

УДК 524.7

К вопросу о спектрах излучения

Ю.И. Нешпор, А.В. Жовтан

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория” КНУ им. Т. Шевченко, Научный,
АР Крым, Украина, 98409
neshpor@crao.crimea.ua

Поступила в редакцию 26 ноября 2013 г.

Аннотация. На основании анализа опубликованных данных наблюдений внегалактических и галактических источников в разных диапазонах энергий делается заключение, что должен существовать такой механизм генерации излучения, при котором увеличение потока происходит только в узком диапазоне энергий, причем частицы более высоких энергий ускоряются более эффективно.

TO THE QUESTION OF RADIATION SPECTRA, *by Yu.I. Neshpor, A.V. Zhovtan.* Based on the analysis of published observed data of the extragalactic and galactic sources in different energy ranges it was concluded that there must exist such a mechanism of radiation generation under which the increase of the flux occurs in narrow energy range only, moreover particles with higher energy are accelerated more effectively.

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

1 Введение

При наблюдениях в сентябре–октябре 1993 г. на гамма-телескопе ГТ-48 (Владимирский и др., 1994) области в Лебедь был зарегистрирован поток гамма-квантов сверхвысокой энергии (СВЭ) с высокой достоверностью (7 ст. откл.) от нового объекта. Этому источнику, расположенному вблизи рентгеновского источника Суг Х-3, было дано название Суг γ -2 (Нешпор и др., 1995). Спустя 10 лет, в 2003 году на 28-й Международной конференции по космическим лучам было сделано сообщение о регистрации потока гамма-квантов СВЭ от объекта Суг γ -2 (Суг OB2) при наблюдениях группой HEGRA в период 1999–2002 гг. (Роуэлл, Хорнс, 2003). Анализ результатов наблюдений области Лебедь в период 1989–1990 гг., проведенных в обсерватории Whipple, также показал наличие потока гамма-квантов СВЭ от объекта Суг γ -2 (Ленг и др., 2004). Этот гамма-источник СВЭ интересен еще и тем, что остается до настоящего времени неидентифицированным объектом. Суг γ -2 расположен в области чрезвычайно активного звездообразования в созвездии Лебедь, содержащей большое количество рентгеновских источников и источников низкоэнергетического гамма-излучения, тем не менее этот объект не имеет “дублеров” в других диапазонах энергий, их нет даже в рентгеновском диапазоне. К настоящему времени таких неидентифицированных источников, причем и в других диапазонах энергий, обнаружено достаточно много.

2 Неидентифицированные объекты

В статье (Ванденбрук, 2010) приводятся данные на ноябрь 2010 года для различных зарегистрированных гамма-источников в GeV ($E_\gamma > 10^8$) и TeV ($E_\gamma > 10^{11}$) диапазонах (табл. 1).

Таблица 1. Гамма-источники

№	Source class полное название	сокращен.	GeV sources		TeV sources	
			число	%	число	%
1	Unidentified	Un – den	630	43	26	30
2	AGN: BL Lac blazars	AGN BL Lac	295	20	23	27
3	AGN: Flat-spectrum radio quasar (FSRO) blazars	FSRO	278	19	1	1.2
4	AGN: non-blazar	AGN n-bl	28	1.9	2	2.3
5	AGN: uncertain type	AGN unc-t	92	6.3	0	0
6	Pulsars	Puls	63	4.3	0	0
7	Shell-type supernova remnants	St sr	44	3.0	10	11.6
8	Pulsar Wind Nebulae (PWN)	PWN	5	0.34	18	21
9	Globular clusters	Gl – cl	8	0.55	0	0
10	X-ray binaries	X-binar	3	0.20	3	3.5
11	Starburst galaxies	Star-g	2	0.14	2	2.3
12	Normal galaxies	NG	2	0.14	0	0
13	Wolf-Rayet stars	W R S	0	0.00	1	1.1
Total			1451		86	

В табл. 1 приводятся общее и относительное число объектов для определенного типа галактик, для которых имелись в литературе данные о потоках в том или ином диапазоне энергий в тевном (TeV) или в гевном (GeV).

Из табл. 1 и рис. 1 видно, что неидентифицированные объекты наблюдаются в обоих диапазонах и их относительное число различается всего в 1.5 раза. В гевном диапазоне зарегистрировано 1450 объектов, из них неидентифицированных 630, то есть почти половина. В тевном диапазоне зарегистрировано 86 различных объектов, из них 30 % неотожествленных, то есть каждый третий зарегистрированный объект в области сверхвысоких энергий неидентифицированный.

Для активных ядер галактик, типа Лацертид, относительное число зарегистрированных объектов в обоих диапазонах практически одно и то же. Радиоквезары с плоским спектром практически не излучают в тевном диапазоне – их всего 1.2 %, в то время как в гевном диапазоне 19 % (возможно, в тевном диапазоне их и не пытались наблюдать). Объекты Pulsar Wind Nebulae (PWN) составляют 20 % в тевном диапазоне и всего лишь 0.3 % в гевном диапазоне, то есть вероятность того, что будут зарегистрированы потоки от PWN в тевном диапазоне в 70 раз больше, чем в гевном. Оболочки остатков сверхновых (St sr), вероятно, светят в тевном диапазоне чаще, чем в гевном.

Наличие неидентифицированных объектов в гевном диапазоне, и особенно в тевном, может указывать на то, что механизмы излучения очень сложные. Если довольно просто можно объяснить тот факт, что объект излучает в гевном диапазоне и нет потока в тевном, просто спектром, потому что все известные механизмы излучения дают падающий спектр. Возникает вопрос, каким образом наблюдается излучение в тевном диапазоне и нет излучения в гевном диапазоне и более мягких диапазонах (оптики, радио, рентген). В радиодиапазоне тоже имеются неидентифицированные объекты, так, из 370 объектов (квезары, лацертиды, радиогалактики) 42 радиоисточника оптически неотожествленные (Пушкарев, 2012); по-видимому, есть неидентифицированные объекты в оптическом и рентгеновском диапазонах. 24 из 63 пульсаров, обнаруженных Космическим гамма-телескопом Ферми (*Fermi Gamma-ray Space Telescope*; Ванденбрук, 2010), от которых было впервые зарегистрировано гамма-излучение, но не обнаружено радиоизлучение, хотя проводились

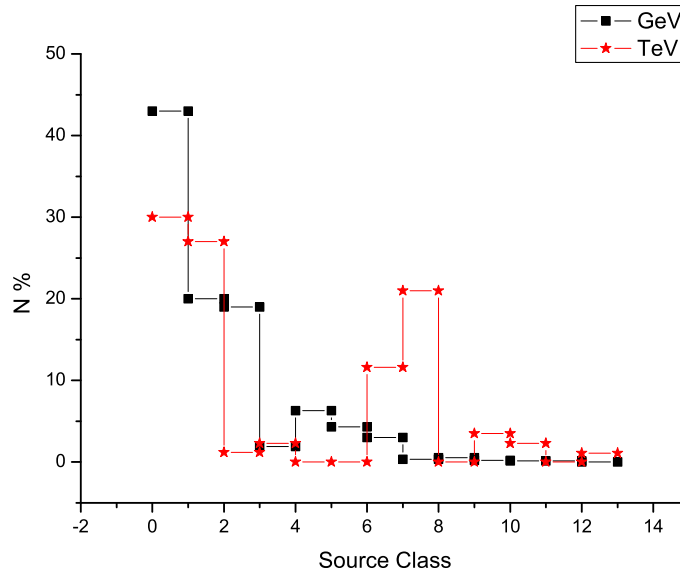


Рис. 1. Относительное число источников данного класса

тщательные наблюдения в радиодиапазоне. Таким образом, приходим к заключению, что должен существовать такой механизм излучения, при котором происходит увеличение потока в узком диапазоне энергий.

3 Показатель спектра излучения

В области сверхвысоких энергий с увеличением светимости (активности) Лацертид показатель дифференциального спектра α убывает (табл. 2). В среднем, при увеличении светимости Лацертид на один порядок показатель дифференциального спектра уменьшается на 0.52 ± 0.08 , т. е. эффект уменьшения α наблюдается с очень высокой достоверностью (6.5 стандартных отклонения). Таким образом, с увеличением активности Лацертид спектр гамма-излучения СВЭ становится более жестким.

Таблица 2. Показатель спектра Лацертид

Имя	Тип	Z	LogL(эрг/с)	alpha
M87	FRI	0.0044	41.8	2.6 ± 0.40
			42.3	2.2 ± 0.20
Mkn 421	HBL	0.030	45.0	3.0 ± 0.20
			45.5	2.06 ± 0.03
Mkn 501	HBL	0.034	44.5	2.45 ± 0.07
			45.4	2.09 ± 0.03
1ES2344+514	HBL	0.044	44.0	2.9 ± 0.20
			45.3	2.5 ± 0.20
1ES1959+650	HBL	0.047	44.3	2.7 ± 0.10
			45.0	1.8 ± 0.20
PKS2155-304	HBL	0.116	44.1	3.4 ± 0.10
			46.8	2.7 ± 0.10

30 апреля 2009 года в обсерватории VERITAS зарегистрировали вспышку гамма-излучения СВЭ от активного ядра галактики Mkn 501, которая продолжалась пять дней. Эта вспышка гамма-излучения СВЭ интересна тем, что величина вариации потока возрастала с увеличением энергии, т. е. спектр во время возмущения становился более пологим. Так, при изменении потока на $E = 1$ TeV в три раза, спектр изменился от $\alpha = 2.58 \pm 0.08$ до $\alpha = 2.31 \pm 0.08$ (Конопелько, 2009).

Космический гамма-телескоп Ферми 28 июня 2011 года зарегистрировал высокое состояние галактики BL Lac (Гаспаррини, 2011), поток $F(E > 100 \text{ МэВ}) = 0.55 \cdot 10^{-6} \text{ ph/cm}^2 \text{ s}$ возрос в 3 раза относительно среднего потока по данным второго каталога Fermi-Lat. При этом спектр гамма-излучения ВЭ (power-law index) $\alpha = 1.70 \pm 0.15$ наблюдался более жестким по сравнению со средним спектром $\alpha = 2.37 \pm 0.04$ по данным каталога 1FG при спокойном состоянии.

На Ратане-600 (Мингалиев и др., 2012) с 6 октября по 20 ноября 2012 года наблюдали внегалактический гамма-источник BL Lac на частотах 4.8, 7.9, 11.2 и 21.7 ГГц. Наблюдения показали, что радиопоток на более высоких частотах возрастал со временем более эффективно. В интервале радиочастот 11.2–21.7 ГГц спектральный индекс радиоизлучения изменился с $\alpha = -0.08 \pm 0.02$ до $\alpha = +0.23 \pm 0.02$. Таким образом, во время возмущения наклон спектра радиоизлучения изменился на противоположный.

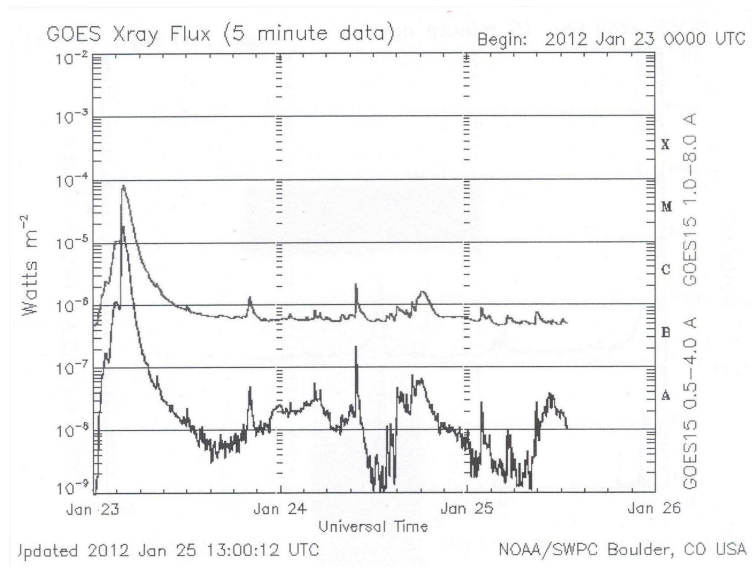


Рис. 2. Рентгеновское излучение солнечной вспышки 25 января 2012 года

Аналогичное явление наблюдается во время солнечных вспышек в рентгеновском диапазоне. Центр прогнозов космической погоды (*Space Weather Prediction Center*) публикует пятиминутные данные потоков солнечного рентгеновского излучения в двух диапазонах: $(0.5 \div 4.0) \text{ \AA}$ и $(1.0 \div 8.0) \text{ \AA}$ (рис. 2). Из этих публикаций следует, что практически во время всех солнечных вспышек, если поток X-излучения в диапазоне $(0.5 \div 4.0) \text{ \AA}$ изменялся относительно спокойного уровня на три порядка, то в диапазоне $(1.0 \div 8.0) \text{ \AA}$ всего лишь на два порядка. На аналогичное явление в солнечных вспышках было указано еще в шестидесятые годы прошлого столетия (Нешпор, 1963). В работе было показано, что некоторые солнечные вспышки характеризуются довольно значительным увеличением интенсивности рентгеновского излучения в коротковолновой области $(0.1 \div 1.0) \text{ \AA}$.

В спектральном плане интересен также такой объект, как Геминга (расстояние 160 пк) – один из самых загадочных астрофизических объектов. В данных наблюдениях спутника SAS-2 1972–1973 гг. в области энергий МэВ была обнаружена периодическая составляющая 59 с (Томсон и др.,

1977). По данным ROSAT в рентгеновском излучении источника Геминга были найдены пульсации с периодом 0.237 с (Галперн и Холт, 1992). Анализ данных наблюдений на гамма-телескопе ГТ-48 в 1996–1997 гг. показал наличие периодических составляющих с периодами 59 с и 0.237 с (Нешпор, 2003) в гамма-излучении СВЭ. Прежде всего он интересен тем, что в гамма-диапазоне ВЭ ($E > 10^8$) излучает на 3 порядка больше, чем в рентгене, на 6 порядков больше, чем в оптике, на 9 порядков больше, чем в радио и только на один порядок больше, чем в гамма СВЭ (табл. 3 и рис. 3) Таким образом, можно сказать, спектр излучения Геминга возрастающий, с максимумом в области гамма ВЭ ($E_\gamma > 10^8$ эВ), и значительно отличается от спектра Крабовидной туманности.

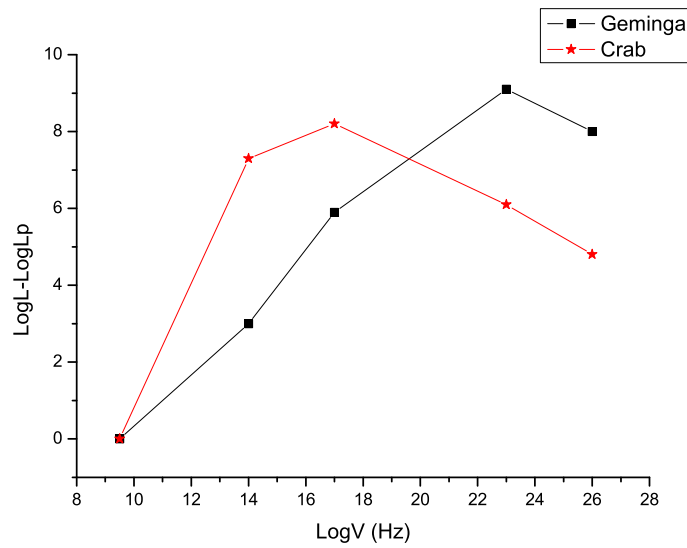


Рис. 3. Спектр Геминги и Крабовидной туманности

Таблица 3. Мощность излучения

Пульсар	Расстояние (ПК)	Радио (эрг/с) $\log L_R$	Оптика (эрг/с) $\log L_{\text{опт}}$	X-излуч. (эрг/с) $\log L_X$	Гамма ВЭ (эрг/с) $\log L_\gamma$	Гамма СВЭ (эрг/с) $\log L_C$	Полные потери (эрг/с) $\log E$	Возраст (log t)
Geminga	160	24.7	27.7	30.6	33.8	32.7	34.5	5.04
Crab	2000	29.2	36.5	37.4	35.3	34.0	38.7	2.96

L_γ – мощность гамма-излучения ВЭ, L_C – мощность гамма-излучения СВЭ.

4 Заключение

В заключение отметим, что, с одной стороны, активные ядра галактик (лацертиды) излучают в широком диапазоне энергий, спектр излучения двугорбый, хорошо описывается теоретически и подтверждается экспериментальными данными (рис. 4). Низкочастотный максимум в области мягкого рентгена, высокочастотный в области гамма ВЭ. Радио, оптика и мягкий рентген объясняются

синхронным излучением релятивистских электронов в магнитном поле джета. Жесткий рентген и гамма излучение ВЭ и СВЭ возникают в результате комптоновского взаимодействия релятивистских электронов с оптическим излучением (обратный комптон-эффект). Рассеяние происходит на фотонах, излучаемых релятивистскими электронами в магнитном поле джета.

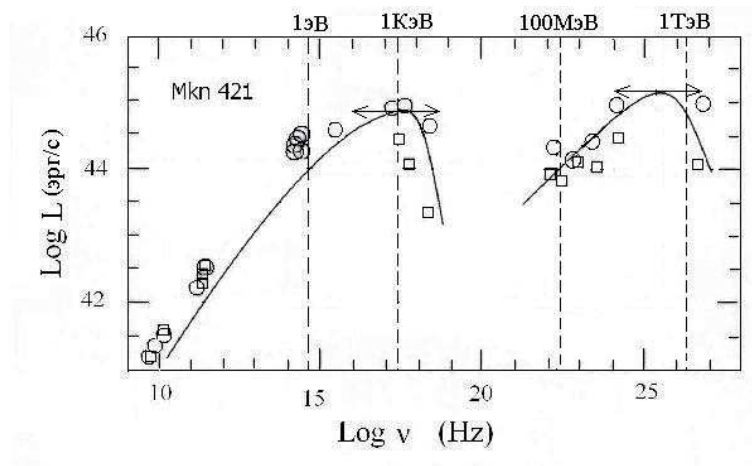


Рис. 4. Спектр активного ядра галактики Mkn 421

С другой стороны, во время некоторых возмущений генерация излучения происходит в относительно узком диапазоне энергий, т. е. должен существовать такой механизм, который обеспечивает излучение только в гамма-диапазоне высоких или сверхвысоких энергий, причем частицы более высоких энергий ускоряются более эффективно.

Такой вывод, как нам кажется, поддерживается предварительными результатами наблюдений на радиоастроне. Юрий Ковалев (старший научный сотрудник ФИАН) в своем интервью телевизионному каналу “Россия 24” отмечает, что полученные результаты (отнаблюдали в течение одного года 60–70 активных ядер галактик на расстоянии не более 10 Мпк) расходятся с теорией образования коллимированных очень узких струй, которые (по современной теории) состоят из быстрых электронов и излучают. Однако мы знаем, что в этом случае мы не должны ожидать яркость излучения выше определенного уровня, а в рамках эксперимента “Радиоастрон” вроде бы нам удастся измерить яркость намного выше, чем предсказывает теория. Это требует переработки теории образования релятивистских струй, возможно, там играют главную роль релятивистские протоны.

Литература

- Ванденбрук (Vandenbroucke J.) // For the Fermi Lat collaboration. 2010. arXiv: 1012.0849V2 [astro-ph.HE].
- Владимирский Б.М., Зыскин Ю.Л., Корниенко А.П. и др. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1994. Т. 91. С. 74.
- Галперн и Холт (Halpern J.P. and Holt S.S.) // Nature. 1992. V. 357. P. 222.
- Гаспаррини (Gasparrini D.) // The Astronomer’s Telegram ATel #3462. <http://www.astronomerstelegram.org/?read=3462>.
- Конопелько // arXiv: 0912. 3772 V2 [astro-ph. HE]. 2009.
- Ленг и др. (Lang M.J., Carter-Lewis D.A., Fegan D.J., et al.) // Astron. Astrophys. 2004. V. 423. N. 2. P. 415.
- Мингалиев и др. (Mingaliev M., Trushkin S., Sotnikova J., et al.) // The Astronomer’s Telegram ATel #4600. <http://www.astronomerstelegram.org/?read=4600>.
- Нешпор Ю.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2003. Т. 99. С. 49.

Нешпор Ю.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1963. Т. 29. С. 152.

Нешпор и др. (Neshpor Yu.I., Kalekin O.R., Stepanian A.A., et al.) // Proc. 25th ICRC. Rome. Italy. 1995. V. 2. P. 385.

Пушкарев (Pushkarev A.B., Kovalev Y.Y.) // arxiv: 1205. 5559 V 2 [astro-ph. CO]. 2012.

Роуэлл, Хорнс (Rowell G., Horns D.) // 28th International Cosmic Ray Conference. 2003. P. 2345.

Томсон и др. (Thompson D.J., Fichtel C.E., Hartman R.C.) // Astrophys. J. 1977. V. 213. P. 252.