

УДК 524.38

Определение параметров массивной двойной рентгеновской системы IGR J17544-2619

*Е.А. Николаева, И.Ф. Бикмаев, С.С. Мельников, А.И. Галеев,
Р.Я. Жучков, Э.Н. Иртуганов*

Казанский федеральный университет, ул. Кремлевская, 18, Казань, Россия, 420008
*evgeny.nikolaeva@gmail.com, ifan.bikmaev@ksu.ru, smelnikovs@rambler.ru,
Almaz@ksu.ru, zhr@ksu.ru, rus.flyer@mail.ru*

Поступила в редакцию 15 января 2013 г.

Аннотация. В работе представлены результаты спектроскопического исследования оптической компоненты массивной двойной рентгеновской системы IGRJ17544 – 2619 на телескопе РТТ-150. На основе анализа длинного ряда спектроскопических наблюдений оптической звезды системы IGRJ17544 – 2619 на протяжении 2007–2010 гг. определены орбитальные параметры системы: γ -скорость системы -47 км/с, полуамплитуда кривой лучевых скоростей $K = 30.5$ км/с, эксцентриситет орбиты $e = 0.44$, долгота периастра $\omega = 142^\circ$ и орбитальный период системы 12.17 дней. Получен нижний предел значения массы компактного объекта, равный $2.82M_\odot$.

INVESTIGATION OF THE MASSIVE DOUBLE X-RAY SYSTEM IGR J17544-2619 PARAMETERS, by E.A. Nikolaeva, I.F. Bikmaev, S.S. Melnikov, A.I. Galeev, R.Ya. Zhuchkov, E.N. Irtuganov. The paper presents results of spectroscopic research of the high-mass X-ray binary IGRJ17544 – 2619 optical component carried out with the RTT-150. Based on the analysis of a long series of spectroscopic observations of the optical star system for years 2007–2012 we obtained the following orbital parameters of the system: γ -velocity -47 km/s, semiamplitude of radial velocity curve $K = 30.5$ km/s, eccentricity $e = 0.44$, longitude of the periastron $\omega = 142^\circ$ and orbital period of the system 12.17 days. The lower limit of the compact object mass was found to be equal $M = 2.82M_\odot$.

Ключевые слова: рентгеновские источники, рентгеновские транзиенты, IGRJ17544 – 2619

1 Введение

Источник IGRJ17544–2619 был открыт 17 сентября 2003 года с помощью инструментов IBIS/ISGRI (Убертини и др., 2003; Лебран и др., 2003), установленных на борту космической обсерватории ИНТЕГРАЛ (Винклер и др., 2003), во время двухчасовой вспышки, достигшей максимального значения, равного 160 мКраб (18–25 кэВ) (Сюняев и др., 2003). В тот же день произошла еще одна вспышка, наблюдавшаяся в течение 8 часов (Гребенев и др., 2003). А десятичасовая вспышка, произошедшая 8 марта 2004 года (Гребенев и др., 2004), позволила классифицировать объект как быстрый рентгеновский транзиент. Рентгеновские транзиенты – объекты, характеризующиеся наличием быстрых вспышек продолжительностью несколько часов. Поток излучения во время вспышки превосходит в 10^3 – 10^4 раз спокойный рентгеновский поток излучения. По современ-

ным представлениям быстрые рентгеновские транзиенты чаще всего представляют собой массивные рентгеновские двойные системы, в которых рентгеновские вспышки происходят из-за различных видов аккреции вещества массивной звезды-компаньона на компактный объект. Пока не существует единой модели, описывающей механизм таких вспышек. Но есть несколько гипотез, объясняющих вспышечное поведение сверхгигантов быстрых рентгеновских транзиентов, согласно которым вспышка происходит из-за аккреции структурированного звездного ветра сверхгиганта на компактный объект (черную дыру или нейтронную звезду). Звездный ветер формируется либо скоплением сферически-симметричных истечений со звезды-донора (Занд и др., 2005; Уолтер, Цурита Херас, 2007; Лейдер и др., 2007; Дучи и др., 2009), либо звездный ветер с экваториальных утолщений находится под углом к плоскости орбиты компактного объекта (Сидоли и др., 2007). В обоих случаях эксцентриситет орбиты может усилить вспышечный характер излучения (Негуэруэла и др., 2008). Также в качестве еще одного возможного объяснения транзитного поведения объекта была предложена закрытая аккреция (Боззо и др., 2008), где переходы между двумя режимами аккреции происходят из-за изменения размеров магнитосферы и носят ступенчатый характер. Более поздние вспышки были зарегистрированы ВерроSAX (Занд и др., 2004), XMM-Newton (Гонзалез-Риестра и др., 2004), Chandra (Занд и др., 2005), Swift (Крим и др., 2007; Сидоли и др., 2009; Крим и др., 2009) и Suzaku (Рампи и др., 2009), окончательно закрепив положение объекта в иерархии классификаций объектов.

IGRJ17544 – 2619 расположен на угловом расстоянии порядка 3° от направления на галактический центр ($l = 3.24^\circ, b = -0.34^\circ$). Определение точного местоположения и отождествление объекта с оптической звездой стало возможно благодаря наблюдениям на XMM-Newton и Chandra, имеющим ошибки $4''$ и $0.6''$ соответственно, в $2'$ поле источника, которое определил ИНТЕГРАЛ. Из пяти возможных кандидатов оптического компаньона, обнаруженных XMM-Newton, Chandra точным наведением выбрал один источник (Пелица и др., 2006), предложенный еще Родригезом (2003).

Из наблюдений источника в состоянии покоя на телескопе Chandra (Занд и др., 2005) выяснилось, что излучение источника слишком мягкое для черной дыры, поэтому предполагается, что компактный объект является нейтронной звездой. Также, если бы компактный объект являлся черной дырой, то наблюдался бы поток излучения в радиодиапазоне порядка 10–35 мЯн. А полученная верхняя граница радиоизлучения составляет только 7 мЯн, что также является доказательством в пользу того, что компактный объект – нейтронная звезда (Пелица и др., 2006).

По первым вспышкам, зарегистрированным ИНТЕГРАЛом, был предсказан период в 165 ± 3 дня (Уолтер и др., 2006). Этот период был подтвержден несколькими вспышками, обнаруженными в данных ВерроSAX и Swift. Но большой период системы очень сложно объяснить (Брандт, Подсадловски, 1995), т. к. для любой существенной аккреции требуется большой эксцентриситет, но тогда системы были бы неустойчивы и требовали более тонкой настройки орбитальных параметров, чтобы не разрушиться, и мы не наблюдали бы большого количества таких систем. Кроме того, данные, полученные на XMM-Newton и Chandra, не подтверждают это значение периода. Кларк и др. (2009) при поиске периодичности в кривой блеска обратили внимание на характерный временной интервал между вспышками в 185 дней (близко к 165 дням, предложенным Уолтером и др., 2006), но интерпретировали его не как периодичность внутри системы, а как результат наблюдательной стратегии ИНТЕГРАЛа в отношении данного источника. ИНТЕГРАЛ ограничен в наблюдениях Галактического центра из-за фиксированного расположения солнечных батарей относительно Солнца, поэтому существует периодичность в наблюдениях *IGRJ17544 – 2619* порядка 6 месяцев. Кларк и др. (2009) показали, что наложение этого периода и рабочего цикла ISGRI на кривую блеска соответствует периодичности наблюдательной стратегии ИНТЕГРАЛа. Используя метод периодограмм Ломб-Скаргла (Ломб, 1976; Скаргл, 1982; Скаргл, 1989), по разрозненным рентгеновским данным Кларк и др. нашли орбитальный период системы, равный 4.926 ± 0.001 дня. Также для этого периода авторы (Кларк и др., 2009) оценили величину большой полуоси $36\text{--}38 R_\odot$ по третьему закону Кеплера.

По оптическим, ближним инфракрасным и рентгеновским наблюдениям Пелица и др. (2006) классифицировали оптическую звезду как сверхгигант класса *O9Ib* с массой $25\text{--}28 M_\odot$ (по отно-

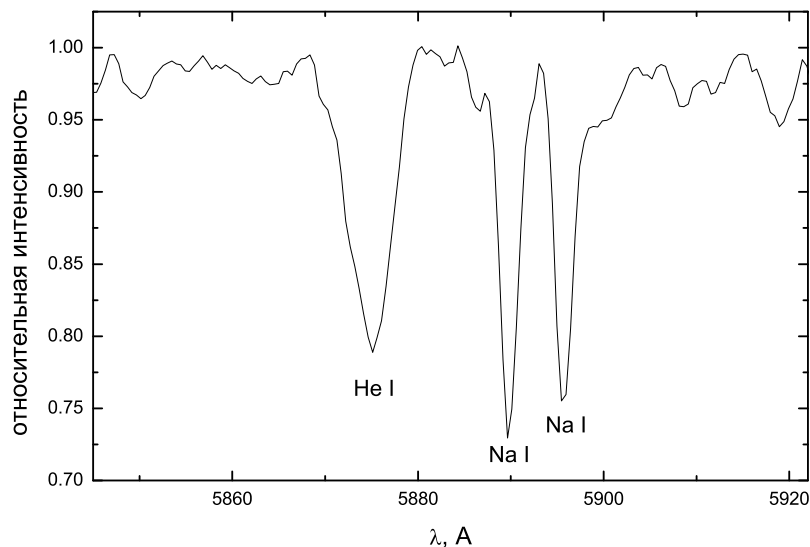


Рис. 1. Пример участка спектра *IGRJ17544 – 2619*, содержащего линии He I и Na I

шению линий гелия, находящихся в различных стадиях ионизации) и сделали оценку расстояния до системы – 2.1–4.2 кпк, основанную на измерениях межзвездного поглощения. Раху и др. (2008), используя данные Пелицы и др. (2006), построили спектральное распределение энергии объекта и получили интервал возможных значений радиуса сверхгиганта $12.7R_{\odot} < R < 26.6R_{\odot}$. Позднее Кларк и др. (2009) понизили верхнюю границу возможных значений радиуса сверхгиганта до $23R_{\odot}$ для случая круговой орбиты. Используя полученные ранее результаты оценки масс сверхгиганта $25\text{--}28 M_{\odot}$ и компактного объекта $1.4 M_{\odot}$, который, вероятно, является нейтронной звездой, и, учитывая отсутствие регулярных вспышек, откуда следует, что в системе нет переполнения полости Роша, по минимальному значению радиуса сверхгиганта Кларк и др. (2009) наложили ограничение на эксцентриситет орбиты $e < 0.4$.

2 Наблюдения

Фотометрические наблюдения оптической компоненты объекта *IGRJ17544 – 2619* яркостью $12^m.65$ были начаты сразу после его открытия в 2003 году на телескопе РТТ-150. Фотометрические изображения были получены на ПЗС-матрице АНДОР (2048×2048 пикселей) в В, V, R фильтрах с экспозициями 3–60 секунд. Спектроскопические наблюдения выполнялись на протяжении 2007–2010 гг. с помощью прибора TFOSC в режиме умеренного разрешения 2.5 \AA . Экспозиция варьировалась в интервале 20–30 минут. Спектральный диапазон полученных спектров приходится на диапазон длин волн $\lambda = 4000\text{--}9000 \text{ \AA}$. Первичная редукция спектров (экстрагирование одномерных векторов из двумерных изображений, удаление космических частиц и дефектов, проведение континуума, калибровка длин волн) была выполнена в комплексе программ DECH (Галазутдинов, 1992; Галазутдинов, 2005), там же были измерены лучевые скорости и вычислены гелиоцентрические поправки к ним. Всего было получено и обработано 27 спектров объекта. Среднее отношение сигнал/шум S/N составляет 70–120, пример участка приведен на рис. 1. Точность измерения лучевых скоростей в разные годы находится в пределах 5–10 км/с. Для контроля наших результатов были получены и обработаны спектры хорошо известного объекта – *CygX – 1*.

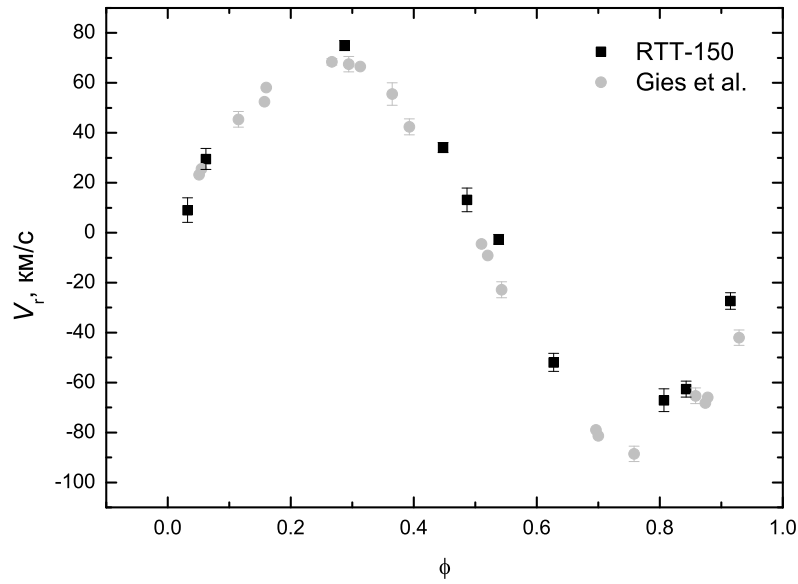


Рис. 2. Кривая лучевых скоростей *Cyg X* – 1

Таблица 1. Параметры круговой орбиты *Cyg X* – 1

Элементы	Броксеп и др., 1999	Гис и др., 2003	Гис и др., 2008	РТТ-150
Период (дни)	5.599829 (16)	5.599829a	5.599829a	5.599829a
HJD-2 400 000	41 874.707 (9)	51 730.449 (8)	52 872.788 (9)	54 306.370
K (км/с)	74.9 (6)	75.6 (7)	73.0 (7)	73.6 ± 3.1
γ -скорость (км/с)	–	–7.0 (5)	–5.1 (5)	4.2 ± 1.9

a – значение параметра зафиксировано, числа в скобках дают ошибку в последнем знаке после запятой.

3 Результаты наблюдений

Фотометрически оптическая звезда объекта *IGRJ17544 – 2619* не показала переменность – все измерения звездной величины исследуемой звезды лежат в пределах ошибок $\pm 0^m.1$. Из анализа спектроскопических наблюдений мы смогли получить больше сведений об объекте. Принадлежность оптической звезды объекта *IGRJ17544 – 2619* к спектральному классу *O9Ib* голубых сверхгигантов предложили Пелица и др. (2006) по соотношению интенсивностей линий гелия, находящихся в разной стадии ионизации. Кроме линий гелия в спектре присутствуют водородные линии, причем линия H_α имеет P-Cygni профиль, что обусловлено наличием сильного звездного ветра.

Для оценки точности полученных нами результатов была построена контрольная кривая лучевых скоростей хорошо изученного объекта *Cyg X* – 1. Построенная по нашим наблюдениям кривая лучевых скоростей *Cyg X* – 1 находится в хорошем согласии с кривой лучевых скоростей, построенной по данным Гиса и др. (2003, 2008) и Броксеп и др. (1999) (рис. 2). В таблице 1 содержится сравнение параметров орбиты, рассчитанных по нашим данным, с результатами других авторов для круговой орбиты.

Фотосферные водородные линии в значительной степени деформированы присутствием эмиссионного P Cyg компонента, образующегося в звездном ветре, поэтому измерения лучевых скоростей были выполнены по линиям гелия. Измерения лучевых скоростей выполнены методом совме-

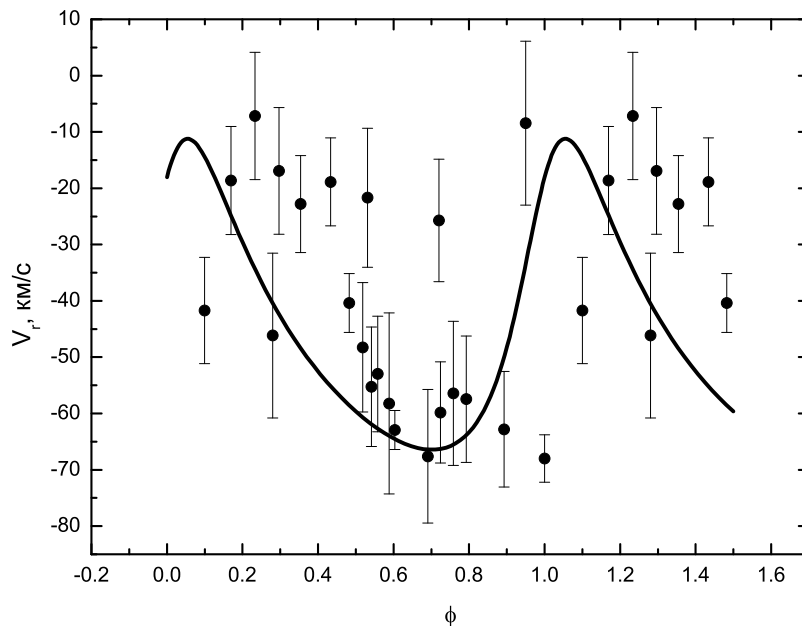


Рис. 3. Кривая лучевых скоростей *IGRJ17544 – 2619*, свернутая с периодом 4.926 ± 0.001 дня (Кларк и др., 2009)

Таблица 2. Результаты поиска орбитального периода методом Лафлер-Кинмана

Период	параметр	частота
12.1764815	0.596	0.0821255
1.0893627	0.606	0.9179679
1.0860935	0.640	0.9207311
8.1839287	0.673	0.1221907
12.1830928	0.688	0.0820810
1.1322956	0.697	0.8831616

щения прямого и зеркального профилей линии $\lambda = 4471.488 \text{ \AA}$, $\lambda = 4921.931 \text{ \AA}$, $\lambda = 5015.678 \text{ \AA}$, $\lambda = 5875.64 \text{ \AA}$, $\lambda = 6678.154 \text{ \AA}$, $\lambda = 7065.214 \text{ \AA}$. По-видимому, линии гелия формируются в более глубоких слоях атмосферы звезды и потому не подвержены влиянию ветровой компоненты. По измеренным лучевым скоростям была построена кривая лучевых скоростей. Попытка свернуть наши данные с периодом, найденным Кларком и др. (2009), 4.926 ± 0.001 дня, была признана неудовлетворительной, т. к. многие точки вылетели (рис. 3). И мы приступили к самостоятельному поиску периода.

Поиск периода был осуществлен по многолетнему ряду спектроскопических наблюдений методом Лафлер-Кинмана (1965) с помощью программы В. Горанского WinEfK. Полученные возможные периоды приведены в табл. 2. Наилучший результат получен для значения периода $P = 12.17$ дня. Кривая лучевых скоростей, свернутая с этим периодом, показана на рис. 4.

С помощью программы А. Токовина ORBIT были определены орбитальные параметры системы, значения которых приведены в табл. 3.

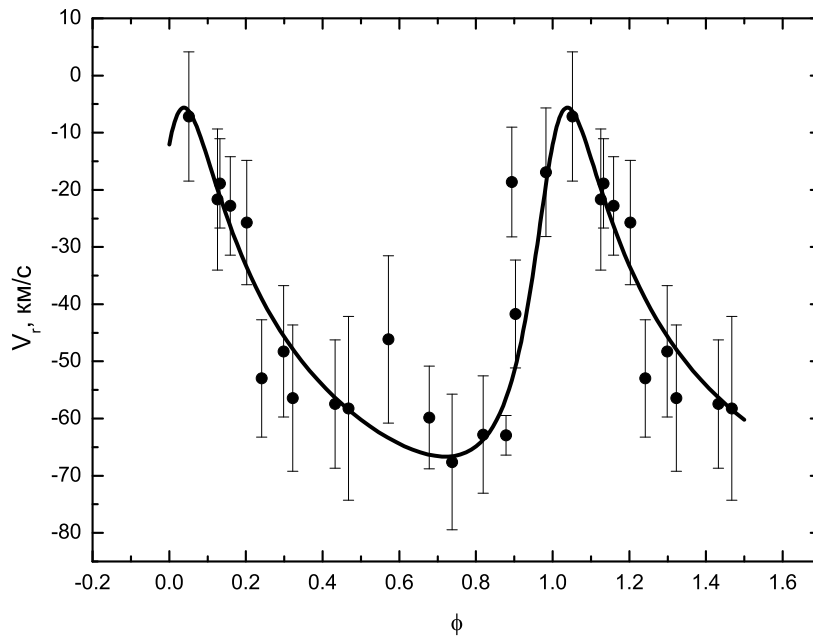


Рис. 4. Кривая лучевых скоростей, построенная в результате свертки лучевых скоростей, измеренных по линиям гелия с периодом 12.18 дня

Таблица 3. Орбитальные параметры IGR J17544-2619, найденные с помощью программы А. Токовина ORBIT для периода 12.17 дня

Параметры орбиты	значение	ошибка
P	12.172	0.007
T	54324.7	0.9
e	0.44	0.14
ω	142	28
K	30.5	7.3
γ	-46.8	4.0
$\chi^2 = 22.227$		

P – орбитальный период в днях;

T – время, прошедшее от прохождения периастра за вычетом 2400000 дней;

e – эксцентриситет орбиты;

ω – долгота периастра в градусах;

K – полуамплитуда кривой лучевых скоростей (км/с);

γ – скорость центра масс (км/с).

χ^2 – критерий χ^2 согласия наблюдаемого распределения лучевых скоростей и теоретической кривой лучевых скоростей.

По найденным значениям периода, полуамплитуды кривой лучевых скоростей и эксцентриситета была вычислена функция масс системы $f(m) = 0.025913M_{\odot}$. Мы попробовали оценить массу компактного объекта для двух значений угла наклона, используя среднее значение массы сверхгиганта $M_v = 26.5M_{\odot}$ (из работы Пелица и др., 2006): $i = 30^{\circ}$ $M_x = 6.03M_{\odot}$ и $i = 60^{\circ}$ $M_x = 3.28M_{\odot}$. Минимальное значение массы компактного объекта было получено для значения угла $i = 86.2^{\circ}$ и составило $2.82M_{\odot}$.

Мы получили завышенное значение массы компактного объекта, который, скорее всего, согласно рентгеновским данным, является нейтронной звездой, а значит его масса не может превосходить $3M_{\odot}$. Поэтому следующим этапом работы будет моделирование спектра оптического компаньона для определения его температуры, светимости, а следовательно, и массы. Уточнив таким образом массу оптической звезды, мы найдем массу компактного объекта.

4 Благодарности

Работа поддержана грантом РФФИ 12-02-97006. Авторы благодарят ТЮБИТАК за частичную поддержку в использовании РТТ-150 (1.5-метровый телескоп в г. Анталья).

Литература

- Боззо и др. (Bozzo E., Falanga M., Stella L.) // *Astrophys. J.* 2008. V. 683. P. 1031.
- Брандт, Подсадловски (Brandt N., Podsiadlowski P.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1995. V. 274. P. 461.
- Броксоп и др. (Brocksopp C., Fender R.P., Larionov V., Lyuty V.M., et al.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1999. V. 309. P. 1063.
- Винклер и др. (Winkler C., Courvoisier T.J.-L., Di Cocco G., et al.) // *Astron. Astrophys.* 2003. V. 411. L. 1.
- Галазутдинов Г.А. // Препринт САО РАН. Нижний Архыз. 1992. № 92. P. 1.
- Галазутдинов Г.А. // 2005. <http://www.kasi.re.kr/gala/dech.htm>.
- Гис и др. (Gies D.R., Bolton C.T., Thomson J.R., et al.) // *Astrophys. J.* 2003. V. 583. P. 424.
- Гис и др. (Gies D.R., Bolton C.T., Blake R.M., et al.) // *Astrophys. J.* 2008. V. 678. P. 1237.
- Гонзалез-Риестра и др. (Gonzalez-Riestra R., Oosterbroek T., Kuulkers E., Orr A., Parmar A.N.) // *Astron. Astrophys.* 2004. V. 420. P. 589.
- Гребенев и др. (Grebenev S.A., Lutovinov A.A., Sunyaev R.A.) // *Astron. Telegram.* 2003. № 192.
- Гребенев и др. (Grebenev S.A., Rodriguez J., Westergaard N.J., Sunyaev R.A., Oosterbroek T.) // *Astron. Telegram.* 2004. № 252.
- Дуччи и др. (Ducci L., Sidoli L., Mereghetti S., Paizis A., Romano P.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 2009. V. 398. P. 2152.
- Занд и др. (in't Zand J.J.M., Heise J., Ubertini P., Bazzano A., Markwardt C.) // 5th INTEGRAL Workshop. 2004. V. 552. P. 427.
- Занд и др. (in't Zand J.J.M.) // *Astron. Astrophys.* 2005. V. 441. L. 1.
- Кларк и др. (Clark D.J., Hill A.B., Bird A.J., McBride V.A., Scaringi S., Dean A.J.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 2009. V. 399. P. 113.
- Крим и др. (Krimm H.A., Barthelmy S.D., Barbier L., et al.) // *Astron. Telegram.* 2007. № 1265.
- Крим и др. (Krimm H.A., Romano P., Sidoli L.) // *Astron. Telegram.* 2009. № 1971.
- Лафлер, Кинман (Lafler J., Kinman T.D.) // *Astrophys. J. Suppl.* 1965. V. 11. P. 216.
- Лебран и др. (Lebrun F., Leray J.P., Lavocat P., et al.) // *Astron. Astrophys.* 2003. V. 411. L. 141.
- Лейдер и др. (Leyder J.-C., Walter R., Lazos M., Masetti N., Produit N.) // *Astron. Astrophys.* 2007. V. 465. L. 35.
- Ломб (Lomb N.R.) // *Astrophys. Space Sci.* 1976. V. 39. L. 447.
- Негуэрэуэла и др. (Negueruela I., Torrejon J.M., Reig P., Ribo M., Smith D.M.) // *AIP Conf. Ser.* 2008. V. 1010. P. 252.

- Пелица и др. (Pellizza L.J., Chaty S., Negueruela I.) // *Astron. Astrophys.* 2006. V. 455. P. 653.
- Рампи и др. (Rampy R.A., Smith D.M., Negueruela I.) // *Astrophys. J.* 2009. V. 707. P. 243.
- Раху и др. (Rahoui F., Chaty S., Lagage P.-O., Pantin E.) // *Astron. Astrophys.* 2008. V. 484. P. 801.
- Родригез (Rodriguez J.) // *Astron. Telegram.* 2003. № 194.
- Сидоли и др. (Sidoli L., Romano P., Mereghetti S., et al.) // *Astron. Astrophys.* 2007. V. 476. P. 1307.
- Сидоли и др. (Sidoli L., Romano P., Mangano V., et al.) // *Astrophys. J.* 2009. V. 690. P. 120.
- Скаргл (Scargle J.D.) // *Astrophys. J.* 1982. V. 263. P. 835.
- Скаргл (Scargle J.D.) // *Astrophys. J.* 1989. V. 343. P. 874.
- Сюняев и др. (Sunyaev R.A., Grebenev S.A., Lutovinov A.A., et al.) // *Astron. Telegram.* 2003. № 190.
- Убертини и др. (Ubertini P., Lebrun F., Di Cocco G., et al.) // *Astron. Astrophys.* 2003. V. 399. P. 131.
- Уолтер и др. (Walter R., Zurita Heras J., Bassani L., et al.) // *Astron. Astrophys.* 2006. V. 453. P. 133.
- Уолтер, Цурита Херас (Walter R., Zurita Heras J.) // *Astron. Astrophys.* 2007. V. 476. P. 335.