

## Отзыв

на диссертационную работу Ускова Григория Сергеевича  
«Отождествление и многоволновое исследование активных ядер галактик, обнаруженных  
телескопом ART-XC орбитальной рентгеновской обсерватории Спектр-РГ»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия

Активные ядра галактик (АЯГ) позволяют изучать аккрецию вещества на сверхмассивные черные дыры (СМЧД) и связанные с этим механизмы энерговыделения. Несмотря на 70-летнюю историю исследований АЯГ мы по-прежнему плохо понимаем внутреннее устройство таких объектов и взаимосвязь роста СМЧД с формированием и эволюцией галактик. Решение этих актуальных проблем требует проведения дальнейших астрономических наблюдений и теоретических исследований.

Важную роль в поиске и исследовании АЯГ играют рентгеновские наблюдения, особенно обзорные. Продолжающийся с 2019 года обзор всего неба российской орбитальной обсерватории СРГ позволил получить новый значительный объем информации. В частности, по данным телескопа ART-XC им. М.Н. Павлинского впервые создан каталог источников, зарегистрированных на всем небе в среднем рентгеновском диапазоне энергий 4-12 кэВ. Этот каталог еще будет обновляться и увеличиваться в следующие годы по мере накопления новых данных телескопом ART-XC, но уже в его предварительной, основанной на первых двух годах обзора, версии содержится более 900 АЯГ. Это сравнимо с размером выборок АЯГ, зарегистрированных в более жестком (выше 15 кэВ) диапазоне приборами INTEGRAL/IBIS и Swift/BAT по данным многолетних наблюдений, причем каталог ART-XC не повторяет, а в значительной мере дополняет их. Новая выборка содержит важную статистическую информацию о населении АЯГ в современную эпоху и его эволюции в последние несколько миллиардов лет, а также позволяет отыскивать самые интересные АЯГ для последующего более детального изучения. Чтобы в полной мере реализовать научный потенциал, заложенный в каталоге СРГ/ART-XC, необходимо максимально полно отождествить и классифицировать входящие в него источники. Именно на это в основном направлена диссертация Г.С. Ускова.

В первой главе диссертации представлены результаты отождествления 48 АЯГ, обнаруженных телескопом ART-XC в ходе обзора всего неба. Для этого проводились наблюдения на оптических телескопах АЗТ-33ИК Саянской обсерватории и Российско-турецком телескопе, использовались архивные данные обзоров 6dF и SDSS, анализировались рентгеновские данные телескопов eROSITA и ART-XC обсерватории СРГ. Для всех объектов измерены красные смещения и светимости, проведена оптическая классификация, определены параметры рентгеновских спектров. Сделано обобщение физических свойств исследованной выборки. В результате этой масштабной работы полноту отождествления и классификации источников в каталоге первых пяти обзоров всего неба ART-XC удалось довести до 95 процентов. Причем соискатель с коллегами продолжают работу по отождествлению источников ART-XC, что должно позволить достичь практически 100-процентной полноты и затем систематически исследовать свойства населения АЯГ на  $z < 0.2-0.3$ .

Вторая глава посвящена интересному АЯГ SRGA J2306+1556 на  $z=0.44$ , тоже обнаруженному в ходе рентгеновского обзора всего неба ART-XC. Это объект удалось исследовать более подробно благодаря привлечению большого количества архивных данных в радио, инфракрасном и оптическом диапазонах, а также проведению дополнительных

рентгеновских наблюдений телескопами СРГ/ART-XC и Swift/XRT. Оказалось, что это один из самых мощных квазаров на  $z < 0.5$  (последние 5 миллиардов лет истории Вселенной), причем характеризующийся значительным внутренним поглощением и радиогромкостью. Его открытие важно потому, что он по своим свойствам похож на более многочисленные мощные квазары в ранней Вселенной, которые трудно исследовать в подробностях. Обнаружение столько редкого объекта в «слепом» поиске подчеркивает ценность продолжающегося рентгеновского обзора всего неба обсерватории СРГ.

Третья глава посвящена еще одному интересному объекту — квазару PG1634+706 на  $z=1.34$ . По своей светимости он еще более экстремален, чем SRGA J2306+1556, и других столь мощных квазаров практически нет во всем объеме, охватывающем последние 9 миллиардов лет истории Вселенной. Этот квазар был хорошо известен уже давно, но в 2019 году, во время калибровочной фазы миссии СРГ были проведены его длительные наблюдения телескопами этой обсерватории и обсерваторией XMM им. Ньютона. Это позволило получить высококачественный рентгеновский спектр, который был детально исследован соискателем. Кроме того, была исследована переменность PG1634+706 на масштабах времени от часов до десятков лет. Среди полученных результатов можно отметить, например, то, что наклон рентгеновского спектра оказался вполне «обычным», т. е. практически таким же, как у сейфертовских галактик, с гораздо более низкой светимостью. Это дает важные ограничения на модели аккреционных дисков и их горячих корон вокруг сверхмассивных черных дыр.

Вошедшие в диссертацию работы опубликованы в шести статьях в рецензируемых журналах, и соискатель внес основной или существенный вклад в каждую из них. Полученные результаты неоднократно докладывались на конференциях и семинарах. Выносимые на защиту положения являются существенно новыми.

Считаю, что диссертационная работа Григория Сергеевича Ускова **отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям**, а диссертант заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 «физика космоса, астрономия».

Считаю, что диссертация Г. С. Ускова «Отождествление и многоволновое исследование активных ядер галактик, обнаруженных телескопом ART-XC орбитальной рентгеновской обсерватории Спектр-РГ» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым МГУ к кандидатским диссертациям, и может быть рекомендована к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия (физико-математические науки).

Научный руководитель

доктор физико-математических наук

С. Ю. Сазонов

10 октября 2025 года

Подпись С. Ю. Сазонова заверяю: