

Короткий звіт про виконані дослідження за 2015 рік
за науково-дослідною роботою “Створення Українського Астрокосмічного
центру обробки даних для вирішення задач багатохвильової астрофізики”.

**Результати робіт, що виконувались в Інституті теоретичної фізики ім.
М.М. Боголюбова НАН України:**

Рентгенівська карта неба обсерваторії XMM-Newton, створена в рамках попереднього проекту (див. <http://skyview.virgoua.org>), була використана для подальшого аналізу даних спостережень для визначення природи *нової слабкої лінії на енергії ~ 3.5 keV*, зареєстрованої нами раніше в рентгенівських спектрах галактики Андромеди, центральній частині нашої Галактики та скупчення галактик Персея. Подальше детектування нової лінії випромінювання в центральній частині нашої Галактики та ряді близьких скупчень галактик виявилось сумісним з гіпотезою розпаду темної матерії.

Можливі пояснення нової лінії випромінювання, окрім лінії розпаду темної матерії, включають:

– ефекти систематики (наприклад, немодельований провал в ефективній площі телескопів), які виявились відповідальними, наприклад, за природу іншої “лінії випромінювання” на енергії ~2.5 keV в спектрі карликової галактики Вілман 1, як було нами показано в 2010 р.;

– аномально (в 10–30 разів) підсилений комплекс астрофізичних ліній випромінювання калію (іону K XVIII) на енергіях 3.476–3.515 keV, що знаходиться в межах роздільної здатності сучасних приладів (60–100 eV) від зареєстрованої нами лінії;

– інші прояви нової фізики (анігіляція частинок темної матерії, розпад збуджених станів темної матерії тощо), які дають інший просторовий розподіл сигналу, в порівнянні з розпадом частинок темної матерії.

Проведені нами дослідження виключають пояснення нової лінії за рахунок ефектів систематики, див. Рис. 2.

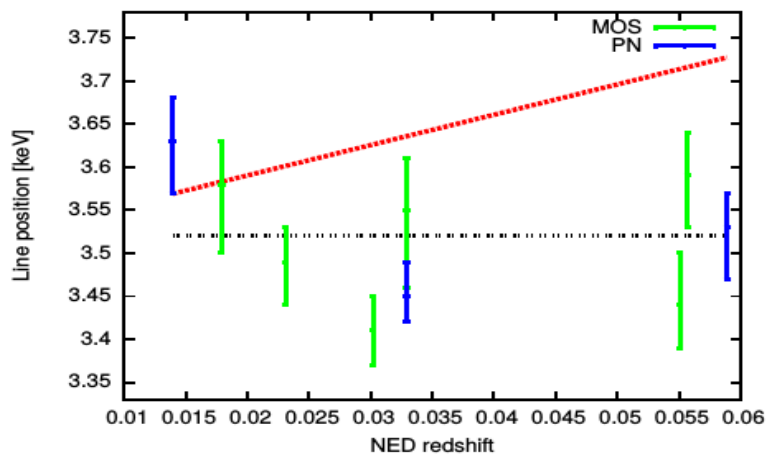


Рис. 2. Залежність положення нової лінії випромінювання (в системі випромінювача) для близьких скупчень галактик від червоного зміщення відповідних скупчень. Якби лінія випромінювання мала інструментальну природу, спостерігалось б лінійне зростання положення лінії з ростом червоного зміщення, що показано червоною пунктирною лінією. Натомість, зареєстровані положення нової лінії показують поведінку, очікувану для космічного походження лінії (чорна подвійна пунктирна лінія) від астрофізичного випромінювання або розпаду темної матерії в даних об'єктах.

Астрофізичне походження нової лінії випромінювання наразі виключити не вдається. Причиною є те, що можливий вплив комплексу ліній випромінювання калію (іону K XVIII) на енергіях 3.476–3.515 keV складно врахувати внаслідок відсутності суттєво сильніших

ліній випромінювання калію в рентгенівському діапазоні. Окрім даного комплексу ліній калію існує слабкий комплекс лінії калію (іону K XIX) на енергіях 3.700–3.706 кеВ з інтенсивністю, близькою до попереднього комплексу ліній. Подальше дослідження за допомогою нових телескопів з кращою роздільною здатністю за енергіями (5–10 еВ), зокрема спектрометру SXS на борту космічної рентгенівської обсерваторії Astro-H (до запуску в січні 2016 року) або ракетного експерименту з мікрокалориметром Micro-X (до запуску в 2017 році) дозволить остаточно визначити, чи має нова лінія випромінювання на енергії ~ 3.55 кеВ астрофізичну природу, див. Рис. 3.

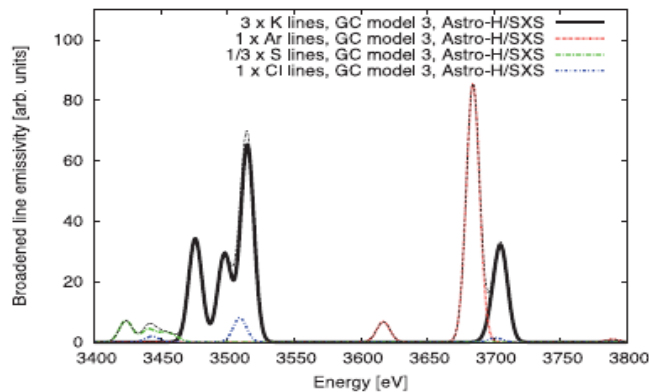


Рис. 3. Очікуваний потік випромінювання від центру Галактики, спостережений спектрометром SXS на борту космічної рентгенівської обсерваторії Astro-H. Показаний вклад ліній в діапазоні 3.4–3.8 кеВ, чорним кольором виділено вклад астрофізичних ліній калію на енергіях ~ 3.5 та ~ 3.7 кеВ.

Проведено подальший пошук об'єктів, які містять лінію на енергії ~ 3.55 кеВ за допомогою аналізу спостережень, які увійшли в карту неба, див. <http://skyview.virgoua.org>. Оскільки детальний аналіз даних з усіх ділянок неба є вкрай обтяжливим з точки зору часу на детальний підбір оптимальної моделі випромінювання, в даній роботі був застосований метод вейвлету (який не потребує підбору моделі випромінювання) для детектування слабкої лінії випромінювання в діапазоні 3.45–3.60 кеВ. За допомогою детальних моделювань на базі спектру галактики Андромеди, де спостерігається дана лінія, нами було показано, що лінія, присутня в спектрі з достовірністю 3 сігма, може бути задетектована методом вейвлету з достовірністю ~ 1.8 сігма. Масштабна обробка даних призвела до детектування методом вейвлету 235 просторових областей, в яких потенційно може бути зареєстрована лінія випромінювання на енергії ~ 3.55 кеВ. Подальше детектування лінії зі вказаних областей потребує детального аналізу та моделювання спектрів.

Результати робіт, що виконувались в Головній астрономічній обсерваторії НАН України:

На основі власних виборок активних ядер галактик (АЯГ) I типу та блакитних галактик з оглядів SDSS DR7 та WiggleZ DR1 отримано параметри їх крос- (ККФ) та автокореляційних (АКФ) функцій. Аналіз АКФ в реальному просторі показав наявність її більш крутого зламу для АЯГ, ніж для блакитних галактик, що узгоджується з їх еволюційною парадигмою, в якій в близьку до нашого часу епоху основним населенням філаментів є галактики із зореутворенням, а АЯГ I типу формуються здебільшого тільки в скупченнях. На Рис. 4 представлено порівняння отриманого значення параметру баєса для АЯГ I за результатами інших авторів, отриманих з інших виборок квазарів.

Досліджено діаграму колір-колір центральних галактик і їх слабких супутників і порівняли кількість пар різних морфологічних типів в реальному і випадковому розподілі.

Отримані результати підтверджують співвідношення морфологія-щільності (ранні морфологічні типи, як правило, знаходяться в щільному середовищі, у той час як пізні — в загальному полі).

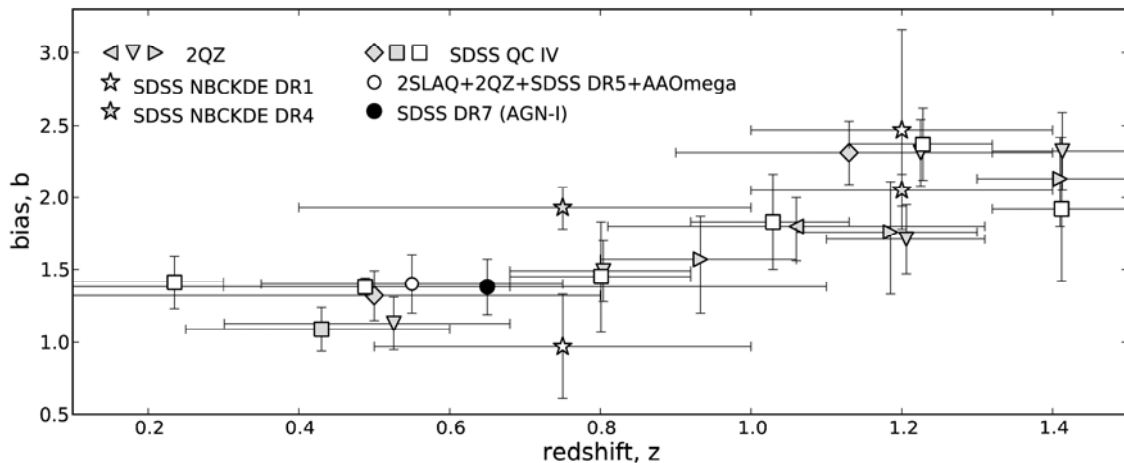


Рис. 4: Залежність параметру баєса від z для АЯГ I-го типу (чорний кружок) та квазарів.

Досліджено рентгенівські спектри активних ядер галактик (АЯГ) у діапазоні енергій 0.5–250 кеВ з оригінальної вибірки з 95 об'єктів, утвореної на основі 22-місячного огляду всього неба супутником Swift-BAT. Для галактик вибірки отримано параметри рентгенівських спектрів за даними супутників XMM-Newton та INTEGRAL/IBIS. Побудовано та досліджено залежності «фотонний індекс Γ — параметр відносного відбиття R », «фотонний індекс Γ — енергія обрізання $E_{\text{cut-off}}$ », «параметр відносного відбиття R — еквівалентна ширина лінії Fe K_{α} », «еквівалентна ширина лінії Fe K_{α} — внутрішня світність L_{core} » (ефект Балдвіна), та «величина поглинання N_{H} — еквівалентна ширина лінії EW Fe K_{α} ». Проведено кореляційний аналіз спектральних параметрів як для усієї вибірки, так і окремо у залежності від радіо-гучності галактик та від сейфертівських типів АЯГ. Вперше виявлено тенденцію про систематично вище значення параметра R при $\Gamma < 1.5$ для АЯГ 2-го типу у порівнянні з АЯГ 1-го типу на основі даних для 78 галактик. Показано, що R має менші значення у радіо-гучних галактиках у порівнянні з радіо-тихими, а EW Fe K_{α} у радіо-гучних галактиках при фіксованому значенні R менші, аніж у радіо-тихих. При цьому вбуло використано дані для 75 галактик, з яких 58 — радіо-тихі та 18 — радіо-гучні. У цілому, проведений аналіз свідчить про індивідуальну специфіку АЯГ, яка виходить за рамки стандартних положень уніфікованої схеми Антонуччі–Міллера і вимагає додаткових уточнень до останньої.

Подано заявки на спостереження космічних місій рентгенівських обсерваторій Swift та XMM-Newton. Для супутника Swift було заявлено оглядові спостереження для 28 об'єктів з тривалістю експозиції кожної щонайменше 6 тис. секунд. Для супутника XMM-Newton було заявлено глибокі спостереження 6 об'єктів: NGC 5968, IC 1495, ESO 506-004, ESO 553-042, NGC 2989 та NGC 6951 з тривалістю експозиції кожної щонайменше 35 тис. секунд.

Науковий керівник проекту

Ю.В. Штанов

Інститут теоретичної фізики
ім. М.М. Боголюбова НАН України