

УДК 524.7

## К вопросу о переменности излучения Крабовидной туманности

Ю.И. Нешпор, А.В. Жовтан

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

Поступила в редакцию 8 января 2009 г.

**Аннотация.** Рассмотрен вопрос переменности излучения Крабовидной туманности в двух энергетических диапазонах: рентгеновском (диапазон 2–10 КэВ) и гамма-излучения сверхвысоких энергий (диапазон  $> 1$  ТэВ). Показано наличие синусоидальных квазипериодических вариаций рентгеновского излучения с периодом  $P = 862$  d. Получена положительная корреляция временных вариаций в рентгене и гамма-излучении (данные HEGRA).

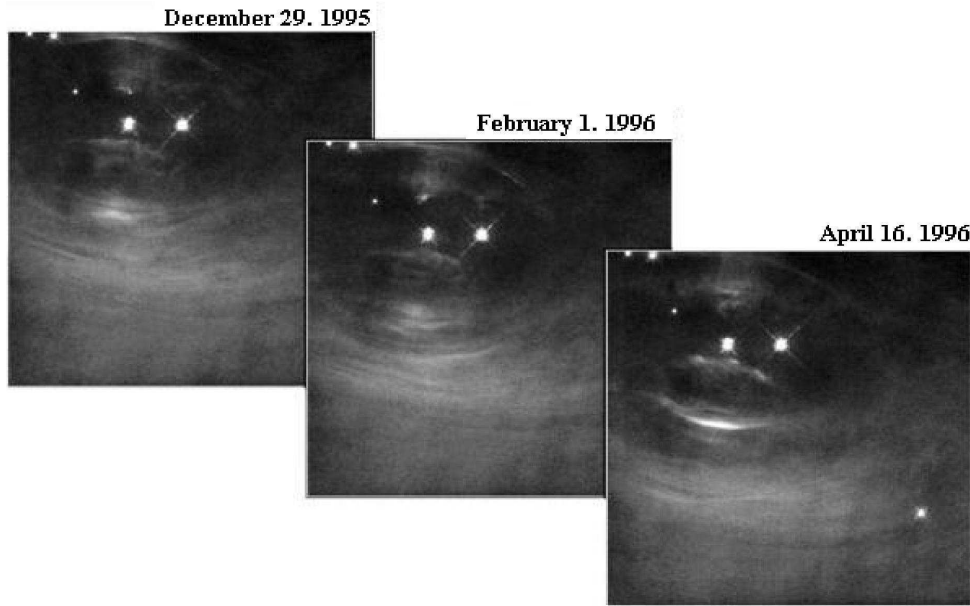
TO QUESTION ON VARIABILITY OF THE CRAB NEBULA'S RADIATION, *by Yu.I. Neshpor, A.V. Zhovtan.* The question of variability of Crab nebula's radiation in two energy ranges, x-ray (range 2–10 KeV) and very high energy gamma-radiating (range  $> 1$  TeV), has been considered. The presence of sinusoidal quasiperiodic variations of x-ray radiating with period a  $P = 862$  d. is shown. Positive correlation of temporary variations, in x-ray and gamma-radiating (HEGRA's data) has been received.

**Ключевые слова:** пульсар, гамма-излучение, черенковские вспышки

---

## 1 Введение

Крабовидная туманность – один из наиболее изученных астрофизических объектов. Спектр излучения туманности исследован в широком диапазоне частот – от радиоволн до гамма-квантов сверхвысоких энергий ( $E > 10^{11}$  эВ). Фотографии Крабовидной туманности (см., например, рис. 1) показывают, что в центральной ее части идут активные процессы. Так, на расстоянии примерно  $\sim 7''$  к северо-западу от двух центральных звездочек, эпизодически появляются светлые жгуты. Жгуты ориентированы перпендикулярно направлению своего движения, а их скорость достигает одной десятой скорости света. Яркость жгута уменьшается, и он исчезает при приближении к области максимальной яркости Крабовидной туманности. Оптическое излучение жгутов почти полностью поляризовано и составляет примерно одну десятую процента от потока излучения всей туманности в оптическом диапазоне. В настоящее время известно, что в центре Крабовидной туманности находится быстро вращающийся пульсар. Радио-, оптическое, рентгеновское и гамма-излучения имеют один и тот же период пульсации 0.033 с. Полная мощность электромагнитного излучения Крабовидной туманности, включая излучение пульсара, составляет  $\sim 10^{38}$  эрг/с. Источником энергии электронов является кинетическая энергия вращения пульсара. Электромагнитное поле низкочастотного излучения пульсара ускоряет заряженные частицы до высоких энергий. Излучение Крабовидной туманности довольно постоянно во времени. Многие исследователи (при современном исследовании



**Рис. 1.** Фотографии центральной области Крабовидной туманности, полученные на космическом телескопе им. Хаббла камерой WFPC2

других источников как в рентгеновском, так и в гамма-диапазонах) поток от Крабовидной туманности используют как стандартную единицу и потоки от других источников приводят в долях потока Крабовидной туманности.

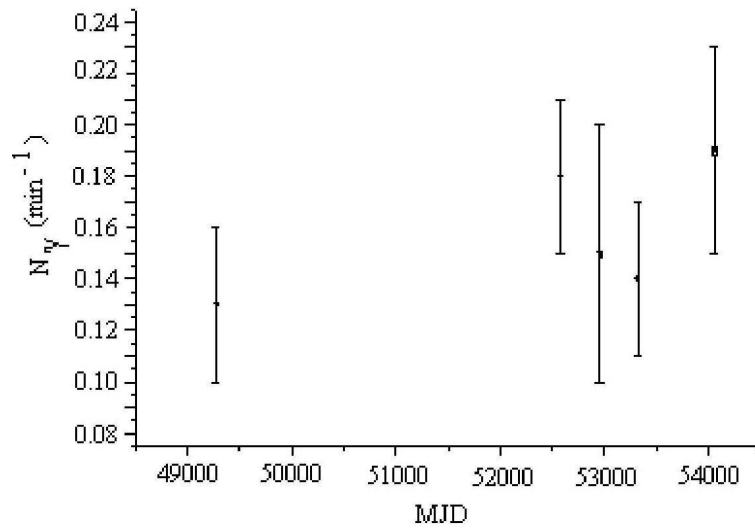
Наблюдения Крабовидной туманности в области сверхвысоких энергий (СВЭ  $E > 10^{11}$  эВ) были начаты очень давно. Первая попытка обнаружить поток гамма-квантов в области энергий  $E \geq 50$  ТэВ (Галбрейт, Джелли, 1955) методом регистрации черенковских вспышек была проделана в 1952 году, но поток обнаружить не удалось. В 1960–1964 гг. длительные измерения потока гамма-квантов в области энергий  $E \geq 5$  ТэВ проводились группой ФИАН (Чудаков и др., 1965). Ими был получен верхний предел потока, равный  $9 \cdot 10^{-12}$  кв. см $^{-2}$  с $^{-1}$ . В дальнейшем многие группы, имеющие гамма-телескопы, регистрирующие черенковские вспышки, проводили наблюдения Крабовидной туманности и получили значимые результаты. Наиболее тщательные наблюдения были проведены (Петри и др., 1996) в области 1 ТэВ, и получена величина потока  $(1.5 \pm 0.2) \cdot 10^{-11}$  кв. см $^{-2}$  с $^{-1}$ . В Крымской астрофизической обсерватории при наблюдениях в 1993 году Крабовидной туманности в диапазоне энергий  $E \geq 10^{12}$  эВ на гамма-телескопе второго поколения ГТ-48 (Владимирский и др., 1994) был зарегистрирован поток  $(1.3 \pm 0.4) \cdot 10^{-11}$  кв. см $^{-2}$  с $^{-1}$  (Калекин и др., 1995), величина которого хорошо согласуется с результатами Петри и др. (1996). В дальнейшем наблюдения на гамма-телескопе ГТ-48 были продолжены, но не каждый год, так как период видимости Крабовидной туманности в КрАО приходится на осенне-зимнее время, когда погодные условия в Крыму самые неблагоприятные, но тем не менее результативные регистрации потока от Крабовидной туманности были получены.

## 2 Результаты наблюдений потока от Крабовидной туманности в области гамма-излучения СВЭ

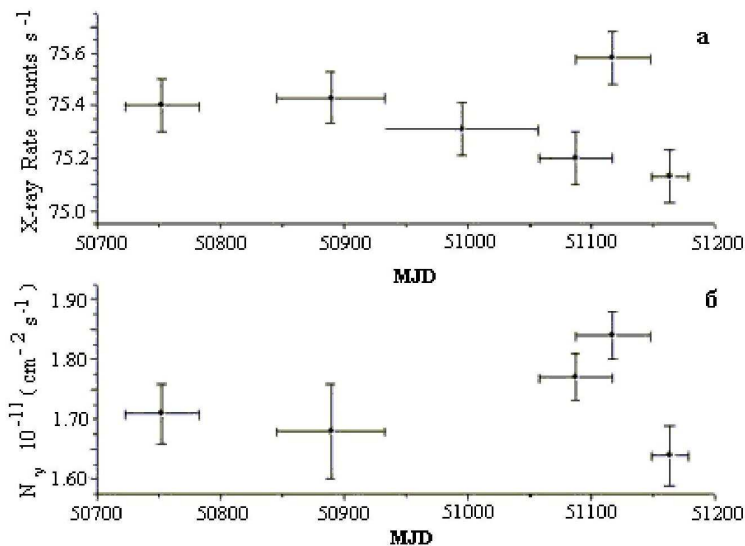
Наблюдения Крабовидной туманности в НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория” были проведены на гамма-телескопе ГТ-48 в период с 1993 по 2006 год. Результаты наблюдений представлены в таблице 1 и на рисунке 2.

**Таблица 1.** Наблюдения Крабовидной туманности в КраО

Период наблюдений	$N_\gamma \text{ мин}^{-1}$	Q	$\Delta t$ мин	MJD
18.10-23.10 1993	$0.13 \pm 0.03$	4.3	507	49279 ÷ 49284
03.11-06.11 2002	$0.18 \pm 0.03$	6.0	540	52582 ÷ 52585
03.11-30.11 2003	$0.15 \pm 0.05$	3.0	360	52947 ÷ 52974
10.11-14.11 2004	$0.14 \pm 0.03$	4.4	210	53320 ÷ 53324
22.10-17.12 2006	$0.19 \pm 0.04$	4.5	420	54031 ÷ 54087



**Рис. 2.** Средние значения гамма-потока  $N_\gamma \text{ мин}^{-1}$  за период наблюдений в данном году



**Рис. 3.** (а) среднее значение рентгеновского потока за период наблюдений гамма-излучения системой HEGRA; (б) среднее значение гамма-потока за период наблюдений системой HEGRA

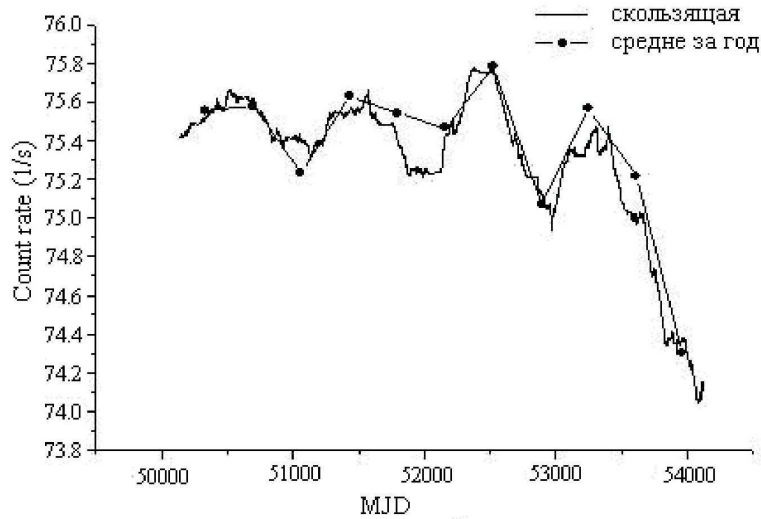


Рис. 4. Зависимость рентгеновского потока от времени

Величина потока выражена числом зарегистрированных в одну минуту гамма-квантов ( $N\gamma$ ) сверхвысоких энергии ( $E \geq 10^{12}$  эВ).  $N\gamma$  — среднее значение за период наблюдений в данном году. Из таблицы 1 и рис. 2 видно, что потоки гамма-квантов СВЭ, измеренные в разные годы в пределах ошибок, совпадают между собой. Это может только указывать на то, что изменения потока в гамма-излучении СВЭ Крабовидной туманности не превышают величину ошибок на довольно большом временном интервале.

Агаронян и др. (2000) Крабовидную туманность наблюдали в 1997 и 1998 годах на стереоскопической системе (HEGRA JACT sistem High-Energay Gamma-Ray Astronomy Imaging Air Cerenkov Teleskop). Результаты этих наблюдений представлены в таблице 2 и на рисунке 3(б). В последней колонке таблицы 2 представлены средние значения потока рентгеновского излучения за периоды, указанные в 1-й колонке (см. рис. 3(а)). Данные о рентгеновском излучении (диапазон 2–10 КэВ) нами были взяты из Интернета (RXTE Guest Observer Facility at Goddard Space Flight Center).

Таблица 2. Наблюдения Крабовидной туманности на стереоустановке HEGRA

Период наблюдений	$J\gamma^*$	Q	$\Delta t$ мин	MJD	X-изл.(1/с)
октябрь-ноябрь 1997	$(1.71 \pm 0.05) \cdot 10^{-11}$	34	858	50723 ÷ 50783	75.40
февраль-март 1998	$(1.68 \pm 0.08) \cdot 10^{-11}$	33	1356	50846 ÷ 50934	75.43
сентябрь-октябрь 1998	$(1.77 \pm 0.04) \cdot 10^{-11}$	44	1572	51058 ÷ 51118	75.20
октябрь-ноябрь 1998	$(1.84 \pm 0.04) \cdot 10^{-11}$	46	1788	51088 ÷ 51148	75.58
декабрь 1998	$(1.64 \pm 0.05) \cdot 10^{-11}$	33	1206	51149 ÷ 51179	75.13

\*  $J\gamma$  кв. см $^{-2}$  с $^{-1}$

X-изл. — скорость счета в секунду

Сопоставляя величины потоков гамма- и рентгеновского излучения за аналогичные периоды наблюдений, приходим к заключению, что за периоды наблюдений октябрь-ноябрь 1997 года и февраль-март 1998 года величины потоков как в рентгеновском диапазоне, так и в гамма-излучении СВЭ заметно не изменяются, а в интервале октябрь-ноябрь 1998 г. имеет место повышенное излучение от Крабовидной туманности в обоих энергетических диапазонах, хотя и незначительное см. рис. 3. Изменение потока в гамма-излучении СВЭ не превышает 6 %, а в рентгене 0.3 % от среднего

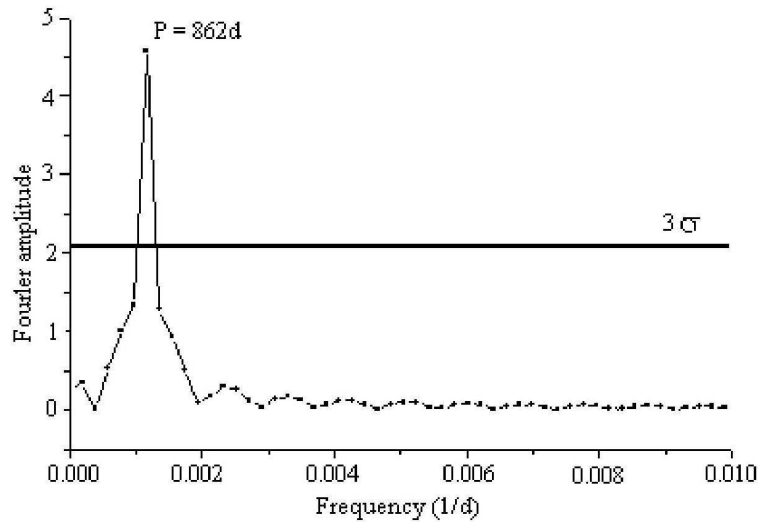


Рис. 5. Спектр мощности

значения за все периоды наблюдений, представленных в таблице 2.

### 3 Рентгеновское излучение

На рисунке 3 приведены данные о рентгеновском излучении за период с 1996 года по 2006 год. По оси ординат отложено число зарегистрированных рентгеновских квантов в одну секунду в диапазоне 2–10 КэВ, а по оси абсцисс юлианский день в единицах MJD. На рис. 4 представлены сглаженные среднегодовые значения потока рентгеновского излучения (2–10 КэВ) методом смежной составляющей. По сути дела, это аналог скользящему сглаживанию (скользящая кривая, тонкая сплошная линия). На рис. 4 также приведены средние значения рентгеновского потока за один год (черные кружочки). Для наглядности черные кружочки соединены жирной линией. Скользящая кривая очень хорошо описывает среднегодовые значения потока. На рис. 4 просматриваются синусоидальные квазипериодические вариации с периодом около 900 дней и с амплитудой около одного процента от среднего значения за весь период регистрации рентгеновского излучения (1996–2006 гг.).

Отметим некий спад рентгеновского потока после 2005 года. Затем, методом Фурье-анализа в диапазоне периодов  $P = (800\text{--}1000)$  дней был построен спектр мощности (рис. 5). Фурье-анализ производился для усредненных за одни сутки данных. Спектр мощности характеризуется значительным и единственным пиком на частоте  $f = (1/862) \text{ d}^{-1}$ , который значительно превышает уровень в  $3\sigma$  (горизонтальная прямая). На рис. 6 представлена световая кривая (изменение рентгеновского потока с фазой) для периода  $P = 862 \text{ d}$ , при этом весь период был разбит на 10 равных фазовых интервалов. Нулевое значение фазы соответствует  $\text{MJD} = 50135.5$ . Световая кривая имеет вид искаженной синусоиды (половина периода) с явно выраженным максимумом и полушириной, примерно равной половине периода. Характер распределения рентгеновского потока по фазе периода (рис. 6) хорошо согласуется с долговременными изменениями рентгеновского излучения (рис. 4).

### 4 Заключение

Наблюдения Крабовидной туманности на ГТ-48 в течение ряда лет, а также результаты наблюдений системой XMM-Newton и данные о рентгеновском излучении за период октябрь-ноябрь 1997 года и февраль-март 1998 года показывают, с одной стороны, что потоки рентгеновского и гамма-излучения СВЭ практически не изменяются. Но с другой стороны, анализ данных о рентгеновском

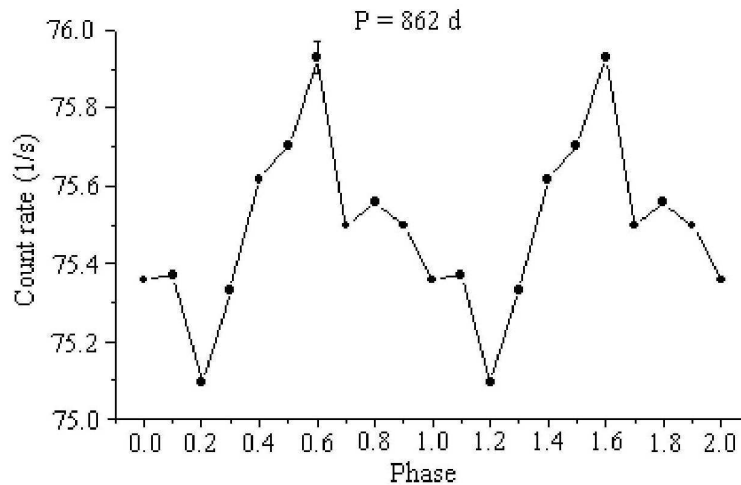


Рис. 6. Зависимость рентгеновского потока от фазы периода  $P = 862d$

излучении (диапазон 2–10 КэВ) за последние десять лет показывает существование периодических колебаний с периодом  $P = 862 d$  с амплитудой изменения потока не более 1 %. Это противоречие можно объяснить тем, что такие медленные изменения (период 862 d) можно обнаружить лишь при непрерывных длительных (более нескольких лет) измерениях рентгеновского потока.

Использование данных наблюдений Крабовидной туманности стереоскопической системой XMM-Newton с октября 1998 г. по декабрь 1998 г. и сравнение их с данными по рентгену за тот же период времени показало наличие всплеска излучения в обоих энергетических диапазонах в одно и то же время, что позволяет считать эти вариации реальными, несмотря на малость этих изменений относительно среднего уровня (в гамма-излучении СВЭ  $\sim 6\%$ , в рентгене (2–10 КэВ)  $\sim 0.3\%$ ). Факт совпадения по времени вариаций излучения в двух энергетических диапазонах лишь один раз подтверждает единую природу излучения Крабовидной туманности, а именно: источником рентгеновского и гамма-излучений СВЭ является одна и та же популяция ультрарелятивистских электронов, ускоренных на ударных волнах пульсара (Агоронян и др., 2000).

## Литература

- Агоронян и др. (Agharonyan F.A., Akhperjanian A.G., Barrio J.A. et al.) // *Astroph. J.* 2000. V. 539. P. 317.
- Владимирский Б.М., Зыскин Ю.Л., Корниенко А.П. и др. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1994. Т. 91. С. 74.
- Галбрейт, Джелли (Galbraith W., Jelley J.V.) // *J. Atmosph. Terr. Phys.* 1955. V. 6. P. 250.
- Калекин О.Р., Нешпор Ю.И., Степанян А.А. и др. // *Письма в Астрон. журн.* 1995. Т. 23. С. 184.
- Петри и др. (Pettry D. et al.) // *Astron. Astrophys.* 1996. V. 311. L. 13.
- Чудаков А.Е., Дадыкин В.Л., Зацепин В.И., Нестерова Н.М. // *Труды ФИАН.* 1965. Т. 26. С. 118.
- RXTE 2006. "ASM/RXTE quick-look results." <http://space.mit.edu/XTE/asmlc/ASM.html>