



Утверждаю:
Директор ИКИ РАН
академик Зеленый Л.М.
“ 25 ” сентября 2015 года

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований РАН (ИКИ РАН)

Диссертация “Внегалактические транзиентные источники в планируемом обзоре неба обсерватории Спектр-РГ и архивных данных ROSAT и XMM-Newton. Моделирование рентгеновского излучения релятивистских струй” выполнена в отделе “астрофизики высоких энергий” Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт космических исследований РАН».

В период подготовки диссертации соискатель Ильдар Инзилович Хабибуллин работал в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт космических исследований РАН» в должности младшего научного сотрудника. С 2012 г. по настоящий момент обучается в очной аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт космических исследований РАН» по специальности «астрофизика и звездная астрономия».

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2015 г. Федеральным государственным бюджетным учреждением науки «Институт космических исследований РАН».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Сергей Юрьевич Сазонов, заведующий сектором Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт космических исследований РАН».

По результатам рассмотрения диссертации «Внегалактические транзиентные источники в планируемом обзоре неба обсерватории Спектр-РГ и архивных данных ROSAT и XMM-Newton. Моделирование рентгеновского излучения релятивистских струй» принято следующее заключение:

Актуальность темы и направление исследования.

Первые 4 года планируемой к запуску в 2017 году обсерватории Спектр-РГ будут посвящены проведению обзора всего неба в стандартном (телескоп eROSITA) и более жестком (ART-XC) рентгеновских диапазонах. Помимо

большого количества постоянно существующих источников (таких как активные ядра галактик и скопления галактик) в ходе обзора будет возможность регистрировать и редкие транзиентные события, для которых исключительно важен вопрос максимально полной, надежной, но при этом и своевременной идентификации. Ввиду этого, требуется разработка специальных методик обнаружения и идентификации, основанных на отличительных особенностях различных классов транзиентных источников и учитывая различные возможности диагностики, которые будут доступны в ходе проведения обзора.

Целью первой части работы является разработка методик и оценка перспектив обнаружения послесвечений космических гамма-всплесков и вспышек излучения в результате приливного разрушения звезд СМЧД (TDE) в ходе обзора неба eRASS в стандартном рентгеновском диапазоне телескопом eROSITA обсерватории Спектр-РГ. Несмотря на то, что темп детектирования рентгеновских послесвечений гамма-всплесков достаточно велик благодаря таким обсерваториям как Swift, позволяющим очень быстрое наведение рентгеновского телескопа в область локализации гамма-триггера, получаемые таким способом выборки смещены в сторону послесвечений от ярких в гамма-диапазоне вспышек. В ходе проведения обзора eRASS появится возможность находить послесвечения в результате «слепого» поиска, избавившись тем самым от эффектов селекции по яркости родительского гамма-всплеска. В частности, такой поиск позволяет находить послесвечения гамма-всплесков с проинтегрированным потоком мгновенного гамма излучения ниже порога детектирования современных гамма-мониторов, а также послесвечения вовсе без наблюдаемого гамма-всплеска, относительная частота которых важна для понимания структуры и геометрии излучения релятивистского джета.

Количество обнаруженных на данный момент вспышек излучения в результате приливного разрушения звезд СМЧД гораздо меньше -- всего около двух десятков надежных кандидатов. Значительный вклад в эту выборку был внесен предыдущим обзором всего неба в мягком рентгеновском диапазоне, проведенном обсерваторией ROSAT. Характерное время спада яркости таких вспышек составляет около года, что сравнимо с промежутком между наблюдениями произвольной точки на небе в ходе двух последовательных снимков неба eRASS, что, вкупе с ожидаемым в случае TDE спектром излучения с пиком в мягком рентгеновском диапазоне, делает обзор eRASS очень хорошо подходящим для обнаружения большого количества таких вспышек. На основе имеющихся данных и теоретических оценок частоты таких событий в локальной Вселенной рассчитан ожидаемый темп их детектирования, а также описаны статистические свойства выборки в смысле распределения по красному смещению, массе разрушающей СМЧД и др. Помимо исследования свойств популяции TDE, последующие наблюдения наиболее ярких из этих событий позволят проследить эволюцию аккреционного диска в широком диапазоне удельного темпа аккреции. Отдельный интерес представляет поиск событий с релятивистскими джетами для определения условий и механизмов их запуска, для которых также получена оценка темпа детектирования.

Проверка методики обнаружения и идентификации TDE в ходе eRASS была проведена на основе архивных данных обзора всего неба обсерватории ROSAT (RASS) в области перекрытия с полями наблюдений обсерватории XMM-Newton. Количество найденных кандидатов в TDE позволяет поставить ограничение на частоту TDE в локальной Вселенной. Для отдельных кандидатов получены оценки для массы СМЧД в простейшей модели явления. Побочным продуктом поиска TDE является обнаружение всплесков большой амплитуды от постоянных существующих источников, например, АЯГ, изучение механизмов переменности которых само по себе является важной задачей.

Целью второй части является детальное моделирование характеристик рентгеновского излучения барионных релятивистских джетов, на данный момент наблюдаемых лишь на примере уникальной Галактической системы SS 433, детальное исследование свойств которой важно также для понимания проявлений сверхкритической аккреции, которая, по-видимому, имеет место на начальной стадии как гамма-всплесков, так и TDE. Предсказание характеристик излучения барионного джета в зависимости от его физических параметров необходимо как для интерпретации наблюдений существующих (Chandra/HETGS) и планируемых к запуску (ASTRO-H/SXS, 2016 г.) рентгеновских спектрометров высокого разрешения, так и для поиска барионных джетов в других Галактических системах, ультраярких рентгеновских источниках и различных внегалактических источниках, с похожими на SS 433 свойствами.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации.

По теме диссертации опубликовано 4 работы в рецензируемых научных изданиях, определяющую роль в подготовке и написании которых сыграл автор диссертации, в том числе в плане выполнения аналитических расчетов, численного моделирования, кросс-корреляции каталогов и обработки данных, а также интерпретации полученных результатов и обсуждении перспектив. Некоторые идеи методик идентификации были предложены Р.А. Сяняевым и С.Ю. Сазоновым. Часть программного кода по Монте-Карло моделированию переноса излучения была предоставлена С.Ю. Сазоновым, Е.М. Чуразовым и И.В. Журавлевой.

Степень достоверности результатов проведенных исследований.

Достоверность полученных в диссертации результатов основана на:

- 1) четырех публикациях в рецензируемых журналах ВАК;
- 2) представлении результатов работы (в том числе устные доклады) на российских и международных конференциях
- 3) Полученные результаты хорошо соотносятся с некоторыми измерениями частоты TDE в локальной Вселенной по данным поисков в других рентгеновских, оптических и УФ обзорах. Рассчитанные характеристики линейчатого рентгеновского излучения SS 433 согласуются с наблюдаемыми.

Научная новизна результатов исследований.

Предложенные методики идентификации рентгеновских послесвечений космических гамма-всплесков и вспышек излучения в результате приливного разрушения звезд СМЧД в контексте обзора eRASS рассмотрены впервые (однако, стоит отметить, что методика поиска послесвечений схожа с использованной в ходе обзора всего неба обсерватории ROSAT). В работе впервые рассчитаны ожидаемые темпы детектирования таких событий в ходе eRASS в зависимости от предполагаемых свойств их популяции. Рассмотрена проблема конкуренции с источниками других типов, предложены способы их отсева.

Впервые проведен систематический поиск вспышек излучения в результате приливного разрушения звезд СМЧД в данных обзора всего неба обсерватории ROSAT путем кросс-корреляции с данными точечных наведений обсерватории XMM-Newton. Найдено от двух до четырех кандидатов с различной вероятностью ассоциации с TDE, что позволило поставить ограничение на частоту TDE в локальной Вселенной. На реальных данных проверены предложенные для eRASS методики отождествления и отсева конкурирующих источников.

Впервые выполнены расчеты переноса излучения в линиях стандартного рентгеновского диапазона в контексте излучения релятивистских барионных джетов на примере SS 433. Поставлены ограничения на величину уменьшения интенсивности линий в результате совместного действия резонансного и комптоновского рассеяния для широкого диапазона значений параметров джетов. Впервые получены предсказания тонкой структуры линий и близлежащего континуума имея ввиду ожидаемые характеристики микрокалориметра обсерватории ASTRO-H.

Практическая значимость исследований.

Предложенные методики могут быть использованы для идентификации (в ходе проведения обзора всего неба eRASS) рентгеновских послесвечений гамма-всплесков и вспышек излучения в результате приливного разрушения звезд СМЧД. Полученные оценки ожидаемых темпов детектирования позволяют планировать требуемую обширность последующих наблюдений телескопами наземной и орбитальной поддержки. Проведенные расчеты эффективности детектирования и отождествления (например, ввиду присутствия конкурирующих источников различных классов) в ходе eRASS, могут быть использованы для поисков транзиентов в обзорах, схожих по характеристикам с eRASS.

Получено ограничение на среднюю наблюдаемую частоту TDE в локальной Вселенной, которое может быть использовано для сравнения с теоретическими предсказаниями. Побочным продуктом систематического поиска TDE является выборка вспышек активных ядре галактик, дальнейшее исследование которых может помочь пролить свет на механизмы переменности этих источников.

Представленные результаты расчетов спектра излучения релятивистских барионных джетов в линиях стандартного рентгеновского диапазона могут быть использованы для интерпретации данных обсерваторий *Chandra* и, в скором будущем, обсерватории *ASTRO-H*.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.

Основные результаты диссертации отражены в следующих статьях:

- 1) X-ray line formation in the spectrum of SS 433
Khabibullin I., Sazonov S., 2012, *Astronomy Letters*, 38, 443
(Формирование рентгеновских линий в спектре SS 433
Хабибуллин И., Сазонов С., 2012, *Письма в Астрономический Журнал*, 38, 503)
- 2) SRG/eROSITA prospects for the detection of GRB afterglows
Khabibullin I., Sazonov S., Sunyaev R., 2012, *MNRAS*, 426, 1819
- 3) SRG/eROSITA prospects for the detection of stellar tidal disruption flares
Khabibullin I., Sazonov S., Sunyaev R., 2014, *MNRAS*, 437, 327
- 4) Stellar tidal disruption candidates found by cross-correlating the ROSAT Bright Source Catalogue and XMM-Newton observations
Khabibullin I., Sazonov S., 2014, *MNRAS*, 444, 1041

Все работы опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК. Все основные положения исследований изложены в данных статьях.

Соответствие содержания диссертации паспорту специальности 01.03.02 – «Астрофизика и звёздная астрономия». Задачи, рассмотренные в диссертации, относятся к классу, заявленному в паспорте специальности 01.03.02 – «Астрофизика и звёздная астрономия», как «Исследование физических процессов, связанных с генерацией излучения (электромагнитного, нейтринного, гравитационного), распространения и поглощения излучения в космических средах; разработка методов анализа электромагнитного излучения в различных спектральных диапазонах в применении к астрономическим наблюдениям».

ВЫВОД. Кандидатская диссертация Ильдара Инзиловича Хабибуллина “Внегалактические транзиентные источники в планируемом обзоре неба обсерватории Спектр-РГ и архивных данных ROSAT и XMM-Newton. Моделирование рентгеновского излучения релятивистских струй” соответствует «Положению о порядке присуждения ученых степеней».

Диссертация “Внегалактические транзиентные источники в планируемом обзоре неба обсерватории Спектр-РГ и архивных данных ROSAT и XMM-Newton. Моделирование рентгеновского излучения релятивистских струй” Ильдара Инзиловича Хабибуллина рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звёздная астрономия.

Заключение принято на заседании НТС отдела «Астрофизики высоких энергий» Института космических исследований РАН. Присутствовало на заседании 16 членов НТС отдела. Результаты голосования: «за» - 16 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел., протокол от « 25 » сентября 2015 г.

Ученый секретарь НТС отд. 52



Арефьев В.А.