



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИКИ РАН

Академик РАН Л.М. Зеленый

29 сентября 2016 г.



Отзыв ведущей организации

о диссертации А.С. Винокурова «**Наблюдательные проявления ультраярких рентгеновских источников и сверхкритической дисковой аккреции**», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – «астрофизика и звездная астрономия».

1 Актуальность темы диссертации

Выяснение природы ультраярких рентгеновских источников (Ultraluminous X-ray Sources, ULX), наблюдаемых в близких галактиках, является предметом активных исследований начиная с 2000 года (когда начались наблюдения рентгеновских обсерваторий Чандра и XMM-Newton). В последнее время получен ряд наблюдательных фактов, указывающих на то, что большинство таких объектов являются тесными двойными системами, в которых происходит сверхкритическая аккреция вещества с массивной звезды-донора на черную дыру звездной массы. Однако по-прежнему нельзя исключить возможность, что в части объектов этого класса роль аккретора играет черная дыра промежуточной массы (больше 100 масс Солнца).

Для большинства известных ультраярких рентгеновских источников существуют только данные наблюдений в рентгеновском диапазоне, и лишь в последнее время для нескольких объектов появились отождествления в оптическом диапазоне. Основная трудность связана с тем, что ULX находятся на расстояниях в несколько Мпк, и их оптические «двойники» являются очень слабыми звездами, блеск которых трудно различить на фоне излучения соседних звезд. Еще сложнее получить спектры оптических двойников. При этом очевидно, что только комплексный подход, основанный на использовании как рентгеновских, так и оптических данных, может позволить существенно продвинуться в понимании природы ультраярких рентгеновских источников и построить детальную теорию сверхкритической аккреции на черные дыры. Именно такой комплексный подход реализован в представленной диссертационной работе.

Таким образом, тема диссертационной работы **несомненно актуальна**.

2 Достоверность и научная новизна основных результатов и выводов диссертационной работы

Достоверность представленных в диссертации результатов обеспечена использованием современных и апробированных средств обработки и анализа наблюдательных данных, а также методов моделирования физических процессов. В работе получен ряд **новых значимых результатов**. Отметим лишь основные из них.

- Показано, что все ULX, для которых имеются спектральные данные в оптическом диапазоне, обладают одним и тем же типом спектра, который напоминает спектры горячих звезд с мощными ветрами (звезд типов LBV и Вольфа-Райе) и спектр микроквара SS 433 (единственной известной в Галактике двойной системы со сверхкритической аккрецией вещества на черную дыру). В частности показано, что ширина эмиссионной линии He II в спектрах ULX как правило меньше ширины линии H α . При этом переменность лучевой скорости линии He II не превышает нескольких сотен км/сек. По совокупности этих результатов сделан убедительный вывод, что оптическое и ультрафиолетовое излучение ULX формируется в мощном ветре, истекающем с поверхности сверхкритического аккреционного диска вокруг черной дыры звездной массы.
- В результате систематического исследования полной выборки объектов, для которых имеются рентгеновские и оптические данные, показано, что ультраяркие рентгеновские источники характеризуются очень высоким отношением рентгеновской к оптической светимости (больше 100). Предложен потенциально эффективный метод поиска объектов типа ULX по данным глубоких рентгеновских и оптических обзоров среди фоновых активных ядер галактик по отношению рентгеновского и оптического потоков, причем в качестве последнего может использоваться даже верхний предел.
- На основе теории аккреции Шакуры-Сюняева (1973) разработана модель сверхкритического диска с ветром, которая позволила объяснить в целом спектральные распределения энергии ультраярких рентгеновских источников от оптического до рентгеновского диапазона. В рамках этой модели предсказывается, что с увеличением темпа аккреции температура ветра должна понижаться, а оптическая светимость системы увеличиваться. Показано, что это согласуется с измерениями температур и светимостей для выборки ULX, полученными в данной работе.
- С помощью данных космического телескопа им. Хаббла отождествлено несколько ультраярких рентгеновских источников. Два из них оказались одними из самых слабых среди известных оптических двойников ULX и, по всей видимости, характеризуются относительно низкими (но сверхкритическими) темпами аккреции.

3 Научная и практическая значимость основных результатов и выводов диссертационной работы

Ценность представленной работы состоит в первую очередь в том, что для ряда ультраярких рентгеновских источников впервые получены, проанализированы и систематизированы уникальные данные оптических наблюдений с помощью телескопов БТА, Subaru, HST, VLT, что позволило выявить уникальные характерные особенности объектов типа ULX и объяснить их в рамках сценария сверхкритической аккреции на черную дыру звездной массы. Обнаруженные в ходе работы новые оптические двойники ULX позволили существенно расширить наблюдательную базу для дальнейших исследований ультраярких рентгеновских источников. Несомненный интерес для работающих в данной области исследователей будет представлять разработанная и планируемая для включения в ПО XSPEC модель, позволяющая рассчитывать спектральное распределение энергии сверхкритических аккреционных дисков в зависимости от массы черной дыры, темпа аккреции и ряда параметров, описывающих структуру диска и ветра.

4 Оценка диссертационной работы в целом

Преставленная диссертационная работа выполнена на высоком профессиональном уровне и соответствует стандартам современной астрофизики. Сильными являются как экспериментальная, так и теоретическая части работы.

Имеется ряд замечаний к диссертации:

1. В главе 4.2.3 сравниваются величины поглощения на луче зрения, полученные по оптическим и рентгеновским данным, и делается вывод, что рентгеновское поглощение систематически превышает оптическое, и что это вероятно свидетельствует о присутствии дополнительного газа внутри центрального канала диска. Этот вывод, однако, вызывает некоторые сомнения, так как сравнение представленных в таблицах 1.1 и 4.3 данных по оптическому и рентгеновскому поглощению указывают на то, что величина поглощения в оптике (на пыли) возможно скоррелирована с величиной поглощения в рентгене (на холодном газе). Это может означать, что поглощение в обоих диапазонах все таки возникает в межзвездной среде, а некоторое расхождение связано с систематическими погрешностями в измерении величин A_V и N_H по соотношению потоков в оптических линиях (причем в спектрах туманностей, а не самих источников) и форме рентгеновского спектра соответственно. Было бы полезно изучить этот вопрос более детально, так как от этого зависит определение отношения рентгеновской к оптической светимости.
2. В главах 4.2.3 и 4.3 представлены результаты аппроксимации спектральных распределений энергии (от оптики до рентгена) ряда ультраярких рентгеновских источников в рамках разработанной в данной работе модели сверхкритического диска с оттоком. В таблицах 4.2 и 4.3. приведены значения параметров, которые позволяют достаточно хорошо описать данные наблюдений. К сожалению, практически не обсуждается насколько сильно эти параметры модели (а их много)

скоррелированы друг с другом. Было бы полезно хотя бы грубо оценить неопределенность измерения параметров, пусть даже сама модель, по-видимому, сильно упрощает реальную картину сверхкритической аккреции.

3. В подписи к рис. 1.3 следовало бы указать название телескопа (БТА), на котором были сделаны представленные наблюдения.
4. В подписи к рис. 2.3 допущена оговорка, что у четырех объектов ширина линии He II больше, чем ширина линии H α (должно быть наоборот).

Сделанные замечания не влияют на высокую оценку данной диссертационной работы. Диссертация А.С. Винокурова представляет законченное научное исследование. Автор внес основной или равный вклад во все результаты и положения, вынесенные на защиту. Он принимал участие в планировании и проведении наблюдений на телескопах БТА и Subaru, обработал большой объем спектральных, фотометрических и астрометрических измерений, в том числе рентгеновского телескопа Чандра и космического телескопа им. Хаббла. Вместе с соавторами разработал модель сверхкритических аккреционных дисков и применил ее для описания данных наблюдений.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в ведущих реферируемых астрофизических журналах и неоднократно докладывались на конференциях и семинарах, в том числе несколько раз в нашем институте. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений.

Полученные в диссертации результаты могут использоваться в профильных учреждениях: ИКИ РАН, ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, ГАО РАН, ФИАН, МИФИ, ГАИШ МГУ, в других отечественных и зарубежных астрофизических центрах.

Диссертация А.С. Винокурова удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия. Автореферат диссертации соответствует ее содержанию. А.С. Винокуров несомненно заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв одобрен на семинаре отдела астрофизики высоких энергий ИКИ РАН 13 сентября 2016 г.

Руководитель семинара:
Зав. отделом астрофизики высоких энергий
д.ф.-м.н.


М.Н. Павлинский

Отзыв составил:
Зав. сектором научной поддержки обсерватории Спектр-РГ
д.ф.-м.н., профессор РАН
e-mail: sazonov@iki.rssi.ru


С.Ю. Сазонов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук, 117997, г. Москва, Профсоюзная 84/32