

1. Jarrett T.H. Large Scale Structure in the Local Universe: The 2MASS Galaxy Catalog // Publications of the Astronomical Society of Australia. – 2004. – Vol. 21, № 4. – P. 396-403. 2. Karachentsev I.D. et al. The Revised Flat Galaxy Catalogue // Bull. SAO. – 1999. – Vol. 47. – P. 5-190. (astro-ph/0305566). 3. Parnovsky S.L., Tugay A.V. New list of peculiar velocities of RFGC galaxies // Astronomy Letters. – 2004. – Vol. 30. – P. 357-367. 4. Parnovsky S.L., Tugay A.V. New list of peculiar velocities of RFGC galaxies // ArXiv preprint. – 2005. (astro-ph/0510037). 5. Parnovsky S.L., Parnowski A.S. A list of peculiar velocities and distances to 1623 galaxies from the Revised Flat Galaxy Catalogue // ArXiv preprint. – 2009. [arXiv:0911.3102]. 6. Parnovsky S.L., Parnowski A.S. Large-scale collective motion of RFGC galaxies // Astrophysics & Space Science. – 2010. – Vol. 325, № 2. – P. 163-175. [arXiv:0910.4640]. 7. Sharov P.Yu., Parnovsky S.L. Density distribution of matter on 75-Mpc scales derived by the POTENT method from the bulk motions of RFGC galaxies // Astronomy Letters – 2006. – Vol. 32, № 5. – P. 287-296. 8. Tully R. et al. The extragalactic distance database // ArXiv preprint. – 2009. [arXiv:0902.3668]

Надійшла до редколегії 31.05.10

УДК 524.8

Е. Федорова

## РЕНТГЕНІВСЬКІ ВЛАСТИВОСТІ ГРАВІТАЦІЙНО-ЛІНЗОВОЇ СИСТЕМИ Q0957+561 ЗА ДАНИМИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ХММ-NEWTON

*Оброблено результати двох спостережень гравітаційно-лінзової системи (ГЛС) Q0957+561 "Перша Лінза" космічною місією XMM-Newton. Отримані спектри та очищені криві блиску зображень А та В квазара в ГЛС, відтворене припасавання спектрів степеневую моделлю (фотонний індекс перевищує 2 і спадає в межах похибок для обох спостережень, для обох зображень). Ані на кривих блиску під час окремих спостережень, ані між двома спостереженнями не помічено змінності потоку.*

*The results of two XMM-Newton observations of the gravitational lens system (GLS) Q0957+561 "First Lens" is analyzed. The individual spectra of both images A and B of the quasar in this GLS were extracted and modeled with a power-law model. The lightcurves obtained after background subtraction show no significant variability neither during the time of the two observations nor between them. Fitting the background-subtracted source spectra yields the power-law photon index above 2.*

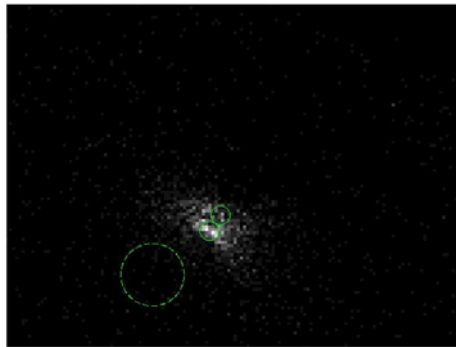


Рис. 1. Зображення А та В, MOS1, друге спостереження. Область фону показано пунктирними лініями.

Q0957+561 – історично перша позагалактична гравітаційно-лінзова система (ГЛС), відкрита у 1979 р. Вельшем, Гаршвеллом та Вейменом [7]. Складається з двох зображень радіогучного квазара із червоним зміщенням  $z_s=1.41$ , відстань між якими більше  $6''$ , та кластера галактик із червоним зміщенням  $z_g=0.36$ , що відіграє роль лінзи [6]. Час затримки сигналу між зображеннями становить приблизно 415 діб [3]. Тут неодноразово спостерігалось гравітаційне мікролінзування (ГМ) [3]. Рентгенівське випромінювання Q0957+561 вперше було віддетектоване космічною місією ROSAT у травні 1991, після чого цей об'єкт спостерігався нею декілька разів [1]. Ці спостереження не виявили жодних ознак змінності даного об'єкту. Найбільш успішними спостереженнями Q0957+561 в рентгені можна назвати *Chandra* (2001) [2], завдяки високій роздільній здатності цієї місії, яка дозволила відокремити зображення і одержати окремі спектри для них. Роздільна здатність XMM-Newton (камер EPIC) нижча, але достатня для розділення зображень на відстані 6 секунд дуги одне від одного. Q0957+561 спостерігався місією XMM-Newton двічі: 13 квітня 2001 (ID 0110930201) упродовж 25 ксек та 14 жовтня 2003 (ID 0147760101) на протязі 44 ксек. Під час першого спостереження тільки зображення А було в полі зору однієї з камер EPIC – MOS1. Зображення Q0957+561, одержані зі спостережних даних XMM-Newton, показані на рис. 1.

Зображення видимі крізь лінзову галактику, яка випромінює у м'якому рентгені [2]. Спектр галактики-лінзи тепловий із температурою близько 2 кеВ в енергетичних одиницях.

Аби виявити можливу змінність, було також побудовано криві блиску зображень під час обох спостережень. Для цього були зібрані фотони з колових ділянок радіусом  $3''$  навколо зображень квазара (без відокремлення інтервалів низького фону, яке доцільно робити для спектрів). Фонові фотони було одержано з порожніх ділянок радіусом  $10''$  і після врахування масштабних факторів (відношення площ), відраховано від значень потоку для ділянок, що відповідають зображенням. Сумарні криві блиску зображень, отримані камерами EPIC (для другого спостереження) та зображення А, одержана камерою MOS1 (для першого) показано на рис.2.

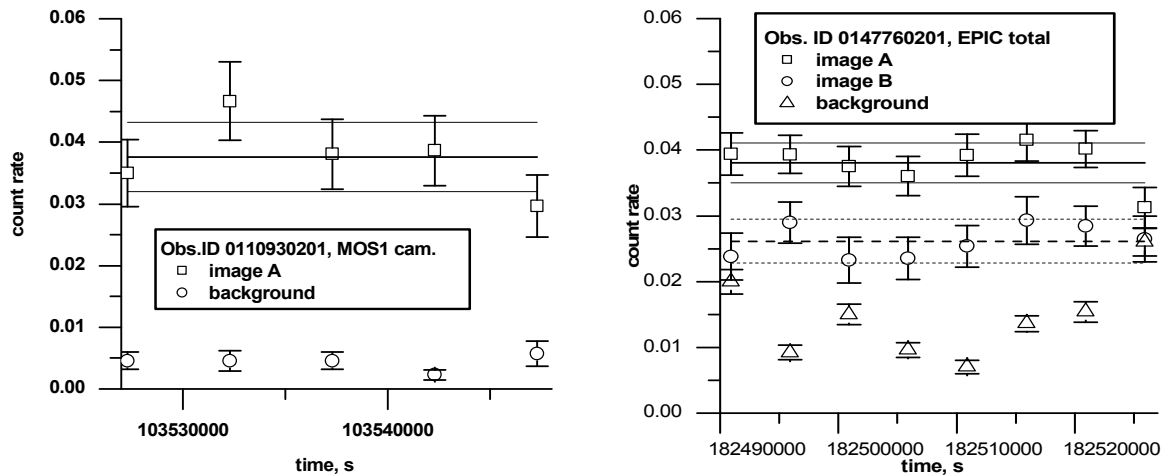


Рис.2. Криві блиску зображень квазара А та В, та фону, під час обох спостережень

Для порівняння результатів двох спостережень значення потоку, отримані під час першого спостереження для зображення А, були помножені на 4.5 (множник введено з міркувань того, що завдяки особливостям конструкції камери MOS детектують лише 40% потоку, яких надходить до них, тоді як камера PN детектує близько 100%). Швидкоплинної змінності під час обох спостережень виявлено не було. Потік випромінювання від зображення А під час першого спостереження збігається із значенням потоку від цього ж зображення під час другого спостереження. Відношення середнього значення потоку від зображення В до потоку від зображення А становить  $0.7 \pm 0.15$ .

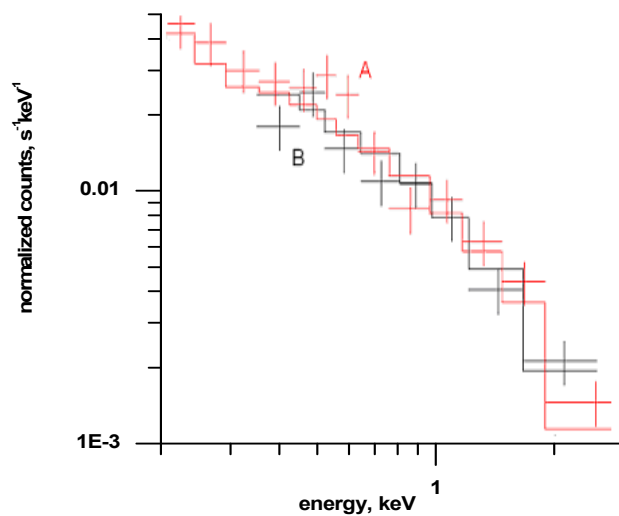


Рис.3. Спектри зображень А та В (камера pn, друге спостереження)

Спектри зображень були отримані із використанням стандартних процедур (evselect, backscale, rmfgen, arfgen). Спектри зображень А та В під час другого спостереження показано на рис. 3. Для моделювання спектрів використано спеціалізоване програмне забезпечення XSPEC v.12.2.1, що входить до складу програмного пакету HEASOFT 6.8. Внаслідок недостатньо тривалої експозиції для обох зображень не вдається відтворити припасування спектрів моделлю, складнішою ніж проста степенева із поглинанням. При цьому стовпчикова густина водню вважалася сталою, із фіксованим значенням, що відповідає поглинанню в Галактиці для цього об'єкту, тобто,  $8.2 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-2}$  [4]. Результати припасування спектрів показані в Табл. 1.

Таблиця 1. Результати моделювання спектрів зображень під час обох спостережень

Спостереження	Зображ.	$\Gamma$	Потік $_{0.5-2.0}$ , $10^{-13} \text{ erg/cm}^2 \text{ s}$	$\chi^2/\text{D.o.f.}$
0110930201	A	$2.0 \pm 0.85$	$2.34 \pm 0.35$	1.9/4
0147760101	A	$2.11^{+0.27}_{-0.15}$	$2.56^{+0.17}_{-0.12}$	10.2/10
	B	$2.26^{+0.65}_{-0.48}$	$2.16 \pm 0.21$	3.95/6
	разом	$2.1 \pm 0.15$	-	20.7/19

Добре видно, що фотонні індекси співпадають в межах похибок для обох спостережень (і так само для обох зображень під час другого спостереження. Вони також співпадають із значеннями, одержаними іншими авторами [1, 2]. Потік від зображень в діапазоні 0.5 – 2 кеВ також залишався сталим в межах похибок (для зображення А) під час обох спостережень. Відношення потоків В/А в такій моделі становить близько  $0.8 \pm 0.2$  і співпадає в межах похибок із значенням, отриманим з кривих блиску, а також із значенням, отриманим в роботі [2] на основі даних Chandra (0.74).

На жаль, час експозиції цих двох спостережень Q0957+561 не достатній для того, щоб відтворити більш точний аналіз спектру із використанням інших моделей. Але, попри відсутність помітної змінності в рентгені, цей об'єкт може становити деякий інтерес для спостережень такими місіями, як XMM-Newton та Chandra принаймні через можливість появи в цій ГЛС подій сильного ГМ. Особливо цінними в цьому відношенні були б одночасні оптичні та рентгєнівські спостереження. Спостереження із більш тривалою експозицією могли б дати можливість перевірити більш складні моделі спектру, ніж проста степенєва. Це становить особливий інтерес внаслідок того, що квазара в цій ГЛС є радіогучним (РГ). Адже для РГ об'єктів сучасна модель АЯГ [5] передбачає наявність експоненційного завалу в спектрі на енергіях нижче 100 кеВ. Враховуючи роботи Шилда із співавт. [8], присвячені можливій наявності магнітного поля у центрального об'єкту цього квазара, дослідження його спектру в рентгені могли б стати джерелом цінної інформації не тільки про його будову, але й з точки зору уявлень про структуру АЯГ в цілому.

1. Chartas G., Chuss D., Forman W. et al. X-ray detection of the primary lens galaxy cluster of the gravitational lens system Q0957+561 // *Astroph. J.* – 1998. – Vol. 504. – P. 661. 2. Chartas G., Gupta V., Garmire G. et al. Constraining  $H_0$  from Chandra observations of Q0957+561 // *Astroph. J.* – 2002. – Vol. 565, Is. 1. – P. 96-104. 3. Colley W., Schild R., Abajas C., et al. Around the clock observations of the Q0957+561 A, B Gravitationally Lensed Quasar // *Astron. J.* – 2002. – Vol. 565, Issue 1. – P. 105-107. 4. Dickey J.M., Lockman F.J. H I in the Galaxy // *A&A.* – 1990. – Vol. 28. – P.215-261. 5. Ho L.C. "Low-State" Black Hole Accretion in Nearby Galaxies // *Astroph. & Sp.Sci.* – 2005. – Vol. 300, N1-3. – P.219-225. 6. Kundic T., Colley W., Gott J., et al. A Sharp Event in the Light Curve of 0957+561A and Prediction of the 1996 Image B Light Curve // *Astroph. J. Lett.* – 1995. – Vol.455. – p.L5. 7. Refsdal S., Surdej J. Gravitational Lenses: Sci. Prepr. No952. – ESO, 1993. – 89 p. 8. Schild R. E., Leiter D. J. and Robertson S. L. Direct microlensing-reverberation observations of the intrinsic magnetic structure of active galactic nuclei in different spectral states: a tale of two quasars // *Astron. J.* – 2008. – Vol.135. – P.947-956.

Надійшла до редколегії 02.06.10

УДК 524.8

С. Хміль

### СЛАБКЕ ГРАВІТАЦІЙНЕ ЛІНЗУВАННЯ

*Коротко розглянуті основні принципи та результати вивчення слабкого лінзування отримані за 10 років з часу виявлення космічного зсуву.*

*We consider in brief the basic principles and results of weak lensing studies that have been made within the 10 years since the detection of cosmic shear.*

**Вступ.** Явище відхилення світлових променів гравітаційним полем космічних структур, розташованих вздовж променя зору, широко відоме тепер як гравітаційне лінзування. Воно є унікальним знаряддям вивчення розподілу всіх видів матерії, включаючи темну, у Всесвіті. У цьому огляді ми сконцентруємо увагу на так званому слабкому лінзуванні, яке не призводить до утворення кількох зображень джерела (зазвичай квазара), а проявляє себе лише як незначна деформація зображень віддалених галактик. Типова величина індукованої еліптичності зображення складає не більше за ~1%. Оскільки ми не знаємо, яку форму достеменно має зображення галактики за відсутності лінзування, неможливо виміряти величину цієї додаткової еліптичності у кожному окремому випадку, проте її можна визначити статистично, використовуючи узгодженість деформацій зображень декількох десятків чи навіть сотень галактик у межах певної ділянки на небі. Саме з цієї причини розглянуте явище називають ще космічним зсувом (*cosmic shear*). Вперше його виявили, спостерігаючи лінзування далеких джерел скупченнями галактик, а пізніше – у 2000 році – кілька дослідницьких груп сповістили про певні спостереження космічного зсуву.

**Основні принципи.** Масивні структури вздовж променя зору відхиляють промені світла, що надходять від далеких галактик. Нехай  $\theta_i$  ( $i = 1, 2$ ) – двохвимірний вектор кутового положення джерела на небі,  $\delta\theta_i$  – малий вектор відхилення променя зору за рахунок лінзування. Тоді матриця деформації зображення малого джерела  $A_{ij}$  дається рівнянням [5,6]

$$A_{ij} = \partial(\delta\theta_i) / \partial\theta_j = \left( \delta_{ij} - \partial^2\Psi / \partial\theta_i\partial\theta_j \right) = \begin{pmatrix} 1-\kappa-\gamma_1 & -\gamma_2 \\ -\gamma_2 & 1-\kappa+\gamma_1 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Тут  $\Psi$  – двохвимірний лінзовий потенціал, який визначається зваженою проекцією поля флуктуацій густини матерії вздовж променя зору  $\kappa$ ; причому вагова функція, що характеризує ефективність лінзування, безпосередньо пов'язана з глобальною геометрією Всесвіту. Параметр  $\kappa$  описує збіжність світлових променів (збільшення зображення), а комплексний зсув  $\gamma = \gamma_1 + i\gamma_2 = |\gamma| \exp(2i\alpha)$  характеризує величину та орієнтацію  $\alpha$  деформації зображення за рахунок лінзування (детальний та вичерпний виклад теорії див. у [1]). У режимі слабкого лінзування  $\kappa \ll 1$ ,  $|\gamma| \ll 1$  і тому використовується лінійне наближення. Якщо припустити, що всі галактики випадково орієнтовані за відсутності лінзування, тоді комплексна еліптичність  $\varepsilon$ , осереднена за ансамблем галактик, спостережних у заданій (малій) ділянці неба, задовольняє рівності:

$$\langle \varepsilon \rangle = \gamma / (1 - \kappa) \approx \gamma. \quad (2)$$

Таким чином, визначення космічного зсуву зводиться до незміщеного вимірювання обрисів фонових галактик.

**Спостережна стратегія.** Незміщений вимір обрисів фонових галактик не є тривіальною задачею, оскільки спостережні зображення в тій чи іншій мірі завжди є спотвореними. Перелічимо основні чинники, які треба враховувати при аналізі спостережних даних (більш детальне обговорення див., наприклад, у [5]).