



УДК 524.7

## Спектри рентгенівських галактик у філаментах

А.В. Тугай

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

*Великомасштабна структура Всесвіту складається зі скупчень галактик, що з'єднані між собою філаментами. Окремі філаменти можуть бути виявлені на червоних зміщеннях до 0.15. В даній роботі визначені і проаналізовані загальні характеристики спектрів рентгенівських галактик з області Слоанівського цифрового огляду неба, що не належать до скупчень. У вибраному об'ємі серед рентгенівських джерел переважають галактики з активними ядрами типу Сейферт 1. На основі архівних даних обсерваторії ХММ-Newton вперше побудовані спектри для 7 яскравих рентгенівських галактик.*

*СПЕКТРЫ РЕНТГЕНОВСКИХ ГАЛАКТИК В ФИЛАМЕНТАХ, Тугай А.В. — Крупномасштабная структура Вселенной состоит из скоплений галактик, соединенных между собой филаментами. Отдельные филаменты могут быть обнаружены на красных смещениях до 0.15. В данной работе определены и проанализированы общие характеристики спектров рентгеновских галактик из области Слоановского цифрового обзора неба, не принадлежащие скоплениям. В выбранном объеме среди рентгеновских источников преобладают галактики с активными ядрами типа Сейферт 1. На основе архивных данных обсерватории ХММ-Newton впервые получены спектры для 7 ярких рентгеновских галактик.*

*SPECTRA OF X-RAY GALAXIES IN FILAMENTS, by Tugay A.V. — Large-scale structure of Universe consists of galaxy clusters connected by filaments. Single filaments can be detected at redshifts up to 0.15. The general characteristics of X-ray spectra of Sloan Digital Sky Survey galaxies, that lies outside clusters, are considered in this work. Seyfert 1 AGN's are the main type of X-ray sources in the selected volume. X-ray spectra for 7 new bright galaxies were obtained from XMM-Newton archive.*

**Ключевые слова:** рентгеновское излучение; галактики; крупномасштабная структура Вселенной.

**Key words:** X-rays; galaxies; large-scale structure of Universe.

### 1. ВСТУП

Задача виявлення галактичних філаментів є досить непростою. У роботі [14] за даними Слоанівського цифрового огляду неба (SDSS) виявлено 53 філаменти на червоних зміщеннях до 0.15. Виявлені філаменти покривають малу частину ділянки неба, що охоплена SDSS. Велика кількість філаментів втрачається, оскільки вони складаються переважно з карликових галактик, які важко спостерігати за межами Місцевого Надскупчення. З іншого боку, значна частина великомасштабної структури може являти собою не філаменти, а стіни, або утворення іншої форми. Застосування нових методів аналізу каталогів галактик дозволить виявити значну частину філаментів до червоних зміщень 0.2.

Сучасні спостереження не дозволяють виявити комірчасту структуру Всесвіту у рентгенівському діапазоні. Багато скупчень галактик є протяжними рентгенівськими джерелами, всередині яких неможливо виділити окремі галактики. Можна припустити, що основними типами позагалактичних рентгенівських джерел є скупчення галактик і галактики з активними ядрами (АЯГ) у філаментах (як показано в [15], галактики без активних ядер можуть бути зареєстровані в рентгенівському діапазоні лише в околицях Місцевої Групи). Для перевірки такого припущення в роботі [17] була розглянута вибірка з 152 галактик з області SDSS з червоними зміщеннями до 0.2, для яких можуть бути побудовані рентгенівські спектри за архівними даними орбітальної обсерваторії ХММ-Newton (каталог 2ХММ наразі є найбільшим каталогом рентгенівських джерел). Показано, що лише 18 яскравих рентгенівських галактик належать до філаментів, виявлених у [14]. Яскравим вважається рентгенівське джерело, яке має потік в діапазоні від 0.2 до 10 кеВ вищий за  $3.7 \cdot 10^{-16}$  Вт/м<sup>2</sup>. Такі джерела мають попередні спектри у каталозі 2ХММ і придатні для подальшого спектрального аналізу. В роботі [16] визначено загальну кількість рентгенівських галактик, що спостерігалися на ХММ-Newton-5021. Ці галактики планується розглянути у майбутніх дослідженнях.

В загальному випадку в об'ємі Всесвіту можна виділити такі елементи великомасштабної структури як войди, філаменти, скупчення і стіни. Оскільки в рентгенівському діапазоні такий детальний аналіз зробити неможливо, в даній роботі розглядалася спрощена модель великомасштабної структури. Згідно неї всі рентгенівські джерела, що не належать до скупчень, вважалися АЯГ у філаментах. Метою роботи був аналіз спектрів рентгенівських галактик за межами скупчень. При цьому належність їх до філаментів з роботи [14] не враховувалася, що суттєво збільшило кількість розглянутих об'єктів.

## 2. ТИПИ ПОЗАГАЛАКТИЧНИХ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ДЖЕРЕЛ

В результаті ототожнення галактик SDSS з рентгенівськими джерелами каталогу 2XMM в роботі [12] було складено список рентгенівських галактик, що налічує близько тисячі об'єктів. Розподіл типів і спектральних характеристик галактик з цього списку авторами [12] не аналізувався. Нижче наводяться результати аналізу оригінальної вибірки рентгенівських галактик, побудованої в [16].

Для подальшого аналізу з 5021 рентгенівського джерела, знайденого в [16] були вибрані ті, що задовольняють наступним умовам.

1. Джерело знаходиться у ділянці неба, що повністю покрита SDSS:  $120^\circ < \alpha < 240^\circ$ ,  $0^\circ < \delta < 60^\circ$ .
2. Променева швидкість галактики лежить в діапазоні, в якому можуть бути виявлені філаменти:  $4000 < cz < 30000$  км/с.
3. Повний рентгенівський потік, наведений у каталозі 2XMM вищий за  $3.7 \cdot 10^{-16}$  Вт/м<sup>2</sup>.

Серед 152 джерел, що задовольняють таким умовам значана кількість поки не ототожнена, не має визначених типів або лежить в околицях скупчень галактик. До АЯГ даної вибірки, що мають раніше визначені типи увійшла радіогалактика NGC 5532, 3 квазари (QSO B1235+0939, 2MASS J12482844+0831127 і 2MASS J10003549+0524285) 6 лацертідів (Mrk 421, QSO B1426+428, QSO B1404+286, 7C 1219+2830, 2XMM J151041.0+333505 і 2MASX J15320226+3016290) і 60 сейфертівських галактик. Сейфертівських галактик 1 типу виявилось найбільше — 42. Таким чином, даний підтип АЯГ є основним у вибраному діапазоні червоних зміщень і тому саме він був використаний для подальшого аналізу спектрів. Малу кількість АЯГ інших підтипів можна пояснити наступним чином. Квазари і лацертиди є початковими стадіями еволюції АЯГ, були поширені в ранньому Всесвіті і в сучасну епоху спостерігаються переважно на червоних зміщеннях більше двох. Радіогалактики, за наявності якісних оптичних спектрів, класифікуються у сучасних роботах як квазари або сейфертівські галактики, в залежності від світності. Сейфертівські галактики 2 типу мають велику кількість поглинаючого газу на промені зору, що ускладнює їх виявлення і ідентифікацію. Більшість їх спостерігається на червоних зміщеннях менше 0.04. Отже, внаслідок ряду ефектів селекції, саме сейфертівські галактики 1 типу виявляються основними рентгенівськими джерелами у ділянці Всесвіту, в якій може бути виявлена комірчаста структура.

## 3. РЕНТГЕНІВСЬКІ СПЕКТРИ СЕЙФЕРТІВСЬКИХ ГАЛАКТИК 1 ТИПУ

АЯГ мають рентгенівські спектри, що складаються з ступеневої компоненти в діапазоні від 2 до 10 кеВ і м'якої теплової компоненти на нижчих енергіях. Ступеневий спектр зазнає поглинання нейтральним воднем у торі, що оточує акреційний диск, у галактиці-домівці АЯГ і в нашій Галактиці. В даній роботі ми розглядаємо два основні параметри рентгенівських спектрів — показник ступеня нетеплової компоненти  $\Gamma$  і загальну кількість поглинаючого водню вздовж променя зору  $N_H$ . Характеристики яскравих рентгенівських галактик у філаментах наведені у табл. 1. Для 7 галактик рентгенівські спектри побудовані у даній роботі вперше. Спектри оброблялися за архівними даними обсерваторії XMM-Newton у середовищі Science Analysis System (SAS). Були використані спостереження найбільш чутливої камери XMM EPIC PN. Для отримання спектру вибиралися круглі області джерела і фону рідасом 30 або 60 кутових секунд, залежно від яскравості джерела. Параметри спектрів визначені за допомогою програмного пакету XSPEC для ступеневої моделі з фотоіонізаційним поглинанням нейтральним воднем без врахування теплової компоненти і емісійних ліній, оскільки такі складові у спектрах даних 7 галактик не були виявлені. Таким чином, в результаті аналізу літературних джерел і оригінальних розрахунків отримана однорідна вибірка 36 рентгенівських джерел у філаментах, що належать до одного типу — Сейферт 1. Тільки 7 з них мають сильне поглинання воднем на промені зору — більше  $10^{23}$  см<sup>-2</sup>. В подібній роботі [20] частина галактик з сильним поглинанням більша — 11 з 22. Сейфертівські галактики 1 типу характеризуються як АЯГ, від яких добре спостерігається випромінення центральної частини, які у випадку найбільших світностей невідріненні від квазарів. Тому для таких джерел слід очікувати малі значення  $N_H$ , менше  $10^{22}$  см<sup>-2</sup>. Цій умові задовольняють 25 з 36 галактик нової вибірки. В роботі [3] досліджений розподіл показників ступеня 126 рентгенівських галактик і отримане середнє значення  $1.90 \pm 0.31$ . Значення  $\Gamma$  для однорідної вибірки АЯГ типу Сейферт 1 узгоджуються з результатами [3] і мають середнє значення  $2.00 \pm 0.45$ .

## 4. ВИСНОВКИ

В роботі проаналізовано рентгенівське випромінення позагалактичних джерел, що не належать до скупчень галактик. Показано, що в об'ємі Всесвіту, в якому можуть бути виявлені міжгалактичні філаменти ( $z < 0.15$ ), серед рентгенівських джерел переважають АЯГ типу Сейферт 1. Побудований і проаналізований список параметрів рентгенівських спектрів 36 сейфертівських галактик 1 типу. Для 7 галактик рентгенівські спектри побудовані вперше. Розподіл параметрів спектру відповідає результатам робіт інших авторів.

**Таблиця 1.** Параметри яскравих рентгенівських галактик типу Сейферт 1.  $RA, DEC$  — екваторіальні координати в градусах,  $cz$  — променева швидкість в км/с,  $N_H$  — стовпчикова густина водню на промені зору,  $\Gamma$  — показник степеня спектру,  $\chi^2/d.o.f.$  — статистика хі-квадрат і кількість ступенів вільності. Зірочками позначені галактики, для яких параметри спектру визначені в даній роботі вперше.

Назва	RA	DEC	$cz$	$N_H/10^{22}, \text{cm}^{-2}$	$\Gamma$	$\chi^2/d.o.f.$	Ref
IC 486	120.087	26.614	8219	$1.08^{+0.09}_{-0.08}$	$1.25^{+0.07}_{-0.06}$	496/448	[10]
2XMMi J082912.8+500652	127.304	50.115	13141	0.05	$2.64 \pm 0.08$	102.4/101	[8]
2MASX J08413787+5455069	130.406	54.919	13512	$0.31 \pm 0.02$	$1.56 \pm 0.06$	109/135	[17]
NVSS J090624+005758	136.602	0.966	21393	$0.15 \pm 0.05$	$1.96 \pm 0.30$	52.3/49	***
Mrk 704	139.608	16.306	9256	$1.62^{+0.83}_{-0.09}$	$1.7^{+0.2}_{-0.1}$	251/141	[3]
MCG+04-22-042	140.929	22.909	10178	< 0.01	$1.90 \pm 0.05$	174/185	[20]
2MASX J10343860+3938277	158.661	39.641	13198		$2.65 \pm 0.03$	698/611	[23]
2MASX J11240869+0612532	171.036	6.215	11145	< 0.88	$1.79 \pm 0.05$		[21]
Mrk 176	173.168	52.950	8325	$12.7 \pm 2.5$	$1.34 \pm 0.29$	11.4/11	[17]
2MASX J11400874+0307114	175.036	3.120	24663	$0.49^{+0.35}_{-0.19}$	$2.27^{+0.14}_{-0.19}$		[5]
2E 2620	183.574	14.054	24581	$0.043 \pm 0.006$	$2.07 \pm 0.01$	896/746	[17]
NGC 4253	184.610	29.813	4154		$2.08 \pm 0.02$	2280/143	[3]
2MASX J12193086+0643348	184.879	6.726	24321	$0.005 \pm 0.003$	$2.28 \pm 0.04$	126.25/126	***
2MASX J12213795+0430264	185.408	4.507	28820	< 0.02	$2.12 \pm 0.13$	60.85/68	***
Mrk 771	188.015	20.158	19500	$27^{+11}_{-9}$	$2.13^{+0.04}_{-0.03}$	1.03/167	[7]
2MASX J12502744+0013460	192.614	0.230	14377	$0.028 \pm 0.024$	$1.53 \pm 0.17$	61.47/2	***
Mrk 231	194.060	56.874	12665	$0.24^{+0.15}_{-0.10}$	$2.95^{+0.15}_{-0.16}$	89/61	[2]
2MASS J13000535+1632148	195.023	16.537	24260	$22.51^{+0.10}_{-0.07}$	$1.50 \pm 0.17$		[19]
2MASX J13315225+1116496	202.968	11.280	27566	$0.41 \pm 0.06$	$1.5 \pm 0.1$		[4]
2XMM J133718.6+242303	204.328	24.384	32426	0.25	$2.04 \pm 0.06$		[11]
2E 3140	207.146	26.519	17909	$62^{+51}_{-52}$	$2.17^{+0.02}_{-0.03}$	1255/1306	[22]
2MASX J14062191+2223462	211.591	22.397	29611		$1.74^{+0.97}_{-0.90}$	1.91/3	[5]
2MASS J14134834+4400141	213.451	44.004	26842	$16.7^{+4.5}_{-5.6}$	$1.55^{+0.24}_{-0.23}$	63/75	[9]
NGC 5548	214.498	25.137	5358	0.02	1.65	$1.83^{+0.03}_{-0.02}$	[18]
2A 1418+485	215.374	47.790	21731	< 0.02		1143/1051	[19]
Mrk 1383	217.277	1.285	26069	< 0.8	$1.95 \pm 0.13$	92.9/110	[13]
Mrk 684	217.770	28.287	13949	< 0.01	$2.45 \pm 0.02$	400/286	[17]
Mrk 478	220.531	35.440	23834	$27^{+29}_{-11}$	$2.43 \pm 0.02$	1816/1754	[22]
2MASX J14510879+2709272	222.787	27.157	19633	$0.15^{+0.04}_{-0.03}$	$2.91 \pm 0.02$	1.171/556	[5]
2MASX J14553696+0131513	223.904	1.531	29389	$5.65 \pm 0.02$	$1.93 \pm 0.17$	7.11/15	***
Mrk 841	226.005	10.438	11126	0.02	$1.75 \pm 0.05$		[6]
2MASX J15161681+0008043	229.070	0.135	27890	< 0.01	$1.45 \pm 0.06$	1.36/63	***
Mrk 486	234.160	54.559	11736	$10.79^{+1.62}_{-2.22}$	$2.55^{+0.25}_{-0.20}$	121.3/123	[1]
2MASX J15585579+0248338	239.732	2.809	14056	$0.161 \pm 0.023$	$1.55 \pm 0.08$	35.98/48	***
Mrk 493	239.790	35.030	9516	$0.23 \pm 0.07$	$2.73 \pm 0.01$	1.041/560	[5]

1. *Ballo L., Giustini M., Schartel N. et al.* X-ray spectral variability in PG1535+547: the changing-look of a 'soft X-ray weak' AGN // *Astronomy & Astrophysics*. — 2008. — **483**. — P. 137–149.
2. *Braito V., Della Ceca R., Piconcelli E. et al.* The XMM-Newton and BeppoSAX view of the Ultra Luminous Infrared Galaxy MKN 231 // *Astronomy & Astrophysics*. — 2004. — **420**. — P. 79–88.
3. *Brightman M., Nandra K.* An XMM-Newton spectral survey of 12  $\mu\text{m}$  selected galaxies — I. X-ray data // *MNRAS*. — 2011. — **413**. — P. 1206–1235.
4. *Carrera F.J., Page M.J., Mittaz J.P.D.* XMM-Newton spectra of hard spectrum Rosat AGN: X-ray absorption and optical reddening // *Astronomy & Astrophysics*. — 2004. — **420**. — P. 163–172.
5. *Castello-Mor N., Barcons X., Ballo L. et al.* The X-ray luminous galaxies optically classified as star forming are mostly narrow line Seyfert 1s // *Astronomy & Astrophysics*. — 2012. — **544**. — P. 48–62.
6. *Cerruti M., Ponti G., Boisson C. et al.* Suzaku broad-band observations of the Seyfert 1 galaxies Mrk 509 and Mrk 841 // *Astronomy & Astrophysics*. — 2011. — **535**. — id. 113.
7. *D'Ammando F., Bianchi S., Jimenez-Bailon E., Matt G.* XMM-Newton observations of 4 luminous radio-quiet AGN, and the soft X-ray excess problem // *Astronomy & Astrophysics*. — 2008. — **482**. — P. 499–505.
8. *Dewangan G.C., Mathur S., Griffiths R.E. & Rao A.R.* X-Ray Emission from Active Galactic Nuclei with Intermediate-Mass Black Holes // *The Astrophysical Journal*. — 2008. — **689**. — P. 762–774.
9. *Inoue H., Terashima Y., Ho L.C.* Fe K Line Profile in Low-Redshift Quasars: Average Shape and Eddington Ratio Dependence // *The Astrophysical Journal*. — 2007. — **662**. — P. 860–871.
10. *LaMassa S.M., Heckman T.M., Ptak A. et al.* XMM-Newton Observations of a Complete Sample of Optically Selected Type 2 Seyfert Galaxies // *The Astrophysical Journal*. — 2009. — **705**. — P. 568–586.

11. Longinotti A.L., Cappi M., Nandra K. et al. The complex FeK line of the Narrow-Line Seyfert 1 galaxy IRAS 13349+2438 // *Astronomy & Astrophysics*. — 2003. — **410**. — P. 471–479.
12. Pineau F.-X., Motch C., Carrera F. et al. Cross-correlation of the 2XMMi catalogue with Data Release 7 of the Sloan Digital Sky Survey // *Astronomy & Astrophysics*. — 2011. — **527**. — id. A126.
13. Porquet D., Reeves J.N., O'Brien P., Brinkmann W. XMM-Newton EPIC observations of 21 low-redshift PG quasars // *Astronomy & Astrophysics*. — 2004. — **422**. — P. 85–95.
14. Smith A.G., Hopkins A.M., Hunstead R.W., Pimbett K.A. Multiscale probability mapping: groups, clusters and an algorithmic search for filaments in SDSS // *MNRAS*. — 2012. — **422**. — P. 25–43.
15. Tugay A.V., Vasilenko A.A. X-Radiation of the Galaxies Without Active Nuclei // *Odessa Astronomical Publications*. — 2011. — **24**. — P. 72–74.
16. Tugay A.V. Signatures of Large-Scale Structure of Universe in X-Rays // *Odessa Astronomical Publications*. — 2012. — **25**. — P. 142–144.
17. Tugay A.V. Bright X-ray Galaxies in SDSS Filaments // *Advances of Astronomy and Space Physics*. — 2013. — **3**. — Надіслано до редакції.
18. Vasudevan R.V., Fabian A.C. Simultaneous X-ray/optical/UV snapshots of active galactic nuclei from XMM-Newton: spectral energy distributions for the reverberation mapped sample // *MNRAS*. — 2009. — **392**. — P. 1124–1140.
19. Vasudevan R.V., Brandt W.N., Mushotzky R.F. et al. X-Ray Properties of the Northern Galactic Cap Sources in the 58 Month Swift/BAT Catalog // *The Astrophysical Journal*. — 2013. — **763**. — id. 111.
20. Winter L.M., Mushotzky R.F., Tueller J., Markwardt C. X-Ray Properties of an Unbiased Hard X-Ray-detected Sample of Active Galactic Nuclei // *The Astrophysical Journal*. — 2008. — **674**. — P. 686–710.
21. Zhou X.-L., Zhang S.-N. A Comparison of Hard X-ray Photon Indices and Iron K $\alpha$  Emission Lines in X-ray Luminous Narrow- and Broad-line Seyfert 1 Galaxies // *The Astrophysical Journal Letters*. — 2010. — **713**. — P. 11–15.
22. Zoghbi A., Fabian A.C., Gallo L.C. Reflection-dominated X-ray spectra of narrow-line Seyfert 1 galaxies: Mrk 478 and EXO 1346.2+2645 // *MNRAS*. — 2008. — **391**. — P. 2003–2008.
23. Zoghbi A., Fabian A.C. X-ray reverberation close to the black hole in RE J1034+396 // *MNRAS*. — 2011. — **418**. — P. 2642–2647.

Надійшла до редакції 1.07.2013