

Еще совсем недавно астрофизика была наукой, в которой наблюдения и выводы носили довольно-таки неопределенный характер. Но благодаря современным приборам ситуация очень быстро меняется. Новая техника позволила более детально рассмотреть многие небесные объекты и отождествить результаты наблюдений в разных частотных диапазонах. Точность и разнообразие измерений возросли многократно. И произошло это очень своевременно, поскольку теоретическая мысль не стояла на месте. Более того, количество различных моделей, объясняющих строение нашей Вселенной, постоянно увеличивалось. Теперь же благодаря возросшей полноте и точности получаемой информации удастся отделить зерна от плевел или, по крайней мере, указать теоретикам более верное направление поиска истины. Причем совсем недавнее освоение рентгеновского и гамма-диапазона уже подарило астрономам шесть типов крайне экзотических космических объектов. О них мы и расскажем.

СЕРГЕЙ РУБИН, доктор физико-математических наук

# Дальнее



Так выглядело бы для нас небо, если бы мы видели гамма-кванты. Обычные звезды, типа нашего Солнца, почти не излучают энергичных фотонов и были бы практически невидимы. Кстати, природа «настроила» глаза живых существ на прием именно тех фотонов, которые излучаются Солнцем. Наш Млечный Путь был бы ви-

ден как слабо светящаяся полоса по диагонали изображения — это все, что мы увидим в гамма-диапазоне вместо звездного неба. Наиболее яркое излучение шло бы из центра нашей Галактики, где предположительно находится сверхмассивная черная дыра. Справа внизу сияет вспыхнувшая сверхновая.

# Небо

**И**сследования космоса в оптическом диапазоне не начались еще в те времена, когда человек просто разглядывал звезды. Это пассивное созерцание было достаточно продуктивным и позволяло не только предсказывать лунные и солнечные затмения, но и помогло сформулировать основные законы Небесной Механики. Однако истинным началом астрономии стало только изобретение Галилеем телескопа. Сейчас уже понятно, что электромагнитные волны оптического диапазона, то есть видимый свет, — лишь небольшая доля космического излучения, прилетающего на Землю. Кроме квантов света самой разной энергии нас непрерывно бомбардируют потоки электронов, протонов, нейтрино и, возможно, других элементарных частиц, которые еще предстоит открыть.

Наблюдения с Земли в рентгеновском диапазоне в чистом виде невозможны, поскольку электромагнитные волны поглощаются атмосферой тем сильнее, чем меньше их длина. Ультрафиолетовые лучи ослабляются воздухом гораздо эффективнее, чем видимый свет. Рентгеновское и гамма-излучение затухают еще сильнее и практически не достигают поверхности Земли. Избавиться от этого крайне нежелательного эффекта можно, только поместив приборы в открытый космос. Вселенная, оказывается, настолько пустынна, что наша тонкая 10-километровая атмосфера по поглощающей способности равнозначна миллиардам световых лет межгалактического пространства. Впрочем, и наблюдения с земной поверхности могут рассказать ученым много интересного о космических лучах. ►



**ТОЛЬКО ВЫВЕДЕННЫЕ НА КОСМИЧЕСКУЮ ОРБИТУ РЕНТГЕНОВСКИЕ И ГАММА-ТЕЛЕСКОПЫ ПОЗВОЛИЛИ УВИДЕТЬ ЗВЕЗДНОЕ НЕБО ВО ВСЕЙ ЕГО КРАСЕ.**

Первые исследования в гамма-диапазоне были проведены в 1962 году, когда ракета подняла детекторы в верхние слои атмосферы. Всего три минуты длились измерения, но и этого времени хватило, чтобы обнаружить совершенно новый необычный объект, который позднее идентифицировали как нейтронную звезду. В 1960-е годы, до начала регулярных исследований с помощью специальных рентгеновских обсерваторий «Ухуру» и «Эйнштейн», было открыто всего два источника рентгеновского и гамма-излучения — Крабовидная туманность и странная звезда Скорпион X-1. В настоящее время детекторы гамма-излучения установлены на многих спутниках, которые, летая в безвоздушном пространстве, ведут непрерывный мониторинг дальнего космоса. Запуски двух новых рентгеновских обсерваторий — «Чандра» (Chandra), принадлежащей NASA, и «Ньютон» (XMM-Newton) Европейского Космического Агентства позволили получить качественно новую информацию об источниках рентгеновского излучения в космосе.

Рентгеновская и гамма-астрономия сегодня являются одним из важнейших инструментов в изучении космоса. Количество открытых источников жесткого электромагнитного излучения все время растет. Причем это не обычные спокойные звезды, которым для того, чтобы быть достаточно яркими в рентгеновском диапазоне, надо иметь температуры поверхности, равную многим миллионам градусов, а разные экзотические объекты, крайне удаленные от Земли. Большинство обнаруженных сегодня источников гамма-излучения имеют далеко не тепловую природу и связаны с разного рода нестационарными и взрывными процессами во Вселенной.

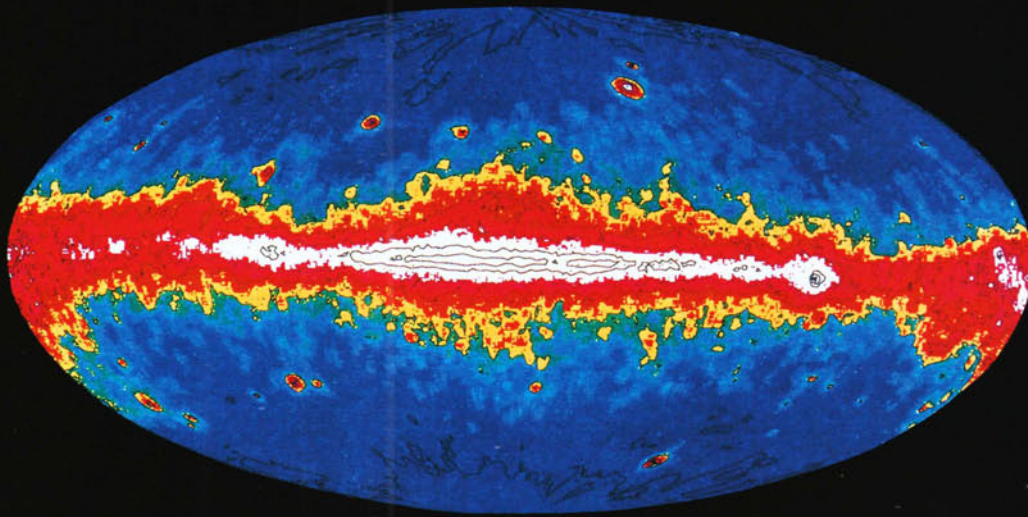


▲ Особенно интересны комплексные исследования какого-либо одного объекта в различных диапазонах электромагнитного излучения. На картинке представлено комбинированное изображение галактики Центавр А в различных диапазонах энергии. Ядро галактики находится внизу справа. Области радиоизлучения показаны красным, рентгеновского — синим цветами. Две красные области излучают в радиодиапазоне. Радиочастоты с несколько более высокой энергией обозначены зеленым цветом (все цвета, конечно, услов-

ны). Отчетливо виден яркий выброс, выходящий из центра галактики. Там, видимо, происходит что-то серьезное. В оптическом свете, показанном белым, видны звезды, составляющие основную часть массы галактики. В рентгеновском излучении, показанном синим, видны дуги горячего газа, выброшенные из центра взрывом, вероятно, произошедшим около 10 млн. лет назад. Возможно, Центавр А поглотил меньшую галактику около 100 млн. лет назад, что и вызвало наблюдаемый в галактике «беспорядок».

Рентгеновский диапазон, начинаясь от излучения с длиной волны 100 ангстрем (100 эВ), простирается до 0,1 ангстрема (100 кэВ). Далее идут сначала мягкие гамма-кванты с энергией до 1 МэВ и длиной волны порядка размеров ядра ( $10^{-12}$  м), затем — средние (1 МэВ—10 МэВ), жесткие (0,01 ГэВ—100 ГэВ), сверхвысокоэнергичные (0,1 ТэВ—100 ТэВ) и гамма-кванты ультравысоких энергий (сотни и даже миллионы ТэВ). Возможно, в космосе блуждают и более энергичные странники, но их мы пока не умеем опознавать. Энергия в  $10^{18}$  электрон-вольт — это уже 1/10 часть джоуля, то есть вполне макроскопическая энергия, достаточная для того, чтобы опрокинуть стакан с чаем. Длина волны такого гамма-кванта будет менее  $10^{-24}$  м.

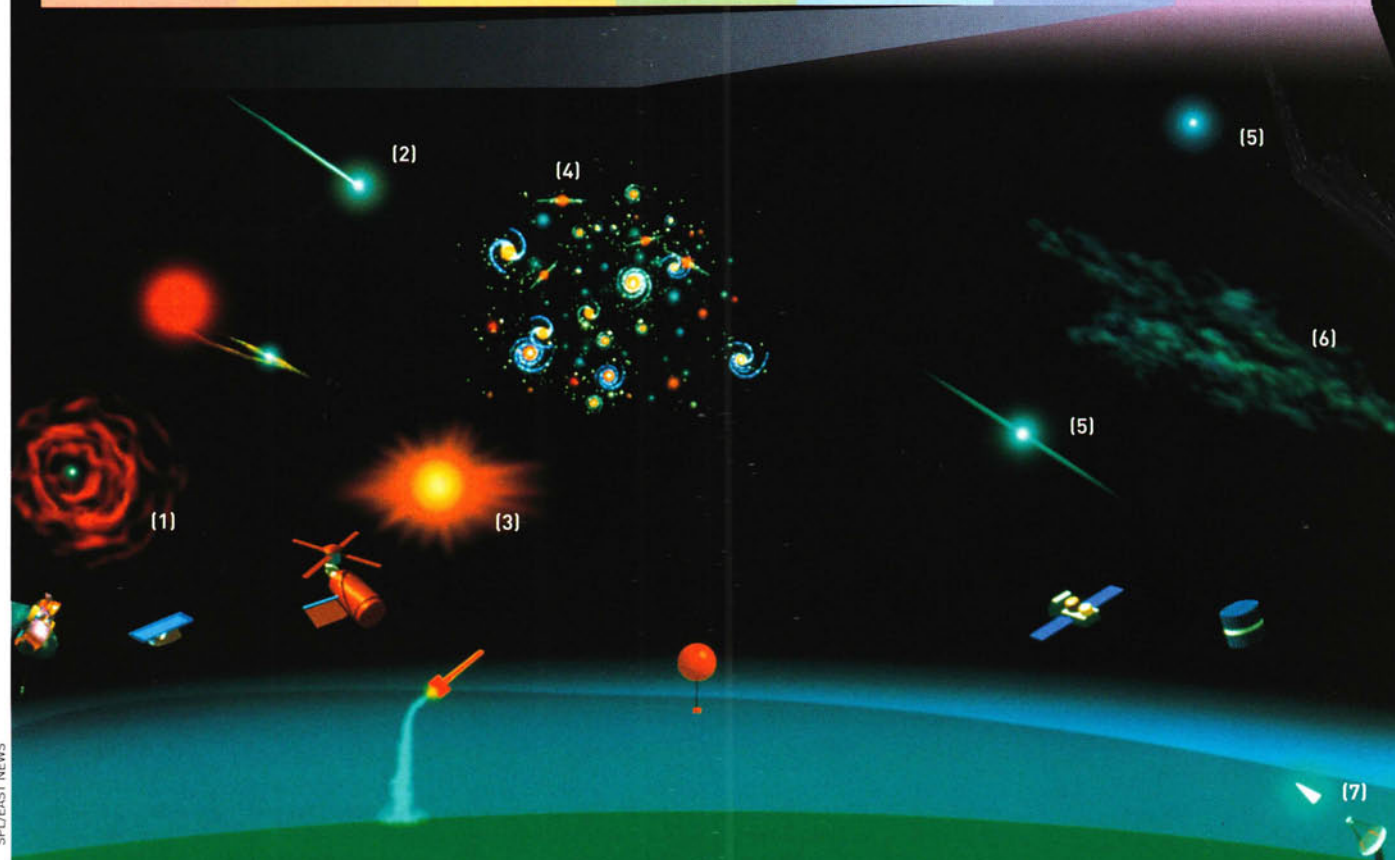
► Основное гамма-излучение приходит на Землю из плоскости нашей Галактики — Млечного Пути, поскольку именно там сосредоточено большинство ближайших к нам звезд. Однако далекие квазары и вспышки сверхновых в других галактиках тоже дают заметный вклад в поток гамма-квантов. Наиболее яркие точечные источники — это рентгеновские пульсары — быстро вращающиеся нейтронные звезды в двойных системах. Данная карта построена на основе наблюдений, проведенных космической гамма-обсерваторией CGRO (NASA).





# ШКАЛА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

| РАДИОВОЛНЫ                       | МИКРОВОЛНЫ        | ИНФРАКРАСНОЕ      | ВИДИМОЕ           | УЛЬТРАФИО-ЛЕТОВОЕ | РЕНТГЕН           | ГАММА-ЛУЧИ                             |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------------------------|
| энергия кванта ЭМ излучения, эВ  |                   |                   |                   |                   |                   |                                        |
| $10^{-9} \div 10^{-6}$           | $10^{-4}$         | 0,01              | 2,5               | 100               | $10^4$            | $10^6 \div 10^9$                       |
| частота в Гц                     |                   |                   |                   |                   |                   |                                        |
| $3 \cdot 10^5 \div 3 \cdot 10^8$ | $3 \cdot 10^{10}$ | $3 \cdot 10^{12}$ | $6 \cdot 10^{14}$ | $3 \cdot 10^{16}$ | $3 \cdot 10^{18}$ | $3 \cdot 10^{20} \div 3 \cdot 10^{23}$ |
| длина в см                       |                   |                   |                   |                   |                   |                                        |
| $10^5 - 10^2$                    | 1                 | $10^{-2}$         | $5 \cdot 10^{-5}$ | $10^{-6}$         | $10^{-8}$         | $10^{-10} - 10^{-13}$                  |
| здания                           | люди              | пчела             | острие иглки      | клетки            | молекулы          | атом                                   |
|                                  |                   |                   |                   |                   | атом              | атомное ядро                           |



▲ Каждый объект имеет свои характерные частоты электромагнитного излучения. Облака горячего газа, оставшиеся после взрыва сверхновых, наиболее сильно излучают в мягком рентгеновском диапазоне (1). Двойные системы из нормальной звезды и компактного массивного компаньона — также достаточно

распространенный источник рентгеновского и гамма-излучения, появляющегося благодаря падению вещества на поверхность компактной звезды (2). Дневное светило во время солнечных вспышек выглядит достаточно ярко и испускает жесткое рентгеновское излучение (3). Скопления галактик благодаря

активности их центров видны не только в рентгеновском, но и гамма-диапазоне энергий квантов света (4). Вспышки сверхновых, квазары, рентгеновские пульсары, джеты и разнообразные мощные процессы, происходящие на магнетарах и барстерах, поставляют наиболее жесткие гамма-кванты, долета-

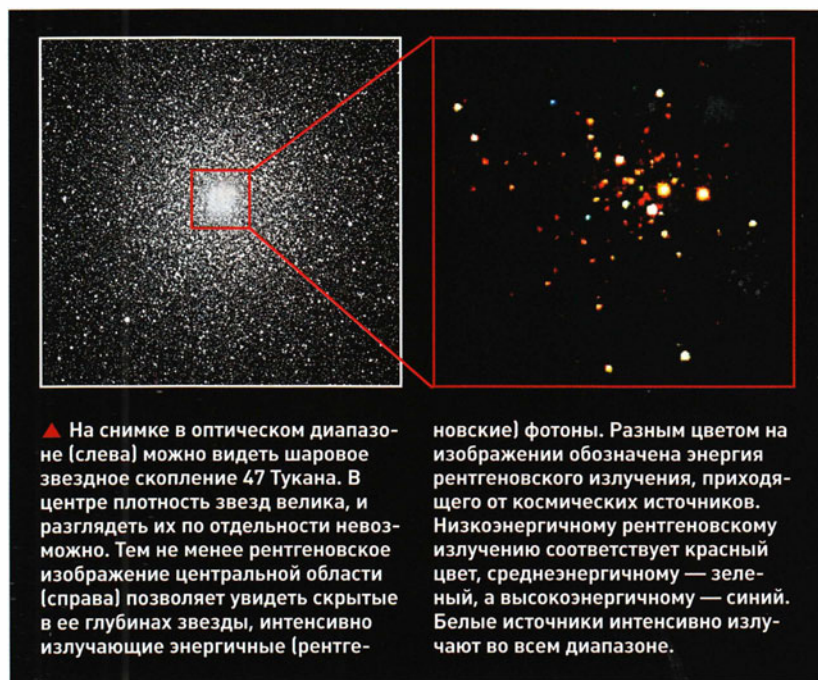
ющие до Земли (5). Особый класс высокоэнергичных фотонов — это те гамма-кванты, которые родились еще во времена большого взрыва и по каким-то причинам все еще бороздят околоземное пространство (6). Для наблюдения в данном диапазоне длин волн электромагнитного излучения надо обя-

зательно покидать атмосферу, размещая телескопы и детекторы в космосе, и только особо энергичные гамма-кванты удастся регистрировать благодаря вызываемому ими черенковскому излучению или широким атмосферным ливням из вторичных частиц, регистрируемым прямо с поверхности Земли (7).



**Н**екотрые звезды заканчивают свое существование взрывом, после которого остаются плотный, слабо светящийся объект и расширяющееся горячее газовое облако, которое излучает фотоны самых разных энергий, включая рентгеновский диапазон. Наиболее изученная и знаменитая Крабовидная туманность вместе с оставшимся после взрыва пульсаром производит не только радиоволны и рентгеновское излучение, видимый, инфракрасный и ультрафиолетовый свет, но и гамма-кванты с энергией до 10 млн. гигаэлектрон-вольт. Причем основную долю излучения, от радио до рентгена, дают релятивистские электроны, кружащие в мощном магнитном поле пульсара и туманности. Данные, полученные обсерваторией «Чандра», настолько точны, что позволяют определять скорости различных частей даже очень удаленных туманностей, образовавшихся после взрыва сверхновых. Оказалось, например, что некоторые области остатка сверхновой E0102-72 в Малом Магеллановом Облаке движутся в нашу сторону, но волноваться не стоит — газ дойдет до нас через миллионы лет остывшим и разреженным.

Слабо светящийся объект, остающийся после взрыва, — это, как правило, нейтронная звезда или черная дыра. Вообще говоря, подобный объект обнаружить довольно трудно. Но астрономам уже давно известно, что звезды любят собираться парами, и таких двойных систем уже обнаружено множество. Если же одним из членов пары оказалась нейтронная звезда или черная дыра, то такая пара будет мощным источником рентгеновского и гамма-излучения. Аккреция (захват) вещества из нормальной соседней звезды выдает присутствие темного и слабоизлучающего объекта. Обсерватория «Чандра» обнаружила в скоплении 47 Тукана неожиданное большое число таких экзотических звездных систем. Вообще «нормальные» звезды излучают в оптическом диапазоне. Чтобы излучение стало более жестким, нужны особые условия. Такие условия создаются в двойных звездах — системе из нормальной звезды и компактного объекта — белого карлика, нейтронной звезды или черной дыры. В этом случае частицы из нормальной звезды, захваченные ее соседом, движутся с колоссальным ускорением и излу-



▲ На снимке в оптическом диапазоне (слева) можно видеть шаровое звездное скопление 47 Тукана. В центре плотность звезд велика, и разглядеть их по отдельности невозможно. Тем не менее рентгеновское изображение центральной области (справа) позволяет увидеть скрытые в ее глубинах звезды, интенсивно излучающие энергичные ( рентге-

новские) фотоны. Разным цветом на изображении обозначена энергия рентгеновского излучения, приходящего от космических источников. Низкоэнергичному рентгеновскому излучению соответствует красный цвет, среднеэнергичному — зеленый, а высокоэнергичному — синий. Белые источники интенсивно излучают во всем диапазоне.

**ВСПЫХНУВ ОДНАЖДЫ, КАК МИЛЛИОНЫ СОЛНЦ, СВЕРХНОВЫЕ НАДОЛГО ОСТАЮТСЯ САМЫМИ ШИРОКОПОЛОСНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВО ВСЕЛЕННОЙ.**

чают фотоны различных энергий. Если «захватчиком» является нейтронная звезда или белый карлик, то при ударе об их поверхность излучается дополни-

тельная энергия. Кстати, у черной дыры видимая твердая поверхность отсутствует и, следовательно, не будет и дополнительного излучения. Это один из способов отличить черную дыру от нейтронной звезды. В скоплении 47 Тукана оказалось немало двойных звезд, активно излучающих в рентгеновском диапазоне, что означает, что там много черных дыр или нейтронных звезд. Вместе с тем выяснилось, что в скоплении, похоже, нет большой центральной черной дыры. «Боль-

шой», точнее «сверхмассивной», черной дырой обычно называется та, масса которой не менее миллиона солнечных масс. Так что дыры с массой порядка тысячи солнечной вполне могут присутствовать в этом скоплении. О необычности нейтронных звезд и ассоциируемых с ними рентгеновских пульсарах, барстерах (от англ. «burst» — вспышка, взрыв), так же как и о магнетарах, рассказывалось в июльском номере нашего журнала, поэтому на этих объектах подробнее останавливаться мы не будем.

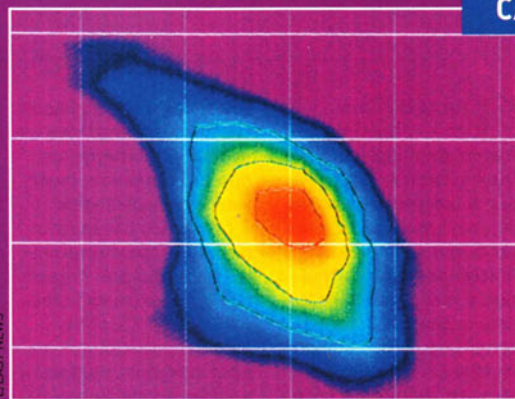


◀ Сверхновая E0102-72 взорвалась в Малом Магеллановом Облаке около 200 тыс. лет назад. Газовое облако за тысячи лет, прошедших после взрыва звезды, успело расшириться до достаточно внушительных размеров, поскольку скорость разлета достигает 20 млн. км/ч (примерно 2% от скорости света). Изображение получено путем наложения трех картинок: синее — это рентгеновские лучи, зеленое — видимый свет, красное — радиоволны.

► Поскольку рентгеновские лучи испускаются в том числе и сильно ионизированными атомами, то возможна идентификация разных химических элементов по их спектрам. Данная кольцеобразная область вокруг

E0102-72 имеет диаметр 30 световых лет и содержит кислорода в миллиард раз больше, чем его можно найти в земной воде и атмосфере. Данные получены рентгеновской обсерваторией «Чандра», яркость изображения пропорциональна концентрации кислорода в туманности, образовавшейся после взрыва сверхновой.





▲ Гигантская гамма-вспышка 31 января 1993 года была зафиксирована не только обычными спутниками, следящими за гамма-излучением, но и Комптоновской обсерваторией CGRO (NASA). Яркость данного внегалактического объекта на несколько секунд превысила яркость обычных источников гамма-лучей более чем в тысячу раз. Такие вспышки могут порождаться мощными перестройками внутри нейтронных звезд или столкновениями черных дыр и нейтронных звезд.

Гамма-астрономия не только разрешает старые загадки, но и ставит новые. Так, до сегодняшнего дня нет никакого убедительного объяснения происходящим примерно раз в сутки мощным всплескам гамма-излучения. Еще в 1960-е годы эти всплески были зафиксированы американскими военными спутниками, предназначенными для слежения за ядерными и термоядерными взрывами. Искали мощное излучение от испытания атомных бомб потенциального противника, а обнаружили следы космических катастроф. Есть много предположений о возможных механизмах генерирования мощных

гамма-вспышек. Наиболее популярна гипотеза, согласно которой так заканчивают свое существование двойные системы, состоящие из нейтронных звезд или черных дыр. Такая «парочка» совершенно незаметна в оптическом диапазоне, и только когда, потеряв благодаря излучаемым гравитаци-

онным волнам вращательную энергию, компаньоны падают друг на друга, выделяется огромное количество энергии, излучаемой в том числе в гамма-диапазоне. Однако первый надежно идентифицированный 5 марта 1979 года источник гигантской вспышки оказался SGR-пульсаром, спокойно вспыхивающим в рентгеновском диапазоне. Причем находится он даже не в нашей Галактике, а в соседней — Большом Магеллановом Облаке. Правда, его сегодняшние нерегулярные вспышки по мощности не идут ни в какое сравнение с тем страшным взрывом, что был зафиксирован в 1979 году.

**ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫЕ КВАНТЫ СВЕТА ОБЫЧНО РОЖДАЮТСЯ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ И КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ОБСТОЯТЕЛЬСТВАХ, А КАТАКЛИЗМЫ В КОСМОСЕ ПРОИСХОДЯТ ЕЖЕДНЕВНО.**

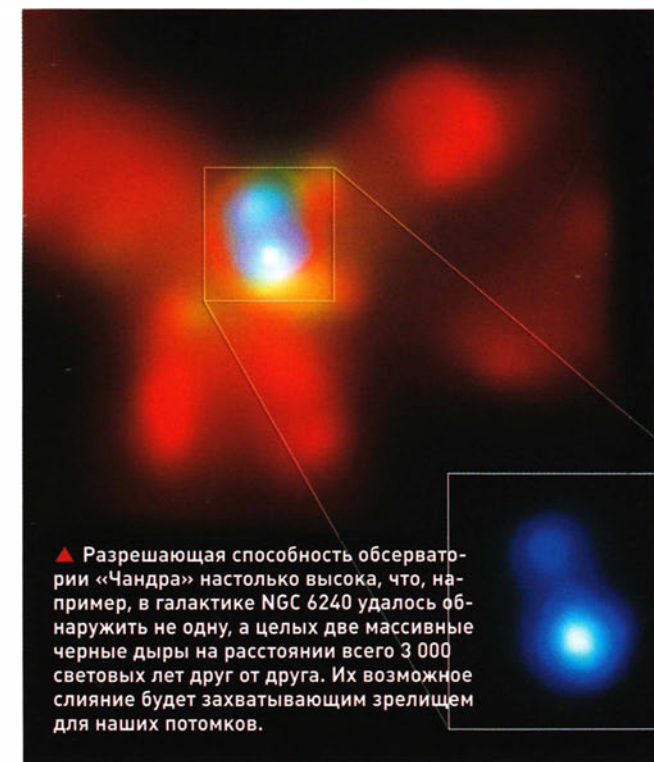
## САМЫЕ ПАРАДОКСАЛЬНЫЕ

## МАССИВНЫЕ ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ

За последние годы окрепла убежденность в наличии массивных черных дыр (с массой от миллиона до миллиарда солнечных) в центрах многих галактик. Но вот то, как они там оказались, совершенно не ясно. Чтобы понять это, необходимо собрать как можно больше информации о процессах, проходящих в ближайшей окрестности подобной черной дыры. И здесь ученым на помощь приходит Природа. Если черная дыра находится в центре галактики с большой плотностью вещества, то это вещество начинает «засасываться» черной дырой. При этом гравитационные силы настолько велики, что заставляют падающее вещество излучать. Именно это излучение и выдает присутствие черных дыр. Интересный парадокс: черные дыры, оказывается, могут быть самыми яркими объектами во Вселенной! Именно наличие мощнейшего излучения во всем диапазоне длин волн (от радио до гамма), идущего из центра многих галактик, и заставляет думать о том, что там находятся огромные черные дыры. Уже обнаружены звезды, расположенные близко от черных дыр и очень быстро вращающиеся. Почему же излучение в рентгеновском диапазоне информа-

тивнее наблюдений в видимом спектре, при помощи обычных телескопов? Согласно законам электродинамики, чем с большим ускорением движется заряженная частица, тем более энергичные кванты света она испускает. Но ускорение тем больше, чем ближе частица к черной дыре. Следовательно, более энергичные фотоны прилетают к нам из непосредственной окрестности черной дыры. А исследуя спектральный состав излучения, можно оценить массу черной дыры, ее заряд и скорость вращения. Теоретики предсказывают, что черные дыры способны не только поглощать окружающую их материю, но и излучать частицы всех сортов (так называемое «Хокинговское квантовое испарение»). Для массивных черных дыр это излучение крайне мало, но чем меньше масса черной дыры, тем больше его интенсивность

**ГРАВИТАЦИЯ, КАК ИЗВЕСТНО, ВСЕСИЛЬНА И ВЕЗДЕСУЩА, И ПОЭТОМУ, НАВСЕГДА ЗАХВАТИВ НЕМАЛО ВЕЩЕСТВА В СВОИ «ЛАПЫ», ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ ВСЕ РАВНО НЕ ДАЮТ ПОКОЯ ОКРУЖАЮЩИМ ИХ ЗВЕЗДАМ.**



▲ Разрешающая способность обсерватории «Чандра» настолько высока, что, например, в галактике NGC 6240 удалось обнаружить не одну, а целых две массивные черные дыры на расстоянии всего 3 000 световых лет друг от друга. Их возможное слияние будет захватывающим зрелищем для наших потомков.

и энергия вылетающих из нее частиц. Чем меньше черная дыра, тем лучше ее видно! Но раз объект излучает энергию, его масса должна уменьшаться. Причем черная дыра излучает со временем все интенсивнее, поскольку, испаряясь, уменьшается. Этот процесс за-

канчивается мощнейшим всплеском излучения частиц всех сортов. Фотоны, являясь полнопроводными квантами, также излучаются, и вполне возможно, что некоторые фотоны, прилетающие на Землю, являются посланцами небольших черных дыр.





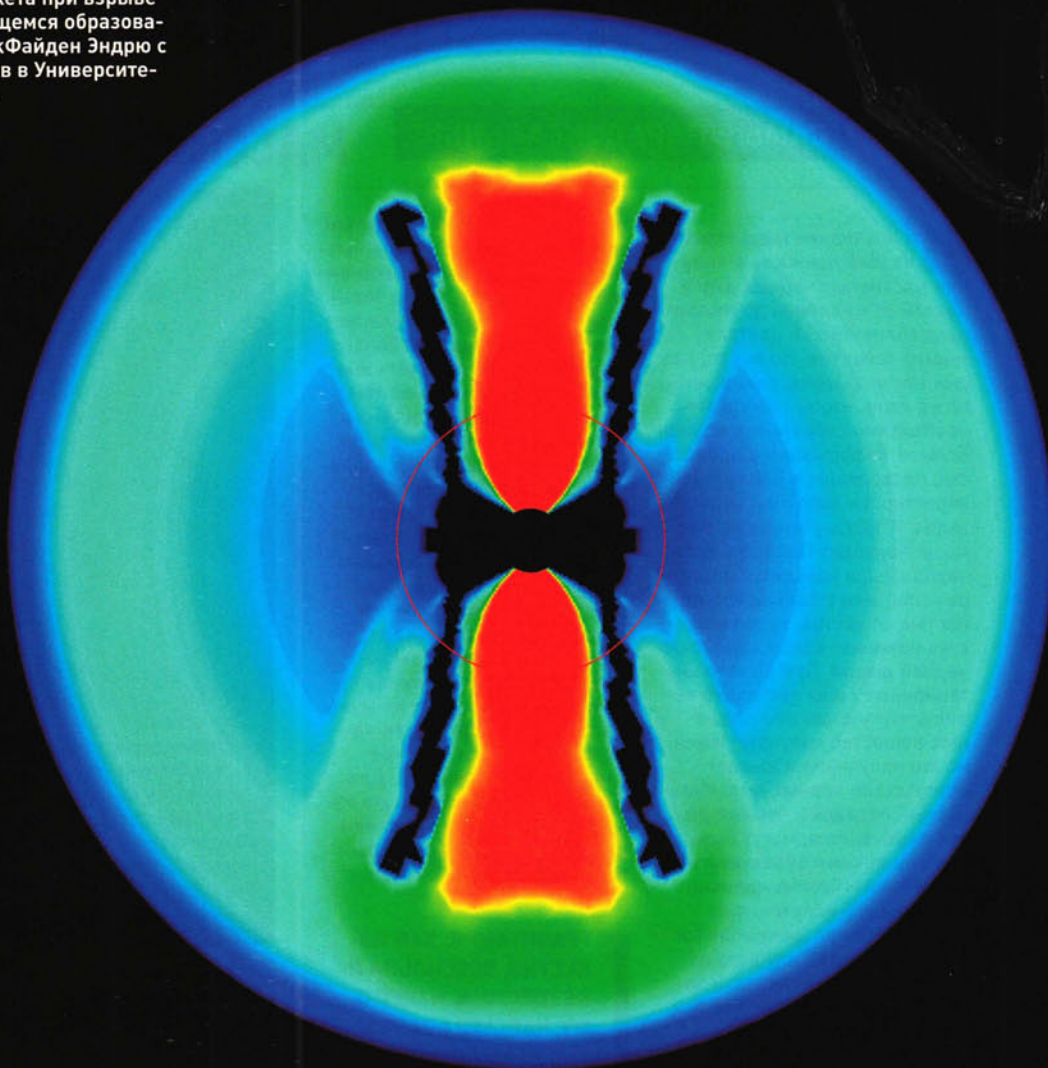
Эта иллюстрация показывает путь рентгеновских лучей от квазара PKS 1127-145 к Земле. Сравнивая спектральный состав излучения, минующего затеняющую галактику и проходящего через нее, удалось оценить количество кислорода, входящего в ее состав.

**Д**жеты (буквально — струи) сопровождают жизнедеятельности массивных черных дыр в центрах галактик. Но поскольку они сами являются источниками рентгеновского излучения, о них стоит поговорить отдельно. Например, ядро хорошо изученной активной галактики Центавр А образует мощный джет, состоящий из частиц высоких энергий. Видимый размер джета — примерно 4 000 световых лет. Джет испускается массивной черной дырой, находящейся в цен-

тре галактики. Большая часть рентгеновского излучения генерируется при его столкновении с межзвездным газом. С помощью обсерватории «Чандра» астрономы сделали два открытия в далеком квазаре PKS 1127-145: обнаружили огромный рентгеновский джет протяженностью более миллиона световых лет, а также рентгеновское затенение, вызванное галактикой, расположенной между Землей и квазаром. Эти два результата дают новую информацию о сверхмассивной

Моделирование возникновения джета при взрыве сверхновой звезды, сопровождающемся образованием черной дыры, проведено МакФайден Эндрю с использованием суперкомпьютеров в Университете Калифорнии (Санта-Круз, США).

► На рисунках представлен результат компьютерного моделирования вспышки сверхновой. Три изображения (слева направо) соответствуют 9, 27 и 68 секундам после взрыва сверхновой. Естественно, что масштаб изображений последовательно уменьшается, и правый объект почти в десять раз больше левого. Часть вещества разлетается в окружающее пространство (голубая сфера), а оставшаяся часть — коллапсирует в черную дыру. Кстати, многие ученые считают этот способ образования черных дыр основным. Только что образовавшаяся, совсем юная черная дыра начинает поглощать вещество, из которого состояла звезда. При этом благодаря магнитным полям и вращению частицы движутся в основном в направлении, перпендикулярном плоскости вращения, и часть из падающей материи выстреливается в направлении магнитных полюсов, образуя два джета — струи. Образующийся джет (интенсивный поток частиц разных сортов) изображен красным. Скорость частиц в джете — около половины скорости света. Причем вся эта масса горячего ионизированного газа и элементарных частиц излучает кванты света в самом широком частотном диапазоне.





черной дыре в центре квазара, а также о содержании кислорода в далекой галактике. Джет является следствием взрывной активности, произошедшей 10 млрд. лет назад вблизи центральной черной дыры квазара. Этот джет хорошо виден в рентгеновском диапазоне потому, что составляющие его частицы, сталкиваясь с реликтовыми фотонами, передают им часть энергии, превращая их в мягкие гамма-кванты. Размер джета и его неоднородность говорят о

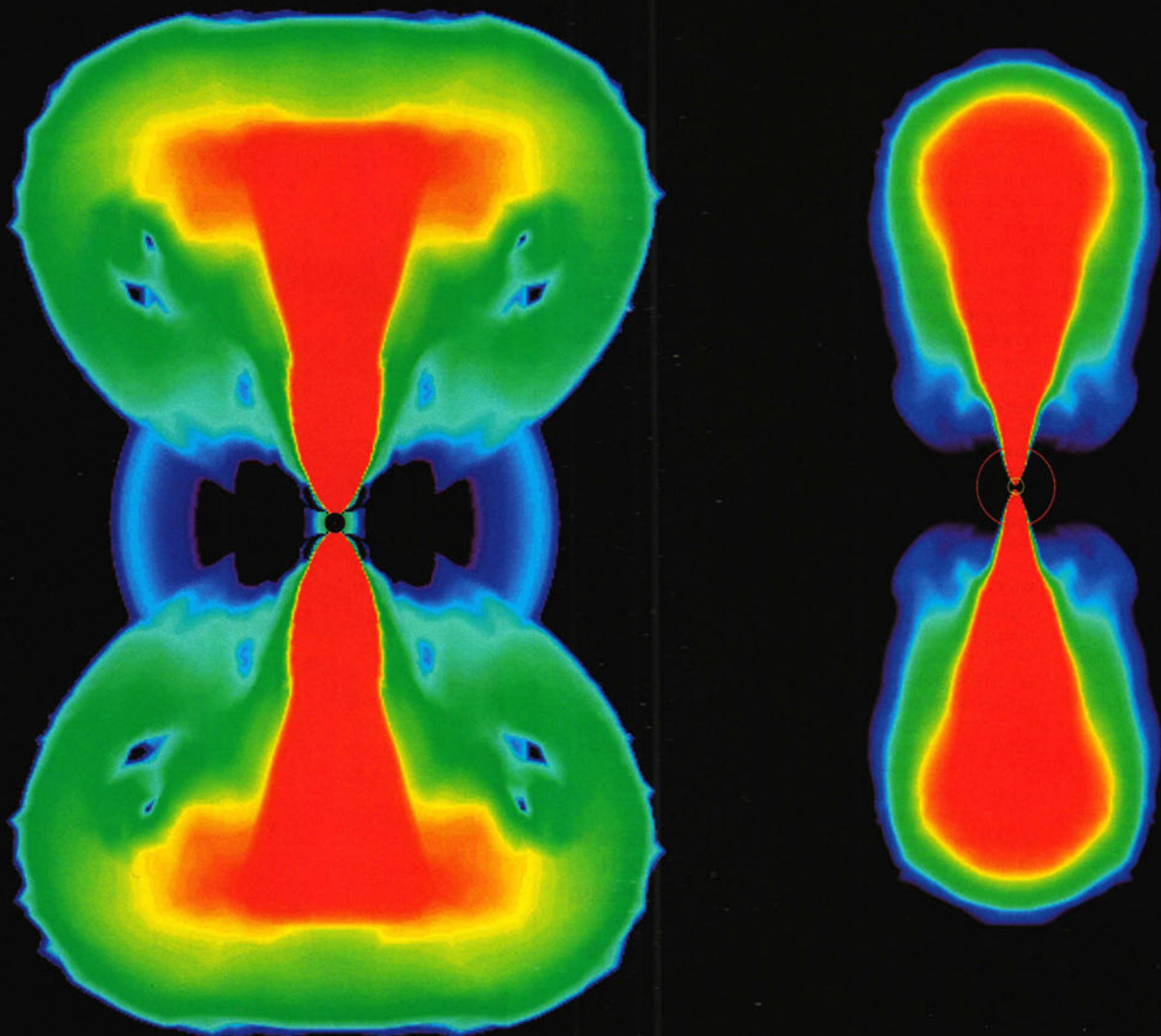
**ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ ДАЖЕ ПОСЛЕ КОЛЛАПСА ПРОДОЛЖАЮТ «РАБОТАТЬ», ИСПОЛЬЗУЯ МОЩНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ И ПОТОКИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ ИЗ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.**

том, что активность сверхмассивной черной дыры была довольно длительной и перемежающейся, возможно, вследствие слияния других галактик с родной галактикой квазара. Другой результат, полученный при исследовании этого же квазара, — затенение в рентгеновских лучах, вызванное

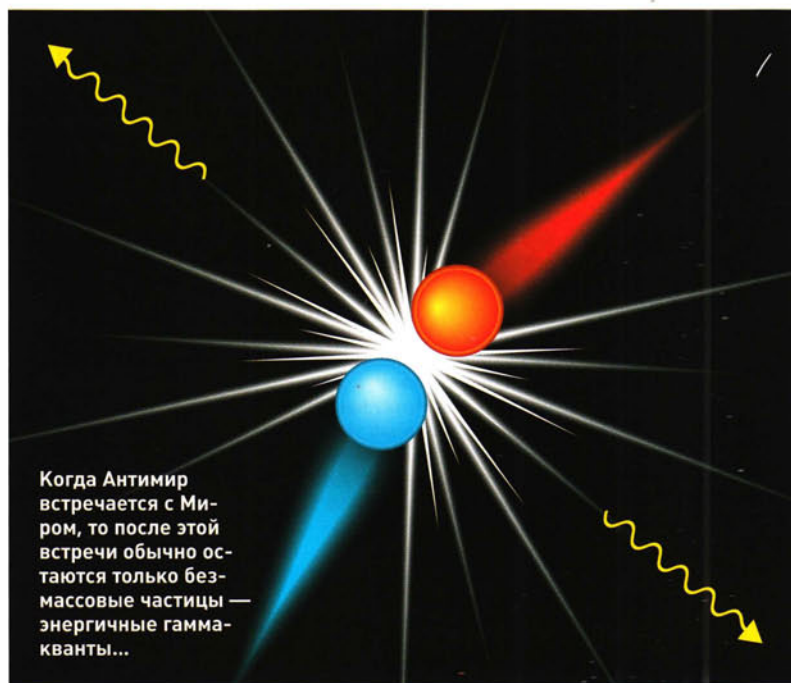
промежуточной галактикой. На своем пути к Земле рентгеновские лучи от квазара PKS 1127-145 проходят через галактику, расположенную на расстоянии около 4 млрд. световых лет от Земли, атомы различных элементов в этой галактике поглощают часть рентгеновских лучей и тем самым ослаб-

ляют их поток. Измерив величину поглощения, астрономы смогли определить, что количество кислорода в затеняющей галактике составляет только 20% от наличия его в нашей Галактике — Млечном Пути. Это очень интересное открытие позволяет оценить динамику накопления различных элементов таблицы Менделеева в спиральных галактиках, поскольку обработанные данные соответствуют периоду 4 млрд. лет назад. Согласно современным представлениям такие эле-

менты, как кислород, кремний и сера, нарабатываются внутри звезд во время термоядерного нуклеосинтеза и рассеиваются при взрывах звезд. Со временем благодаря взрывному уничтожению части звезд галактики обогащаются кислородом и другими элементами, необходимыми для возникновения планет и существования жизни. То, что далекая галактика содержит мало кислорода, подтверждает эту картину. Так смерть звезд является условием появления людей.







Когда Антимир встречается с Миром, то после этой встречи обычно остаются только безмассовые частицы — энергичные гамма-кванты...

СТАНISЛАВ НОВИКОВ

## САМЫЕ НЕУЛОВИМЫЕ

**П**ервая космическая обсерватория «Ухуру» («свобода» — на языке суахили и одновременно единица измерения потока рентгеновских квантов, пролетающих через  $1 \text{ см}^2$  за 1 секунду), запущенная американцами в 1970 году, смогла зафиксировать гамма-излучение от более чем 350 источников галактического и внегалактического происхождения. Однако оказывается, что наряду с непрерывным потоком, измеряемым миллиардами гамма-квантов в секунду, существуют такие кванты, которые падают на нашу Землю всего по одному в секун-

ду. Речь идет о частицах с энергиями, измеряемыми миллиардами гигаэлектрон-вольт. Это могут быть и заряженные частицы, как, например, протоны и электроны, и нейтральные гамма-кванты. По всему миру разбросано достаточно много таких обсерваторий, одна из которых — HEGRA, расположенная на Канарских островах, занимается регистрацией и анализом широких атмосферных ливней, порождаемых высокоэнергичными космическими гамма-квантами. В распоряжении ученых имеются различные приборы, которые раз-

## ОБЛАСТИ АНТИМАТЕРИИ И СКРЫТАЯ МАССА

### САМЫЕ СКРЫТНЫЕ

**О**дной из основных нерешенных космогонических проблем является, как это ни удивительно, само существование звезд. Дело в том, что с точки зрения квантовой механики свойства частиц и античастиц практически идентичны. Тогда почему же все вещество во Вселенной состоит только из частиц? Объяснений много, но общепризнанного — нет. А может быть, существуют хотя бы относительно небольшие области антиматерии? Их поиски уже ведутся. Обнаружить такие области можно только по процессу аннигиляции на ее границе. Аннигиляция, иначе говоря, взаимное уничтожение частицы и античастицы с образованием других частиц, например, фотонов, наверняка происходила на раннем этапе жизни нашей Вселенной. Сохранившиеся реликтовые области антиматерии могли бы быть обнаружены по потокам фотонов, летящих от них на Землю. Энергия таких фо-

тонов зависит от типа аннигилирующих частиц и может достигать  $10\text{--}100$  млн. электрон-вольт. Так что встреча Мира и Антимира, возможно, постоянно происходит в нашей Вселенной, просто мы ничего пока не знаем об этих драматических событиях. Не вызывает сомнения лишь постоянная аннигиляция электронов и позитронов, поскольку один из пиков на рентгеновском спектре различных источников ( $0,5 \text{ МэВ}$ ) почти всегда ассоциируется с этим процессом. Кстати, если это происходит вблизи поверхности нейтронной звезды, то достаточно хорошо заметно гравитационное красное смещение гамма-квантов, вырвавшихся из мощнейшего поля тяготения. Аннигилировать могут не только известные нам элементарные частицы, но и все остальные, еще неведомые землянам, в том числе и темная, или, точнее, скрытая, материя — одна из основных загадок современной космологии. Давно было

обнаружено, что в галактиках наряду со звездами присутствует материя, невидимая никакими приборами. Единственное, что выдает ее присутствие, — это гравитация. Одно из возможных объяснений этого таково: в галактиках, наряду с известными частицами, имеются частицы неизвестного типа, слабо взаимодействующие с окружающей средой. Если же такая частица сталкивается со своей античастицей, то происходит аннигиляция. Часть фотонов, являющихся продуктами такой аннигиляции, должна попадать на Землю. Детектируя эти фотоны, ученые надеются определить состав скрытой материи, никак другому не видной.

**ПРОЦЕСС АННИГИЛЯЦИИ, ТО ЕСТЬ ПОЛНЫЙ ПЕРЕХОД МАССЫ В ЭНЕРГИЮ, ОЧЕНЬ ДАВНО ВОЛНУЕТ ЗЕМЛЯН, НО НАШ МИР, К СЧАСТЬЮ, НЕ КОНТАКТИРУЕТ С АНТИМИРОМ.**





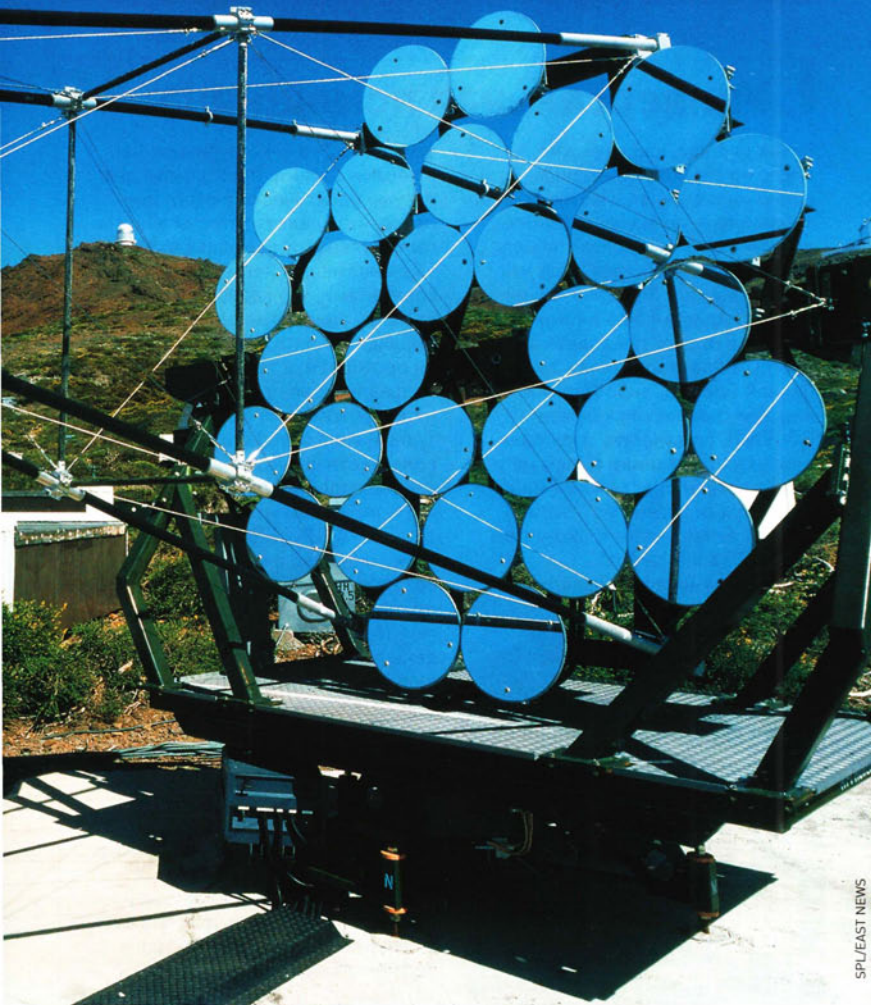
## КВАНТЫ-ГИГАНТЫ

мещены на площади в 40 тысяч квадратных метров. Эти инструменты детектируют заряженные частицы и фотоны, попадающие на поверхность Земли. Несколько затрудняет ситуацию то, что частицы, непосредственно прилетевшие из космоса, до поверхности Земли практически не долетают. Одна высокоэнергичная частица, сталкиваясь с атомным ядром молекул воздуха, вызывает поток новых частиц разных сортов. Те, в свою очередь, на пути к поверхности сталкиваются с ядрами и молекулами и также порождают новые частицы. Таким обра-

зом, одна очень энергичная частица, прилетевшая из космоса, генерирует широкий атмосферный ливень из разнообразных частиц на поверхности Земли. Регистрируя такой каскад, можно определить сорт частицы, инициировавшей этот ливень, и ее энергию. HEGRA способен регистрировать частицы очень высоких энергий, что невозможно для детекторов, выведенных в космос. Где и в каких природных ускорителях порождаются столь энергичные компоненты космических лучей, мы пока не знаем, но факт остается фактом — по космосу

«гуляют» столь энергичные странники, что при столкновении с молекулами атмосферного газа они порождают лавину из миллионов вторичных частиц. Фиксируя этот ливень из элементарных частиц, можно определить не только энергию и направление прилета, но и тип исходной частицы. Интерес к высокоэнергичным компонентам космических лучей обусловлен еще и тем обстоятельством, что земные ускорители пока не могут разогнать частицы до столь больших энергий, и космос в данном случае помогает разгадывать тайны микромира. ●

Семнадцатиметровый черенковский телескоп. Обсерватория HEGRA.



SP/EA/ST NEWS

▲ Этот ливень из позитронов и электронов вызван космическим гамма-квантом. Массовое рождение пар «частица—античастица» обусловлено столкновениями кванта света с атомами газа. Камера Вильсона, в которой получена данная фотография, помещена в магнитное поле, поэтому треки частиц разного заряда закручиваются в разные стороны. В Камере Вильсона находится переохлажденный пар, капельки которого четко показывают тот путь, которым летела заряженная частица.

**ЭТИ РЕЗУЛЬТАТЫ НЕ ЗАНОСЯТСЯ В КНИГУ РЕКОРДОВ ГИННЕССА, НО ОТ ЭТОГО ОНИ НЕ СТАНОВЯТСЯ МЕНЕЕ ПОРАЗИТЕЛЬНЫМИ. ОКАЗЫВАЕТСЯ, БЫВАЮТ ТАКИЕ ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫЕ МАЛЮСЕНЬКИЕ ЭЛЕКТРОНЫ, МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ПРОТОНЫ ИЛИ НЕВЕСОМЫЕ ГАММА-КВАНТЫ, ЭНЕРГИИ КАЖДОГО ИЗ КОТОРЫХ ДОСТАТОЧНО, ЧТОБЫ СБИТЬ МАЙСКОГО ЖУКА, А ТАКЖЕ ВЫЗВАТЬ ЛУЧЕВУЮ БОЛЕЗНЬ У ЧЕЛОВЕКА.**

◀ Обсерватория HEGRA, расположенная на Канарских островах, занимается регистрацией и анализом широких атмосферных ливней, порождаемых высокоэнергичными космическими частицами и гамма-квантами. Данная обсерватория регистрирует и черенковское излучение, возникающее тогда, когда заряженные частицы движутся со скоростью, большей скорости света в веще-

стве. Обычно его наблюдают в сильно преломляющих средах — воде или твердых прозрачных материалах, но, оказывается, даже в воздухе, показатель преломления которого всего на несколько десятитысячных отличается от единицы, возможно наблюдение черенковского излучения, генерируемого суперэнергичными электронами, рожденными прилетевшими гамма-квантами.

SP/EA/ST NEWS