

УДК 524.7

Гамма-излучение сверхвысокой энергии активного ядра галактики Мк 501 по результатам наблюдений в КрАО

Ю.И. Нешпор, Н.А. Жоголев, О.Р. Калекин, З.Н. Скирута, А.А. Степанян, В.П. Фомин, В.Г. Шитов

Крымская астрофизическая обсерватория, 98409, Украина, Крым, Научный

Поступила в редакцию 27 марта 2003 г.

Аннотация.

Наблюдения на гамма-телескопе ГТ-48 в 1997, 1998 и 2000 годах потока гамма-квантов сверхвысокой энергии от Мк 501 показали его переменность год от года и подтвердили наличие периодической составляющей этой переменности с периодом 23.2 дня.

ULTRAHIGH-ENERGY GAMMA-RAYS FROM ACTIVE GALACTIC NUCLEI Mк 501 OBSERVED AT THE CRIMEAN ASTROPHYSICAL OBSERVATORY, *by Yu.I. Neshpor, N.A. Jogolev, O.R. Kalekin, Z.N. Skirut, A.A. Stepanian, V.P. Fomin, and V.G. Shitov.* Observations Mк 501 on the GT-48 gamma-telescope in 1997, 1998 and 2000 of ultrahigh-energy gamma-ray flux level have show its variability from year to year and confirm the presense of periodic component with 23^d2 period.

Ключевые слова: активные ядра галактик, квазары, радиогалактики

1 Введение

Галактики, как правило, имеют в центральных частях компактные сгущения - ядра, в состав которых входят и звезды, и газ. Одним из типов галактик с нестационарным ядром являются квазары и лацертиды, получившие свое название от объекта BL Lac. Интерес к активным ядрам галактик (АЯГ) резко возрос после того, как на спутнике CGRO было обнаружено, что большая часть источников гамма-квантов высоких энергий (> 100 МэВ) отождествляется с АЯГ (Томрсон и др., 1995), а именно с квазарами и лацертидами.

С астрофизической точки зрения эти объекты вызывают огромный интерес, так как они характеризуются значительными вариациями потоков излучения от радио до рентгеновского. Большие амплитуды изменений в рентгеновском излучении в некоторых случаях совпадают по времени с оптическими вариациями (Мачани и др., 1987). Вариации происходят с характерным временем от минут до года. АЯГ отличаются сильной тенденцией к вспышечной (временная шкала несколько дней) и взрывной (длительность несколько месяцев) активности. Эти галактики начали наблюдать и на наземных гамма-телескопах, которые регистрируют гамма-кванты сверхвысокой энергии (СВЭ) $10^{11} - 10^{12}$ эВ методом детектирования черенковских вспышек. Две из них впервые были зарегистрированы как источники гамма-квантов сверхвысокой энергии (СВЭ), с помощью 10-метрового наземного детектора черенковских вспышек в обсерватории Уиппла в США. Это маркарянские

галактики Мк 421 (Шубнелл и др., 1996) и Мк 501 (Куинн и др., 1996). Поток гамма-квантов от объекта Мк 501, обнаруженного в 1995 году (Куинн и др., 1996), был сравнительно низким и примерно составлял 0.08 потока от стабильного источника гамма-квантов – Крабовидной туманности. Весной 1997 года из обсерватории Уиппла поступило сообщение, что объект Мк 501 находится в очень активном состоянии. По предварительным данным поток гамма-квантов сверхвысоких энергий от него возрос более чем в 15 раз по сравнению со спокойным состоянием. По данным группы HEGRA поток от этого объекта весной 1997 года во время некоторых вспышек превышал поток от Крабовидной туманности в 5 – 10 раз (Агораян и др., 1997). Аналогичные результаты были получены и в других обсерваториях (Джаннати-Атаи, 1997; Кренрих и др., 1997; Хаяшида и др., 1998). Наблюдения объекта Мк 501 в Крымской Астрофизической обсерватории (КрАО) были проведены в 1997 и в 1998 годах. В результате двухлетних наблюдений зарегистрировано излучение гамма-квантов СВЭ с высокой степенью достоверности –11 стандартных отклонений (ст. откл.) в 1997 году и 7.5 ст.откл. в 1998 году (Андреева и др., 2000). Было также показано, что поток гамма-квантов меняется во времени в широких пределах. Среднее значение потока по данным 1997 года составило $(5.0 \pm 0.6) \cdot 10^{-11}$ квантов $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$, в 1998 году поток равнялся $(3.7 \pm 0.6) \cdot 10^{-11}$ квантов $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$ (Андреева и др., 2000). Группа HEGRA в 1997 году этот объект наблюдала продолжительное время с февраля по октябрь (более 200 дней) (Краних и др., 2000). Объем этих данных позволил им провести Фурье анализ, который показал наличие в вариациях гамма-излучения сверхвысокой энергии периодической составляющей периода 23.2 дня ($f = 0.0431\text{д}^{-1}$). В (Краних и др., 2000) представлены также результаты анализа данных RXTE-ASM X-излучения в диапазоне 2 – 10 кэВ, полученные в тот же самый промежуток времени. В спектре мощности, построенном по рентгеновским данным, имеется пик на той же частоте ($f = 0.0431\text{д}^{-1}$). Совместная обработка данных (рентгеновского и гамма-излучений) показала, что вероятность случайного выброса в спектре мощности составляет $= 2.8 \cdot 10^{-4}$. Анализ данных наблюдений, полученных в КрАО в 1997 году показал также, что поток гамма-квантов сверхвысоких энергий, зарегистрированный от Мк 501, изменяется со временем с периодом 23.2 дня (Нешпор, 2000).

Наблюдения галактики Мк 501 в КрАО были проведены и в 2000 году. Здесь приводятся результаты анализа этих данных.

2 Краткое описание гамма-телескопа ГТ-48 и методика наблюдений

Регистрация гамма-квантов с энергией $> 10^{11}$ эВ осуществляется с помощью наземной аппаратуры. Используется то обстоятельство, что гамма-кванты сверхвысокой энергии, взаимодействуя с ядрами атомов атмосферы, образуют так называемый широкий атмосферный ливень (ШАЛ), состоящий из электронов и позитронов высокой энергии, которые испускают кванты черенковского излучения в оптическом диапазоне под малым (1°) углом к направлению движения первичного кванта. Это дает возможность определять координаты области, из которой исходит поток гамма-квантов. Площадь, освещаемая черенковской вспышкой, при этом довольно велика: десятки тысяч кв.м. Благодаря этому оказывается возможной регистрация малых (примерно 10^{-11} квантов

$\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$) потоков гамма-квантов. Основным препятствием для обнаружения и исследования источников гамма-квантов сверхвысоких энергий является наличие значительного фона космических лучей, частицы которых вызывают в атмосфере Земли черенковские вспышки, трудно отличимые от вспышек, вызываемых гамма-квантами.

Применение многоэлементных камер (гамма-телескопы второго поколения) дает возможность отсеять подавляющую часть вспышек, вызванных заряженной компонентой космических лучей. В КрАО наблюдения на сдвоенном телескопе (установке) второго поколения ГТ-48 были начаты в 1989 году. Описание установки ГТ-48 неоднократно приводилось нами (см., например, Владимирский и др., 1994).

Установка состоит из двух идентичных альт-азимутальных монтировок (секций) – северной (N) и южной (S), расположенных на расстоянии 20 м в направлении Север-Юг на высоте 600 метров над уровнем моря. На каждой монтировке установлено 6 телескопов. Оптика каждого телескопа

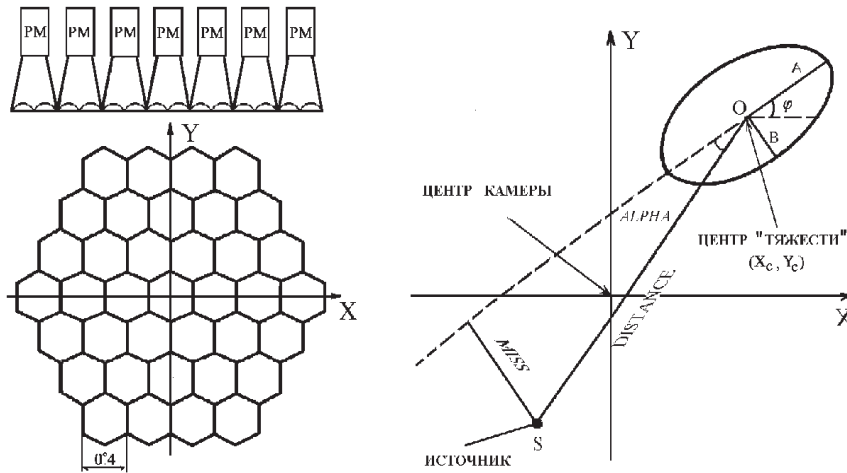


Рис. 1. Схематическое изображение светоприемника и параметров черенковской вспышки, А – эффективная длина и В – эффективная ширина изображения вспышки, φ – ориентационный угол, ALPHA – азимутальный угол, РМ – фотоумножитель

состоит из 4-х 1.2 метровых зеркал, имеющих общий фокус. До 1997 года включительно каждый из 3-х телескопов, а с 1998 года каждый из 4 телескопов имеет в своем фокусе светоприемник из 37 фотоумножителей (37 ячеек), с помощью которого и регистрируются изображения черенковских вспышек в видимой области (300 – 600 нм). Зеркала 4-х телескопов имеют фокусное расстояние 5 м. Перед каждым фотоумножителем (ФЭУ) стоит конический световод. Наружные поверхности окон световодов имеют форму шестигранников и вплотную прилегают друг к другу, так что весь свет, поступающий в светоприемник, попадает на катоды ФЭУ. Средний диаметр входного окна световодов соответствует линейному углу поля зрения одной ячейки $0^\circ 4$ (см. рис. 1).

Поле зрения всего светоприемника составляет $2^\circ 6$. Сигналы от ячеек четырех телескопов, направленных на один и тот же участок неба, линейно складываются и по 37-ми каналам поступают на преобразователь амплитуда-код с последующей записью на диск персонального компьютера. Таким образом, мы получаем дискретизированное изображение черенковской вспышки, состоящей из 37 чисел (по числу ячеек светоприемника). Вспышки регистрируются лишь в том случае, когда амплитуды совпадающих по времени сигналов в каких-либо двух из 37 ячеек превышают установленный порог. Разрешающее время схемы совпадений равно 20 нс.

Два других телескопа имеют фокусное расстояние 3.2 м и предназначены для регистрации вспышек ультрафиолетового излучения в области 200 – 300 нм. Светоприемниками являются солнечно-слепые ФЭУ.

Общая площадь зеркал на обеих монтировках составляет 54 кв.м. Движение установки осуществляется системой управления с точностью ведения $\pm 0^\circ 05$. Наблюдения могут проводиться как в режиме совпадений между двумя секциями, так и независимо каждой секцией. Пороговая энергия регистрации гамма-квантов – 1.0 Тэв.

3 Наблюдения и обработка данных

Наблюдения объекта Мк 501 (экваториальные координаты: прямое восхождение $\alpha = 16^h 53^m 53^s$ и склонение $\delta = 39^\circ 45' 32''$, 2000 г.) проводились двумя параллельно направленными секциями в режиме совпадений с временем разрешения 100 нс. Применение сдвоенной установки в режиме совпадений между секциями, в отличие от одиночных телескопов (Коули и др., 1982; Нешпор и др.,

1997), практически полностью исключает регистрацию событий, вызванных отдельными заряженными частицами при их прохождении через светоприемники. Наблюдения проводились методом слежения за объектом путем сопоставления результатов наблюдений источника гамма-квантов с результатами наблюдений фона со сдвигом по времени относительно друг друга на 30 мин, чтобы наблюдения источника и фона (сеанс наблюдений) проводились при тех же азимутальных и зенитных углах. Таким образом сеанс включал в себя наблюдение источника в течение 25 минут (скан), и фона той же длительности. Всего было проведено 30 сеансов. Сеансы, проведенные при плохих погодных условиях, в обработку не включались. Исключались сеансы, в которых дисперсия скорости счета черенковских вспышек за одну минуту отличалась от теоретической больше, чем на 2 стандартных отклонения. Кроме того, не рассматривались данные сеансов, в которых скорость счета была меньше половины максимальной при данном зенитном угле. Всего в обработку вошли данные 23 сеансов наблюдений. Полученные данные подвергались следующей обработке: 1) отбрасывались данные, в которых суммарный сигнал от светоприемников всех телескопов, хотя бы в одной из 37 ячеек, был больше сигнала, приводящего к насыщению преобразователя аналог-код (255 единиц дискрета, примерно, 150 фотоэлектронов); 2) корректировались амплитуды сигналов в каналах с учетом калибровочных коэффициентов; 3) отбрасывались вспышки, максимальная амплитуда которых находилась в каналах внешнего кольца ячеек светоприемника; 4) отбрасывались события, во время регистрации которых были замечены сбои в работе системы ведения телескопа (отклонение оптической оси телескопа от заданного направления превышало 3 угловых минуты).

В результате такой первичной обработки для дальнейшего анализа в данных 2000 года осталось 12769 вспышек (событий) при наблюдениях источника и 12768 – при наблюдениях фона. Для определения возможного потока гамма-квантов необходимо произвести их отбор путем исключения вспышек, вызванных заряженной компонентой космических лучей. Параметры черенковских вспышек от гамма-квантов сверхвысоких энергий мало отличаются от параметров вспышек, вызванных заряженными частицами космических лучей. Тем не менее, используя это малое различие производится отбор гамма-подобных событий.

Для анализа изображений черенковских вспышек, представленных цифровыми данными, применялись формальные математические методы. Вычислялись первые и вторые моменты распределения яркости вспышки. Обозначим x_i, y_i ($i = 1...n$) координаты осей i -го ФЭУ в фокальной плоскости светоприемника (см.рис. 1), I_i – величину сигнала в i -ом ФЭУ. Тогда длина A и ширина B изображения черенковской вспышки, а также ориентационный угол φ (см.рис. 1) определяются из соотношений:

$$A = \sqrt{k_{11}\cos^2\varphi - k_{12}\sin 2\varphi + k_{22}\sin^2\varphi};$$

$$B = \sqrt{k_{11}\sin^2\varphi + k_{12}\sin 2\varphi + k_{22}\cos^2\varphi};$$

$$\varphi = \frac{1}{2}\arctg \frac{2k_{12}}{k_{22}-k_{11}};$$

$$\text{где } k_{11} = \min(k_{11}, k_{22}), \quad k_{22} = \max(k_{11}, k_{22}), \quad k_{12} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i(y_i - y_c)(x_i - x_c)}{\sum_{i=1}^n I_i},$$

$$k_{11} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i(x_i - x_c)^2}{\sum_{i=1}^n I_i}, \quad k_{22} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i(y_i - y_c)^2}{\sum_{i=1}^n I_i},$$

$$\text{где } x_c = \frac{\sum_{i=1}^n I_i x_i}{\sum_{i=1}^n I_i}, \quad y_c = \frac{\sum_{i=1}^n I_i y_i}{\sum_{i=1}^n I_i}.$$

Получив значения размеров A и B , угла ориентации и положения центра, можно найти и все другие параметры. Параметры A и B не зависят от положения источника относительно вспышки и называются координатно-независимыми. Для выделения гамма-ливней на фоне ливней от заряженных частиц, используются эффективная длина и ширина изображения вспышки, ее ориентация по отношению к направлению на предполагаемый источник гамма-квантов (угол ALPHA, см. рис. 1). Этот угол зависит от положения источника и называется координатно-зависимым параметром. При отборе гамма-подобных событий используется также координатно-зависимый параметр $MISS = DIST \sin(ALPHA)$ численно равный угловому расстоянию между направлением на объект

и большой осью изображения вспышки. Величина $DIST$ ($DISTANCE$ см. рис. 1) равна угловому расстоянию центра “тяжести” изображения до положения источника в фокальной плоскости.

4 Отбор гамма-квантов

Распределения значений параметров вспышек как от гамма-квантов, так и от заряженных частиц широки и в значительной степени перекрываются. Однако, распределения по нескольким различным параметрам дают возможность исключить до 99% и более вспышек от заряженной компоненты. При этом необходимо правильно подобрать критические (граничные) значения параметров для получения оптимального значения сигнал/шум $= (N_s - N_b) / \sqrt{N_s + N_b}$, где N_s – число гамма-подобных вспышек, отобранных в данных наблюдений источника, а N_b – число гамма-подобных вспышек в данных наблюдений фона. Разность $N_s - N_b$ интерпретируется как число гамма-квантов, а $\sqrt{N_s + N_b}$ – статистическая ошибка этого числа. После получения параметров вспышек по данным северной и южной секций проводился анализ их постоянства от сеанса к сеансу наблюдений. С этой целью для каждого скана находилось среднее значение параметра. На рис. 2 представлена зависимость параметров “А” и “В” от порядкового номера сеанса, что равносильно времени. Из рис. 2 видно, что величины параметров “А” и “В”, как по данным северной секции так и южной, претерпевают значительные изменения от сеанса к сеансу. Так как при отборе гамма-подобных событий для всех сеансов наблюдений используется одна и та же величина параметра отбора, то такое различие от сеанса к сеансу (см. рис. 2) параметров может значительно снизить эффективность отбора гамма-квантов.

В связи с этим величины параметров “А” и “В” для каждого события данного скана были поделены на соответствующее среднее значение. Таким образом отбор гамма-подобных событий производился по относительным значениям параметров $A_{отн} = A_{j,i} / A_{jср}$ и $B_{отн} = B_{j,i} / B_{jср}$, где j – означает, порядковый номер сеанса, а i – означает порядковый номер зарегистрированного события внутри каждого сеанса.

Для определения направления потока гамма-излучения применяется метод пробных источников (Акерлоф и др., 1991; Нешпор и др., 1994; Фомин и др., 1994). Метод основан на том, что большие оси эллипсов изображений вспышек от гамма-квантов ориентированы в фокальной плоскости телескопа на источник, а большие оси эллипсов изображений р-ливней (ливни от заряженных частиц) ориентированы в первом приближении равномерно по всем направлениям. Поэтому, если проводить отбор вспышек, принимая за направление на источник произвольную точку в фокальной плоскости с координатами X_i, Y_j и применять отбор по координатно-зависимым параметрам, то число оставшихся р-ливней не будет зависеть от положения предполагаемого источника. Число же изображений от гамма-ливней будет существенно зависеть от положения предполагаемого источника и будет иметь максимум в направлении на истинный источник. В нашем случае направление на источник совпадало с центром камеры.

Можно построить распределение числа отобранных вспышек по полю зрения светоприемника как функцию положения предполагаемого источника $N(X_i, Y_j)$, т.е. “карту” – гистограмму, по осям X и Y которой – декартовы координаты пробного источника относительно центра поля зрения детектора, а по оси Z – число отобранных по координатно-зависимому параметру гамма-подобных событий, и таким образом, определить положение истинного источника гамма-квантов. Такие гистограммы строились как для данных северной, так и для данных южной секций. При этом отбор проводился как по указанным выше координатно-независимым параметрам ($A_{отн}, B_{отн}$), так и по координатно-зависимому параметру $MISS$. (см. рис. 1). Были поставлены следующие пределы на значения этих параметров: $DIST < 1^\circ 10'$. $A_{отн} < 0.80$, $B_{отн} < 0.95$ и $MISS < 0.165$ град. Имея карты для обеих секций, мы можем построить суммарную карту. При этом для правильного определения статистической ошибки необходимо учитывать, что часть отобранных по каждой секции вспышек $N_c(X_i, Y_j)$, могут совпадать (по времени). Такие вспышки необходимо считать как одну. Поэтому для каждой секции были найдены гамма-подобные вспышки $N_c(X_i, Y_j)$, которые присутствуют на обеих секциях, а также гамма-подобные вспышки, которые в результате отбора по координатно-зависимым параметрам остались в данных только северной – $N1(X_i, Y_j)$ или южной

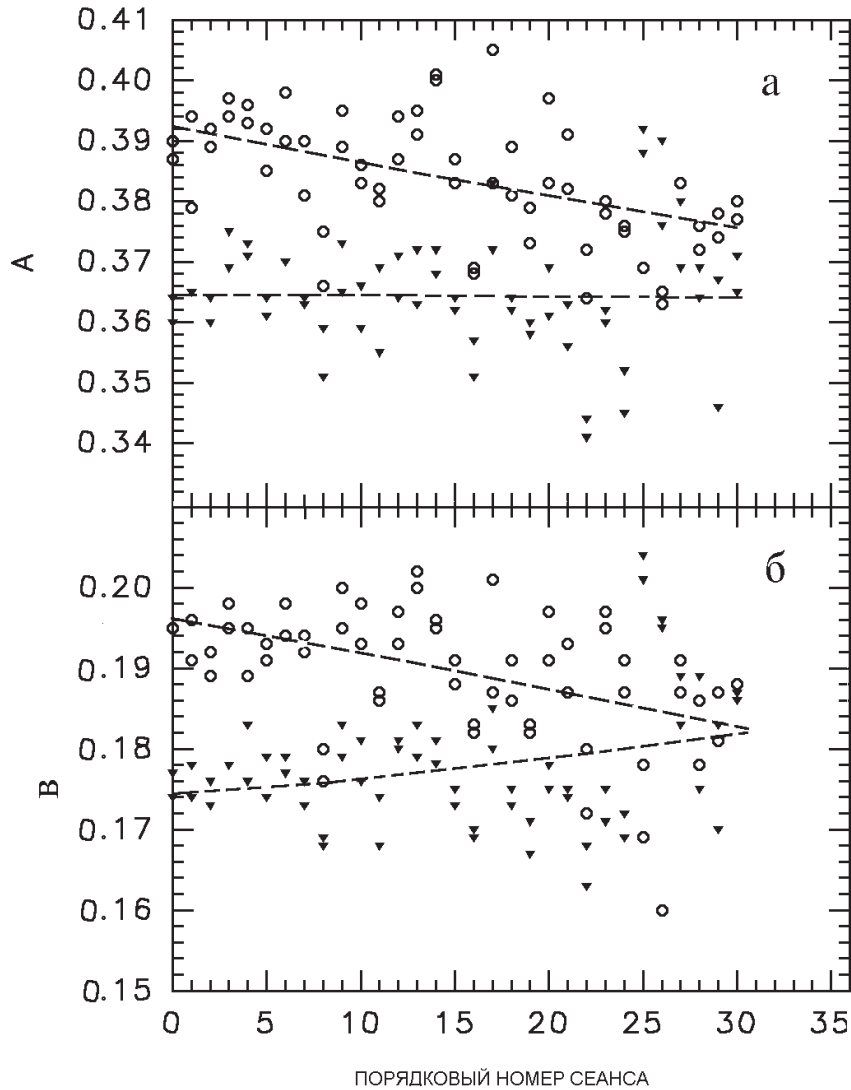


Рис. 2. Зависимость параметров “А” (рис. 2а) и “В” (рис. 2б) от порядкового номера сеанса

секции $-N_2(X_i, Y_j)$. В этом случае число зарегистрированных вспышек, идентифицируемых как гамма-кванты в данных наблюдений источника: $N_s(X_i, Y_j) = N_{c_s}(X_i, Y_j) + N_{1_s}(X_i, Y_j) + N_{2_s}(X_i, Y_j)$. Аналогично, для данных фона эта величина: $N_b(X_i, Y_j) = N_{c_b}(X_i, Y_j) + N_{1_b}(X_i, Y_j) + N_{2_b}(X_i, Y_j)$. Построение карты по данным фона необходимо для того, чтобы исключить влияние аппаратных и методических эффектов (см., например, Нешпор и др., 1994).

Гистограмма разности $N_s(X_i, Y_j) - N_b(X_i, Y_j) = N_\gamma(X_i, Y_j)$ дает возможность с точностью до нескольких десятых долей градуса определить координаты источника гамма-квантов. Полученная таким образом гистограмма для критерия *MISS* представлена на рис. 3.

Выражение для статистической ошибки N_γ запишется следующим образом:

$$\sigma = \sqrt{(N_{c_s} + N_{1_s} + N_{2_s}) + (N_{c_b} + N_{1_b} + N_{2_b})}.$$

В результате отбора по вышеуказанным критериям параметров имеем: $N_s(X_i, Y_j) = 204$, $N_b(X_i, Y_j) = 129$. При этом получаем, что $N_\gamma = 75 \pm 18.2$ (достоверность соответствует 4.1 ст. откл.). Поло-

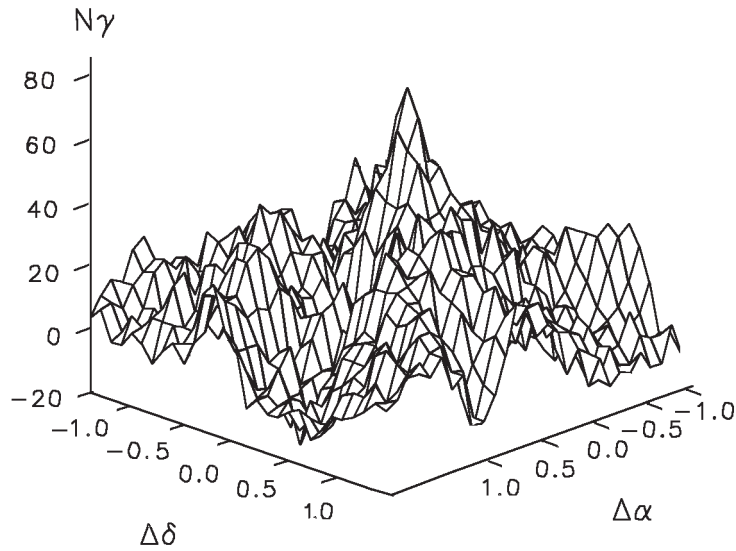


Рис. 3. Распределение числа отобранных гамма-квантов относительно направления на источник. $\Delta\delta$ – отклонение от источника по склонению, $\Delta\alpha$ – отклонение по прямому восхождению (в градусах), N_γ – число отобранных гамма-квантов

жение максимума N_γ имеет координаты $\alpha = 16^h 53^m 24^s$ и $\delta = 39^\circ 45'$. Таким образом, максимум величины N_γ с точностью до $0^\circ 1$ совпадает с координатами объекта Мк 501. Безусловно, утверждать со всей определенностью, что максимум величины N_γ точно совпадает с направлением на Мк 501 нельзя. Однако, учитывая статистическую достоверность данных, можно считать отличие ($0^\circ 1$) незначительным.

Нами было определено среднее за время наблюдений в 2000 году значение потока гамма-квантов с энергией больше 1 ТэВ (см. таблицу 1). В таблице 1 приведены также величины потоков полученные по данным наблюдений 1997 и 1998 годов (Андреева и др., 2000).

Таблица 1.

число вспышек на источнике	число вспышек на фоне	N_γ м^{-1}	Поток (10^{11}) (квантов $\cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$)	
30139	29345	0.300 ± 0.027	(5.0 ± 0.6)	1997 г.
17803	17393	0.420 ± 0.058	(3.7 ± 0.6)	1998 г.
12769	12768	0.130 ± 0.032	(2.0 ± 0.6)	2000 г.

Из таблицы 1 видно, что поток от Мк 501 в 2000 году, по сравнению с зарегистрированным потоком в 1997 году, значительно уменьшился.

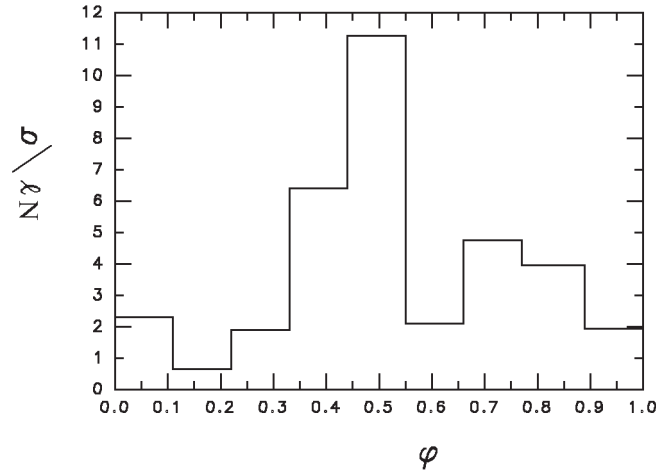


Рис. 4. Фазовая гистограмма ($t_o = 50545.0 MJD$, $T = 23.2$.)

5 Изменение гамма-потока с периодом 23.2 дня

Как отмечалось во введении, группа HEGRA в 1997 году этот объект наблюдала продолжительное время с февраля по октябрь (более 200 дней) (Краних и др., 2000). Объем этих данных позволил им провести Фурье анализ, который показал наличие в вариациях гамма-излучения сверхвысокой энергии периодической составляющей периода 23.2 дня ($f = 0.0431 \text{ д}^{-1}$). В (Краних и др., 2000) представлены также результаты анализа RXTE – ASM данных X-излучения в диапазоне 2 – 10 кэВ, полученные в тот же самый промежуток времени. В спектре мощности, построенном по рентгеновским данным, имеется пик на той же частоте ($f = 0.0431 \text{ д}^{-1}$). Совместная обработка данных (рентгеновского и гамма-излучений) показала, что вероятность случайного выброса в спектре мощности составляет $= 2.8 \cdot 10^{-4}$.

Для периода $T = 23.2$ дня нами были вычислена фазовая гистограмма числа зарегистрированных гамма-событий по данным результатов наблюдений трех лет (1997, 1998 и 2000 годов). Для каждой ночи наблюдений (для увеличения статистики) находилось число зарегистрированных гамма-событий сверхвысокой энергии N_γ (амплитуда эффекта) из соотношения $N_\gamma = Ns - Nb$, и статистическая ошибка амплитуды эффекта $\sigma = \sqrt{Ns + Nb}$, где Ns – число гамма-подобных событий на источнике, Nb – число гамма-подобных событий на фоне. Фаза колебания на каждые сутки находилась из соотношения $\varphi = (t - t_o)/T$, где t – текущее время, $t_o = MJD 50545.0$ – начальная эпоха, $T = 23.2$ дня (Краних и др., 2000). Фазовая гистограмма вычислялась методом наложения эпох. На рис. 4 представлена фазовая гистограмма величины $Q = N_\gamma/\sigma$ (стандартное отклонение).

Фазовая гистограмма по данным гамма-излучения сверхвысоких энергий (Краних и др., 2000) ($t_o = MJD 50545.0$ $T = 23.2$ дня) имеет максимум в интервале фаз $\Delta\varphi = 0.5 \div 0.55$ (период разбит на 20 фазовых интервалов). По данным КраО максимум на фазовой гистограмме ($t_o = MJD 50545.0$ $T = 23.2$ дня) приходится на интервал фаз $\Delta\varphi = 0.44 \div 0.55$ (весь период разбит на 9 фазовых интервалов). Такое хорошее совпадение фазовых гистограмм служит еще одним доказательством того, что поток гамма-квантов сверхвысоких энергий зарегистрированный от Мк 501 изменяется с периодом 23.2 дня.

6 Заключение

Из анализа данных трёхлетних наблюдений активного ядра галактики Мк 501 следует, что переменность потока гамма-квантов СВЭ носит периодический характер ($T = 23.2$ дня), который ярко

проявляется в активной фазе гамма-излучения СВЭ. Отмечено изменение потока гамма-квантов СВЭ от года к году. Такой характер изменения потока излучения наблюдался также и у блазара Мк 421 в рентгеновской области. Для получения аналогичных данных в области гамма-квантов СВЭ необходимы кооперативные наблюдения источников.

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

Литература

- Томпсон и др. (Thompson D.J. et al.) // *ApJS*. 1995. V. 101. P. 259.
- Мачани и др. (Maccagni D., Garilli B., Schild R., and Terengdi M.) // *Astron. Astrophys.* 1987. V. 178. P. 21.
- Куин и др. (Quinn J., Akerlof C.W., Biller S. et al.) // *Astrophys.J.Lett.* 1996. V. 456. N. 2. P. L83.
- Агаронян и др. (Aharonian F., Akhperjanian A.G., Barrio J.A. et al.) // *Astron. Astrophys.* 1997. V. 327. L. 5.
- Джаннати-Атаи (Djannati-Atai A.) // *The Kruger National Park Workshop on TeV Gamma Ray Astrophysics, South Africa, 8 – 11 August. 1997. Ed. De Jager O.C. P. 21.*
- Кренрих и др. (Krennrich F., Boyle J., Buckley J.H. et al.) // *The Kruger National Park Workshop on TeV Gamma Ray Astrophysics, South Africa, 8 – 11 August. 1997. Ed. De Jager O.C. P. 32.*
- Хаяшида и др. (Hayashida N., Hirasawa H., Ishikawa F. et al.) // *Astrophys. J.Lett.* 1998. V. 504. L. 71.
- Андреева Н.А., Зыскин Ю.Л., Калекин О.Р. и др. // *Письма в Астрон. журн.* 2000. Т. 26. N. 3. С. 243.
- Нешпор Ю.И. // *Письма в Астрон. журн.* 2000. Т. 26. N. 12. С. 889.
- Владимирский Б.М., Зыскин Ю.Л., Корниенко А.А., Нешпор Ю.И., Степанян А.А., Фомин В.П., Шитов В.Г. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1994. Т. 91. С. 74.
- Нешпор Ю.И., Калекин О.Р., Степанян А.А., Чаленко Н.Н. // *Изв. РАН. сер. физ.* 1997. Т. 61. N. 3. С. 604.
- Коули и др. (Cawley M.F., Clear J., Fegan D.J., et al.) // *Proc. Intern. Workshop VHE Gamma Ray Astron, Ootacamund, India. 1982. P. 295.*
- Акерлов и др. (Akerlof C.W., Cawley M.F., Chantell M. et al.) // *Astrophys.J. (Letters).* 1991. V. 377. L. 97.
- Нешпор и др. (Neshpor Yu.J, Kornienko A.P., Stepanian A.A., Yu.L.Zyskin) // *Experimental Astronomy.* 1994. V. 5. P. 405.
- Фомин и др. (Vomin V.P, Fennell S., Lamb R.C., et al.) // *Astroparticle Physics.* 1994. V. 2. P. 151.