

doi: <https://doi.org/10.15407/kfnt2021.03.068>

УДК 524.7, 520.6, 519.6

**Л. В. Задорожна¹, А. В. Тугай¹,
С. Ю. Шевченко², Н. Г. Пулатова³**

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
фізичний факультет, просп. Глушкова 2, корпус № 1, Київ, Україна, 03680

²Інститут зоології ім. І. І. Шмальгаузена Національної академії наук України,
вул. Богдана Хмельницького 15, Київ, Україна, 01030

³Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України,
вул. Академіка Заболотного 27, Київ, Україна, 03143
E-mail: zadorozhna_lida@ukr.net, tugay.anatoliy@gmail.com,
astromott@gmail.com, nadya@mao.kiev.ua

Каталог рентгенівських галактик Xgal

Дослідження позагалактичних рентгенівських джерел з використанням даних космічної обсерваторії «ХММ-Newton» є одним з основних напрямків сучасної рентгенівської астрономії. Спостереження показують, що рентгенівське випромінювання галактик — це в основному випромінювання центральної області — активного ядра галактики та сукупності рентгенівських джерел у диску галактики. В нашій роботі методом перехресного корелятивного порівняння двох сучасних каталогів було отримано вибірку з більш як 5000 рентгенівських галактик, більшість з котрих є активними ядрами галактик низької світності. Використовувались каталоги 4XMM-DR9, який містить 550124 унікальних рентгенівських джерел, що покривають 2.85 % неба, та база даних HyperLeda, що містить близько 1.5 млн галактик. На основі цієї вибірки були відібрані галактики зі значеннями потоку рентгенівського випромінювання, більшими за $F = 10^{-20}$ Дж см⁻² с⁻¹. Оскільки для таких джерел легше побудувати інформативний спектр, вони становлять особливий інтерес. Було створено ідентифікований та класифікований каталог з 1172 галактик, що верифікувався вручну, — каталог рентгенівських галактик Xgal. Більшість галактик, що входять у Xgal, мають активне рентгенівське ядро, серед них на малих відстанях від спостерігача переважають сейфертівські галактики, а на великих — квазари. 169 галактик мають протяжне ядро з видимим поверхневим розподілом

яскравості, а 173 галактики мають більш ніж одне рентгенівське джерело. На основі Xgal був створений каталог протяжних рентгенівських галактик (з кутовими розмірами в оптичному діапазоні $\alpha > 60^\circ$), що мають рентгенівські джерела поза ядром. Обидва каталоги викладено у вільному доступі. Каталог Xgal можна застосувати для побудови спектрів певного класу об'єктів в різних діапазонах та розробки чи вдосконалення теорії їхнього випромінювання, огляду яскравих та протяжних квазарів, а всю перехресну вибірку використовувати для дослідження слабких активних ядер галактик, великомасштабної структури Всесвіту у рентгенівському діапазоні.

Ключові слова: рентгенівське випромінювання галактик, «XMM-Newton», 4XMM-DR9, HyperLeda, активні ядра галактик, позагалактичний дискретні рентгенівські джерела, квазари.

ВСТУП

Космічна обсерваторія «XMM-Newton» почала свою роботу на навколосезній орбіті понад двадцять років тому в рамках програми «Horizon 2000» Європейської Космічної Агенції. «XMM-Newton» має найбільшу ефективну площу серед усіх рентгенівських супутників, складається з трьох рентгенівських телескопів по 1550 cm^2 при енергії 1.5 кеВ та може одночасно отримувати зображення, криві блиску і спектри джерел у м'якому і середньому рентгенівському діапазонах. Велике поле зору діаметром 30° дає можливість за одне спостереження виявляти від 50 до 100 рентгенівських джерел [24]. XMM оснащено трьома камерами EPIC (MOS1, MOS2, PN), спектрометром RGS і оптичним монітором OM [15, 26].

Значну частину системи наукових досліджень (SAS XMM-Newton — Science Analysis System XMM-Newton) [9, 16] розробляє об'єднання з десяти європейських інститутів «XMM-Newton SSC» (Survey Science Centre) [23]. XMM-SSC випускає каталоги всіх спостережень, зроблених за допомогою «XMM-Newton» та стандартизовані програми для обробки даних спостережень. Каталоги рентгенівських джерел, що були зареєстровані трьома камерами EPIC [15, 21] у фокальних площинах відповідних телескопів, позначаються 1XMM, 2XMM і 3XMM [24] з додатковими послідовно зростаючими номерами версій, що відповідають серії випусків даних і підписуються -DR разом з номером каталогу.

В нашій роботі використовувалась остання на момент обчислень версія XMM-каталогу, 4XMM-DR9 (<http://xmm-catalog.irap.omp.eu/>), який охоплює всі роки спостережень. 4XMM-DR9 створено на основі даних «XMM-Newton» EPIC, які стали загальнодоступними з 1 березня 2019 року.

Нещодавно на основі 4-го покоління каталогів джерел 4XMM [17] був випущений каталог, що має назву 4XMM-DR9s для ділянок неба,

які неодноразово спостерігалися «ХММ-Newton». Каталог включає 288191 джерело, його складено із одночасно виявлених джерел на основі перекриття спостережень. 4ХММ-DR9s вважається основним ресурсом для дослідження довгострокових змін рентгенівських джерел, виявлених «ХММ-Newton».

КОРЕЛЯЦІЙНІ ВИБІРКИ НА ОСНОВІ КАТАЛОГІВ СПОСТЕРЕЖЕНЬ «ХММ-NEWTON»

Ідея побудови кореляційних вибірок не є новою, адже спостереження активних ядер галактик (АЯГ) в різних діапазонах веде до цілісної картини розуміння їхніх фізичних механізмів, властивостей та взаємодії з оточенням. За останні десятиліття практичні можливості широкого послідовного мультихвильового спостереження вперше стали можливими, що передбачає бурхливий розвиток, цікаві та значні відкриття, і не лише в розумінні природи активних ядер галактик. Загалом побудова перехресних вибірок з рентгенівських та оптичних зображень перш за все покликана показати, що більшість позагалактичних рентгенівських джерел — це активні ядра галактик і кластери.

Так, у дослідженні [20] було побудовано каталог рентгенівських джерел 2ХММ (2ХММi-DR3, 2010), скорельованих з базою даних галактик HyperLeda (Hyper-Linked Extragalactic Databases and Archives), в результаті чого отримано вибірку з 4299 рентгенівських галактик — один з перших каталогів Xgal, для якого було проаналізовано розподіли оптичних і рентгенівських потоків, червоних зміщень та рентгенівських світностей галактик. Функція рентгенівської світності даних галактик виявляє ознаки космологічної еволюції навіть на малих червоних зміщеннях. Такі вибірки доцільно використовувати для статистичних досліджень класів галактик з активними ядрами та детального розгляду спектральних особливостей певного класу таких галактик.

Дослідження складу та природи позагалактичних об'єктів є невід'ємною частиною спостережень великомасштабної структури Всесвіту. Сучасні космічні обсерваторії, такі як «ХММ-Newton», виявляють велику кількість позагалактичних рентгенівських джерел. В основному це слабкі джерела — активні ядра галактик низької світності. Наразі є можливість виконувати статистичний аналіз таких джерел для вивчення великомасштабної структури Всесвіту в рентгенівському діапазоні. Однією з головних характеристик великомасштабної структури є двоточкова кореляційна функція для просторового або кутового розподілу позагалактичних об'єктів. Цю функцію було оцінено для рентгенівських активних ядер галактик, скажімо, в межах проекту ХММ-LSS (ХММ-Newton Large-Scale Structure X-Ray Source Catalog) [7]. Спостереження обсерваторії «ХММ-Newton» можна також використовувати для вивчення космологічної еволюції функції світності активних ядер галактик [6]. Пошук проявів великомасш-

табної структури Всесвіту в рентгенівському діапазоні у просторовому розподілі галактик та новий метод знаходження філаментів за допомогою кореляційного каталогу 2XMM/HyperLeda обговорюється в роботі [18].

В дослідженні [19] були використані зображення інфрачервоної космічної обсерваторії WISE (The Wide-field Infrared Survey Explorer) з каталогу кандидатів у активні ядра галактик R90 [4] та поточна версія каталогу XMM SSC для перехресної кореляції спостережних даних інфрачервоного та рентгенівських діапазонів. Автори провели ототожнення джерел, побудували розподіл цих джерел по типах. Досліджувалась великомасштабна структура Всесвіту на відстанях до $z = 0.1$, аналіз виявив скупчення галактик — кластер Coma та кластер Sloan Great Wall.

Для побудови каталогу MIXR AGN вивчалася кореляція трьох каталогів — інфрачервоного огляду всього неба WISE, рентгенівського 3XMM-DR5 та радіокомбінованого каталогу FIRST + NVSS (Faint Images of the Radio Sky at Twenty-cm + National Radio Astronomy Observatory Very Large Array Sky Survey) для класифікації джерел як активних ядер галактик чи галактик із зореутворенням. В роботі [14] стверджується, що такий потрійний відбір є досить ефективним для діагностики областей зореутворення та активності ядра, таких як радіогучні та радіотихі галактики з активними ядрами (LERGs/LINERs — low-excitation radio galaxies/low-ionization nuclear emission-line region galaxies) та нормальні галактики. MIXR є важливим для розуміння зв'язку між активними ядрами галактик та їхнім впливом на формування зірок.

У роботі [12] проаналізовано вибірку 550 квазарів без джету в діапазоні червоних зміщень $z = 0.36...2.23$, складену на основі перехресного збігу між каталогами SDSS та XMM-Newton 3XMM-DR6. Як результат, було запропоновано модифіковану версію спостережуваного нелінійного співвідношення між рентгенівським випромінюванням 2 keV та ультрафіолетовим випромінюванням $\lambda = 250$ нм у квазарах.

У роботі [10] описано спостереження, здійснені телескопом «Чандра» (англ. Chandra X-ray Observatory — Космічна рентгенівська обсерваторія «Чандра») та оптичні спостереження випадково виявлених подвійних галактик з активними ядрами під час пошуку чорних дір за допомогою взаємної кореляції між каталогом XMM-Newton 2XMMi та SDSS-DR7.

Рентгенівське випромінювання квазарів, що детектуються в радіодіапазоні, із перехресної збігової вибірки між каталогами SDSS, FIRST та архівами «XMM-Newton» досліджено в роботі [27]. Були побудовані оптичні та рентгенівські композитні нормалізовані спектри для радіогучних квазарів та радіотихих квазарів при $z \leq 3.2$.

СТВОРЕННЯ КАТАЛОГУ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ГАЛАКТИК XGAL

Ми отримали нову велику кореляційну вибірку з найбільших на даний момент доступних баз даних рентгенівських джерел 4XMM і галактик HyperLeda. Зараз у базі HyperLeda є більш ніж 1.5 млн об'єктів, що ідентифікуються як галактики. 4XMM-DR9 містить 810795 спостережень 550124 унікальних джерел, що охоплюють 2.85 % неба. Потoki та спектри доступні для більш ніж 288000 найяскравіших джерел (36 % усіх спостережень) [25]. Деякі з вхідних даних, можливо, є помилковими або повторюваними. Тим не менш, рентгенівські галактики, ідентифіковані шляхом перехресної вибірки з цих двох баз даних, можуть бути основою для статистичних досліджень та для отримання вибірок певних цікавих груп об'єктів, побудови спектрів певного класу об'єктів та розробки чи вдосконалення теорії їхнього випромінювання.

Кореляція виявлялася у два етапи. Оскільки кутове розділення «XMM-Newton» дорівнює 7', деяку галактику з HyperLeda можна ідентифікувати 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 великої півосі галактики у спектральній смузі u (система SDSS). Спектральна смуга u використовувалася з тієї причини, що для неї доступні дані про розміри найбільшої кількості галактик. Таке розширення радіуса призвело до виявлення позагалактичних рентгенівських джерел за межами ядер галактик.

Ми отримали вибірку більш ніж 5000 галактик з рентгенівським випромінюванням, більшість з яких є активними ядрами галактик низької світності (LLAGN).

Наразі для нас інтерес становлять ті галактики, для котрих можна було б побудувати інформативний спектр. Тому далі було відібрано 1207 джерел зі значеннями потоку рентгенівського випромінювання $F < 10^{-20}$ Дж см⁻²с⁻¹. Вказане значення потоку зручне для поділу джерел XMM на слабкі і яскраві. Спектр яскравих джерел зазвичай складається з не менш як десяти бінів і може бути апроксимований різноманітними багатоконпонентними фізичними моделями. Для більшості слабких джерел спектр побудувати неможливо, ми плануємо дослідити їх у окремій роботі. Вибірку слабких рентгенівських позагалактичних джерел буде побудовано після випуску каталогу 4XMM-DR10. Відібрані галактики переглядалися з використанням віртуального телескопа SkyView (<https://skyview.gsfc.nasa.gov>), позагалактичної бази даних NASA/IPAC (<https://ned.ipac.caltech.edu>), Центру астрономічних даних в Страсбурзі (<http://simbad.u-strasbg.fr>). Було ідентифіковано 1172 унікальні галактики та знайдено 35 повторних ототожнень кількох оптичних джерел з одним рентгенівським. Після

додаткової перевірки повторів був сформований каталог рентгенівських галактик Xgal.

Каталог Xgal доступний за посиланням sites.google.com/view/xgal.

НАСЕЛЕННЯ КАТАЛОГУ XGAL

Рентгенівськими джерелами за межами нашої Галактики є інші галактики — нормальні, радіогалактики, квазари, блазари, лацертиди, сейфертівські галактики, а також протяжні джерела у скупченнях галактик — свічення гало скупчення [8, 11]. Спостереження показують, що рентгенівське випромінювання галактик в основному є випромінюванням центральної області — активного ядра галактики та сукупності джерел у диску галактики. Наприклад, у нашій вибірці Xgal — це галактики M 51, M 101, NGC 1316. Такі дискретні джерела можуть бути подвійними системами, білими карликами з акрецією та зорями з активними коронами, рентгенівськими новими, а протяжні світні зони — областями зореутворення. У вибірці Xgal до нормальних галактик з дискретними рентгенівськими джерелами належать NGC 3044, NGC 3593, NGC 7007, а до галактик з областями зореутворення — M 83, NGC 2146, NGC 4228. Сучасні прилади для спостережень в рентгенівському діапазоні мають достатній рівень кутового розділення, що навіть дозволяє детектувати окремі дискретні джерела всередині найближчих до нас галактик. Типовими представниками галактик з багаточисельними дискретними рентгенівськими джерелами без рентгенівського ядра є карликові сфероїдальні галактики — Carina dSph, Leo I dSph.

Згідно із сучасною точкою зору не активність ядра формує галактику, а навпаки, ядро формується разом з галактикою, і його поточний рівень активності залежить безпосередньо від оточення [2]. Рівні активності ядер галактик змінюються в широкому діапазоні, проте є різними проявами одного й того ж процесу [3, 11]. У структурі активного галактичного ядра виділяють три основні частини: компактне центральне джерело неперервного випромінювання і частинок високої енергії, яке і відповідає за всі прояви потужної активності ядер, та оболонки із хмар іонізованого газу — область широких спектральних ліній та область вузьких спектральних ліній, що поступово переходить в неоднорідний за густиною газовий диск. Виняткова компактність галактичних ядер, а також їхня висока енергетична віддача в рентгенівському діапазоні, яку можна пояснити тільки механізмом акреції міжгалактичного газу і речовини зірок на надмасивний об'єкт, дозволяють припустити, що галактичні ядра є надмасивними чорними дірами [8, 11].

Класичним прикладом галактик з активним ядром є сейфертівські галактики [2]. Найчастіше виділяють дві групи сейфертівських галактик — Sy1 (типові представники з нашої вибірки — NGC 4051,

NGC5273, ESO 140-43) та Sy2 (NGC 3660, NGC 6240, NGC 7172), хоча існують і деякі проміжні підгрупи, в Xgal зустрічається, наприклад, Sy1h-галактика NGC 7678 та Sy1i-галактика NGC 5506. В околі активних ядер сейфертівських галактик, в навколоядерному газовому диску радіусом кілька сотень парсек часто спостерігається інтенсивне зорутворення, активність молодих зірок, спалахи наднових. Внесок масивних молодих зірок в рентгенівське випромінювання сейфертівських галактик часто може бути сумірним з випромінюванням самого ядра [2]. Представниками групи Sy1 з дискретними рентгенівськими джерелами та рентгенівським свіченням у диску є галактики NGC 1365, NGC 1566, NGC 7314, а до групи Sy2 з багатьма яскравими рентгенівськими джерелами належать M 106, M 49, NGC 4725. Рентгенівські світності ядер сейфертівських галактик в енергетичному інтервалі 2...10 кеВ лежать у межах $L = 10^{35} \dots 10^{38}$ Дж/с.

Значним досягненням рентгенівської астрономії стало відкриття протяжних джерел рентгенівського випромінювання у скупченнях галактик. Характерні розміри протяжних джерел становлять 0.1...1 Мпк, а їхня світність лежить в межах $L = 10^{36} \dots 10^{38}$ Дж/с. Спектральний аналіз показує, що джерелом випромінювання є міжгалактичний газ з температурою $T = 10^7 \dots 10^8$ К, захоплений гравітаційним полем скупчення. Гарячий газ всередині скупчень має галактичне походження [11, 13]. Скупченнями із вибірки Xgal з рентгенівським свіченням гало є, наприклад, ACO 262, ACO 1060, ACO 3526, AWM 7, група галактик NGC 4486.

Нижче ми представляємо новий, великий, ідентифікований та класифікований вручну за типом активності ядер, каталог 1172 рентгенівських галактик Xgal, складений на основі даних галактик з потоком рентгенівського випромінювання $F = 10^{-20}$ Дж см⁻²с⁻¹. У табл. 1—3 приведено розподіли галактик по типах. Просторовий розподіл рентгенівських позагалактичних джерел Xgal за даними 4XMM-DR9 зображено на рис. 1. Виділяється зона уникання Чумацького Шляху, а також надлишок джерел у Місцевому Надскупченні галактик поблизу $l = 180^\circ$. Корелятивну залежність рентгенівських потоків F джерел Xgal від їхнього блиску у смузі u зображено на рис. 2. Межі розподілу відповідають критерію побудови яскравих джерел у двох діапазонах: видима зоряна величина $u < 16^m$ за даними HyperLeda, рентгенівський потік за даними 4XMM-DR9 $F = 10^{-20}$ Дж см⁻²с⁻¹. На рис. 3 показано залежність рентгенівських потоків джерел Xgal від червоного зміщення z . Червоні зміщення відповідають променевим V_{3K} -швидкостям у системі відліку реліктового випромінювання для оптичних галактик з бази HyperLeda, що були ототожені з рентгенівськими джерелами 4XMM-DR9. Залежність відображає розташування яскравих рентгенівських галактик у Місцевому Всесвіті на відстанях до 400 Мпк. При побудові вибірки був застосований додатковий критерій $V_{3K} > 300$ км/с для уникнення рентгенівських джерел Молочного Шляху. До вибірки потрапили квазари QSO J1208+4540 і SDSS J013433.43+001206.6 з червоними зміщеннями 1.162 і 1.391 відповідно.

Таблиця 1. Якісні типи рентгенівських позагалактичних джерел каталогу Xgal

Кількість ідентифікованих галактик Xgal	Кількість галактик з більш як одним рентгенівським джерелом	Кількість галактик з протяжним ядром	Кількість галактик без рентгенівського ядра з дискретними джерелами
1164	173	169	7

Таблиця 2. Кількість ідентифікованих активних ядер галактик різних типів

Тип активності	<i>N</i>
Найяскравіші в кластерах	142
Галактики з емісійними лініями	28
Н II-галактики	24
Галактики типу LINER (Sy3)	88
Галактики з активним ядром	3
Сейферт	14
Sy1	139
Sy2	183
Квасари	11
Блазари	3
Лацертиди	9

Таблиця 3. Кількість ідентифікованих рентгенівських галактик в залежності від особливостей оптичного і радіовипромінювання

Тип	<i>N</i>
Нормальні галактики	404
Взаємодіючі галактики	25
Пара галактик	2
Кластер галактик	38
Радіогалактики	41
Галактики зі спалахом зореутворення	5
Галактики з низькою поверхневою яскравістю	5

Оцінимо повноту вибірки Xgal. Жоден каталог галактик не може містити всі об'єкти даного типу навіть до невеликих червоних зміщень. Вибірку галактик HyperLeda можна розглядати як найбільш повну принаймні на відстанях до 100 Мпк. На рис. 4 представлено інтегральну функцію розподілу галактик HyperLeda для $z < 0.2$. У випадку однорідного розподілу галактик у Всесвіті ця функція має апроксимуватися кубічною залежністю. На жаль, навіть для такої великої вибірки, як HyperLeda, вказана апроксимація незастосовна вже з відстані 200 Мпк, а на $z = 0.1$ (що відповідає 430 Мпк) у неї спостерігається перегин, що явно вказує на неповноту. Функція розподілу галактик Xgal по V_{3K} (рис. 5) взагалі не має перегину, і тому не є повною ні для яких червоних зміщень. Для наближеної оцінки

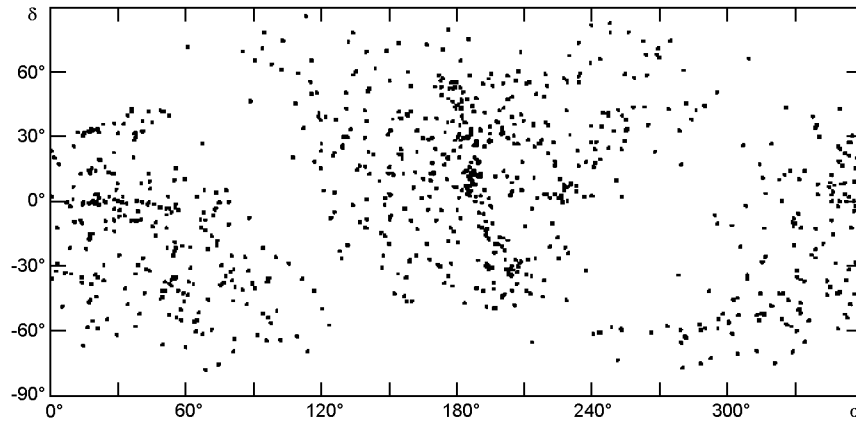


Рис. 1. Екваторіальні координати 1172 яскравих рентгенівських позагалактичних джерел Xgal за даними 4XMM-DR9

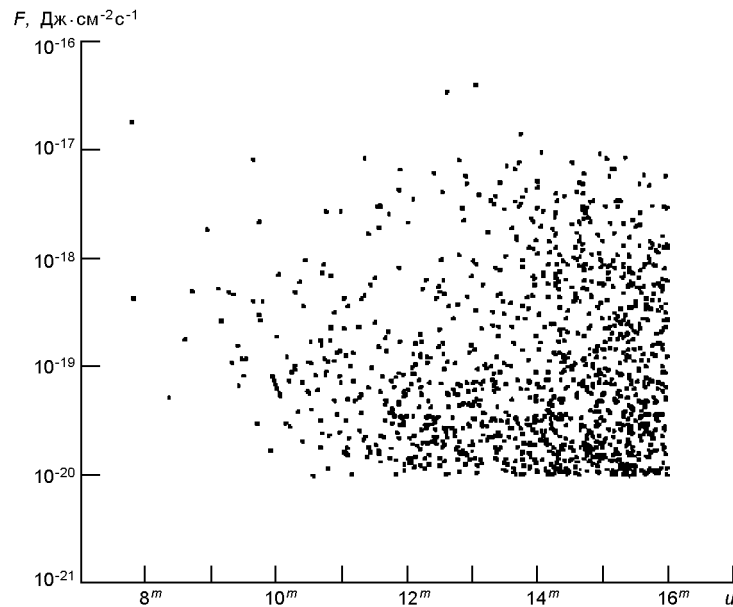


Рис. 2. Корелятивна залежність рентгенівських потоків F джерел Xgal у діапазоні 0.2...12 кеВ за даними 4XMM-DR9 від зоряної величини у спектральній смузі u за даними HyperLeda

повноти вибірки Xgal і порівняння її з HyperLeda оцінимо повну кількість галактик у Всесвіті за формулою $N_{Total} = 1.5 \cdot 10^7 V_{3K}^3$, де гранична променева швидкість V_{3K} вимірюється у км/с. У такому наближенні HyperLeda є повною до відстаней 100 Мпк, а на кожен галактику припадає об'єм 7.2 Мпк^3 . Звичайно, у межах вказаного об'єму навколо Молочного Шляху спостерігаються сотні карликових галактик, але такі галактики складають мізерну частину відомих галактик на відстанях 100 Мпк і більше. Тому при аналізі вибірок

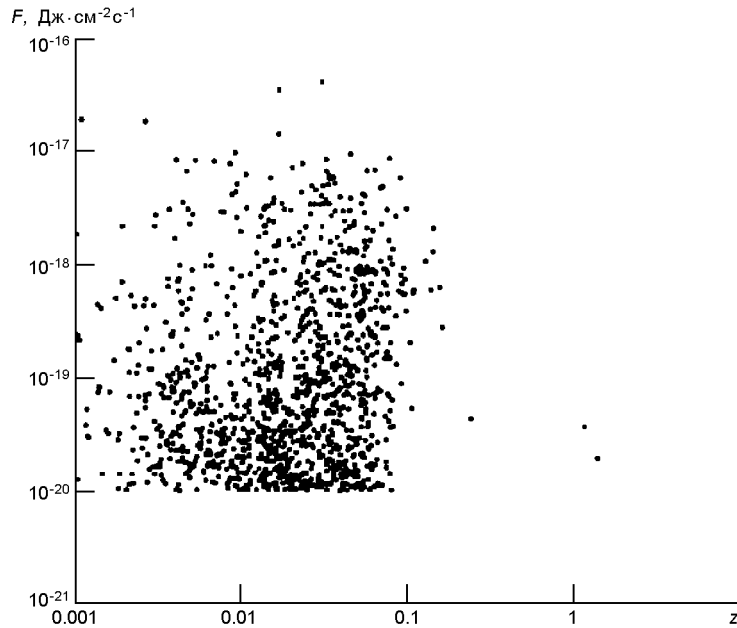


Рис. 3. Залежність рентгенівських потоків F джерел Xgal від червоного зміщення z

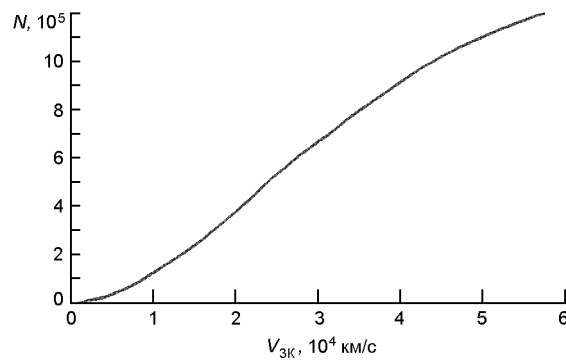


Рис. 4. Інтегральна функція розподілу галактик HyperLeda по значеннях променевої швидкості V_{zk}

HyperLeda і Xgal внеском карликових галактик слід знехтувати. З урахуванням сказаного вище повноту вибірок HyperLeda і Xgal можна оцінити з табл. 4. Дану таблицю побудовано для граничних значень променевої швидкості, що обмежують кожні сто тисяч галактик HyperLeda. У останньому рядку наведено значення, розраховані для $z = 1$. Отримані значення повноти у відсотках слід розглядати лише як оцінку за порядком величини. За ними можна прийти до висновку, що галактики з рентгенівським випромінюванням складають близько одного відсотка від усіх галактик, що спостерігаються для $z < 0.2$. Така частка цілком відповідає поширеності галактик з активними ядрами.

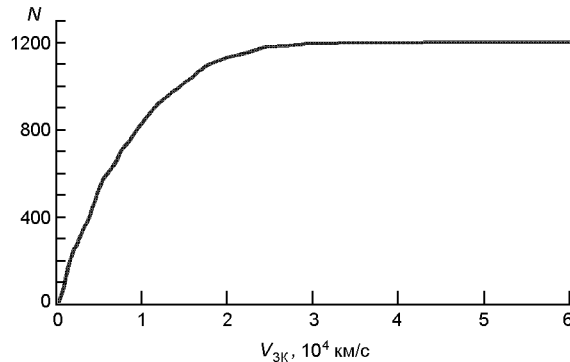


Рис. 5. Інтегральна функція розподілу галактик Xgal по значенням променевих швидкостей V_{3K}

Таблиця 4. Повнота вибірок HyperLeda і Xgal

V_{3K} , км/с	N_{Leda}	N_{Total}	Leda	Xgal	N_{Xgal}
8823	100000	103024	97.064384	0.707599	729
13436	200000	363832	54.970382	0.256987	935
17297	300000	776254	38.647165	0.135523	1052
20759	400000	1341870	29.809140	0.082199	1103
23970	500000	2065834	24.203303	0.055184	1140
27318	600000	3058003	19.620645	0.037606	1150
31337	700000	4615976	15.164725	0.025130	1160
35130	800000	6503179	12.301676	0.017884	1163
39416	900000	9185629	9.797914	0.012672	1164
44015	1000000	12790672	7.818197	0.009124	1167
49874	1100000	18608607	5.911243	0.006282	1169
57484	1200000	28492608	4.211619	0.004103	1169
300000	2700000	4050000000	0.066667	0.000029	1170

ЗАСТОСУВАННЯ КАТАЛОГУ XGAL. КАТАЛОГ ПРОТЯЖНИХ ГАЛАКТИК З ДИСКРЕТНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ

Особливе місце у каталозі рентгенівських галактик Xgal займають галактики, кутові розміри яких в оптичному діапазоні перевищують $a = 60$ (протяжні галактики) [1]. Було ідентифіковано 364 унікальні галактики та знайдено 14 повторних ототожнень. Кутові розміри цих галактик дозволяють розглядати не лише рентгенівське ядро, а й інші дискретні джерела. Використовуючи бази даних The XMM-Newton SSC (<http://xmm-catalog.irap.omp.eu>), HEASARC (NASA's High Energy Astrophysics Science Archive Research Center, <https://heasarc.gsfc.nasa.gov>), ми переглянули рентгенівські і оптичні зображення, в результаті чого галактики було ідентифіковано та класифіковано в залежності від особливостей їхнього рентгенівського випромінювання та обчислено кількість дискретних рентгенівських джерел в них.

Таблиця 5. Характеристики протяжних квазарів, що входять у Xgal з $a > 60$: назви квазара, галактики і скупчення та посилання на літературні джерела, оптичний розмір a , червоне зміщення z , рентгенівський потік F і його похибка F , кількість N рентгенівських джерел у галактиці, задетектованих супутником XMM

Квазар	Галактика	Скупчення	Тип галактики	a	z	F	F , 10^{-19} Дж см $^{-2}$ с $^{-1}$	N
3C 338.0 [22]	NGC 6166	ACO 2199	E	64.1743	0.03035	49.4	0.174	світить гало скупчення
J111654.8+180304 [5]	NGC 3607	A1204	E-S0	137.221	0.00314	0.369	0.022	2

Серед цієї вибірки було виявлено 19 галактик, що входять в скупчення з яскравим рентгенівським гало. На фоні рентгенівських зображень двох скупчень галактик, отриманих з допомогою «XMM-Newton», видно яскраві ядра галактик. Це група галактик NGC 507 та кластер Кома, де чітко виявляється ядро галактики NGC 4889. Також були виявлені 20 галактик, що не мають рентгенівського ядра; з більш як одним рентгенівським джерелом виявлено 173 галактики. Більшість галактик має протяжне ядро з видимим поверхневим розподілом яскравості. Доцільно було б глибше дослідити природу дискретних рентгенівських джерел, провести аналіз їхнього спектру.

Каталог протяжних рентгенівських галактик з дискретними джерелами доступний за посиланням sites.google.com/view/xgal.

Інтерес також викликають протяжні квазари (див. табл. 5). Квазари були відкриті як об'єкти з настільки малими кутовими розмірами ($a < 10$), що протягом декількох років після детектування їх не вдавалося відрізнити від точкових джерел. Сліди батьківських галактик навколо квазарів (причому далеко не всіх) були виявлені значно пізніше за допомогою зображень високого розділення. Якщо вдається розгледіти галактики, асоційовані з квазарами, виявляється, що в переважній більшості вони належать до морфологічного класу еліптичних галактик, деякі містять сліди тісної взаємодії — злиття галактик. Проте зазвичай батьківська галактика є занадто тьмяними фоном у яскравому світлі квазара, щоб її можна було побачити. Тому виявлення протяжних квазарів відкриває можливість досліджень не лише яскравого рентгенівського ядра, а й навколишньої галактики і дискретних джерел в ній.

Каталог рентгенівських галактик Xgal можна використовувати для побудови спектрів певного класу галактик у різних діапазонах та вивчення чи поліпшення теорії їхнього випромінювання, огляду квазарів. Перехресну кореляційну вибірку 4XMM-DR9/HyperLeda можна застосовувати для досліджень слабких активних ядер галактик, розподілу різних типів рентгенівських галактик у великомасштабних структурах Всесвіту, дослідження рентгенівських галактики у філаментах.

ВИСНОВКИ

В роботі на основі пошуку перехресної кореляції між каталогом 4XMM-DR9 та базою даних галактик HyperLeda побудовано каталог Xgal, в який входять 1172 галактики із значенням потоку рентгенівського випромінювання $F = 10^{-20}$ Дж см⁻²с⁻¹. Xgal було переглянуто вручну, ідентифіковано та класифіковано. На основі Xgal було складено каталог з 378 протяжних галактик з кутовим оптичним розміром $a > 60$. Більшість галактик Xgal мають одне точкове джерело рентгенівського випромінювання в центрі, 169 галактик мають протяжне ядро з видимим поверхневим розподілом яскравості, що спадає від центра до периферії. Більш як одне рентгенівське джерело мають 173 галактики. На малих відстанях до спостерігача серед джерел рентгенівського випромінювання з каталогу Xgal переважають сейфертівські галактики, а на великих — квазари.

1. Задорожна Л. В., Тугай А. В., Шевченко С. Ю. Позагалактичні рентгенівські дискретні джерела. *Вісник Астрономічної школи*. 2020. 16. № 1. С. 1—7.
2. Засов А. В., Постнов К. А. *Общая астрофизика*. 2-е изд. испр. и дополн. Фрязино: Век 2, 2011. 576 с.
3. Лонгейр М. С. *Астрофизика высоких энергий*. М: Мир, 1984. 396 с.
4. Assef R. J., Stern D., Noirot G., et al. The WISE AGN Catalog. *The Astrophys. J. Suppl.* S. 2018. 234. 2. P. 1—22.
5. Caccianiga A., Severgnini P., Della Ceca R., et al. Elusive AGN in the XMM-Newton bright serendipitous survey. *Astron. and Astrophys.* 2007. 470. P. 557—570.
6. Ebrero J., Carrera F. J., Page M. J., et al. The XMM-Newton serendipitous survey VI. The X-ray luminosity function. *Astron. and Astrophys.* 2009. 493. P. 55—69.
7. Elyiv A., Clerc N., Plionis M., et al. Angular correlation functions of X-ray point-like sources in the full exposure XMM-LSS field 2012. *Astron. and Astrophys.* 537. P. 131—145.
8. 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.
9. Gabriel C., Denby M., Fyfe D. J., et al. Astronomical Data Analysis Software and Systems (ADASS) XIII. ASP Conference Series. Astronomical Society of the Pacific. 2004. 314. 759 p.
10. Lena D., Panizo-Espinar G., Jonker P. G., et al. Characterisation of a candidate dual AGN. *Mon. Notic. Roy Astron. Soc.* 2018. 478. I. 1. P. 1326—1340.
11. Longair M. S. *Galaxy Formation*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2008. 737 p.
12. Lusso E., Risaliti G. The physical relation between disc and coronal emission in quasars. *Frontiers in Astron. and Space Sci.* 2017. 4. id. 66.
13. Migkas K., Schellenberger G., Reiprich T. H., et al. Probing cosmic isotropy with a new X-ray galaxy cluster sample through the L_x — T scaling relation. *Astron. and Astrophys.* 2020. 636. 42 p.
14. 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. *Mon. Notic. Roy Astron. Soc.* 2016. 462. P. 2631—2667.

15. Strüder L., Briel U., Dennerl K., et al. The European Photon Imaging Camera on XMM-Newton: The pn-CCD camera. *Astron. and Astrophys.* 2001. 365. L18—L26.
16. The XMM-Newton ABC Guide: An Introduction to XMM-Newton Data Analysis Version 6.0 for XMM-SAS v 18.0 June 2019. URI: <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/xmm/abc/>
17. Traulsen I., Schwobe A. D., Lamer G., et al. The XMM-Newton serendipitous survey. X: The second source catalogue from overlapping XMM-Newton observations and its long-term variable content. 2020. URI: <https://arxiv.org/abs/2007.02932>
18. Tugay A. Bright X-ray galaxies in SDSS filaments. *Adv. in Astron. and Space Phys.* 2013. 3. I 2. P. 116—121.
19. Tugay A. V., Shevchenko S. Yu. Infrared counterparts of X-ray galaxies. *Odessa Astron. Publs.* 2019. 32. P. 42—45.
20. Tugay A. Signatures of large-scale structure of Universe in X-rays. *Odessa Astron. Publs.* 2013. 25. P. 1—3.
21. Turner M. J. L., Abbey A., Arnaud M., et al. The European Photon Imaging Camera on XMM-Newton: The MOS cameras. *Astron. and Astrophys.* 2001. 365. L27—L35.
22. Veron-Cetty M. P., Veron P. A catalogue of quasars and active nuclei: 13th edition. *Astron. and Astrophys.* 2010. 518. A10.
23. Watson M. G., Augeres J. -L., Ballet J., et al. The XMM-Newton Serendipitous Survey - I. The role of XMM-Newton Survey Science Centre. *Astron. and Astrophys.* 2001. 365. L51—L59.
24. Watson M. G., Schroder A. C., Fyfe D., et al. The XMM-Newton Serendipitous Survey. V. The Second XMM-Newton Serendipitous Source Catalogue. *Astron. and Astrophys.* 2009. 493. P. 339—373.
25. Webb N. A., Coriat M., Traulsen I., et al. The XMM-Newton serendipitous survey IX. The fourth XMM-Newton serendipitous source catalogue. *Astron. and Astrophys.* 2020. id. 4XMMv7. P. 1—14.
26. XMM-Newton Users Handbook Issue 2.17 15.07.2019. URI: https://xmm-tools.cosmos.esa.int/external/xmm_user_support/documentation/uhb/
27. Zhou M., Gu M. The composite X-ray spectra of radio-loud and radio-quiet SDSS quasars. 2020. URI: <https://arxiv.org/abs/2007.01049>

REFERENCES

1. Zadorozhna L. V., Tugay A. V., Shevchenko S. Yu. (2020) Extragalactic X-ray discrete sources. *Bull. Astron. School.* 16(1). 1—7. (In Ukrainian).
2. Zasov A. V., Postnov K. A. (2011) *General astrophysics*. 2nd ed. rev. and add. Fryazino: Century 2, 576. (In Russian).
3. Longair M. S. (1984) *High energy astrophysics*. M: Mir. 396. (In Russian).
4. Assef R. J., Stern D., Noirot G., et al. (2018) The WISE AGN Catalog. *The Astrophys. J. Suppl. Ser.* 234. 2. 1—22.
5. Caccianiga A., Severgnini P., Della Ceca R., et al. (2007) Elusive AGN in the XMM-Newton bright serendipitous survey. *Astron. and Astrophys.* 470. 557—570.
6. Ebrero J., Carrera F. J., Page M. J., et al. (2009) The XMM-Newton serendipitous survey VI. The X-ray luminosity function. *Astron. and Astrophys.* 493. 55—69.
7. Elyiv A., Clerc N., Plionis M., et al. (2012) Angular correlation functions of X-ray point-like sources in the full exposure XMM-LSS field. *Astron. and Astrophys.* 537. 131—145.

8. Fabbiano G. (2019) *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. 7-1—7-42.
9. Gabriel C., Denby M., Fyfe D. J., et al. (2004) Astronomical Data Analysis Software and Systems (ADASS) XIII ASP Conference Series. *Astron. Soc. Pacif.* 314. 759 p.
10. Lena D., Panizo-Espinar G., Jonker P. G., et al. (2018) Characterisation of a candidate dual AGN. *Mon. Notic. Roy Astron. Soc.* 478. I. 1. 1326—1340.
11. Longair M. S. (2008) *Galaxy Formation*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg. 737.
12. Lusso E., Risaliti G. (2017) The physical relation between disc and coronal emission in quasars. *Frontiers in Astron. and Space Sci.* 4. id. 66.
13. Migkas K., Schellenberger G., Reiprich T. H., et al. (2020) Probing cosmic isotropy with a new X-ray galaxy cluster sample through the L_X — T scaling relation. *Astron. and Astrophys.* 636. 42.
14. Mingo B., Watson M. G., Rosen S. R., et al. (2016) The MIXR sample: AGN activity versus star formation across the cross-correlation of WISE, 3XMM, and FIRST/NVSS. *Mon. Notic. Roy Astron. Soc.* 462. 2631—2667.
15. Strüder L., Briel U., Dennerl K., et al. (2001) The European Photon Imaging Camera on XMM-Newton: The pn-CCD camera. *Astron. and Astrophys.* 365. L18—L26.
16. The XMM-Newton ABC Guide: An Introduction to XMM-Newton Data Analysis Version 6.0 for XMM-SAS v 18.0 June 2019. URI: <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/xmm/abc/>
17. Traulsen I., Schwobe A. D., Lamer G., et al. (2020) The XMM-Newton serendipitous survey. X: The second source catalogue from overlapping XMM-Newton observations and its long-term variable content. URI: <https://arxiv.org/abs/2007.02932>
18. Tugay A. (2013) Bright X-ray galaxies in SDSS filaments. *Adv. in Astron. and Space Phys.* 3(2). 116—121.
19. Tugay A. V., Shevchenko S. Yu. (2019) Infrared counterparts of X-ray galaxies. *Odessa Astron. Publs.* 32. 42—45.
20. Tugay A. (2013) Signatures of large-scale structure of Universe in X-rays. *Odessa Astron. Publs.* 25. 1—3.
21. Turner M. J. L., Abbey A., Arnaud M., et al. (2001) The European Photon Imaging Camera on XMM-Newton: The MOS cameras. *Astron. and Astrophys.* 365. L27—L35.
22. Veron-Cetty M. P., Veron P. (2010) A catalogue of quasars and active nuclei: 13th edition. *Astron. and Astrophys.* 518. A10.
23. Watson M. G., Augeres J.-L., Ballet J., et al. (2001) The XMM-Newton Serendipitous Survey - I. The role of XMM-Newton Survey Science Centre. *Astron. and Astrophys.* 365. L51—L59.
24. Watson M. G., Schroder A. C., Fyfe D., et al. (2009) The XMM-Newton Serendipitous Survey. V. The Second XMM-Newton Serendipitous Source Catalogue. *Astron. and Astrophys.* 493. 339—373.
25. Webb N. A., Coriat M., Traulsen I., et al. (2020) The XMM-Newton serendipitous survey IX. The fourth XMM-Newton serendipitous source catalogue. *Astron. and Astrophys.* id. 4XMMv7. 1—14.
26. XMM-Newton Users Handbook Issue 2.17 15.07.2019. URI: https://xmm-tools.cosmos.esa.int/external/xmm_user_support/documentation/uhb/
27. Zhou M., Gu M. (2020) The composite X-ray spectra of radio-loud and radio-quiet SDSS quasars. URI: <https://arxiv.org/abs/2007.01049>

L. V. Zadorozhna¹, A. V. Tugay¹, S. Yu. Shevchenko², N. G. Pulatova³

¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

²Schmalhausen Institute of Zoology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

³Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

X-RAY GALAXY CATALOG XGAL

The study of extragalactic X-ray sources using the data from the XMM-Newton space observatory is one of the main directions of modern X-ray astronomy. The observations have shown that X-rays from galaxies are mainly the radiations of the central region — the active galactic nucleus and the set of X-ray sources in the galaxy's disk. In our work, a cross-correlation was made between the 4XMM-DR9 catalog and the HyperLeda galaxy database. The 4XMM-DR9 catalog is modern, large catalog of observations containing 550124 unique sources covering 2.85 % of the sky, and HyperLeda contains about 1.5 million galaxies. As a result, we obtained a sample of more than 5000 X-ray galaxies, most of which are low-luminosity active galactic nuclei. Based on this sample, galaxies with an X-ray flux greater than $F = 10^{-20} \text{ J cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ were selected. Because it is easier to construct an informative spectrum for such sources, they are of particular interest. An identified and classified catalog of 1172 manually verified galaxies, the X-ray Galaxy Catalog Xgal, was created. Most galaxies in Xgal have an active X-ray nucleus, Seyfert galaxies predominate at short distances and quasars predominate at large distances. 169 galaxies have an extended nucleus with a visible surface brightness distribution, 173 galaxies have been detected with more than one X-ray source. Based on Xgal, it was created a catalog of elongated X-ray galaxies (which optical angular sizes are in the range exceed $a > 60$) having X-ray sources outside the nucleus. Both catalogs are freely available. In the future, it is possible to use the Xgal catalog to construct the spectra of a certain class of objects in different ranges and to develop or improve the theory of their radiation, survey bright and extended quasars, and use the entire cross-sample to study low-luminosity active galactic nuclei, large-scale structure of the universe in the X-ray range.

Стаття надійшла до редакції 20.08.2020

Після доопрацювання 20.01.2021

Прийнята до друку 24.01.2021