

СПЕКТР ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ КРАБОВИДНОЙ ТУМАННОСТИ
В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ $\sim 10^{13}$ эВ

Д. Б. Мухомов

УДК 524.1

От Крабовидной туманности зарегистрированы потоки гамма-квантов сверхвысоких энергий в двух энергетических интервалах. Это позволяет утверждать, что гамма-излучение объекта простирается до 10^{14} эВ. Сделана также оценка наклона спектра.

Ранее наблюдалось гамма-излучение Крабовидной туманности и пульсара № 0532 как в области высоких энергий гамма-квантов 10^8 эВ /1/, так и в области сверхвысоких энергий 10^{12} эВ /2/. Одним из возможных механизмов этого излучения является распад $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$, образующихся при взаимодействии протонно-ядерной компоненты космических лучей с веществом. Поэтому представляет особый интерес исследование гамма-излучения Крабовидной туманности и пульсара № 0532 как возможного источника космических лучей.

В настоящей работе приводятся результаты наблюдений гамма-излучения Крабовидной туманности с использованием наземных детекторов, расположенных в горах Тянь-Шаня на высоте 3300 м над уровнем моря. Детекторы регистрируют черенковские вспышки широких атмосферных ливней (ШАЛ), возникающих при взаимодействии первичного гамма-кванта и частиц космических лучей с атмосферой Земли.

Установка представляет собой азимутальный телескоп из трех параболических зеркал полтораметрового диаметра и с фокусным расстоянием 65 см каждое. Телесный угол детекторов равен $2 \cdot 10^{-3}$ ср. В фокусах параболоидов установлены фотоумножители

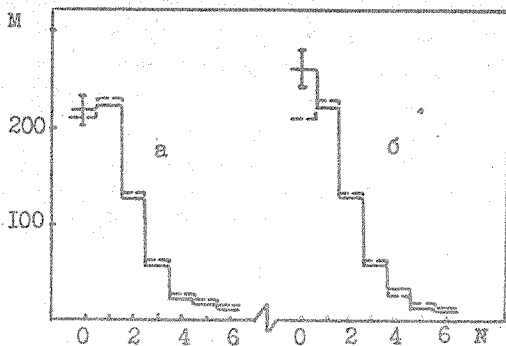
типа ФЭУ-52.

Выделение полезного сигнала от шумовых импульсов, вызванных флуктуациями свечения ночного неба, осуществлялось с помощью схемы тройных совпадений. Разрешающее время схемы совпадений 10 нс. Установка имеет три энергетических порога: $2 \cdot 10^{12}$ эВ, $4 \cdot 10^{13}$ эВ и около 10^{14} эВ. Энергетические пороги обладают высокой стабильностью в результате применения схем стабилизации анодных токов ФЭУ.

Наблюдения проводились методом сканирования, основанным на резкой угловой анизотропии первичных гамма-квантов. В каждом сканировании наблюдался вначале фон, затем источник (в течение 12 мин) и снова фон. Если в направлении объекта имеется превышение (статистически значимое) темпа счета ливней относительно фона, то можно говорить об источнике гамма-квантов с энергией, превышающей пороговую энергию установки.

Наблюдения Крабовидной туманности проводились в осенне-зимние периоды с 1978 по 1981 гг. Весь полученный материал был тщательно проанализирован с целью отбраковки данных плохого качества. Методика отбора данных была описана нами ранее в работе /3/. После отбора данных количество зарегистрированных событий при первом энергетическом пороге в направлении объекта составило 31176, что соответствует непрерывной экспозиции объекта в течение 27,6 ч. Анализ этих данных показал, что при энергетическом пороге установки $2 \cdot 10^{12}$ эВ превышение счета ливней в направлении на источник составило $(3,3 \pm 0,7)\%$ от фона космических лучей. Амплитуда эффекта равна $4,7\sigma$. Зарегистрированный поток гамма-квантов равен $(6,7 \pm 1,4) \cdot 10^{-11} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

При энергетическом пороге $4 \cdot 10^{13}$ эВ также получен небольшой эффект превышения числа ливней в направлении Крабовидной туманности. Причем эти избыточные ливни оказываются обедненными мюонами. Такие ливни отождествляются с потоком гамма-квантов. В нашем эксперименте мюонная компонента ШАЛ регистрировалась подземным мюонным детектором Тянь-Шаньской комплексной установки ШАЛ ФИАН СССР. На основе феноменологических характеристик мюонной компоненты, полученных на этой установке, были проведены расчеты частотного распределения мюонов, регистрируемых мюонным детектором площадью $47,5 \text{ м}^2$ (рис. 1а, пунктирная гистограмма).



Р и с. 1. Частотное распределение мюонов при $\bar{N} = 1$: а - распределения вне источника, б - распределения в направлении Крабовидной туманности; М - количество событий (ливней) с данным числом мюонов

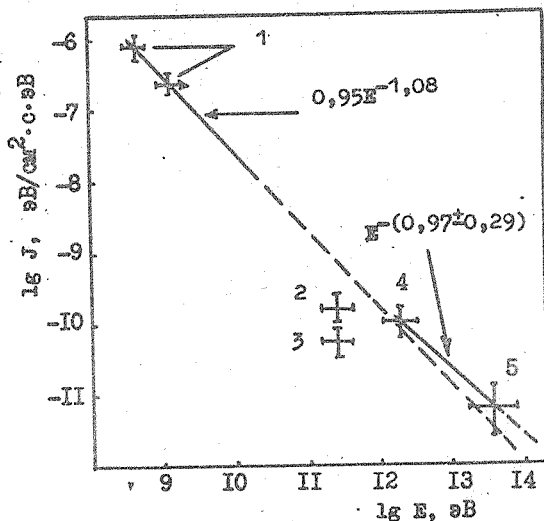
Получено также экспериментальное распределение (сплошная гистограмма на том же рисунке). Из рисунка видно, что в пределах ошибок имеется хорошее согласие эксперимента с расчетом для фоновых событий. В направлении же Крабовидной туманности это распределение (при средней интенсивности регистрируемых мюонов $\bar{N} = 1$) нарушается. А именно, наблюдается превышение числа нулей (числа ливней, от которых не регистрируются мюоны) в направлении объекта относительно числа нулей вне объекта (рис. 1б, сплошная гистограмма). Эффект превышения составляет 2,4σ. Применение критерия "хи-квадрат" к гистограммам на рис. 1б дает примерно то же значение. Величина потока избыточного гамма-излучения равна $(3,8 \pm 1,8) \cdot 10^{-11} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ при энергии гамма-квантов $4 \cdot 10^{13} \text{ эВ}$. По последнему порогу полученные данные статистически не обеспечены.

Несмотря на невысокую достоверность эффекта при втором пороге ($\sim 2\%$ вероятности случайного отклонения) автор, учитывая, что такой результат получен впервые, счел нужным оценить наклон спектра. И хотя энергетические пороги установки определены с точностью до коэффициента 2, отношение соответствующих скоростей счета определено с большей точностью. Это позволяет довольно на-

дежно оценить показатель энергетического спектра. Величины потока
 гамма-квантов при первых двух порогах нанесены на рис. 2 (точки
 4 и 5). На этом рисунке точки с цифрой 1 отражают данные стратос-
 ферных измерений из работы /1/. Точки 2 и 3 - данные работы /2/
 по наблюдению Крабовидной туманности методом регистрации черен-
 ковских вспышек ШАЛ. Из рисунка видно, что по нашим данным спектр
 гамма-излучения Крабовидной туманности в области энергий $\sim 10^{13}$ эВ
 может быть представлен в виде:

$$R(>E) \sim E^{-(0,97 \pm 0,29)}.$$

Полученный результат дает основание предполагать, что с боль-
 шой достоверностью поток гамма-квантов тянется вплоть до 10^{14} эВ.
 Из рис. 2 видно также, что спектр в области сверхвысоких энергий
 не становится круче спектра высоких энергий, а даже имеет тен-
 денцию к выполаживанию.



Р и с. 2. Спектр гамма-излучения Крабовидной туманности

Автор благодарен А. А. Степанану за научное руководство в проведении эксперимента и обсуждении полученных результатов, а также С. И. Никольскому за полезные обсуждения при прочтении рукописи и неизменный интерес к работе.

Поступила в редакцию
3 ноября 1982 г.
После переработки
3 декабря 1982 г.

Л и т е р а т у р а

1. В. McVreen et al., *J. Astr.*, 184, 571 (1973).
2. G. G. Fazio et al., *J. Astr.*, 175, L117 (1972).
3. Д. Б. Муханов, *Изв. Крымской АО*, 63, 151 (1981).