

УДК 524.7

## Многолетние наблюдения галактики Мк 501

*Ю.И. Нешпор, А.В. Жовтан*

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный

Поступила в редакцию 20 января 2008 г.

**Аннотация.** Проведен анализ шестилетних наблюдений излучения гамма-квантов сверхвысоких энергий ( $E > 10^{11}$  эВ) на наземном гамма-телескопе ГТ-48 активного ядра галактики Мк 501. Сопоставлены эти данные с данными о рентгеновском излучении в диапазоне  $2\div 10$  кэВ, полученные на RXTE-ASM. Отмечается положительная корреляция между средними за год значениями этих потоков.

MANY-YEAR OBSERVATIONS OF THE GALAXY MK 501, by *Yu.I. Neshpor, A.V. Zhovtan*. We analyse data for 6 years of observations of radiation of the very high energy gamma-ray of the active galactic nucleus Mk 501 taken on the gamma-telescope GT-48. These data compared with the data on X-ray radiation in the range 2–10 keV obtained with RXTE-ASM. Positive correlation between average values of these fluxes for one year is marked.

**Ключевые слова:** активные ядра галактик, гамма-телескоп, рентгеновское излучение

---

## 1 Введение

Галактики с нестационарными ядрами принято подразделять на четыре основных типа: сейфертовские галактики, радиогалактики, лацертиды и квазары. Интерес к активным ядрам галактик (АЯГ) резко возрос после того, как на спутнике CGRO было обнаружено, что большая часть источников гамма-квантов высоких энергий ( $30 \text{ МэВ} \div 30 \text{ ГэВ}$ ) отождествляется с АЯГ (Томпсон и др., 1995), а именно с квазарами и лацертидами. Лацертиды получили свое название от объекта VL Лас. Спектры лацертид подобны друг другу и обладают двумя максимумами (Гизеллини и др., 1998; Комастри и др., 1997). Один максимум – низкочастотный – приходится на оптическую или ультрафиолетовую область (иногда он находится в области рентгена), а другой – высокочастотный максимум – находится в области гамма-квантов высоких энергий. Для разных лацертид положение этих максимумов различно, причем для источников гамма-излучений сверхвысоких энергий (СВЭ,  $E > 10^{11}$  эВ) низкочастотный максимум смещен в рентгеновскую область (Калекин и др., 2003; Лин и др., 1999). Одной из вероятных моделей лацертид может быть сверхмассивная черная дыра, на которую идет аккреция газа. Пока нет полной ясности в деталях модели, поэтому наблюдения АЯГ продолжают представлять интерес.

Объект Мк 501 является типичным представителем лацертид. Это одна из первых галактик этого типа, от которой в 1995 году был зарегистрирован поток гамма-квантов сверхвысоких энергий (Куинн и др., 1996). Весной 1997 года из обсерватории Уинпл поступило сообщение, что галактика Мк 501 находится в активном состоянии. Наблюдения проводились на 10-метровом детекторе

черенковских вспышек. По предварительным данным поток гамма-квантов СВЭ возрос в 15 раз по сравнению со спокойным состоянием.

В мае 1997 года были проведены наблюдения этого объекта на гамма-телескопе ГТ-48 НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория” (НИИ “КрАО”) (Владимирский и др., 1994). В результате зарегистрировано излучение гамма-квантов СВЭ с высокой степенью достоверности: 11 стандартных отклонений (Андреева и др., 2000). В данных 1997 года (НИИ “КрАО”) обнаружена также переменность излучения от ночи к ночи (Калекин и др., 1999). Анализ полученных данных показал, что поток гамма-квантов СВЭ изменяется со временем с периодом 23.2 дня (Нешпор, 2000) (значение периода было получено группой HEGRA (Краних и др., 1999)). Наблюдения галактики Мк 501 на гамма-телескопе ГТ-48 в дальнейшем были проведены в 1998, 2000, 2002, 2003 и 2004 годах. По данным наблюдений НИИ “КрАО” 1997, 1998, 2000 годов было показано, что поток гамма-квантов СВЭ изменяется из года в год, подтверждено наличие периодической составляющей с периодом 23.2 дня (Нешпор и др., 2004а). По результатам наблюдений 2002 года определен только верхний предел гамма-потока СВЭ (Нешпор и др., 2004б). В 2004 году в НИИ “КрАО” были продолжены наблюдения галактики Мк 501 и был зарегистрирован поток гамма-квантов с достоверностью более 4-х стандартных отклонений (Нешпор и др., 2007).

С мая 1996 года прибором ASM спутника RXTE ведется мониторинг Мк 501 в диапазоне рентгеновского излучения 2–10 кэВ (RXTE 2006). Несомненно представляет интерес провести сопоставление результатов наблюдений гамма-потока СВЭ с данными рентгеновского излучения.

## 2 Вариации потока гамма-квантов СВЭ и рентгеновского излучения Мк 501

Наблюдения активного ядра галактики Мк 501 (координаты на 2000 год ( $\alpha = 16^h53^m53^s$  и  $\delta = 39^\circ45'32''$ ) проводились в НИИ “КрАО” с 1997 года методом регистрации черенковских вспышек на гамма-телескопе ГТ-48 (Владимирский и др., 1994). Результаты наблюдений представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты наблюдений

Год	Дата	MJD	Длительность наблюдений источника мин.	$N_{on}$	$N_{of}$	Поток
1997	01.05 – 10.06	50569-50609	1325	30139	29345	$5.0 \pm 0.60$
1998	26.05 – 22.08	50959-51048	850	17803	17393	$3.7 \pm 0.60$
2000	23.06 – 29.07	51719-51755	575	12760	12768	$2.0 \pm 0.40$
2002	12.05 – 02.07	52407-52471	400	5349	5398	$0.5 <$
2003	27.04 – 05.07	52757-52826	1376	19590	19207	$0.5 <$
2004	17.05 – 21.07	53143-53208	1100	14461	13991	$1.5 \pm 0.35$

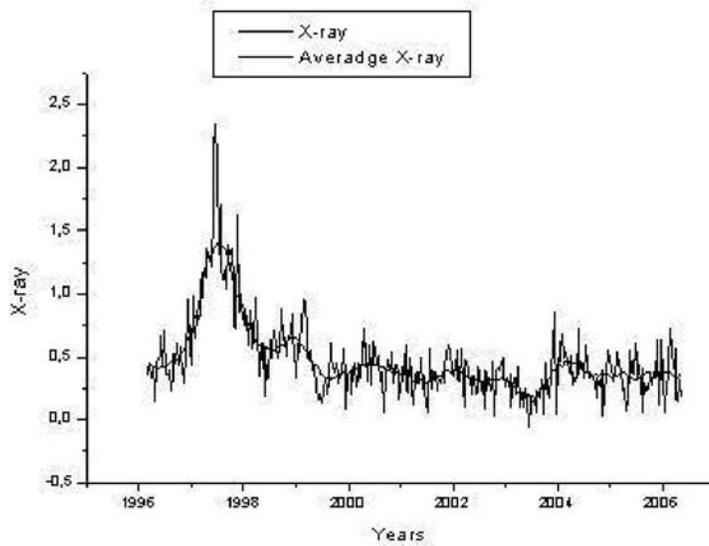
\*  $N_{on}$  – число событий при наблюдениях источника

$N_{of}$  – число событий при наблюдениях фона

Поток в единицах  $10^{-11}$  кв. см $^{-2}$  с $^{-1}$

Данные о рентгеновском излучении (диапазон 2–10 кэВ) нами были взяты через интернет (RXTE Guest Observer Facility at Goddard Space Flight Center). Для анализа были использованы суточные средние значения потока рентгеновского излучения (ниже X-излучение). На рис. 1 представлены десятидневные средние значения потока X-излучения.

На рис. 2 представлены среднегодовые значения потоков X-излучения и гамма-излучения СВЭ. Из рис. 2 видно, что как X-излучение изменяется из года в год с максимальным значением потока в 1997 году, так и гамма-излучение СВЭ изменяется из года в год. Максимум потока приходится на



**Рис. 1.** 10-дневные средние значения потока X-излучения и результат сглаживания по 20 точкам

1997 год. На рис. 2 четко видна положительная корреляция между ними. Коэффициент корреляции очень высокий,  $r = 0.87 \pm 0.07$ . Здесь отметим, что в диапазоне гамма-излучения СВЭ поток возрос по сравнению со спокойным состоянием в 15 раз (Креннрих и др., 1997), а по данным группы HEGRA весной 1997 года во время некоторых вспышек поток от этого объекта превышал спокойный уровень в десятки раз (Агаронян и др., 1997).

Из рис. 1 видно, что минимальное значение рентгеновского потока наблюдалось в 2003 году, будем считать, что в этот период времени галактика Мк 501 находилась в спокойном состоянии. По сравнению с этим периодом времени, среднее значение потока за год в 1997 году возросло в пять раз. Среднее значение за десять дней превышало в 1997 году спокойный уровень 2003 года в 15 раз. Отдельные вспышки рентгеновского излучения продолжительностью не более одного дня превышали спокойный уровень в 20 раз. В гамма-излучении СВЭ наиболее низкий уровень потока, по сравнению с другими годами, наблюдается в 2002–2003 годах. Более конкретно указать год мы не можем, т. к. в обоих случаях определен только верхний предел величины потока.

Калекин и др. (1999) показали, что по данным наблюдений 1997 года поток гамма-квантов СВЭ от Мк 501 изменяется с каждым днем. В X-излучении также наблюдаются кратковременные всплески. Интересно сравнить одновременные наблюдения этих двух потоков.

На рис. 3 представлена зависимость суточных средних значений рентгеновского излучения от суточных средних гамма-излучения СВЭ для одновременных наблюдений 1997 года. Из рис. 3 видно, что корреляции между этими двумя видами излучений не наблюдается. Аналогичный анализ был проделан и для данных 1998, 2000, 2004 годов (в эти годы потоки гамма-квантов надежно зарегистрированы). Корреляция между суточными средними значениями потоков гамма-излучения и рентгеновского излучения не обнаружена.

На гамма-телескопе ГТ-48 наблюдения проводятся только в безлунные ночи, в дальнейшем этот интервал времени будем называть периодом лунации (период наблюдений в безлунные ночи в продолжение одного месяца). Средние значения гамма-потока СВЭ за период лунации сопоставлялись со средними значениями рентгеновского излучения за те же интервалы времени. Корреляции между средними значениями потоков за период лунации не было обнаружено.

Кравчинский и др. (2000) провели сопоставление средних суточных данных о гамма-излучении

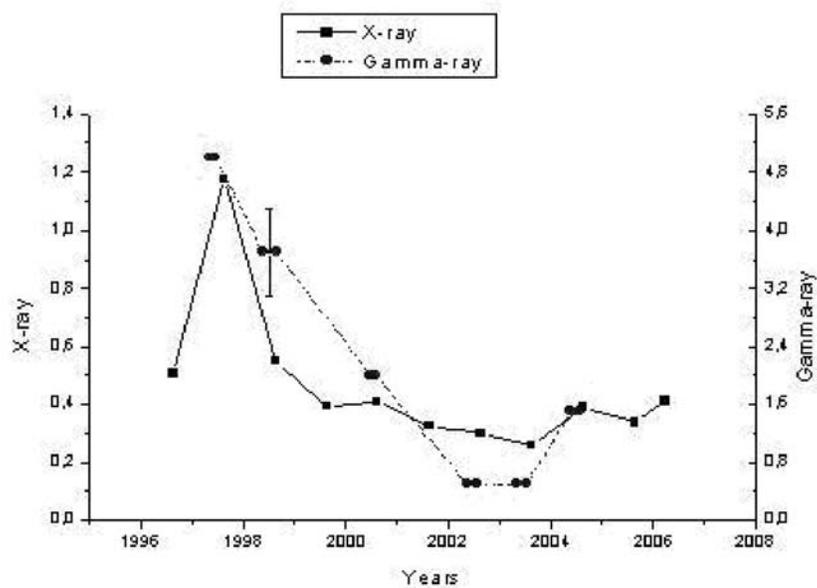


Рис. 2. Среднегодовые значения потоков X-излучения (левая ось) и потоки  $\gamma$ -излучения СВЭ по данным наблюдений на ГТ-48 (правая ось)

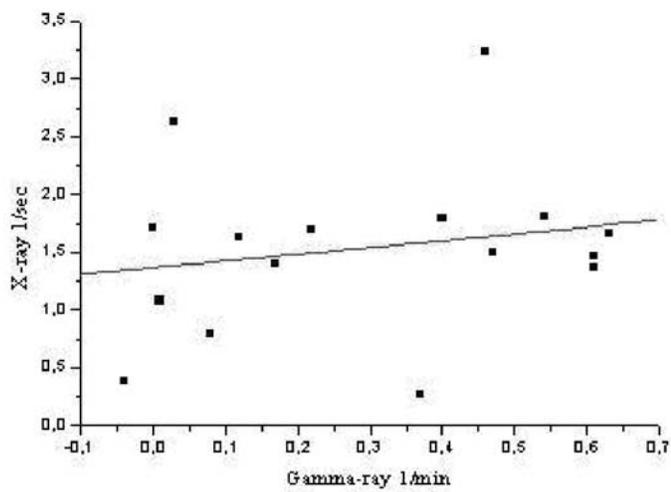


Рис. 3. Зависимость суточных средних X-излучения от суточных средних  $\gamma$ -излучения СВЭ

СВЭ, полученных на черенковской телескопической системе HEGRA в 1997 году во время наблюдений галактики Мк 501, с данными о рентгеновском излучении. Сопоставление проводилось между данными, которые различались по времени не более 6-ти часов. В наших сопоставлениях различие между суточными данными гамма-излучения СВЭ и рентгеном было не менее 12 часов. Кравчинский и др. (2000) показали, что гамма-излучение СВЭ коррелирует ( $r = 0,6$ ) с рентгеном в диапазоне 2 кэВ, а с рентгеновским излучением в области 25 кэВ с  $r = 0,9$ . Коэффициент корреляции между гамма-СВЭ и рентгеновским излучениями растет с увеличением энергии рентгена. Если теперь предположить, что разность между началом возмущений в области рентгена и гамма-СВЭ составляет несколько часов или вообще эти два вида излучения генерируются одновременно, а вспышки довольно короткие, то это объясняет, почему мы не обнаружили в наших суточных данных корреляцию между гамма-излучением СВЭ и рентгеном.

### 3 Заключение

Анализ данных наблюдений за период с 1997 года по 2004 год включительно показал, что гамма-излучение сверхвысоких энергий изменяется из года в год. Наибольший поток гамма-квантов наблюдался в 1997 году.

Рентгеновское излучение характеризуется длительным мощным возмущением с максимумом излучения в 1997 году. Возмущение медленно затухает. Периодически происходят менее значительные возмущения с интервалом примерно год. Эти возмущения сопровождаются короткими вспышками. Рентгеновское излучение, как и гамма-излучение СВЭ, изменяется из года в год. Отмечается значительная положительная корреляция между средними значениями этих потоков за год. Какой-либо корреляции между средними величинами за период лунации и суточными значениями этих потоков нами не обнаружено.

В заключение отметим, что хотя механизмы генерации гамма-излучения СВЭ и рентгена разные, тем не менее во время активных процессов, происходящих в лацертидах, наблюдается излучение в обоих диапазонах энергий. При этом особую важную роль имеет вопрос о величине временных задержек в переменности рентгена и гамма, поэтому исследование связей гамма- и рентгеновского излучений необходимо продолжить.

### Литература

- Агаронян и др. (Aharonian F., Akhperjanian A., Beilicke M. et al) // *Astron. Astrophys.* 1997. V. 327. L. 5.
- Андреева Н.А., Зыскин Ю.Л., Калекин О.П. и др. // *Письма в Астрон. журн.* 2000. Т. 26. №. 4. С. 243.
- Владимирский Б.М., Зыскин Ю.Л., Корниенко А.П. и др. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1994. Т. 91. С. 74.
- Гизеллини и др. (Ghisellini G., Celotti A., Fossati G. et al.) // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 1998. V. 301. P. 451.
- Комастри и др. (Comastri A., Fossati G., Ghisellini G., Molendi S.) // *Astroph. J.* 1997. V. 480. P. 534.
- Калекин и др. (Kalekin O.R., Neshpor Yu.I., Stepanian A.A.) // *Astronomy Reports.* 2003. V. 47. P. 831.
- Калекин О.Р., Чаленко Н.Н., Зыскин Ю.Л. и др. // *Изв. РАН. Сер. физическая.* 1999. Т. 63. №. 3. С. 606.
- Куинн и др. (Quinn J., Akerlof C.W., Biller S. et al.) // *Astrophys. Lett.* 1996. V. 456. L. 83.
- Краних и др. (Kranich D., de Yager O.C., Kastel M. et al.) // *Proceedings of the 26th JCRC.* 1999. OG-2. 1. 18.
- Кравчинский и др. (Krawczynski H., Coppi F., Maccarone T., and Aharonian) // *Astron. Astrophys.* 2000. V. 353. P. 97.
- Креннрих и др. (Krennrich F., Boyle J., Buckley J.H. et al.) // *The Kruger National Park Workshop on TeV Gamma Ray Astrophysics.* / Ed. O.C. de Yager. South Africa. 1997. С. 38.

- Лин и др. (Lin Y.C., Bertsch D.L., Bloom S.D. et al.) // *Astroph. J.* 1999. V. 525. P. 191.
- Нешпор Ю.И. // *Письма в Астрон. журн.* 2000. Т. 26. №. 12. С. 889.
- Нешпор Ю.И., Жоголев Н.А., Калекин О.Р. и др. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 2004а. Т. 99. С. 34.
- Нешпор Ю.И., Елисеев В.С., Жоголев Н.А. и др. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 2004б. Т. 99. С. 60.
- Нешпор Ю.И., Елисеев В.С., Жоголев Н.А. и др. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 2007. в печати.
- Томпсон и др. (Thompson D.J., Bertsch D.L., Dingus B.L. et al.) // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1995. V. 101. P. 259.
- RXTE 2006, "ASM/RXTE quick-look results", <http://space.mit.edu/XTE/asmlc/ASM.html>