

УДК 524.7

Результаты наблюдений Крабовидной туманности и ряда лацертид на гамма–телескопе ГТ-48 в 2003 году

В.В. Фиделис, Ю.И. Нешпор, В.С. Елисеев, Н.А. Жоголев, Е.М. Нехай, З.Н. Скирута

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

Поступила в редакцию 20 февраля 2004 г.

Аннотация.

В НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория” на гамма-телескопе ГТ-48 в 2003 году были проведены наблюдения Крабовидной туманности и ядер активных галактик (Мк 421, Мк 501, BL Lac, 3C 66A, 1ES 1959+650 и 1ES 2344+514). От всех объектов зарегистрированы потоки гамма-квантов сверхвысоких энергий.

THE RESULTS OF OBSERVATIONS OF CRAB NEBULA AND A NUMBER OF BL Lac OBJECTS WITH THE GAMMA-TELESCOPE GT-48 IN 2003, *by V.V. Fidelis, Yu.I. Neshpor, V.S. Eliseev, N.A. Jogolev, E.M. Nehay, and Z.N. Skiruta.* Observations of Crab Nebula and active galactic nuclei (Mk 421, Mk 501, BL Lac, 3C 66A, 1ES 1959+650 and 1ES 2344+514) were carried out with the aid of Cerenkov telescope GT-48 at the Scientific Research Institute “Crimean Astrophysical Observatory” in 2003. From all objects were detected the fluxes of very high energy gamma-quanta.

Ключевые слова: активные ядра галактик, лацертиды, гамма-кванты

1 Введение

Исследование вопроса происхождения космических лучей является одной из важных задач астрофизики сверхвысоких энергий (СВЭ). Методы гамма-астрономии вносят весомый вклад в изучение этой проблемы.

Земная атмосфера непрозрачна для гамма-излучения во всем диапазоне энергий. Поэтому для регистрации гамма-квантов с энергиями от 10^5 до 10^{10} эВ используют приборы, установленные на баллонах или спутниках. Регистрация же гамма-квантов СВЭ ($E \geq 10^{11}$ эВ) осуществляется с помощью наземной аппаратуры – черенковскими телескопами.

Обнаружение черенковского излучения ШАЛ, инициируемых гамма-излучением, идущим от исследуемого объекта, осложняется сильным фоном изотропного черенковского излучения ШАЛ, образуемых заряженными частицами, в основном протонами. Число гамма-квантов, поступающих от источника, составляет десятые доли процента от изотропного фона. Для обнаружения потока гамма-излучения СВЭ используется как направленность прихода первичных гамма-квантов, так и различие параметров черенковских вспышек.

В НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория” на телескопе ГТ-48 на протяжении ряда лет осуществляется наблюдение галактических и внегалактических гамма-активных объектов (Владимирский и др., 1991; Нешпор и др., 1995, 2003). В настоящее время большое внимание уделяется ак-

туальной задаче астрофизики – поиску активных ядер галактик, излучающих гамма-кванты СВЭ. В 2003 были проведены наблюдения хорошо известных источников ТЭВ-ного гамма-излучения: Крабовидной туманности (Фазио и др., 1972), маркарянских галактик Мк 421 (Панч и др., 1992) и Мк 501 (Куинн и др., 1996), а также ряда объектов, которые наблюдаются в гамма-диапазоне СВЭ сравнительно недавно: BL Lac (Нешпор и др., 2001), 3C 66A (Нешпор и др., 1998, 2000; Степанян и др., 2002), 1ES 2344+514 (Катанезе и др., 1998) и 1ES 1959+650 (Агаронян и др., 2003).

Все перечисленные внегалактические объекты относятся к лацертидам, которые отличаются повышенной активностью в гамма-диапазоне. Только от небольшого количества лацертид из каталога EGRET обнаружено гамма-излучение в диапазоне сверхвысоких энергий.

Лацертидам присуща переменность потока излучения в широком диапазоне длин волн, от радио до гамма-излучения СВЭ, на временных шкалах от десятков минут до года. Большие амплитуды вариаций в рентгеновском диапазоне иногда совпадают с вариациями в оптике. Все это позволяет предполагать о наличии в этих объектах большого количества частиц очень высокой энергии, ответственных за излучение от радио до гамма-диапазона сверхвысоких энергий.

Регулярные наблюдения лацертид в гамма-диапазоне СВЭ позволяют делать оценку их потока в широком диапазоне временных шкал. Эти данные, в сочетании с результатами наблюдений в других частотных диапазонах, используются для построения эмпирических и теоретических моделей излучающих областей и уточнения параметров происходящих в них радиационных процессов.

2 Черенковский телескоп и методика наблюдений

Гамма-телескоп ГТ-48 расположен на высоте 600 м над уровнем моря и состоит из двух параллельно направленных альт-азимутальных секций, разнесенных на 20 м друг от друга в направлении север-юг. Общая площадь зеркал на обеих секциях составляет 36 кв. м. Эффективная пороговая энергия регистрации гамма-квантов равна 1 ТэВ. Точность позиционирования телескопа составляет $\pm 0^{\circ}05'$, точность методики определения координат источника составляет $0^{\circ}1'$. Описание установки можно найти в (Владимирский и др., 1994).

Наблюдения проводились методом слежения за объектом в течении заданного интервала времени с последующей регистрацией фона такой же длительности, смещенного по прямому восхождению таким образом, чтобы наблюдения фона происходили при тех же зенитных и азимутальных углах, что и источника. Регистрация черенковских вспышек производилась в случае их одновременного совпадения на обеих секциях.

3 Первичная подготовка данных наблюдений

Полученные данные подвергались первичной обработке, заключающейся в: 1) исключении событий, в которых хотя бы в одном канале достигалось насыщение преобразователя заряд – цифра, 2) корректировки амплитуд сигналов в каналах с учетом калибровочных коэффициентов, 3) исключении событий, которые были зарегистрированы при плохом ведении телескопа, 4) исключении событий, максимальная амплитуда которых находилась в ячейках, расположенных во внешнем кольце светоприемника, 5) вычислении первых и вторых моментов распределения света и нахождения параметров черенковских вспышек.

4 Отбор гамма-квантов

Отбор гамма-подобных событий осуществлялся по методике, предложенной (Хиллас, 1985). В качестве параметров отбора использовались: эффективные размеры вспышки по большой (A) и малой (B) полуосям ее изображения, эллиптичность $E=1-B/A$, амплитуда вспышки (V), количество каналов, вошедших в обработку (NZ), качество вспышки (IPR). При отборе в первую очередь рассматривалась суммарная амплитуда вспышки V. Поскольку параметры вспышек малой амплитуды

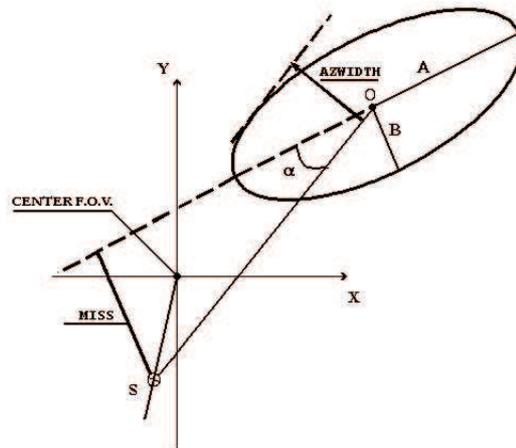


Рис. 1. Графическое изображение основных параметров вспышки. O – центр распределения яркости вспышки, S – положение источника. Отрезок OS соответствует параметру $DIST$

определяются с большой ошибкой, они исключались из дальнейшего рассмотрения. Изображения вспышек от гамма-ливней (параметр IPR) отличаются по форме от изображений вспышек от протонных ливней. Первые имеют компактную форму, вторые могут быть фрагментированы.

Для исключения вспышек, вызванных протонами, использовались также: $DIST$ – угловое расстояние от положения источника в фокальной плоскости до центра тяжести изображения вспышки, ориентация большой оси вспышки относительно направления на источник гамма-квантов (угол $ALPHA$), $MISS$ – угол между большой осью изображения вспышки и направлением на объект, $AZWIDTH$ – угловая ширина изображения вспышки вдоль азимутального направления (см. рис. 1).

Результаты отбора по всем наблюдавшимся объектам приведены в таблице, где обозначено: ON – количество событий при наблюдении источника, OFF – количество событий при наблюдении фона, $ON - OFF = N_\gamma$ – число гамма-квантов, $Q = (ON - OFF) / \sqrt{ON + OFF}$ – отношение сигнала к шуму, $\Delta\alpha$ и $\Delta\delta$ – отклонения по прямому восхождению и склонению от центра камеры (источника).

4.1 Крабовидная туманность (Crab)

Крабовидная туманность (координаты на 2003 год: $\alpha = 05^h33^m61^s$ и $\delta = 22^\circ32'06''$) наблюдалась в течение 5 безлунных ночей в период со 2 ноября (MJD 52946) по 29 ноября (MJD 52973). Было проведено 14 парных сеансов наблюдений длительностью 30 минут каждый. Фон регистрировался со смещением на 35 минут по прямому восхождению. 1 сеанс наблюдений был исключен из обработки вследствие низкой скорости счета и большой ее дисперсии в период регистрации фона. В результате для дальнейшей обработки осталось 13 сеансов. Общая продолжительность наблюдений источника составила 6 часов 30 минут.

4.2 Маркарянская галактика Mk 421

Маркарянская галактика Mk 421 (координаты на 2003 год: $\alpha = 11^h04^m37^s$ и $\delta = 38^\circ11'38''$) наблюдалась в продолжение 8 безлунных ночей в период с 4 апреля (MJD 52733) по 4 мая (MJD 52763). Было проведено 16 парных сеансов наблюдений длительностью 35 минут каждый. Фон регистрировался со смещением на 40 минут по прямому восхождению. Четыре парных сеанса наблюдений были исключены из наблюдений ввиду плохих погодных условий. 12 оставшихся сеансов составили массив данных с общей продолжительностью наблюдений источника 7 часов.

Таблица 1. Статистика отбора и значения зарегистрированных потоков

	Количество событий	Критерий и результаты отбора	Число гамма-квантов, $N\gamma \text{ мин}^{-1}$
Crab Nebula		$MISS < 0^\circ.235$	
ON	5285	138	
OFF	4905	69	
ON – OFF	380	69	0.177 ± 0.037
Q	3.76	4.8	
$(\Delta\alpha, \Delta\delta)$		$(0^\circ.2, -0^\circ.1)$	
Mk 421		$ALPHA < 17^\circ$	
ON	6206	42	
OFF	6068	5	
ON – OFF	138	37	0.088 ± 0.016
Q	1.25	5.4	
$(\Delta\alpha, \Delta\delta)$		$(-0^\circ.1, 0^\circ.1)$	
Mk 501		$AZWIDTH < 0^\circ.235$	
ON	18185	2047	
OFF	17519	1709	
ON – OFF	666	338	0.260 ± 0.047
Q	3.52	5.5	
$(\Delta\alpha, \Delta\delta)$		$(-0^\circ.1, 0^\circ.1)$	
1ES 1959+650		$MISS < 0^\circ.205$	
ON	11024	116	
OFF	10858	58	
ON – OFF	166	58	0.056 ± 0.013
Q	1.12	4.4	
$(\Delta\alpha, \Delta\delta)$		$(-0^\circ.1, 0^\circ.0)$	
1ES 2344+514		$ALPHA < 35^\circ$	
ON	9062	205	
OFF	8827	121	
ON – OFF	235	84	0.133 ± 0.029
Q	1.76	4.7	
$(\Delta\alpha, \Delta\delta)$		$(-0^\circ.1, -0^\circ.1)$	
3C 66A		$AZWIDTH < 0^\circ.24$	
ON	11735	466	
OFF	11581	294	
ON – OFF	154	172	0.229 ± 0.037
Q	1.01	6.2	
$(\Delta\alpha, \Delta\delta)$		$(0^\circ.0, 0^\circ.0)$	
BL Lac		$MISS < 0^\circ.23$	
ON	13430	187	
OFF	13368	83	
ON – OFF	62	104	0.110 ± 0.017
Q	0.38	6.3	
$(\Delta\alpha, \Delta\delta)$		$(0^\circ.0, 0^\circ.0)$	

4.3 Маркарянская галактика Mk 501

Маркарянская галактика Mk 501 (координаты на 2003 год: $\alpha = 16^h 53^m 59^s$ и $\delta = 39^\circ 45' 14''$) наблюдалась в течение 31 безлунной ночи в период с 26 апреля (MJD 52756) по 5 июля (MJD 52826). Длительность наблюдения источника составила 25 минут, при наблюдении фона такой же длительности ведение объекта осуществлялось со смещением по прямому восхождению на 30 минут.

Всего было проведено 69 парных сеансов наблюдений. 4 сеанса были исключены из рассмотрения вследствие аппаратных неполадок в процессе наблюдений, 13 не вошли в обработку вследствие плохих или неравномерных погодных условий при наблюдении источника и фона. Оставшиеся 52 парных сеансов составили массив данных общей продолжительностью наблюдений источника 21 час 40 минут.

4.4 Галактика 1ES 1959+650

Галактика 1ES 1959+650 (координаты на 2003 год: $\alpha = 20^h00^m19^s$ и $\delta = 65^\circ09'25''$) наблюдалась в течение 22 безлунных ночей в период с 3 июня (MJD 52794) по 30 августа (MJD 52882). За наблюдениями источника длительностью 45 минут следовали сеансы наблюдения фона той же длительности со смещением ведения объекта по прямому восхождению на 50 минут. Из проведенных 26 парных сеансов в обработку вошли 23 сеанса. 3 сеанса не включались в обработку из-за низкой скорости счета событий или ее большой неравномерности при наблюдении источника и фона. Общая продолжительность наблюдений источника, включенных в обработку, составила 17 часов 15 минут.

4.5 Галактика 1ES 2344+514

Галактика 1ES 2344+514 (координаты на 2003 год: $\alpha = 23^h47^m20^s$ и $\delta = 51^\circ43'18''$) наблюдалась в продолжение 21 безлунной ночи в период с 28 августа (MJD 52879) по 25 ноября (MJD 52967). За наблюдениями источника в течении 30 минут следовали наблюдения фона той же длительности со смещением ведения по прямому восхождению на 35 минут. Из проведенных 30 парных сеансов наблюдений 9 было исключено из дальнейшей обработки по ранее рассмотренным причинам. Общая продолжительность наблюдений источника на оставшихся 21 сеансе составила 10 часов 30 минут.

4.6 Галактика 3C 66A

Галактика 3C 66A (координаты на 2003 год: $\alpha = 02^h22^m52^s$ и $\delta = 43^\circ02'57''$) наблюдалась в продолжение 18 безлунных ночей в период с 22 сентября (MJD 52905) по 25 ноября (MJD 52969). За наблюдениями источника длительностью 25 минут следовали наблюдения фона такой же длительности со смещением по прямому восхождению на 30 минут. Из проведенных 44 парных сеансов наблюдений 6 было исключено из-за сбоев и рассогласования системы ведения, 8 из-за низкой скорости счета или сильной ее неравномерности при наблюдении источника и фона. Для дальнейшей обработки осталось 30 парных сеансов наблюдений, общая продолжительность экспозиции источника составила 12 часов 30 минут.

4.7 Галактика VL Лас

Прототип галактик с активными нестационарными ядрами VL Лас (координаты на 2003 год: $\alpha = 22^h02^m50^s$ и $\delta = 42^\circ17'32''$) наблюдался в продолжение 24 безлунных ночей в период с 23 августа (MJD 52875) по 25 ноября (MJD 52969). Источник и фон наблюдались в течение 35 минут каждый, ведение объекта на фоне осуществлялось со смещением по прямому восхождению на 40 минут. Из проведенных 38 сеансов связи в обработку вошло 27. Остальные были исключены из-за аппаратных шумов в процессе наблюдений, низкой скорости счета событий или сильной ее неравномерности при наблюдении источника или фоне. Общая продолжительность наблюдений источника оставшихся сеансов составила 15 часов 45 минут.

5 Заключение

В настоящей работе сообщаются предварительные результаты наблюдений в 2003 г., детальное изучение полученных данных наблюдений будет приведено в последующих работах.

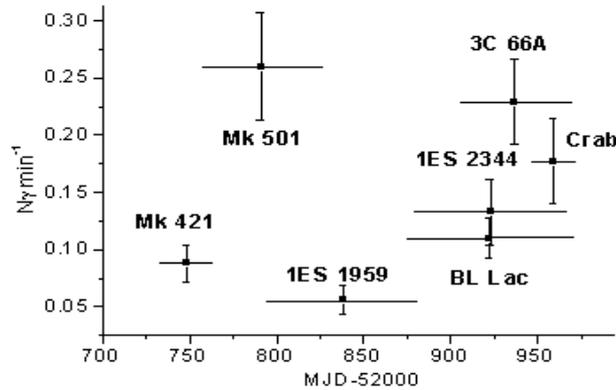


Рис. 2. Периоды наблюдений объектов и средние значения зарегистрированных скоростей счета

От всех наблюдавшихся объектов в 2003 году были зарегистрированы потоки гамма-квантов СВЭ ($E > 1$ ТэВ) с достаточно высокой статистической достоверностью, результаты наблюдений приведены на рис. 2. Зарегистрированные нами значения потоков от наблюдавшихся объектов могут указывать, по-видимому, что они находились в активных состояниях. От трех объектов – Mk 501, 3C 66A и 1ES 1959+650 скорость счета гамма-квантов СВЭ была соизмерима со скоростью счета от Крабовидной туманности в пределах статистических ошибок.

Поскольку все наблюдавшиеся внегалактические объекты являются переменными на различных временных шкалах, то для уточнения параметров их переменности и дальнейшего накопления статистики желательно продолжить их наблюдение.

Авторы выражают благодарность А.А. Степаняну за полезные замечания при обсуждении результатов работы, а также С.Г. Кочетковой за помощь в оформлении рукописи.

Литература

- Агаронян и др. (Aharonian F., Akhperjanian A., Beilicke M. et al.) // *Astron. Astrophys.* 2003. V. 406. L9.
- Владимирский Б.М., Зыскин Ю.Л., Корниенко А.П. и др. // *Изв. АН СССР.* 1991. сер. физ. Т. 55. С. 2045.
- Владимирский Б.М., Зыскин Ю.Л., Корниенко А.П. и др. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1994. Т. 91. С. 74.
- Катанезе и др. (Catanese M., Akerlof C.W., Badran H.M. et al.) // *Astrophys.J.* 1998. V. 501. P. 616.
- Куинн и др. (Quinn J., Akerlof C.W., Biller S. et al.) // *Astrophys.J.* 1996. V. 456. L83.
- Нешпор и др. (Neshpor Yu. I., Kalekin O.R., Stepanian A.A. et al.) // *Proc. 24-th Internat. Conf. on Cosmic Rays, August 28–September 8 1995. Rome. Italy.* V. 2. P. 385.
- Нешпор Ю.И., Степанян А.А., Калекин О.Р. и др. // *Письма в Астрон. журн.* 1998. Т. 24. N. 3. С. 167.
- Нешпор Ю.И., Степанян А.А., Калекин О.Р. и др. // *Астроном. журн.* 2000. Т. 77. N. 10. С. 723.
- Нешпор Ю.И., Чаленко Н.Н., Степанян А.А. и др. // *Астроном. журн.* 2001. Т. 78. N. 4. С. 291.
- Нешпор Ю.И., Елисеев В.С., Жоголев Н.А. и др. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обс.* 2003. Т. 99. С. 43.
- Панч и др. (Punch M., Akerlof C.W., Cawley M.F. et al.) // *Nature.* 1992. V. 358. P. 477.
- Степанян А.А., Нешпор Ю.И., Андреева Н.А. и др. // *Астроном. журн.* 2002. Т. 79. N. 7. С. 1.
- Фазио и др. (Fazio G.G., Helmken H.F., O'Mongain E. et al.) // *Astrophys. J.* 1972. V. 175. L117.
- Хиллас (Hillas A.M.) // *Proc. 19-th Intern. Cosm. Ray Conf. La Jolla. USA.* 1985. V. 3. P. 445.