



ISSN 2411-6602 (Online)

ISSN 1607-2855 (Print)

Том 16 • № 1 • 2020 С. 1 – 7

<https://doi.org/10.18372/2411-6602.16.01>

УДК 524.7; 520.6; 519.6

Позагалактичні рентгенівські дискретні джерела

Л.В. Задорожна*, А.В. Тугай, С.Ю. Шевченко

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 03127, м. Київ, пр. Академіка Глушкова, 4а

Дослідження позагалактичних рентгенівських джерел з використанням даних космічної обсерваторії XMM-Newton є передовим напрямом рентгенівської астрономії. Джерелами рентгенівського випромінювання за межами нашої Галактики є інші галактики — нормальні, радіогалактики, квазари, блазари, сейфертівські галактики, а також протяжні джерела в скупченнях галактик — свічення гало скупчення. Прилади, встановлені на рентгенівському супутнику, досягають такого високого рівня кутового розділення, що дозволяє виділяти окремі джерела всередині найближчих до нас галактик. Спостереження показали, що рентгенівське випромінювання галактик представляє собою, в основному, випромінювання центральної області — активного ядра галактики, що, згідно прийнятої зараз теорії, є випромінюванням від центральної надмасивної чорної діри та сукупності рентгенівських джерел у диску галактики. Такі джерела можуть бути областями зореутворення, подвійними системами та ін. Ми провели кореляцію між каталогом 4XMM-DR9 та базою даних галактик HyperLeda. Каталог 4XMM-DR9 вміщує 550 124 унікальних джерел, що покривають 2,85% неба. Як результат, ми отримали 1207 галактик з потоком рентгенівського випромінювання, що перевищує 10^{-13} ерг/(см²·с). Даний поріг по потоку було обрано, оскільки для таких джерел можливо побудувати спектр, тому вони представляють особливий інтерес. Близько 600 галактик вдалося ідентифікувати та класифікувати. Чільне місце займають галактики, чий кутові розміри в оптичному діапазоні перевищують 60'', таких виявлено 364 шт. Серед них 19 галактик, що входять в скупчення з яскравим рентгенівським гало; 20 галактик, що не мають рентгенівського ядра; 13 галактик, що не мають рентгенівського випромінювання в межах встановленого порогу. Більшість галактик має протяжне ядро з видимим поверхневим розподілом яскравості, що спадає від центра до периферії. З більш як одним рентгенівським джерелом маємо 184 галактики. В подальшому цікаво отримати спектри та криві блиску дискретних рентгенівських джерел галактик для більш детального дослідження природи їх випромінювання.

Ключові слова: рентгенівське випромінювання галактик; 4XMM-DR9 каталог; HyperLeda; активні ядра галактик; позагалактичні дискретні рентгенівські джерела; сейфертівські галактики; квазари; гало скупчень.

1. СУПУТНИК XMM-NEWTON ТА КАТАЛОГ СПОСТЕРЕЖЕНЬ 4XMM-DR9

Космічна обсерваторія XMM-Newton була виведена на навколосеземну орбіту 10 грудня 1999 року в рамках програми Horizon 2000 Європейської Космічної Агенції. XMM-Newton має найбільшу ефективну площу серед усіх рентгенівських супутників. З трьома рентгенівськими телескопами по 1550 см при енергії 1,5 кеВ на борту XMM є високочутливим та універсальним приладом, адже всі його інструменти можуть працювати одночасно. XMM може одночасно отримувати зображення, криві блиску і спектри джерел у м'якому і середньому рентгенівському діапазоні. Велике поле зору (FOV), що має діаметр 30', дає можливість за одне спостереження виявляти від 50 до 100 рентгенівських джерел [12].

Орбіта XMM є дуже витягнутою еліптичною, в перигеї проходить радіаційні пояси Землі. Поза радіаційними поясами, XMM проводить спостереження тривалістю до 40 годин при мінімальній висоті спостережень 46 000 км. Така тривала видимість цілі дає можливість вивчення змінності джерел. XMM оснащений трьома камерами EPIC (MOS1, MOS2, PN), спектрометром RGS і оптичним монітором OM. Кожна з камер EPIC складається з ПЗЗ-чипів, на які фокусуються фотони у діапазоні 0,2...12 кеВ. Кожна з камер MOS складається з 7 квадратних ПЗЗ-чипів, кожен чіп може працювати в одному з режимів: Imaging (режим побудови зображення), Timing (режим слідування за часовими змінами блиску), Burst (режим спостереження спалаху для PN камери). ПЗЗ-камери EPIC мають спектральне розділення з роздільною силою $\Delta E/E$ в діапазоні 20...50. Спектральне розділення камер EPIC приймає значення від 70 еВ на енергії 1 кеВ до 150 еВ на 6,4 кеВ (енергія емісійної лінії заліза, що часто зустрічається у рентгенівських спектрах). На енергіях вище 10 кеВ розділення різко спадає та разом з цим зростає фонове випромінювання в цьому діапазоні, що значно погіршує можливість побудови спектру. PN камера має сильний низькоенергетичний хвіст, його вплив проявляється до енергії 600 еВ. Спостереження бортового калібрувального джерела вказують на погіршення енергетичного розділення PN камери на 2,5 еВ на рік. З іншого боку, спостереження активних ядер галактик показують стає значення розділення з часом. Дослідження проблеми калібрування PN камери триває. Спектрометр RGS має кутове розділення з роздільною силою 200...800. XMM має хороше кутове розділення, так що 50% енергії точкового джерела зосереджується у кружку діаметром 15''. Завдяки спостереженням

Задорожна Лідія Володимирівна; ✉ Zadorozhna_Lida@ukr.net

Вісник Астрономічної школи, 2020, том 16, № 1

на співвісному оптичному і ультрафіолетовому телескопі OM є можливою ідентифікація оптичних і ультрафіолетових компонент рентгенівських джерел, що видимі на рентгенівських телескопах. Також є можливим спостереження оточуючого поля [10, 14].

Всі спостереження через рік після проведення з'являються у вільному доступі в мережі Інтернет. Дані спостережень XMM можна отримати з інтернет-архіву HEASARC.

XMM-Newton Survey Science Centre (SSC) — об'єднання з десяти європейських інститутів [11], розробляє значну частину системи наукових досліджень XMM-Newton (SAS) [3]. Для скорочення, аналізу і обробки даних XMM-Newton створюються стандартизовані програми. XMM-SSC також випускає каталоги всіх спостережень, зроблених за допомогою XMM-Newton. Каталоги рентгенівських спостережень, зроблені за допомогою трьох камер EPIC [7, 9], розміщених у фокусі трьох рентгенівських телескопів, позначаються 1XMM, 2XMM та 3XMM відповідно [12]; поступові версії цих каталогів, що відрізняються послідовним розширенням по даних, позначені -DR і номером каталогу.

В даній роботі використовувалась остання версія каталогу XMM — 4XMM, який охоплює 19 років спостережень і включає багато вдосконалень, в порівнянні з попередніми каталогами. Найбільша різниця між 3XMM та 4XMM полягає в методі врахування і моделювання фону. 4XMM-DR9 створений на основі даних, отриманих з 11 204 спостережень XMM-Newton EPIC, які стали загальнодоступними з 1 березня 2019 року. 4XMM-DR9 містить 810 795 спостереження 550 124 унікальних джерел, що охоплюють 2,85% неба. Потоки та спектри доступні для більш ніж 288 000 найяскравіших джерел (36% усіх спостережень) [13].

2. ПОЗАГАЛАКТИЧНІ ДЖЕРЕЛА РЕНТГЕНІВСЬКОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Джерелами рентгенівського випромінювання за межами нашої Галактики є інші галактики — нормальні, радіогалактики, квазари, блазари, сейфертівські галактики, а також протяжні джерела в скупченнях галактик — свічення гало скупчення [2, 4]. Сучасні прилади для детектування рентгенівського випромінювання мають такий рівень кутового розділення, що дозволяє розгледіти окремі джерела всередині найближчих до нас галактик.

Рентгенівське випромінювання нормальних галактик представляє собою, в основному, випромінювання джерела в центрі галактики та сукупність слабших дискретних джерел, розміщених вздовж площини галактики. Рентгенівське випромінювання нормальних галактик, в загальному, має бути схожим на випромінювання нашої Галактики. В рентгенівському діапазоні спостерігається прояв структури Галактики, що називається рентгенівським хребтом Галактики. Згідно останніх досліджень, свічення Галактичного рентгенівського хребта як мінімум на $88 \pm 12\%$ складається з випромінювання великої кількості дискретних слабких рентгенівських джерел, в основному білих карликів з акрецією та зірок з активними коронами [4]. Дослідження інших нормальних галактик за допомогою рентгенівських обсерваторій останнього покоління показали, що вклад випромінювання дискретних джерел, тобто випромінювання типу Галактичного хребта, є досить суттєвим у галактик без зореутворення [6]. Скажімо, рентгенівське випромінювання однієї з найближчих наших сусідок — галактики Андромеда M31 — є сумарним випромінюванням більш як 80 дискретних джерел з середньою світністю $L \sim 10^{37}$ ерг/с. Відомі також спалахуючі рентгенівські джерела, такі як рентгенівські нові та барстери. Зростання інтенсивності випромінювання рентгенівської нової відбувається за час, близький до тижня, потім її блиск за кілька місяців спадає до рівня фону. Крива блиску рентгенівського транзйентного джерела нагадує криву оптичного блиску нової. Рентгенівські нові — це також подвійні системи, в котрих нейтронна зоря рухається по витягнутій орбіті з великим ексцентриситетом. Барстер (термін походить від англ. *burst* — спалах) характеризується раптовим зростанням інтенсивності рентгенівського випромінювання за час порядку декількох секунд або навіть менше. Потім протягом декількох десятків секунд відбувається зниження рентгенівської інтенсивності джерела. Світність барстера в максимумі потоку порівнянна з світністю найяскравіших рентгенівських джерел в нашій Галактиці. Типове значення світності $L \sim 10^{37} \dots 10^{38}$ ерг/с. Подібних спалахів у одного джерела може бути кілька, часовий проміжок між спалахами становить кілька годин, а іноді і днів. Їх називають спалахами 1-го типу, а подібні барстери називають повільними. Також відомі швидкі барстери, для яких характерні спалахи 2-го типу. Це більш короткі спалахи тривалістю близько 1 секунди і з інтервалом між спалахами в кілька хвилин. Крім того, на відміну від спалахів 1-го типу, вони не демонструють спектральної змінності. Барстери, як правило, мають м'який рентгенівський спектр $kT \sim 3 \dots 10$ кеВ, у них відсутні періодичні пульсації випромінювання. Ці джерела з великою ймовірністю є нейтронними зірками, а не білими карликами або чорними дірами. Основний аргумент на користь даної теорії полягає в тому, що спектри спалахів з високим ступенем точності описуються розподілом Планка. Для деяких барстерів в нашій Галактиці отримані оцінки відстаней до них, так що виявляється можливим визначити радіус випромінюючої області. Його значення виявилось близько 7 км, що близько до величини радіусу нейтронної зірки. Наявність м'якого рентгенівського спектру і відсутність періодичних пульсацій можуть бути пов'язані з тим, що у нейтронних зірок в таких системах магнітне поле порівняно слабке $B \sim 10^8 \dots 10^9$ Гс. Барстери знаходять в кульових скупченнях.

Спостереження показали, що сильні рентгенівські джерела в кульових скупченнях близькі до центру скупчення, проте не співпадають з ним, тоді як концентрація слабких джерел до центру скупчення набагато нижча. Звідси можна зробити висновок, що сильні рентгенівські джерела масивніші, ніж слабкі джерела, і в результаті під дією гравітації опустилися ближче до центрів мас скупчень. На даний час вважається, що рентгенівські джерела в кульових скупченнях — це тісні подвійні зоряні системи. Одна із зірок такої системи — компактний об'єкт. При випаданні на поверхню компактного об'єкта газової речовини з акреційного диска, що утворився навколо компактного об'єкта завдяки потокам від зірки-супутника, виникає рентгенівське випромінювання. Цей компактний об'єкт в сильних рентгенівських джерелах повинен бути нейтронною зіркою, тоді як слабкі, менш масивні рентгенівські джерела замість нейтронної зірки містять білий карлик [2]. Спалахи барстерів відбуваються через взаємодію перетікаючої на нейтронну зірку газової речовини з магнітосферою зорі. Починаючи від спостережень обсерваторії «Ейнштейн», були виявлені рентгенівські джерела в кульових скупченнях і за межами нашої Галактики. У Туманності Андромеди знайдено 19 кульових скупчень із дискретними рентгенівськими джерелами. Настільки сильних рентгенівських джерел в кульових скупченнях нашої Галактики дуже мало.

Що стосується потужних радіогалактик, то в них частіше джерелами випромінювання є досить протяжні області, що приблизно збігаються за розмірами з областями радіовипромінювання. Крім того, деякі дані свідчать про кореляцію рентгенівського і радіопотоків. Тому вважається, що рентгенівське випромінювання радіогалактик утворюється в результаті зворотного Комптон-ефекту — розсіяння радіофотонів на тих самих релятивістських електронах, які забезпечують спостережуваний радіопотік в результаті синхротронного випромінювання [1].

Однією з визначних подій в розвитку позагалактичної рентгенівської астрономії стало відкриття потужного рентгенівського випромінювання квазарів і активних ядер галактик. Класичним прикладом галактик з активним ядром є сейфертівські галактики. З точки зору спектроскопії ці галактики відрізняються емісійними спектрами високого збудження з широкими лініями — це особливі спектроскопічні характеристики центральних районів [8]. Більша частина цих галактик морфологічно відносяться до спіральних галактик.

Квазари були відкриті як квазізоряні об'єкти, що мають велике червоне зміщення, змінні в оптичному діапазоні, мають ультрафіолетовий надлишок, яскраві емісійні лінії та пов'язані з радіоджерелом. Проте згодом були відкриті радіотихі квазари, що не створюють сильного радіовипромінювання, причому, на даний момент таких квазарів більшість. За сучасними уявленнями, квазари є активними ядрами галактик на початковому етапі розвитку. Рентгенівські світності квазарів і ядер сейфертівських галактик в енергетичному інтервалі 0,5...4,5 кеВ лежать в межах $L \sim 10^{43} \dots 10^{47}$ ерг/с. Змінність потоків в рентгенівському діапазоні, властива цим об'єктам, виявилася швидшою (від ~ 10000 с у сейфертівських галактик до ~ 100 с у квазарів), ніж змінність їх оптичного випромінювання ~ 30 діб. Така швидка змінність дозволяє оцінити характерні розміри області випромінювання як $R \sim 10^{13} \dots 10^{14}$ см. Виняткова компактність галактичних ядер, а також їх висока енергетична віддача в рентгенівському діапазоні, яка може бути пояснена тільки механізмом акреції міжгалактичного газу і речовини зірок на надмасивний об'єкт, дозволяють припустити, що галактичні ядра є надмасивними чорними дірами [2, 4].

Блазари — клас позагалактичних об'єктів високої світності, активні ядра галактик з релятивістськими джетами, спрямованими на спостерігача (напрямок джета $\leq 20^\circ$ від променя зору). Релятивістські ефекти роблять блазар значно яскравіше для спостерігача, ніж було б у разі, якби джет був направлений в бік від променя зору. Як і всі квазари, блазари пов'язані з надмасивною чорною дірою в центрі галактики; у випадку блазарів ця галактика, як правило, є гігантською еліптичною галактикою. Блазари, як тип об'єктів, містять два підтипи. До першого підтипу відносяться лацертиди. Блазар, що дав назву всьому підтипу — BL Ящірки (BL Lacertae), відкритий у 1968 році. Його оптичний спектр в цілому такий, як у квазарів, тільки дещо крутіший, без спектральних особливостей (без сильних емісійних ліній). Оптичне та радіовипромінювання сильно поляризоване. До іншого підтипу блазарів відносяться оптично-швидкозмінні квазари — група квазарів, яким властива високоамплітудна змінність блиску в оптичному діапазоні. Зазвичай мають сильніші емісійні лінії в оптичному діапазоні, ніж лацертиди, і набагато активніші в радіодіапазоні [1, 4].

Згідно сучасного погляду, всі ці об'єкти є різними проявами одного й того ж процесу — рівень активності ядер галактик змінюється в широкому діапазоні [1, 4]. Навіть ядра нормальних галактик представляють собою об'єкти того ж типу, що й у більшості активних галактик і квазарів, проте значно меншого масштабу. В структурі активного галактичного ядра виділяють дві основні частини: компактне центральне джерело неперервного випромінювання і частинок високої енергії, що і відповідає за всі прояви потужної активності ядер, та оболонка із хмар іонізованого газу. В оптичному, рентгенівському та радіо діапазонах спостерігається потужне випромінювання, що генерується в досить компактній області. Спектр випромінювання в оптичному та радіодіапазоні не схожий ні на спектр абсолютно чорного тіла,

ні на зоряний. Нерідко він має ступеневий вигляд, випромінювання лінійно поляризоване [1].

Ключовим досягненням рентгенівської астрономії стало відкриття протяжних джерел рентгенівсько-го випромінювання в скупченнях галактик. Найпотужніші з них знаходяться в скупченнях в сузір'ях Волосся Вероніки, Персей та Діва. Характерні розміри протяжних джерел становлять 0,1...1 мегапарсек, а їхня світність лежить в межах $L \sim 10^{43} \dots 10^{45}$ ерг/с. Детальне дослідження їх спектрів показало, що джерелом випромінювання є гарячий міжгалактичний газ з температурою $T \sim 10^7 \dots 10^8$ К, захоплений гравітаційним полем скупчення. Гарячий газ всередині скупчень безсумнівно має галактичне походження [4, 5].

3. ВИБІРКА РЕНТГЕНІВСЬКИХ ГАЛАКТИК XGAL

В даній роботі ми представляємо нову вибірку, отриману з найбільшої на даний момент доступної бази даних рентгенівських джерел і галактик: 4XMM та HyperLeda. Зараз у базі даних HyperLeda є більш ніж 1,5 млн об'єктів, що ідентифікуються як галактики. Деякі з них, можливо, є помилковими або повторюваними, аналогічно, каталог 4XMM-DR9 може містити помилкові чи повторювані дані. Тим не менш, рентгенівські галактики, ідентифіковані шляхом перехресної вибірки з цих двох баз даних можуть бути корисними як підґрунтя для статистичних досліджень та для побудови вибірок певних цікавих об'єктів.

Кореляційну вибірку можемо проводити кількома шляхами. Оскільки кутове розділення XMM-Newton дорівнює $7''$, можливо ідентифікувати деяку певну галактику з HyperLeda як джерело рентгенівських променів, коли буде знайдено рентгенівське джерело 4XMM-DR9 на відстані не більше $7''$ від галактики. Для визначення верхньої границі числа рентгенівських галактик ми збільшили радіус кореляції між рентгенівським джерелом 4XMM-DR9 і галактикою з HyperLeda до значення оптичного радіусу галактики. Ця процедура дещо збільшує кількість перехресних кореляцій.

Було отримано вибірку близько 5000 галактик з рентгенівським випромінюванням, як перехресний кореляційний каталог 4XMM рентгенівських джерел з базою даних галактик HyperLeda. Проте нас цікавлять рентгенівські галактики, для котрих можливо побудувати спектр, тому ми відібрали 1207 галактик з потоком рентгенівського випромінювання F , що перевищує 10^{-13} ерг/($\text{cm}^2 \cdot \text{c}$), таку підбірку називатимемо вибіркою рентгенівських галактик Xgal. Близько 600 галактик було переглянуто, їх вдалося ідентифікувати та класифікувати. Галактики для ідентифікації переглядаються "вручну", використовуючи віртуальний телескоп SkyView [16], позагалактичну базу даних NASA/IPAC [17], Strasbourg astronomical Data Center [18].

Чільне місце у вибірці рентгенівських галактик Xgal займають галактики, чий кутові розміри δ в оптичному діапазоні не перевищують $60''$, таких виявлено 364 шт. (див. рис. 1, табл. 1–4). Кутові розміри були обрані такими, що дозволяють розгледіти не лише рентгенівське ядро, а й інші дискретні джерела в галактиці.

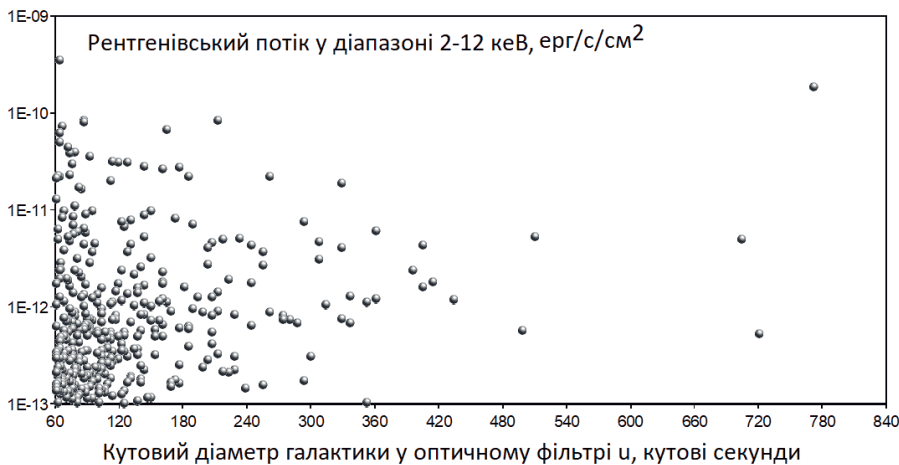


Рис. 1. Потік рентгенівського випромінювання в одиницях ерг/($\text{cm}^2 \cdot \text{c}$) і кутовий розмір галактики в $''$. Кожна кулька відображає конкретну галактику на діаграмі.

Накладаючи рентгенівське і оптичне зображення галактик, використовуючи бази The XMM-Newton Survey Science Centre [19], HEASARC [20], знову ж "вручну" збирались статистичні дані. Для кожної галактики з нашої вибірки було визначено, чи є у галактики рентгенівське ядро, пораховано кількість дискретних рентгенівських джерел, встановлено, чи є протяжні світні в рентгені області, чи відноситься галактика до скупчення галактик з яскравим рентгенівським гало.

Таблиці побудовані на основі даних 364 рентгенівських галактик з вибірки рентгенівських галактик Xgal з $\delta \geq 60''$, чий розміри достатні, щоб розгледіти джерела, окрім ядра, а величина потоку дозволяє

Таблиця 1. Розподіл рентгенівських галактик по кількості точкових джерел у них

Кількість дискретних джерел в галактиці, шт	Кількість галактик, шт	Кількість дискретних джерел в галактиці, шт	Кількість галактик, шт
0	13	14	3
1	156	15	2
2	54	16	1
3	29	17	3
4	17	18	1
5	19	19	1
6	15	20	2
7	7	21	1
8	4	22	1
9	5	25	2
10	4	26	1
11	4	28	1
13	2	30	3

Таблиця 2. Якісні типи рентгенівських позагалактичних джерел

Кількість галактик з більш як одним рентгенівським джерелом, шт	Кількість галактик без ядра, шт	Кількість галактик з ядром, шт	Кількість в скупченнях з яскравим гало, шт
184	7	327	19

Таблиця 3. Кількість активних ядер галактик різних типів

З невстановленим типом активності	16
N-галактики	34
Галактики з емісійними лініями	9
НП-галактики	8
Галактики типу LINER	33
Сейферт	8
Сейферт 1	19
Сейферт 2	46
Квасари	2

Таблиця 4. Кількість рентгенівських галактик в залежності від особливостей оптичного і радіо випромінювання

Нормальні галактики	168
Взаємодіючі галактики	12
Радіогалактики	6
Галактики зі спалахами зореутворення	3

Таблиця 5. Властивості галактик NGC 507 та NGC 4889

Назва галактики	Назва скупчення	Галактична довгота l	Галактична широта b	Оптичний розмір δ (")	Червоне зміщення z	Рентгенівський потік F , 10^{-12} ерг/(см ² ·с)	Похибка у визначенні потоку ΔF , 10^{-14} ерг/(см ² ·с)
NGC 507	RXJ0123.6+3315	130,643	-29,133	73,6838	0,01646	4,78	8,65
NGC 4889	Coma	57,194	87,894	77,157	0,02167	5,54	14,9

побудувати спектр джерела. Що стосується інших галактик вибірки Xgal, то в більшості вони мають одне рентгенівське джерело — ядро або зовсім не мають джерел.

Серед нашої вибірки зустрічається два особливих джерела — галактики, чиє рентгенівське випромінювання ядер видно на яскравому фоні свічення гало скупчення (див. табл. 5).

4. ВИСНОВКИ

Було проведено перехресну кореляцію між каталогом 4XMM-DR9 та базою даних галактик NuregLeda; як результат отримали вибірку з 1207 галактик з потоком $F \geq 10^{-13}$ ерг/(см²·с) — вибірку рентгенівських галактик Xgal; більш як 600 галактик з даних було ідентифіковано. Для 364 галактик з Xgal з $\delta \geq 60''$, для котрих можливо ототожнити рентгенівські джерела, окрім ядра, було встановлено тип рентгенівської активності та пораховано кількість дискретних рентгенівських джерел. В подальшому цікаво було б глибше дослідити природу дискретних рентгенівських джерел, провести їх спектральний аналіз.

1. Лонгейр М.С. Астрофизика высоких энергий. — М: Мир, 1984. — 396 с.
2. *Fabbiano G.* The Chandra X-ray Observatory. Exploring the high energy universe. Chapter 7. X-Rays from Galaxies. — The Smithsonian Institution in association with IOP Publishing Ltd., 2019. — P.7-1–7-42.
<https://doi.org/10.1088/2514-3433/ab43dcch7>
3. *Gabriel C., Denby M., Fyfe D.J., et al.* Astronomical Data Analysis Software and Systems (ADASS) // XIII ASP Conference Series. — 2004. — Vol. 314. — 759 p.
4. *Longair M.S.* Galaxy Formation. — Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2008. — 737 p.
5. *Migkas K., Schellenberger G., Reiprich T.H., et al.* Probing cosmic isotropy with a new X-ray galaxy cluster sample through the LX-T scaling relation // *Astron. & Astroph.* — 2020. — Vol. 636. — P.42.
<https://doi.org/10.1051/0004-6361/201936602>
6. *Mingo B., Watson M.G., Rosen S.R., et al.* The MIXR sample: AGN activity versus star formation across the cross-correlation of WISE, 3XMM, and FIRST/NVSS // *MNRAS.* — 2016. — Vol. 462. — P.2631–2667.
<https://doi.org/10.1093/mnras/stw1826>
7. *Streder L., Briel U., Dennerl K., et al.* The European Photon Imaging Camera on XMM-Newton: The pn-CCD camera // *Astron. & Astroph.* — 2001. — Vol. 365. — P.L18.
8. *Tugay A.* X-ray galaxies in nearby filaments // *Proceedings of the International Astronomical Union.* — 2013. — Vol. 13. — P.168–170. <https://doi.org/10.1017/s1743921314003676>
9. *Turner M.J.L., Abbey A., Arnaud M., et al.* The European Photon Imaging Camera on XMM-Newton: The MOS cameras // *Astron. & Astroph.* — 2001. — Vol. 365. — P.L27.
10. The XMM-Newton ABC Guide: An Introduction to XMM-Newton Data Analysis Version 6.0 for XMM-SAS v 18.0, June 2019 (<https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/xmm/abc/>).
11. *Watson M.G., Augueres J.-L., Ballet J., et al.* The XMM-Newton Serendipitous Survey — I. The role of XMM-Newton Survey Science Centre // *Astron. & Astroph.* — 2001. — Vol. 365. — P.L51.
12. *Watson M. G., Schroder A. C., Fyfe D., et al.* The XMM-Newton Serendipitous Survey. V. The Second XMM-Newton Serendipitous Source Catalogue // *Astron. & Astroph.* — 2009. — Vol. 493. — P.339–373.
13. *Webb N. A., Coriat M., Traulsen I., et al.* The XMM-Newton serendipitous survey IX. The fourth XMM-Newton serendipitous source catalogue // *Astron. & Astroph.* — 2019. — Manuscript No. 4XMMv3. — P.1–13.
14. XMM-Newton Users Handbook Issue 2.17, 15.07.2019. —
https://xmm-tools.cosmos.esa.int/external/xmm_user_support/documentation/uhb/
15. <http://sidc.oma.be/silso/datafiles>
16. <https://skyview.gsfc.nasa.gov>
17. <https://ned.ipac.caltech.edu>
18. <http://simbad.u-strasbg.fr>
19. <http://xmm-catalog.irap.omp.eu>
20. <https://heasarc.gsfc.nasa.gov>

Внегалактические рентгеновские дискретные источники

Задорожная Л.В., Тугай А.В., Шевченко С.Ю.

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, 03127, г. Киев, пр. Академика Глушкова, 4а

Исследование внегалактических рентгеновских источников с запуском XMM-Newton становится передовым направлением рентгеновской астрономии. Источниками рентгеновского излучения за пределами нашей Галактики являются другие галактики — нормальные галактики, радиогалактики, квазары, блазары, сейфертовские галактики, а также протяженные источники в скоплениях галактик — свечение гало скопления. Приборы, установленные на рентгеновском спутнике, достигают высокого уровня углового разрешения, которое позволяет выделять отдельные источники внутри ближайших к нам галактик. Наблюдения показали, что рентгеновское излучение галактик представляет собой, в основном, излучение центральной области — активного ядра галактики, которое, согласно принятой сейчас теории, является излучением от центральной сверхмассивной черной дыры, и совокупности рентгеновских источников в диске галактики. Такие источники могут быть областями звездообразования, двойными системами и др. Мы провели корреляцию между каталогом 4XMM-DR9 и базой данных галактик HyperLeda. Каталог 4XMM-DR9 содержит 550 124 уникальных источников, покрывающих 2,85% неба. Как результат, мы получили 1207 галактик с потоком рентгеновского излучения, превышающим 10^{-13} эрг/(см²·с). Данный порог по потоку был избран, поскольку для таких источников может быть построен спектр, поэтому они представляют особый интерес. Около 600 галактик удалось идентифицировать и классифицировать. Ведущее место занимают галактики, чьи угловые размеры в оптическом диапазоне превышают 60'', таких 364 шт. Среди них 19 галактик, входящих в скопления с ярким рентгеновским гало; 20 галактик, не имеющих рентгеновского ядра; 13 галактик, не имеющих рентгеновского излучения в пределах установленного порога. Большинство галактик имеет протяженное ядро с видимым поверхностным распределением яркости, что снижается от центра к периферии. С более чем одним рентгеновским источником имеем 184 галактики. В дальнейшем интересно получить спектры и кривые блеска дискретных рентгеновских источников в галактиках для более детального исследования природы их излучения.

Ключевые слова: рентгеновское излучение галактик; 4XMM-DR9 каталог; HyperLeda; активные ядра галактик; внегалактические дискретные рентгеновские источники; сейфертовская галактика; квазары; гало скоплений.

Extragalactic X-ray discrete sources

Zadorozhna L.V., Tugay A.V., Shevchenko S.Yu.

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Hlushkova Avenue 4a, 03127 Kyiv, Ukraine

Extra-galactic X-ray research with the launch of XMM-Newton has become the forefront of X-ray astronomy. X-ray sources outside our galaxy are the other galaxies — normal galaxies, radio galaxies, quasars, blazars, Seyfert galaxies, as well as extended sources in galaxy clusters — the glow of cluster's halo. X-ray space observatory's equipment reach a high level of angular separation that allow to discern the individual sources within the galaxies nearest to us. The observations have shown that X-rays from galaxies are mainly the radiation of the central region — the active nucleus of the galaxy, which, according to generally accepted theory, is the radiation from the central supermassive black hole, and the set of X-ray sources in the galaxy's disk. Such sources could be the areas of star formation, the populations of X-ray binaries, etc. We cross-correlate the 4XMM-DR9 catalog and the HyperLeda galaxy database. The 4XMM-DR9 catalog contains 550124 unique sources covering 2.85% of the sky. As a result, we received 1207 galaxies with an X-ray flux exceeding 10^{-13} erg/(cm²·s). This range was chosen, since a spectrum could be constructed for such sources; therefore, they are of particular interest. About 600 galaxies from our sample were identified and classified. The leading place is occupied by galaxies whose optical angular sizes are in the range exceed 60'', total number of such galaxies is 364. Among them, 19 galaxies are in clusters with a bright X-ray halo; 20 galaxies without an X-ray nucleus; 13 galaxies don't have X-ray radiation within a specified range. Most galaxies have an extended core with a visible surface distribution of brightness, which decreases from the center to the periphery. With more than one X-ray source, we have 184 galaxies. In future, it will be interesting to obtain spectra and light curves of the discrete X-ray sources in galaxies for a more detailed study of their radiation's nature.

Keywords: X-ray galaxy; 4XMM-DR9 catalog; HyperLeda; active galaxy nuclei; extragalactic discrete X-ray sources; Seyfert galaxies; quasars; cluster's halo.

Надійшла до редакції / Received 21.05.2020
Прийнята до друку / Accepted 26.06.2020