

5. Schild R. Anomalous fluctuations in observations of Q0957+561 A,B: smoking gun of a cosmic string? / R. Schild, I.S. Masnyak, B.I. Hnatyk // Astron.Astrophys., 2004. – Vol. 422. – P. 477–482.

6. Miyamoto K. Cosmological and astrophysical constraints on superconducting cosmic strings / K. Miyamoto, K. Nakayama // [electronic version] arXiv:1212.6687, 2012. – 32 p.

7. Effects of cosmic strings with delayed scaling on CMB anisotropy / K. Kamada, Yu. Miyamoto, D. Yamauchi et al. // [electronic version] arXiv:1407.2951, 2014. – 9 p.

8. Zadorozhna L.V. Electromagnetic emission bursts from the near-cusp regions of superconducting cosmic strings / L.V. Zadorozhna, B.I. Hnatyk // UJP, 2009. – Vol. 54. – I.11. – P. 1152–116.

Надійшла до редколегії 28.08.14

Л. Задорожная, канд. физ.-мат. наук,  
Б. Гнатик, д-р физ.-мат. наук  
КНУ имени Тараса Шевченко, Киев

### КОСМОЛОГИЧЕСКИЙ БЫСТРЫЙ РАДИОВСПЛЕСК "SPARK"

#### КАК НЕТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ОТ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ВОКРУГ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ СТРУНЫ

*Сверхпроводящие космические струны могут быть мощными источниками нетеплового излучения. Излучение от ударной волны вокруг прикасповой области имеет характер узконаправленных вспышек. Показано, что открытый в 2007 г. на 64-метровом радиотелескопе Паркс миллисекундный внегалактический радиовсплеск FRB010724 "spark" неотожествленной природы может быть объяснен как синхротронное излучение от ударной волны вокруг прикасповой области сверхпроводящей космической струны энергетического масштаба, близкого к Великому Объединению. Продолжительность, поток и частота наблюдаемого всплеска хорошо согласуются с предложенной моделью. Сейчас выявлено еще пять быстрых радиовсплесков с похожими характеристиками, что подкрепляет объяснение этого явления как излучение от петель космических струн.*

*Ключевые слова: космические струны, быстрый радиовсплеск, нетепловое излучение, ударные волны.*

L. Zadorozhna, Ph.D. in Phys. and Math. Sci.,  
B.I. Hnatyk, Dr. Phys. and Math. Sci.  
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

### COSMOLOGICAL RADIO BURST "SPARK" AS A NONTHERMAL RADIATION FROM SHOCK WAVE AROUND THE SUPERCONDUCTING STRING

*Superconducting cosmic strings can be powerful sources of nonthermal radiation. Radiation from the shock wave around near-cusp region has the character of targeted bursts. It is shown that opened in 2007 on the 64-meter radio telescope Parks millisecond extragalactic fast radio burst FRB010724 "spark" with unknown nature can be explained as synchrotron radiation from shock wave around near-cusp region of the superconducting cosmic string with the energy scale close to the Grand Unification scale. The observed duration, flow and event rate are in good agreement with the proposed model. Currently detected five fast radio burst with similar characteristics reinforce the explanation of this phenomenon as radiation from cosmic string loops.*

*Key Words: cosmic strings, fast radio burst, non-thermal radiation, shock waves.*

УДК 524.7

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

### КОРЕЛЯЦІЇ РЕНТГЕНІВСЬКИХ СПЕКТРАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ АКТИВНИХ ЯДЕР 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  $EW_{FeK}$  лінії  $Fe K_{\alpha}$ , внутрішня світність  $I$ , енергія експоненційного обрізання  $E_c$ . Отримано оцінки кореляцій  $\Gamma$ - $R$ ,  $EW_{FeK}$ - $I$ ,  $\Gamma$ - $E_c$ ,  $EW_{FeK}$ - $N_H$ . Кореляція  $\Gamma$ - $R$  отримана окремо для галактик Сейферт 1 та Сейферт 2; встановлено, що вона не є сильною. Параметр відносного відбиття для Сейфертів 2 на малих ступеневих показниках систематично вищий, ніж для Сейфертів 1, що може бути вказівкою на внесок відбиття від газо-пилового тору.*

**Вступ.** Згідно із широко прийнятою уніфікованою моделлю [1] типи активних ядер галактик (АЯГ) від Сейферт 1 до Сейферт 2 відрізняються лише орієнтацією відносно променя зору. Вважають, що джерело випромінювання в АЯГ представлено акреційним диском та його короною поблизу надмасивної чорної діри. Основним механізмом, який відповідає за рентгенівське випромінювання, вважають обернене комптонівське розсіювання теплових фотонів 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 чорної діри. Наявність навколяядерного 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 (ступеневий показник спектра). Усі ці фактори напряму впливають на значення спектральних параметрів, таких як поглинання, еквівалентні ширини ліній, значення відносного відбиття, світності та вже згаданого фотонного індексу [14], тому вивчення цих параметрів та їх кореляцій дозволяє аналізувати фізичні процеси, які не можуть спостерігатись напряму через віддаленість галактик та обмежені можливості здатність інструментів.

Для дослідження цих питань нами складено вибірку галактик з активними ядрами на основі 22-місячного огляду неба супутником Swift. З даного огляду були вилучено усі подвійні рентгенівські системи та блазари. Ми вибрали лише ті галактики, для яких можна одночасно побудувати рентгенівські спектри з використанням

спутників XMM-Newton та INTEGRAL, що дозволило нам працювати в енергетичному діапазоні 0,5–250 кеВ. Повна кінцева вибірка включає 95 галактик, зокрема Сейфертів 1 – 44, Сейфертів 2 – 21, радіо-гучних – 16 і радіо-тихих галактик – 49. Рентгенівські дані для цієї вибірки, отримані з 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.

Для галактик вибірки побудовано та досліджено рентгенівські спектри та отримані відповідні спектральні параметри, такі як степеневий індекс  $\Gamma$ , параметр відносного відбиття  $R$ , еквівалентна ширина  $EW_{FeK}$  лінії  $Fe K_{\alpha}$ , внутрішня світність  $l$ , енергія обрізання  $E_{cut-off}$  та величина поглинання  $N_H$ . Частково ці результати показано нижче на Рис. 1 та Рис. 2. В даній роботі ми наводимо отримані на цій основі кореляції таких спектральних параметрів: "фотонний індекс  $\Gamma$  – параметр відносного відбиття  $R$ ", "еквівалентна ширина лінії  $Fe K_{\alpha}$  – внутрішня світність" (ефект Балдвіна), " фотонний індекс  $\Gamma$  – енергія обрізання" та "величина поглинання – еквівалентна ширина лінії  $Fe K_{\alpha}$ ".

**Фотонний індекс – показник відносного відбиття.** Залежність між параметрами відносного відбиття  $R$  та фотонного індексу  $\Gamma$  була досліджена в роботах [7, 16, 20, 25, 28] з різними висновками щодо її існування. Вперше на цю залежність було вказано в [28] для рентгенівських даних по 23 радіо-тихим галактикам типу Сейферт 1, 1.2, 1.5 та по декільком подвійним рентгенівським системам; було отримано значення коефіцієнта Спірмена 0.91. Це є занадто великим значенням, яке пізніше не було підтверджено. У нашій роботі розглянуто цю кореляцію для 58 сейфертівських галактик усіх типів. При цьому ми перевірили кореляцію окремо для Сейфертів 2 (включають Сейферти 2 та 1.9), Сейфертів 1 (включають Сейферти 1, 1.2, 1.5), радіо-тихих та радіо-гучних.

Було проведено дві оцінки. Спочатку було отримано коефіцієнт кореляції Спірмена, який, як виявилось, дає ненульові значення, наприклад  $r = 0.45 \pm 0.17$  для 58 активних ядер галактик<sup>1</sup>, тобто певна кореляція є, але вона невелика. Дійсно, як видно з Рис. 1, для значень  $\Gamma > 2$  має місце певне одночасне збільшення разом із  $R$ . Це – певний натяк на існування залежності між параметрами  $R$  та  $\Gamma$ . Тому, як варіант, було розглянуто підгонку цієї залежності за моделлю Белобородова [4]. У цій моделі зменшення рентгенівського відбиття від диску відбувається внаслідок об'ємного руху ("bulk motion") випромінюючої гарячої плазми в напрямку від "відбивача". Поведінка даної моделі (темно- та світло-сіра лінії для Сейфертів 1 та Сейфертів 2 відповідно на Рис. 1) за малих значеннях фотонного індексу зашумлена стохастикою; тоді як для впевненого висновку за великих  $\Gamma$  даних замало.

Отриманий нами результат узгоджується з результатами робіт інших авторів, наприклад [7, 16, 20, 25], але є відмінним від результату роботи [28]. Можна стверджувати, що існування залежності між фотонним індексом та відносним відбиттям залишається спірним. Для можливого виявлення шуканої залежності, потрібно, принаймні, по-перше, використовувати велику кількість якісних рентгенівських даних галактик без додаткового поглинання (для зменшення впливу газопилового тору), по-друге, використовувати реалістичну модель корони акреційного диску і по-третє, під час підгонки спектрів обов'язково розділяти відбиття від газопилового тору та акреційного диску (що можливо, лише з дуже якісними даними широкого діапазону енергій).

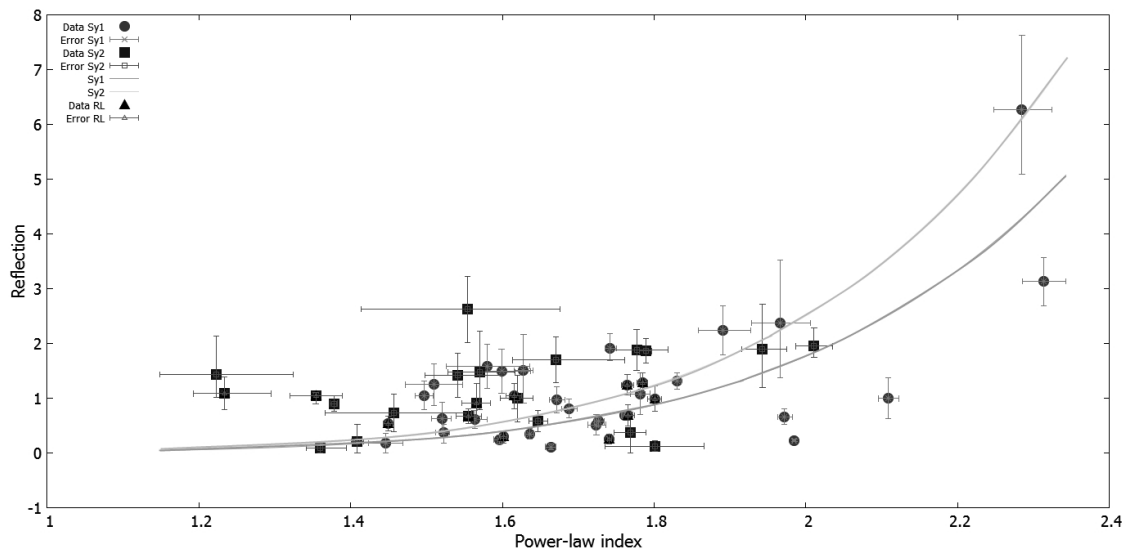


Рис. 1. Залежність степеневого показника від коефіцієнта відносного відбиття. Дані для Sy1–кружечки, для Sy2 – квадратики

**Поглинання-еквівалентна ширина лінії.** Залежність величини стовпчикового поглинання найчастіше використовується для часткового визначення області утворення емісійної лінії  $Fe K_{\alpha}$  завдяки тому, що тут є можливість розділити внесок випромінювання від акреційного диску та газопилового тору. У роботі при дослідженні цієї залежності було використано дані 48 галактик, в основному, типу Сейферт 2.

Як видно на рис. 2, до значення поглинання  $N_H = 10^{23.5} \text{ см}^{-2}$  еквівалентна ширина значуще не змінюється, її середнє значення  $EW_0 = 92,5 \pm 9,8 \text{ еВ}$ .

<sup>1</sup> Значення похибки коефіцієнта кореляції отримано за допомогою методу "jackknife" (метод "складного ножа").

Вище за  $N_H = 10^{23.5} \text{ см}^{-2}$  поведінка даних перестає бути плоскою, показуючи певний зв'язок величини поглинання та еквівалентної ширини. Така поведінка теоретично була описана в роботі [2], де розглядалось відбиття рентгеновського випромінювання від товстого газопилового тору. Тобто, великі ширини при великих  $N_H \sim 10^{23.5-24} \text{ см}^{-2}$  можуть утворюватись завдяки товстому тору. Зокрема, в роботі [10] зазначено, що типовий газопиловий тор з  $N_H = 10^{24} \text{ см}^{-2}$  буде показувати значення  $\sim 650$  еВ для сонячного вмісту. Одночасно, великі 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 ( $\sim 100$  еВ) 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  $EW(N_H) = EW_0 \exp(\sigma_{Fe} N_H)$  і задовільно описує поведінку збільшення еквівалентної ширини зі зростанням поглинання. Ця крива може описувати випадок, коли лінія Fe  $K_\alpha$  утворюється відбиттям від області широких ліній за наявності поглиначя, який не лежить точно на промені зору для галактик з малим  $N_H$ , але при цьому він поглинає частину континууму. Але ця функція не описує значення  $EW_{FeK} \sim 50-150$  еВ при  $N_H < 10^{23.5} \text{ см}^{-2}$  [27].

Підсумовуючи, можна стверджувати, що результати опрацювання даної вибірки узгоджуються з уявленням, що в галактиках із сильним поглинанням ( $N_H > 10^{23.5} \text{ см}^{-2}$ ) лінія Fe може випромінюватись газопиловим тором; а 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.

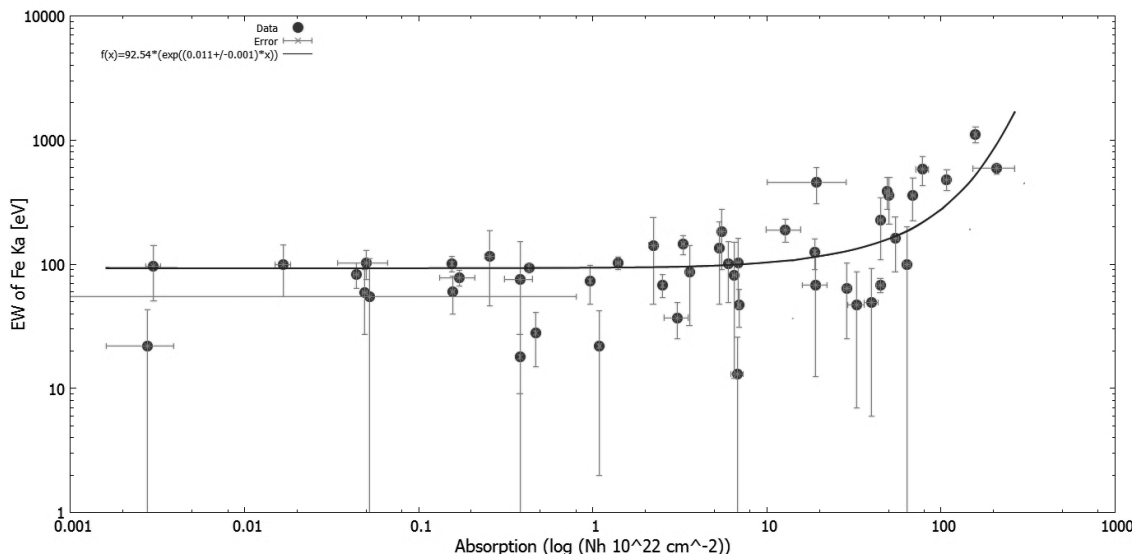


Рис. 2. Еквівалентна ширина лінії Fe  $K_\alpha$  як функція від величини стовпкового поглинання

**Енергія обрізання-фотонний індекс.** Аналізуючи дані різних авторів по визначенню параметрів  $\Gamma$ ,  $E_{cut-off}$  можна побачити, що у багатьох випадках більшим значенням  $\Gamma$  відповідають більші значення  $E_{cut-off}$ , причому цей ефект особливо виражений для спектрів низької якості (за великих похибок спостережень). Це відома проблема кореляції параметрів  $\Gamma$  та  $E_{cut-off}$  при опрацюванні спектра кожного окремого об'єкта. Оскільки первинний спектр (до врахування ефектів розсіювання, відбиття та поглинання) в моделі рехгав [14] апроксимують формулою  $E^{-\Gamma} \exp(-E/E_{cut-off})$ , за наявності похибок вимірювань помилкове збільшення одного з цих параметрів може компенсуватися – також в рамках похибок – збільшенням іншого параметру. Цей чисто статистичний ефект опрацювання даних може маскувати реальний фізичний зв'язок між цими параметрами, які відповідають різним фізичним процесам. Якщо фотонний індекс є характеристикою спектра випромінювання корони, то наявність експоненційного обрізання на енергіях менше 200 кеВ пов'язують з вимітанням частинки з великими енергіями з області поблизу чорної діри, що обертається, та з появою струменів в АЯГ. Для з'ясування зазначеного зв'язку треба порівнювати результати обробки для різних об'єктів. На можливість існування кореляції між енергією обрізання та степеневим показником 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 кореляції, значення коефіцієнта Спірмена становить  $r = 0.15 \pm 0.10$ . Також не виявлено присутність інших типових залежностей (наприклад, степеневі чи експоненційної).

Потрібно відзначити, що для подальшого дослідження бажано ще збільшити об'єм вибірки. Також можливо, що потрібно більш точно враховувати геометрію системи, що випромінює. Модель рехгав [14] застосована для підгонки, використовує припущення на геометричну форму корони у вигляді "лампи над плоскою поверхнею", яка зверху опромінює акреційний диск. Але це є досить грубим наближенням і не враховує також варіацію оптичної товщі в різних місцях диску.

**Ефект Балдвіна.** Ми також дослідили актуальну та одночасно спірну можливу антикореляцію між внутрішньою (виправленою за поглинанням) світністю та  $EW_{FeK}$  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  $EW_{FeK} \sim L_{X,44}^{-0.17 \pm 0.03}$ , де  $L_{X,44}$  є світністю в діапазоні 2–10 кеВ в одиницях  $10^{44}$  ерг\*с<sup>-1</sup>. 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 його повну відсутність. При перевірці ефекту для енергетичного діапазону 2–10 кеВ залежність має вигляд  $\log(EW) = (-0.235 \pm 0.077) \cdot \log(L_{corr}) + (12.09 \pm 3.39)$ . Коефіцієнт кореляції має значення  $\rho = -0.49 \pm 0.13$ , тобто антикореляція є, хоча вона й не дуже значна. Для енергетичного діапазону 20–100 кеВ лінійна залежність має вигляд  $\log(EW) = (-0.123 \pm 0.087) \cdot \log(L_{corr}) + (7.19 \pm 3.81)$ , коефіцієнт кореляції має значення  $\rho = -0.26 \pm 0.16$ , тобто антикореляція для жорсткого рентгенівського діапазону на межі статистичної значущості.

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 можливо, що основним фізичним фактором, який зумовлює ефект Балдвіна, є швидкість акреції, а не світність, як така.

**Висновки.** На основі оригінальної вибірки з 65 галактик з активними ядрами, складеної на основі 22-місячного огляду неба супутником Swift, нами 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. В даній роботі ці результати використано для вивчення кореляцій між спектральними параметрами. Висновки можна сформулювати так.

1. Не підтверджується наявність сильної кореляції між значеннями фотонного індексу  $\gamma$  та параметром відбиття  $R$  при загальному та попарному аналізі Сейфертівських галактики 1 та 2 типів та радіо-гучних/радіо-тихих галактик.

2. За даними нашої вибірки відсутня кореляція між величиною енергії обрізання та фотонного індексу. Це свідчить про відсутність прямого зв'язку між характером випромінювання корони та вимітанням високоенергетичних частинок поблизу чорної діри в АЯГ.

3. Досліджуючи залежність  $EW_{FeK}$  від  $N_H$  можна припустити, що (принаймні) частина ліній Fe K $\alpha$  повинна утворюватись у комптонівськи-тонкому газі на промені зору, ймовірно, в області широких ліній. Також потрібно ситуативно враховувати присутність товстого тору, який не лежить на промені зору, (при помірному значенні поглинання), але дає внесок у спектр відбиття та емісію Fe K $\alpha$ .

4. З огляду на рентгенівський ефект Балдвіна для радіо-тихих галактик типу Сейферт 1 визначено коефіцієнти Спірмена:  $\rho = -0.49 \pm 0.13$  в діапазоні енергій 2–10 кеВ та  $\rho = -0.26 \pm 0.16$  в діапазоні 20–100 кеВ.

#### Список використаних джерел

1. Antonucci R. Unified models for active galactic nuclei and quasars / R. Antonucci // ARA&A, 1993. – Vol. 31. – P. 473–521.
2. X-ray implications of a unified model of Seyfert galaxies / H. Awaki, K. Koyama, H. Inoue et al. // PASJ, 1991. – Vol. 43. – P. 195–212.
3. Baldwin J. A. Luminosity indicators in the spectra of quasi-stellar objects / J. A. Baldwin // 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 / A. M. Beloborodov // Astroph. J., 1999. – Vol. 510. – P. 123–126.
5. On the Iwasawa-Taniguchi effect of radio-quiet AGN / S. Bianchi, M. Guanzzi, G. Matt et al. // 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 / M. Dadina // A&A, 2008. – Vol. 485. – P. 417–424.
7. Broad-band study of hard X-ray-selected absorbed active galactic nuclei / A. de Rosa, F. Panessa, L. Bassani et al. // MNRAS, 2012. – Vol. 420. – P. 2087–2101.
8. An X-ray view of absorbed INTEGRAL AGN / A. de Rosa, L. Bassani, P. Ubertini et al. // A&A, 2008. – Vol. 483. – P. 749–758.
9. Dickey J.M. H I in the Galaxy / J.M. Dickey, F.J. Lockman // A&A, 1990. – Vol. 28. – P. 215–261.
10. Ghisellini G. The contribution of the obscuring torus to the X-ray spectrum of Seyfert galaxies – a test for the unification model / G. Ghisellini, F. Haardt, G. Matt // MNRAS, 1994. – Vol. 267. – P. 743–754.
11. On the driver of relativistic effect strength in Seyfert galaxies / M. Guainazzi, S. Bianchi, I. de la Calle Perez et al. // A&A, 2011. – Vol. 531. – P. 131–144.
12. Iwasawa K. The x-ray Baldwin effect / K. Iwasawa, Y. Taniguchi // Astroph. J., 1993. – Vol. 413. – P. 15–18.
13. Korista K. Quasars as cosmological probes: The ionizing continuum, gas metallicity, and the  $W_{\alpha-L}$  relation / K. Korista, J. Baldwin, G. Ferland // Astroph. J., 1998. – Vol. 507. – P. 24–30.
14. Magdziarz P. Angle-dependent compton reflection of X-rays and gamma-rays / P. Magdziarz, A. A. Zdziarski // MNRAS, 1995. – Vol. 273. – Iss. 3. – P. 837–848.
15. A broad-band spectral analysis of eight radio-loud type 1 active galactic nuclei selected in the hard X-ray band / M. Molina, L. Bassani, A. Malizia, et al. // MNRAS, 2008. – Vol. 390. – P. 1217–1228.
16. The INTEGRAL complete sample of type 1 AGN / M. Molina, L. Bassani, A. Malizia et al. // MNRAS, 2009. – Vol. 399. – P. 1293–1306.
17. Mushotzky R. The line continuum luminosity ratio in active galactic nuclei – or, on the 'Baldwin effect' / R. Mushotzky, G. J. Ferland // 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 / K. Nandra // MNRAS, 2006. – Vol. 368. – P. 62–66.
19. An X-ray Baldwin effect for the narrow Fe K $\alpha$  lines observed in active galactic nuclei / K. L. Page, P. T. O'Brien, J. N. Reeves et al. // MNRAS, 2004. – Vol. 347. – P. 316–322.
20. The broad-band XMM-Newton and INTEGRAL spectra of bright type 1 Seyfert galaxies / F. Panessa, L. Bassani, A. de Rosa et al. // A&A, 2008. – Vol. 483. – P. 151–160.
21. Compton reflection and iron fluorescence in BeppoSAX observations of Seyfert type 1 galaxies / G. C. Perola, G. Matt, M. Cappi et al. // A&A, 2002. – Vol. 389. – P. 802–811.
22. Testing comptonization models using BeppoSAX observations of Seyfert 1 galaxies / P. O. Petrucci, F. Haardt, L. Maraschi et al. // A&A, 2001. – Vol. 556. – P. 716–726.
23. Piro L. Probing the AGN environment with X-ray measurements / L. Piro // Astron. Nachr., 1999. – Vol. 320. – P. 236–239.
24. Reflection in Seyfert galaxies and the unified model of AGN / C. Ricci, R. Walter, T. J.-L. Courvoisier et al. // A&A, 2011. – Vol. 532. – P. 102–122.
25. X-ray properties of the northern galactic cap sources in the 58 month Swift/BAT catalog / R. V. Vasudevan, W. N. Brandt, R. F. Mushotzky et al. // Astroph. J., 2013. – Vol. 763. – P. 111–149.
26. X-ray properties of an unbiased hard X-ray-detected sample of active galactic nuclei / L. M. Winter, R. F. Mushotzky, J. Tueller et al. // Astroph. J., 2008. – Vol. 674. – P. 686–710.
27. Physical diagnostics from a narrow Fe K $\alpha$  emission line detected by Chandra in the Seyfert 1 galaxy NGC 5548 / T. Yaqoob, I. M. George, K. Nandra et al. // Astroph. J., 2001. – Vol. 546. – P. 759–768.
29. Zdziarski A. A. Correlation between compton reflection and X-ray slope in Seyferts and X-ray binaries / A. A. Zdziarski, P. Lubinski, D. A. Smith // MNRAS. – 1999. – Vol. 303. – P. 11–15.



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

### КОРРЕЛЯЦИИ РЕНТГЕНОВСКИХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ АКТИВНЫХ ЯДЕР ГАЛАКТИК ПО ДАННЫМ КАТАЛОГА SWIFT/BAT AGNS

Создана выборка 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 определены следующие спектральные параметры: фотонный индекс  $\Gamma$ , параметр относительного отражения  $R$ , эквивалентная ширина  $EW_{FeK}$  линии Fe K $_{\alpha}$ , внутренняя светимость  $I$ , энергия экспоненциального обрезания  $E_c$  и величина поглощения  $N_H$ . Получены оценки корреляций  $\Gamma$ - $R$ ,  $EW_{FeK}$ - $I$ ,  $\Gamma$ - $E_c$ ,  $EW_{FeK}$ - $N_H$ . Корреляция  $\Gamma$ - $R$  получена отдельно для галактик типа Сейферт 1 и Сейферт 2. Показано, что она не является сильной. Параметр относительного отражения для Сейфертов 2 на малых степенных показателях систематически выше, чем для Сейфертов 1, что может указывать на вклад отражения от газопылевого тора.

A. Vasylenko, postgrad. stud.,  
 E. Fedorova, Ph.D.,  
 V. Zhdanov Dr. Sci., Prof.,  
 Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

### CORRELATIONS OF THE X-RAY SPECTRAL PARAMETERS FOR A SAMPLE OF ACTIVE GALACTIC NUCLEI USING THE DATA OF SWIFT/BAT AGNS CATALOG

We treated 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 thus allowing us to extend the spectral range to 0,5-300 keV. The spectral parameters, such as the photon index  $\Gamma$ , relative reflection  $R$ , equivalent width of Fe K line, neutral absorption and intrinsic luminosity  $I$  are determined for objects of this sample. We determined correlations  $\Gamma$ - $R$ ,  $EW_{FeK}$ - $I$ ,  $\Gamma$ - $E_c$ ,  $EW_{FeK}$ - $N_H$ . Dependence of "power-law index – relative 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 relative 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.

УДК: 523.982.6+982.8; 550.386

Н. Лоцицька, канд. фіз.-мат. наук,  
 В. Єфіменко, канд. фіз.-мат. наук  
 КНУ імені Тараса Шевченка, Київ

### ІНДЕКСИ ГРУП СОНЯЧНИХ ПЛЯМ ДЛЯ ДОВГОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕОМАГНІТНОЇ АКТИВНОСТІ

На матеріалах наземних спостережень сонячної фотосфери, а також міжнародних даних геомагнітної активності, вивчені сонячно-земні зв'язки на часових інтервалах у десятки років. Отримані докази існування синхронних вікових варіацій напруженості магнітного поля, площі та протяжності великих груп сонячних плям, які разом з параметрами їх 11-річних варіацій і кореляційних зв'язків з геомагнітними індексами дозволяють прогнозувати геомагнітну збуреність у наступному циклі сонячної активності.

Ключові слова: сонячна активність, цикл сонячної активності, групи сонячних плям, прогнозування геомагнітної активності.

**Вступ.** На сьогодні найбільш розробленими є короткострокові прогнози імовірності виникнення сонячних спалахів з викидами корональних мас та їх геомагнітних наслідків, тоді як прогнози геомагнітних індексів на 27 та 45 днів мають меншу справджуваність. Мета нашої роботи – дослідження геліо-геомагнітних зв'язків на інтервалах в десятки років і прогнозування геомагнітних параметрів на наступний 11-річний цикл. Задача прогнозування довготривалих варіацій геомагнітних ефектів, спричинених сонячною активністю, є актуальною також для завбачення кліматичних змін [10; 14]. На сьогодні прогнозування сонячної активності зосереджене переважно на побудові статистичних моделей варіації числа сонячних плям, і лише невелика кількість робіт присвячена дослідженню змін характеристик площі груп сонячних плям і їх магнітних полів з метою прогнозування параметрів міжпланетного простору. В роботі [14] показано, що саме з напруженістю магнітних полів сонячних плям сильно корелює річна кількість корональних викидів маси. Основну проблему оцінки вікових варіацій магнітних полів Сонця можна вирішити безпосередньо статистичною обробкою всіх результатів візуальних вимірювань зєман-розщеплення в ядрах великих плям, проведених обсерваторіями світу. Це вперше виконано в [15], але повторні результати, отримані різними дослідниками, інколи не давали незаперечних доказів існування довгочасних змін, окрім 11-річних [19; 21] через низку невіршених методичних проблем. Виявлені нами вікові зміни напруженості магнітного поля сонячних плям [15] спочатку заперечувалися [20], потім активно обговорювалися та інтерпретувалися [19; 21]. Останні роботи з цієї тематики націлені не на дискусії відносно існування, а на пошук і пояснення особливостей вікового циклу магнітних полів сонячних плям [12; 14], між тим шляхи вирішення методичних причин розбіжності результатів знайдені в [16].

Індекс числа плям згідно з роботою [2] – частотна характеристика, а площа груп плям – індекс потужності циклів з чітким фізичним змістом. Ми використовуємо площу груп, як і їх протяжність, як непрямі індекси потоку магнітного поля через одиницю площі [7]. Пошук вікових варіацій у площах і протяжності великих груп плям дозволить верифікувати отримані зміни магнітних полів. Знайдені в роботах [1, 8; 17] вікові максимуми площ великих плям цікаві як для теорій динамо, так і для задач прогнозування сонячної активності. Напруженість полярного магнітного поля в мінімумі сонячної активності визначає висоту наступного циклу [18]. В свою чергу, ця напруженість залежить від параметрів груп плям у попередньому максимумі. Отже, детальне дослідження змін магнітного поля, протяжності та площі груп сонячних плям у поточному 11-річному циклі дозволяє будувати статистичні моделі прогнозів і практично