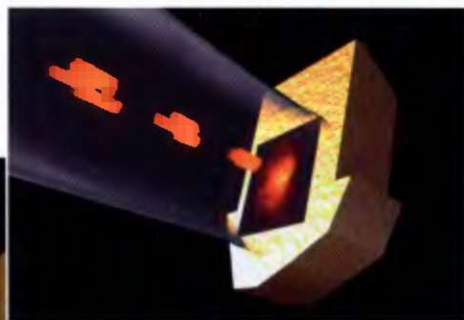
ТОЛЬКО ЗЕРКАЛА Создать рентгеновские линзы невозможно: из-за высокой энергии рентгеновские кванты практически не преломляются в веществе. Поэтому "Чандра" использует зеркала сложной формы



и испытания длились полгода и подтвердили, что зеркала и регистрирующая аппаратура сделаны безупречно и все модули полностью готовы к сборке. Кстати, тщательность изготовления зеркал этого телескопа до сих пор остается непревзойденной –

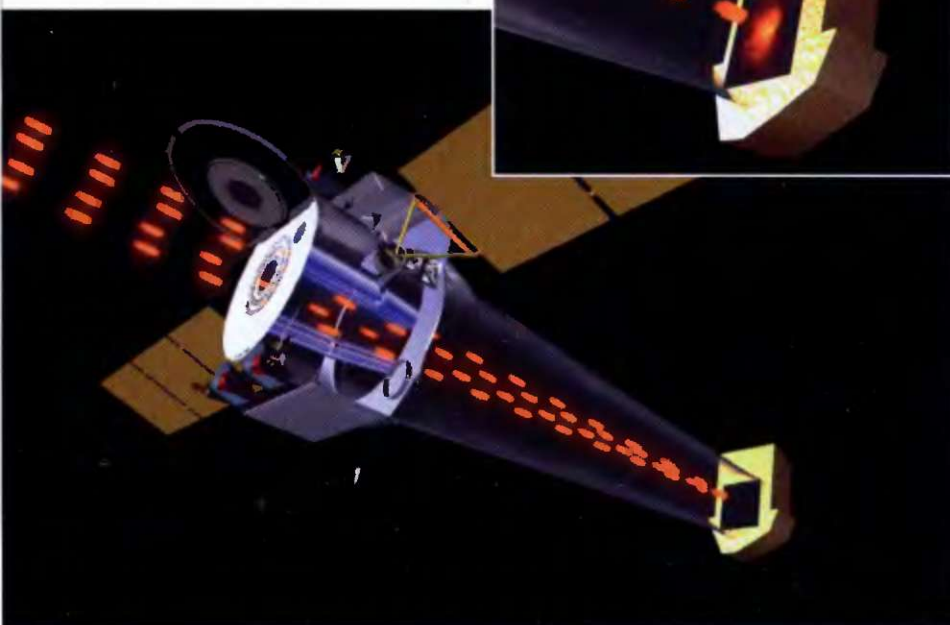
шем более шести тысяч заявок из 61 страны. Победителями оказались школьник из штата Айдахо Тайрел Джонсон и калифорнийская учительница Джатила ван дер Виин. Именно они предложили назвать обсерваторию "Чандрой" в честь одного из

Телескоп назван в честь одного из крупнейших физиков XX века Субрахманьяна Чандрасекара. К тому же на санскрите "чандра" значит "луна"



ЧТО В ИМЕНИ ТЕБЕ МОЕМ

Субрахманьян Чандрасекар (1910 – 1995) родился в Лахоре (Индия). Его дядя со стороны отца – Чандрасекара Венката Раман, лауреат Нобелевской премии по физике 1930 года. После окончания Президентского колледжа в Мадрасе Чандрасекар продолжил образование в Кембридже, а в 1937 году эмигрировал в Соединенные Штаты Америки, где до конца жизни был профессором Чикагского университета и получил фундаментальные результаты во всех областях астрофизики, в особенности в теории звездных структур и эволюции звезд, за что в 1983 году был удостоен Нобелевской премии по физике. В 1930 году Чандрасекар доказал, что масса белого карлика не может превысить определенный порог, который сейчас называется пределом Чадрасекара.



крупнейших астрофизиков XX века Субрахманьяна Чандрасекара. У этого имени, официально обнародованного в пресс-релизе NASA от 21 декабря 1998 года, есть еще один скрытый астрономический смысл: в переводе с санскрита слово "чандра" означает "луна" (а также "сияющий").

Телескоп был запущен на орбиту через 7 месяцев после "крещения". 4 февраля его погрузили в гигантский военно-транспортный самолет С-5 "Гэлэкси" и доставили из Лос-Анджелеса на мыс Канаверал, а 23 июля "Чандра" отправился в космос на борту челнока "Колумбия". Через два часа после выхода на орбиту астронавты начали операции по перемещению обсерватории из грузового отсека в открытый космос. Затем в течение двух недель пять раз по команде с Земли станция включала разгонные двигатели, которые вывели ее на вытянутую рабочую орбиту с апогеем 139 200 км и перигеем 9700 км. 12 августа телескоп открыл апертурную заслонку, а спустя пять дней при-

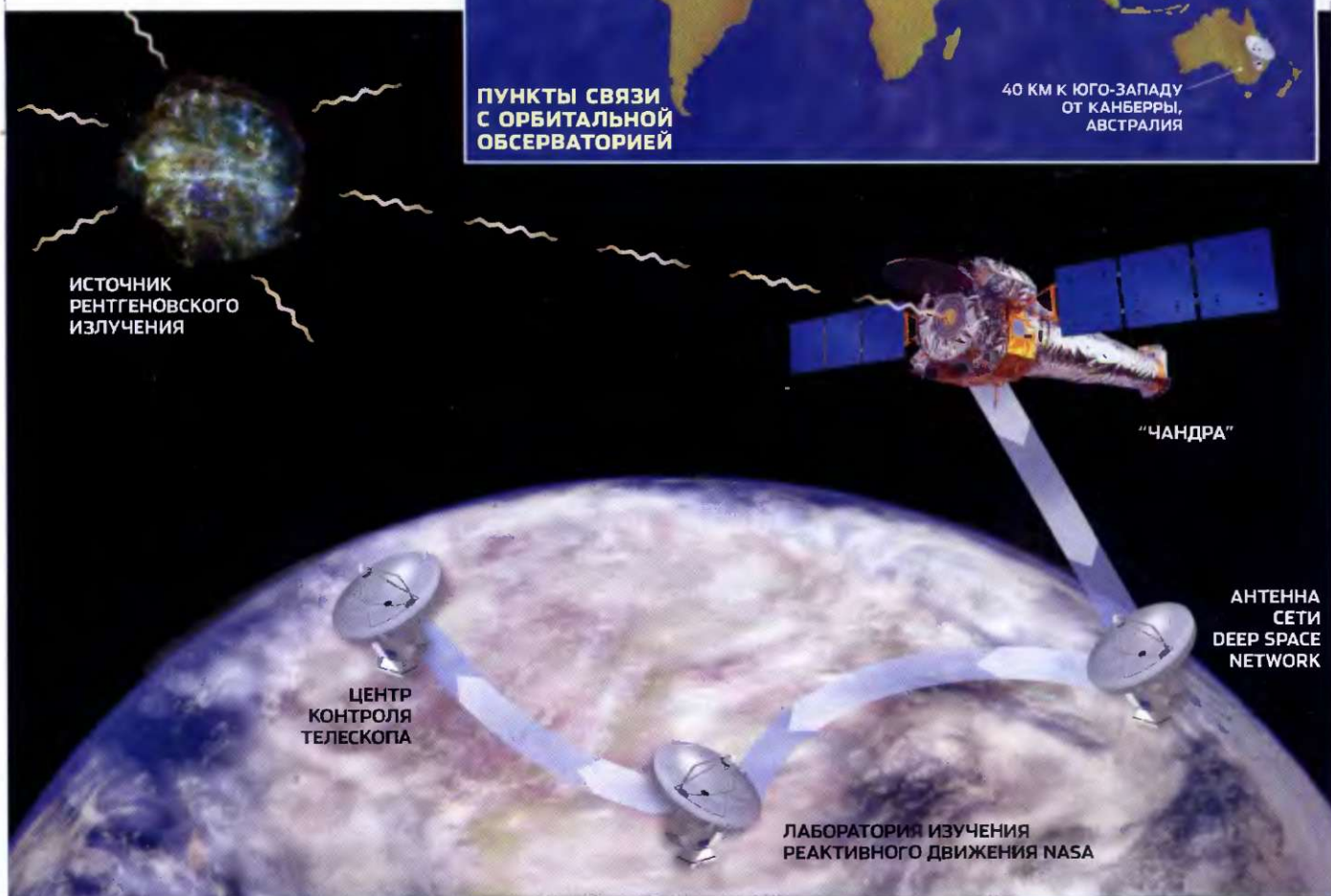
слал на Землю великолепное рентгеновское изображение исполинского облака раскаленного газа, образовавшегося после взрыва сверхновой звезды в созвездии Кассиопеи (<http://chandra.harvard.edu/photo/1999/0237>). С этого времени "Чандра" непрерывно работает в штатном режиме.

Научная начинка

К моменту запуска "Чандры" в небесах трудились (или уже вышли в отставку) два десятка космических аппаратов, предназначенных для регистрации рентгеновского излучения. Однако новая обсерватория сразу же доказала, что она в состоянии работать как

минимум в 50 раз лучше любого из своих предшественников. Ее камера высокого разрешения дает возможность получать качественные изображения с точностью до 0,5 угловой секунды – это примерно 1/60 углового размера полной Луны. И в этом "Чандра" до сих пор не имеет равных (например, европейский рентгеновский телескоп "Ньютон", запущенный четырьмя месяцами позже, обеспечивает разрешение в 5–14 угловых секунд).

В фокальной плоскости телескопа размещены два прибора – камера высокого разрешения и спектрометр. Детектирующее устройство камеры представляет собой две пластины ве-



личной с открытку, на которых находится по 69 млн. тончайших трубочек из свинцового стекла. Удары рентгеновских квантов выбивают из них электроны, которые ускоряются электрическим полем и порождают электронные ливни. Регистрация этих сигналов позволяет определить, сколько квантов падает на каждую трубочку, и на этой основе компьютер формиру-

множество объектов настолько горячих, что их излучение смещено в рентгеновский диапазон. Таковы рентгеновские пульсары, быстро вращающиеся нейтронные звезды с сильным магнитным полем, каждая из которых имеет в компаньонах обычную светящуюся звезду. Газ, перетекающий с этой звезды на темную нейтронную соседку, нагревается до сотен милли-

центра рентгеновской астрономии "Чандра" Смитсоновской астрофизической обсерватории Харви Тананбаум. – Именно "Чандра" выявил в ядрах галактик множество сверхмассивных черных дыр и тем самым подтвердил, что столь экзотические объекты весьма распространены во Вселенной. Конечно, дыры можно наблюдать и в оптические телескопы, но "Чандра"

БЕЗ ПЕРЕРЫВА НА ОБЕД 85 процентов времени орбитальная обсерватория проводит вне пределов поясов Ван Аллена (облака заряженных частиц, окружающих Землю). Поэтому время непрерывного наблюдения может составлять до 55 часов



ет изображение объекта. В спектрометре задействованы чувствительные ПЗС-матрицы, которые не только "рисуют" картинку, но и измеряют энергию приходящего излучения. Для большей точности телескоп оснащен двумя дифракционными спектрометрами, один из них работает в диапазоне от 80 эВ до 2 кэВ, а второй – от 400 эВ до 10 кэВ. Полученная информация хранится в цифровой памяти и периодически отсылается на Землю. Несмотря на большое количество приборов, станция весом в 4,8 т потребляет по земным меркам не так уж много энергии – две трехпанельных полупроводниковых солнечных батареи обеспечивают ее мощностью в 2350 Вт.

Глаза для космологов

Зачем вообще нужна рентгеновская астрономия? И в нашей Галактике, и в совсем дальнем космосе имеется

оно градусов и испускает рентгеновские кванты. Мощное рентгеновское излучение возникает и при падении вещества в черную дыру. Еще один интереснейший объект изучения – рентгеновские вспышки, которые, по всей вероятности, тоже обязаны своим существованием нейтронным звездам и черным дырам. Источником рентгена может стать и горячий межгалактический газ, и звезды любого типа, в том числе самые маломощные коричневые карлики, и даже планеты. Поэтому понятно, что без наблюдения небосвода в рентгеновском диапазоне наши астрономические знания окажутся весьма ущербными.

"С нашего орбитального телескопа поступило так много интереснейшей информации, что, право, трудно выбрать самое главное, – рассказал "ПМ" директор исследовательского

находит их в два-три раза чаще. Очень важно, что он успешно регистрирует черные дыры, которые примерно вдвое моложе нашей Вселенной, в то время как оптические приборы лучше отслеживают дыры, возникшие значительно раньше. Рекордная разрешающая способность "Чандры" позволяет ему видеть дыры, разделенные очень малыми углами зрения, что раньше было невозможно. По этой же причине именно "Чандра" первым сфотографировал процесс разрушения обычной звезды, которая, на свое несчастье, слишком близко подошла к черной дыре. А в 2004 году он впервые зарегистрировал мощные рентгеновские источники, которые могут оказаться черными дырами доселе неизвестного типа с массой в несколько сотен солнечных".

Информация, полученная этой орбитальной обсерваторией, свидетель-

судет, что в наблюдаемой Вселенной содержится никак не меньше 300 млн. черных дыр. В конце 2002 года “Чандра”, опять-таки впервые, обнаружил две черные дыры, сосуществующие в пределах одной галактики. А годом позже он зарегистрировал рентгеновскую “подпись” звуковых волн чрезвычайно низкой частоты, исходящих от сверхмассивной дыры в галактическом скоплении Персея, расположенном в 250 млн. световых лет от Солнечной системы.

“Если говорить о совсем свежих наблюдениях, то можно отметить весьма любопытную нейтронную звезду, обнаруженную в ноябре прошлого года, – продолжает доктор Тананбаум. – В самой звезде массой около полутора солнечных нет ничего необычного, но вот о ее происхождении стоит задуматься. Есть основания полагать, что она является потомком сверхновой, которая при жизни была в 40 раз тяжелее Солнца. До сих пор считалось, что взрывающиеся звезды массой не менее 20–30 солнечных масс оставляют после себя не нейтронные звезды, а черные дыры. Если оценка массы родительницы новооткрытой нейтронной звезды не содержит ошибки, то придется предположить, что некоторые взрывающиеся звезды-гиганты столь быстро расстаются со своими оболочками и промежуточными слоями, что оставляют после себя относительно легкое ядро, не способные сколлапсировать в черную дыру”.

В ближайшем будущем “Чандра” продолжит удивлять астрономов. Согласно прогнозам NASA, он проработает не меньше пяти лет, и деньги на это уже заложены в бюджеты. Астрономы надеются, что эти же прогнозы будут действительны и в 2010 году. Во всяком случае, “Чандра” пока не страдает ни от дефицита электроэнергии, ни от нехватки ракетного топлива. Орбита обсерватории вполне стабильна, и все основные блоки функционируют нормально. Так что, как полагает Харви Таннанбаум, “Чандра” еще не меньше десяти лет будет добавлять все новые кирпичики в космологическую картину Вселенной.

ПМ

Алексей Левин



К МЕСТУ СТАРТА Меньше чем через два месяца после официального “крещения”, 4 февраля 1999 года, телескоп загрузили в транспортный самолет и доставили на мыс Канаверал. Кстати, это самый большой спутник (длиной 13,5 м), выведенный на орбиту шаттлом