

Помимо Суг X-1, есть и другие объекты, которые можно считать подающими надежды кандидатами в черные дыры. Из них в настоящее время больше всего заслуживают внимания Циркуль (Circ) X-1 и ОАО 1653—40. Circ X-1 — это рентгеновский источник в двойной системе из каталога «Ухуру», обладающий быстрой переменностью, во многом похожей на поведение Суг X-1¹⁾. Слабость нормального красного компонента системы делает до сих пор невозможными наблюдение спектральных линий и определение параметров орбиты. Затменный рентгеновский источник ОАО 1653—40, обнаруженный спутником «Коперник», был отождествлен со спектральной двойной звездой с неразделенными линиями V861 Скорпиона. Орбитальные параметры свидетельствуют о большой массе ($7-11 M_{\odot}$), связанной с рентгеновским источником [469].

13.6. ИСТОЧНИКИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ГАЛАКТИЧЕСКОЙ ПОДСИСТЕМЫ: БАРСТЕРЫ

Большинство из 50 (или около того) рентгеновских источников, лежащих в пределах 30° от направления на центр Галактики, имеют одинаковые свойства [353], такие, как 1) мягкие рентгеновские спектры, 2) рентгеновская переменность с характерными временами от минут до дней, 3) $L_x \leq \leq 10^{36}$ эрг/с, 4) отсутствие периодических импульсов, 5) отсутствие затмений. Примерно у половины из этих источников наблюдаются рентгеновские всплески. Все они называются источниками центральной галактической подсистемы, потому что распределены как старое звездное население, входящее в центральную галактическую подсистему (население II типа). По меньшей мере 11 источников с такими же свойствами 1—5 входят в состав (старых) шаровых скоплений и по крайней мере девять из них испускают рентгеновские всплески²⁾. Это сходство говорит о том, что источники скоплений и центральной подсистемы составляют класс рентгеновских источников старого населения II типа, отличающийся от рентгеновских ис-

¹⁾ Обзор и обсуждение наблюдений Circ X-1 см. в [167].

²⁾ См. [246]. Проведенный недавно анализ данных обсерватории «Эйнштейн» указывает на наличие в шаровых скоплениях рентгеновских источников второго класса с меньшими светимостями ($10^{34} \leq L_x \leq 10^{36}$ эрг/с). В отличие от источников высокой светимости эти объекты не сконцентрированы вблизи ядер скоплений. Возможная интерпретация заключается в том, что источники малой светимости — это двойные системы малой массы с белыми карликами, а источники высокой светимости — более массивные двойные системы, содержащие нейтронные звезды.

точников, связанных с молодыми массивными звездами населения I типа. Источники рентгеновского излучения, расположенные в центральной подсистеме и в скоплениях, можно отождествить со старым, «сфероидальным» компонентом Галактики, а источники, находящиеся на орбитах около молодых массивных звезд, можно отождествить с более молодым, «дисковым» компонентом.

Начиная с открытия в 1975 г. [61, 247] барстеров — объектов, испускающих всплески рентгеновского излучения — их зарегистрировано более 25. Наиболее часто встречающиеся всплески, называемые [276] «всплесками I типа», появляются с интервалами от нескольких часов до нескольких дней. Обычно по мере затухания такого всплеска его спектр становится более «мягким». Характерные профили импульсов показаны на рис. 13.10.

Более своеобразны так называемые «всплески II типа», возникающие у «быстрого барстера» МХВ 1730—335. Эти всплески наблюдаются в виде быстрой последовательности отдельных событий с временными масштабами от секунд до минут и проявляют очень малое «смягчение» спектра. Энергия каждого всплеска примерно пропорциональна времени ожидания следующего всплеска. Вдобавок «быстрый барстер» создает также всплески I типа с интервалами 3—4 ч.

Для объяснения всплесков было предложено много моделей. Все они привлекают аккрецию газа на компактный объект. Компактный объект выполняет по крайней мере одну из двух функций: глубокая гравитационная потенциальная яма обеспечивает запас энергии для эффективного преобразования ее в излучение, а малый размер согласуется с наблюдаемой быстрой переменностью.

Предлагаемые модели делятся на две категории [355]. В одних в качестве основного механизма рассматриваются неустойчивости аккреционного потока, а в других — термоядерные вспышки в поверхностных слоях аккрецирующей нейтронной звезды. Сейчас можно отождествлять источники центральной галактической подсистемы с компактными объектами, имеющими массу порядка солнечной, предположительно с нейтронными звездами, аккрецирующими вещество маломассивного компонента двойной системы. Всплески I типа, вероятно, возникают в результате термоядерных вспышек, а всплески II типа быстрого барстера могут оказаться следствием неустойчивостей аккреционного потока.

Отсутствие рентгеновских импульсов и затмений позволяет усомниться в правильности отождествления барстеров с аккрецирующими нейтронными звездами. Можно ожидать, что такие объекты должны испускать импульсы, если только у них есть магнитные поля, достаточно сильные для управления аккреционным потоком и не совмещенные с осью вращения, такие, как у рентгеновских пульсаров в двойных системах, связанных со звездным населением I типа. Возможно, что барстеры являются *более старыми* нейтронными звездами и их магнитные поля затухли (см. упражнение 10.3) или сориентировались параллельно оси вращения. Не исключено также, что канализирование газа сильными магнитными полями в моло-

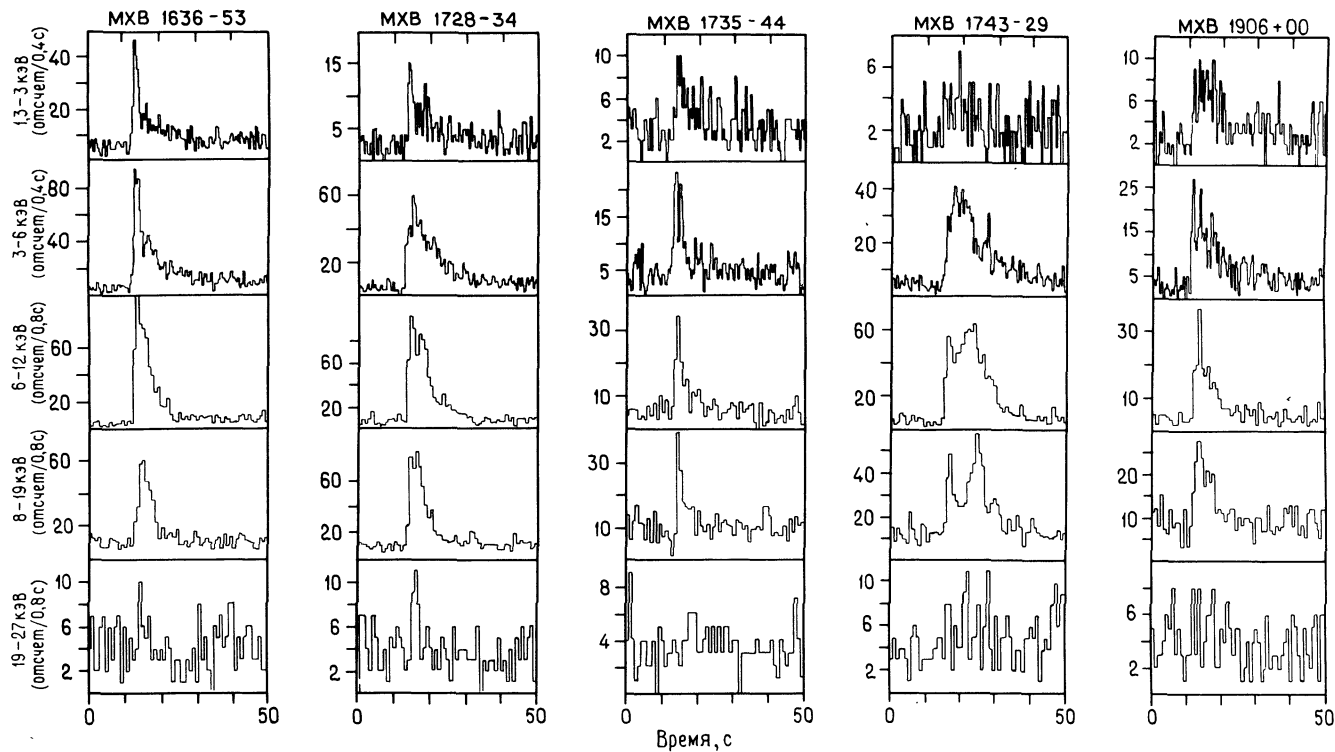


Рис. 13.10. Профили всплесков I типа пяти разных источников в пяти различных диапазонах. Профиль всплеска достаточно характерен для каждого конкретного источника. Обратите внимание, что во всех случаях постепенный спад (хвост) существует дольше при более низких энергиях, нежели при более высоких [354].

дых нейтронных звездах может подавлять термоядерные вспышки, что объясняет, почему рентгеновские пульсары в двойных системах не проявляются как барстеры.

Отсутствие затмений¹⁾ у всех хорошо изученных источников создает большие затруднения для теоретиков. Однако в некоторых моделях с аккреционным диском (например, [407]) предусматривается возможность существования «рентгеновского призрака» в орбитальной плоскости двойной системы малой массы и тем самым исключается обнаруживаемое в ином случае затмение.

Учитывая очень высокую частоту появления и связь с самым старым звездным населением, рентгеновские источники шаровых скоплений, по-видимому, можно выделить в совершенно особый класс [306]. Из 150 (или около того) известных галактических рентгеновских источников 7% находятся в шаровых скоплениях. Однако полная масса звезд шаровых скоплений составляет лишь около 0,1% всей массы Галактики.

Глубокая потенциальная яма скопления, сгущающегося к центру, способна удерживать газ, выбрасываемый старыми звездами. Это породило идею, что сверхмассивная центральная черная дыра ($100\text{--}1000 M_{\odot}$) могла бы аккрецировать газ и подпитывать наблюдаемый источник [38, 541]. На эту идею повлияли также результаты теоретических исследований, согласно которым ядра шаровых скоплений испытывают вековой «коллапс» к состоянию с высокой звездной плотностью. Такой процесс мог бы повлечь за собой столкновения и слияние звезд, а в конечном итоге — образование сверхмассивной черной дыры²⁾.

Тенденция к равномерному распределению энергии в звездных скоплениях (путем гравитационного рассеяния) означает, что массивные звезды приобретают меньшие скорости и потому остаются в самых центральных областях скопления. Данные [246] рентгеновской обсерватории «Эйнштейн» позволили определить положение восьми рентгеновских источников в шаровых скоплениях с точностью $1\text{--}3''$. Результаты, показывающие, что некоторые источники видны на расстоянии более $1''$ от центров скоплений, свидетельствуют против гипотезы сверхмассивных черных дыр и совместимы с предположением об объектах, имеющих массу порядка $2 M_{\odot}$ [368]. Вопрос этот еще нельзя считать полностью решенным.

Сравнительно недавно у барстера 4U 1916—05 [596, 597, 613] наблюдались понижения поглощения с периодом $50 \pm 0,5$ мин. Кроме того, обнаружены модуляции с периодом 4,3 ч оптического потока барстера MXB 1735—44 [394] и 4-часовые модуляции у барстера MXB 1636—53 [451]. Хотя полученные данные следует считать предварительными, эти периодические вариации могут оказаться первым прямым аргументом в пользу двойной природы рентгеновских барстеров.

¹⁾ См., однако, обсуждение в конце разд. 13.6.

²⁾ Более подробное обсуждение см., например, в [365, 548].