Исследование кандидата в черные дыры GRS 1739-278 во время вспышки 2014 года

Быков С.Д.^{*1,2,} Филиппова Е.В.¹, Мереминский И.А.¹, Семена А.Н.¹ 1)Институт космических исследований РАН 2)МГТУ им. Н.Э. Баумана

*komisar95@gmail.com

Аннотация: В работе исследованы свойства рентгеновской новой GRS 1739-278 во время яркой вспышки 2014 года. Основываясь на данных обсерваторий Swift и INTEGRAL, мы показали, что за время вспышки система перешла из низкого/жесткого в высокое/мягкое состояние. Были получены оценки на параметры аккреционного диска. Построены диаграммы зависимости жесткости (отношение потоков в диапазонах энергий 4-10 кэВ и 0.5-4 кэВ) от потока и жесткости от мощности переменности во время вспышки, на которых источник продемонстрировал характерные зависимости. При исследовании спектров мощности были найдены квазипериодические осцилляции (КПО) на частотах 0.3-3 Гц. В работе также проведено сравнение параметров системы, полученных во время всех вспышек, зарегистрированных от системы на сегодняшний день.

1) Введение: Рентгеновский источник GRS 1739-278 был открыт обсерваторией GRANAT 18 марта 1996 года во время яркой вспышкимаксимальный поток достиг ~900 мКраб в диапазоне энергий 2-10 кэВ (Поль и др.,1996). Последующие наблюдения в рентгеновском, оптическом и радио диапазонах позволили квалифицировать систему как двойную с кандидатом в черные дыры (Бороздин и др., 1998).

Вторая по счету вспышка была задетектирована телескопом Swift/BAT 9 марта 2014 года (Крим и др., 2014) (максимальный поток от источника в диапазоне энергий 15-50 кэВ составил ~300 мКраб). В начале вспышки двойные системы с кандидатами в черные дыры, как правило, находится в низком/жестком состоянии, энергетический спектр источника описывается степенным законом с завалом на высоких энергиях. Согласно распространенной феноменологической модели (Belloni & Motta 2016) такая форма спектра объясняется наличием горячей короны вблизи черной дыры. По мере развития вспышки система переходит в высокое мягкое состояние, в энергетическом спектре появляется мягкая компонента, которая в рамках упомянутой модели ассоциируется с излучением аккреционного диска. Целью данной работы является исследование поведения системы во время вспышки 2014 года, определение физических параметров аккреционных потоков вблизи черной дыры, и сравнение с поведением системы во время всех продемонстрированных на сегодняшний день вспышках. 2) Наблюдения: Система наблюдалась телескопом SWIFT/XRT с 2014-03-20 (56736 MJD) по 2014-11-01 (56962 MJD). Всего было проведено 42 наблюдения (далее используем две последние цифры номера наблюдения 000332030ХҮ). Кривые блеска и энергетические спектры источника во время вспышки получены с помощью онлайн-сервиса (Эванс и др., 2009) с последующей рекомендуемой дообработкой. Несколько раз в течение первых 30 дней вспышки источник попадал в поле зрения обсерватории INTEGRAL - в работе были использованы данные телескопов JEM-X и ISGRI/IBIS, обработанные с помощью сервиса HEAVENS (Вольтер и др., 2010).

4) Спектральный анализ: Типичные спектры источника GRS 1739-278 во время вспышки 2014 года показаны на рис. 2 В начале вспышки (первые 40 дней) спектр аппроксимировался степенной компонентой с завалом на высоких энергиях и поглощением на низких энергиях со следующими параметрами наилучшей аппроксимации: фотонный индекс варьировался в пределах 1.4-2, энергия завала - 30-40 кэВ, поглощение на луче зрения N_н~2 · 10²² см⁻². Через 40-45 дней в спектре источника наряду со степенной компонентой была задетектирована мягкая компонента, которая аппроксимировалась моделью излучения аккреционного диска (diskbb). К сожалению, качество данных не позволяет сделать однозначный вывод о параметрах и присутствии этой компоненты в спектре источника во время его вспышечной активности: вопервых, исследуемый диапазон энергий 0.8-10 кэВ не позволяет проанализировать эволюцию фотонного индекса и энергии завала степенной компоненты, а, во-вторых, систематическая ошибка полученных данных приводит к тому, что критерий χ^2 дает примерно одинаковое значение χ^2/dof порядка 1 как для модели phabs*power, так и для модели phabs*(diskbb+power). Тем не менее через ~ 120 дней после начала вспышки вклад степенной компоненты уменьшился настолько, что спектр источника аппроксимировался моделью phabs*diskbb c температурой на внутреннем крае диска 1.0-0.9 кэВ. На основе этого анализа можно сделать вывод, что за время вспышки система перешла из низкого/жесткого состояния в высокое/мягкое. Зависимость потокжесткость излучения (отношение потоков в жестком и мягком диапазонах энергий), приведенная на рис. 2 (верхняя панель), подтверждает этот вывод.

6) Обсуждение: Из спектрального и временного анализа мы сделали вывод, что *система GRS* 1739-278 за время вспышки в 2014 году перешла из низкого/жесткого состояния в высокое/мягкое, при этом последовательно продемонстрировав промежуточные жесткое и мягкое состояния. Показатель степенного закона за время нахождения системы в низком/жестком состоянии изменился с 1.4 до 2, эти значения сопоставимы со значением этого параметра во время вспышки 1996 года. Температура на внутреннем крае диска в высоком/мягком состоянии была порядка 0.9-1.0 кэВ. Во время вспышки 1996 года температура на внутреннем крае диска в высоком/мягком состоянии была чуть выше – 1-1.2 кэВ (Бороздин и др., 1998). Во время вспышки 1996 года система также продемонстрировала переход из низкого/жесткого состояния в высокое/мягкое. Мы построили диаграмму "жесткость-поток" для этой вспышки по архивнм данным RXTE/ASM. Для того чтобы, сравнить диаграммы для вспышек 1996 и 2014 годов, мы нормировали поток на максимальное значение. Из рис. 3 (верхняя панель) видно, что во время первой вспышки система продемонстрировала характерную зависимость, имеющую "q"-форму (Belloni & Motta 2016), а во время второй вспышки продемонстрировала схожую эволюцию. В 2015 году от системы были зарегистрированы две мини-вспышки, максимальный поток в

диапазоне энергий 15-50 кэВ составил ~30

мКраб, в обеих система прошла все

спектральные состояния, причем фотонный



Рис. 1: Кривая блеска системы GRS 1739-278 во время вспышки 2014 года по данным телескопов XRT (зелен.) и ВАТ (син.).



индекс во время этих вспышек сопоставим со значениями, полученными в предыдущих вспышках, температура на внутреннем крае аккреционного диска была меньше, 0.7-0.8 кэВ. Следующая вспышка наблюдалась в сентябре 2016 года. Было обнаружено, что во время этой вспышки система была в низком/жестком состоянии (максимальный поток в диапазоне энергий 15-50 кэВ составил ~30 мКраб) и *не продемонстрировала переход в высокое/мягкое состояние* (сорванная вспышка, Мереминский и др., 2016).



Рис. 5: Зависимость потока ВАТ в пике жесткого состояния вспышки от времени, прошедшего с предыдущей вспышки GRS1739-278 (черные квадраты). Параметры лучшей прямой: наклон 0.04 мКраб/день, смещение: 23.77 мКраб. Пунктиром приведена зависимость для GX339-4.

B Yu et. al, 2007 для системы GX339-4 была

3) Кривая блеска: На рис. 1 показана кривая блеска источника в диапазонах энергий 0.5-10 кэВ и 15-50 кэВ.

В жестком диапазоне энергий поток рос в течение ~10 дней, после чего уменьшился в 1.5 раза за 3 дня и практически не менялся в течение 10 дней, следующие 30 дней источник демонстрировал вспышечную активность, вспышка длилась ~140 дней. В мягком диапазоне энергий система начала

демонстрировать вспышечную активность через ~15 дней после начала вспышки, вспышечная активность длилась ~80 дней. Наблюдения источника телескопом XRT прекратились через ~250 дней после начала вспышки, поток от системы на тот момент составил ~100 мКраб.



∑ 4×10⁻²

обнаружена корреляция между временем, прошедшим между предыдущей и текущей вспышкой системы, и пиковым потоком в жестком (20-200 кэВ) диапазоне энергий текущей вспышки. Эта зависимость может указывать на то, что максимальный поток в жестком/низком состоянии определяется массой аккреционного диска, накопившейся за время между вспышками. Мы построили эту зависимость для GRS1739-278 для вспышек 2014 и 2016 годов и сравнили ее с зависимостью, полученной для системы GX 339-4. (рис. 5). Из рисунка видно, что для системы GRS 1739-278 эта зависимость также может быть описана линейным законом, но с другим наклоном: 0.04 мКраб/день, в то время как у системы GX 339-4 наклон 0.93 мКраб/день.