

УДК 524.7

А. Василенко, асп.,  
 О. Федорова, канд. фіз.-мат. наук,  
 В. Жданов, д-р фіз.-мат. наук, проф.  
 КНУ імені Тараса Шевченка, Київ

## РЕНТГЕНІВСЬКІ СПЕКТРАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ ДЛЯ 65 ГАЛАКТИК ЗА ДАНИМИ КАТАЛОГУ SWIFT/BAT AGNS

*Створено вибірку 65 галактик з активними ядрами за даними каталогу Swift/BAT AGNs. Проаналізовано рентгенівські спектри, отримані супутниками XMM-Newton та INTEGRAL у сумарному діапазоні енергій 0,5-300 кеВ. Для об'єктів вибірки визначено такі спектральні параметри: фотонний індекс  $\Gamma$ , параметр відносного відбиття  $R$ , еквівалентна ширина  $W_{\text{FeK}}$  лінії Fe K $_{\alpha}$ , внутрішня світність  $I$ , енергія експоненційного обрізання  $E_c$ . Вивчено кореляції  $\Gamma$ - $R$ ,  $W_{\text{FeK}}$ - $I$ ,  $\Gamma$ - $E_c$ ,  $W_{\text{FeK}}$ - $N_H$ . Кореляція  $\Gamma$ - $R$  досліджена окремо для галактик Сейферт 1 та Сейферт 2; встановлено, що вона не є сильною. Параметр відносного відбиття для Сейфертів 2 на малих степеневих показниках є систематично вищим, ніж для Сейфертів 1. Це може бути вказівкою на присутність відбиття від газо-пиллового тору.*

**Ключові слова:** галактика, спектральні параметри.

**Вступ.** Згідно широко відомій уніфікованій моделі для активних ядер галактик (АЯГ) [1], типи від Сейферт 1 до Сейферт 2 відрізняються лише орієнтацією відносно променя зору на спостерігача. Вважають, що вони мають однакове джерело випромінювання, яке представлене акреційним диском та його короною поблизу надмасивної чорної діри (НМЧД). Основним механізмом, який відповідає за рентгенівське випромінювання, вважають обернене комптонівське розсіювання теплових фотонів акреційного диску з ультрафіолетового діапазону на гарячих електронах корони. Це випромінювання може мати різні спектральні властивості залежно, насамперед, від геометрії корони, її стану та стану акреції [4,21,22,24]. Окрім цього, спостережні властивості радіо-гучного чи тихого джерела пов'язують з темпом акреції та спіном НМЧД. Наявність навколядерного газопилового тору сильно впливає на прояви ліній поглинання та випромінювання (особливо на найважливішу та найяскравішу лінію рентгенівського діапазону – Fe K $_{\alpha}$  з енергією 6,4 кеВ), а також на фотонний індекс (степеневий показник спектру).

Усі перераховані вище фактори напрями впливають на значення спектральних параметрів, таких як поглинання, еквівалентні ширини ліній, значення відносного відбиття, світності та фотонного індексу [14]. Одночасно вивчення змін цих параметрів, їх взаємозалежності дозволяє виявляти фізичні явища та процеси, які не можуть спостерігатись напряму через віддаленість галактик та обмежену роздільну та спектральну здатність інструментів.

Для вивчення цих питань у нашій роботі була сформована вибірка галактик з активними ядрами, складену на основі 22-місячного огляду небо супутником Swift. З даного огляду були викинуті усі подвійні рентгенівські системи та блазари. Окрім цього, ми вибрали лише ті галактики, для яких можна одночасно побудувати рентгенівські спектри з використанням супутників XMM-Newton та INTEGRAL, що дозволило нам працювати в енергетичному діапазоні 0,5-250 кеВ. Кінцева вибірка включає 95 галактик. У даній статті ми представляємо результати опрацювання 65 галактик з цієї вибірки. Вибірка містить 44 Сейфертів 1, 21 Сейфертів 2, 16 радіо-гучних та 49 радіо-тихих галактик.

Рентгенівські дані супутників XMM-Newton та INTEGRAL були опрацьовані стандартними пакетами програм XMM SAS ver. 11.0 (Science Analysis Software) OSA 9.0 (Offline Standart Analysis Software), відповідно. Аналіз спектрів виконувався за допомогою програмного забезпечення XSpec ver.12.6. При підгонці спектрів використовувались такі основні компоненти: для неперервного спектру – степеневий закон  $A(E) = KE^{-\Gamma}$  та степеневий закон з експоненційним обрізанням на високих енергіях  $A(E) = KE^{-\Gamma} \exp(E/E_c)$ , степеневий закон з обрізанням з врахуванням "відбиття" від речовини (модель regrav [14]), модель поглинання в нейтральному (іонізованому) середовищі zphabs (absor) та її аналог з фактором перекриття zpcfabs (zxcirsf), гаусівський контур для емісійних ліній zgauss.

Таким чином, для галактик вибірки було побудовано та досліджено рентгенівські спектри та отримані відповідні спектральні параметри, такі як фотонний індекс  $\Gamma$ , параметр відносного відбиття  $R$ , еквівалентна ширина  $W$  лінії Fe K $_{\alpha}$ , внутрішня світність  $I$ , енергія обрізання  $E_c$  та величина поглинання  $N_H$  (стовпчикова густина). Їх значення приведені в Табл. 1. На їх основі були досліджені чотири важливі кореляції спектральних параметрів: " $\Gamma - R$ ", " $W - I$ " (ефект Балдвіна), " $\Gamma - E_c$ " та " $N_H - W$ ".

**Сепеневий індекс – показник відносного відбиття.** Залежність між параметрами відносного відбиття  $R$  та фотонного індексу  $\Gamma$  була вперше виявлена та описана в роботі [28]. У ній використовувались рентгенівські дані супутника Ginga для 23 радіо-тихих галактик типу Сейферт 1, 1.2, 1.5 та декілька подвійних рентгенівських систем. Діапазон енергетичного діапазону становив 1,7-20 кеВ. Вони знайшли, що значення тесту Спірмена для лінійної кореляції становить 0,91, що є великим значенням. У роботах [7,16,20,25] було перевірено існування кореляції, але автори не змогли її підтвердити. У нашій роботі розглянуто цю залежність для 56 сейфертівських галактик усіх типів. При цьому, для перевірки можливої залежності лише для одного типу, ми розділили галактики на типи Сейферт 2 (включають Сейферти 2 та 1.9), Сейферт 1 (включають Сейферти 1, 1.2, 1.5), радіо-тихі та радіо-гучні.

При аналізі залежності ми застосували дві перевірки. Спочатку ми перевірили наявність лінійної залежності. Але коефіцієнт кореляції тесту Спірмена дає невеликі значення, близько 0.3 для всіх підвибірок активних галактик. Тобто ми не виявили лінійної залежності параметрів. Тому, ми вирішили перевірити можливу наявність іншої взаємозалежності параметрів  $R$  та  $\Gamma$ , яка описується моделлю Белобородова [4]. У цій моделі спостереження зменшення рентгенівського відбиття від диска відбувається внаслідок об'ємного руху ("bulk motion") випромінюючої гарячої плазми в напрямку від "відбивача". При посередньо-релятивістському русі плазми виникає ефект аберації, при якому інтенсивність рентгенівського випромінювання у напрямку до диску зменшується. Це, в свою чергу, знижує рівень "відбитого" випромінювання від диску (тобто значення  $R$  зменшується) і призводить до жорсткішого значення фотонного індексу (тобто зна-

чення  $\Gamma$  зменшується). Але, як виявилось, поведінка даної моделі (темно-сіра лінія для Сейфертів 1 та світло-сіра для Сейфертів 2 на Рис. 1) досить погано описує нашу вибірку, особливо при малих значеннях степеневого індексу.

Таким чином, у нашій роботі, поведінка параметру  $R$  як функції степеневого індексу  $\Gamma$  не є лінійною та не описується фізичною моделлю Белобородова [4].

Основними причинами нашого, відмінного від отриманого в роботі [28], результату, є наступне. По-перше, занадто велике значення відбиття за малих степеневих індексів може бути пояснене нехтуванням вкладу відбиття від газопилового тору, який при умові сильно іонізованого акреційного диску може повністю відповідати за величину  $R$ . По-друге, до цього часу не відома справжня геометрія корони акреційного диску та самого диску. І по-третє, ми використовували для обробки дані в діапазоні 0,5-250 keV, що є значно ширшим, ніж у супутника *Ginga* і перекриває область 3-100 keV, де спектр відбиття виражений найчіткіше [14,24]. Відзначимо, що сучасні роботи, виконані з даними не тільки супутників XMM-Newton та INTEGRAL, але й Swift та Chandra вказують на велику сумнівність існування чіткої залежності між  $R$  та  $\Gamma$  [7,16,20,25]. До того ж супутник Swift, спостерігає максимум до 150 keV, у той час як INTEGRAL може отримувати якісні спектри для яскравих джерел аж до 500 keV.

Тобто, для можливого виявлення шуканої залежності, потрібно, принаймні, по-перше, використовувати велику кількість якісних рентгенівських даних галактик без додаткового поглинання (для зменшення впливу газопилового тору) і, по-друге, для підгонки використовувати більш реалістичну модель корони акреційного диску.

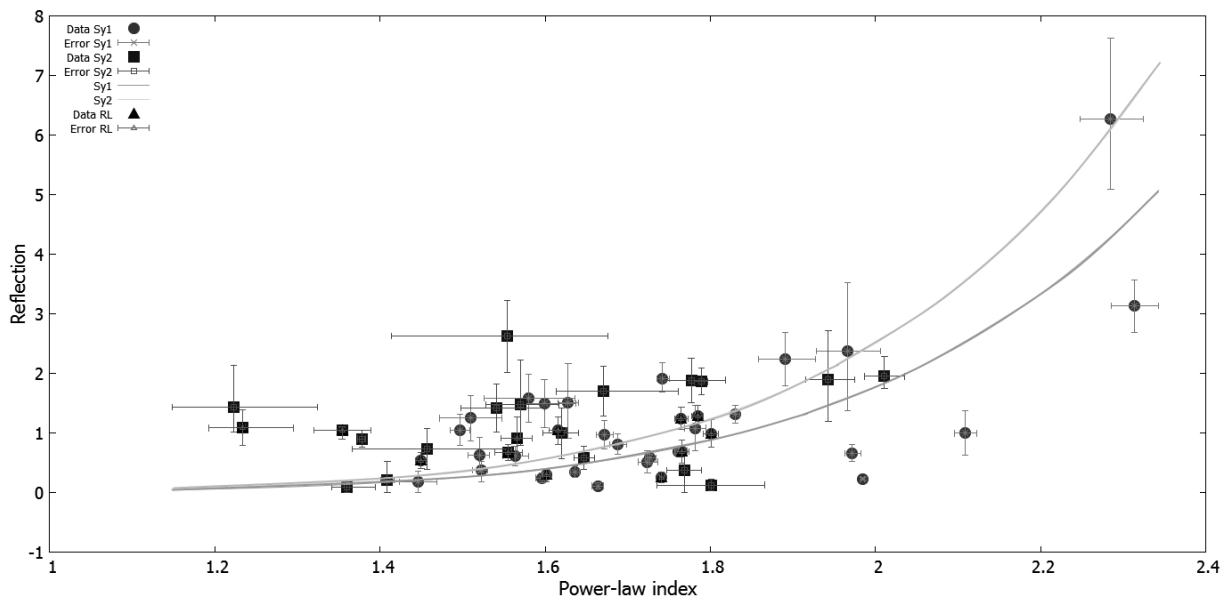


Рис. 1. По абсцисі – фотонний індекс, по ординаті – коефіцієнт відносного відбиття. Дані для Sy1 – кружечки, для Sy2 – квадратики

**Поглинання-еквівалентна ширина лінії.** Залежність величини стовпчикового поглинання зазвичай використовується для часткового визначення області утворення емісійної лінії Fe  $K_{\alpha}$ . Це можливо внаслідок того, що поведінка залежності дозволяє розділити вклад випромінювання від акреційного диску та газопилового тору. У нашій роботі при дослідженні даної залежності було використано дані 48 галактик, в основному, типу Сейферт 2.

Як чітко видно на Рис. 2, до значення поглинання  $N_H = 10^{23.5} \text{ см}^{-2}$  тренд поведінки еквівалентної ширини плоский, з середнім значенням  $W_0 = 92.5 \pm 9.8 \text{ eV}$ . Вище значення  $N_H = 10^{23.5} \text{ см}^{-2}$  поведінка даних перестає бути плоскою, чітко показуючи кореляцію величини поглинання та еквівалентної ширини. Така поведінка теоретично була описана в роботі [2], де розглядалось відбиття рентгенівського випромінювання від товстого газопилового тору. Тобто, великі ширини при великих  $N_H > 10^{23.5-24} \text{ см}^{-2}$  можуть утворюватись завдяки товстому тору. Типовий газопиловий тор з  $N_H = 10^{24} \text{ см}^{-2}$  буде показувати значення  $\sim 650 \text{ eV}$  [10] для сонячного вмісту. Одночасно, великі спостережені еквівалентні ширини при малих  $N_H < 10^{23.5} \text{ см}^{-2}$ , означають, що лінія Fe  $K_{\alpha}$  утворюється внаслідок відбиття від матеріалу, відмінного від тору. Малі величини еквівалентної ширини ( $\sim 100 \text{ eV}$ ) для галактики з малим поглинанням та Сейфертів 1, означають, що лінії утворюються в одному і тому середовищі, наприклад в області широких ліній.

Лінія, проведена на Рис. 2, відтворює функцію  $W(N_H) = W_0 \exp(\sigma_{Fe} N_H)$  і чудово описує поведінку зміни еквівалентної ширини зі зростанням поглинання. Ця крива представляє випадок, коли лінія Fe  $K_{\alpha}$  утворюється відбиттям від області широких ліній при наявності поглиначя, який не лежить точно на промені зору для галактик з малим  $N_H$ , але при цьому він поглинає частину континууму; також крива показує загальний ефект збільшення ширини зі збільшенням поглинання. Але ця функція не описує значення  $W \sim 50 - 150 \text{ eV}$  при  $N_H < 10^{23.5} \text{ см}^{-2}$  [27]. У цьому випадку, до випромінювання ліній, які, як було зазначено вище, утворюються в області широких ліній, повинно додаватись також відбите випромінювання від товстого тору, який не лежить на промені зору і не перекриває випромінювання континууму. Тобто, присутня вимога щодо існування товстого тору.

Підсумовуючи, можна стверджувати, в основному, в галактиках із сильним поглинанням ( $N_H > 10^{23.5} \text{ см}^{-2}$ ), лінія Fe K $\alpha$  випромінюється газопиловим тором; при малій величині поглинання ( $N_H < 10^{23.5} \text{ см}^{-2}$ ), переважна більшість ліній Fe K $\alpha$  line утворюється у середовищі, ближчому до чорної діри, аніж газо-пиловий тор. Це може бути або область широких ліній або акреційний диск.

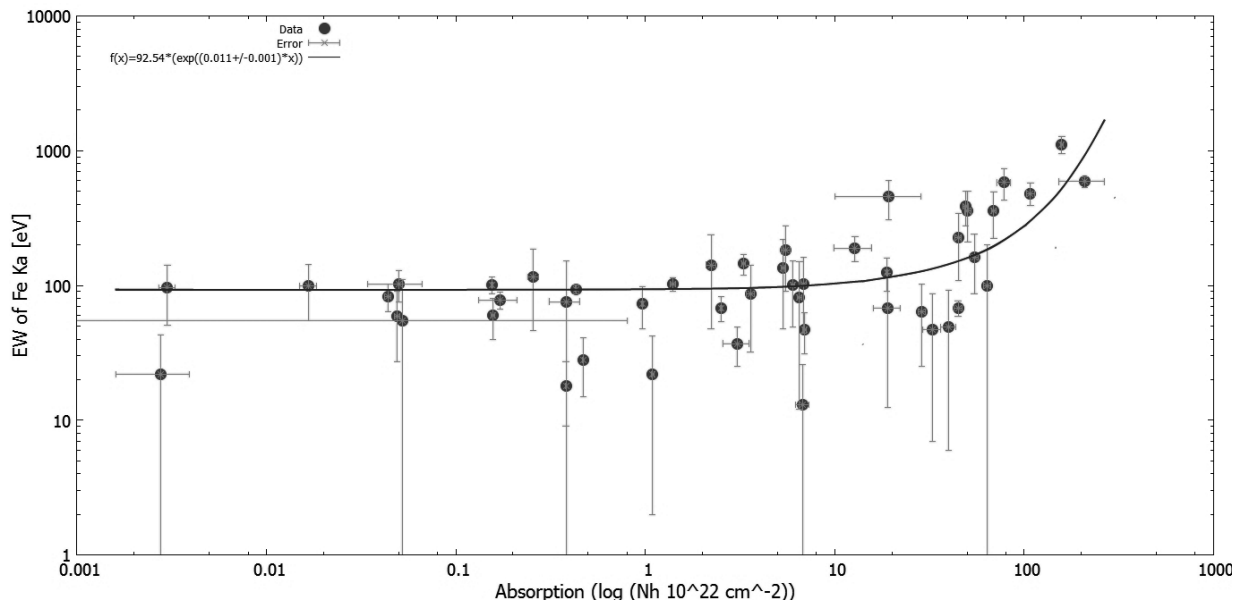


Рис.2. По абсцисі – логарифм стовпчикової густини  $N_H$ , по ординаті – еквівалентна ширина лінії Fe K $\alpha$ .

**Енергія обрізання – фотонний індекс.** На можливість існування кореляції між енергією обрізання та фотонним індексом вперше була звернута увага в роботах [21,22,23], де опрацьовувались дані супутника ВерроSAX. Але автори цих робіт працювали з дуже малими вибірками галактики типу Сейферт 1 (наприкл., з 6-ма та 9-ма, в роботах [22] та [21], відповідно). Ми використали дані для 39 галактик. Для шуканої залежності встановлено відсутність будь-якої чіткої лінійної кореляції, значення коефіцієнту Спірмена становить 0.15. Також не виявлено присутність інших типових залежностей (наприклад, степеневі чи експоненційної).

Аналізуючи отриманий результат, потрібно відзначити наступне. Варіація значення енергії обрізання під час підгонки спектру часто залежить від величини фотонного індексу та константи зв'язку між спектрами двох супутників XMM та Integral. Таким чином, не слід ігнорувати можливість того, що наш результат може бути певною мірою обумовлений даним ефектом. Окрім цього, для джерел з великим поглинанням, степеневий показник має тенденцію ставати "жорсткішим" внаслідок різних поглиначів з різними станами іонізації. У таких випадках, степеневий показник,  $\epsilon$ , скоріше за все, індикатором загальної форми спектру, але не зумовлений лише випромінюванням корони акреційного диску. Модель рехгав [14], яку ми використовували, містить обмеження на геометричну форму корони, лише у вигляді "лампи", яка зверху опромінює акреційний диск. Така геометрія є досить грубим наближенням, і окрім геометрії, не враховує також варіацію оптичної товщі.

**Ефект Балдвіна/ Івасава-Тінагучі.** Ми також дослідили актуальну та одночасно спірну можливу антикореляцію між внутрішньою (виправленою за поглинанням) світністю  $L_{corr}$  та еквівалентною шириною лінії заліза Fe K для радіо-тихих галактик типу Сейферт 1 (т.зв. ефект Балдвіна) [3,12]. Цей ефект був виявлений у вибірці радіо-тихих Сейфертів 1 в роботах [5,19] у формі  $W \sim (L_{X,44})^{-0.17 \pm 0.03}$ ,  $L_{X,44}$  є світністю в діапазоні 2-10 кеВ в одиницях  $10^{44} \text{ ерг} \cdot \text{с}^{-1}$ . Ефект Балдвіна не виявлений для Сейфертів 2 [6]. У нашій вибірці, яка містить 30 галактик, як виявилось, ефект не є абсолютно підтверджений, але й не можна сказати про повну відсутність такого тренду. При перевірці ефекту для енергетичного діапазону 2-10 кеВ лінійна залежність має вигляд  $\log(W) = (-0.235 \pm 0.077) \cdot \log(L_{corr}) + (12.09 \pm 3.39)$ , але лінійний коефіцієнт кореляції має значення  $r = -0.49$ , що свідчить про спірність наявності чи відсутності ефекту. Для енергетичного діапазону 20-100 кеВ лінійна залежність має вигляд  $\log(W) = (-0.123 \pm 0.087) \cdot \log(L_{corr}) + (7.19 \pm 3.81)$ , лінійний коефіцієнт кореляції має значення  $r = -0.26$ , тобто антикореляція для жорсткого рентгенівського діапазону фактично не прослідковується.

Чітке та остаточне фізичне пояснення не розроблене до цього часу. Можливі пояснення можуть бути такі як варіація іонізації випромінюючого матеріалу та його металічності зі зміною світності [13]; чи залежність від світності фактору перекриття поглиначем та іонізаційного стану області широких ліній [17]. Також деякі автори вважають, що основним фізичним фактором, який зумовлює ефект Балдвіна, є швидкість акреції, а не світність, як така.

Але, даний ефект може бути пояснений досить просто. Розглянемо область з високої світності. Згідно ефекту Балдвіна, тут еквівалентна ширина лінії заліза повинна зменшуватись внаслідок сильної іонізації акреційного диску. Але, таким чином, ми не враховуємо, що лінія заліза може формуватись у навколядерному газопиловому торі. При цьому, залежно від густини та геометрії тору, ця лінія може бути як і широкою, так і вузькою. Окрім цього, тор може не лежати на промені зору, але продукувати лінію випромінювання внаслідок розсіяння. А скільки в наш час реєструються лише близькі галак-

тики з великим поглинанням, а далекі поки ні, то чітко присутній ефект селекції. Підсумовуючи, можна сказати, що недостатнє врахування присутності газопилового тору та ефекту селекції близьких галактик з сильним поглинанням, може, принаймні, частково пояснити видиме спадання еквівалентної ширини лінії зі збільшенням світності.

Також варто відзначити, що наша вибірка не охоплює дуже широкий діапазон світностей. Тому і цей ефект селекції може сильно впливати.

**Висновки.** У даній роботі побудовано вибірку за 65 галактик з активними ядрами на основі 22-місячного огляду неба супутником Swift. Визначено основні спектральні параметри рентгенівських спектрів цих галактик. Вибірка включає у себе 44 галактики типу Сейферт 1 та 21 галактику типу Сейферт 2. При поділі за радіо-гучністю – 16 радіо-гучних та 49 радіо-тихих галактик.

Результати використано для вивчення кореляцій між спектральними параметрами. Висновки можна сформулювати наступним чином.

По-перше, не підтверджується наявність сильної кореляції між значеннями фотонного індексу  $\Gamma$  та параметром відбиття  $R$  при загальному та окремому аналізі Сейфертівських галактик 1 та 2 типів та радіо-гучних/радіо-тихих галактик. Поведінка залежність  $R$  від  $\Gamma$ , можливо, описується моделлю, представленою в [4], при врахуванні внеску у відносне відбиття випромінювання від газопилового тору. По-друге, ми також не підтвердили сильну кореляцію між величиною енергії обрізання та  $\Gamma$ . Відзначимо, що для цієї залежності значну роль грає вибір моделі спектру, які використовуються при підгонці, та присутність сильного поглинання випромінювання. По-третє, проаналізувавши залежність еквівалентної ширини  $W$  лінії Fe  $K_{\alpha}$  від поглинання, можна стверджувати, що (принаймні) частина ліній Fe  $K_{\alpha}$  повинна утворюватись в комптонівськи-тонкому газі, ймовірно, пов'язаного з областю широких ліній. Цей газ знаходиться на промені зору та відповідає за помірне значення  $N_H$ . Також нам потрібно ситуативно приймати присутність товстого тору, який не лежить на промені зору, (при помірному значенні поглинання), але дає внесок у спектр відбиття та в утворенні емісії лінії Fe  $K_{\alpha}$ . Нарешті, по-четверте, для рентгенівського ефекту Балдвіна для радіо-тихих галактик типу Сейферт 1 не виявлено сильної лінійної антикореляції в діапазонах енергій 2-10 кеВ та 20-100 кеВ; отримано відповідні коефіцієнти Спірмена  $r = -0,49$  та  $r = -0,26$ .

Таблиця 1. Спектральні параметри галактик

Назва	$\Gamma$	$R$	$E_C$ , кеВ	$W$ , еВ	$L_{corr}$ 2-10 кеВ, ерг/с	$L_{corr}$ 20-100 кеВ, ерг/с	$N_H$ , $10^{22}$ см $^{-2}$
Галактики типу Сейферт 1							
IGR J18027-1455	1.52±0.03	0.63 $^{+0.68}_{-0.38}$	110 $^{+106}_{-38}$	116±80	1.83e+43	2.04e+43	0.26±0.02
WKK 1263	1.63±0.03	1.51 $^{+0.66}_{-0.60}$	119 $^{+104}_{-40}$	60 $^{+73}_{-60}$	1.41e+43	3.18e+43	-
IGR J16558-5203	2.31±0.02	3.13±0.47	-	47 $^{+43}_{-47}$	1.25e+44	1.56e+44	32.67 $^{+4.41}_{-3.76}$
GRS 1734-292	1.52±0.01	0.38 $^{+0.15}_{-0.19}$	82 $^{+11}_{-9}$	22 $^{+20}_{-22}$	5.65e+43	8.52e+43	1.09±0.02
Mrk 110	1.59±0.01	0.24±0.08	-	38±1	8.77e+43	2.14e+44	-
NGC 3227	1.38±0.01	0.90±0.15	155 $^{+21}_{-17}$	94±7	1.22e+42	4.28e+42	0.43±0.01
Mrk 926	2.01±0.02	1.95 $^{+0.95}_{-0.88}$	-	62±47	1.63e+44	3.52e+44	3.05 $^{+0.62}_{-0.48}$
MCG+8-11-11	1.79±0.01	1.86±0.23	-	101±16	4.25e+43	1.42e+44	0.15±0.02
NGC 7469	1.98±0.01	0.23±0.02	-	68±9	2.35e+43	2.81e+43	44.78 $^{+2.46}_{-2.29}$
NGC 3783	1.69±0.01	0.81±0.17	167 $^{+58}_{-35}$	102±12	1.30e+43	2.58e+43	-
1A 1143-18	1.67±0.01	0.97±0.24	128 $^{+37}_{-24}$	41±1	7.17e+43	1.06e+44	-
IGR J16482-3036	1.59 $^{+0.04}_{-0.02}$	1.49 $^{+1.09}_{-0.68}$	101 $^{+150}_{-37}$	55 $^{+73}_{-55}$	4.47e+43	2.47e+43	-
IGR J17488-3253	1.44±0.02	0.18±0.18	135 $^{+143}_{-49}$	-	1.39e+43	2.89e+43	0.07±0.02
SWIFT J1038.8-4942	1.51±0.04	1.25±0.38	102 $^{+128}_{-41}$	183 $^{+92}_{-99}$	4.97e+43	1.09e+44	5.50 $^{+0.33}_{-0.30}$
LEDA 090443	2.28±0.04	6.26 $^{+1.36}_{-1.17}$	134 $^{+122}_{-44}$	87 $^{+56}_{-60}$	9.14e+43	1.14e+44	3.59±0.19
IGR J07597-3842	1.56±0.01	0.61 $^{+0.35}_{-0.33}$	71 $^{+15}_{-11}$	85 $^{+53}_{-58}$	6.04e+43	1.86e+44	-
LEDA 168563	1.66±0.01	0.11±0.07	159 $^{+78}_{-40}$	19±16	8.42e+43	6.62e+43	-
NGC 4593	1.76±0.01	0.69±0.11	122 $^{+68}_{-38}$	119±18	7.49e+42	1.26e+43	-
NGC 7603	2.11±0.01	0.99±0.38	-	49 $^{+49}_{-44}$	4.87e+43	3.91e+43	40.09 $^{+6.68}_{-5.47}$
ESO 511-30	1.83±0.01	1.31±0.15	-	80±20	2.27e+43	4.13e+43	-
NGC 985	1.49±0.01	1.04±0.26	-	164 $^{+47}_{-51}$	4.40e+43	1.08e+44	-
NGC 7582	1.77±0.02	0.37±0.21	-	581±149	4.55e+41	2.10e+42	15.71 $^{+1.48}_{-1.34}$
ESO 140-43	1.97±0.01	0.66 $^{+0.28}_{-0.22}$	-	112 $^{+37}_{-42}$	1.34e+43	1.55e+43	-
2E 1853.7+1534	1.89±0.03	2.24 $^{+0.93}_{-0.81}$	129 $^{+232}_{-56}$	76 $^{+79}_{-76}$	2.36e+44	3.43e+44	0.38±0.07
1A 1343-60	1.65±0.02	0.58±0.19	110 $^{+37}_{-21}$	64±40	1.83e+43	2.89e+43	28.87 $^{+22.94}_{-12.41}$

Закінчення табл. 1

Назва	$\Gamma$	$R$	$E_c$ , кеВ	$W$ , еВ	$L_{\text{corr}}$ 2-10 кеВ, ерг/с	$L_{\text{corr}}$ 20-100 кеВ, ерг/с	$N_H$ , $10^{22}$ см $^{-2}$
4U0517+17	1.74±0.01	1.91 $^{+0.28}_{-0.23}$	-	102 $^{+25}_{-27}$	1.84e+43	2.96e+43	-
NGC 931	1.78±0.01	1.08±0.38	206 $^{+141}_{-105}$	83±20	2.27e+43	1.19e+43	-
NGC 6814	1.72±0.01	0.51 $^{+0.27}_{-0.25}$	-	99 $^{+50}_{-33}$	1.72e+42	4.41e+42	0.02±0.01
IC4329A	1.73±0.01	0.57 $^{+0.06}_{-0.10}$	196 $^{+42}_{-30}$	78±11	5.63e+43	1.10e+44	0.17±0.04
MR 2251-178	1.63±0.01	0.34±0.09	206 $^{+54}_{-36}$	18 $^{+11}_{-9}$	4.03e+44	7.36e+44	0.38±0.01
ESO 141-55	2.01±0.01	0.74±0.15	-	57±32	8.85e+43	1.76e+44	0.38±0.01
ESO 490-26	1.64±0.01	-	158 $^{+124}_{-51}$	60 $^{+20}_{-23}$	2.76e+43	2.76e+43	0.15±0.01
PGC 045125	1.84±0.01	-	-	22±1	4.11e+43	5.45e+43	-
4C 74.26 RL	1.76±0.01	1.24±0.19	207 $^{+92}_{-49}$	59±33	6.64e+44	9.74e+44	0.05±0.02
IGR J13109-5552 RL	1.58±0.05	1.58 $^{+1.35}_{-1.15}$	-	96 $^{+153}_{-96}$	9.33e+43	4.16e+44	-
3C 382 RL	1.76±0.01	0.68±0.19	180 $^{+63}_{-36}$	28±24	3.17e+44	2.53e+44	-
4C 50.55 RL	1.45±0.01	0.54±0.13	91 $^{+11}_{-9}$	13 $^{+18}_{-13}$	5.25e+43	1.43e+44	6.76 $^{+0.99}_{-0.87}$
3C 111 RL	1.60±0.01	0.29±0.11	171 $^{+29}_{-22}$	28±13	2.76e+44	3.77e+44	0.47±0.01
3C 390.3 RL	1.78±0.01	1.28±0.17	217 $^{+78}_{-47}$	25±19	2.96e+44	3.67e+44	-
Pictor A RL	1.80±0.01	0.99±0.23	-	21 $^{+39}_{-21}$	2.96e+43	9.41e+43	0.03±0.01
3C 120 RL	1.74±0.01	0.25 $^{+17.79}_{-0.09}$	-	74±13	1.16e+44	1.46e+44	-
QSO B0241+62 RL	1.61±0.01	1.05±0.13	216 $^{+161}_{-67}$	126±31	9.11e+43	2.18e+44	-
S5 2116+81 RL	1.96±0.04	2.37 $^{+1.15}_{-0.99}$	-	-	1.82e+44	5.27e+44	-
WKK 6471 RL	1.91±0.05	-	-	-	4.64e+42	3.49e+43	-
Галактики типу Сейферт 2							
MCG-01-24-012	1.77±0.04	1.88 $^{+1.22}_{-1.02}$	107 $^{+110}_{-47}$	81 $^{+74}_{-68}$	1.74e+43	2.81e+43	6.51±0.17
ESO 103-35	1.94±0.03	1.89 $^{+0.82}_{-0.69}$	119 $^{+40}_{-26}$	68 $^{+65}_{-46}$	2.25e+43	2.99e+43	19.13±0.31
PGC 037894	1.54 $^{+0.06}_{-0.04}$	1.42 $^{+1.53}_{-1.04}$	136 $^{+231}_{-56}$	-	2.31e+43	6.36e+43	7.54±0.26
WKK 0560	1.22 $^{+0.10}_{-0.07}$	1.44 $^{+2.97}_{-1.73}$	104 $^{+97}_{-42}$	142 $^{+94}_{-97}$	1.42e+43	5.47e+43	2.23±0.14
NGC 4138	1.36±0.03	0.09 $^{+0.72}_{-0.01}$	150 $^{+501}_{-84}$	104 $^{+58}_{-65}$	1.50e+41	4.66e+41	6.85 $^{+0.27}_{-0.25}$
NGC 1142	1.67 $^{+0.09}_{-0.06}$	1.69 $^{+2.01}_{-1.03}$	-	225 $^{+116}_{-121}$	2.57e+43	1.11e+44	49.40 $^{+1.72}_{-1.61}$
ESO 506-27	1.46±0.01	0.73±0.34	155±62	359±136	3.26e+43	1.19e+44	69.07 $^{+2.06}_{-1.94}$
IGR J20187+4041	1.57±0.04	1.48 $^{+1.31}_{-1.07}$	77 $^{+43}_{-21}$	134 $^{+86}_{-88}$	3.60e+42	7.63e+42	5.34±0.20
IC4518A	1.55±0.01	2.62±0.61	127 $^{+663}_{-66}$	456±148	1.88e+42	9.25e+42	19.24 $^{+0.99}_{-0.92}$
NGC 4945	1.80±0.06	0.12±0.09	-	1108 $^{+163}_{-157}$	2.49e+41	1.72e+42	158.55 $^{+2.86}_{-2.73}$
NGC 6300	1.62±0.02	1.00 $^{+0.42}_{-0.44}$	-	125 $^{+33}_{-36}$	5.96e+41	2.21e+42	18.95±0.24
NGC 526	1.41±0.01	0.21 $^{+0.33}_{-0.31}$	214 $^{+143}_{-63}$	73±26	1.95e+43	4.46e+43	0.96±0.01
LEDA 178130	1.55±0.03	2.09 $^{+0.79}_{-0.84}$	217 $^{+278}_{-83}$	101±52	3.13e+43	1.29e+44	6.02±0.13
ESO 362-18	2.80±0.02	-	173 $^{+128}_{-99}$	190±40	3.68e+42	1.44e+43	12.82 $^{+4.11}_{-2.84}$
MCG +04-48-002	1.46 $^{+0.16}_{-0.12}$	-	-	100 $^{+144}_{-100}$	7.06e+42	2.33e+43	63.96 $^{+2.76}_{-2.53}$
NGC 4992	1.41±0.02	-	179 $^{+179}_{-100}$	356 $^{+149}_{-157}$	1.24e+43	5.78e+43	50.39 $^{+1.86}_{-1.74}$
Mrk 348 RL	1.55±0.02	0.67 $^{+0.37}_{-0.34}$	67 $^{+9}_{-7}$	47±16	2.81e+43	5.23e+43	12.21±0.39
3C 452 RL	1.35±0.03	1.04 $^{+0.07}_{-0.14}$	37 $^{+13}_{-8}$	163 $^{+84}_{-77}$	7.99e+43	4.76e+44	54.52 $^{+3.12}_{-2.85}$
NGC 788 RL	1.23 $^{+0.06}_{-0.04}$	1.08 $^{+1.21}_{-0.74}$	117 $^{+46}_{-30}$	387 $^{+116}_{-112}$	4.75e+42	2.71e+43	49.10 $^{+1.70}_{-1.61}$
NGC 2110 RL	1.56±0.03	0.91 $^{+0.36}_{-0.29}$	10 $^{+70}_{-33}$	144±26	3.84e+42	2.72e+43	3.32±0.07
NGC 5252 RL	1.31±0.01	-	-	69±15	1.82e+43	1.33e+44	2.52±0.04

## Список використаних джерел

1. Antonucci R. Unified models for active galactic nuclei and quasars // ARA&A. – 1993. – Vol. 31. – P. 473-521.
2. Awaki H., Koyama K., Inoue H., et al. X-ray implications of a unified model of Seyfert galaxies // PASJ. – 1991. – Vol. 43. – P. 195-212.
3. Baldwin J. A. Luminosity indicators in the spectra of quasi-stellar objects // Astroph. J. – 1977. – Vol. 214. – P. 679-684.
4. Beloborodov A. M. Plasma ejection from magnetic flares and the x-ray spectrum of Cygnus X-1 // Astroph. J. – 1999. – Vol. 510. – P. 123-126.
5. Bianchi S., Guainazzi M., Matt G., et al. On the Iwasawa-Taniguchi effect of radio-quiet AGN // A&A. – 2007. – Vol. 467. – P. 19-22.
6. Dadina M. Seyfert galaxies in the local Universe ( $z \leq 0.1$ ): the average X-ray spectrum as seen by BeppoSAX // A&A. – 2008. – Vol. 485. – P. 417-424.
7. De Rosa A., Panessa F., Bassani L., et al. Broad-band study of hard X-ray-selected absorbed active galactic nuclei // MNRAS. – 2012. – Vol. 420. – P. 2087-2101.
8. De Rosa A., Bassani L., Ubertini P., et al. An X-ray view of absorbed INTEGRAL AGN // A&A. – 2008. – Vol. 483. – P. 749-758.
9. Dickey J.M., Lockman F.J. H I in the Galaxy // A&A. – 1990. – Vol. 28. – P. 215-261.
10. Ghisellini G., Haardt F., Matt G. The contribution of the obscuring torus to the X-ray spectrum of Seyfert galaxies – a test for the unification model // MNRAS. – 1994. – Vol. 267. – P. 743 – 754.
11. Guainazzi M., Bianchi S., de la Calle Perez I., et al. On the driver of relativistic effect strength in Seyfert galaxies // A&A. – 2011. – Vol. 531. – P. 131-144.
12. Iwasawa K., Taniguchi Y. The x-ray Baldwin effect // Astroph. J. – 1993. – Vol. 413. – P. 15-18.
13. Korista K., Baldwin J., Ferland G. Quasars as cosmological probes: The ionizing continuum, gas metallicity, and the  $W_{\lambda}$ -L relation // Astroph. J. – 1998. – Vol. 507. – P. 24-30.
14. Magdziarz P., Zdziarski A. A. Angle-dependent compton reflection of X-rays and gamma-rays // MNRAS. – 1995. – Vol. 273, Issue 3. – P. 837-848.
15. Molina M., Bassani L., Malizia A., et al. A broad-band spectral analysis of eight radio-loud type 1 active galactic nuclei selected in the hard X-ray band // MNRAS. – 2008. – Vol. 390. – P. 1217-1228.
16. Molina M., Bassani L., Malizia A., et al. The INTEGRAL complete sample of type 1 AGN // MNRAS. – 2009. – Vol. 399. – P. 1293-1306.
17. Mushotzky R., Ferland G. J. The line continuum luminosity ratio in active galactic nuclei – or, on the 'Baldwin effect' // Astroph. J. – 1984. – Vol. 278. – P. 558-563.
18. Nandra K. On the origin of the iron K $\alpha$  line cores in active galactic nuclei // MNRAS. – 2006. – Vol. 368. – P. 62-66.
19. Page K. L., O'Brien P. T., Reeves J. N., et al. An X-ray Baldwin effect for the narrow Fe K $\alpha$  lines observed in active galactic nuclei // MNRAS. – 2004. – Vol. 347. – P. 316-322.
20. Panessa F., Bassani L., De Rosa A., et al. The broad-band XMM-Newton and INTEGRAL spectra of bright type 1 Seyfert galaxies // A&A. – 2008. – Vol. 483. – P. 151-160.
21. Perola G. C., Matt G., Cappi M., et al. Compton reflection and iron fluorescence in BeppoSAX observations of Seyfert type 1 galaxies // A&A. – 2002. – Vol. 389. – P. 802-811.
22. Petrucci P. O., Haardt F., Maraschi L., et al. Testing comptonization models using BeppoSAX observations of Seyfert 1 galaxies // A&A. – 2001. – Vol. 556. – P. 716-726.
23. Piro L. Probing the AGN environment with X-ray measurements // Astron. Nachr. – 1999. – Vol. 320. – P. 236-239.
24. Ricci C., Walter R., Courvoisier T. J.-L., et al. Reflection in Seyfert galaxies and the unified model of AGN // A&A. – 2011. – Vol. 532. – P. 102-122.
25. 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 // Astroph. J. – 2013. – Vol. 763. – P. 111-149.
26. Winter L. M., Mushotzky R. F., Tueller J., et al. X-ray properties of an unbiased hard x-ray-detected sample of active galactic nuclei // Astroph. J. – 2008. – Vol. 674. – P. 686-710.
27. Yaqoob T., George I. M., Nandra K., et al. Physical diagnostics from a narrow Fe K $\alpha$  emission line detected by Chandra in the Seyfert 1 galaxy NGC 5548 // Astroph. J. – 2001. – Vol. 546. – P. 759-768.
28. Zdziarski A. A., Lubinski P., Smith D. A. Correlation between compton reflection and X-ray slope in Seyferts and X-ray binaries // MNRAS. – 1999. – Vol. 303. – P. 11-15.

Надійшла до редколегії 03.07.14

A. Василенко, асп.,  
 Е. Федорова, канд. физ.-мат. наук,  
 В. Жданов, д-р физ.-мат. наук, проф.,  
 КНУ імени Тараса Шевченка, Київ

## РЕНТГЕНОВСКИЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ 65 ГАЛАКТИК ПО ДАННЫМ КАТАЛОГА SWIFT/BAT AGNS

Создано выборку из 65 галактик с активными ядрами по данным каталога Swift/BAT AGNs. Проанализированы рентгеновские спектры, полученные спутниками XMM-Newton и INTEGRAL в суммарном диапазоне энергий 0,5-300 кэВ. Для объектов выборки мы определили следующие спектральные параметры: степенной показатель  $\Gamma$ , параметр относительного отражения  $R$ , эквивалентную ширину  $W_{\text{FeK}}$  линии Fe K $\alpha$ , внутреннюю светимость  $I$ , энергию экспоненциального обрезания  $E_c$  и величину поглощения  $N_H$ . Исследовано корреляция  $\Gamma$ - $R$ ,  $W_{\text{FeK}}$ - $I$ ,  $\Gamma$ - $E_c$ ,  $W_{\text{FeK}}$ - $N_H$ . Корреляция  $\Gamma$ - $R$  исследована отдельно для галактик типа Сейферт 1 и Сейферт 2. Установлено, что для этой зависимости отсутствует сильная корреляция. Параметр относительного отражения для Сейфертов 2 на малых степенных показателях систематически выше, чем для Сейфертов 1. Это может быть указанием на присутствие отражения от газо-пылевого тора.

Ключевые слова: галактика, спектральные параметры.

A. Vasylenko, postgrad. stud.,  
 V. Zhdanov, Dr. Phys. and Math. Sciences,  
 E. Fedorova, Ph.D. in Phys. and Math. Sciences  
 Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

## THE X-RAY SPECTRAL PARAMETERS FOR A SAMPLE OF 65 ACTIVE NUCLEI GALAXIES OF BAT AGNS

We present a homogeneous sample of 65 active galactic nuclei, which are part of the Swift/BAT AGN catalogue. For this sample we analyzed X-ray spectra from XMM-Newton and INTEGRAL satellites simultaneously, thus allowing us to extend the spectral range 0,5-300 keV. The spectral parameters, such as power-law indexes, relativity reflection  $R$ , equivalent width of Fe K line, neutral absorption and intrinsic luminosity are determined for this sample. We built and examine such dependences as "power-law index – relativity reflection"; "equivalent width of Fe K $\alpha$  line – intrinsic luminosity" (Baldwin effect) in middle 2-10 keV and hard 20-100 keV energy ranges; "power-law index – cut-off energy" and "absorption value-equivalent width of Fe K $\alpha$  line". Dependence of "power-law index – relativity reflection" for Seyfert 1/2 galaxies were investigated separately. We found that this dependence is not clearly approximated by linear model. Also, we found that the relativity reflection parameter at low power-law indexes for Seyfert 2 galaxies systematically higher than in Seyfert 1. This can be explained by increasing contribution of reflected radiation from the gas-dust torus.

Keywords: galaxy, spectral parameters.