1. Авторы: Прохоренко Сергей Александрович, Сазонов Сергей Юрьевич, Гильфанов Марат Равильевич, Мещеряков Александр Валерьевич, Сюняев Рашид Алиевич, и др.

2. Название: «*Исследование взаимосвязи рентгеновского и ультрафиолетового излучения квазаров по данным SRG/eROSITA и SDSS*»

3. Ссылки на публикацию:
С.А. Прохоренко , С.Ю. Сазонов, М.Р. Гильфанов, С.А. Балашев, А.В. Мещеряков, А.В. Иванчик, И.Ф. Бикмаев, Р.А. Сюняев
«SRG/eROSITA-SDSS view on the relation between X-ray and UV emission for quasars»,
Journal of High Energy Astrophysics, Июль 2026, Том 53, Статья № 100611
DOI: 10.1016/j.jheap.2026.100611
(Принята 5 декабря 2025 г., доступна online с 27 марта 2026 г.)
JHEAP:https://doi.org/10.1016/j.jheap.2026.100611
ArXiv: https://doi.org/10.48550/arXiv.2512.05807

4. Общая формулировка научной проблемы и ее актуальность:

Активные ядра галактик (АЯГ) — компактные источники мощного излучения, исходящего из центров некоторых (порядка одного процента) галактик. Самые энергичные из них называются квазарами. Непосредственным источником излучения служит аккреция вещества на сверхмассивные черные дыры (СМЧД).

Известно, что ультрафиолетовое (УФ) излучение АЯГ, исходящее в основном из аккреционного диска, сильно коррелирует с их рентгеновским излучением, производимым горячей короной. Зависимость между этими светимостями не прямопропорциональная, что дает надежу использовать квазары, как стандартные свечи для определения расстояний в космологии. Более того, точное определение параметров зависимости УФ и рентгеновской светимости, а также тесноты этой связи помогает лучше ограничить физические модели взаимодействия короны АЯГ и его аккреционного диска. Эта тема сейчас является предметом широкого обсуждения и интенсивных исследований.

Чтобы установить параметры зависимости, требуется учесть селекцию по потокам, переменность, изменение плотности квазаров с ростом светимости и их эволюцию. Однако, в предыдущих работах не все эти эффекты были учтены, как ввиду отсутствия соответствубщего метода, так и достаточно полной выборки рентгеновских источников. Поэтому параметры зависимости (наклон и нормировка) у большинства работ получались значимо разными.

5. Конкретная решаемая в работе задача и ее значение:

На основе выборки источников обзора всего неба рентгеновским телескопом еРОЗИТА пересеченной с каталогом квазаров с широкими эмиссионными линиями из оптического каталога Слоановского цифрового обзора неба (Sloan Digital Sky Survey, SDSS) была получена чистая выборка выборка со 100% полнотой выше определенных порогов по потокам в рентгене и оптике.

Был построен метод позволяющий получить не только наклон и нормировку зависимости логорифмов УФ и рентгеновской светимостей, но и оценить разброс около этой зависимости. Метод был применен к очищенной выборке, в результате чего были получены более точные и несмещенные значения нормировки, наклона и разброса.

6. Используемый подход, его новизна и оригинальность:

Мы использовали беспрецендентно глубокий на всем небе в рентгене обзор СРГ/eРОЗИТА, взяв оттуда квазары из обширного и однородного каталога SDSS. Мы исследовали зависимость полноты от оптической звездной величины. Дополнительно мы очистили выборку от «плохих» источников и установили жесткий порог по рентгеновскому потоку. Мы выбрали консервативный порог в оптике, но добились того, чтобы в нашей выборке присутствовали квазары с разными наклонами спектров в равных пропорциях. В результате получилась выборка из 2414 квазаров. УФ светимость была оценена для времени измерения фотометрии (при отборе мишеней).

Мы разработали новый метод, самосогласованно учитывающий эффекты селекции по потокам, переменность квазаров, ошибки измерения потоков, смещение Эддингтона, изменение плотности квазаров с ростом светимости и красного смещения. Учет изменения плотности квазаров во Вселенной на разных светимостях и красных смещениях был совершен путем введения в модель правдоподобной функции светимости. Чтобы учесть вклад переменности в разброс, мы определили временной масштаб, на котором ищем зависимость и разбили переменность на кратковременную (из-за флуктуаций потока, усредненного за время измерения SDSS, относительно среднего потока за этот временной масштаб) и долговременную (задержка между измерениями в рентгене и оптике). Также мы ввели два истинных внутренних разброса т. е. не зависящих от эффектов селекции разброса за вычетом разбросов, связанных с переменностью квазаров и ошибками измерения потока. Первый разброс действует вдоль УФ оси, второй - вдоль оси рентгена. Тем самым мы рассматриваем более общий случай, нежели в предыдущих работах. Придуманный и реализованный нами метод может быть применен для поиска параметров любых зависимостей двух светимостей на основе выборки отобранных по потокам объектов.

7. Полученные результаты и их значимость:

- При увеличении УФ светимости в 5 раз рентгеновская светимость в среднем увеличится в 3 раза. Это немного больше, чем утверждается в предыдущих работах, однако нормировка нашей зависимости вполне согласуется с большинством исследований.
- Истинный внутренний разброс вдоль УФ оси может менять УФ светимость квазара от 0 до 17% , в то время как истинный внутренний разброс вдоль рентгеновской оси меняет рентгеновскую светимость в 2 раза.
- Полученные параметры функции светимости вдоль зависимости находятся в хорошем согласии с функциями светимости в рентгеновском диапазоне из литературы.
- Наш метод не зависит от селекции по потокам (если мы ее знаем) и не требует определения зависимой переменной (ищет наилучшую модель подгоняя внутренние разбросы по обеим осям), что выделяет его на фоне всех предыдущих методов поиска зависимости УФ и рентгеновской светимостей.
- Попутно мы также объяснили, почему разные предположения о соотношении между внутренними разбросами приводят к разным наклонам и нормировке зависимости (для фиксированной выборки).

Мы планируем в дальнейшем применить данный подход для выборки спектроскопического обзора DESI DR1, пересеченной с обзором СРГ/eРОЗИТА, которые были проведены практически одновременно, и дополнительно учесть влияние поглощения и радиогромкости на зависимость УФ и рентгеновской светимостей на основе этой более большой и глубокой выборки.