УДК 524.7 № держреєстрації 0115U002054C Інв. №

Національна академія наук України Головна астрономічна обсерваторія

03143 м. Київ, вул.. академіка Заболотного, 27

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ГАО НАН України _____Я.С. Яцків "___" ____2016 р.

Звіт про науково-дослідну роботу

«Створення Астрокосмічного центру обробки даних для вирішення задач багатохвильової астрофізики»,

що виконувалася в рамках договору № 69 від 4 липня 2014 р. між ІТФ ім. М.М. Боголюбова і ГАО НАН України

Науковий керівник

Вавилова І.Б. кандидат фіз.-мат. наук, зав. відділу позагалактичної астрономії та астроінформатики ГАО НАН України

Звіт затверджено Вченою радою ГАО НАН України від 22.12.2016 (протокол № ____)

Київ – 2016

Виконавці:

ГАО НАН України:

Вавилова І.Б., к.ф.-м.н., с.н.с., зав. лаб. позагалактичної астрономії та астроінформатики (керівник НДР)

Елиїв А.А., к.ф.-м.н., с.н.с.

Бабик Ю.В., к.ф.-м.н., м.н.с.

Василенко А.А., к.ф.-м.н., м.н.с.

Добричева Д.В., інж. 1 кат.

Торбанюк О.О., інж. 1 кат.

Іващенко Г.Ю., к.ф.-м.н., н.с.

Мельник О.В., к.ф.-м.н., м.н.с.

Пулатова Н.Г., к.ф.-м.н., в.о. с.н.с.

Сергієнко О.М., к.ф.-м.н., н.с.

Василенко О.В., інж. 1 кат.

ІТФ НАН України:

Штанов Ю.В., доктор фіз.-мат. наук, зав. лаб. астрофізики і космології;

Якубовський Д.А., канд. фіз.-мат. наук, с.н.с..

Савченко Д.О., провідний інженер.

Рудаковський А.В., інженер.

Малишев Д.І., канд. фіз.-мат. наук, м.н.с..

ΡΕΦΕΡΑΤ

- Об'єм звіту: 1 книга (112 сторінок машинописного тексту). При складанні використані матеріали 53 статей, опублікованих в міжнародних та українських реферованих журналах, та 8 статей, поданих до міжнародних та українських реферованих журналів.
- Ключові слова: Слоанівський цифровий огляд неба SDSS, космічні рентгенівські обсерваторії XMM-Newton, Chandra, Suzaku, космічна гамма-обсерваторія Fermi, темна матерія, подвійні рентгенівські системи, активні ядра галактик, скупчення галактик, квазари, великомасштабна структура Всесвіту.

Мета проекту – Створення та розвиток Українського астрокосмічного центру обробки даних космічних місій на базі центру ВІРГО (ІТФ НАНУ-КНУ-ГАО НАНУ) завдяки підвищенню ефективності та розширенню діапазону використання цих даних від оптичного до гамма діапазонів; розробка власних і залучення існуючих віртуальних технологій для обробки даних для вирішення завдань багатохвильової астрофізики небесних об'єктів шляхом створення карт всього неба.

Що зроблено

- 1. Створено вибірки: квазарів та галактик з огляду SDSS DR 7-10, WiggleZ, ESO; ізольованих галактик за каталогом 2MIG та за даними супутників Chandra, Suzaku, XMM-Newton, Swift, INTEGRAL, NuStar; рентгенівських скупчень галактик за даними супутника Chandra;
- 2. Отримано дані про властивості та просторовий розподіл міжгалактичного нейтрального середовища за даними огляду SDSS DR7, DR10 та за допомогою Лайман-альфа лісу. Проведено порівняння методів визначення рівня континууму в спектрах квазарів, що впливає на точність визначення прозорості міжгалактичного середовища.
- 3. На основі власних виборок активних ядер галактик (АЯГ) І типу та блакитних галактик з оглядів SDSS DR7 та WiggleZ DR1 отримано параметри їх крос- (ККФ) та автокореляційних (АКФ) функцій.
- 4. Визначено розподіли темної матерії та баріонної компоненти в розширеній вибірці скупчень галактик та кутової кореляційної функції активних ядер галактик за даними космічних рентгенівських обсерваторій Chandra, Suzaku та XMM-Newton, перевірено значення основних космологічних констант.
- Отримано дані про фізичні властивості галактик близького Всесвіту, що входять у системи різної населеності, за даними огляду SDSS DR9 та каталогів галактик в інших спектральних діапазонах.

- Досліджено діаграму колір-колір центральних галактик і їх слабких супутників і порівняли кількість пар різних морфологічних типів в реальному і випадковому розподілі.
- 7. Досліджено рентгенівські спектри активних ядер галактик (АЯГ) у діапазоні енергій 0.5–250 кеВ з оригінальної вибірки з 95 об'єктів, утвореної на основі 22місячного огляду всього неба супутником Swift-BAT.
- Наповнення Астрокосмічного центру обробки даних, що створюється на базі ВІРГО, новими базами даних (вибірками) галактик, квазарів і скупчень галактик в широкому спектральному діапазоні, розробка графічних засобів візуалізації їхнього розподілу.
- 9. Оновлення карти неба в рентгенівському діапазоні новим релізом карти з урахуванням даних з камери PN.
- 10.Отримання даних про природу лінії 3,5 кеВ за допомогою карт неба в рентгенівському діапазоні.
- 11.Уточнення параметрів усередненого міжналактичного рентгенівського фону, використовуючи карту розподілу позагалактичного рентгенівського випромінювання.

3MICT

Вступ	
Розділ 1	
Розділ 2	
Розділ 3	
Розділ 4	
Розділ 5	
Розділ 6	
Розділ 7	
Розділ 8	
Заключення	10
7	
Список опублікованих робіт	

ВСТУП

Типова вартість сучасних наукових космічних місій сягає декількох сотень мільйонів євро, тому навіть часткове фінансування такого проекту є досить обтяжливим для української сторони. На щастя, поточна політика розповсюдження даних космічних місій (згідно з якою, дані, разом зі стандартизованим програмним забезпеченням для їх обробки, стають публічно доступними через "пропрієтарний" період) сприяє появі малобюджетної альтернативи наукової участі в таких проектах – створення центрів обробки публічно доступних даних. Один з подібних центрів, Віртуальну рентгенівську та гамма-обсерваторію ВІРГО (http://virgoua.org), було створено в 2006 році за участі Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова та Головної астрономічної обсерваторії НАН України, фізичного факультету та Астрономічної обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка та центру обробки даних супутника INTEGRAL Женевського університету, із залученням коштів цільового гранту Швейцарського наукового фонду.

В рамках даної науково-дослідної роботи було створено нові вибірки галактик, що увійшли до Українського астрокосмічного центру обробки даних космічних місій для вирішення задач багатохвильової астрофізики. З використанням зазначених вибірок було проведено дослідження спектральних властивостей квазарів та розподілу матерії в міжгалактичному середовищі за допомогою Лайман-альфа лісу; залежності між морфологічним типом та показником кольору галактик на малих червоних зміщеннях; мультихвильових властивостей ізольованих галактик; рентгенівських властивостей галактик з активними ядрами; основних властивостей рентгенівських скупчень галактик; властивостей частинок темної матерії за дослідженням гамма випромінювання; природи нової лінії випромінювання на енергії ~3.55 кеВ від космічних об'єктів та розробка напів-аналітичної моделі реіонізації Всесвіту з урахуванням ненульових початкових швидкостей в моделях темної матерії.

З використанням зазначених вибірок позагалактичних об'єктів виконано опубліковано дослідження, В 53 результати яких статтях (Mon. Not. R. Astron. Soc. - 11, A&A - 4, Astrophys. & Space Science - 4, Journal of Cosmology and Astroparticle Physics -2, Astronomical Reports -2, Baltic Astronomy — 2, Advaces in Astronomy and Space Physics — 4, Odessa Astron. Publ. — 4, Vizier — 2, Journal of Physics Studies — 1, Physics of the Dark Universe — 1, Phys. Rev. Letters — 1, Astrophysics — 1, Astronomische Nachrichten — 1, Кинематика и физика небесних тел — 3, Космічна наука і технологія — 2) та доповідалися на українських та міжнародних конференціях. Матеріали НДР (розділ 6) увійшли до кандидатської дисертації Бабика Ю.В. (2014), на основі матеріалів (розділ 3) подана кандидитська дисертація Добричевої Д. В. (2016).

1. Нові вибірки галактик, що увійшли до Українського астрокосмічного центру обробки даних для вирішення задач багатохвильової астрофізики.

Можливість поєднання спостережуваних даних, отриманих за допомогою наземних телескопів і космічних обсерваторій, дозволяє проаналізувати мультихвильові фізичні властивості галактик і скупчень галактик у більш цілісному обсязі. З цією метою нами було створено нові вибірки, які поповнили базу даних Астрокосмічного центру обробки даних, що об'єднує бази даних Віртуальної рентгенівської і гама обсерваторії (VIRGO) (<u>http://virgoua.org/</u>) та Української віртуальної обсерваторії (<u>http://www.ukr-vo.org/</u>), а саме:

1) для дослідження спектральних властивостей квазарів та розподілу матерії на міжгалактичних масштабах за допомогою Лайман-альфа лісу:

- вибірка 3535 квазарів з SDSS DR7 із червоним зміщенням 2.3<z<4.6 і спектрами гарної якості (високим відношенням сигнал-шум), наявними в цьому спектральному огляді неба;

- вибірка 33 квазарів із z>2, що мають спектри високої роздільної здатності в публічно доступній базі ESO;

- вибірка з 102643 квазарів з SDSS DR9-10 (з них — вибірка "для композитів" — 65976); інші об'єкти: 11192 квазари з широкими (власними) лініями поглинання (BAL); 6804 квазари з DLA-системами; 1248 квазарів з поглинанням в лінії Lyα; 493 квазари з поглинанням в лінії Lyβ; 20 "нормальних" галактик або галактик із зореутворенням; 617 квазарів з неправильно визначеним червоним зміщенням; 1507 об'єктів, спектри яких мають низьке відношення сигнал-шум (неможливо провести ідентифікацію); 417 неповних спектри (з технічних причин доступна лише частина спектру); 191 кандидат в базари;

2) для досліджень галактик (у т.ч. з активними ядрами), насамперед, формування великомасштабних структур у Всесвіті та впливу

оточення на внутрішні параметри галактик:

- вибірка 260 тисяч галактик з огляду SDSS DR9 до z<0.1.3;

- вибірка 1429 активних ядер галактик (АЯГ) І типу, 123 АЯГ ІІ типу, 10 BLRG з SDSS DR7 із 0.1<z<1.1 в полі огляду WiggleZ;

- вибірка 62 ізольованих галактик з активними ядрами до z<0.05 на основі каталогу 2MIG;

- вибірка 95 активних ядер галактик за даними супутників XMM-Newton та INTEGRAL/IBIS;

- вибірка 34 ізольованих галактик з активними ядрами за даними супутників Chandra, Suzaku, XMM-Newton, Swift, INTEGRAL, NuStar

3) для оцінок вмісту видимої і темної матерії в скупченнях галактик та для перевірки космологічних параметрів і еволюції матерії в широкому діапазоні віку Всесвіту:

- вибірка 125 рентгенівських скупчень галактик за даними КА Чандра до z< 2.

- карта всього неба в рентгенівському та гама діапазонах на основі даних з XMM-Newton, Chandra та Fermi.

Детальний опис вибірок представлений далі. В розділах **2-8** приведені основні результати, отримані нами із застосуванням цих вибірок позагалактичних об'єктів.

1.1 Вибірки квазарів для дослідження спектральних властивостей квазарів та розподілу матерії на міжгалактичних масштабах за допомогою Лайман-альфа лісу.

1) Дана вибірка була отримана на основі сьомого випуску Слоанівського цифрового огляду неба (SDSS DR7), який містить 106 006 спектрів. З даного випуску нами було відібрано 15154 спектри квазарів з червоними зміщеннями 2.3 < z < 4.6 та рівнем достовірності визначення червоного зміщення >0.9. Так як SDSS є автоматичним оглядом, то є ймовірність забруднення каталогу хибними об'єктами, загальні фотометричні та спектроскопічні властивості яких схожі до справжніх об'єктрів (тобто квазарів). Саме для вилучення таких об'єктів і була проведена візуальна перевірка, під час якої було вилучено спектри не-квазарів, спектри квазарів з власними лінія поглинання (BAL), системами поглинання (DLA) та спектри з низьким відношенням сигнал-шуму.

Після візуального відбору залишилося 4779 спектрів. Розподіл цих об'єктів за червоним зміщення до і після візуального відбору представлено на Рис.1 (штрих-пунктир та пунктир, відповідно). Для уникнення неточностей в подальших дослідження, ми використали спектри тільки з середньоквадратичним відхилення по нормалізуючій константі А менше, ніж 15%, і таких спектрів залишилося 3535, розподіл яких за червоним зміщення представлений суцільною лінією на Рис.1.1.



Далі дана вибірка використовувалася для створення композитних спектрів та для дослідження розподілу міжгалактичного нейтрального водню та опублікована в роботі [1].

2) Для створення власної вибірки був проведений пошук квазарів з z>2 із літератури, які раніше використовувалися для дослідження Lyα-лісу чи інших задач, і для яких спектри були отримані за допомогою спектрографів високої роздільної здатності Південої Європейської Обсерваторії: ешеле спектрометр (ESI) на телекопі Кек, уф-візуальний ешеле-спектрограф (UVES), фокальний

редуктор та спектрограф з низькою дисперсією (FORS2) на телескопах VLT та подвійний ешеле спектрограф (MIKE) на телескопе Магелан. Після цього всі спектри, які знаходилися у вільному доступі в базі даних ESO, були відібрані за допомогою програми для роботи зі спектроскопічними даними віртуальної обсерваторії VOSpec.

В результаті наша вибірка складається з 33 спектрів, які отримані на ESI/Keck (4 спектри, R~5300), MIKE/Magellan (2 спектри, R~28000), HIRES/Keck (8 спектрів, R~36000), UVES/VLT (17 спектрів, R~45000) та FORS2/VLT (2 спектри, R~10000) спектрографів та телескопів, відповідно [9]. Розподіл квазарів нашої вибірки по червоним зміщенням представлений на Рис.1.1.2, а основні характеристики спектрів, такі як червоне зміщення (z) і середнє червоне змішення Lyα-лісу ($< z_{forest}$), а також відношення сигнал-шум (S/N), назва спектрографа та його роздільна здатність (R) представлені в Табл.1.1.



3) Для створення вибірки спектрів квазарів для дослідження Lyα-лісу було використано каталог квазарів з десятого видання Слоанівського цифрового огляду неба (SDSS DR10), який містить 166583 об'єкти із 0.053<z<5.855. З нього було відібрано лише об'єкти із z≥2, так як саме на цих червоних зміщеннях в спектрах квазарів спостерігається область Lyα-лісу. В первинну вибірку увійшло 125132 об'єкти. Наступним, і основним (з точки зору затрат часу), етапом створення вибірки була візуальна перевірка спектрів, так як автоматичне ототожнення спектрів в SDSS має певні вади, через що до списків "квазарів" потрапляють

назва	z	<zforest></zforest>	спектрограф S/N		R
UM681	2.122	1.955	UVES	>70	~45000
HE1341-1020	2.134	1.960	UVES	~50	~45000
UM680	2.144	1.981	UVES	>70	~45000
Q0103-294a	2.150	1.973	FORS2	~15	~10000
Q0122-380	2.189	1.976	UVES	~50	~45000
PKS1448-232	2.220	1.994	UVES	~50	~45000
Q0102-2931	2.220	2.003	FORS2	~15	~10000
Q0237-233	2.240	2.006	HIRES	20-70	~36000
HE0001-2340	2.280	2.022	UVES	~50	~45000
HE1122-1648	2.400	2.117	UVES	>25	~45000
Q0109-3518	2.406	2.118	UVES	~50	~45000
HE2217-2818	2.406	2.113	UVES	~50	~45000
Q0329-385	2.423	2.136	UVES	~50	~45000
Q2206-199N	2.570	2.295	HIRES	>40	~36000
HE1347-2457	2.617	2.329	UVES	>25	~45000
Q0453-423	2.657	2.399	UVES	50-70	~45000
Q0449-1645	2.677	2.364	HIRES	8-70	~36000
HE0151-4326	2.784	2.465	UVES	50-80	~45000
HE2347-4342	2.880	2.559	HIRES	8-70	~36000
Q0216+080	2.980	2.578	HIRES	>40	~36000
HE0940-1050	3.083	2.950	UVES	60-90	~45000
Q0420-388	3.117	2.782	UVES	60-100	~45000
CTQ460	3.130	2.970	ESI	>15	~5300
Q2126-158	3.280	2.979	MIKE	>10	~28000
PKS2126-158	3.280	2.989	UVES	50-100	~45000
Q0042-2627	3.289	2.893	HIRES	20-70	~36000

Таблиця 1.1.1: Характеристики спектрів із власної вибірки

Q0055-269	3.655	3.276	UVES >25		~45000
PKS2000-330	3.780	3.394	MIKE	>10	~28000
Q1937-1009	3.805	3.406	HIRES	30-50	~36000
PSS0209+0517	4.170	3.728	ESI	>15	~5300
BRI0952-0115	4.420	4.161	ESI	>15	~5300
PSS1723+2243	4.520	4.072	ESI	>15	~5300
Q2237-061	4.550	4.090	HIRES	>40	~36000

зорі, наднові, "нормальні" галактики і т. д. В результаті було виділено декілька підвиборок об'єктів. Так до основної вибірки не увійшли спектри з дуже низьким відношенням сигнал-шум, яке не дозволяє визначити клас об'єкту або ототожнити емісійні лінії. Було виключено два типи спектрів квазарів, які через свою специфічність зазвичай не використовуються для роботи з Lyα-лісом:

квазари з широкими власними лініями поглинання (BAL-квазари) та так званими Damped Ly α Systems (DLA). Також було виключено спектри, в яких спостерігається потужне поглинання в лініях Ly α та Ly β , тому що вони не можуть бути використані ні для створення композитних спектрів, ні для дослідження області Ly α -лісу.

Оскільки в основна вибірка буде використовуватися для двох взаємопов'язаних задач: створення композитних спектрів та дослідження розподілу матерії на міжгалактичних масштабах за допомогою Lyα-лісу, тому після вилучення всіх вище перерахованих об'єктів, в основній вибірці виділено додаткову підвибірку. Вона містить спектри з достатньо "якісно" вирахуваним фоном і відносно високим відношенням сигнал-шум. Це необхідно для створення композитних спектрів. До неї не входять спектри, що мають дуже вузькі лінії поглинання в довгохвильовій частині спектра від ліній Lyα, які швидше за все є погано врахованими телуричними лініями.

Отримана основна вибірка містить 109367 об'єктів (з них — вибірка "для композитів" — 75833); інші об'єкти: 7962 квазарів з широкими (власними)

лініями поглинання (BAL); 3698 квазарів з DLA-системами; 913 квазарів з поглинанням в лінії Lyα; 463 квазари з поглинанням в лінії Lyβ; 13 "нормальних" галактик або галактик із зореутворенням; 601 квазар з неправильно визначеним червоним зміщенням; 1502 об'єктів, спектри яких мають низьке відношення сигнал-шум; 438 неповних спектри (з технічних причин доступна лише частина спектру); 175 кандидатів в блазари.

Розподіл первинної вибірки по небесній сфері подано на Рис. 1.1.3, а розподіл за червоним зміщенням для первинної вибірки, основної, вибірки "для композитів" та виборок BAL-квазарів і квазарів з DLA — на Рис. 1.1.4. Детальний опис вибірки представлений в роботі [3].



1.2 Вибірки галактик для досліджень формування великомасштабних структур у Всесвіті та впливу оточення на внутрішні параметри галактик.

1) Створено нову вибірку галактик на основі даних дев'ятого релізу огляду SDSS DR9, за проектом SDSS-III. Даний огляд покриває 14 555 квадратних градусів небесної сфери, містить 932 мільйона зображень об'єктів, 1,4 мільйона спектрів галактик, 228 тисяч спектрів квазарів і 600 тисяч спектрів зір.

Дані SDSS DR9 з необхідними параметрами зберігаються у FITS файлах на сайті Слоунівського огляду неба (http://www.sdss.org) і мають розмір 3.33 Гб. Для первинної обробки даних ми використовувавали програму Fv (The Interactive FITS File Editor), яка підходить для перегляду і редагування файлів FITS формату. Файл містить дані про 9 міл. об'єктів, для яких було проведено декілька етапів очищення.

Для дослідження галактик найближчого Всесвіту вибірка була обмежена за червоним зміщенням *z*<0.1, в результаті чого було відібрано ~ 724 000 об'єктів. Після видалення об'єктів, вказаних в SDSS як QSO і STAR, залишилось ~ 400 000 галактик.

Із кожним релізом огляду SDSS збільшується кількість нових об'єктів, але і зростає кількість дублікатів зображень старих об'єктів; помилкових зображень (поле); одних й тих самих галактик, представлених різними своїми частинами. Це спонукало до детальної перевірки і очищення всієї вибірки для створення нової репрезентативної вибірки.

Для подальшого очищення вибірки був використаний один із програмних пакетів SDSS, а саме, Image List Tool. У даному пакеті є послуга генерації зображеннь об'єктів на основі списку положень (координат) об'єктів із бази даних огляду. Для того, щоб уникнути перевантаження сервера, список

15

одночасного завантаження обмежується 1000 об'єктів. Додатково для розпізнавання одних й тих самих галактик, представлених різними своїми частинами було використано SDSS DR9 Image List Tool і IT код для пошуку дублікатів, які зсунуті в координатах до 60 секунд. Для уникнення помилок і для полегшення перегляду, ми розбили нашу вибірку на 10 підвибірок за червоним зміщенням (Таблиця 1.2.1).

Червоне зміщення	Вибірка з дублікатами	Вибірка без дублікатів
0.003 <z<0.01< td=""><td>5240</td><td>3782</td></z<0.01<>	5240	3782
0.01 <z<0.02< td=""><td>10900</td><td>8687</td></z<0.02<>	10900	8687
0.02 <z<0.03< td=""><td>29825</td><td>25492</td></z<0.03<>	29825	25492
0.03 <z<0.04< td=""><td>35723</td><td>31579</td></z<0.04<>	35723	31579
0.04 <z<0.05< td=""><td>39593</td><td>34803</td></z<0.05<>	39593	34803
0.05 <z<0.06< td=""><td>43459</td><td>39116</td></z<0.06<>	43459	39116
0.06 <z<0.07< td=""><td>56101</td><td>50429</td></z<0.07<>	56101	50429
0.07 <z<0.08< td=""><td>67787</td><td>61445</td></z<0.08<>	67787	61445
0.08 <z<0.09< td=""><td>66229</td><td>59345</td></z<0.09<>	66229	59345
0.09 <z<0.1< td=""><td>52289</td><td>47900</td></z<0.1<>	52289	47900
Всього	407146	362588

Таблиця 1.2.1. Розподіл галактик з дублікатами та безна даному червоному зміщенню

Використовуючи рекомендацію SDSS ми обмежили нашу вибірку по видимій зоряній величині *m_r*<17.7. В результаті у вибірці залишилось 318 018 галактик. На Рис. 1.2.1 представлено розподіл галактик досліджуваної вибірки SDSS DR9 по небу в екваторіальній системі координат.



Для кожної галактики з вибірки ми визнчили абсолютну зоряну величину за формулою:

$$M_r = m_r - 5log(D_L) - 25 - K(z) - ext,$$

була зкорегована за галактичне поглинання *ext* і *К*-попарвку K(z). На Рис. 1.2.2 представлено залежність абсолютної зоряної величини галактики від червого зміщення. Також ми визначили показники кольору кожної галактики: M_u - M_r , M_g - M_i , M_r - M_z .

Оскільки показник кольору і індекс концентрації світла до центру галактики корелює з її морфологічним типом, що було нами підтвердженно в попередніх роботах. Тому використовуючи зворотній індекс концентрації (R50/R90) і показник кольору (M_g - M_i), ми встановили морфологічний склад

нашої вибірки, розділивши її на два класи ранні галактики (E, S0, S0a), спіральні та пізні (Sa-Irr). На Рис.1.2.3 залежність зворотнього індексу концентрації від показника кольору для всієї вибірки і виділено області, куди потрапляють ранні галактики (E, S0, S0a), спіральні та пізні (Sa-Irr).



для всієї вибірки. (318 018 галактики)

Створена вибірка є універсальною, оскільки може використовуватися для багатьох видів задач при дослідженні галактик в об'ємі близького Всесвіту. Вибірку 318 018 галактики можа завантажити за посланням:

ftp://ftp.mao.kiev.ua/pub/astro/cats/galaxies/317018.csvftp://ftp.mao.kiev.ua/pub/astr

2) Вибірка блакитних галактик. Вибірка блакитних галактик створена з першого видання огляду WiggleZ (WiggleZ DR1), який є спектроскопічним оглядом 240 тис. галактик з емісійними лініями, виконаним за допомогою спектрографа AAOmega Aнгло-Aвстралійського 3.9-м телескопу. Кандидати для спектроскопії відбирались з об'єктів ультрафіолетового (УФ) огляду космічного телескопу GALEX, які мають потік в близькому УФ-діапазоні не нижче 22.8^m, а також спостерігаються в оптичному діапазоні із 20.0<m_r<22.5. Червоне зміщення 90% галактик огляду лежить в діапазоні із $20.0 < m_r < 22.5$. Червоне зміщення 90% галактик огляду лежить в діапазоні 0.2 < z < 1.0. Область покриття небесної сфери оглядом складається з 7 окремих полів з площею ~100-200 кв. градусів. До першого видання огляду, який на даний момент є публічно доступним, увійшли 81362 галактики. Для дослідження було обрано діапазон червоних зміщень 0.1 < z < 1.1, кількість об'єктів в якому склала 66970 із середнім червоним зміщенням z=0.58.

Вибірка активних ядер галактик І типу. До першого типу активних ядер галактик (АЯГ) відносяться об'єкти з широкими емісійними лініями: квазари, Сейфертовські галактики І типу (SyI) та радіогалактики з широкими емісійними лініями (Broad Line Radio Galaxies, BLRG). Наша вибірка АЯГ І типу, яка включає лише квазари і SyI, була сформована із сьомого видання Слоанівського цифрового огляду неба (SDSS DR7), яке містить 105783 об'єкти, автоматично класифіковані як квазари за спектрами. З них в області покриття небесної сфери вибіркою галактик з WiggleZ і з діапазоном 0.1 < z < 1.1 виявилось 1610 об'єктів, з яких після візуальної перевірки зображень лишилось 1590. При цьому було відкинуто "фальшиві" об'єкти (здебільшого флуктуації фону, ідентифіковані як точкові об'єкти) та "фальшиві" парні об'єкти (які насправді є одним об'єктом, який потрапив в каталог двічі з координатами, що різняться в 5-6 знаку після коми, з двох експозицій того самого поля).

З відібраних об'єктів 1268 містяться в 5-му виданні каталогу квазарів Шнайдера та ін., створеного командою SDSS DR7. До нього увійшли об'єкти, яскравіші за М_і=-22, які мають хоча б одну емісійну лінію з шириною >1000 км/с або комплекс ліній поглинання, достовірне червоне зміщення і є слабкішими за m_i~15. Обмеження по світності означає те, що до каталогу не увійшли такі об'єкти, як Syl, які мають однакові спектри (а отже і колоріндекси) з квазарами, але умовно відділяються від них за абсолютною зоряною величиною. Тому для доповнення вибірки Сейфертовськими галактиками І типу було перевірено спектри інших 322 об'єктів, які не увійшли до каталогу Шнайдера та ін. З них до робочої вибірки додано 167 об'єктів, до яких входять як SyI, так і квазари, які, з якихось причин, не потрапили до каталогу Шнайдера та ін. З відкинутих об'єктів: 123 — АЯГ II типу (з вузькими емісійними лініями), 10 — BLRG, 11 — "нормальних" галактик, 1 — галактика, що пройшла стадію спалаху зореутворення (post-starburst galaxy), 1 — зоря пізнього спектрального класу та 9 — об'єкти з низьким відношенням сигналшум, які важко піддаються класифікації.

З 1435 відібраних об'єктів 1276 є в каталозі "уточнених" червоних зміщень квазарів SDSS DR7, що обчислені за схемою Хьюїта і Вайлд. Після заміни у 1276 об'єктів червоних зміщень наявними в каталозі Хюїта і Вайлд було виключено ще 6 об'єктів, "уточнені" червоні зміщення яких виявились більшими за 1.1 через помилкову ідентифікацію ліній стандартною процедурою SDSS. Таким чином кількість об'єктів у вибірці АЯГ І типу складає 1429, а середнє червоне зміщення z=0.65.

На Рис. 1.2.4 штрихованою і суцільною лініями зображено розподіли за червоним зміщенням виборок АЯГ І типу і блакитних галактик, відповідно, а на Рис. 1.2.5 — як приклад, розподіл по небесній сфері блакитних галактик (трикутники) з другого поля WiggleZ та АЯГ І типу (кола) в цій області.



Дана вибірка опублікована в роботі [2].

3) Утворена оригінальна вибірка з 95 галактик на основі каталогу 22місячного огляду неба супутником Swift, а саме Swift/BAT 22-Month Source Catalog. В рамках цієї вибірки, на основі даних супутників XMM-Newton та INTEGRAL, отримані та проаналізовані спектри цих галактик у діапазоні енергій 0.5-250 кеВ.

вибірки ліг в основу розділу 2 «Взаємозалежності Аналіз даної рентгенівських спектральних параметрів для 95 галактик з активними ядрами з каталогу Swift/BAT AGNs» дисертації Василенка А.А. "Особливості спектрів рентгенівського випромінювання активних ядер галактик в діапазоні енергій 0.5 – 250 кеВ", яка була успішно захищена. Суть розділу є аналіз взаємних залежностей головних спектральних значень та параметрів рентгенівських спектрів для оригінальної вибірки 95 галактик з активними ядрами (далі-АЯГ).

У вибірку було включено лише ті об'єкти, для яких була можливість 21

проведення достатньо повного і коректного аналізу спектрів одночасно як за даними XMM-Newton, так і за даними INTEGRAL. Можливість побудови якісного спектру джерела за даними останнього перевірялось за допомогою онлайн сервісу HEAVENS центру ISDC.

Для цих галактик були отримані спостережні спектри, які, у свою чергу, також були проаналізовані, в результаті чого отримано відповідні значення спектральних параметрів. Надалі, для вивчення фізичної картини, яка присутня у ядрах активних галактик, було використано показники таких основних параметрів спектру, як фотонний індекс Г, відносне відбиття R, енергія обрізання _{cut-off}, величина стовпчикової густини (поглинання) _н, внутрішня світність _{согг} та еквівалентна ширина лінії – *EW* Fe K_а. Проведено аналіз та кореляцій основних спектральних параметрів рентгенівського пошук випромінювання активних галактик, значення яких вдалось одночасно визначити для поточного об'єкта. Результати загального статистичного аналізу спектральних параметрів приведені у Таблиці 1.2.2.

Для отриманих параметрів рентгенівських спектрів галактик були побудовані та досліджені на наявність ймовірного зв'язку 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_a», «еквівалентна ширина лінії Fe K_a — внутрішня світність L_{corr} » (ефект Балдвіна), та «величина поглинання _H — еквівалентна ширина лінії *EW* Fe K_a».

В результаті підтверджена відсутність сильної лінійної кореляції для залежності «фотонний індекс Г- параметр відносного відбиття R» для обох типів сейфертівських галактики, але відкинуто можливість її існування в принципі. Одночасно перевірена можливість поведінки залежності у відповідності до моделі Бєлобородова об'ємного руху речовини корони. Пошук залежності R-*EW* Fe K_α показав присутність слабкої монотонної залежності. Остання також була досліджена з врахуванням радіо-гучності галактик.

Підтверджена відсутність сильної лінійної антикореляції для ефекту Балдвіна, який також є дискусійним відразу для двох енергетичних областей 2-10 кеВ, 20-100 кеВ; виявлено відсутність для нашої вибірки значущої лінійної кореляції для залежності «фотонний індекс Г - енергія обрізання E_{cut-off}». Також було перевірено відповідність розподілів отриманих значень спектральних параметрів та їх середніх значень уніфікованій схемі ядра активної галактики. Встановлено, тандартна уніфікована модель не описує весь спостережний діапазон змін величин параметрів, тобто узагальнені уявлення для всіх АЯГ потрібно використовувати з обережністю і приймати лише як середні значення характеристик активних ядер.

Результати даного розділу опубліковано в 3-ох роботах. Загальні, спектральні характеристики вибірки АЯГ та список використаних даних приведено у статті [4].

Таблиця 1.2.2: Результати тесту за критерієм Колмогорова–Смірнова двох вибірок для їх статистичного порівняння. D – максимальна різниця між розподілами вибірок, p – ймовірність нульової гіпотези, тобто того, що вибірки мають однаковий розподіл.

Параметр	Медіанне	значення	D	р
	Сейферт 1	Сейферт 2		
Г	1.76	1.55	0.44	1.2 ·10 ⁻⁴
R	0.97	0.9	0.12	0.86
$E_{\rm cut-off}$	108	101	0.13	0.96
$EW_{\rm FeK}$	71	129	0.42	8.6·10 ⁻⁴
$N_{\rm H}~(10^{22}~{ m cm}^{-2})$	0.42	12.59	0.57	1.7 ·10 ⁻⁵

4) Побудовано вибірку всього неба ізольованих галактик з активними ядрами. Вибірка включає у себе 60 галактик. Пошук наявних рентгенівських спостережень сучасними космічними місіями, а саме Chandra, Suzaku, XMM-Newton, Swift, INTEGRAL, NuStar, виявив присутність спостережень лише для 34 галактик. Таким чином, майже половина галактик потребує рентгенівських спостережень.

На кінець 2016 року отримано та проаналізовано рентгенівські спектри для 13 галактик. А саме для ESO 317-038, ESO 438-009, Circinus galaxy, CGCG 179-005, NGC 1050, NGC 2989, NGC 5347, NGC 6300, UGC 01597, UGC02936, UGC 10120, 2MIG1607 та MCG-02-09-040.

На даному етапі основні напрямки роботи наступні — спектральний та часових аналіз рентгенівських даних у широкому діапазоні енергій від ~0,5кеВ до 500 кеВ (для яскравих джерел); попередня фізична інтерпретація та статистична обробка отриманих характеристик рентгенівського випромінювання для опрацьованих об'єктів; підготовка та надсилання заявок на спостереження галактик у рентгені, для яких такі спостереження відсутні. Попередні аналізи опубліковані у 2-х статтях.

1.3 Вибірка для оцінок вмісту видимої і темної матерії в скупченнях галактик та для перевірки космологічних параметрів і еволюції матерії в широкому діапазоні віку Всесвіту.

Карта неба за даними космічної рентгенівської обсерваторії ХММ-Newton створена *в інтервалах енергій 2-5 та 5-10 кеВ*, і таким чином доповнює більш високими енергіями рентгенівську карту всього неба обсерваторії ROSAT (доступна на енергіях 0.1-2.4 кеВ). На відміну від карти ROSAT, карта неба на основі даних ХММ-Newton покриває лише близько 5% неба, однак більшість яскравих об'єктів в рентгенівському діапазоні, а також їх околиці, були нею спостережені.

Карта неба за даними обсерваторії XMM-Newton була нами створена за допомогою обробки всіх публічно доступних даних обсерваторії XMM-Newton, використовуючи стандартний набір скриптів ESAS (Extended Sources Analysis Software) для обробки протяжних джерел, який є частиною стандартного програмного забезпечення XMMSAS. Процес обробки даних включав у себе генерацію списку подій (event lists) скриптами emchain та epchain і подальшу фільтрацію списків подій (mos-filter, pn-filter). Процес фільтрації включав в себе пошук та відкидання інтервалів часу, під час яких спостереження зіпсоване протонними спалахами (proton flares). Для пошуку таких інтервалів аналізувалася крива блиску спостереження і будується гістограма швидкості приходу фотонів (count rate). З гістограми визначалася середня швидкість рахунку та її дисперсія. Всі інтервали часу, під час яких швидкість приходу фотонів перевищує середню на 2.5σ, відкидалися. Очевидно, така процедура не може гарантовано відкинути всі інтервали часу спостереження, ушкоджені протонними спалахами, тому відфільтровані списки подій аналізувались на предмет залишкової протонної компоненти порівнянням потоку в відкритій (в полі зору) та закритій (поза полем зору) частинах матриці. Інформація щодо залишкової протонної компоненти збережена.

В залежності віл потреб конкретної задачі може знадобитись детектування яскравих точкових джерел та вирізання областей навколо таких джерел з фінального списку подій. Для пошуку точкових джерел в пакеті ESAS передбачений скрипт cheese, однак нами було встановлено, що даний скрипт не передбачає точне підлаштування параметрів, тому нами створено альтернативний скрипт на основі стандартної процедури edetect chain пакету XMMSAS.

З підготовлених таким чином списків подій процедурами mos-spectra, pnspectra та mos back, pn back ми отримували зображення з відніманням фону заданому інтервалі енергій інструментального В та спектри спостереження, а також спектр інструментального фону, arf, rmf файли. При джерел процедура локального вичитання фону не аналізі протяжних застосовна, тому інструментальний фон генерується на основі даних спеціальних спостережень з закритим фільтром а також даних неекспонованих частин ССД-матриці.

Фон в спостереженнях XMM-Newton може також містити вклад від перезарядки іонів сонячного вітру (solar wind charge exchange), однак ця компонента має помітну величину лише на енергіях менших 1 кеВ, тому не потребує врахування в нашій карті неба.

Карта неба доступна за посиланням <u>http://skyview.virgoua.org</u> у вигляді інтерфейсу для побудови мозаїчних зображень заданих регіонів в інтервалах енергій 2-5 та 5-10 кеВ а також карти експозиції. Зображення мають максимальну роздільну здатність 10"х10". Дана карта включає зображення 5000 спостережень або ж 7850 індивідуальних експозицій (MOS1, MOS2, PN). Окрім того на сайті доступні зображення в інтервалі енергій від 2 до 10 кеВ з роздільною здатністю 2.5"х2.5", що побудовані для 5200 спостережень XMM-Newton (9100 індивідуальних експозицій). Крім зображень доступні також спектри даних 5200 спостережень, віповідні файли фону, arf, rmf файли. Всі вищезгадані продукти містять інформацію надлишкову про протонну компоненту і отримані без процедури вирізання точкових джерел. Окрім них доступні всі дані обробки 450 спостережень (820 індивідуальних експозицій) з вирізаними точковими джерелами.

Зображення неба за даними XMM-Newton можуть бути використані для швидкого візуального аналізу області неба. Крім того всі зображення 26

використовувались в проекті для пошуку перспективних джерел для подальшого детального аналізу для пошуку лінії випромінювання на енергії 3.5 кеВ (вейвлет метод).

Спектри спостережень використовувались для уточнення параметрів позагалактичного рентгенівського фону. Основним використанням протягом проекту став детальний аналіз різних джерел для дослідження природи лінії випромінювання на енергії 3.5 кеВ.

Включення даних рентгенівської обсерваторії Chandra дозволяє краще ідентифікувати точкові джерела внаслідок суттєво (3-4 рази) кращої просторової роздільної здатності її основного наукового інструменту ACIS, в порівнянні XMM-Newton, що є важливим, наприклад, для кращого аналізу ділянок з великою кількістю точкових джерел (crowded fields), таких як центральна частина нашої Галактики.

Аналіз протяжних джерел за даними обсерваторії Chandra мало відрізняється за ідеологією від аналізу даних обсерваторії XMM-Newton. Після процедури стандартної попередньої обробки для врахування найновішої калібровки (процедура chandra_repro) відбувається фільтрація даних для відкидання періодів експозиції з надмірно високим або низьким потоком (функція lightcurves.lc_clean), пошук точкових джерел (процедура vtpdetect). Процедура локального вичитання фону так само неможлива (для протяжних джерел), таким чином для генерації файлів фону використовується процедура аcis_bkgrnd_lookup, що дозволяє побудувати файл фону для спостереження на основі даних спостережень "чистого неба" ("blank-sky" observations).

На сторінці <u>http://skyview.virgoua.org</u> доступні зображення, отримані завдяки обробці даних 3079 спостережень обсерваторії Chandra, файли фону та

27

карти експозиції для оброблених спостережень. Роздільна здатність зображень — 0.5".

Карта всього неба в гамма діапазоні на основі спостережень обсерваторії Fermi використовувалась В проекті для задач дослідження природи лінієподібних перевищень на високих енергіях (близько 130 ГеВ). На час дослідження однією з гіпотез походження перевищень був і сигнал від темної матерії. Проте дослідження в рамках проекту показали, що таке пояснення видається малоймовірним. Крім того карта неба використовувалась в задачах пошуку змінних дослідження гамма-випромінювання джерел, віл рентгенівських подвійних систем.

Для побудови карти, дані спостережень Fermi оброблялись стандартним чином. Спочатку дані комбінувались з допомогою процедури gtselect. Далі проводилась процедура стандартної фільтрації для відкидання фотонів з області земного лімбу (gtselect) та наступне коригування списку періодів якісної експозиції (good time intervals) (процедура gtmktime). Наступним кроком дані бінувались (gtbin), генерувалась карта експозиції (gtirfs) після чого будувалась карта всього неба з урахуванням отриманої карти експозиції.

Інтерфейс <u>http://skyview.virgoua.org</u> дозволяє побудувати зображення вибраної ділянки неба в інтервалах енергії 30-60 MeB, 60-100 MeB, 100-300 MeB, 300-1000 MeB, 1-300 ГеВ на основі даних обсерваторії Fermi за 5 років. Роздільна здатність складає 0.16°/піксель.

Список публікацій:

- [1] Ivashchenko G., Sergijenko O., Torbaniuk O. Composite spectra of quasars with different UV spectral index // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. 2014. V. 437. P. 3343-3361.
- [2] Ivashchenko G. Yu., Vasylenko O. V. Cross-correlation function of SDSS DR7 I-type

AGNs and WiggleZ galaxies // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. — 2015. — V. 31. — I. 1. — pp. 1-12.

- [3] Torbaniuk O. A quasar sample for Lya-forest studies from the Data Release 10 of the Sloan Digital Sky Survey // Advances in Astronomy and Space Physics. 2015. V. 5. I. 2. P. 84-88.
- [4] Vasylenko A.A. X-ray spectral parameters for a sample of 95 active galactic nuclei / Vasylenko A.A., Zhdanov V. I., Fedorova E. // Astrophysics and Space Science. 2015. Vol. 360. P. 71-87.
- [5] Vavilova I.B. X-ray spectral properties of the isolated AGNs: NGC 1050, NGC 2989, ESO 317-038, ESO 438-009 / Vavilova I.B., Vasylenko A.A., Babyk Iu.V., Pulatova N.G. // Odessa Astronomical Publications. – 2015. – Vol. 28/2. – P. 150-153.
- [6] Вавилова І.Б. Астрокосмічні бази даних для досліджень мультихвильових і космологічних властивостей позагалактичних об'єктів / Вавилова І.Б., Бабик Ю.В., Добричева Д.В., Василенко А.А., Іващенко Г.Ю., Сергієнко О.М., Торбанюк О.О., Пулатова Н. Г. // Космічна наука і технологія. – 2015. – Т. 21. – С. 94-107.
- [7] Василенко А. Рентгенівські спектральні параметри для 65 галактик за даними каталогу Swift/BAT AGNs / Василенко А., Федорова О., Жданов В. // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія «Астрономія». – 2014. – В. 51. – С. 22–31.
- [8] Василенко А.А. Признаки двойной черной дыры в активном ядре NGC 1194? / Василенко А.А., Федорова Е.В., Гнатык Б.И., Жданов В.И. // Кинематика и физика небесных тел. – 2015. – Т. 31, №1. – С. 22–31.
- [9] Торбанюк Е. А., Иващенко А. Ю. Средняя прозрачность нейтральной межгалактической среды в линии Lyα с использованием спектров квазаров высо- кого разрешения // принята в Кинематика и физика небесных тел. — 2016.

2. Дослідження спектральних властивостей квазарів та розподілу матерії на міжгалактичних масштабах за допомогою Лайманальфа лісу (Іващенко Г.Ю., Василенко О., Торбанюк О.)

2.1. Розподіл густини нейтрального міжгалактичного водню за г

(Торбанюк О., Іващенко Г.Ю.)

Для дослідження розподілу матерії в філаментах на міжгалактичних масштабах в якості індикатору використовують флуктуації прозорості нейтрального водню в лінії Ly α , F(z), що залежить від густини HI — основної компоненти міжгалактичного середовища (МГС) в філаментах. Ця величина визначається як відношення зареєстрованого потоку в області Lyα-лісу в спектрах далеких квазарів до випроміненого. Останній визначається первинною формою спектру квазару до поглинання і називається "континуумом". Саме точність проведення континууму в спектрах окремих квазарів впливає на точність визначення величини прозорості. Так як на сьогоднішній день не існує загально-прийнятого різні методу визначення континууму, автори користуються різними методами, різниця яких і дає великий розкид значень прозорості для певного червоного зміщення. Недоліки більшості цих методів обговорювались у роботах різних авторів, але чисельна оцінка різниці величин F(z) від червоного зміщення, отриманих з різними середньої прозорості методами визначення континууму, якщо і проводилась, то тільки для окремо взятої вибірки спектрів. Тому першою частиною даної задачі було чисельне дослідження різниці величин прозорості, отриманих різними методами, на основі даних, доступних в літературі. Повний опис вибірки даних з літератури наведено в роботі [3].

Вибірка результатів з літератури. Всі методи визначення континууму 30

можна умовно поділити на два класи, тому з літературних даних було відібрано дві підвибірки. До першої увійшли величини, отримані з так званим методом визначення континууму "руками", який полягає у відборі на око непоглинутих частин спектру та їх інтерполяції, наприклад сплайн поліномами. Здебільшого цей метод використовується для спектрів високої роздільної здатності. В другу підвибірку увійшли отримані результати другим метолом. який використовується для спектрів середньої роздільної здатності або для великих червоних зміщень, і полягає в екстраполяції континууму наперед заданим степеневим законом зі спектральним індексом, який визначається або з довгохвильової частини, або з якихось інших міркувань. Для зручності було обрано лише діапазон із z>2, на якому значення прозорості можуть бути апроксимовані одним степеневим законом.

Для кожної вибірки залежність прозорості від червоного зміщення була апроксимована степеневим законом $F(z) = exp(-\alpha(1+z)^{\beta})$, де α та β - вільні параметри, значення яких наведено в Табл. 2.1.1. Було показано, що значення прозорості, отримані з екстрапольованим континуумом, є систематично нижчими, при цьому різниця зростає з червоним зміщенням, і якщо при z=2 вона становить 5%, то при z=4.5 вже близько 33% [8].

Метод визначення континууму	χ^2	d.o.f	α·10 ⁻³	β
"руками"	68.1	121	3.85±0.10	3.232±0.019
екстраполяція	70.8	27	4.15±0.02	3.368±0.003

Таблиця 2.1.1: Оптимальні значення параметрів α та β для підвиборок даних з літератури.

Власна вибірка. Для незалежного дослідження створено власну вибірку спектрів високої роздільної здатності, які раніше використовувались для досліджень Lyα-лісу, і при цьому є публічно доступними в архіві Європейської

Південної Обсерваторії (ESO). Вибірка складається з 33 спектрів з роздільною здатністю від 5000 до 45000, отриманих на спектрографах HIRES, UVES, FORS2, ESI та MIKE телескопів Keck, VLT та Magellan [9].

Обробка даних. Первинна обробка даних включала в себе зшивання окремих частин спектрів, усереднення по декількох експозиціях з одночасним перебінуванням їх з кроком 0.1Å, очищення спектрів від телуричних ліній та "поганих" пікселів за допомогою програмного забезпечення DECH, відбір вручну до 20 точок з найбільшим значенням потоку в області Lyα-лісу та їх інтерполяції сплайн-поліномом за допомогою стандартної функції мови IDL. Також знайдено величини середньої прозорості для різних червоних зміщень, усереднення яких проводилось двома методами: по однакових інтервалах червоного зміщення в 0.1 по всім спектрам та по кожному спектру окремо. Результати апроксимації наведено в Табл. 2.1.2.

Таблиця 2.1.2: Оптимальні значення параметрів α та β, для двох варіантів усереднення F(z).

Метс	од усереднення	χ^2	d.o.f	$\alpha \cdot 10^{-3}$	β
	$\Delta z = 0.1$	23.17	18		
	стемим спектрам	33.23	26		

Порівняння отриманих результатів з результатами по літературними даним показало, що вони узгоджуються в межах похибки з отриманими залежностями для різних методів, перш за все через те, що для інтерполяції континууму для власної вибірки вибиралась набагато менша кількість точок, аніж це робиться іншими авторами, а отже використаний в даній роботі метод є чимось середнім між обома методами [9].

2.2 Залежність еквівалентної ширини емісійних ліній квазарів від спектрального індексу (Торбанюк О., Іващенко Г.Ю.)

Незважаючи на загальну подібність спектрального розподілу енергії в УФ-оптичному діапазоні у квазарів, яка дозволяє використовувати їх композитні спектри для різних задач, вони різняться за еквівалентними ширинами (ЕШ) емісійних ліній та спектральним індексом α_λ. Вважається, що континуум та емісійні лінії утворюються відповідно в гарячому акреційному диску та хмарах, що швидко рухаються навколо ядра. Близькість цих областей вважається найкращим поясненням ефекту Балдвіна (зворотньої залежності між ЕШ та монохроматичною світністю в УФ-діапазоні). Але фізичного пояснення різниці в α_{λ} та його зв'язку з ЕШ та світністю квазарів досі немає.

Вибірка. Первинна вибірка спектрів (15154 об'єктів) з 2.3<z<4.6 та z_{conf} >0.9 була взята з SDSS DR7 [5] із уточненими z з [3]. Всі вони були перевірені візуально, в результаті чого були відкинуті спектри з низьким відношенням сигнал-шум, квазари з BAL та DLA. Також були відкинуті спектр, середньоквадратичне відхилення середнього потоку в діапазоні 1450-1470 Å становить >10%. Таким чином у вибірці лишилось 3535 спектрів. Детальний опис вибірки наведено в [3].

Композитні спектри. Для дослідження залежності між α_{λ} та світністю квазарів і/або ЕШ емісійних ліній було створено 16х12=192 композитні спектри із підвиборок з різним спектральним індексом (16 бінів) та різним значеннм логарифму монохроматичної світності на 1450 Å (12 бінів). Приклади композитних спектрів по різним підвибіркам представлені на Рис. 2.2.1, 2.2.2.

Обчислення ЕШ. Було розглянуто діапазон 1215-1321 Å і апроксимовано його суперпозицією континууму та найменшої кількості емісійних ліній у вигляді гаусіан, після чого ЕШ було обчислено як інтеграли аналітичних функцій з отриманими параметрами.



Результати. Для суперпозиції емісійних лінії Lyα+OV+NV+SiII*+SiII (~1211-1280 Å) її ЕШ спадає зі зростанням α_λ (тобто найбільш круті спектри

мають найбільші ЕШ) для спектрів об'єктів свіх світностей; для цього ж набору ліній гарно видно ефект Балдвіна; а для суперпозиції емісійних лінії SiIII*+OI+SiII (~1280-1320 Å) залежності ЕШ від спектрального індексу, так само, як і ефекту Балдвіна, не знайдено. Для суперпозиції ліній CII+OV+CaII (~1290-1320 Å) та X1+SiIV+OIV]+X2 (~1320-1350 Å) було знайдено зростання ЕШ з зростанням α_{λ} для спектрів об'єктів свіх світностей; в той час як ефект Балдвіна був знайдений тільки для другого набору ліній [4,5].



Рис.2.2.3: Залежність еквівалентної ширини емісійних ліній квазару від спектрального індексу α_λ для суперпозиції ліній в інтервалі довжин хвиль 1215–1285Å (Lyα+OV+NV+SiII*+SiII), 1290–1320Å (SiIII*+OI+SiII), 1320–1350Å (CII+OV+CaII), 1350–1430Å (X1+SiIV+OIV]+X2). Розмір кружків відображає зміну світності. Тут X1 та X2 — два піки в наборі ліній, які не були ідентифіковані.

2.3 Зв'язок УФ спектрального індексу квазарів з масою ЧД (Торбанюк О., Іващенко Г.Ю.)

Спектральний розподіл енергії квазарів в УФ-оптичному діапазонах характеризується наявністю так званого УФ-піку з центром на ~1000-1300 Å, широких ліній випромінювання, широких ліній поглинання (~10% всіх об'єктів) зменшенням потоку в короткохвильовій частині спектру від лінії та випромінювання Lyα через поглинання в міжгалактичному середовищі. Згідно із загальноприйнятою парадигмою будови активних ядер галактик (АЯГ) УФпік формується В навколоядерній області: континуум € тепловим випромінюванням акреційного диску, а лінії випромінювання формуються далі від ядра, в областях, які умовно представляють у вигляді хмар, що швидко обертаються навколо ядра. Основними характеристикам, якими різняться спектри квазарів в УФ-оптичному діапазоні, є еквівалентні ширини емісійних ліній та спектральний індекс α_λ. Відома емпірична обернена залежність між еквівалентними ширинами і світністю квазарів (ефект Балдвіна), яку пояснюють близькістю областей формування континууму і ліній, в той час, як фізичного пояснення різниці в α_λ досі немає. Тому для кращого розуміння процесів, що відбуваються в навколоядерній області АЯГ, важливим є встановлення зв'язків між згаданими характеристиками спектру. В наших роботах показано відсутність залежності між світністю в УФ діапазоні і α_{λ} [1], а також існування залежності між еквівалентними ширинами ліній випромінювання та α_λ для тих ліній, для яких спостерігається ефект Балдвіна В даній роботі зроблена перевірка можливого зв'язку α_λ з масою [4,5]. надмасивних чорних дір (НМЧД) в центрі квазарів.

Для цього використано власну вибірку з 3535 спектрів квазарів із SDSS DR7 з роботи [3]. Віріальну масу НМЧД для кожного об'єкту обчислено з зі світністю емпіричних співвідношень, які пов'язують <u>ïï</u> квазару та фотометричною відстанню Цi співвідношення отримані ДО нього. 3 припущенням, що область утворення широких емісійних ліній віріалізована та світність в континуумі характеризує радіус даної області, а напівширина ліній випромінювання — віріальну швидкість. Оскільки використана вибірка містить квазари із червоним зміщенням більше 2.3, використовувались емпіричні співвідношення для емісійної лінії СІV.

На Рис. 2.3.1 наведено розподіл квазарів за віріальними масами, а на Рис. 2.3.2 — діаграму логарифм маси НМЧД (в одиницях маси Сонця) — спектральний індекс. Отриманий пік розподілу логарифму мас НМЧД (в масах Сонця) квазарів припадає на ~9-10. За результатами інших авторів, наприклад, для блазарів ця величина становить ~8-9. Але для перевірки можливого зв'язку типу АЯГ з масою НМЧД необхідні додаткові дослідження з вибірками інших типів АЯГ. З діаграми "логарифм маси НМЧД — спектральний індекс" можна бачити відсутність будь-якої залежності між цими величинами. Отримані результати подано в [5].



2.4 Власний метод визначення континууму в спектрах квазарів та характеристики розподілу прозорості міжгалактичного водню в лінії 36
Lya. (Торбанюк О.)

Систематизація та аналіз результатів інших авторів по величині середньої прозорості в лінії Lya, (z), показали, що різниця величин (z).отриманих з двома стандартними методами визначення континууму становить від 5% при z=2 до 33% при z=4.5. Це спонукало до розробки власного методу для спектрів середньої роздільної здатності. Він базується на використанні композитних спектрів з підвиборок об'єктів з однаковими спектральними характеристиками. Вибір даних характеристик було зроблено на основі власних попередніх досліджень з вибіркою із SDSS DR7, поділеною на підвибірки за спектральним індексом α_{λ} , в яких було показано, що неврахування різниці в α_{λ} може дати додаткову похибку до 20% у (z) [3], а також показано відсутність залежності між еквівалентною шириною емісійних ліній та а₂ [1]. А поділ вибірки на підвибірки по α_{λ} та по монохроматичній світності на 1450 Å, <log 1₁₄₅₀>, показав [4,5], що для деяких ліній існує залежність між еквівалентною емісійних ліній та спектральним індексом шириною (кореляція чи антикореляція), переважно для тих ліній, для яких спостерігається ефект Балдвіна.

Тому композитні спектри для визначення континууму були створені із підвиборок з різними <log l_{1450} > та α_{λ} із власної нової вибірки із SDSS DR10, що містить 42140 спектри з високим відношенням сигнал-шум (з неї для композитів — 21868). Детальний опис вибірки наведено в [6]. Для кожного одиночного спектра обчислено спектральний індекс α_{λ} в діапазоні між лініями випромінювання Lya (1215 Å) та CIV (1549 Å) та визначено монохроматичну світність на довжинах хвиль 1450-1470 Å (l_{1450}). Діаграму розподілу спектрів за нахилами та світністю представлено на Рис. 2.4.1.

Використовуючи отримані значення нахилів та монохроматичної світності, було відібрано 55 підвиборок по α_{λ} та <log l_{1450} > (з бінуванням $\Delta \alpha_{\lambda}=0.2$ в діапазоні $\alpha_{\lambda}=-3.3...-1.3$ та Δ <log $l_{1450}>=0.1$ в діапазоні <log $l_{1450}>=41.7...42.3$), кожна з яких містить більш ніж 150 одиночних спектрів. На основі цих підвиборок було створено 55 композитних спектри. Приклади спектрів з однаковим значенням спектрального індексу та монохроматичної світності представлено на Рис. 2.4.3, 2.4.4.

Основними етапами власного методу визначення континууму є підбір 37 (методом мінімізації дисперсії) найкращого композиту в довгохвильовій області (поза Ly α -лісом) та корекція за величину середньої прозорості для області лісу по даних зі спектрів високої роздільної здатності. Додаткова редукція проведена за неправильну калібровку спектрів в короткохвильовій області на основі аналізу спектрів відомих блазарів. Приклад спектру квазару із z = 4.19 з апроксимованим континуумом представлений на Рис. 2.4.2.



Ha даного методу було обчислено прозорості основі значення міжгалактичного нейтрального водню в лінії Lya для діапазону червоних зміщень 2.2<*z*<5.2. Знайдені значення прозорості В діапазоні *z*<4.4 узгоджуються з результатами інших авторів, отриманими зі спектрів високої роздільної здатності, де континуум визначено вручну, що говорить про перевагу використаного методу в порівнянні з екстраполяцією континууму з довгохвильової частини спектру. На Рис. 2.4.5 наведено результати по вибірці з SDSS DR10 (чорні кружки) в порівняння з результатами інших авторів (сірі значення середньої прозорості були апроксимовані значки). Отримані степеневим законом $F(z) = exp(-\alpha(1+z)^{\beta})$, де α та β — вільні параметри, 38

отримані значення яких разом з кривою апроксимації представлені (червоним кольором) на Рис. 2.4.6. Цей результат добре узгоджується з результатами інших авторів, а його аналіз показав, що точність отриманих даних близька до точності даних, отриманих візуальним методом визначення рівня континууму. Це свідчить про те, що запропонований новий метод є кращим за попередні за рахунок можливості опрацювання великого масиву даних без втрати точності.





Рис. 2.4.6: Оптимальна апроксимація отриманих значень середньої прозорісті з інтервалом похибки 1σ для власної вибірки (червоним) в порівнянні з апроксимаціями результатів інших авторів [8].

2.5 Кросс-кореляційна функція розподілу квазарів SDSS і галактик WiggleZ. (Іващенко Г.Ю. і Василенко О.)

Методологія обчислення АКФ та ККФ і випадкові каталоги. Для обчислення АКФ блакитних галактик було використано оцінку Ленді і Шалая, яка вважається найоптимальнішою з точки зору врахування похибок. Для обчислення ККФ АЯГ та блакитних галактик використано модифіковану оцінку Ленді і Шалая. Похибки обох КФ обчислювались за методом field-to-field.

Оскільки поверхнева густина АЯГ дуже мала, а блакитні галактики достатньо однорідно і "щільно" заповнюють області, при побудові обох випадкових каталогів (для галактик і АЯГ) за орієнтир вибиралась область покриття небесної сфери каталогом блакитних галактик. Практично: вся небесна сфера заповнювалась об'єктами з випадковими координатами, з яких відбирались лише ті, відстань від яких до найближчого об'єкту з вихідної вибірки блакитних галактик становить не більше деякої критичної. За критичну відстань після декількох тестів обрано 0.2 градуси, що дозволило зберегти область покриття візуально ідентичною площі покриття вихідного каталогу галактик, при цьому не заповнюючи "прогалини", але і не виходячи суттєво за межі області. Червоні зміщення для випадкових каталогів генерувались випадковим чином із відповідними кожному вихідному каталогу розподілами.

АКФ для АЯГ було обчислено з ККФ галактик і АЯГ та АКФ галактик. Всі КФ було апроксимовано степеневим законом, а параметри апроксимації і їх маргіналізовані похибки отримано методом максимальної правдоподібності.

Результати. На Рис. 2.5.1 для прикладу зображено ККФ галактики і АЯГ та АКФ для галактик та для квазарів з найкращими апроксимаціями моделлю "двох гало" в реальному просторі, а в Табл. 2.5.1 наведено отримані параметри.

об'єкти	σ, Мпк	γ	r ₀ , h ⁻¹ Мпк	σ, Мпк	γ	r ₀ , h ⁻¹ Мпк
галАЯГ	<10	1.49±0.15	4.18±0.37	>10	2.57±0.54	7.18±0.97
галгал.	<12	1.45±0.06	6.74±0.23	>12	1.97±0.06	9.93±0.37
АЯГ-АЯГ	<10	1.71±0.18	3.15±0.25	>10	3.30±0.58	5.67±0.78

Таблиця 2.5.1: Параметри ККФ та АКФ галактик і АЯГ в реальному просторі для різних інтервалів апроксимації (о в Мпк).

Також обчислено параметри АКФ та ККФ в прострі червоних зміщень і, використовуючи співвідношення Кайзера, знайдено значення параметру $\beta = 0.58 \pm 0.08$ та параметру баєсу АЯГ І типу $b = 1.38 \pm 0.19$, яке добре узгоджується з відповідним значенням для квазарів, що є логічним в рамках уніфікованої схеми АЯГ. Результати представлені в роботі [7].

2.6 Аналіз просторового розподілу та пекулярних швидкостей квазарів. (Іващенко Г.Ю., Василенко О.)

На основі власних виборок активних ядер галактик (АЯГ) І типу та блакитних галактик з оглядів SDSS DR7 та WiggleZ DR1 отримано параметри їх крос- (ККФ) та автокореляційних (АКФ) функцій. Аналіз АКФ в реальному



апроксимаціями сумою двох степеневих законів, а також відповідні 1,2,3*5-рівні* функції правдоподібності для них. Для апроксимацій, показаних пунктиром, відповідні контури також зображені пунктиром.

просторі показав наявність її більш крутого зламу для АЯГ, ніж для блакитних галактик, що узгоджується з їх еволюційною парадигмою, в якій в близьку до часу епоху основним населенням філаментів є галактики із нашого зореутворенням, а АЯГ I типу формуються здебільшого тільки в скупченнях. На основі аналізу викривлення АКФ в просторі червоних зміщень отримано значення параметру β =0.58±0.08, що характеризує не-Габблівські рухи об'єктів до скупчень матерії, та параметру баєсу АЯГ І типу b=1.38±0.19 для <z>=0.65, що добре узгоджується з результатами інших авторів для одного з підкласів АЯГ І типу — квазарів, а також з результатами по рентгенівських вибірках АЯГ різних типів. На Рис. 2.6.1. представлено порівняння отриманого значення параметру баєса для АЯГ І за результатами інших авторів, отриманих з інших виборок квазарів. Отримані результати опубліковано в [7]. В роботі також розроблено власну методику побудови випадкового каталогу для неоднорідного покриття небесної сфери, що буде використано для аналізу просторового розподілу та параметрів пекулярних рухів квазарів на z>2 з нової вибірки із SDSS DR10.



та квазарів (за результатами інших авторів).

Список літератури:

- Torbaniuk O., Ivashchenko G., Sergijenko O. Some spectral properties of the quasar ultraviolet bump // WDS'12 Proc. of Contributed Papers: Part III - Physics (eds. J. Safrankova and J. Pavlu), Prague, Matfyzpress. – 2012. – pp. 123-128.
- [2] Torbaniuk O., Ivashchenko G. The mean transmission of the Lyα-forest at 2<z<4 from a sample of 33 high-resolution quasar spectra // Proceedings of the Workshop on results of the Project Kosmomikrofizyka-2 (Astroparticle Physics) of the NAS of Ukraine "Astrophysical and cosmological problems of invisible mass and dark energy in the Universe", November 21-22, 2012. Eds.: Danevich F. A., Tretyak V. I. 2013. pp. 62-64</p>
- [3] Ivashchenko G., Sergijenko O., Torbaniuk O. Composite spectra of quasars with different UV spectral index // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. – 2014. – V. 437. – pp. 3343-3361
- [4] Torbaniuk O., Ivashchenko G. Dependence of equivalent width of quasar emission lines on UV-optical spectral index // IAU Symp. – 2014. – V. 304. – pp. 282-283
- [5] Torbaniuk O., Ivashchenko G. Dependence between some spectral and physical characteristics of quasars // WDS'14 Proc. of Contributed Papers - Physics (eds. J. Safrankova and J. Pavlu), Prague, Matfyzpress. – 2014. – pp. 42-47
- [6] Torbaniuk O. A quasar sample for Lya-forest studies from the Data Release 10 of the Sloan Digital Sky Survey // Advances in Astronomy and Space Physics. 2015. V. 5. I. 2. P. 84-88.

- [7] Ivashchenko G. Yu., Vasylenko O. V. Cross-correlation function of SDSS DR7 I-type AGNs and WiggleZ galaxies // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. 2015.
 V. 31. I. 1. pp. 1-12
- [8] Torbaniuk O. Influence of the continuum determination method on the mean transmission in the Lyα forest // Advances in Astronomy and Space Physics. 2016.
 V. 6. I. 1. P. 34-40.
- [9] Торбанюк Е. А., Иващенко А. Ю. Средняя прозрачность нейтральной межгалактической среды в линии Lyα с использованием спектров квазаров высо- кого разрешения // принята в Кинематика и физика небесных тел. — 2016;

3. Дослідження морфології галактик та впливу оточення на внутрішні параметри галактик.

3.1 Густина оточення vs показник кольору галактик на малих

червоних зміщеннях (Добричева Д.В., Вавилова І.Б., Елиїв А.А.,

Мельник О.В)

До вибірки галактик, створеної нами на основі SDSS DR9 (0.02 <z <0.1 і $m_r < 17.7$) у 2013 році [1], був застосований 3D метод мозаїки Вороного з метою визначення щільності оточення галактик вибірки. При цьому, галактики вибірки були розділені на дві групи: яскраві центральні з Mr <-20.7 (N ~ 120000) і слабкі галактики-супутники $M_r > -20.7$ (N ~ 140000). Щоб уникнути ефекту селекції, пов'язаного зі зменшенням кількості слабких галактик з червоним зміщенням, метод мозаїки Вороного був застосований до вибірки центральних галактик. Щільність оточення галактик ми характеризували зворотним об'ємом комірки Вороного 1/V. Нижче представлені основні висновки.

Порівняно на малих червоних зміщеннях до z<0.1 простежується тенденція еволюційного зменшення ранніх типів галактик із збільшенням червоного зміщення. Таким чином, частка ранніх типів галактик зменшується з червоним зміщенням, а спіральних і пізніх типів, навпаки, збільшується.

Чим вище щільність оточення центральних галактик (тобто чим менше величина 1/V), тим більш імовірно, що центральна галактика має ранній тип. Крім того, зі збільшенням щільності слабких галактик навколо більш яскравої центральної галактики частка центральних галактик ранніх типів збільшується, а пізніх, навпаки, зменшується (Рис. 3.1.1).

Чим яскравіше галактики у вибірці, тим вище частка центральних галактик ранніх типів в ній і тим більша їх частка знаходиться в більш щільному оточенні. Крім того, частка галактик ранніх типів серед яскравих центральних галактик більше (78%) у порівнянні з вибіркою галактиксупутників (26%). Це пояснюється тим, що, в середньому, галактики ранніх типів мають більшу світність, і підтверджує, тим самим, що галактики з найбільшою світністю знаходяться в більш тісному оточенні, ніж менш яскраві галактики.



Рис. 3.1.1. Розподіл кількості галактик за щільністю галактик в комірках Вороного: (n + 1)/V, де n - кількість слабких галактик з $M_r > -20.7$, V - об'єм комірки Вороного, для різних діапазонів червоних змішень і світностей. Типи E-S0 (суцільна лінія) і Sa-Irr (пунктир) відповідають центральним галактикам, які є ядрами відповідних комірок Вороного. Кількість галактик в кожному біне нормовано на сумарну кількість центральних галактик E-Irr у кожному біні (n+1)/V.

У роботах [7, 8, 9] було показано, що центральні галактики і галактикисупутники еволюціонують по-різному, в роботах [10, 11], навпаки, були знайдені кореляції властивостей центральних галактик і їх супутників, що має свідчити про їх спільної еволюції. Тому в наступній роботі ми плануємо проаналізувати кореляції показників кольору та інших властивостей центральних галактик і галактик-супутників (в тому числі, карликових галактик) вибірки, що досліджується. Результати роботи опубліковано в [3].

3.2 Можливі взаємозв'язки в морфології центральних галактик

(Вавилова І.Б., Добричева Д.В.)

Вивчено можливі взаємозв'язки морфології центральних галактик і галактик супутників. Дослідження проводились на основі вибірки з SDSS DR9 [1]. Ми обмежили вибірку по червоному зміщенню 0.02<z<0.06 і по

абсолютній величині -24< M_r <-17. Центральні та галактики супутники були виділені за допомогою розробленого нами методу мозаїки Вороного [5], а саме 3D метод мозаїки Вороного до центральних галактик таким чином, щоб вони були ядром комірки Вороного. Для данної роботи ми обмежили центральні галактики M_r <-20.7 і їх слабкі супутники – M_r >-20.7. Слабкі галактики, що потрапляють в поле комірки, ми вважали їхніми супутниками.

Ми дослідили колір-колір діаграму центральних галактик і їх слабких супутників і порівняли кількість пар різних морфологічних типів в реальному і випадковому розподілі. Було виявлено, що існує значна домінанта Е-Е пар (>3σ) серед найбільш тісних пар (<100 кпк) (Рис. 3.2.1), але ми не знайшли цієї домінанти в не тісних парах (> 100 кпк). Отримані результати підтверджують співвідношення морфологія-щільності (ранні морфологічні типи, як правило, знаходяться в щільному середовищі, у той час як пізні — в загальному полі) [2].

3.3 Залежність морфологічного типу і показника кольору центральної галактики і галактики-сусідки на 0.02<z<=0.06

Дослідження кореляційних властивостей центральних галактик (більш масивних) і їх галактик-сусідок важливо при виборі еволюційного сценарію формування галактик. Головною ціллю нашої роботи було виявлення і дослідження взяємозв'язків "морфологія – показник кольору" центральних галктик і їх компаньонів, виділених методом мозаїки Вороного на основі вибірці галактик з огляду неба SDSS DR9 на червоних зміщеннях 0.02<z<=0.06.

Вибірка була обмежена по видимій зоряній величині $m_r < 17.7^m$ і по абсолютній зоряній величині $-24^m < M_r < -19.4^m$. В результаті вибірка містить 60561 галактик (Рис. 3.3.1). Як і в роботі [2], ми розділили нашу вибірку на дві підвибірки: центральні галактики ($M_r < -20.7^m$, N=18578) та їх більш слабкі галактики супутники ($M_r > -20.7^m$, N=41983) (Рис. 3.3.2).

Для виділення систем галактик «центральна галактика — слабка сусідня галактик» ми використали 3D-метод мозаїки Вороного, який апробований нами для різних вибірок галактик [2,4,5,6]. У даній роботі, ядром комірки Вороного вибиралися галактики з вибірки центральних галактик (див. докладніше в [2]), а галактики з вибірки слабких, які «потрапили» в поле комірки цієї центральної галактики, розглядалися як її слабкі сусіди.



Рис. 3.2.1. Залежність показника кольору центральної галактики Mg-Mi (main) підвибірки 1, 2 (bright centrals) і 3, 4 (faint centrals) від найближчого супутника Mg-Mi (sat) до 100 кпс. Кожна з підвиборок 1, 2 (bright centrals) и 3, 4 (faint centrals) розбита на чотири області в кожній з яких потрапляють наступні пари галактик: в область L-L — Late-Late, L-E — Late-Early, E-E — Early-Early и E-L — Early-Late.

Щоб дослідити залежність морфології і кольору від червоного зсуву в центральних галактиках, ми розбили нашу вибірку по червоному зсуву на дві

підвибірки: 1) 0.02 < z <= 0.04, $M_r <= -20.7$; 2) 0.04 < z <= 0.06, $M_r <= -20.7$ (Рис. 2). Сусідні галактики до цих центральним галактик були знайдені відповідно до їх червоних зміщень.



Морфологічна класифікація галактик на Е-ранні (*E, S0, S0a*) і L-пізні (від *Sa* до *Irr*) типи була проведена відповідно до методу машинного навчання «Random forest», з точністю до 0.91. Ми класифікували всі галактики нашої вибірки наступним чином. Спочатку ми сформували тренувальну вибірку, візуально визначивши морфологічні типи для 764 галактик нашої вибірки, випадково вибравши галактики з різних діапазонів червоних зміщення і світності. Для тренування класифікатора ми використовували абсолютні величини M_u , M_g , M_r , M_i , M_z , показники кольору і зворотний індекс концентрації кольору до центру *C50/C90*.

Ми провели бінарну морфологічну классфікацію за допомогою програмного забезпечення з відкритим кодом KNIME Analytics Platform ver. 2.11.3, яке призначене для передбачення (класифікації) даних різними методами машинного навчання (machine learning) і активно застосовується в науці (data science). Спочатку ми тренували наші класифікатори методами: «Naive Bayes», «Random Forest», «Multi Class Classifier», «Support Vector

Classifier» (SMO), based on WEKA 3.7 software, i neutral networks (RProp MLP). Точність методів ми оцінювали за допомогою методу k-folds validation: ми розділили тренувальну вибірку на випадково обрані 5 частин, і по черзі 4 з них служили тренувальними і одна тестовою вибірками. Точність класифікації визначалася як середнє за тестовими вибірками. Виявилося, що метод «Random forest» дає найвищу точність - 91% правильно класифікованих (96% E i 80% L). Точність інших методом від 85% до 90%.

Таким чином, використовуючи інформацію про абсолютні величини, показники кольору, *C50/C90* і тренуючи класифікатор методом «Random forest» на галактиках з візуальними морфологічними типами, ми застосували відповідні критерії до ~60000 галактик з невідомими типами і отримали їх класифікацію.

На Рис. 3.3.3 представлені залежності показників кольору M_g - M_i центральної галактики і першої (найближчій) галактики-сусідки для двох підвибірок галактик (Рис.3.3.2.), коли взаємне відстань між ними не перевищує 100 кпс. Для знаходження залежностей «морфологія-показник кольору» на кожному з малюнків виділено пари галактик різних морфологічних типів: *L-L* — центральна галактика і сусідня галактика мають пізній морфологічний тип; *L-E* — центральна галактика має пізній тип, а сусідня - ранній; *E-E* — обидві галактики є галактиками раннього типу; *E-L* — центральна галактика має ранній тип, а найближча сусідня галактика, відповідно, пізній.



Рис. 3.3.3. Залежності показників кольору M_g - M_i центральної галактики і найближчої галактики сусідки до 100 кпс для двої підвибірок Рис.2.

Морфологічний	Z	Реальні галак	тики сусідки	Галактики сусідки вибрані випадковим чином		
ТИП		Ν	\sqrt{N}	Ν	\sqrt{N}	
L-L	0.02-0.04	35	5.92	34	5.83	
	0.04-0.06	87	9.33	103	10.15	
L-E	0.02-0.04	24	4.9	25	5	
	0.04-0.06	62	7.87	46	6.78	
E-E	0.02-0.04	174	13.19	100	10	
	0.04-0.06	289	17	183	13.53	
E-L	0.02-0.04	106	10.3	180	13.42	
	0.04-0.06	229	15.13	335	18.3	

Таблица 3.3.1. Кількісний розподіл пар (L-L, L-E, E-E і E-L) головна - найближча сусідня галактика до 100 кпс, що відображені на Рис. 3.3.3.

Як можна побачити з Таблиці 3.3.1 існує перевищення реальних Е-Е пар. Ми порівняли реальний розподіл з випадковим. Склали вибірку випадкових сусідніх галактик наступним чином: якщо у центральної галактики була галактика сусідка до 100 *кпс*, то для неї ми вибирали випадковим чином сусідку з усього списку реальних сусідів випадковим чином сто раз, а потім ми усереднювати показник кольору випадкової сусідки. Ми не побачили перевищення Е-Е для пар вибраних випадковим чином (Таблиці 3.3.1). Також досліджуючи залежності «морфологія-показник кольору» центральної галактики від другої і третьої галактики сусідки ми теж не побачили перевищення Е-Е пар ні для реальних ні для вибраних випадковим чином. Висновки: Ми створили вибірку центральних галактик і їх сусідів з використанням 3D методу мозаїки Вороного. Визначили морфологічний тип галактик використовуючи метод машинного навчання «Random Forest», которий забеспечив точність - 91% (96% - ранні типи (Е), 80% - пізніші типи (L)).

Ми порівняли кількісний розподіл показнік кольору центральних галактик і їх сусідів, різних морфологічних типів з відповідним випадковим розподілом.

Ми виявили перевищення E-E пар (> 3σ) серед найзакритіших пар центральна — найближчагалактика сусідка (відстань між компонентами до 100 *кпк*) і ми не знайшли жодного такого перевищення серед більш віддалених пар центральна - друга/треття сусідка (> 100 *кпк*).

Наші результати підтверджують зв'язок морфології щільності (ранні морфологічні типи, як правило, знаходяться в більш щільному оточенні, в той час як пізні - в областях з низькою щільністю). Наші результати показують, що злиття грають важливу роль у формуванні еліптичних галактик.

За даними дослідження готується стаття до друку.

Список літератури:

- [1] Dobrycheva D.V. The New Galaxy Sample from SDSS DR9 at
 0.003 ≤ z ≤ 0.1 // Odessa Astronomical Publications. 2013. V. 26. —
 P. 187-188.
- [2] Dobrycheva D.V., Melnyk O.V., Vavilova I.B., et al. Environmental Density vs. Colour Indices of the Low Redshifts Galaxies // Astrophysics. — 2015. — 58. — P.168-180
- [3] Dobrycheva D.V., Melnyk O.V., Vavilova I.B., Elyiv A.A. Environmental Properties of Galaxies at z<0.1 from the SDSS via the Voronoi Tessellation // Odessa Astronomical Publications. —2014. — V. 27. — P. 26-27.
- [4] Melnyk O.V. Interacting galaxies in sparsely populated groups // Astron. Lett. 2006.— 32. P. 302–307.
- [5] Elyiv A., Melnyk O., Vavilova I. High-order 3D Voronoi tessellation for identifying isolated galaxies, pairs and triplets // MNRAS. — 2009. — 394. — P.1409-1418

- [6] Melnyk O. V., Elyiv A. A., Vavilova I. B. The structure of the Local Supercluster of galaxies detected by three-dimensional Voronoi's tessellation method // KFNT.— 2006. — 22. — P.283-296
- [7] Peng Y.-J., Lilly S.J., Kovac K. et al. Mass and Environment as Drivers of Galaxy Evolution in SDSS and zCOSMOS and the Origin of the Schechter Function // Astrophys. J. — 2010. —V. 721. — P. 193-221.
- [8] Tinker J .L., Leauthaud A., Bundy K. et al. Evolution of the Stellar-to-dark Matter Relation: Separating Star-forming and Passive Galaxies from z = 1 to 0 // Astrophys. J. — 2013. —V. 778. — 18 pages.
- [9] Kovac, K. Lilly S.J., Knobel C. et al. zCOSMOS 20k: satellite galaxies are the main drivers of environmental effects in the galaxy population at least to z~0.7 // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. — 2014. —V. 438 — P. 717-738.
- [10] Weinmann S.M., van den Bosch F.C., Yang X et al. Properties of galaxy groups in the Sloan Digital Sky Survey - I. The dependence of colour, star formation and morphology on halo mass // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. — 2006. —V. 366. — P. 2-28.
- [11] Hartley W.G., Conselice C.J., Mortlock A.et al. // arXiv1406.6058. 2014.

4. Дослідження мультихвильових властивостей ізольованих галактик з активними ядрами.

4.1 Оцінка мас НМЧД в ізольованих АЯГ з каталогу 2МІG.

(Вавилова І. Б.)

Одним із кращих методів оцінки маси і об'єму надмасивної чорної діри (НМЧД) в центрі АЯГ є співставлення траєкторій найближчих зір. Але цей метод вимагає тривалих спостережень (з високою роздільною здатністю) і може бути застосованим для найближчих галактик (включно Галактику, зокрема, цей метод успішно використовується групою Галактичного Центру в Інституті позаземної фізики ім. Макса Планка та UCLA). Грубі оцінки маси НМЧД можна отримати за допомогою емпіричних залежностей між величинами дисперсій швидкостей зір і максимальною швидкістю руху газу:

$$\frac{M_{BH}}{10^8 M_{sum}} = k \left(\frac{\sigma}{200 km/s}\right)^2$$

де σ є дисперсією швидкостей зір. Коефіцієнти *k* і *n*, наприклад, [1]: *k*=3.1, *n*=4; [2]: *k*=1.9, *n*=5.1, використовувалися в роботі [3]

$$\log\left(\frac{M_{BH}}{M_{see}}\right) = 4.02 \log\left(\frac{\sigma}{200 \text{ km/s}}\right) + 7.96 \qquad (2.1)$$

з урахуванням максимальної швидкості обертання газу:

$$\log\left(\frac{M_{BH}}{M_{max}}\right) = 5.1\log(v_m) - 4.4$$
(2.2)

У нашій роботі оцінка мас НМЧД в ізольованих АЯГ була виконана за допомогою відношення «М-дисперсія швидкостей зір», так званого "Фабер-Джексона закону для мас чорних дір".

Маса НМЧД в ізольованих АЯГ, розраховані у цей спосіб, неоднозначні для деяких 2МІG ізольованих АЯГ. Це пов'язано з нелінійною залежністю *Vmax* на *Vdis (* σ). На Рис 4.1.1 представлене це співвідношення для 2МІG ізольованих ядер галактик.



Як відомо, метод реверберації широко використовуватися для визначення

маси НМЧД в АЯГ [10-12]. Відповідно до нього: $M = \frac{fcr\Delta v^2}{G}$, де с – швидкість 56

світла, G – гравітаційна стала. Фактор *f* порядку одиниці і залежиті від структури, кінематики та і орієнтації області широких емісійних ліній (ШЕЛ).

Віріальна маса М=ст $\triangle V^2/G$ використовується дуже часто для подібних оцінок. Було показано, що *f*=1,5 для сферично симетричного стану вільного падіння руху газу в ШЕЛ області, *f*=3 для кеплеровських орбіт з випадковими нахилими, і f=2.0/sin²i для кеплеровських дисків з кутом нахилу *i* (у напрямі зору). Onken et al. 2004 відкалібрували фактор *f* шляхом порівняння "реверберації" маси і маси, отриманої при вимірюванні дисперсії швидкості зорі в сферичній складовй галактик, і отримали *f* = 5,5±1,7.

Використовується також віріальна маса у поєднінні з величиною Hα FWHM (повна широка половина максимуму в цій лінії) [5]:

$$M_{BH} = (3.0^{+0.6}_{-0.5}) \times 10^{6} \left(\frac{L_{H\alpha}}{10^{42} \, ergss^{-1}}\right)^{0.45 \pm 0.03} \left(\frac{FWHM_{H\alpha}}{10^{3} \, kms^{-1}}\right)^{2.06 \pm 0.06} M_{\Theta}$$
(2.3)

 R_{BRL} можна оцінити побічно від однієї епохи спектрів з використанням емпіричної кореляції між R_{BRL} і оптичним континуумом світності, який був відкалібрований за допомогою реверберації: $R_{BLR} \sim k (\lambda L5100A)^n$ в [4] було знайдено:

$$R_{BRL} = \left(20.0^{+2.8}_{-2.4}\right) \left(\frac{L_{5100}}{10^{44} \, ergss^{-1}}\right)^{0.67\pm0.07}$$



Рис 4.1.2: Схема масса-світність ЧД з [6] Положення 2МІG ізольованих АЯГ показано квадратиками: чорні - маси НМЧД були отримані з Vdis або Vmax; зелені - маси НМЧД розраховувались з лінії Нα; червоні: UGC01597 - ізольовані галактики з активним зореутворенням; NGC4152 - 2МІG ізольована галактика з НІІ ядерною активністю. Суцільні лінії представляють LEdd, 0.1 LEdd, 0.01 LEdd, де LEdd – границя Еддінгтона.

Ми розрахували маси надмасивних чорних дір для 30 ізольованих ядер галактик в північному небі, і виявили, що 2МІG ізольовані АЯГ мають маси систематично менші у порівнянні з іншими сейфертовськими галактиками. Крім того, 2МІG ізольовані АЯГ галактики з малою НМЧД мають більш високий темп акреції, а галактики з більш масивною НМЧД мають нижчий темп акреції.

4.2 Дослідження мультихвильових властивостей ізольованих галактик з активними ядрами на z<0.1 (Вавилова І. Б., Пулатова Н. Г.)

Ізольовані галактики є ідеальною астрофізичною лабораторією для розрізнення властивостей тих галактик, еволюція яких відбувалася разом із оточуючими їх галактиками. Ізольовані галактики з активними ядрами (АЯГ) є

унікальними в цьому сенсі, оскільки дають можливість проаналізувати їхні мультихвильові властивості без впливу оточення, а також виявити фізичні параметри акреції на центральні надмасивні чорні діри без урахування зовнішніх ефектів оточення.

Для такого дослідження було виділено 36 ізольованих АЯГ в північному небі ($\delta < -15^{\circ}$) шляхом крос-кореляції двох каталогів позагалактичних об'єктів: 2MASS каталог ізольованих галактик (2MIG) (Караченцева та ін.., 2011) та остання версія каталогу Veron-Cetty квазарів і активних ядер галактик (K_S <= 12.0^m в 2MASS і V_r <15000 км / с). Ми класифікували ці 2MIG ізольовані АЯГ на декілька категорій (дійсні (А) та слабкі (В) ізольовані АЯГ, композити (С), зі слабкими галактиками-супутниками (D)), щоб дослідити їхні мультихвильові властивості, використовуючи всі наявні архівні бази даних, доступні з літератури і баз даних, а також власні спостережні дані, отримані на телескопах 2.6-м Кримської астрофізичної обсерваторії і 2-м телескопу Національного астрономічного інституту Таїланду. Отримані дані приведено в Таблиці 4.2.1.

Ми прийшли до висновку, що більшість з ізольованих 2МІG АЯГ північного неба належить до типів S0-Sc, де близько 40 % мають тип Sb (рис. 4.2.1, верхній). Половина 2МІG ізольованих АЯГ – це галактики типу Sy2 (рис. 4.2.1, нижній). Інші гістограми розподілів параметрів ізольованих АЯГ приведено на рис. 4.2.2–4.2.5. Ми виявили, що 2МІG ізольовані АЯГ є слабкими джерелами, від радіо до X-діапазону електромагнітних хвиль, що збігається з гіпотезою про низьку світну активність АЯГ в Місцевому Всесвіті. Відзначимо, що позиції трьох галактик (CGCG179-005, UGC10774, CGCG248-019) на ВРТдіаграмі, які були раніше класифіковані як сейфертовські галактики, знаходяться в зоні ядерної активності НІІ типу, тобто ці об'єкти не є АЯГ (Рис. 4.2.7).

Таблиця 4.2.1: Вибірка 2МІG ізольованих АЯГ північного неба та їхні основні мультихвильові властивості (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) (13) (14)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
2MIG	Name	RA	DEC	V_h	Type	Ν	Radio	IR	0	UV	X-ray	R	Sp Typ
		hh:mm:ss	dd:mm:ss	(km/s)			(mJy)	(Jy)	(mJy)	(mag)			
A · Pure 2MIG isolated AGNs													
417	MCG-02-09-040	03.25.04.94	-12.18.28 5	4495	S0-a ¹⁹	_	18 15	3.52^{6}	41	-	1.17	44	Sv219
488	UGC02036	04:02:48:25	+01:57:56.6	3814	SB(s)d ⁸	_	27 /5	11.99	6.5		17	5.8	Sy210
1126	CGCG179-005	08:25:10.24	+37:59:20.2	6362	Sh19	11	4.85		3.6	-	1	1.3	Sy23
1945	NGC3035	00:51:55.02	-06:40:22.5	4350	SB(rc)bc ⁸	- - 01	6.95	1 616	14.6		1 77	0.4	Sv1 51
1599	UGC06087	11:00:32.50	+02:06:57.3	11824	SBh11	4	0.2	1.01	4.0	16 012	1.7	0.4	Sv13
1646	CGCG243-024	11:53:41.76	+02:00:57:5	7385	SB(r)a ⁸	_		0.06	1.5	15 614	0 1913		Sy1n ³
1040	NGC5664	14:33:43.60	-14:37:10.0	1505	Sa19		665	4 16	4.5	15.0	0.12	14.7	Sy210
2067	MCG+00-25-022	15:07:45.04	+51:27:00.6	13801	SABb19		2.85	0.86	9.5			0.5	Sy110
2007	DGC86201	18:51:50.48	+11:52:33.7	2603	SB(r)c	_	8.45	5 015	4.1		-	9.0	Sy110
2010	NGC6051	20.37.14.07	+11.52.55.7	1424	SAB(rs)bc ⁸		70.45.	97 g6	100	17 517	0.00518	07	Sy210
2011	NGC0951	20.57.14.07	+00.00.20.3	1424	3AD(18)0C	_	36^{16}	31.5	100	11.5	0.005	0.7	3y2
3107	2MFGC17245	22:55:59.94	-12:22:11.7	7552	Sc19	3^{1}	10.3^{5}	-	2.2	-	-	4.7	AGN ²⁰
3110	UGC12282	22:58:55.28	+40:55:55.9	5097	SABa ¹⁹	2^1	11.8^{21}	3.5^{15}	5.9	-	2.1^{7}	2	Sy1.5 ³
3118	NGC7479	23:04:56.66	+12:19:22.3	2381	SB(s)c ⁸	4^{1}	$101^{5};$	25.8^{9}	104	14.8^{17}	0.023^{18}	0.9	Sy1.9 ¹
							41^{22}				1.9^{7}		
3128	IC5287	23:09:20.28	+00:45:23.0	9715	(R)SB(r)b ⁸	_	-	$< 0.3^{9}$	5.8	17.1^{17}	-	-	Sy110
3166	IC1495	23:30:47.73	-13:29:07.6	6384	SAB(r)b ⁸	1^{1}	18.9^{5}	$< 4.3^{6}$	28.6	-	-	0.7	Sy2 ¹⁰
B: Weal	k 2MIG isolated AGN	Is											
9	IC1529	00:05:13.22	-11:30:09.3	6751	(R)SA0(r)8	_	3.4^{5}	-	11.4	16.7^{23}	-	0.3	AGN ²⁰
223	NGC0773	01:58:52.01	-11:30:52.6	5437	SAB(r)a ⁸	1^{1}	4.9^{5}	1.6^{6}	11.5	-	-	0.4	Sy3 ³
287	NGC0918	02:25:50.22	+18:29:56.1	1508	SAB(rs)c ⁸	1^{2}	-	6.9^{9}	1.8	14^{23}	-	-	AGN ¹⁰
1989	PGC989455	14:29:33.27	-09:33:40.5	12879	S0-a ¹⁹	_	5.8^{5}	-	2.4	-	-	2.4	Sy3
2202	UGC10244	16:09:55.47	+43:07:44.3	9785	Sbc ¹⁹	_	2.2^{21}	1.2^{9}	1.9	-	-	1.2	Sy310
C: 2MI	3 isolated composites												-
35	IC0009	00:19:44.00	-14:07:18.4	12622	Sb(r) ¹⁹	_	8.8^{5}	1.3^{6}	4.5	-	-	1.9	Sy2 ¹⁰ , H
70	NGC0157	00:34:46.75	-08:23:47.3	1673	SAB(rs)bc8	_	136^{5}	-	453	13.4^{23}	-	0.3	Sy2, H
479	PGC89963	03:56:00.88	-13:42:32.7	8793	-	_	8.6^{5}	3.5^{6}	2.7	-	-	3.2	Sy2 ¹⁰ , H
1454	MCG-02-27-009	10:35:27.35	-14:07:47.6	4529	SB0(rs) ⁸	_	4.3^{5}	1.6^{6}	11.4	-	-	0.4	Sy2, HII
1981	MCG-02-37-004	14:26:12.28	-11:54:16.3	12422	SABb ¹⁹	_	8.3^{5}	1.2^{6}	4.5	-	-	1.8	Sy2, HII
2357	UGC10774	17:14:09.07	+58:49:06.7	8873	SBAbc	1^{3}	1.5^{24}	0.5^{6}	0.08	17.5^{25}	-	18.75	Sv3, H
D: 2MI	G isolated AGNs with	faint nearby co	mpanions (acco	rding to N	ED search)								
267	UGC01757	02:17:23.07	+38:24:49.9	5060	S0-a ¹⁹	2^{3}	16.3^{5}	-	5.8	-	-	2.8	Sv2 ¹⁰
320	NGC1050	02:42:35.57	+34:45:48.4	3904	(R)SB(s)a ⁸	1	31.9^{21}	8.9^{9}	14.9	-	-	2.1	Sv2 ¹⁰ , H
1086	IC2227	08:07:07.17	+36:14:00.1	9673	Sa ¹⁹	2	5.1^{5}	1.1^{6}	5.5	-	-	0.9	Sv2
1571	UGC06398	11:23:11.44	+29:35:53.9	14137	Sbc ¹¹	1	4.15	-	1.9	-	-	2.1	Sv2 ¹⁰
1633	UGC06769	11:47:43.69	+01:49:34.3	8539	SB(r)b ⁸	1	_	0.6^{9}	0.3	-	-	-	Sv210
1873	NGC5231	13:35:48.25	+02:59:55.6	6523	SBa ⁸	5	11.7^{5}	1.36	9	17.1^{27}	1.8^{7}	1.3	$Sv2^3$
1915	NGC5347	13:53:17.85	+33:29:26.7	2384	(R)SB(rs)ab ⁸	2	5.6^{21} ;	2.6^{6}	18.7	16.9^{14}	0.03^{13}	0.3	Sv2 ¹⁰
1010	11000011	10100111100	10012012011	2001	(10)00(10)00	-	3.1^{28}	2.0	10.1	10.0	0.00	0.0	0,2
2018	CGCG248-019	14:43:31.25	+49:23:35.3	9032	Sa ²⁶	3	3.8^{5}	1.01^{6}	3.9	-	-	0.9	Sv1. H
2183	UGC10120	15:59:09.67	+35:01:47.3	9438	SB(r)b ⁸	2	5.9^{5}	1.37^{9}	2.4	14.5^{14}	0.3^{29}	2.5	Sv1n ³
3051	MCG-02-57-008	22:29:55.37	-08:16:45.5	10577	SBAc ¹⁹	2	65	1.32^{6}	8	-	-	0.8	AGN ²⁰
¹ distan	ce to the nearest NEI) faint nearby co	ompanion satisfi	es 2MIG i	solation criteria. ²	2 Neiøl	nbour cente	r of Galaxi	es Group				
a see Appendix R for the comments 4 hubba et al (1903) 5 Condon et al (1908) 6 Moshir et al (1900) 7 Origination et al (2010)													
de Varcouleurs et al (1991) ⁹ Lisenfel det al (2007) ¹⁰ Véron - Cetty & Véron (2006) ¹¹ Nison (1073) ¹² Catinalla et al (2010) ¹³ Lida et al (2005)													
¹⁴ Muñoz Marín et al. (2007). ¹⁵ Beichman et al. (1988). ¹⁶ Sramek (1975). ¹⁷ Gil de Paz et al. (2007). ¹⁸ A kylas & Georgantonoulos (2000). ¹⁹ Karachanteava et al. (2010).													
²⁰ Véron-Cetty & Véron (2010). ²¹ Condon et al. (2007). ²² Creation (1991). ²² State et al. (2007). ²⁴ Fadda et al. (2006).													
²⁵ I emonias et al. (2011). ²⁶ Nair & Abraham (2010). ²⁷ Smith & Smick (2010). ²⁷ Gallimone et al. (2006). ²⁹ Gallimone et al. (2006).													
Lemomas et al. (2011), Nair & Abranam (2010), Smun & Struck (2010), Galiimore et al. (2006), Galio (2006),													

Вперше ми виявили, що всім ізольованим АЯГ спектрального типу Syl (без слабких галактик-супутників) притаманна така морфологічна особливість як бар (рис. 4.2.6). Це свідчить про те, що бар має вирішальне значення для існування області широких емісійних ліній (ШЕЛ) в ізольованій галактиці і забезпечує передачу газу і пилу від диску галактики в область активного ядра. Таким чином, взаємодія з сусідніми галактиками не є необхідною умовою для формування області ШЕЛ.

Для цього дослідження були використані дані космічних обсерваторій УФ-, ІЧ- і Х-діапазонів. Результати роботи опубліковано в [15].







Список літератури:

[1] Merritt D. Eds.: Francoise Combes, Gary A. Mamon, and Vassilis Charmandaris ASP Conf. Ser., 1999, 197, 221

[2] McConnell, Nicholas J.; Ma, Chung-Pei; Gebhardt, Karl; et al. 2011, Nature, 480, 215

- [3] Ho, L.C., Darling, J., & Greene, J.E. 2008, apj, 681, 128
- [4] Greene J. E. & Ho L. C. 2005, ApJ, 630, 122
- [5] Greene, J. E.; Ho, L. C. 2007, ApJ, 670, 92G
- [6] Peterson B. M., et al., 2004, ApJ 613, 682
- [7] Chesnok N.G., 2010, Kosm. Nauka i Teth. 16, 77
- [8] Karachentseva, V. E., Mitronova, S.N., Melnyk O.V., & Karachentsev I. D., 2010, Bull

SAO, 65, 1

[9] Veron-Cetty M. P., 2010, A&A, 510, V10

[10] Pulatova N., Vavilova, I., Berczik P. Proceedings IAU Symposium 290 (2013) 297

[11] S. G. Sergeev, S.A. Klimanov, N.G. Chesnok, V.I. Pronik . Astronomy Letters **33** (2007) 429.

[12] S. G. Sergeev, S. A. Klimanov, V. T. Doroshenko et al. MNRAS, 410 (2011) 1877.[13] Ya. S. Yatskiv, A. N. Alexandrov, I. B. Vavilova, V. I. Zhdanov et al. "General"

Relativity Theory: Tests through Time",

Kyiv, MAO NAS of Ukraine (2005), 288 p.

[14] Fulvio Melia. The Galactic Supermassive Black Hole. Prinston University Press, 2007.

[15] **Pulatova N.G., Vavilova, I.B.**, Sawangwit U., **Babyk Iu.V**., Klimanov, S. The 2MIG isolated AGNs - I. General and multiwavelength properties of AGNs and host galaxies in the northern sky // Mon. Not. R. Astron. Soc., 447, Issue 3, p. 2209-2223 (2015)

5. Дослідження галактик з активними ядрами в рентгенівському діапазоні.

5.1 Дослідження рентгенівських властивостей галактик з активними ядрами (Вавилова І.Б., Василенко А.А.)

Виконане дослідження рентгенівських спектрів 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. Вибірка включає у себе 54 галактики типу Сейферт 1 (підтипи 1–1.5) та 41 галактику типу Сейферт 2 (підтипи 1.8-2), або 25 радіо-тихих та 70 радіогучних галактик. Для галактик вибірки отримано параметри рентгенівських спектрів за даними супутників XMM-Newton та INTEGRAL/IBIS. Для отриманих параметрів рентгенівських спектрів галактик були побудовані та досліджені на наявність ймовірного зв'язку залежності «фотонний індекс Г параметр відносного відбиття R», «фотонний індекс Γ — енергія обрізання E_{cut} -_{off}», «параметр відносного відбиття R – еквівалентна ширина лінії Fe K_a», «еквівалентна ширина лінії Fe K_a — внутрішня світність L_{corr}» (ефект Балдвіна), та «величина поглинання _н – еквівалентна ширина лінії *EW* Fe K_a». 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 (Рис. 5.1.1). 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. цілому, проведений аналіз свідчить про індивідуальну специфіку АЯГ, яка виходить за рамки стандартних положень уніфікованої схеми Антонуччі – Міллєра і вимагає додаткових уточнень до останньої.

Рис. 5.1.1. Залежність фотонного індексу Γ від коефіцієнта відносного відбиття R. Кружечками позначено дані для галактик типу Сейферт 1, квадратиками – Сейферт 2 (Vasylenko et al., 2015).

Було створено вибірку 62 ізольованих АЯГ шляхом крос-кореляції двох каталогів позагалактичних об'єктів, а саме 2MASS-каталог ізольованих галактик (2MIG) та каталог Veron-Cetty квазарів і активних ядер галактик, яка була досліджена на наявність супутникових спостережень у рентгенівському діапазоні місіями Swift, Chandra, XMM-Newton, INTEGRAL та NuStar. З 36 ізольованих галактик вибірки для північного неба, лише десять вже рентгенівському спостерігалися діапазоні космічними згаданими В обсерваторіями i були проаналізовані отримання фізичних 3 метою властивостей та параметрів моделі. Досліджувані галактики відносяться у своїй більшості до рентгенівських слабких, тому якість їхніх спектрів великою мірою залежить від часу експозиції. Об'єднавши наявні дані космічних обсерваторій ХММ-Newton i INTEGRAL, ми проаналізували з використанням програмного пакету XSpec спектри ще семи галактик: NGC 6300 (Sy1), Circinus galaxy (Sy2), NGC 1050 (Sy2), NGC 2989, ESO 317-038, ESO 438-009 (Sy1.5) та CGCG 179-005 (BLAGN). Для них були отримані значення таких величин (таблиця 5.1.1.) як "внутрішня" (виправлена за поглинання) світність у діапазоні 210 кеВ у одиницях 10^{40} ерг·с, степеневий індекс (Г) та значення нейтрального поглинання (стовпчикова густина, N_H) в одиницях 10^{20} см⁻². Приведена Табл. 5.1.1 частини отриманих нами результатів містить такі параметри галактик: порядковий номер за каталогом 2MIG, назва, пряме сходження, схилення, швидкість (у км/с), морфологічний тип, потік у діапазоні 2–10 кеВ у одиницях 10^{-12} ерг/см², спектральний тип [2]. Приклад одного з найкращих за якістю даних рентгенівського спектру та його моделювання ізольованої галактики з активним ядром NGC 6300 приведено на Рис. 5.1.2.

Таблиця 5.1.1. Параметри ізольованих 2MIG галактик з активними ядрами, отримані авторами.

Назва	RA	DEC	Чер- воне змі- щення, z	Спект- ральний тип	Стовп- чикова густина, N _H (10 ²⁰ см ⁻²)	Фотонний індекс, Г	Світність (10 ⁴⁰ ерг·с), в діап. 2-10 кеВ
NGC 1050	02:42:35.6	+34:45:49	0.013	Sy2	-	2 (фікс.)	2.15 (0,5-2 кеВ)
NGC 2989	09:45:25.2	-18:22:26	0.014	AGN	5.07±0.08	1.69±0.68	4.65
ESO 317-038	10:29:45.6	-38:20:55	0.015	AGN	1705 ⁺³² -14	1.7 (фікс.)	27.1
ESO 438-009	11:10:47.9	-28:30:04	0.024	Sy1.5	46.1±40	1.86±0.06	357
NGC 6300	17:16:59.5	-62:49:14	0.004	Sy2	1895±24	1.62±0.02	59.6
WKK 3050 (Circinus)	14:13:09.9	-65:20:20	0.001	Sy2	4743±81	1.18±0.07	12.1
CGCG179-005	08:25:10.2	37:59:20	0.021	BLAGN	146+36-28	1.71±0.04	213

Подано заявки на спостереження космічних місій рентгенівських 66

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. Важливо те, що 4 з них ще не спостерігались у рентгенівському діапазоні.

Рис. 5.2.2. Рентгенівський спектр ізольованої галактики з активним ядром NGC 6300 в діапазоні енергій 0,5-250 кеВ. Нижня панель — статистична оцінка відношення "модель/спостережні дані".

5.2 Рентгенівські властивості галактик з активними ядрами

(Василенко А.А.)

Дослідження проводились за трьома напрямками: (1) аналіз рентгенівських характеристик об'єктів оригінальної вибірки 60 ізольованих галактик з активними ядрами; (2) аналіз та фізична інтерпретація та побудова схематичної структури акреційного диску активної галактики з вузькими лініями типу Сейферт 1 NGC4748; (3) кінцева підготовка та коректура наукового огляду про основні властивості активних ядер галактик у Журнал фізичних досліджень.

1) Було виконано спектральний аналіз рентгенівських спостережень 13 галактик - ESO 317-038, ESO 438-009, Circinus galaxy, CGCG 179-005, NGC 1050, NGC 2989, NGC 5347, NGC 6300, UGC 01597, UGC02936, UGC 10120, 2MIG1607 та MCG-02-09-040. У залежності від якості спектрів, для них були отримані значення таких величин, як "внутрішня" (виправлена за поглинання) світність у діапазоні 0,5-2,0 кеВ та 2-10 кеВ у одиницях 10^{40} ерг/с, значення степеневого індексу Γ , величини нейтрального поглинання (стовпчикова густина, $N_{\rm H}$) в одиницях 10^{20} см⁻², енергії експоненційного обрізання $E_{\rm cut}$ та параметру відбиття R.

До публікації готується стаття за результатами аналізу спектральних та часових характеристик для чотирьох галактик — NGC 5347, MCG-02-09-040, ESO 438-009 та IGR J11366-6002. Основними даними для їх аналізу є відкриття у вільний доступ даних нових спостережень у діапазоні 3-79 кеВ, виконані супутником NuStar. Для повноти дослідження було також додано дані спостережень інструментів супутника Swift — BAT та XRT, що дозволило розширити спектральний діапазон до 150 кеВ у вищі енергії та до 0,5 кеВ у нижчі.



моделювання при фіксованому нахилі 3/5 в автомодельній моделі (апроксимація 1) та степеневою моделлю (апроксимація 2).

Всього вибірка містить 60 галактик. Пошук наявних рентгенівських спостережень сучасними космічними місіями, а саме Chandra, Suzaku, XMM-Newton, Swift, INTEGRAL, NuStar, виявив присутність спостережень лише для 34 галактик. Таким чином, майже половина галактик потребує рентгенівських спостережень.

За даним напрямком роботи протягом звітного періоду також було подано заявку на спостереження космічною рентгенівською місією XMM-Newton спостереження 4 ізольованих АЯГ NGC 5968, IC 1495, ESO 506-004, ESO 553-042 з тривалістю експозиції кожної щонайменше 35 тис. секунд. Комітет з планування спостережень заявку відхилив.

2) Було створено вибірку трьох галактик типу Narrow-line Sy1 (NGC 4748, RBS 2041, LEDA 2816068), для яких було нещодавно виставлено е публічний

доступ дані рентгенівських спостережень супутника XMM-Newton та аналіз яких ще не був представлений у публікаціях. Для двох з цих галактики, а саме для RBS 2041 та LEDA 2816068 було виконано попередній спектральний аналіз без фізичної інтерпретації. Для галактики NGC 4748, з використанням додаткових даних інструмента супутника Swift — BAT та INTEGRAL — ISGRI, було виконано глибокий часовий та спектральний аналіз. На базі його результатів було виконано пошук та обґрунтування фізичної інтерпретації характеристик спостережуваного випромінювання. З метою покращення фізичної інтерпретації, було виконано додатковий аналіз ультрафіолетових даних бортового оптичного телескопу супутника XMM-Newton та перетворення їх у формат, який дозволяв одночасно аналізувати їх разом з рентгенівським спектром. В результаті, це дозволило: побудувати схематичну структуру акреційного диску активного ядра NGC 4748; запропонувати просторовий розподіл джерел рентгенівського випромінювання у акреційному диску у залежності від енергії цього випромінювання; оцінити масу надмасивної чорної діри у центрі NGC 4748.

За результатами роботи над галактикою NGC 4748 було написано відповідну статтю "Narrow-line Sy1 NGC 4748 in X-rays: detailed case-study", яка була подана до міжнародного видання Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. Також ці результати були представлені на Восьмій науковій конференції пам'яті Б.Т.Бабія "Вибрані питання астрономії та астрофізики" у доповіді "Broad-band view on to narrow-line Sy1 NGC 4748: UV to X-rays".

3) Була виконана кінцева підготовка та коректура великого огляду про основні властивості активних ядер галактик у Журнал фізичних досліджень (у співавторстві з Ждановим В.І. та Федоровою О.В.). Було дописано одна глава статті — про відкриття радіо-гучних галактик типу FR0 та частина тексту про активні ядра галактики типу NLSy1. Кінцевий обсяг огляду — 18 сторінок.

Рівень складності матеріалу відповідає студентам старших курсів та аспірантам. Стаття подана в журнал та прийнята до друку.

Список літератури:

- [1] Fedorova E. The peculiar megamaser AGN NGC 1194: Comparison with the warped disk candidates NGC 1068 and NGC 4258 / Fedorova E., Vasylenko A., Hnatyk B.I., Zhdanov V.I. // Astronomische Nachrichten – 2016. – Vol. 337, No. 1/2 – P. 96-100.
- [2] Вавилова І.Б. Астрокосмічні бази даних для досліджень мультихвильових і космологічних властивостей позагалактичних об'єктів / Вавилова І.Б., Бабик Ю.В., Добричева Д.В., Василенко А.А., Іващенко Г.Ю., Сергієнко О.М., Торбанюк О.О., Пулатова Н. Г. // Космічна наука і технологія. – 2015. – Т. 21. – С. 94-107.
- [3] Василенко А.А. Активні ядра галактик та рентгенівські спостереження /Василенко А., Жданов В.І., Федорова О. В. // Журнал фізичних досліджень. -2016. - Т. 20. - № 3. - С. 3902-3920.

6. Дослідження основних властивостей скупчень галактик за даними рентгенівських телескопів.

6.1 Властивості рентгенівських скупчень галактик за даними КА

Чандра та збільшення досліджуваної вибірки (Бабик Ю., Вавилова І.)

За останні пів року, для вирішення проблем пов'язаних з дослідженням скупчень галактик для визначення маси баріонної складової, а також маси прихованої (темної) матерії, було використано дані космічних обсерваторій "Чандра" та "Сузаку". Наразі вибірка містить близько 150 джерел для яких є відомими маса міжгалактичного газу, що знаходиться у складі скупчень, маса 71 темної матерії, для отримання якої використовувались методи чисельного моделювання та теоретичний профіль густини темної матерії Наваро-Френка-Уайта, а також маса зоряної складової, що входять до складу скупчень.

Дослідження скупчень галактик за допомогою космічних рентгенівських обсерваторій дає нам можливість визначення вмісту баріонної компоненти у Всесвіті в цілому. Використовуючи наявні комп'ютерні можливості, а також чисельне моделювання, було знайдено загальний вміст темної матерії у скупченнях галактик, і як результат, перевірено значення космологічної константи Ω_m . Таке дослідження є корисним для астрофізики саме через те, що це дає нам картину розподілу маси у Всесвіті на масштабах Мпк. Так як час спостережень для кожного об'єкта є обмеженим (максимум до декількох десятків кілосекунд, а зазвичай 5-10 кс) тому використання усіх доступних рентгенівських оглядів дало нам можливість розширити вибірку об'єктів.

Для реалізації проекту використовувались дані обсерваторій "Чандра" та "Сузаку", за допомогою яких виконано спостереження скупчень галактик в діапазоні червоних зміщень від 0.01 до 1.4.

За результатами даного дослідження було підготовлено ряд наукових публікацій. Одна з головних "Chandra X-ray galaxy clusters at z < 1.4: constraints on the inner slope of density profiles" виконана в співавторстві з доктором Антоніно Дел Пополо є поданою до російського журналу "Astronomy reports".

На Рис. 6.1.1 дана модель показана суцільною товстою лінією, тоді як 2 тонші суцільні лінії, показують 1 розкид. Модель Шмідта значно краще описує с₂₀₀-M₂₀₀ розподіл з $\chi^2 = 288.7$ для 125 ступенів вільності. Також було порівняно та додано дві моделі інших аторів, що добре описують відповідний розподіл.

Дана робота містить усі основні результати з визначення мас для кожної з компонент (темної матерії, газу і зоряної) скупчень галактик. Також в

72
даній роботі приведено усі основні методи обробки даних для космічної обсерваторії "Чандра" та методи отримання та моделювання основних фізичних характеристик скупчень галактик. В результаті проведеної роботи, було побудовано космологічні залежності між параметром концентрації та повною масою скупчень, а також між параметром нахилу профілю густини темної матерії та масою баріонів у складі галактичних скупчень.

На Рис. 6.1.2. показана частка баріонного компонента при відповідному радіусі R_{200} по відношенню до внутрішнього нахилу профілю густини а. було визначено найкраще значення внутрішнього нахилу для профілю густини як $\alpha = 1.1\pm0.45$, де невизначеність складала 95% довірчого інтервалу. Отримані результати добре узгоджуються з передбаченнями з чисельного моделювання космологічної CDM моделі. Кореляція між нахилом α і часткою баріонів показує, що профіль газу у скупченнях в центральних областях має плоский характер, тобто $\alpha < 1$.

Учасниками проекту було також проведено роботу з побудови кореляційних залежностей між рентгенівськими світністями, температурою та масами міжгалактичного газу для невеликої вибірки галактичних скупчень в діапазоні червоних зміщень 0.4-1.4. В результаті було відібрано близько 40 скупчень галактик та визначено кореляційні коефіцієнти ycix для залежностей. Результати роботи опубліковані в міжнародному журналі "Astrophysics and Space Science", а сама стаття має назву "The Chandra X-ray galaxy clusters at z<1.4: constraints on the evolution of L_X-T-M grelations".



Рис.6.1.1. Залежність "повна маса - параметр концентрації" (с₂₀₀-M₂₀₀) для досліджуваної вибірки Х-скупчень галактик. Товста та дві тонкі лінії відповідають моделі Шмідта та 1σ відхиленню від відповідної моделі.

Рис.6.1.2. α-М_b залежність для досліджуваної вибірки Х-скупчень галактик. Дана залежність промодельована простим степеневим законом, для якого параметр нахилу становив 1.72±0.37, тоді як дві тонкі суцільні лінії показують 2σ відхилення.

Співвідношення L-Т для близьких скупчень має значний надстатичний розкид, який є порівняльним з очікуваною еволюцією даного співвідношення. Розкид для скупчень на малих z значно зменшується, якщо при визначенні світності i температури скупчень виключити центральні області, яким притаманно радіаційне охолодження. Тому при визначенні співвідношення L-T на великих z також бажано виключити центральні області, оскільки це може зменшити розкид і, відповідно, полегшити визначення еволюційних залежностей. Ця задача стала можливою лише після запуску "Чандри", що має кутову роздільну здатність 1" і дозволяє легко виокремлювати центральні області навіть у дуже далеких скупченнях.

У досліджуваній вибірці є близько 40 скупчень галактик на z > 0.4, спостережуваних з великим часом експозиції, що дозволило визначити температури скупчень з точністю краще 10-15%. Використовуючи ці дані, в нашій роботі вдалось точно визначити еволюцію кореляційних співвідношень між світністю, температурою та масою міжгалактичного газу скупчень на z > 0.4.

Співвідношення L-T для далеких скупчень галактик, отримане для космологічних параметрів $\Omega_{\Lambda} = 0.73$, $\Omega_{\rm m} = 0.27$, $H_0 = 73$ км с⁻¹ Мпк⁻¹, подано на Рис. 3. Як і для близьких скупчень, розкид у співвідношенні дуже малий, - він практично повністю пояснюється похибками вимірювань. Нахил також узгоджується зі співвідношенням на малих z, проте нормування сильно відрізняється - при однаковій температурі далекі скупчення мають велику світність. Якщо параметризувати залежність від z у вигляді L ~ (1+z)^A _{LT} T^a, то

отримаємо, що $\alpha = 2.64 \pm 0.07$, то тоді $A_{LT} = 1.5 \pm 0.23$ на рівні достовірності 90%. На Рис. 4 показано отримана залежність $M_{g,200}$ -Т. При $\Omega_{\Lambda} = 0.73$, $\Omega_m = 0.27$, $H_0 = 73$ км с⁻¹ Мпк⁻¹ еволюція дуже мала. Параметризуючи її як $M_g \sim (1+z)^A_{MT} T^\beta$, було отримано $\beta = 1.77 \pm 0.15$ і $A_{MT} = -0.58 \pm 0.13$.

Таким чином, співвідношення між температурою, світністю та масою газу скупчень на z > 0.4 має сильну еволюційну залежність по відношенню до кореляцій, що спостерігаються на малих z. Співвідношення, які пов'язують іншими характеристиками, безпосередньо пов'язані масу газу з 31 співвідношеннями, в яких використовується повна маса скупчень. Справа в тому, що, як уже згадувалось, частка баріонів у повній масі скупчення, f_b, повинна бути універсальною величиною, близькою до середнього значення для всього Всесвіту [50], проте, в такому випадку, повна і баріонна маса відрізняються на постійний множник M = M_b/f_b. Відповідно, еволюція в співвідношеннях М-L і М-Т для баріонів та темної матерії повинна бути однаковою. Отже, спостережувана сильна еволюція в залежності Mg-L, якщо ще і слабку від'ємну еволюцію функції світності, означає, що врахувати функція мас сильно еволюціонує: просторова густина скупчень певної маси на великих z набагато менша, чим у теперішній спостережуваний час (див. також [28-31]). Фактично, цей факт дає можливість отримати обмеження на космологічні параметри Ω_{Λ} та Ω_{m} .

Спостережні еволюційні залежності в співвідношеннях M_g-T-L вказують на те, що скупчення в минулому мали велику густину - вони були гарячіші і мали більшу світність при фіксованій масі, це, власне, і передбачується автомодельною теорією їхнього формування.

Для збільшеної за кількістю вибірки рентгенівських скупчень галактик, ніж це розглядалося в 2013 році, визначено основні фізичні характеристики та вміст темної матерії, а також розглянуто важливість врахування баріонного 76 ефекту для скупчень з потужними центральними галактиками [1-2]. Для дослідження властивостей газу на відстані віріальних радіусів від центра скупчень було використано дані космічної обсерваторії Сузаку, - в результаті було побудовано розподіли температури, металічності та маси для вибірки з 5 скупчень галактик до віріального радіусу. Продовжується робота в наспрямку досліджень скупчень галактик на великих червоних зміщеннях. Для цього була підготовлена вибірка скупчень в діапазоні червоних зміщень 0.4-1.4, для якої побудовано основні космологічні залежності між температурою, світністю та массою [4-5] (див. також звіт за 2013 рік, де подано матеріал більш детально). Відповідні залежності були побудовані для ще двох далеких скупчень галактик, в наслідок чого діапазон червоних зміщень виріс до 2.0 [3]. Результати добре (Рис. 6.1.3.). В i3 аналітичними моделями дослідженнях корелюють використовувалися дані космічних обсерваторій Чандри, ХММ-Ньютон, Сузаку. Створена нова вибірка Х-скупчень галактик увійшла до онлайн каталогу Страсьбургського центру даних Vizier [6].



Рис. 6.1.3. Космологічні залежності між світністю та температурою (ліворуч) та темпетарурою і масою (праворуч) для вибірки скупчень галактик в діапазоні червоних зміщень 0.4-2.0.

6.2 Дослідження основних властивостей скупчень галактик на віріальних радіусах за допомогою даних Сузаку (Бабик Ю.)

У підготовленій вибірці скупчень галактик було поглиблено вивчення основних фізичних характеристик рентгенівських скупчень галактик. А саме, було відібрано п'ять близьких скупчень галактик та досліджено розподіли температури, металічності, ентропії, густини та, відповідно, маси на віріальному радіусі. Спостереження проводилися за допомогою рентгенівської космічної обсерваторії Сузаку, яка єдина із всіх наявних обсерваторій може спостерігати розподіл міжгалактичного газу у складі скупчень вздовж усього віріального радіусу.

Профілі температури показали ідентичну форму з від'ємним градієнтом до центру скупчень і плоским зовнішнім плато. Сильний градієнт температури в центрі скупчень пов'язаний зі значним максимумом профілю поверхневої яскравості. В порівнянні з центральними регіонами, температура систематично зменшується в три рази до окраїн скупчень. Ми порівняли спостережні профілі температури профілями, отриманими i3 моделювання N-тіл 3 та гідродинамічного моделювання. Результати відповідного порівняння показані на Рис. 6.2.1. Нахили для спостережних та модельованих профілів температури на Рис. 6.2.2 подібні між собою. Центральні області скупчень в нашій виборці характеризуються низькими значеннями ентропії та металічності. Профілі ентропії показані на Рис. 6.2.2 та промодельовані із теоретично передбачуваним степеневим законом із нахилом 1.1.

Використовуючи спостережні профілі густини та температури, а також припущення гідростатичної рівноваги і сферичної симетрії, було визначено профілі повної маси, а також профілі розподілу газу вздовж віріального радіусу. Профілі густини були побудовані за допомогою удосконаленої тривимірної моделі, в якій моделювання профілю густини газу для внутрішніх і зовнішніх областей скупчень проходить назалежно один від одного. Також була побудована залежність між скупчень повною масою та параметром $Y_X = T_X \cdot M_{g_X}$. Дана залежність була запропонована Кравцовим та ін. і є однією із самих надійних оцінок рентгенівської маси [7]. Результати відповідної залежності порівнювалися з попередніми результатами для обсерваторії Чандри і показані на Рис. 6.2.3.



Список літератури:

[1] **Babyk Iu., Vavilova I.**. The Chandra X-ray galaxy clusters at z < 1.4: constraints on the evolution of L_x - T - M_g relations // Astrophys&Space Sci, 349, Is. 1, p.415-421 (2014).

[2] **Babyk Iu., Vavilova I.**. The distant galaxy cluster XLSSJ022403.9-041328 on the L_x - T_x -M scaling relations using Chandra and XMM-Newton observations. // Astrophys&Space Sci, 353, Issue 2, p.613-619 (2014).

[3] **Babyk Iu.** A distant Chandra galaxy cluster CL J1415.1+3612: constraint on evidence of the cool core phenomenon // Baltic Astronomy, 23, p. 93-102 (2014).

[4] **Babyk Iu., Vavilova I., Del Popolo A.**. Chandra X-ray galaxy clusters at z < 1.4: constraints on the inner slope of density profiles // Astronomy Reports, 58, Is. 9, p. 587-

610 (2014).

[5] **Babyk Iu., Del Popolo A.**. Correlations in relaxed clusters of galaxies. // Baltic Astronomy, 23, p. 9-26 (2014).

[6] **Babyk Iu., Vavilova I., Del Popolo A.**. VizieR Online Data Catalog: Chandra X-Ray galaxy clusters at z <1.4 // VizieR On-line Data Catalog: J/AZh/91/679.

[7] **Babyk Iu.** Detail analysis of physical properties of galaxy clusters up to outskirts using Suzaku observations // Astronomy Reports. — 2016. — V. 60. — I. 6. — P. 542-562.

7. Ідентифікація войдів у Великомасштабній структурі Всесвіту (Еліїв А. А.)

Космічними войдами називають порожнечі в розподілі галактик у Всесвіті. Вони є важливими елементами у Великомасштабній структурі Всесвіту як і скупчення галактик. Войди можуть бути використані для тестування космологічних моделей Всесвіту. Однозначна та об'єктивна ідентифікація войдів є важливими для для здійснення надійних космологічних тестів. Виділення войдів базується на критерії густини чи геометричної структури розподілу галактик. Це зумовлює високу статистичну невизначеність через дуже низьку концентрацію галактик всередині войдів. Ми запропонували новий алгоритм пошуку войдів, що базується на динамічних і кластерних критеріях виділення войдів в Лагранжевих координатах, що мінімізують вклад фактору низької концентрації галактик у войдах. Основна ідея полягає в спеціальній рандомізації вибірки галактик для досягнення однорідного первинного розподілу галактик, та подальшого використовування індивідуальних векторів зміщення галактик після даної процедури. Така процедура відповідає зворотній в часі еволюції Великомасштабної Структури Всесвіту. Іншими словами вектор зміщення показує як далеко і в якому напрямі необхідно запустити частинку-галактику з однорідного первиного розподілу, щоб отримати спостережну зараз Великомасштабну структуру.

Наш шукач використовує апроксимацію Зельдовича для відновлення взаємного розташування галактик на початку еволюції. Він полягає в припущенні, що рух галактик відбувається з дотриманням умови мінімізації дії S який є інтегралом Лагранжіана по часу. На практиці застосування цього підходу вимагає генерацію вибірки випадкових галактик, в об'ємі який досліджується, такої самої кількості як реальна вибірка. Це дає змогу побудувати векторне поле зміщення з'єднуючи реальні галактики з випадковими, таким чином, щоб сума квадратів відстаней всіх пар реальнавипадкова галактика була мінімальною.

В нашому підході войди визначаються як регіони негативної дивергенції поля зміщення в Лагранжових координатах, це відповідає стоку галактик при зворотній еволюції. Для тестування нашого методу ми використали каталог гало темної матерії Н-тіл моделювання CODECs. Отримані результати ми порівняли з класичним шукачем войдів ZOBOV застосованого до тієї самої вибірки гало. Ми показали добре узгодження між собою двох запропонованих шукачів, та знайшли, що профіль дивергенції поля зміщення є менш флуктуаційним ніж звичний профіль концентрації галактик, а отже їхнє

накладання є більш плавним та придатним для космологічних тестів. Крім того, відношення сигнал-шум для профілю дивергенції в центральній частині войдів для наших обидвох шукачів є на 60% вищим, ніж для профілів густини у випадку ZOBOV войдів. Ці та інші результати показують, що наші шукачі войдів є хорошими додатками до існуючих, і можуть зробити значний вклад для покращення точності космологічних тестів, що базуються на накладанні войдів.

[1] Lidman C., Ardila F., Owers M., Adami C., Chiappetti L., Civano F., Elyiv A. et al. The XXL Survey XIV. AA Omega Redshifts for the Southern XXL Field. // Publications of the Astronomical Society of Australia. — 2016. — V. 33. — id.e001. — 7 pp.

[2] Ciceri S., Mancini L., Southworth J., Lendl, M., ..., Elyiv, A. et al. Physical properties of the planetary systems WASP-45 and WASP-46 from simultaneous multiband photometry. // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. — 2016. — V. 456. — I. 1. — P. 990-1002.

[3] Kains N., Bramich D., Arellano Ferro A., Figuera Jaimes R., Jørgensen, ..., Elyiv, A. et al. Estimating the parameters of globular cluster M 30 (NGC 7099) from time-series photometry (Corrigendum) // A&A. — 2016. — V. 588. — id.C2. — 1 pp.

[4] Southworth J., Tregloan-Reed J., Andersen M., Calchi Novati S., Ciceri, S., ..., Elyiv A. High-precision photometry by telescope defocussing - VIII. WASP-22, WASP-41, WASP-42 and WASP-55. // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. — 2016. — V. 457. — I. 4. — P. 4205-4217

[5] Arellano Ferro A., Bramich D., Figuera Jaimes R., Giridhar S., Kains N., ..., Elyiv A. et al. Erratum: A detailed census of variable stars in the globular cluster NGC 6333 (M9) from CCD differential photometry. // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. — 2016. — V. 458. — I. 2. — P. 1188-1189

[6] Pierre M., Pacaud F., Adami C., Alis S., Altieri B., Baran N., ..., Elyiv A. et al. The XXL Survey. I. Scientific motivations - XMM-Newton observing plan - Follow-up observations and simulation programme. // A&A. — 2016. — V. 592. — id. A1. — 16 pp.

[7] Fotopoulou S., Pacaud F., Paltani S., Ranalli P., Ramos-Ceja M., ..., Elyiv, A. et al. The XXL Survey. VI. The 1000 brightest X-ray point sources. // A&A. — 2016. — V. 592. — id. A5. — 30 pp.

[8] Koulouridis E., Poggianti B., Altieri B., Valtchanov I., Jaffé Y., Adami C., Elyiv, A., Melnyk O., Fotopoulou S., Gastaldello F., Horellou C., Pierre M., Pacaud F., Plionis M., Sadibekova T., Surdej J. The XXL Survey. XII. Optical spectroscopy of X-ray-selected clusters and the frequency of AGN in superclusters. // A&A. — 2016. — V. 592. id. A11. — 11 pp.

[9] Lavoie S., Willis J., Démoclès J., Eckert D., Gastaldello F., Smith G. P., Lidman C., ...,
Elyiv A. et al. The XXL survey XV: evidence for dry merger driven BCG growth in XXL-100-GC X-ray clusters. // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. — 2016. — V. 462. — I. 4. —
P. 4141-4156

[10] Akhunov T., Wertz O., Elyiv A., Gaysin R., Artamonov P., Dudinov V., Nuritdinov S., Delvaux C., Sergeyev A., Gusev A. et al. Adaptive PSF fitting – a highly performing photometric method and light Q1 curves of the GLS H1413+117: time delays and microlensing effects // accepted to MNRAS. — 2016.

[11] Rattenbury N., Bennett D., Sumi T., ..., **Elyiv A.** et al. Faint source star planetary microlensing: the discovery of the cold gas giant planet OGLE-2014-BLG-0676Lb // accepted to MNRAS. — 2016.

[12] Giannini E., Schmidt R., Wambsganß J., ..., Elyiv A. et al. MiNDSTEp differential photometry of the gravitationally lensed quasars WFI2033-4723 and HE0047-1756:
Microlensing and a new time delay // eprint arXiv:1610.03732. — 2016.

[13] Lidman C., Ardila F., Owers M., ... Elyiv A. et al. The XXL Survey XIV. AAOmega Redshifts for the Southern XXL Field // Publications of the Astronomical Society of Australia. — 2016. — V.33. — id. e001. — 7 pp.

[14] Pierre M., Pacaud F., Adami C., Alis S., Altieri B., ... Elyiv A., et al. VizieR Online Data Catalog: XXL Survey: First results (Pierre+, 2016) VizieR On-line Data Catalog: IX/49. Originally published in: 2016A&A...592A...1P

8. Оцінки вмісту видимої і темної матерії в скупченнях галактик та для перевірки космологічних параметрів і еволюції матерії в широкому діапазоні віку Всесвіту.

8.1 Моделі темної енергії (Сергієнко О.М.)

На основі сучасних спостережуваних даних визначено найоптимальніші значення та довірчі інтервали для параметрів динамічної темної енергії,

моделлю якої є класичне скалярне поле з баротропним рівнянням стану, яке може бути як квінтесенційним, так і фантомним, та інших основних космологічних параметрів [1]. Використано наступні набори даних:

- 1. спектри потужності флуктуацій температури реліктового випромінювання, отримані в космічних експериментах WMAP та Planck;
- 2. вимірювання сталої Габбла за допомогою Космічного телескопа Габбла;
- 3. баріонні акустичні осциляції з оглядів неба SDSS (DR7, DR9) та 6dF;
- 4. відстані до наднових типу Іа з компіляцій SNLS3 та Union2.1.

космологічних параметрів з найвужчими довірчими інтервалами отримується для набору даних Planck+HST+BAO+SNLS3. Найоптимальніші значення та 2 овірчі інтервали в цьому випадку є наступними:

Для цього набору ACDM модель знаходиться дещо поза межами 2 довірчої області, у той час як для набору WMAP9+HST+BAO+SNLS3 ACDM відхиляється від найоптимальнішої моделі лише на 1 (Рис. 7.1.1). Підтверджено наявність розходження у значеннях деяких космологічних параметрів, визначених на основі даних WMAP9 і Planck-2013, яке сягає 1.72-1.86 Результати роботи опубліковано в [9].



Рис. 8.1.1. Одно- та двовимірні маргіналізовані апостеріорні функції розподілу для наборів даних WMAP9+HST+BAO+SNLS3 (ліворуч) та Planck+HST+BAO+SNLS3 (праворуч).

8.2 Дослідження властивостей частинок темної матерії за спостереженнями в гамма-діапазоні (Малишев Д.)

Відомо, що частинки темної матерії можуть бути джерелами вузьких ліній в гамма-діапазоні. Значний спалах інтересу до вивчення вузьких ліній в гамма-діапазоні від розпаду чи анігіляції темної матерії пов'язаний з нещодавними твердженнями про спостереження на рівні достовірності 3-5 стандартних відхилень) гамма-телескопом Fermi додаткової компоненти випромінювання в формі вузької лінії на енергії близько 130 ГеВ з центральної області Галактики.

Чи можна стверджувати, що ця особливість є сигналом від (електро)слабко взаємодіючих частинок темної матерії? Вважається, що незвично вузький профіль спектральної лінії не може бути пояснений звичними процесами в астрофізичних об'єктах, і, якщо підтвердиться, має бути ассоційованим з темною матерією. Для підтвердження цієї гіпотези ми використали карти фотонів телескопу Fermi у інтервалі енергій 100-140 ГеВ, див. Рис.8.2.1. Було підтверджено попередні докази існування подібного до лінії гамма-сигналу від трьох регіонів у галактичній площині. Хоча карти показують деяку структуру усередині цих регіонів, мала статистика фотонів не дозволяє жодного певного детектування.

У роботі [2] ми намагались відповісти на питання, чи є лінія 130 ГеВ лінією розпаду (анігіляції) слабко-взаємодіючої темної матерії, за допомогою вивчення лише наявних даних гамма-телескопу Fermi. Для цього, було досліджено дифузний фон гамма-випромінювання в околі площини Галактики на енергіях 60–200 ГеВ, вищих та нижчих ніж та, на якій було знайдено лінію. Існування ліній, подібних до знайденої на 130 ГеВ, на інших енергіях буде вказувати на астрофізичне (можливо пояснюване пульсарним вітром)походження таких ліній, оскільки неможливо пояснити декілька ліній анігіляцією або розпадом темної матерії.

Рис.8.2.1. Карта фотонів LAT у околі галактичного центра("Central region" -- ліва частина), "West" (центральна частина) та "Reg 1" (права частина) регіонів, згладжена з гаусівським ядром з дисперсією 0.25°, що відповідає 95% роздільної здатності Fermi на 100 ГеВ. Усі карти побудовано у діапазоні енергій 100-140 ГеВ.

Ми моделювали дифузний сигнал, як сигнал, що має просторовий гауссовий розподіл із шириною у 3 градуси (подібно до сигналу, що був спостережений у околі галактичного центру) та гауссовий спектр із шириною 5 ГеВ (так само подібно до сигналу, що був спостережений у околі галактичного центру). Після цього, ми побудували карти значимості описаного дифузного сигналу, приймаючи як фон сумму галактичного та позагалактичного фонів, див. Рис. 8.2.2. Проведений аналіз показав, що на енергіях 70-90 ГеВ та 100-120 ГеВ існують регіони із лініями або більш складними особливостями, зі значимостями подібними і вищими за значимість лінії 130 ГеВ.

Так, на енергії 70-90 ГеВ найбільш значимим є регіон "Reg 2", праворуч від галактичного центру. На енергіях 100-120 ГеВ яскравими є регіони "Reg 2" та "Reg 1", на 120-140ГеВ – окіл галактичного центру, у якому і було знайдено лінію на 130 ГеВ, а також "Reg 1". "Reg 3" є найменш яскравим і помітний на енергіях 160-180 ГеВ.

Крім просторового розподілу значимості диффузного сигналу у кожному знайденому регіоні побудували спектр відповідної області. Отримані спектри показані на Рис. 8.2.3. Видно, що спектр "Reg 1" є подібним до спектру "Central" (околу галактичного центру, у якому було знайдено лінію 130 ГеВ), тоді як спектр "Reg 2" має більш складну спектральну форму, що складається з двох не-гауссових ліній.

Цікавим є той факт, що положення усіх трьох яскравих на різних енергіях регіонів співпадає із положенням локальних максимумів густини точкових джерел, задетектованих Fermi. На Рис. 8.2.4 показана кількість гамма-джерел, що лежить між галактичними широтами b=-3 і b=3 як функція галактичної довготи. Положення усіх яскравих регіонів вказуються вертикальними пунктирними лініями. Це спостереження є прямою вказівкою на те, що спостережувані у кожному з регіонів спектральні особливості можуть мати

астрофізичне походження і пояснюватися, як було обговорено вище, ультрарелятивістським пульсарним вітром.

Отже, спектр диффузного гамма-випромінювання на енергіях в околі 100 ГеВ змінюється у просторі, допускаючи значні особливості, порівнюючи з гладкою усередненною степеневою залежністю. Енергія і форма особливостей змінюється в залежності від точки спостереження на небі.

Ми довели, що спектральна особливість в околі 130 ГеВ, яка була знайдена в декількох регіонах в околі галактичного центру і галактичної площини в роботах [1204.2797,1205.1045], не може бути інтерпретована як гамма-лінія, проте може бути компонентою дифузного випромінення, що має інструментальне або астрофізичне походження. Пояснення цієї лінії за допомогою розпаду темної матерії видається сумнівним.

Із обговореного вище видно, що природа лініє-подібної особливості в околі галактичного центру на 130 ГеВ та подібних особливостей та інших енергіях не є із впевеністю з'ясованою і є ймовірним, що Fermi до кінця своєї місії не зможе зібрати статистику достатню для дослідження цих особливостей. Після 4х років спостережень (на серпень 2012 року) число фотонів, спостережених у лінії 130 ГеВ складає близько 15, що не набагато менше, ніж у інших подібних особливостей. До кінці роботи цього цієї обсерваторії на орбіті (планується 2016-2018 роки) можна очікувати збільшення статистики у 2-2.5 рази (до 30-40 фотонів), що однак лишається недостатнім для достовірного аналізу.

Наявні сучасні черенковські телескопи над-високих енергій можуть теоретично зменшити нижню енергетичну границю своєї роботи до 100 або навіть 50 ГеВ, проте на цих енергіях складно відрізнити атмосферні зливи частинок, що визвані різними типами частинок, що призведе до суттєвого збільшення систематичної похибки в таких експериментах.

Альтернативою черенковським наземним телескопам i3 низькою нижньою енергетичною межею є майбутні орбітальні місії. Однією з таких місій є космісчна гамма-обсерваторія Гамма-400, яка планується до запуску у 2018 році Федеральним космічним агентством Російської Федерації. Ефективна площа і поле зору цієї місії є порівняними із параметрами Fermi, проте краща енергетична роздільна здатність робить цей інструмент ідеальним для пошуку ліній і лініє-подібних особливостей у гамма-діапазоні. У роботі [1] нами були зроблені оцінки часу, що може знадобитися Гамма-400 для детектування необхідної для детального аналізу кількості фотонів. Ми показали, що за 2 роки постійних спостережень ця місія зможе зібрати необхідну кількість (100) фотонів. Разом із 30-40 фотонами, спостереженими Fermi, це дасть змогу з'ясувати природу і морфологію (дифузне випромінення або точкові джерела) особливості поблизу центра Галактики.

Рис. 8.2.2. Карти значимості особливості, що має просторовий гауссовий та енергетичний розподіл над дифузними галактичним та поза-галактичними фонами. Згори-вниз карти відовідають енергіям 70-90, 100-120 та 120-140 ГеВ. Колами позначені регіони, обговорювані в тексті. Значимість регіонів "Central" та "Reg 2" є майже однаковою, що важко пояснити у рамках гіпотези походження випромінення від цих регіонів від розпаду або анігіляції темної матерії.

Рис. 8.2.3. (a)-(f) – Спектри описаних вище регіонів "Reg 1", "Reg 2", "Reg 3" та "Central" відповідно. (e)—спектри усіх обговорюваних регіонів зображені на одному рисунку (f) – спектр "Reg 2" разом із передбаченням потоку від сумми диффузного галактичного та позагалактичного фону.

Рис. 8.2.4. Кількість гамма-джерел, що лежить між галактичними широтами b=-3 і b=3 як функція галактичної довготи. Положення усіх яскравих регіонів вказуються вертикальними пунктирними лініями. Їх координати сильно корелюють із локальними максимумами густини джерел Fermi.

8.3 Дослідження гамма-випромінювання від рентгенівських подвійних систем. (Малишев Д.)

Карта неба в гамма-діапазоні, побудована в рамках даного проекту, дозволила дослідити властивості гамма-випромінювання подвійних зоряних систем Cyg X-1 та LS 5039. В роботі [7] було досліджено випромінювання системи Cyg X-1 в "жорткому" та "м'якому" спектральних станах. В "жорсткому" стані ми задетектували на рівні 4сігма слабке випромінювання в діапазоні 0.1-10 ГеВ, незмінне з часом, яке описується степеневим спектром з індексом 2.6+/-0.2. Це вимірювання, навіть будучи інтерпретованим як обмеження згори, сильно обмежує обернене Комптонівське випромінювання з незмінного в часі радіоджету, наявному в даному стані. Число релятивістських електронів в джеті має бути достатньо низькою для пояснення наявних оберненої Комптонівської та синхротронної компонент. Якщо оптично-тонке синхротронне випромінювання в джеті є причиною появи хвоста в МеВ діапазоні, як слідує з нещодавніх тверджень про сильну поляризацію в цьому діапазоні енергій, магнітне поле в джеті має бути значно більшим за значення з вимоги рівнорозподілу. Вимірювання в ГеВ діапазоні також сильно обмежують моделі гарячих акреційних потоків, найбільш ймовірно присутніх в "жосткому" стані, в якому гамма-промені утворюються з розпаду нейтральних піонів, народжених в зіткненнях високоенергетичних іонів в внутрішній частині потоку. В "м'якому" стані, отримані обмеження згори обмежують прискорення електронів в нетепловій короні, найбільш вірогідно присутній навколо чорнотільного акреційного диску. Випромінювання корони вище 30 МеВ має бути досить слабким, що, скоріш за все, пояснюється поглинанням гаммапроменів в фотон-фотонних зіткненнях з утворенням електрон-позитронних пар. Тому, розмір балку корони має бути меншим за декілька десятків гравітаційних радіуси.

8.4 Розширення карти рентгенівського випромінювання в інтервалах енергій 2-5 кеВ та 5-10 кеВ. (Малишев Д.)

Протягом виконання проекту раніше створені карти рентгенівського випромінення в інтервалах енергій 2-5 та 5-10 кеВ були значно розширені. Проведено аналіз спостережень, що отримали статус публічних з моменту попереднього релізу, отримані оброблені дані були додані до карти неба. Окрім того, в загальну оглядову карту додано результати обробки спостережень, що містять залишкову протонну компоненту. Це доцільно для розширення об'єму доступних для побудови карти результатів обробки, при використанні карти для швидкого візуального аналізу джерел. Інформація про рівень залишкової протонної компоненти збережена, таким чином, дані обробки дозволяють дослідження властивостей спостережень, що містять її, включення або не включення даних до аналізу.

Детальне вивчення протяжних джерел, наприклад задача аналізу форми спектру та статистичних властивостей рентгенівського позагалактичного фону потребує обробки з додатковим пошуком та вирізанням протяжних джерел. Стандартна процедура пакету Extended Sources Analysis Software (ESAS), що ϵ частиною програмного забезпечення XMMSAS 13.5.0 не дає задовільного результату (кількість знайдених джерел, радіус вирізання) та має обмежені можливості налаштування, тому нами розроблено скрипт на основі нізькорівневих процедур XMMSAS для досягнення задовільного пошуку та вирізання точкових джерел. Детальний чисельний аналіз спектру рентгенівського фону потребує позагалактичного також максимально консервативного викидання спостережень, що містять залишкову протонну компоненту. Ми використовуємо стандартну процедуру аналізу Fin over Fout незалежно для всіх камер, для спостережень, що зроблені до втрати одної з ССД камери MOS1. Після втрати результат незалежного аналізу даних одної камери вже не може вважатись точним, тому нами розроблено і втілено в скриптах методику аналізу наявності залишкової протонної компоненти для всіх камер на основі даних з камери MOS2.

Перераховані модифікації процесу обробки спостережень дозволили провести ще один аналіз всіх доступних даних обсерваторії XMM-Newton і побудувати карту, що максимально оптимізована до аналізу протяжних джерел, яким є і сам позагалактичний рентгенівський фон.

Аналіз даної карти неба дозволив уточнити параметри спектра рентгенівського фону. Порівняно з попередніми вимірюваннями фону, ми

досягли в 25 разів вищої статистики і опинились в області, де систематична та статистична похибки мають однаковий порядок. Таким чином ми потребували детального врахування ефектів систематики для визначення параметрів фону за схемою, розробленою в попередні роки виконання проекту. Результати дослідження у порівнянні з попередніми статтями наведені у Таблиці 8.4.1. Форма спектру є степеневою, з показником степені 1.4±0.03 та нормалізацією потоку в інтервалі 2-10кеВ $1.68^{+0.09}_{-0.11}$ *10⁻¹¹ erg cm⁻² c⁻¹ deg⁻²

Таблиця 8.4.1: Порівняння результатів з попередніми роботами з визначення параметрів спектру позагалактичного рентгенівського фону.

8.5 Дослідження лінії 3.55 кеВ з аналізу спектрів галактики Андромеди та скупчення галактик Персея (Якубовський Д.) Використовуючи карту неба в рентгенівському діапазоні, створену в рамках даного проекту, задетектовано *нову лінію випромінювання на енергії* ~3.5 кеВ в рентгенівських спектрах галактики Андромеди (рис.8.5.1) та скупчення галактик Персея. Хоча дана лінія є слабкою, вона має чітку тенденцію до концентрації в центрах об'єктів, є сильнішою в скупченні галактик Персея, ніж в галактиці Андромеди, та є відсутньою в дуже тривалому комбінованому спектрі спостережень "чистого неба".

Хоча для індивідуальних об'єктів наразі складно виключити можливість того, що дана лінія є інструментальним ефектом або атомною лінією випромінювання аномальної яскравості, її властивості повністю узгоджуються з *лінією розпаду частинок темної матерії*. Подальші детектування або недетектування цієї лінії в спектрах об'єктів допоможуть визначити її природу.

Рис. 8.5.1. Зліва: повний потік (згори) та резідуали відносно моделі континууму (знизу) від центральної частини галактики Андромеди, спостережуваною ХММ-Newton, як функція енергії на інтервалі 1-8 кеВ. Добре видно позитивний резідуал в районі 3.5 кеВ, який відповідає новій лінії. Справа: та ж картинка зі спектром, масштабована від 3 до 4 кеВ. Показані резідуали відносно моделей без (червоним) та з (синім) додавання нової лінії на 3.53 кеВ.

8.6 Пошук лінії 3.55 кеВ в комбінованому спектрі карликових сферичних галактик (Якубовський Д.)

Ми проаналізували всі публічно наявні дані спостережень сферичних карликових галактик обсерваторією XMM-Newton для перевірки природи лінії 3.55 кеВ. Карликові сферичні галактики мають високе співвідношення маси до світності, а їх міжзоряне середовище не є джерелом дифузного рентгенівського випромінення, тому цей тип галактик може давати дуже чистий сигнал лінії темної матерії. Наш аналіз, однак показує відсутність такої лінії в комбінованому спектрі сферичних карликових галактик. Це виключає походження лінії 3.5 кеВ від розпаду темної матерії з параметрами отриманими в Bulbul et al. (2014) на рівні 4.6σ при стандартних припущеннях щодо стовпчикової густини темної матерії в галактиці та на рівні 3.3σ в припущенні мінімальної стовпчикової густини.

В той же час, параметри темної матерії, отримані нами в аналізі галактики М31, та кластеру Персея має більші похибки, пов'язані з неточностями визначення стовпчикової густини окремих джерел. Таким чином, обмеження отримані з карликових сферичних галактик сумісні з припущенням щодо природи лінії як лінії розпаду темної матерії, отриманим з аналізу М31 та кластеру Персея.

Аналіз дуже слабко виключає природу лінії 3.5 кеВ як лінії розпаду темної матерії. Для впевненого результату ми потребуватимемо в ~2 рази вищої експозиції спостереження сферичних карликових галактик. Рис. 8.6.1: Графік виключених областей в просторі параметрів маса стерильного нейтрино — кут змішування. Всі значення параметрів над лініями — виключені. Темні та світлі області під неперервною лінією — 2σ обмеження в припущенні мінімальної та середньої стовпчикової густини темної матерії відповідно. Червона точка з похибками — параметри, отримані Bulbul et al.

8.7 Дослідження природи нової лінії випромінювання на енергії ~3.55 кеВ від космічних об'єктів. (Якубовський Д.)

Рентгенівська карта неба обсерваторії XMM-Newton, виготовлена в рамках попереднього проекту (див. <u>http://skyview.virgoua.org</u>), була використана для подальшого дослідження спостережень для визначення природи *нової слабкої лінії на енергії ~3.5 кеВ*, задетектованої 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, незамодельований провал в ефективній площі телескопів), які виявились відповідальними, наприклад, за природу іншої "лінії випромінювання" на енергії ~2.5 кеВ в спектрі карликової галактики Віллман 1, як було нами показано в 2010 р.;

- аномально (в 10-30 разів) підсилений комплекс астрофізичних ліній випромінювання калію (іону К XVIII) на енергіях 3.476-3.515 кеВ, що знаходиться в межах роздільної здатності сучасних приладів (60-100 еВ) від задетектованої 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. зокрема Рис. 8.7.1.

Астрофізичне походження нової лінії випромінювання наразі виключити можливий вплив комплексу ліній не вдається. Причиною є те, що випромінювання калію (іону К XVIII) на енергіях 3.476-3.515 кеВ складно обмежити внаслідок відсутності суттєво сильніших ліній випромінювання калію в рентгенівському діапазоні. Окрім даного комплексу ліній калію, існує слабкий комплекс лінії калію (іону К 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 (5-10 eB), енергіями зокрема спектрометру SXS на борту космічної рентгенівської обсерваторії Astro-H (до запуску в січні 2016 року) або ракетного експерименту з мікрокалориметром Місго-Х (до запуску в 2017 році) дозволить остаточно визначити, чи має нова лінія випромінювання на енергії ~3.55 кеВ астрофізичну природу, див. Рис. 8.7.2.

Рис. 8.7.1. Залежність положення нової лінії випромінювання (в системі випромінювача) для близьких скупчень галактик від червоного зміщення відповідних скупчень. Якщо лінія випромінювання мала б інструментальну природу, мало б спостерігатися лінійне зростання положення лінії з ростом червоного зміщення, як показано червоною пунктирною лінією. Натомість, задетектовані положення нової лінії показують поведінку, очікувану для космічного походження лінії (чорна подвійна пунктирна лінія), наприклад від астрофізичного випромінювання або лінії розпаду темної матерії в даних об'єктах.

Проведено подальший пошук об'єктів, які містять лінію на енергії ~3.55 кеВ за допомогою аналізу спостережень, які увішли в карту неба, див. <u>http://skyview.virgoua.org</u>. Оскільки детальний аналіз даних з усіх ділянок неба є дуже 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 лінія була задетектована, нами було показано, що лінія, присутня в спектрі з достовірністю 3 сігма, може

бути задетектована методом вейвлету з достовірністю ~1.8 сігма. Масштабка обробка даних призвела до детектування методом вейвлету 235 просторових областей, в яких потенційно може бути задетектована лінія випромінювання на енергії ~3.55 кеВ. Подальше детектування лінії зі вказаних областей потребує детального аналізу та моделювання спектрів.

Рис. 8.7.2. Очікуваний потік випромінювання від центру Галактики спостережний 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.

8.8 Напів-аналітична модель реіонізації Всесвіту з урахуванням ненульових початкових швидкостей в моделях темної матерії (Рудаковський А.)

Якщо частинки темної матерії мають ненульові початкові швидкості, це призводить до розмивання флуктуацій густини темної матерії на малих просторових масштабах, що в свою чергу суттєво впливає на процес формування структур у Всесвіті. Одним з спостережних наслідків формування структур є процес реіонізації.

Для опису процесу реіонізації, ми розширили напів-аналітичну модель "моделі бульбашок", запропонований Фурланетто, Залдарріагою та Хернквістом в 2004 році. В даній моделі, маса газу *m*_{ion}, іонізованого зірками II покоління, маса рекомбінованого водню $m_{\rm rec}$ та маса баріонів $m_{\rm gal}$, які сколапсували в галактики, пов'язані як:

$$\zeta m_{\rm gal} = m_{\rm ion} + m_{\rm rec} \,, \tag{1.2}$$

де ζ – число іонізуючих фотонів на один баріон, що виділяється під час зореутворення в процесі колапсу гало.

Для колапсу, "бульбашка" має мати достатню масу зірок для іонізації всіх атомів водню, отже доля сколапсованих баріонів повинна бути не меншою, ніж величина $m_{\rm gal}/(m_{\rm ion} + m_{\rm rec})$:

$$\zeta f_{\text{coll}} \ge 1 + \xi f_{\text{rec}} , \qquad (1.3)$$

де $f_{\rm rec} = m_{\rm rec}/(\xi m_{\rm ion}), \xi$ – середнє число рекомбінацій на атом в колапсуючих міні-гало, обраховане протягом всієї епохи реіонізації. Величини f_{coll} та f_{rec} отримуються як функції маси гало *m*, червоного зміщення *z* та відносного за допомогою розширеного формалізму Прессанадлишку густини δ_r Шехтера, де знаходиться залежність від моделі темної матерії (через лінійний спектр потужності флуктуацій P(k)). Чисельно розв'язуючи рівняння (2), можна мінімальний надлишок густини δ_x гало, в якому контраст густини достатній для іонізації, як функція маси гало та червоного зміщення, і функцію розподілу мас гало dn/dm, що, в свою чергу, дозволяє обчислити об'ємну долю простору Q_{II}, де відбулася реіонізація, як функцію червоного зміщення, параметрів моделі (ефективності іонізації ζ та ефективності рекомбінацій ξ), а також спектра потужності флуктуацій темної матерії. Далі за відомою залежністю $Q_{II}(z)$ визначається момент закінчення реіонізації z_{rei} (червоне зміщення, коли $Q_{II} = 0.99$), трималість реіонізації Δz_{rei} (різниця червоних зміщень між моментами, коли $Q_{\rm II} = 0.1$ та 0.9) та оптичну товщину τ_{es} розсіяння реліктового випромінювання на вільних електронах, який вимірюється експериментами з аналізу флуктуацій космічного мікрохвильового випромінювання (зокрема, супутником Planck).

Отримані результати опубліковано в статті [10] і наведено в на Рис. 8.8.1. Як можна побачити, моделі 7 кеВ стерильних нейтрино досить добре передбачають спостережні прояви реіонізації – момент її закінчення та оптичну товщину розсіяння на вільних електронах. Нам вдалося показати суттєвий вплив початкових швидкостей частинок темної матерії на перебіг реіонізації. Зокрема, цей вплив є порівняним з наявною невизначеністю основних астрофізичних параметрів моделі, таких ефективність іонізації ЯК та ефективність рекомбінацій. Більше того, нами показано, що в реалістичних моделях стерильних нейтрино з масою 7 кеВ (які можуть пояснити існуючі спостереження лінії випромінювання на енергії 3.5 кеВ в ряді космічних об'єктів) реіонізація відбувається суттєво швидше, ніж в стандартній космологічній моделі (яка припускає нульові початкові швидкості частинок темної матерії) результат, доступний перевірці запланованими дослідженнями спектру флуктуацій лінії 21 см та кінетичного ефекту Сюняєва-Зельдовича.



Рисунок 8.8.1 – Зліва: Залежність об'ємної долі іонізованого водню у Всесвіті від червоного зміщення. Як видно, реіонізація в моделях зі стерильними нейтрино починається пізніше, ніж в моделі холодної темної матерії (внаслідок недостачі гало середніх мас, біля $10^{10}-10^{12}$ мас Сонця), але проходить швидше, оскільки відсутність гало малих мас, менше 10^{10} мас Сонця, зменшує втрати іонізуючих фотонів на рекомбінацію (яка є найбільш ефективною в гало малих мас). В результаті, реіонізація в моделях стерильних нейтрино з масою 7 кеВ закінчується близько до моделі холодної темної матерії, що допомагає уникнути розбіжностей при описі поглинання в спектрах далеких квазарів (ефекта Ганна–Петерсона). Справа: Залежність інтегральної оптичної товщині вільних електронів, наведена в порівнянні з даними космічної обсерваторії Planck. Як видно, в моделях стерильних нейтрино досягається краще співпадіння з даними спостережень обсерваторії Planck, хоча модель холодної темної матерії наразі не є виключеною.і

8.9 Побудова скейлінгового співвідношення між масою гало та параметром концентрації темної матерії для моделей темної матерії з ненульовими початковими швидкостями (Рудаковський А.)

Дані чисельних моделювань в моделі холодної темної матерії показують, розподіл густини темної матерії в гало добре описується профілем Наварро-Френка-Уайта (NFW профіль),

актерні густина та радіус гало. Для опису гало більш зручна

використовувати такі величини, як c_{200} та M_{200} . Тут M_{200} – маса гало всередині радіуса R_{200} , в якому середня густина темної матерії в 200 разів більша за критичну густину Всесвіту, $c_{200} = R_{200}/R_s$ – параметр концентрації.

Для визначення впливу ненульових початкових швидкостей для моделі 7 кеВ стерильних нейтрино або темної матерії з тепловим початковим спектром (тепла темна матерія, WDM) на скейлінгове співвідношення як кандидата на роль темної матерії нами був використаний формалізм запропонований Шнайдером в 2014 році. Основна ідея цього формалізму полягає в тому, що в різних моделях темної матерії гало, що формуються на однакових червоних зміщеннях і мають однакові концентрації, відповідають різним масам гало. Це пов'язано з тим, що надлишок густини на малих масштабах мас в моделях темної матерії з ненульовими початковими менші, ніж в моделях холодної темної матерії.

Так як ознакою формування гало є перевищення надлишком густини деякого бар'єру δ_c , і в теперішній час надлишок густини гало, що формувалося на червоному зміщенні z_c та повністю сформувалося тепер, дорівнює δ_c =1.686/ $D(z_c)$. Так як гало різних масс формуються на різних червоних зміщеннях, можна знайти відповідність між масою гало M та червоним зміщенням формування гало z_c , що еквівалентно переходу від $D(z_c)$ до D(M). Так як цей надлишок густини є однаковим для гало в різних моделях темної матерії, що формувалися на однакових червоних зміщеннях z_c , то маємо рівність між усередненими факторами еволюції густини для холодної темної матерії СDM та моделі з ненульовими початковими швидкостями"Х":

Розв'язуючи це рівняння, нами було визначено відповідність між масами гало M_{CDM} в моделі холодної темної матерії та M_X в моделі із початковими швидкостями, які відповідають однаковим концентраціям.

Звідси, використовуючи відомі модельні скейлінгові співвідношення концентрація-маса для холодної темної матерії *с*(*M*_{*CDM*}), можна отримати їх для моделей темної матерії з ненульовими початковими швидкостями

Нами спочатку були побудовані скейлінгові співвідношення c_{200} та M_{200} для теплої темної матерії з масами частинок 2 та 3 кеВ, і отримані скейлінгові співвідношення були порівняні з результатами, отриманими Шнайдером у 2014 році. Потім цей формалізм було застосовано до стерильних нейтрино і отримані 106

результати порівняно їз спостережними даними, отриманими з розподілу густини в галактиках, які апроксимувалися NFW профілем.

Нами було визначено, що суттєві відмінності між концентраціями гало темної матерії в моделях стерильних нейтрино з масою 7 кеВ, як і для частинок теплої темної матерії з масами 2-3 кеВ, та моделлю холодної темної матерії досягаються для малих спіральних галактик з масою гало, меншою за ~10¹¹ мас Сонця (Рис. 8.9.1).

Наразі, основним джерелом інформації про розподіл густини в гало темної матерії є аналіз кривих обертання галактик. Однак більша частина галактик з масами, меншими за 10^{10} - 10^{11} масс Сонця, мають криві обертання, виміряні до відстані, суттєво меншої за віріальний радіус гало темної матерії, нами було запропоновано досліджувати альтернативні скейлінгові співвідношення між прямо спостережними величинами - максимальною швидкістю в кривій обертання V_{max} та радіусом r_{max} , на якому вона досягається, які можна аналітично пов'язати з параметрами C_{200} та M_{200} .

Аналізуючи співвідношення між V_{max} та r_{max} було показано, що в моделях з ненульовими початковими швидкостями частинок темної матерії (як стерильним нейтрино, так і моделям з тепловим спектром швидкостей) малим масштабам відповідають менші максимальні швидкості обертання, ніж для моделі холодної темної матерії (див. Рис. 8.9.2)

Рис. 8.9.1. Залежність концентрація-маса для холодної темної матерії (CDM) та можливих 7 кеВ стерильних нейтрино у порівнянні з даними, отриманими з аналізу спостережень галактик. На масах, менших за 10^{11} масс Сонця в моделях з ненульовими початковими швидкостями спостерігається значна зміна поведінки с₂₀₀(M₂₀₀), на відміну від загальновживаної темної матерії – концентрація має екстремум, а не є монотонною функцією від маси гало.


Рис.8.9.2 Співвідношення між максимальною швидкістю V_{max} та радіусом r_{max} , на якому вона досягається для частинок холодної темної матерії (CDM) та теплої темної матерії з масами 2 та 3 кеВ (WDM2 та WDM3) у порівнянні із даними із спостережними даними. У моделях з ненульовими початковими швидкостями (WDM2 та WDM3) малим r_{max} відповідають менші максимальні швидкості, ніж для моделі холодної темної темної матерії.

Список літератури:

- [1] Beshley V., Vovk Ie., Malyshev D., Marchenko V., Petruk O., Savchenko V., lakubovskyi D. Cosmic gamma-ray sources and prospects of their observatory Gamma-400 // Journal of Physics Studies. — 2013. — V. 17. — P. 2901.
- [2] Boyarsky A., Malyshev D., Ruchayskiy O. Spectral and spatial variations of the diffuse gamma-ray background in the vicinity of the Galactic plane and possible nature of the feature at 130 GeV // Physics of the Dark Universe. — 2013. — V. 2. — P. 90-96.
- [3] Boyarsky A., Ruchayskiy O., **lakubovskyi D.**, Franse J. An unidentified line in X-ray spectra of the Andromeda galaxy and Perseus galaxy cluster // прийнято в Phys. Rev. Lett.
- [4] lakubovskyi D. New emission line at ~3.5 keV observational status, connection with radiatively decaying dark matter and directions for future studies // Advances in Astronomy and Space Physics. — 2014. — V. 4. — P. 9-14.
- [5] lakubovskyi D. Checking the potassium origin of the new emission line at 3.5 keV using the K XIX line complex at 3.7 keV // Mon. Not. Roy Astron. Soc. — 2015. —V. 453. — P. 4097-4101.
- [6] Iakubovskyi D. Observation of the new emission line at ~3.5 keV in X-ray spectra of galaxies and galaxy clusters// Advances in Astronomy and Space Physics. — 2016. — V. 6-I. 1. — P. 3-15.
- [7] Malyshev D., Zdziarski A., Chernyakova M. High-energy gamma-ray emission from Cyg X-1 measured by Fermi and its theoretical implications // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. — 2013. — V. 434. — P. 2380-2389.
- [8] Malyshev D., Neronov A., Eckert D. Constraints on 3.55 keV line emission from stacked observations of dwarf spheroidal galaxies // Physical Review D. — 2014. — V. 90. — I. 10. — id. 103506
- [9] Novosyadlyj B., **Sergijenko O.**, Durrer R., Pelykh V. Constraining the dynamical dark energy parameters: Planck-2013 vs WMAP9 // Journal of Cosmology and Astroparticle Physics. -2014. V. 5. P. 30.
- [10] Rudakovskyi A., Iakubovskyi D. Influence of ~7 keV sterile neutrino dark matter on the process of reionization // JCAP. — 2016. — V. 06. — Id. 017.
- [11] Ruchayskiy O., Boyarsky A., Iakubovskyi D., Bulbul E., Eckert D., Franse J., Malyshev D., Markevitch M., Neronov A. Searching for decaying dark matter in deep 109

XMM-Newton observation of the Draco dwarf spheroidal // Mon. Not. Roy Astron. Soc. -2016. -V. 460. -I. 2.

- [12] Savchenko D., Iakubovskyi D. Towards robust detection of a faint narrow line in X-rays the role of continuum-induced systematics // submitted to Ukr. J. Phys
- [13] Якубовський Д. А., Савченко Д. О., Буско Т.О. Побудова карт неба в рентгенівському діапазоні та їхнє застосування для пошуку лінії розпаду темної матерії. // прийнята в Космічна наука і технологія. — 2015. — Т. 21. — №5.

ЗАКЛЮЧЕННЯ:

Дана науково-дослідна робота присвяена створенню та розвитку Українського астрокосмічного центру обробки даних космічних місій на базі центру ВІРГО (ІТФ НАНУ-КНУ-ГАО НАНУ) завдяки підвищенню ефективності та розширенню діапазону використання цих даних від оптичного до гамма діапазонів; розробці власних і залученні існуючих віртуальних технологій для обробки даних для вирішення завдань багатохвильової астрофізики небесних об'єктів шляхом створення карт всього неба.

Протягом періоду з 2013 по 2016 років виконавцями було зроблено:

- 1. Створено вибірки: квазарів та галактик з огляду SDSS DR 7-10, WiggleZ, ESO; ізольованих галактик за каталогом 2MIG та за даними супутників Chandra, Suzaku, XMM-Newton, Swift, INTEGRAL, NuStar; рентгенівських скупчень галактик за даними супутника Chandra;
- 2. Отримано дані про властивості та просторовий розподіл міжгалактичного нейтрального середовища за даними огляду SDSS DR7, DR10 та за допомогою Лайман-альфа лісу. Проведено порівняння методів визначення рівня континууму в спектрах квазарів, що впливає на точність визначення прозорості міжгалактичного середовища.
- 3. На основі власних виборок активних ядер галактик (АЯГ) І типу та блакитних галактик з оглядів SDSS DR7 та WiggleZ DR1 отримано параметри їх крос- (ККФ) та автокореляційних (АКФ) функцій.
- 4. Визначено розподіли темної матерії та баріонної компоненти в розширеній вибірці скупчень галактик та кутової кореляційної функції активних ядер галактик за даними космічних рентгенівських обсерваторій Chandra, Suzaku та XMM-Newton, перевірено значення основних космологічних констант.
- 5. Отримано дані про фізичні властивості галактик близького Всесвіту, що входять у системи різної населеності, за даними огляду SDSS DR9 та каталогів галактик в інших спектральних діапазонах.
- Досліджено діаграму колір-колір центральних галактик і їх слабких супутників і порівняли кількість пар різних морфологічних типів в реальному і випадковому розподілі.
- 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-ВАТ.

- 8. Наповнення Астрокосмічного центру обробки даних, що створюється на базі ВІРГО, новими базами даних (вибірками) галактик, квазарів і скупчень галактик в широкому спектральному діапазоні, розробка графічних засобів візуалізації їхнього розподілу.
- 9. Оновлення карти неба в рентгенівському діапазоні новим релізом карти з урахуванням даних з камери PN.
- 10.Отримання даних про природу лінії 3,5 кеВ за допомогою карт неба в рентгенівському діапазоні.
- Уточнення параметрів усередненого міжналактичного рентгенівського фону, використовуючи карту розподілу позагалактичного рентгенівського випромінювання.

Список опублікованих робіт:

- 1. Akhunov T., Wertz O., Elyiv A., Gaysin R., Artamonov P., Dudinov V., Nuritdinov S., Delvaux C., Sergeyev A., Gusev A. et al. Adaptive PSF fitting a highly performing photometric method and light Q1 curves of the GLS H1413+117: time delays and micro-lensing effects // accepted to MNRAS. 2016.
- Arellano Ferro A., Bramich D., Figuera Jaimes R., Giridhar S., Kains N., ..., Elyiv A. et al. Erratum: A detailed census of variable stars in the globular cluster NGC 6333 (M9) from CCD differential photometry. // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. 2016. V. 458. I. 2. P. 1188-1189
- 3. **Babyk Iu., Vavilova I.** Comparison of Optical and X-ray Mass Estimates of the Chandra Galaxy Clusters at z < 0.1 // Odessa Astronomical Publications. 2013. V. 26. P. 175.
- Babyk Iu., Vavilova I.. The Chandra X-ray galaxy clusters at z < 1.4: constraints on the evolution of L_X-T-M_g relations // Astrophysics & Space Science. 2014. V. 349. I. 1. P. 415-421.
- 5. **Babyk Iu., Vavilova I.** The distant galaxy cluster XLSSJ022403.9-041328 on the L_X - T_X -M scaling relations using Chandra and XMM-Newton observations. //

Astrophysics & Space Science. — 2014. — V. 353. — I. 2. — P. 613-619.

- 6. **Babyk Iu.** A distant Chandra galaxy cluster CL J1415.1+3612: constraint on evidence of the cool core phenomenon // Baltic Astronomy. 2014. V. 23. P. 93-102.
- 7. Babyk Iu., Vavilova I., Del Popolo A. Chandra X-ray galaxy clusters at z < 1.4: constraints on the inner slope of density profiles // Astronomy Reports. 2014. V. 58. I. 9. P. 587-610.
- 8. **Babyk Iu.,** Del Popolo A. Correlations in relaxed clusters of galaxies. // Baltic Astronomy. -2014. V. 23. P. 9-26.
- 9. **Babyk Iu., Vavilova I.,** Del Popolo A. VizieR Online Data Catalog: Chandra X-Ray galaxy clusters at z <1.4 // VizieR On-line Data Catalog: J/AZh/91/679.
- Babyk Iu. Detail analysis of physical properties of galaxy clusters up to outskirts using Suzaku observations // Astronomy Reports. — 2016. — V. 60. — I. 6. — P. 542-562.
- 11. Ciceri S., Mancini L., Southworth J., Lendl, M., ..., Elyiv, A. et al. Physical properties of the planetary systems WASP-45 and WASP-46 from simultaneous multiband photometry. // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. 2016. V. 456. I. 1. P. 990-1002.
- 12. Chernyakova M., **Babyk Iu., Malyshev D.**, Vovk Ie., Tsygankov S., Takahashi H., Fukazawa Ya. Study of orbital and superorbital variability of LSI +61 303 with X-ray data // submitted to MNRAS. 2016.
- Beshley V., Vovk Ie., Malyshev D., Marchenko V., Petruk O., Savchenko V., Iakubovskyi D. Cosmic gamma-ray sources and prospects of their observatory Gamma-400 // Journal of Physics Studies. — 2013. — V. 17. — P. 2901.
- Boyarsky A., Malyshev D., Ruchayskiy O. Spectral and spatial variations of the diffuse gamma-ray background in the vicinity of the Galactic plane and possible nature of the feature at 130 GeV // Physics of the Dark Universe. 2013. V. 2. P. 90-96.
- 15. Boyarsky A., Ruchayskiy O., **Iakubovskyi D.**, Franse J. An unidentified line in Xray spectra of the Andromeda galaxy and Perseus galaxy cluster // прийнято в Phys. Rev. Lett.
- 16. Dobrycheva D.V. The New Galaxy Sample from SDSS DR9 at 0.003 ≤ z ≤ 0.1 // Odessa Astronomical Publications. 2013. V. 26. P. 187-188.
- Dobrycheva D.V., Melnyk O.V., Vavilova I.B., et al. Environmental Density vs. Colour Indices of the Low Redshifts Galaxies // Astrophysics. — 2015. — V. 58. — P. 168-180
- 18. **Dobrycheva D.V.,** Melnyk O.V., **Vavilova I.B., Elyiv A.A.** Environmental Properties of Galaxies at z<0.1 from the SDSS via the Voronoi Tessellation // Odessa Astronomical Publications. —2014. V. 27. P. 26-27.
- 19. Fedorova E., Vasylenko A., Hnatyk B.I., Zhdanov V.I. The peculiar megamaser AGN NGC 1194: Comparison with the warped disk candidates NGC 1068 and NGC 4258 // Astronomische Nachrichten. 2016. V. 337. I. 1/2. P. 96-100.
- 20. Fotopoulou S., Pacaud F., Paltani S., Ranalli P., Ramos-Ceja M., ..., Elyiv, A. et al. The XXL Survey. VI. The 1000 brightest X-ray point sources. // A&A. 2016. 113

V. 592. — id. A5. — 30 pp.

- 21. Giannini E., Schmidt R., Wambsganß J., ..., Elyiv A. et al. MiNDSTEp differential photometry of the gravitationally lensed quasars WFI2033-4723 and HE0047-1756: Microlensing and a new time delay // eprint arXiv:1610.03732. 2016.
- 22. **Iakubovskyi D.** New emission line at ~3.5 keV observational status, connection with radiatively decaying dark matter and directions for future studies // Advances in Astronomy and Space Physics. 2014. V. 4. P. 9-14.
- 23. **Iakubovskyi D.** Checking the potassium origin of the new emission line at 3.5 keV using the K XIX line complex at 3.7 keV // Mon. Not. Roy Astron. Soc. 2015. V. 453. P. 4097-4101.
- 24. **Iakubovskyi D.** Observation of the new emission line at ~3.5 keV in X-ray spectra of galaxies and galaxy clusters// Advances in Astronomy and Space Physics. 2016. V. 6 I. 1. P. 3-15.
- 25. **Ivashchenko G., Sergijenko O., Torbaniuk O.** Composite spectra of quasars with different UV spectral index // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. 2014. V. 437. P. 3343-3361.
- 26. **Ivashchenko G. Yu., Vasylenko O. V.** Cross-correlation function of SDSS DR7 Itype AGNs and WiggleZ galaxies // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. — 2015. — V. 31. — I. 1. — pp. 1-12.
- 27. Kains N., Bramich D., Arellano Ferro A., Figuera Jaimes R., Jørgensen, ..., Elyiv, A. et al. Estimating the parameters of globular cluster M 30 (NGC 7099) from timeseries photometry (Corrigendum) // A&A. — 2016. — V. 588. — id.C2. — 1 pp.
- Koulouridis E., Poggianti B., Altieri B., Valtchanov I., Jaffé Y., Adami C., Elyiv, A., Melnyk O., Fotopoulou S., Gastaldello F., Horellou C., Pierre M., Pacaud F., Plionis M., Sadibekova T., Surdej J. The XXL Survey. XII. Optical spectroscopy of X-rayselected clusters and the frequency of AGN in superclusters. // A&A. — 2016. — V. 592. — id. A11. — 11 pp.
- 29. Lavoie S., Willis J., Démoclès J., Eckert D., Gastaldello F., Smith G. P., Lidman C., ..., Elyiv A. et al. The XXL survey XV: evidence for dry merger driven BCG growth in XXL-100-GC X-ray clusters. // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. 2016. V. 462. I. 4. P. 4141-4156
- 30. Lidman C., Ardila F., Owers M., Adami C., Chiappetti L., Civano F., Elyiv A. et al. The XXL Survey XIV. AA Omega Redshifts for the Southern XXL Field. // Publications of the Astronomical Society of Australia. — 2016. — V. 33. id. e001. — 7 pp.
- 31. **Malyshev D.**, Zdziarski A., Chernyakova M. High-energy gamma-ray emission from Cyg X-1 measured by Fermi and its theoretical implications // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. 2013. V. 434. P. 2380-2389.
- 32. **Malyshev D.**, Neronov A., Eckert D. Constraints on 3.55 keV line emission from stacked observations of dwarf spheroidal galaxies // Physical Review D. 2014. V. 90. I. 10. id. 103506
- 33. Novosyadlyj B., Sergijenko O., Durrer R., Pelykh V. Constraining the dynamical dark energy parameters: Planck-2013 vs WMAP9 // Journal of Cosmology and

Astroparticle Physics. —2014. — V. 5. — P. 30.

- 34. Pierre M., Pacaud F., Adami C., Alis S., Altieri B., Baran N., ..., Elyiv A. et al. The XXL Survey. I. Scientific motivations XMM-Newton observing plan Follow-up observations and simulation programme. // A&A. 2016. V. 592. id. A1. 16 pp.
- 35. Pierre M., Pacaud F., Adami C., Alis S., Altieri B., ... Elyiv A., et al. VizieR Online Data Catalog: XXL Survey: First results (Pierre+, 2016) VizieR On-line Data Catalog: IX/49. Originally published in: 2016A&A...592A...1P
- 36. Pulatova N. G., Vavilova, I. B., Sawangwit U., Babyk Iu. V., Klimanov S. The 2MIG isolated AGNs - I. General and multiwavelength properties of AGNs and host galaxies in the northern sky // Mon. Not. R. Astron. Soc. —2015. — V. 447. — I. 3. — P. 2209-2223.
- 37. Rattenbury N., Bennett D., Sumi T., ..., Elyiv A. et al. Faint source star planetary microlensing: the discovery of the cold gas giant planet OGLE-2014-BLG-0676Lb // accepted to MNRAS. 2016.
- 38. **Rudakovskyi A., Iakubovskyi D.** Influence of ~7 keV sterile neutrino dark matter on the process of reionization // JCAP. 2016. V. 06. Id. 017.
- 39. Ruchayskiy O., Boyarsky A., **Iakubovskyi D.**, Bulbul E., Eckert D., Franse J., **Malyshev D.**, Markevitch M., Neronov A. Searching for decaying dark matter in deep XMM-Newton observation of the Draco dwarf spheroidal // Mon. Not. Roy Astron. Soc. 2016. V. 460. I. 2.
- 40. **Savchenko D., Iakubovskyi D.** Towards robust detection of a faint narrow line in X-rays the role of continuum-induced systematics // submitted to Ukr. J. Phys
- 41. Southworth J., Tregloan-Reed J., Andersen M., Calchi Novati S., Ciceri, S., ..., Elyiv
 A. High-precision photometry by telescope defocussing VIII. WASP-22, WASP-41, WASP-42 and WASP-55. // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. 2016. V. 457.
 I. 4. P. 4205-4217
- 42. Torbaniuk O. A quasar sample for Lya-forest studies from the Data Release 10 of the Sloan Digital Sky Survey // Advances in Astronomy and Space Physics. 2015. V. 5. I. 2. P. 84-88.
- 43. Torbaniuk O. A quasar sample for Lya-forest studies from the Data Release 10 of the Sloan Digital Sky Survey // Advances in Astronomy and Space Physics. 2015. V. 5. I. 2. P. 84-88.
- 44. **Torbaniuk O., Ivashchenko G.** Dependence between some spectral and physical characteristics of quasars // WDS'14 Proc. of Contributed Papers Physics (eds. J. Safrankova and J. Pavlu), Prague, Matfyzpress. 2014. pp. 42-47
- 45. **Torbaniuk O., Ivashchenko G.** Dependence of equivalent width of quasar emission lines on UV-optical spectral index // IAU Symp. 2014. V. 304. P. 282-283
- Vasylenko A.A., Zhdanov V. I., Fedorova E. X-ray spectral parameters for a sample of 95 active galactic nuclei // Astrophysics and Space Science. 2015. V. 360. P. 71-87.

- 47. Vavilova I.B., Vasylenko A.A., Babyk Iu.V., Pulatova N.G. X-ray spectral properties of the isolated AGNs: NGC 1050, NGC 2989, ESO 317-038, ESO 438-009 // Odessa Astronomical Publications. 2015. Vol. 28/2. P. 150-153.
- 48. Вавилова І.Б., Бабик Ю.В., Добричева Д.В., Василенко А.А., Іващенко Г.Ю., Сергієнко О.М., Торбанюк О.О., Пулатова Н. Г. Астрокосмічні бази даних для досліджень мультихвильових і космологічних властивостей позагалактичних об'єктів // Космічна наука і технологія. 2015. Т. 21. С. 94-107.
- 49. Василенко А., Федорова О., Жданов В. Рентгенівські спектральні параметри для 65 галактик за даними каталогу Swift/BAT AGNs // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія «Астрономія». 2014. В. 51. С. 22–31.
- 50. Василенко А.А., Федорова Е.В., Гнатык Б.И., Жданов В.И. Признаки двойной черной дыры в активном ядре NGC 1194? // Кинематика и физика небесных тел. 2015. Т. 31. №1. С. 22–31.
- 51. Василенко А.А., Жданов В.І., Федорова О. В. Активні ядра галактик та рентгенівські спостереження // Журнал фізичних досліджень. 2016. Т. 20. № 3. С. 3902-3920.
- 52. **Торбанюк Е. А., Иващенко А. Ю.** Средняя прозрачность нейтральной межгалактической среды в линии Lyα с использованием спектров квазаров высо- кого разрешения // принята в Кинематика и физика небесных тел. — 2016.
- 53. **Якубовський Д. А., Савченко Д. О**., Буско Т.О. Побудова карт неба в рентгенівському діапазоні та їхнє застосування для пошуку лінії розпаду темної матерії. // прийнята в Космічна наука і технологія. 2015. Т. 21. №5.