



УТВЕРЖДАЮ

И.о. директора

ФГБУН Института астрономии РАН

доктор физ.-мат наук М.Е. Сачков

Отзыв ведущей организации

на диссертационную работу **Кузнецовой Екатерины Александровны** "**Рентгеновское излучение диффузной среды и звёздных остатков в центральной части Галактики**", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 "Астрофизика и звёздная астрономия".

Диссертация состоит из Введения, трёх глав, Заключения и списка литературы. Изложение иллюстрируется рисунками и таблицами.

В первой главе диссертации Е. А. Кузнецова исследует переменность потока рентгеновского излучения от молекулярного облака Sgr B2 и молекулярного облака, связанного со звёздным скоплением Archer. Наиболее важные результаты получены в первом случае, поскольку в распоряжении диссертанта оказались уникальные данные наблюдений жесткого излучения рентгеновской обсерваторией *ИНТЕГРАЛ* в интервале с 2002 по 2020 год. Основной вывод состоит в том, что эволюцию потока можно описать двумя моделями: (а) линейное падение на всём интервале времени и (б) начальное линейное падение с выходом на постоянный поток после 2011 года. Показано, что обе гипотезы почти равновероятны (30% против 70%), но всё же предпочтение отдается второй модели. В этом случае возникает проблема происхождения постоянного потока жёсткого рентгеновского излучения от Sgr B2. Диссертант обсуждает три возможности и приходит к выводу, что пока ни одна из гипотез не даёт исчерпывающего объяснения. Во второй части 1-й главы исследуется нетепловое рентгеновское излучение от молекулярного облака звёздного скопления Archer по данным обсерваторий *NuSTAR* и *XMM-Newton*. Получены параметры спектральных моделей для трёх областей, на основании которых сделаны выводы о том, что, во-первых, поток после линейного уменьшения достиг практически постоянного уровня и, во-вторых, в нетепловом излучении присутствуют два компонента с различной величиной эквивалентной ширины линии $K\alpha$ железа 6.4 кэВ.

Вторая глава посвящена изучению молодого остатка сверхновой RX J1713.7-3946, расположенного в направлении на галактический центр, по данным обсерватории *ИНТЕГРАЛ* в диапазоне энергий 17-120 кэВ. Исследована морфология остатка в жестком диапазоне и показано, что положение ударных волн на энергиях менее 10 кэВ и более 17 кэВ совпадают, что говорит о едином механизме свечения в этих диапазонах. Получено поведение спектрального индекса в большом интервале энергий, существенно превышающий диапазон *Suzaku* (< 40 кэВ). Основной вывод состоит в том, что в широком

диапазоне энергий спектр описывается степенным законом с переходом фотонного индекса с двойки в области < 20 кэВ на тройку в более жестком диапазоне. Модель с экспоненциальным завалом исключается с довольно высоким уровнем значимости.

В 3-й главе исследуется поведение с фазой вращения спектров рентгеновского излучения магнитара SGR J1745-2900, который скорее всего гравитационно связан со сверхмассивной чёрной дырой. Используются данные, полученные обсерваторией *NuSTAR*. Оценки физических параметров (теплового и нетеплового потоков, температуры чернотельного компонента, радиуса черного тела) по усреднённым по периоду данным и поведение этих величин на протяжении исследуемого интервала времени (80 дней) в пределах ошибок согласуются с результатами более ранней работы Каспи и др (2014) для того же интервала времени. Это рассматривается как подтверждение правильности методики работы с данными. Затем диссертант исследовал зависимость температуры, радиуса черного тела и потока нетеплового излучения с фазой вращения. Оказалось, что лишь радиус показывает выраженную зависимость от фазы --- он наибольший в максимуме импульса. Это интерпретируется как геометрический эффект изменения площади проекции горячего пятна с вращением.

Исследование источников рентгеновского излучения, выполненное Е. А. Кузнецовой, является актуальной задачей современной астрофизики, поскольку предмет исследования тесно связан с важной проблемой формирования галактик и сверхмассивных черных дыр в их центре. В диссертации получены важные результаты об источниках нетеплового и теплового рентгеновского излучения в центре нашей Галактики и молодого остатка сверхновой в направлении галактического центра. Все полученные результаты, включая вынесенные на защиту, обоснованы и являются новыми; статьи, в которых диссертант является лидирующим автором, опубликованы в ведущих научных изданиях. Е. А. Кузнецова продемонстрировала высокий профессионализм при анализе данных рентгеновских наблюдений, их моделировании и верификации моделей с применением новейших методов оценки достоверности гипотез. Текст диссертации и иллюстрации обеспечивают легкое чтение и восприятие содержания. Автореферат соответствует диссертации.

Замечания.

Диссертант интерпретирует рентгеновский спектр остатка сверхновой RX J1713 в терминах аналитической модели спектра релятивистских электронов из работы Зиракашвили и Агароняна 2007 года. Хотелось бы, однако, увидеть сравнение с фотонными спектрами в более совершенной модели Зиракашвили и Агароняна 2010 года (см. их Рисунок 16).

И четыре стилистических замечания.

1. Скопление Арки. Почему Арки? В оригинале это скопление Archer (т. е. Лучник, естественно, от Sagittarius).
2. «... оптическая толщина Томсона облака» (повидимому забавная опечатка).
3. “энергия скорости торможения” --- имеется в виду темп потери вращательной энергии.
4. В подписях к рисункам пунктирной линией названа штриховая линия, а точечной линией названа пунктирная линия.

Указанные замечания не влияют на высокую оценку диссертации.

Диссертация Е. А. Кузнецовой «Рентгеновское излучение диффузной среды и звёздных остатков в центральной части Галактики» удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 «Астрофизика и звёздная астрономия».

Отзыв на диссертационную работу Е. А. Кузнецовой обсужден и одобрен на заседании астрофизического семинара ИНАСАН 25.08.2022.

д.ф.-м.н. Чугай Николай Николаевич

Сведения о ведущей организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт астрономии Российской академии наук (ИНАСАН)

119017 г. Москва, ул. Пятницкая, д. 48
тел: 7(495)951-54-61
факс: 7(495)951-55-57
e-mail: admin@inasan.ru

25.08.2022 Подпись Н. Н. Чугая заверяю

Ученый секретарь ИНАСАН к.ф.-м.н. А. М. Фатеева

