

УДК 524.7

Результаты наблюдений активных ядер галактик на гамма-телескопе ГТ-48 в период с 2007 по 2009 гг.

*Ю.И. Нешпор, А.В. Жовтан, Н.А. Жоголев, Е.М. Нехай, З.Н. Скирута,
К.С. Стригунов, В.П. Фомин*

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный
neshpor@crao.crimea.ua

Поступила в редакцию 23 декабря 2011 г.

Аннотация. Приводятся результаты наблюдений активных ядер галактик на гамма-телескопе ГТ-48 в период с 2007 по 2009 годы. Показано, что гамма-излучение галактик 3C 66A, Mrk 421, Mrk 501 и BL Lac переменнo.

OBSERVATIONS OF ACTIVE GALACTIC NUCLEI WITH GT-48 IN 2007–2009, *by Yu.I. Neshpor, A.V. Zhovtan, N.A. Zhogolev, E.M. Nehai, Z.N. Skiruta, K.S. Strigunov, V.P. Fomin.* Results of observations of active galactic nuclei with gamma-telescope GT-48 are presented. The high-energy gamma-ray fluxes $E > 10^{12}$ eV from galaxies 3C 66A, Mrk 421, Mrk 521 and BL Lac were shown to be variable.

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

1 Введение

Гамма-астрономия сверхвысоких энергий (СВЭ) $E > 10^{11}$ эВ получила свое быстрое развитие, благодаря применению гамма-телескопов черенковского излучения (наземная гамма-астрономия). Исследования активных ядер галактик (АЯГ) в диапазоне сверхвысоких энергий методами наземной гамма-астрономии (черенковские гамма-телескопы второго поколения) активно начались после открытия орбитальной обсерваторией EGRET гамма-излучения с энергией больше 100 МэВ от целого ряда АЯГ.

Наблюдения активных ядер галактик на гамма-телескопах второго поколения показали, что гамма-излучение сверхвысокой энергии от них переменнo во времени. Исследование данных наблюдений гамма-излучения СВЭ за длительный промежуток времени (больше одного года) представляет значительный интерес. В НИИ “КрАО” наблюдения АЯГ на гамма-телескопе ГТ-48 ведутся с 1996 года. Ниже приводятся результаты наблюдений за три года с 2007 по 2009 гг.

2 Активное ядро галактики 3C 66A

Наблюдение объекта 3C 66A (координаты на 2000 год $\alpha = 2^h 22^m 40^s$ и $\delta = 43^\circ 02' 08''$), проведенные в Крымской астрофизической обсерватории в ноябре-декабре 1996 года на гамма-телескопе ГТ-48 (Владимирский и др., 1994), привели к обнаружению потока гамма-квантов сверхвысоких энергий

Таблица 1. Галактика 3C 66A

Период		MJD	Δt мин	N_{on}^*	N_{off}^*	N_{γ}^*	N_{γ} (1/мин)	Q
Год	наблюдения							
2007	06.10÷13.10	54379÷54386	200	3658	3461	50 ± 15.2	0.250 ± 0.076	3.3
2008	02.09÷03.12	54711÷54804	725	11292	11382	127 ± 22.7	0.175 ± 0.031	5.6
2009	20.08÷29.09	55063÷55103	525	6328	6280	54 ± 11.5	0.103 ± 0.022	4.7
2009	19.10÷16.11	55123÷55146	400	6033	5722	4.0 ± 4.0	$< 0.010 \pm 0.010$	1.0

* N_{on} – число зарегистрированных событий при наблюдениях источника.

N_{off} – число зарегистрированных событий при наблюдениях фона.

N_{γ} – число зарегистрированных гамма-квантов от источника.

Q – стандартное отклонение.

($E > 10^{12}$ эВ) от этого блазара с высокой достоверностью (5 стандартных отклонений) (Нешпор и др., 1998). Блазар 3C 66A – это был всего третий внегалактический объект, от которого был обнаружен поток гамма-квантов сверхвысоких энергий. Ранее в обсерватории Whipple были обнаружены потоки гамма-квантов от Маркарянских галактик Mk421 и Mk501. Это еще одно свидетельство того, что в блазарах происходят активные процессы, сопровождающиеся генерацией космических лучей. Наблюдения в 1996, 1997, 1998, 2000 годах подтвердили наличие потока гамма-квантов СВЭ от этого объекта (Нешпор и др., 1998) и обнаружили корреляцию средних за сезон величин потоков гамма-квантов СВЭ с излучением в оптическом диапазоне (Степанян и др., 2002). На гамма-телескопе VERITAS в наблюдениях в период 2007–2008 гг. от галактики 3C 66A зарегистрирован поток гамма-квантов с энергией $E > 100$ ГэВ с достоверностью 21.2 стандартных отклонения (Аквиари и др., 2009), тем самым были подтверждены результаты, полученные в КраО.

В табл. 1 приводим результаты наблюдений галактики 3C 66A на гамма-телескопе ГТ-48 в период с 2007 по 2009 гг.

Анализируя данные табл. 1, приходим к заключению, что поток гамма-излучения СВЭ от галактики 3C 66A в период с 2007 по 2009 гг. изменяется от года к году, что подтверждается результатами предыдущих исследований (Нешпор и др., 2000). Максимальное значение потока наблюдалось в 2007 году, затем поток уменьшался с каждым годом (рис. 1) до порога чувствительности гамма-телескопа ГТ-48 (табл. 1). В 2009 году в период 19.10 ÷ 16.11 был зарегистрирован лишь верхний предел величины потока гамма-квантов СВЭ.

3 Галактика Mrk 421

Впервые гамма-излучение сверхвысоких энергий (СВЭ) $> 10^{11}$ эВ от внегалактических объектов было обнаружено в 1992 году от активного ядра галактики Mrk 421 на гамма-телескопе обсерватории Whipple с достоверностью 6.3 стандартного отклонения (Панч и др., 1992). В период с 24 марта по 2 июня 1992 года среднее значение гамма-потока СВЭ составило величину $F = 1.5 \cdot 10^{-11}$ квантов/ $cm^2 \cdot c$ для $E > 0.5$ ТэВ (Панч и др., 1992). В мае 1996 года обсерватория Whipple (гамма-телескоп второго поколения) зарегистрировала две короткие вспышки гамма-излучения СВЭ (Гайдос и др., 1996). Первая вспышка (7 мая) длилась около 3-х часов, гамма-поток возрос в 50 раз. Вторая вспышка (17 мая) длилась не более часа, поток возрос в 25 раз.

В Крымской астрофизической обсерватории во время наблюдений на гамма-телескопе ГТ-48 галактики Mrk 421 в период с 2 по 6 декабря 2002 года зарегистрирован всплеск гамма-излучения СВЭ продолжительностью не более суток, который по времени совпадает с рентгеновским в области 3–25 кэВ. Достоверность зарегистрированного гамма-потока во время рентгеновской вспышки составляет 5.1 стандартного отклонения (ст. откл.) (Фиделис и др., 2004). Наблюдения галактики

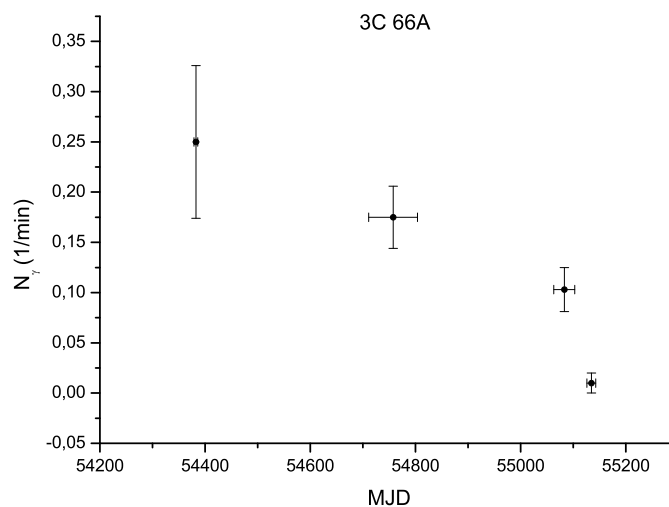


Рис. 1. Среднее значение потока гамма-квантов СВЭ за период наблюдений на ГТ-48 (горизонтальная метка – период наблюдений на ГТ-48)

Таблица 2. Галактика Mrk 421

Период		MJD	Δt мин	N_{on}	N_{off}	N_γ	N_γ (1/мин)	Q
Год	наблюдения							
2008	29.04÷05.05	54586÷54592	140	2821	2699	95 ± 16.0	0.679 ± 0.116	5.9
2009	20.04÷26.04	54941÷54948	210	2622	2479	67 ± 20.1	0.290 ± 0.095	3.1

ки Mrk 421 (гамма-телескоп ГТ-48) в период с 4 апреля по 5 мая 2003 года показали, что объект находится в высоком состоянии, достоверность зарегистрированного среднего значения потока составляет 4.2 ст. откл. (Фиделис и др., 2004). С 15 апреля по 22 апреля 2004 года по данным наблюдений на ГТ-48 от Mrk 421 наблюдался поток гамма-излучения СВЭ с достоверностью 5.3 ст. откл. (Нешпор и др., 2007). В обсерватории Whipple в апреле 2004 года также проводились наблюдения галактики Mrk 421 (Викс, 2004) и отмечалось значительное увеличение потока гамма-квантов СВЭ в это время.

В табл. 2 представлены результаты наблюдений на гамма-телескопе ГТ-48 галактики Mrk 421 всего за 2 года – 2008–2009 года. Отметим, что поток в 2008 году более чем в 2 раза больше гамма-потока СВЭ 2009 года.

4 Галактика Mrk 501

Галактика Mrk 501 – типичный представитель лацертид. Это второй внегалактический объект этого типа, от которого в 1995 году впервые был зарегистрирован поток гамма-квантов СВЭ (Куин и др., 1996). Поток был сравнительно низким, однако весной 1997 года по результатам наблюдений обсерваторией Whipple поток гамма-квантов резко возрос и превысил спокойный уровень в 15 раз. Анализ данных наблюдений на гамма-телескопе ГТ-48 за период с 1997 года по 2004 год включительно показал, что гамма-излучение СВЭ изменяется от года к году (Нешпор и др., 2008).

Таблица 3. Галактика Mrk 501

Период	MJD	Δt мин	N_{on}	N_{off}	N_γ	N_γ (1/мин)	Q
2007 04.06 ÷ 19.08	54256 ÷ 54332	1450	25730	25197	169 ± 41.2	0.117 ± 0.028	4.1
2007 04.06 ÷ 12.06	54256 ÷ 54263	400	6616	6607	70 ± 20.3	0.175 ± 0.051	3.4
2007 06.08 ÷ 13.08	54319 ÷ 54326	100	2005	1886	32 ± 12.3	0.320 ± 0.122	2.6
2008 31.05 ÷ 07.08	54618 ÷ 54686	1200	19514	19272	163 ± 33.0	0.136 ± 0.027	5.0
2008 31.05 ÷ 12.07	54618 ÷ 54659	1050	17546	17351	156 ± 31.7	0.149 ± 0.030	5.0
2008 29.07 ÷ 07.08	54677 ÷ 54686	150	1968	1921	7 ± 9.0	0.047 ± 0.060	0.8
2009 15.05 ÷ 28.07	54969 ÷ 55041	1350	16840	17255	66 ± 13.8	0.049 ± 0.010	4.9

Наибольший поток гамма-квантов наблюдался в 1997 году. Сопоставление этих данных с данными о рентгеновском излучении в диапазоне 2 ± 10 кэВ, полученными на RXTE-ASM, показало положительную корреляцию между средними за год значениями этих потоков. В табл. 3 мы приводим результаты наблюдений на гамма-телескопе ГТ-48 активного ядра галактик Mrk 501 за период с 2007 по 2009 гг. включительно.

В табл. 3 представлены результаты наблюдений активного ядра галактики Mrk 501 как за весь полный сезон наблюдений, так и за отдельные интервалы наблюдений. 2007 год характерен тем, что в этом году средний поток за короткие интервалы времени 7 дней (сезон наблюдений 76 дней) превышает средний поток за год от 1.5 до 3 раз. В 2008 году в период с 29.07 по 07.08 гамма-поток упал относительно среднего значения за 2008 год почти в 3 раза. В период наблюдений 2009 года средний поток был более чем в 2 раза ниже среднего уровня потоков за предыдущие годы, но величина потока $N_\gamma = (0.049 \pm 0.010) \cdot 1/\text{мин}$ определена с высокой достоверностью (4.9 ст. откл.). Среднегодовые значения потоков для наглядности представлены на рис. 2.

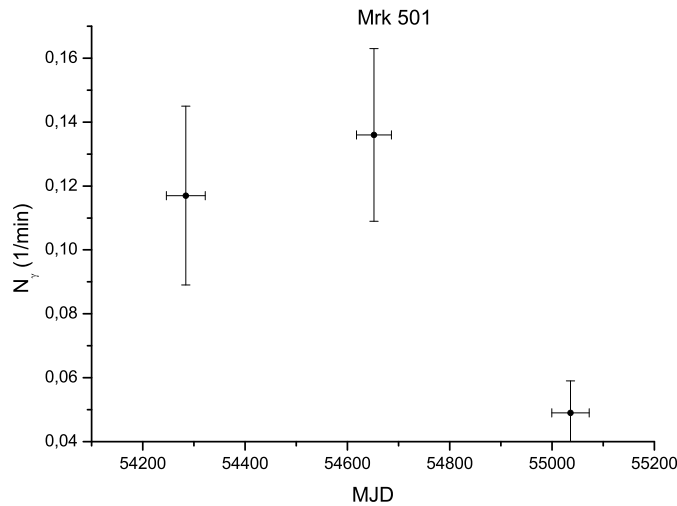


Рис. 2. Среднее значение потока гамма-квантов СВЭ за период наблюдений на ГТ-48 (горизонтальная метка – период наблюдений на ГТ-48)

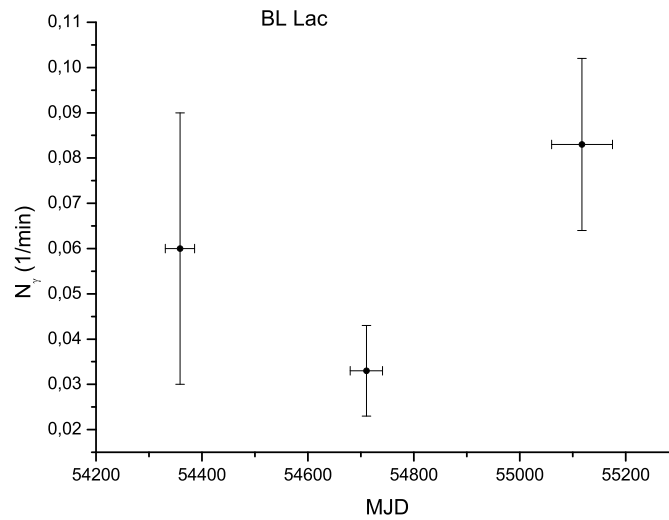


Рис. 3. Среднее значение потока гамма-квантов СВЭ за период наблюдений на ГТ-48 (горизонтальная метка – период наблюдений на ГТ-48)

5 Галактика BL Lac

Лацертиды – один из четырех типов галактик с нестационарными ядрами – получили свое название от объекта BL Lac. Галактика BL Lac наблюдалась с помощью наземных черенковских детекторов первого поколения гамма-телескопов СВЭ еще в 70-х годах прошлого столетия в обсерватории Whipple (Фазио и др., 1972) и в НИИ “КрАО” (Степанян и др., 1975), но поток гамма-квантов СВЭ не был обнаружен. Наблюдения галактики BL Lac были возобновлены в НИИ “КрАО” в 1998 году с использованием гамма-телескопа второго поколения ГТ-48. Наблюдения были проведены в период с 23 июля по 1 сентября, и впервые от BL Lac был обнаружен поток гамма-квантов СВЭ с высоким уровнем достоверности (7.2 ст. откл.) (Нешпор и др., 2001). Коллаборация MAGIC галактику BL Lac наблюдала в августе-декабре 2005 года и зарегистрировала поток гамма-излучения СВЭ с достоверностью 5.1 ст. откл. (Алберт и др., 2009), тем самым подтвердив результаты, полученные в НИИ “КрАО”. Ниже приводятся результаты наблюдений, проведенные в НИИ “КрАО” в 2007–2009 гг.

Таблица 4. Галактика BL Lac

Год	Период наблюдения	MJD	Δt мин.	N_{on}	N_{off}	N_γ	Q
						(1/мин)	
2007	18.08 ÷ 12.10	54331 ÷ 54386	840	17069	16898	0.060 ± 0.030	2.0
2008	30.07 ÷ 01.11	54680 ÷ 54741	1400	18975	19258	0.033 ± 0.010	3,3
2009	17.08 ÷ 09.12	55060 ÷ 55175	1400	18164	17840	0.083 ± 0.019	4.4

Результаты наблюдений VL Lас за три года представлены в табл. 4. Из анализа табл. 4 и рис. 3 следует, что среднегодовые значения потоков в разные годы различаются более чем в 2 раза.

6 Заключение

В заключение отметим, что излучение сверхвысоких энергий $> 10^{12}$ эВ от активных ядер галактик 3C 66А, Mrk 421, Mrk 501 и VL Lас переменнo во времени. Средние значения потоков гамма-квантов СВЭ за период наблюдений в продолжении одного года изменяются от года к году более чем в 2 раза. Детальный анализ данных наблюдений галактики Mrk 501 на ГТ-48 показал, что в 2007 году были зарегистрированы изменения потока СВЭ за более короткие интервалы времени длительностью в 7 дней. Средний поток за 7 дней превышал средний уровень за год до 3 раз. Полученные выводы о переменности гамма-излучения АЯГ согласуются с результатами предыдущих лет.

Авторы выражают благодарность Кочетковой С.Г. за помощь в оформлении статьи.

Литература

- Аккиари и др. (Acciari V.A., Aliu E., Arien T., et al.) // arxiv:0901.4527 ve [astro-ph.HE] 28 Jan. 2009.
Альберт и др. (Albert J. et al.) // *Astrophys. J.* 2009. V. 696. P. 2170.
Владимирский Б.М., Зыскин Ю.Л., Корниенко А.П. и др. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1994. Т. 91. С. 74.
Викс (Weekes Т.С.) // Частное сообщение. 2004.
Гайдос и др. (Gaidos J.A., Akerlof C.W., Biller S., et al.) // *Nature.* 1996. V. 383. № 6598. P. 319.
Куин и др. (Quinn J., Akerlof C.W., Biller S., et al.) // *Astrophys. Lett.* 1996. V. 456. L83.
Нешпор Ю.И., Степанян А.А., Калекин О.Р. и др. // *Письма в Астрон. журн.* 1998. Т. 24. С. 167.
Нешпор Ю.И., Степанян А.А., Калекин О.Р. и др. // *Астрон. журн.* 2000. Т. 77. № 10. С. 723.
Нешпор Ю.И., Чаленко Н.Н., Степанян А.А. и др. // *Астрон. журн.* 2001. Т. 78. С. 291.
Нешпор Ю.И., Елесеев В.С., Жоголев Н.А., Нехай Е.М., Скирута З.Н., Фиделис В.В., Фомин В.П. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 2007. Т. 103. № 1. С. 27.
Нешпор Ю.И., Жовтан А.В., Жоголев Н.А. и др. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 2008. Т. 104. № 1. С. 191.
Панч и др. (Panch M., Akerlof C.W., Cawley M.F., et al.) // *Nature.* 1992. V. 358. P. 477.
Степанян А.А., Владимирский Б.М., Нешпор Ю.И., Фомин В.П. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1975. Т. 53. С. 29.
Степанян А.А., Нешпор Ю.И., Андреева Н.А. и др. // *Астрон. журн.* 2002. Т. 79. № 8. С. 702.
Фазио и др. (Fazio G.G., Helmken H.F., O'Mongain E., Weekes T.C.) // *Astroph. J. Letters.* 1972. V. 175. L117.
Фиделис В.В., Елесеев В.С., Жоголев Н.А. и др. // 28-я Всероссийская конференция по космическим лучам. М.: МИФИ. 2004. С. 105.