

ОТЗЫВ

о диссертации И.А. Мереминского
«Мониторинг неба в рентгеновском диапазоне энергий обсерваторией INTEGRAL:
обзоры большой площади и транзиентные источники»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических
наук
по специальности 01.03.02 - «Астрофизика и звездная астрономия»

Актуальность диссертации И.А. Мереминского определяется тем, что, по современным представлениям, порядка 50% звезд являются взаимодействующими двойными системами и рентгеновское излучение представляет собой одно из проявлений взаимодействия звезд в двойных системах с компактными компонентами. В рентгеновском диапазоне спектра наблюдаются и другие объекты, например, остатки сверхновых звезд, активные ядра галактик, скопления галактик. Рентгеновские объекты демонстрируют разнообразную переменность, в частности, вспышечную. Данные рентгеновской астрономии играют важнейшую роль в понимании физики и эволюции звезд. Предметом исследований автора являются, в значительной степени, маломассивные системы, но стоит упомянуть такие замечательные недавние события, как детектирование вспышек гравитационно-волнового излучения, связанных с слиянием двойных черных дыр и нейтронных звезд. Эти системы, хотя и массивные, на предыдущих этапах эволюции также были источниками рентгеновского излучения.

Следует отметить, что тематика диссертации активно разрабатывается в ИКИ РАН с момента запуска обсерватории INTEGRAL. Членами этой научной команды были получены уникальные результаты, в значительной степени обеспечившие успех миссии. Диссертация И.А. Мереминского развивает данную тему.

Новизна результатов и выводов диссертации обусловлена тем, что автор впервые использовал данные INTEGRAL'a за 2003 - 2013г.г. для поиска новых рентгеновских объектов, излучающих в жестких рентгеновских лучах и верификации данных об известных ранее источниках. Поскольку чувствительность телескопа пропорциональна квадратному корню из времени экспозиции, число известных жестких рентгеновских источников было удвоено по сравнению с предшествующей работой Кривоноса и др. (2010). Автором обнаружен ранее неизвестный рентгеновский барстер, что существенно, поскольку наблюдаемая популяция этих объектов невелика.

Методология автора — исследование архивных данных с применением численных программ, разработанных им самим и участие в текущих наблюдениях. Важно сразу отметить, что автор использовал данные, полученные телескопом JEM-X, который не является основным инструментом INTEGRAL'a и дает информацию об излучении в более мягком диапазоне, чем IBIS, но по качеству мозаичных изображений даже превосходит основной инструмент IBIS.

Диссертация состоит из 5 глав, первые две из которых имеют вводный характер, последняя подводит итоги исследований, существо работы изложено в Гл. 3 и 4. Полный объем диссертации — 96 страниц, список литературы содержит 131 наименование.

Основные результаты можно суммировать следующим образом.

В Гл. 3 проведен анализ обзора области галактического центра телескопом JEM-X в спектральных интервалах 5-10 и 10-25 кэВ. Этот обзор охватывает уникальную по площади область в 1200 кв. г., имеет большую чувствительность (порядка 1 мКраб) и хорошее разрешение (порядка 1 мин. дуги), что намного превосходит параметры существующих обзоров. Зарегистрированы 105 источников, 75 из них — маломассивные (LMXB). Удалось продлить функцию светимости LMXB до 10^{35} эрг/с, построить функцию постоянной рентгеновской светимости Галактики и показать, что она не отличается от ранее найденной для объектов ближайших галактик. Благодаря существенному временному покрытию удалось выделить вклад постоянных и транзиентных систем. Было исследовано пространственное распределение LMXB, которое следует закону распределения вещества Бакала-Сонейры. Для решения задачи диссертант разработал программы для устранения фона и систематических эффектов.

Далее в диссертации приведены результаты обзора трех глубоких внегалактических полей M81, Большого Магелланова Облака и области Волос Вероники телескопом IBIS в диапазоне энергий 17–60 кэВ. Использованы данные 2003-20015г.г. В каждом из этих полей была набрана экспозиция не менее 6.8 Мс, что сделало их привлекательными для проведения обзора с целью получения выборки слабых АЯГ в плохо изученном диапазоне потоков от 0.1 до 1.0 мКраб. К моменту опубликования в июне 2016г., данный обзор являлся самым глубоким из проведенных телескопами с кодирующей апертурой, пиковая чувствительность составила 0.18 мКраб. На уровне $S/N > 4$ были зарегистрированы 147 источников, 37 из них впервые. Используя архивные данные, 13 из новых источников были отождествлены с оптическими объектами и классифицированы как АЯГ. Приведены детальное обоснование идентификации новых источников и каталог источников, зарегистрированных в обзоре трех исследованных полей. Эта информация была затем использована для построения кривых $\lg N - \lg S$ с последующим ее анализом, который показал, что значимого различия между плотностью АЯГ в исследованных полях нет, хотя наклоны кривых и различаются. Большую ясность в этом вопросе смогут дать исследования с помощью телескопа ART-XC обсерватории «СРГ».

Четвертая глава диссертации посвящена результатам мониторинговых наблюдений обсерватории INTEGRAL в 2016 - 2017 г.г. В частности, было зафиксировано начало вспышки рентгеновской новой GRS 1739-278. Для ее локализации был также привлечен космический телескоп Swift. Примечательной особенностью этой вспышки оказалось ее нетипичное развитие, отсутствие смены спектральных состояний. В степенном спектре источника отсутствовал экспоненциальный завал на энергиях 30–50 кэВ, наблюдавшийся в предыдущих вспышках. Не удалось и детектировать вспышку в оптическом диапазоне на РТТ-150. Но положительный результат состоит в том, что удалось исследовать «жесткое низкое» спектральное состояние при низкой светимости источника (несколько $\cdot 10^{37}$ эрг s^{-1}). Данный объект важен и тем, что удалось пронаблюдать начальную стадию вспышки в системе с компонентом - кандидатом в черные дыры. Эти стадии развития вспышек вообще исследованы существенно хуже, чем последующие стадии, из-за того, что обнаружение

начала вспышки требует достаточно чувствительных наблюдений, недоступных для мониторов всего неба.

Еще одним интересным результатом мониторингования неба оказалась регистрация рентгеновского всплеска от объекта IGR J17445-2747, которая позволила определить его природу как барстера первого типа в балдже Млечного пути. Известны всего немногим более 100 барстеров, так что ценен каждый новый объект. IGR J17445-2747, оказался всего лишь седьмым (за 15 лет) барстером открытым обсерваторией «INTEGRAL».

Свидетельством **обоснованности и достоверности** результатов, полученных диссертантом, может служить независимое «повторное» отождествление многих объектов по архивным данным.

Научная и практическая значимость диссертации определяется новыми наблюдательными данными, которые могут послужить основой для уже ведущихся и новых теоретических исследований. Кроме того, работа имеет большое значение как подготовительный этап к обработке данных, которые, как мы все ожидаем, будут поступать с «СРГ».

В целом, диссертация представляет собой законченное оригинальное научное исследование.

Можно отметить лишь **незначительные недостатки**.

Использованный в разделе 3.1 подход к определению средних светимостей рентгеновских транзиентов является не вполне адекватным. Возможно, вместо средних значений следовало использовать медианные или наиболее вероятные, т. к. в отличие от средних эти значения присутствуют в выборке и могут быть непосредственно сравнены с данными наблюдений для других галактик. В том же разделе диссертант отмечает, что, *возможно*, существуют причины, по которым нет постоянных источников с светимостью, меньшей 10^{36} эрг/с, но есть транзиенты меньшей светимости. Следует отметить, что, во-первых, значение 10^{36} эрг/с близко к нижнему пределу чувствительности телескопа. Во вторых, это значение светимости соответствует скорости аккреции на нейтронную звезду равной, примерно, 10^{15} г/с, ниже которой, согласно практически общепринятой модели тепловой неустойчивости аккреционных дисков нейтронных звезд, постоянных источников не должно быть.

Представляется, что выбор предельного расстояния (150 Мпк) при оценке плотностей локальных АЯГ в разделе 3.2 недостаточного обоснован, т. к. рис. 3.20 дает основания предположить, что немного увеличив это предельное расстояние можно было получить большую выборку источников и, следовательно, получить статистически более точные оценки.

При оценке расстояния до обнаруженного диссертантом барстера для получения ее нижней границы используется предположение об аккреции гелия. Барстеры с аккрецией гелия, вообще говоря, пока неизвестны, существуют только в теории.

Поскольку диссертант использует оригинальное программное обеспечение, специально разработанное для поставленной задачи, было бы желательно, чтобы диссертация содержала хотя бы минимум информации о нем, например, в Приложении.

С чисто формальной точки зрения, не слишком удачной представляется Гл. 1, претендующая на введение в рентгеновскую астрономию, но являющаяся, по мнению оппонента, чересчур беглой и неполной для той роли, которую она должна играть. Например: стоило ли детально описывать принципиальную схему телескопов с кодирующей апертурой, которые используются на спутниках с 1975г.? С другой стороны, если уж упоминается схема Волтер-I, надо было бы пояснить, что это такое, чем она отличается от двух остальных.

В работе имеются опечатки, ошибки пунктуации, рассогласования времен, не всегда корректна транслитерация иностранных фамилий.

Вышеперечисленные замечания не имеют принципиального характера и не влияют на **общую положительную оценку** диссертационной работы.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в ведущих российских и зарубежных журналах (7 статей в журналах, признаваемых ВАК, в трех из них диссертант — первый автор). Работы диссертанта представлялись на всероссийских и международных конференциях. Полученные результаты могут быть использованы в научных учреждениях, в которых ведутся работы в области астрофизики и рентгеновской астрономии.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертация полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.03.02 — «Астрофизика и звездная астрономия», а Илья Александрович Мереминский заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент:
в.н.с. Института астрономии РАН,
д.ф.-м.н. Юнгельсон Л. Р.

Подпись Юнгельсона Л.Р. заверяю,
ученый секретарь ФГБУН Институт астрономии Российской академии наук
к.ф.-м.н. Фатеева А.М.
12.03.2018



Адрес: 119017 г. Москва, ул. Пятницкая, д. 48,
ФГБУН Институт астрономии Российской академии наук
Телефон: (495) 951-54-61,
lev.yungelson@gmail.com