

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА  
на диссертацию Винокурова Александра Сергеевича  
"Наблюдательные проявления ультраярких рентгеновских  
источников и сверхкритической дисковой аккреции",  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности  
01.03.02 - астрофизика, звездная астрономия.

Изучение источников жесткого (прежде всего гамма- и рентгеновского) излучения по праву считается локомотивом многих направлений современной астрофизики и космологии. Их светимость нередко соответствует ярчайшим космическим объектам, а формирование излучения происходит в экстремальных состояниях плазмы, часто недоступных для воспроизведения в земных лабораториях. В итоге рентгеновские исследования не только дополняют результаты оптической и радиоастрономии для известных типов звезд и звездных систем, но и позволяют открывать новые классы объектов. Кроме того, достижения рентгеновской астрофизики используются при проверке и совершенствовании многих фундаментальных физических теорий, т.е. способствуют развитию науки в целом.

Однако даже при современном развитии технологии рентгеновских наблюдений их информативность и точность существенно уступает наблюдениям в оптическом диапазоне. В этих условиях наиболее перспективными являются комплексные исследования, с привлечением данных из различных диапазонов спектра. Такой подход реализован в представленной диссертации Винокурова А.С. при изучении ультраярких рентгеновских источников. Успешное выполнение работы и фундаментальные выводы, сделанные по ее итогам, подтверждают высокую степень ее актуальности и научной значимости.

Диссертация состоит из Введения, четырех глав, Заключения, списка литературы и содержит 157 страниц текста, 171 цитируемый источник, 11 таблиц и 18 рисунков.

Во Введении дан краткий исторический обзор исследуемой тематики, раскрыта актуальность работы, сформулированы ее цель и задачи, решаемые для ее достижения, выделены элементы научной новизны, теоретической и практической значимости. Далее диссертантом представлены выносимые на защиту результаты, их апробация и публикации в научных изданиях с указанием личного вклада автора. Последняя часть Введения включает краткое описание параметров, структуры и результатов диссертации.

Первая глава состоит из 4 разделов. В разделе 1.1 перечислены исследуемые объекты с обобщением их основных астрометрических и астрофизических характеристик. Раздел 1.2 раскрывает особенности проведения спектроскопических наблюдений ULX-источников на телескопах Subaru и БТА, а также их архивных наблюдений на телескопе VLT. Раздел 1.3 и 1.4. включают описание обработки полученных данных, а также фотометрических наблюдений на телескопе им. Хаббла. В итоге автором получены наборы спектров низкого разрешения для 5 ULX-источников и 2 туманностей с ULX-источниками, а также оценки блеска 6 источников в ряде фильтров на несколько дат наблюдений.

Вторая глава, включающая 4 раздела, посвящена анализу спектров и физической природы четырех ранее известных источников. Раздел 2.1 содержит краткий обзор спектроскопических исследований ULX, выполненных к настоящему времени. В разделе 2.2 изучены характеристики наблюдаемых линий в спектрах, их соотношения и временные изменения, а в разделе 2.3 проведено их сравнение с линиями в эмиссионных спектрах других типов звезд высокой светимости. Диссертантом сделан вывод об общности спектров исследованных ULX-источников и их схожести со спектрами LBV-звезд и микроквара SS 433 при существенном отличии от излучения



Вольфа-Райе звезд. В разделе 2.4 на основе качественного анализа спектров сделан вывод об их формировании в ветре, истекающем от сверхкритических аккреционных дисков вокруг черных дыр звездных масс.

В третьей главе, состоящей из 4 разделов, выполнено оптическое отождествление 3 ULX-источников и определение их характеристик. В разделе 3.1 описан процесс астрометрической обработки данных рентгеновских и оптических наблюдений, а в разделе 3.2 найдены значения блеска 4 источников и спектры содержащих их областей. Заметим, что диссертанту не удалось получить неискаженные спектры 3 открытых оптических отождествлений и последующее изучение проведено им с применением фотометрических наблюдений. В итоге в разделе 3.3 сделан вывод о наличии у них наибольшего отношения рентгеновской и оптической светимости среди всех ULX, а также предложен критерий классификации новых ULX на основе анализа этого отношения. Раздел 3.4 посвящен сравнению яркостных характеристик источников и микроквара SS 433 в предположении единой физической природы и показана их возможная связь с темпом аккреции в этих системах.

Четвертая глава состоит из 3 разделов и представляет разработанную автором модель формирования излучения ULX-источников. Общие положения, лежащие в основу модели, перечислены и обоснованы в начале главы. Раздел 4.1 дает пространственное и физическое описание модели, а также получаемых с ее помощью распределений энергии в рентгеновском и оптическом диапазоне и влияния на них различных свободных параметров. В разделе 4.2 проводится сравнение с наблюдательными данными с предварительным обсуждением путей их получения и возможной точности, определением физических характеристик 5 объектов, обсуждением успехов и проблем моделирования и путей его совершенствования. Раздел 4.3 показывает применение улучшенной модели с учетом комптонизации рентгеновского излучения при анализе ULX NGC5408 X-1.

В Заключение перечислены все результаты диссертационной работы.

Автореферат полностью отражает структуру и основные выводы диссертации.

Прежде всего необходимо отметить высокий уровень представленной диссертации. Ее сильными сторонами являются комплексный подход к анализу оптического излучения ULX-источников с применением астрометрических, фотометрических и спектроскопических методов, а также - максимальное число источников, рассмотренных в работе, открытие новых объектов такого типа и завершающее построение модели формирования оптического и рентгеновского излучения. Построение модели оппонент считает особо важным результатом, объединяющим выводы диссертанта, сделанные при качественном анализе наблюдений. Кроме того, отметим использование в диссертации наблюдений, сделанных как на космических телескопах, так и на БТА САО, что еще раз подтверждает эффективность крупнейшего телескопа России. Наконец, хочется похвалить диссертанта за высокую грамотность и культуру речи, не всегда встречающиеся в настоящее время. Полученные Винокуровым А.С. результаты имеют большое общенаучное и практическое значение для развития астрофизики рентгеновских источников разных типов. В частности, представленная в главе 3 методика оптического отождествления на основе астрометрических данных позволит эффективно отбирать кандидаты до проведения наблюдений на больших телескопах. Научное значение имеют выводы о принадлежности ULX-источников к одной группе и схожести оптических спектров со спектрами SS 433. Построенная диссертантом модель СКАД может служить инструментом как для определения фундаментальных характеристик ULX, так и для уточнения теории формирования сверхкритических аккреционных дисков и их ветровых компонент. Практическое значение имеет большой набор подготовленных спектроскопических и фотометрических данных, а также предложенный критерий классификации ULX из отношения рентгеновской и оптической светимости. В целом, результаты диссертации могут найти применение в крупнейших астрофизических центрах России (САО РАН, ГАИШ МГУ, ИКИ РАН, ИНАСАН) и в зарубежных институтах. Достоверность результатов автора подтверждается их сравнением с данными литературных источников, тестовыми оценками и апробацией на 5 рос-



сийских и международных конференциях. Выносимые на защиту результаты Винокурова А.С. опубликованы в 6 научных работах, из которых 3 - в научных журналах списка ВАК.

Оппонент хочет высказать следующие замечания к представленному тексту диссертации.

1) В тексте имеется несоответствие формулировок вывода о согласии спектров ULX-источников и других объектов с сильными эмиссиями. Непосредственно по результатам сравнения на стр. 78 сказано: "... объекты обладают одним и тем же типом спектров, подобным спектрам звезд LBV в горячем состоянии или звезд WNLh, а также спектру сверхкритического аккреционного диска SS 433". Данная формулировка является корректной, т.к. эмиссионные линии H $\alpha$  и HeII в излучении SS 433 имеют в несколько раз большую интенсивность и наблюдаются многочисленные линии тяжелых элементов, отсутствующие у ULX. Однако при обобщении итогов главы 2 на стр. 87 и всей диссертации на стр. 141 оно заменено более сильным и спорным утверждением: "ультраяркие источники по типу своих спектров имеют сильное сходство со звездами WNLh или LBV в горячей фазе, а также с единственным известным в Галактике сверх-аккретором SS 433". Отметим, что в выносимых на защиту результатах это утверждение дано в корректной формулировке с исключением слово "сильное", т.е. ошибка носит технический характер.

2) Остается недоказанным вывод на стр. 85 и в заключении главы 2 на стр. 88: "Наблюдаемая температура ветра SS 433 составляет 50 кК [25] в фазе прецессии, когда диск максимально открыт для наблюдателя. Таким образом, температуры ветров ULX должны находиться в диапазоне 70Ц200 кК." Оно опирается на утверждение на стр. 68: "Итак, наблюдаемое соотношение эквивалентных ширин линий объясняется более высокими температурами ветров ULX, чем в SS 433, температура фотосферы ветра в котором достигает значений 50000 К или более [25]". Надо учитывать, что формирование эмиссионных линий в ветре происходит в небулярном приближении под сильным влиянием эффектов флуоресценции рентгеновского излучения, т.е. их интенсивность в малой степени обусловлена температурой среды. Кроме того, условия наблюдений ветра в ULX-источниках и SS 433, по-видимому, существенно различны, что не позволяет делать количественные выводы из качественного сравнения линий.

3) На стр. 65 отмечено, что для определения ошибок параметров линий при их измерении строился синтетический спектр, содержащий моделируемую линию. Остается непонятным, из каких предположений и с помощью каких инструментов этот спектр был получен. У оппонента сложилось впечатление, что понятие "синтетический спектр" обозначает в данном случае единственный континуум с добавлением гауссиан на длинах волн линий. Очевидно, что такое понятие к реальным синтетическим спектрам не имеет никакого отношения.

Перечисленные недостатки не имеют принципиального значения и не изменяют общую положительную оценку диссертации.

Оппонент считает, что диссертация "Наблюдательные проявления ультраярких рентгеновских источников и сверхкритической дисковой аккреции" является глубоким, всесторонним и законченным научным исследованием, связывающим достижения рентгеновской и оптической астрономии, имеет заметное значение для дальнейшего изучения физики рентгеновских источников, удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Винокуров А.С. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 - астрофизика и звездная астрономия.

Доцент кафедры астрономии  
и космической геодезии КФУ, к.ф.-м.н.  
Республика Татарстан, г. Казань,  
ул. Кремлевская, д. 18, КФУ  
тел (843) 233-76-53  
E-mail: Slava.Shimansky@kpfu.ru  
28 сентября 2016 г.

В.В. Шиманский



3

