

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Винокурова Александра Сергеевича «**Наблюдательные проявления ультраярких рентгеновских источников и сверхкритической дисковой аккреции**», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия

Диссертационная работа Винокурова А.С. посвящена наблюдению в оптическом диапазоне и всестороннему изучению одного из интереснейших классов астрофизических объектов – ультраярких рентгеновских источников. К этому классу относят внегалактические объекты – рентгеновские источники со светимостью в десятки и сотни раз превышающей Эддингтоновский предел для стационарно излучающих объектов солнечной массы. Несмотря на многолетние исследования в рентгеновском и оптическом диапазонах, природа этих объектов до конца не выяснена. Основные модели источников, рассматриваемые до последнего времени, сводились или к аккреции вещества с высоким темпом на компактные объекты большой массы (в сотни выше масс Солнца), которыми наиболее вероятно могут быть черные дыры промежуточных масс (ЧДПМ), или к специфическим проявлениям сверхкритической дисковой аккреции на ЧД стандартных звездных масс (порядка 5-20 масс Солнца). ЧДПМ пока надежно не открыты, хотя есть теоретические предпосылки для их существования, поэтому изучение ультраярких рентгеновских источников является **фундаментальной и актуальной проблемой современной астрофизики**. В последнее время среди этого класса источников были обнаружены аккрецирующие рентгеновские пульсары, что указывает на возможную неоднородность этих источников и обостряет проблему их надежной идентификации с разными классами компактных релятивистских звезд. В представленной диссертации проведены систематические фотометрические и спектральные исследования оптических двойников ряда ультраярких рентгеновских источников с целью выявления отличительных характеристик проявления сверхкритического аккреционного диска вокруг компактных объектов звездной массы. Оптические двойники этих источников крайне слабы, поэтому для выполнения поставленных задач диссертант использует как собственный наблюдательный материал, полученный на крупнейших телескопах мира, так и архивные данные.

Диссертация Винокурова А.С. состоит из введения, четырёх глав, заключения, приложения и списка литературы. Объём диссертации – 157 стр., включая 18 рисунков, 11 таблиц и списка литературы из 171 наименования.

Во введении автор описывает современную экспериментальную и теоретическую мотивацию изучения ультраярких рентгеновских источников, обосновывает

актуальность поставленной задачи и приводит обзор основных наблюдательных данных в рентгеновском и оптическом диапазонах.

Глава 1 посвящена основным наблюдательным характеристикам 13 исследуемых источников. Описываются спектроскопические данные по исследуемым оптическим двойникам, полученные на телескопе БТА САО РАН и телескопе Subaru, а также архивные данные телескопа VLT и фотометрические архивные данные наблюдений этих источников с борта космического телескопа им. Хаббла. Детально обсуждается редукция и обработка данных с каждого инструмента.

В Главе 2 сначала подробно рассматриваются спектроскопические наблюдения с высоким отношением сигнал шум для 4-х источников, полученные в наблюдениях на телескопе Subaru в 2011 г. Исследованы свойства обнаруженных эмиссионных линий водорода и гелия, сделан вывод о близком содержании этих элементов к солнечному химсоставу. Далее в разделе 2.3 анализируются 8 источников, составляющих полную выборку с глубокими спектроскопическими данными. Сделан вывод о принадлежности исследуемых спектров к классу звезд WNLh или LBV, а также подчеркивается сходство со спектром галактического микроквара SS433. В разделе 2.4 изучаются возможные механизмы формирования исследуемых оптических спектров и делается общее заключение, что исследуемые источники наиболее вероятно представляют собой сверхкритические аккреционные диски вокруг черных дыр звездной массы.

Третья глава посвящена оптическому отождествлению четырех ультраярких рентгеновских источников (сделано впервые), определены абсолютные звездные величины источников, сделана оценка межзвездного поглощения. Автор приходит к важному выводу, что высокое отношение рентгеновской светимости к оптической является отличительным свойством исследуемых объектов и может быть использовано для их отделения от фоновых активных ядер галактик.

В четвертой главе на основе стандартной теории сверхкритических аккреционных дисков Шакуры-Сюняева с истекающим с поверхности ветрами строится феноменологическая многопараметрическая модель для объяснения распределения энергии в оптическом и рентгеновском диапазоне в исследуемых источниках. Модель применяется для описания спектров 5 источников (раздел 4.1). Показано, что при этом массы центральных черных дыр находятся в стандартном звездном диапазоне.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации, которые указывают на предпочтительность модели сверхкритического аккреционного диска вокруг компактных объектов звездной массы для описания наблюдаемых свойств ультраярких рентгеновских источников.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Основные результаты диссертации Винокурова А.С. **опубликованы** в 3 статьях в высокорейтинговых международных журналах и 3 сборниках конференций, неоднократно докладывались лично автором на международных и всероссийских конференциях и семинарах.

К диссертационной работе Винокурова А.С. следует сделать несколько **замечаний**.

1. Основное замечание: в п. 1 положений, выносимых на защиту (стр. 16), утверждается, что все исследованные в диссертации источники по оптическим спектральным свойствам представляют однородный класс объектов, однако вывод о природе компактного объекта как сверхаккрецирующей черной дыры звездной массы из этого не может быть однозначным, что доказывается недавним открытием сверхкритического рентгеновского пульсара в источнике NGC 7793 P13 (Israel et al. 2016, arXiv1609.06538, Fuerst et al. 2016, arXiv1609.07199), который входит в список объектов, исследованных в диссертационной работе.

2. В Главе 4 (п. 4.3) при обсуждении модели SCADc важным параметром является температура электронов, на которых происходит комптонизация излучения. Эта температура, вообще говоря, может быть очень высокой внутри канала сверхкритического аккреционного диска, как следует из наблюдений жесткого рентгеновского излучения в источнике SS433 (Cherepashchuk et al. 2009, Krivosheev et al. 2009). В Таблице 4.3 на стр. 139 значение этой температуры не приведено и в тексте не обсуждается.

3. В списке литературы отсутствуют названия статей, что крайне желательно при чтении диссертационных работ.

4. В тексте диссертации встречаются опечатки (стр. 34, 37, 80, 97, 107).

Эти замечания, однако, скорее отражают крайнюю актуальность работы и быстрое накопление данных по исследуемым в диссертации объектам, не снижают в целом высокую научную и практическую ценность диссертационной работы Винокурова А.С. и могут быть учтены в дальнейшей работе.

Общее заключение. В диссертационной работе Винокурова А.С. получены **новые важные результаты** в области астрофизики и звездной астрономии – проведены уникальные глубокие оптические наблюдения ряда ультраярких рентгеновских источников с целью выяснения их природы. Впервые проведено отождествление трех ультраярких рентгеновских источников. Предложен новый метод выделения ультраярких рентгеновских источников из фоновых объектов по высокому значению отношения рентгеновской светимости к оптической. Разработана феноменологическая многопараметрическая модель излучения от стандартного сверхкритического аккреционного диска, объясняющая оптические и рентгеновские спектры ультраярких рентгеновских источников. Эти результаты работы позволяют существенно

продвинутся в понимании природы ультраярких рентгеновских источников как компактных объектов в тесных двойных системах на сверхкритической стадии аккреции.

Достоверность полученных результатов подтверждается применением хорошо проверенных высокоточных методов обработки фотометрических и спектроскопических наблюдений, полученных на крупнейших телескопах мира, а также с высокой степенью апробации и международным признанием результатов в публикациях в высокорейтинговых журналах (число ссылок на работы по теме диссертации по данным NASA ADS равно 24) и докладами на крупных международных конференциях.

Результаты диссертации могут быть **использованы** при интерпретации данных оптических и рентгеновских наблюдений ультраярких рентгеновских источников, а также при моделировании спектров сверхкритических аккреционных дисков, во многих отечественных и зарубежных научных центрах, университетах и обсерваториях, включая ГАО РАН, ГАИШ МГУ, АКЦ ФИАН, СПбГУ, КазГУ, Университете Турку (Финляндия), Токийском университете (Япония), Университете Осака (Япония) и др. Диссертационная работа Винокурова А.С. **полностью отвечает** всем требованиям Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, а сам автор, Винокуров Александр Сергеевич, **безусловно заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук** по специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия.

Зам. директора ГАИШ МГУ

доктор физ.-мат. наук, профессор

К.А. Постнов

Подпись д.ф.-м.н. проф. Постнова К.А. заверяю.

Директор ГАИШ МГУ

академик РАН



А.М. Черепашук

Постнов Константин Александрович

119234 г. Москва, Университетский просп., д. 13, Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга при МГУ им. М.В. Ломоносова, зам. директора. Тел. 8(495)9393721, pk@sai.msu.ru