

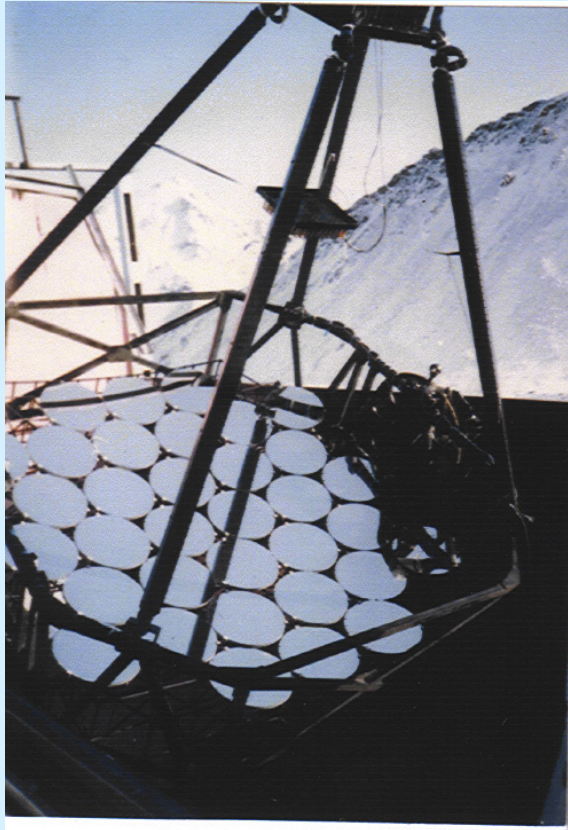
**Эксперимент ШАЛОН в ТэВ-ной
гамма-астрономии и нейтринной астрофизике
сверхвысоких энергий метагалактических и
галактических источников**

В.Г. Синицина

Лаборатория Гамма-Астрономии Сверхвысоких Энергий

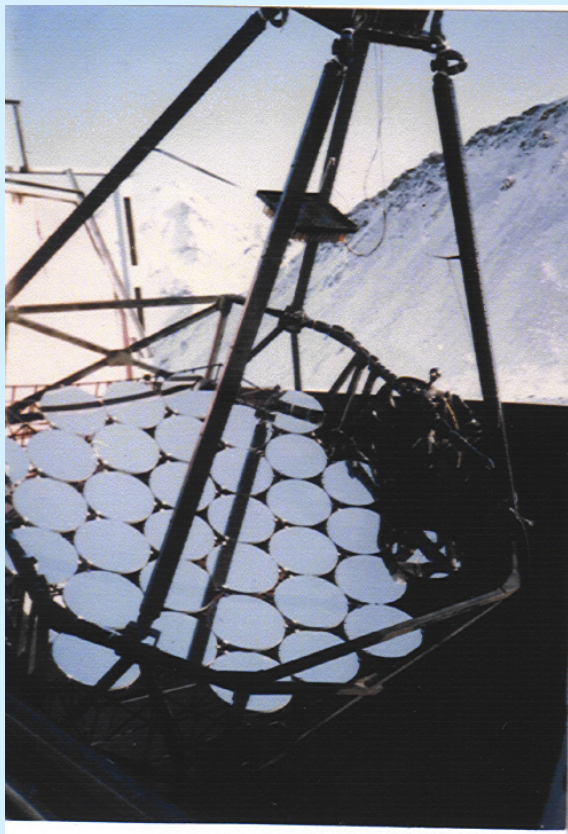
Отделение Ядерной Физики и Астрофизики

Физический институт им. П.Н. Лебедева, РАН



ПОИСК И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕРХВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

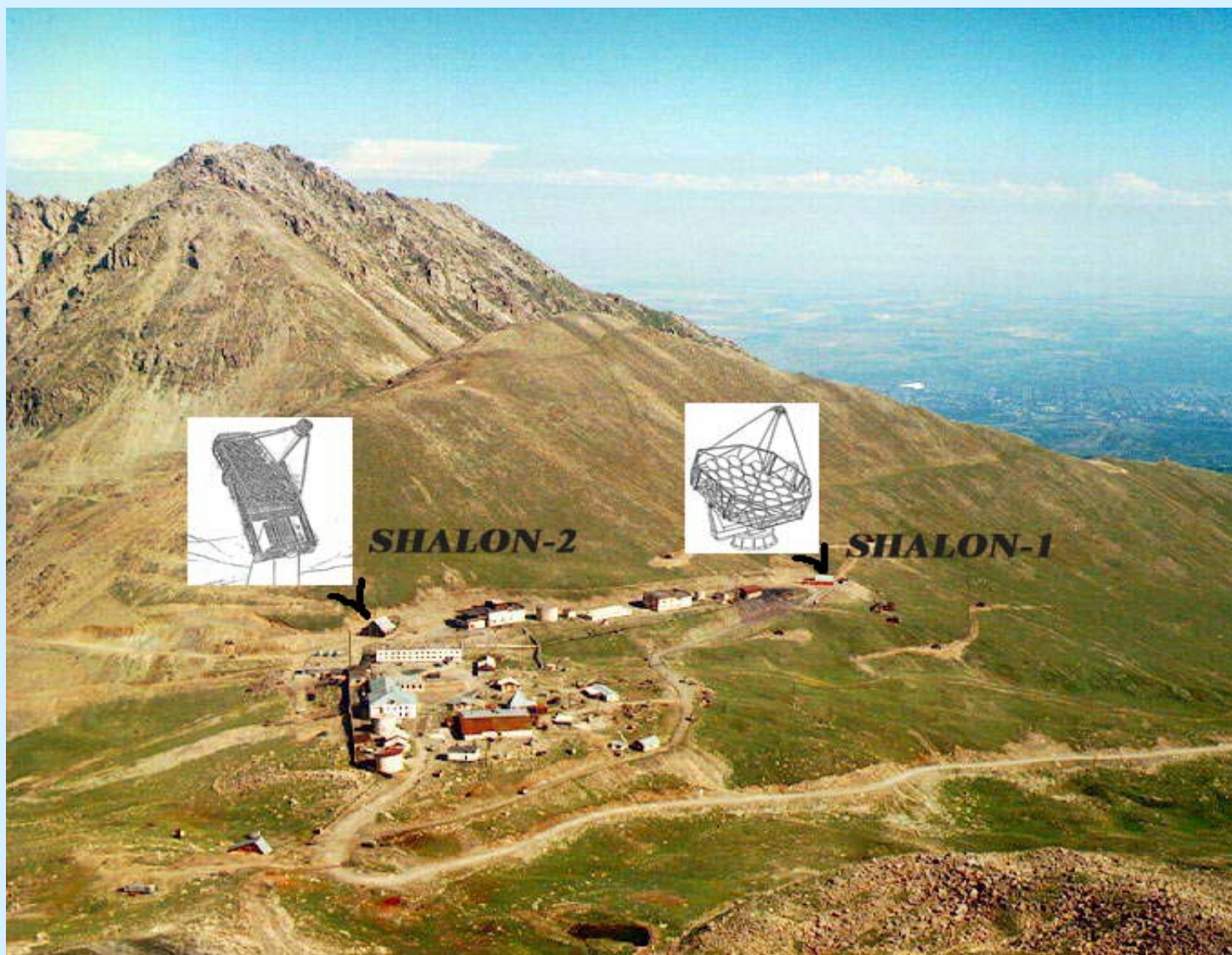
Физический институт им. П.Н. Лебедева, РАН

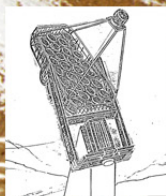


В современной физике и астрофизике всё большее значение приобретают исследования галактических и метagalactic объектов, где реализуются процессы ускорения протонов и ядер, сопровождающиеся генерацией гамма-квантов и нейтрино, которые не рассеиваются в магнитных полях Вселенной.

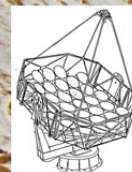
Эти исследования ведутся на зеркальном телескопе ШАЛОН Тянь-Шаньской высокогорной станции. Созданный в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН и установленный в горах Алатау на высоте 3338 м над уровнем моря. Зеркальный телескоп ШАЛОН с площадью зеркал $\sim 11,2 \text{ м}^2$ и имидж-матрицей из 144 фотоумножителей с общим углом обзора $> 8^\circ$ с 1992 года, использовался для наблюдений метagalactic источников Mkn 421, Mkn 501, Mkn 180, NGC 1275, SN2006gy, 3C454.3, 1739+522 и галактических источников Крабовидная туманность, Лебедь X-3, Тихо Браге, Геминга. Продолжаются работы по поиску локальных источников нейтрино с энергией $10^{13} - 10^{16} \text{ эВ}$ по широким атмосферным ливням, генерируемым в горных хребтах (аббревиатура ШАЛОН – широкие атмосферные ливни от нейтрино).







SHALON 2



SHALON 1

VHE Experimental World



Paula Chadwick,
ECRS 2006

Table. Current Cherenkov telescope system (2009)

Group	Location	Latitude	Longitude	Height	Telescopes	Threshold (TeV)	Start
SHALON	Russia	43°N	77°E	3340m	11.2m ² ×2	0.8	1992
TACTIC	India	25°N	73°E	1300m	9.5m ² ×4	1	2000
CANGAROO-III	Australia	31°S	137°E	160m	57m ² ×4	0.2	2004
HESS	Namibia	23°S	16.5°E	1800m	107m ² ×4	0.1	2004
MAGIC	Canary Is.	29°N	18°W	2200m	237m ² ×1	0.07	2004
VERITAS	Arisona	32°N	111°W	1268m	110m ² ×4	0.1	2007

International Workshop on
Advances in Cosmic Ray Science

M.Mori, J. Phys.
Soc. Jpn. **78** (2009)
Suppl. A, pp. 78-83

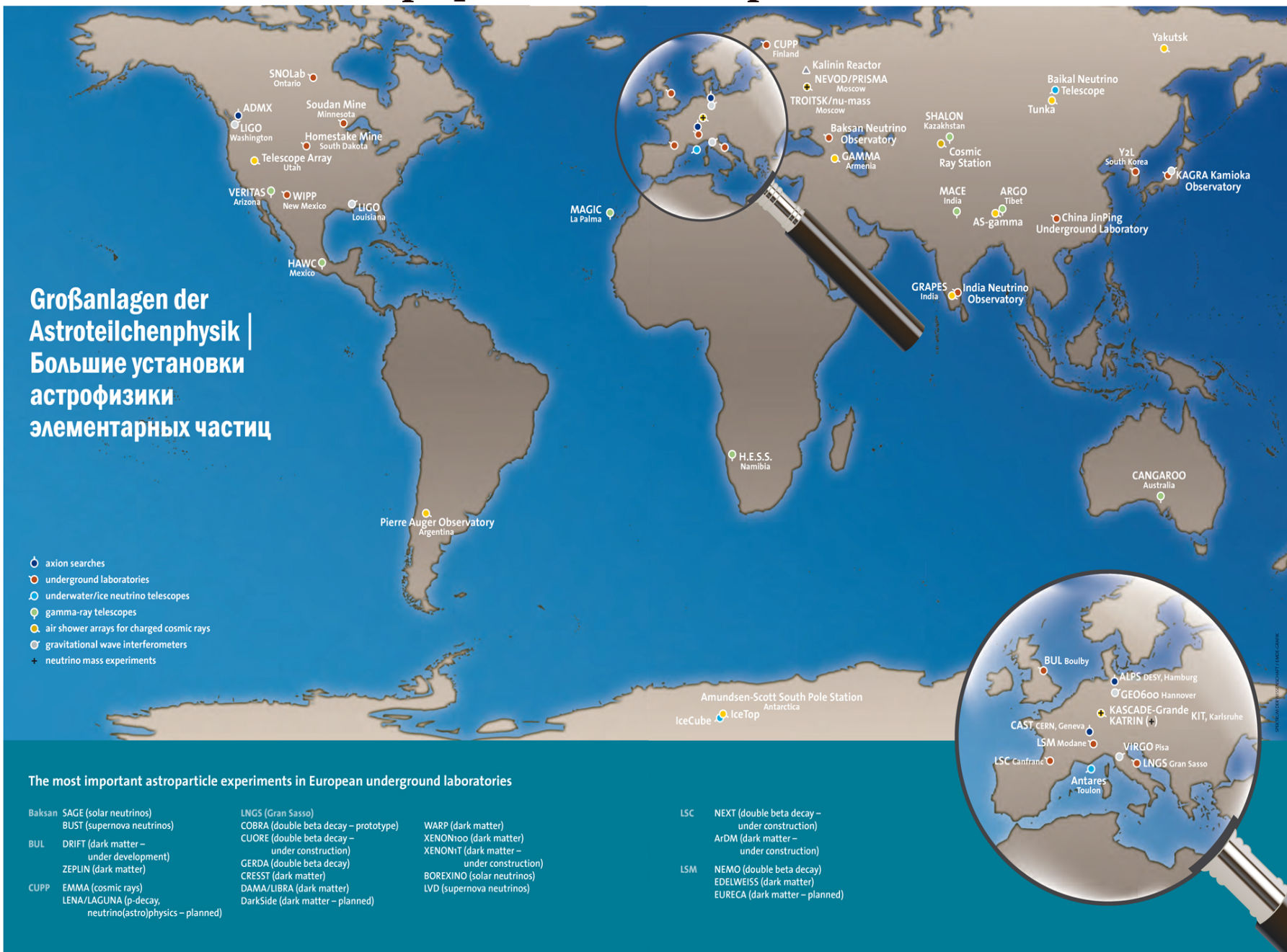
Астрофизика элементарных частиц

Großanlagen der Astroteilchenphysik | Большие установки астрофизики элементарных частиц

- axion searches
- underground laboratories
- underwater/ice neutrino telescopes
- gamma-ray telescopes
- air shower arrays for charged cosmic rays
- gravitational wave interferometers
- + neutrino mass experiments

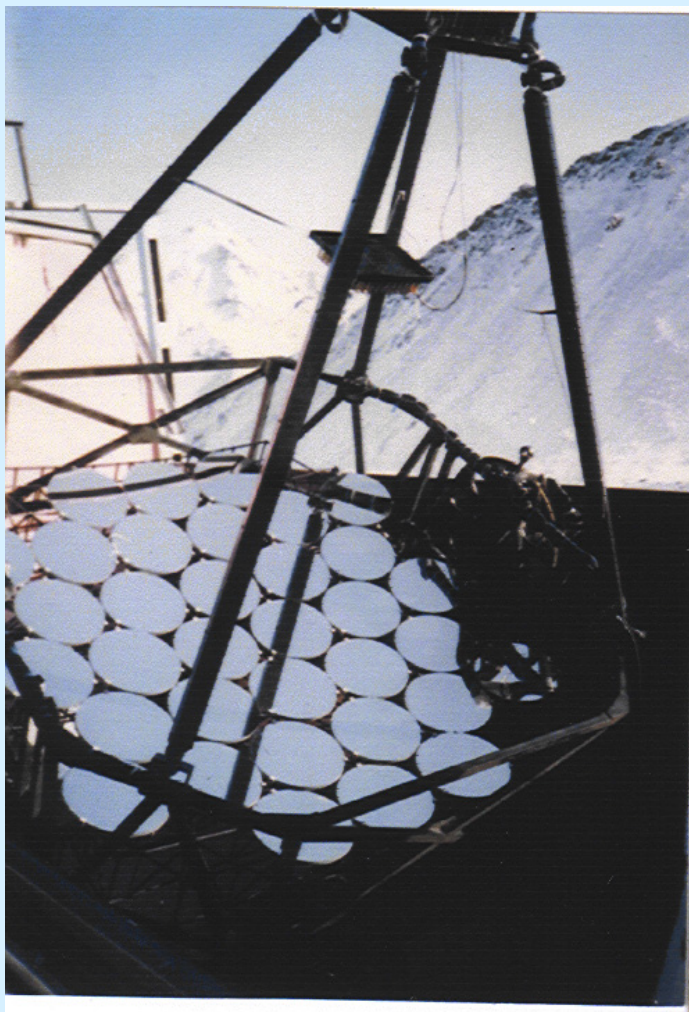
The most important astroparticle experiments in European underground laboratories

Baksan SAGE (solar neutrinos)	LNGS (Gran Sasso)	WARP (dark matter)	LSC
BUST (supernova neutrinos)	COBRA (double beta decay – prototype)	XENONhoo (dark matter)	NEXT (double beta decay – under construction)
BUL DRIFT (dark matter – under development)	CUORE (double beta decay – under construction)	XENONiT (dark matter – under construction)	ArDM (dark matter – under construction)
ZEPLIN (dark matter)	GERDA (double beta decay)	BOREXINO (solar neutrinos)	LSM
CUPP EMMA (cosmic rays)	CRESST (dark matter)	LVD (supernova neutrinos)	NEMO (double beta decay)
LENA/LAGUNA (p-decay, neutrino(astro)physics – planned)	DAMA/LIBRA (dark matter)		EDELWEISS (dark matter)
	DarkSide (dark matter – planned)		EURECA (dark matter – planned)



ВЫСОКОГОРНАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ШАЛОН АЛАТОО

Зеркальный гамма-телескоп ШАЛОН является единственным действующим гамма-телескопом Российской Федерации и одной из четырёх телескопических установок в северном полушарии ведущих исследования в ТэВ-ной области энергий.



- Площадь сферического зеркала 11.2 м^2
- Радиус кривизны зеркала 8.5 м
- Углы поворота зеркала:
 - азимутальный $0^\circ\text{-}360^\circ$
 - зенитный $0^\circ\text{-}110^\circ$
- Точность наведения главной оси $\leq 0.1^\circ$
- Число фотоумножителей $144 (12 \times 12)$
- Угол обзора $> 8^\circ$
- Вес 6 тонн
- Альт-азимутальная монтировка

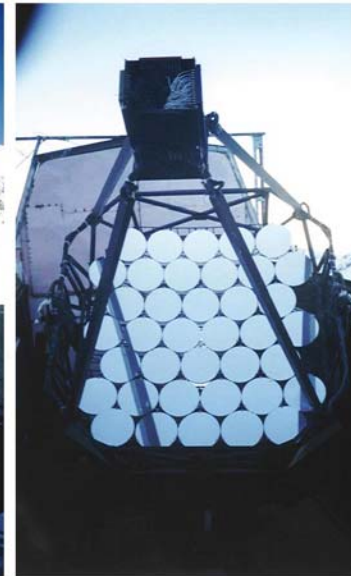
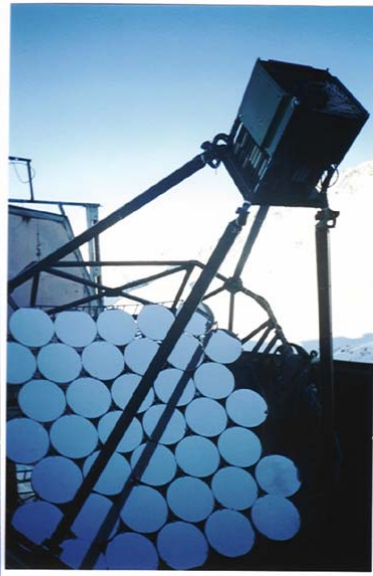
По переданной в Индию технической документации телескопа ШАЛОН в Атомном исследовательском центре им. Баба изготовлено несколько подобных телескопов для вновь открытой обсерватории, на одном меридиане с перевалом Джусалы-Кизень.



ВЫСОКОГОРНАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ШАЛОН АЛАТОО

Зеркальный гамма-телескоп ШАЛОН является единственным действующим гамма-телескопом Российской Федерации и одной из четырёх телескопических установок в северном полушарии ведущих исследования в ТэВ-ной области энергий.

- Площадь сферического зеркала 11.2 м²
- Радиус кривизны зеркала 8.5 м
- Углы поворота зеркала:
 - азимутальный 0°-360°
 - зенитный 0°-110°
- Точность наведения главной оси $\leq 0.1^\circ$
- Число фотоумножителей 144 (12x12)
- Угол обзора $> 8^\circ$
- Вес 6 тонн
- Экваториальная монтировка

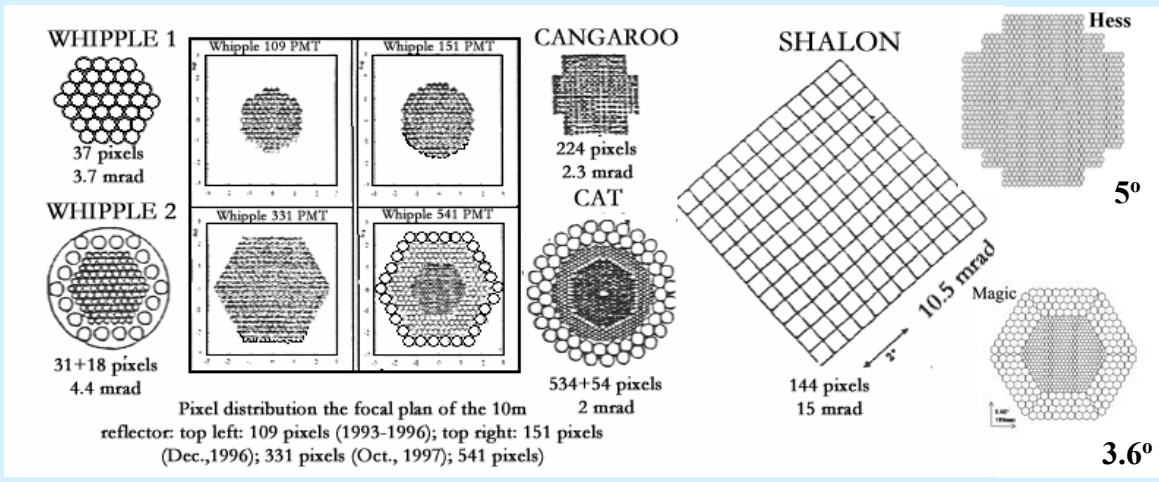


ШАЛОН-1



ШАЛОН-2

Светоприёмник имеет наибольшие в мире угловые размеры $>8^\circ$. Это позволяет вести контроль фона от заряженных частиц космического излучения и прозрачности атмосферы непрерывно, в процессе наблюдений, а также расширяет площадь наблюдения и, следовательно, эффективность наблюдений. Методика одновременного получения информации о фоне космических лучей и ливнях, инициированных гамма-квантами является уникальной и применяется в эксперименте ШАЛОН с самого начала его работы. Эта методика служит увеличению полезного времени слежения за источником, при этом, что особенно важно, условия наблюдения источника и фона, такие как толщина и состояние атмосферы остаются одинаковыми.



Такой способ недоступен другим гамма-астрономическим экспериментам из-за меньшего поля зрения используемых в мире телескопов. Кроме того, широкий угол обзора позволяет записывать полностью, и практически без искажений, нецентральные ливни, приходящие на расстояниях более 30 м от оси телескопа, количество которых составляет более 90% от всех, регистрируемых телескопом.



Направление прихода первичной частицы, при первичном анализе, определяется с точностью до 0.1° . Дальнейший, разработанный специально для телескопов ШАЛОН и основанный на методе регуляризации Тихонова, анализ улучшает точность определения до величины меньшей 0.01° .

**Каталог источников,
наблюдаемых телескопом ШАЛОН в области энергий 800 ГэВ – 100 ТэВ (2012)**

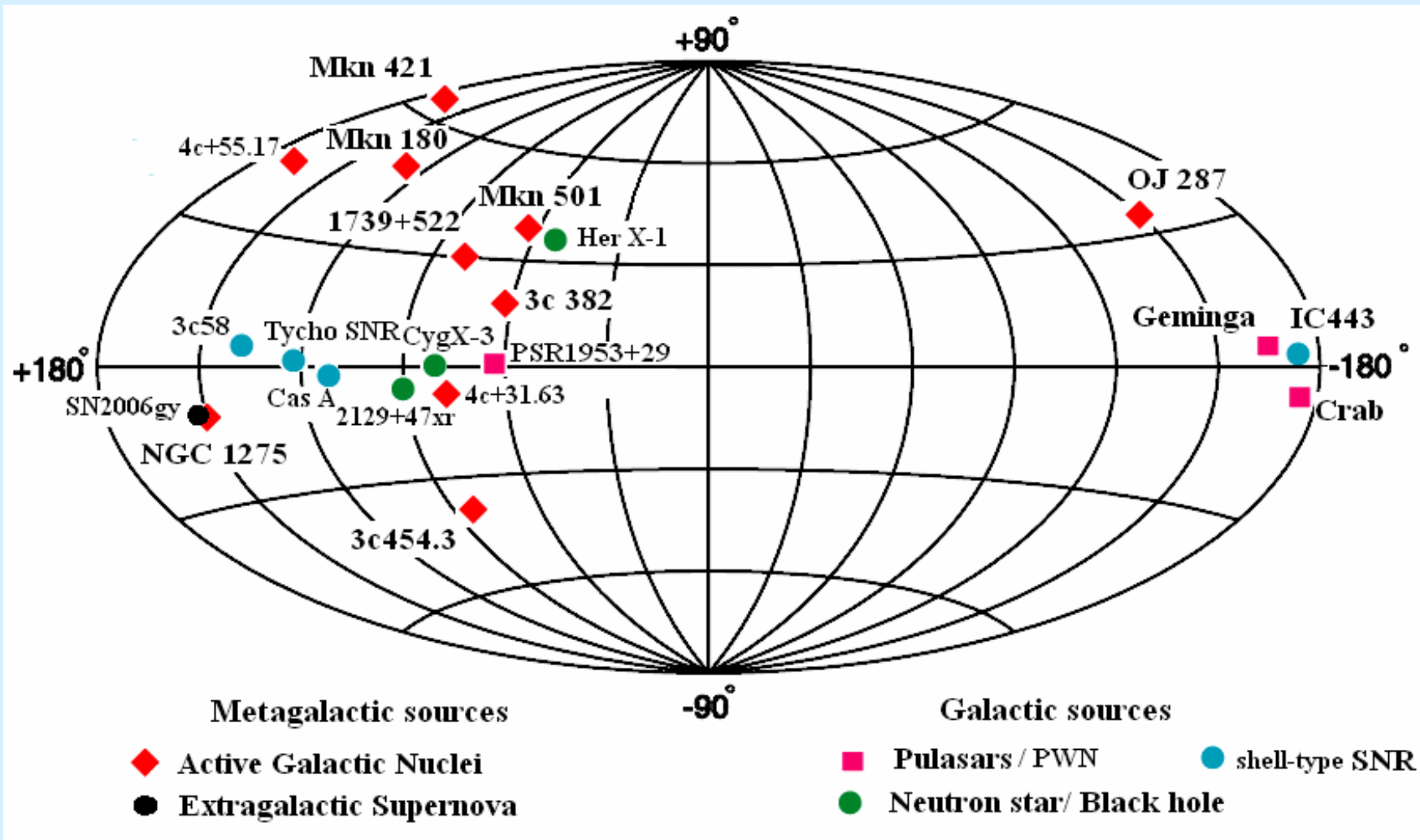


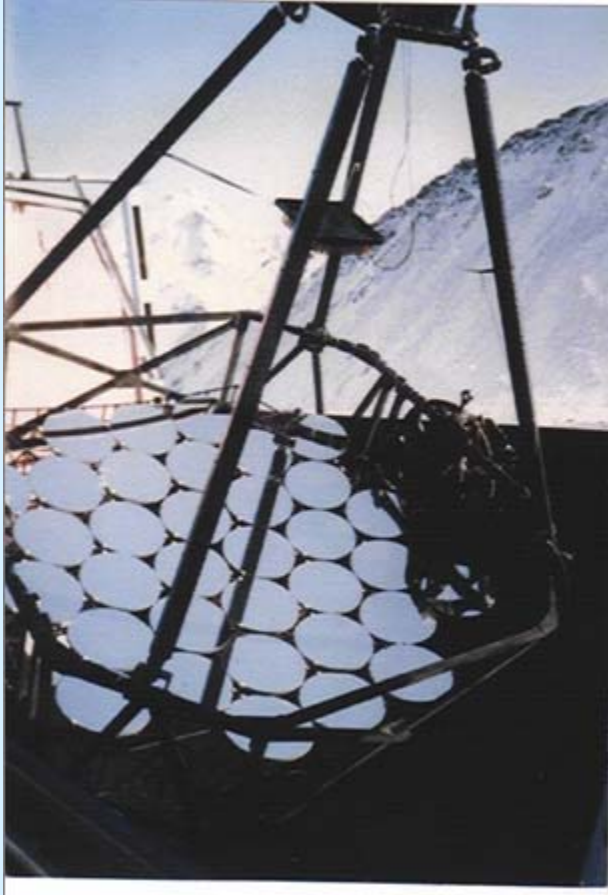
Таблица. Каталог источников, наблюдаемых телескопом ШАЛОН в области энергий 800 ГэВ – 100ТэВ (2013)

Источники гамма-квантов с энергией >0.8 ТэВ	Тип источника	Наблюдаемый поток, $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$	Расстояние		Год ** обнаружения телескопом ШАЛОН	Обнаружение при высоких энергиях Эксперимент/год	Обнаружение при сверхвысоких энергиях Эксперимент/год
<i>Галактические</i>			<i>кпк</i>				
Crab Nebula	Plerion, PWN	$(2.12 \pm 0.12) \times 10^{-12}$	2.0		1995 ¹	COS-B/1987 ¹⁵ (FermiLAT/2009)	Whipple/1989 ¹⁶
* Geminga	Radio-weak pulsar/ Plerion (?)	$(0.48 \pm 0.07) \times 10^{-12}$	0.25		2000 ⁵	COS-B/1981 ¹⁸ EGRET/1994 ¹⁹ (FermiLAT/2009)	Crimea/2001 ⁴⁹ MILAGRO/2007 ²⁰
* 3c 58	Plerion, PWN	$(0.56 \pm 0.15) \times 10^{-12}$	2.6 - 3.2		2012 ¹⁴	FermiLAT/2009 ²⁷	(VERITAS/2006 UL)
SNR 1181 (?)	Plerion, PWN (?)	$(1.40 \pm 0.43) \times 10^{-12}$	2.6 - 3.2 (?)		2012 ¹⁴	FermiLAT/2009 ²⁷	–
* Tycho's SNR	Shell-type SNR	$(0.52 \pm 0.04) \times 10^{-12}$	2.5 – 3,5		1998 ⁴	FermiLAT/2011 ²⁴	VERITAS/2011 ²³
Cas A	Shell-type SNR	$(0.64 \pm 0.10) \times 10^{-12}$	3,1		2011 ¹²	FermiLAT/2010 ²⁶	HEGRA/2001 ²⁵
IC 443	Shell-type SNR	$(1.69 \pm 0.58) \times 10^{-12}$	1.5		2012 ¹⁴	EGRET/1996 ²¹ (FermiLAT/2009)	MAGIC/2007 ²²
* γCygni SNR	Shell-type SNR	$(1.27 \pm 0.11) \times 10^{-12}$	1.5		2013 ⁵⁰	EGRET/1996 ²¹ (FermiLAT/2009)	VERITAS/2013 ⁵¹
* Cygnus X-3	Binary	$(0.68 \pm 0.04) \times 10^{-12}$	10		1997 ²	EGRET/1997 ²⁹ (FermiLAT/2009 ³⁰)	Crimea/2009 ⁴⁸ (Crimea/1975 ²⁸)
* 2129+47XR	Low-mass X-ray Binary	$(0.19 \pm 0.06) \times 10^{-12}$	6.0		2006 ⁷	–	–
* Her X-1	Binary	$(0.45 \pm 0.18) \times 10^{-12}$	6.6		2012	–	(Whipple UL)
* M57	Planetary nebula	$(0.30 \pm 0.17) \times 10^{-12}$	0.7		2011 ¹³	–	–
<i>Метагалактические</i>			<i>Мпк</i>	<i>z</i>			
* NGC 1275	Seyfert Galaxy	$(0.78 \pm 0.05) \times 10^{-12}$	71	0.0179	1997 ³	FermiLAT/2009 ³¹	MAGIC/2012 ³²
* SN2006 gy	Extragalactic Supernova	$(3.71 \pm 0.65) \times 10^{-12}$	73	0.019	2007 ⁹	–	–
Mkn 421	BLLac	$(0.63 \pm 0.05) \times 10^{-12}$	124	0.031	1995 ¹	EGRET/1992 ³⁵ (FermiLAT/2009)	Whipple/1992 ³³
Mkn 501	BLLac	$(0.86 \pm 0.06) \times 10^{-12}$	135	0.034	1997 ^{1a}	EGRET/1999 ³⁷ (FermiLAT/2009)	Whipple/1996 ³⁴
Mkn 180	BLLac	$(0.65 \pm 0.09) \times 10^{-12}$	173	0.046	2009 ¹⁰	FermiLAT/2009 ³⁹	MAGIC/2006 ³⁸
* 3c382	Broad Line Radio Galaxy	$(0.95 \pm 0.33) \times 10^{-12}$	230	0.058	2010 ¹¹	(FermiLAT UL) ⁴⁰	–
* 4c+31.63	FSRQ	$(0.72 \pm 0.22) \times 10^{-12}$	1509	0.295	2013	FermiLAT/2010 ⁴⁷	–
* OJ 287	BLLac	$(0.26 \pm 0.07) \times 10^{-12}$	1100	0.306	2005 ⁸ (UL) 2010 ¹¹	FermiLAT/2009 ⁴¹	(MAGIC / 2009 UL) ⁴²
* 3c454.3	FSRQ	$(0.43 \pm 0.07) \times 10^{-12}$	5489	0.859	2000 ⁶	FermiLAT/2009 ⁴⁴	(MAGIC / 2009 UL) ⁴⁵
* 4c+55.17	FSRQ	$(0.91 \pm 0.25) \times 10^{-12}$	5785	0.896	2013	FermiLAT/2011 ⁴³	–
* 1739+522 (4c+51.37)	FSRQ	$(0.49 \pm 0.05) \times 10^{-12}$	9913	1.375	2000 ⁶	FermiLAT/2010 ⁴⁶	–

* - источники впервые обнаруженные телескопом ШАЛОН при энергиях выше 800 ГэВ

** - приведён год первой публикации о регистрации источника телескопом ШАЛОН

TeV GAMMA-RAY EMISSION from GALACTIC SOURCES



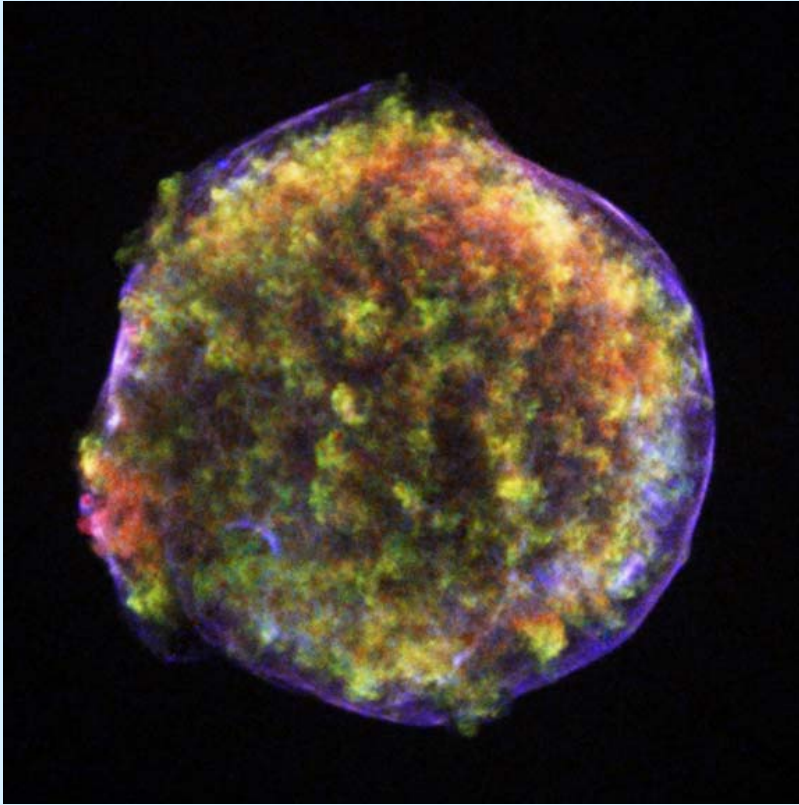
The hypothesis that Supernova Remnants (SNRs) are unique candidates for cosmic-ray sources has been prevalent from the very outset of cosmic-ray physics. Recent observations of several SNRs in X-rays and TeV *gamma*-rays will help in solving the problem of the origin of cosmic rays and are key to understanding the mechanism of particle acceleration at a propagating shock wave. A number of nearby Northern Hemisphere SNRs (see table) of different types has been observed in TeV energies with SHALON Cherenkov telescope; some of them have been studied in details and the results of observations are presented here.

SNRs observed by SHALON at energies > 800 GeV

Sources	Type	Observable flux, ($\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Distance, (kpc)
Crab Nebula	Plerion	$(2.12 \pm 0.11) \times 10^{-12}$	2
* Geminga	Radioweak pulsar/PWN	$(0.48 \pm 0.07) \times 10^{-12}$	0.25
* 3c58(SN1181)	Plerion	$(0.54 \pm 0.15) \times 10^{-12}$	2.6 - 3.2
* Tycho's SNR	Shell type SNR	$(0.52 \pm 0.04) \times 10^{-12}$	2.5 - 3.5
Cas A	Shell type SNR	$(0.74 \pm 0.09) \times 10^{-12}$	3.1
IC 443	Shell type SNR	$(1.69 \pm 0.58) \times 10^{-12}$	1.5
γ Cygni SNR	Shell type SNR	$(1.27 \pm 0.11) \times 10^{-12}$	1.5

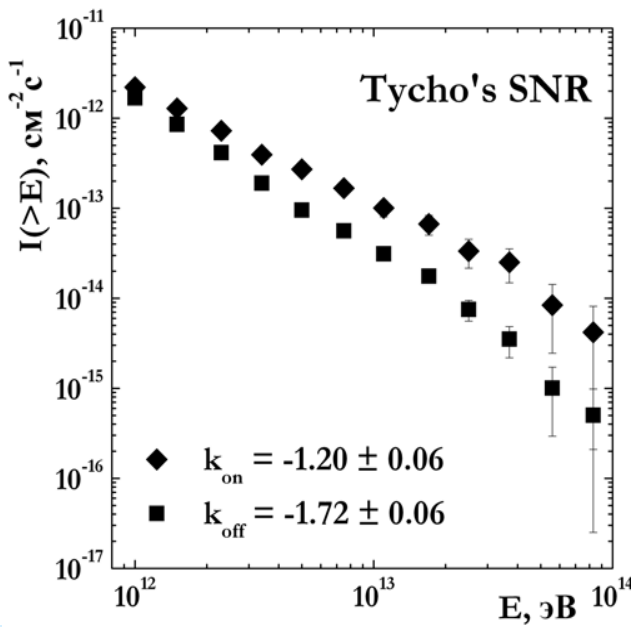
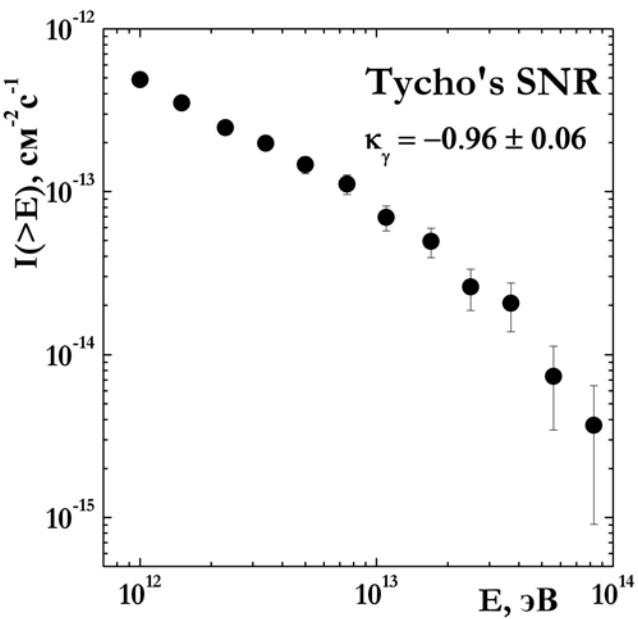
* источники впервые обнаруженные телескопом ШАЛОН при энергиях выше 800 ГэВ

Остаток сверхновой Тихо (1572yr.)



Остаток сверхновой Tycho's SNR (SN 1572) привлекателен для исследований и теоретических предсказаний благодаря высококачественным изображениям и спектрам, полученным с помощью обсерваторий XMM-Newton и Chandra. Он имеет почти сферическую форму, что удобно для моделирования. Возраст Tycho's SNR хорошо известен и составляет 435 лет. Но радиус этого остатка сверхновой известен не так точно. Значение радиуса зависит от принятого расстояния, которое определяют разными методами, откуда величина радиуса получается примерно 2-3 пк. Также, не известны точные значения и характеристики межзвездной среды вокруг остатка. Сравнение результатов моделирования остатка сверхновой с наблюдениями Tycho's SNR позволяет прояснить значения неизвестных параметров и судить о механизме взрыва сверхновой.

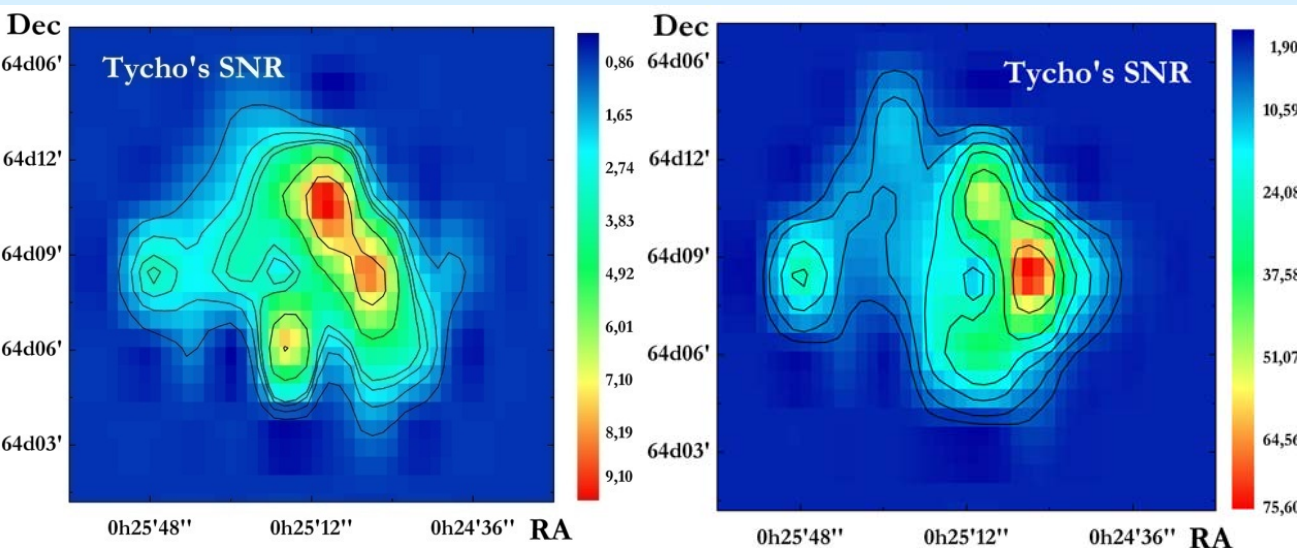
Информация о распределении космических лучей в остатках сверхновых может быть получена из гамма-астрономических наблюдений, поскольку, гамма-кванты сверхвысоких энергий генерируются электронными и адронными компонентами космических лучей в обратном комптоновском рассеянии и в столкновении адронов, приводящих к рождению π^0 -мезонов с последующим их распадом.



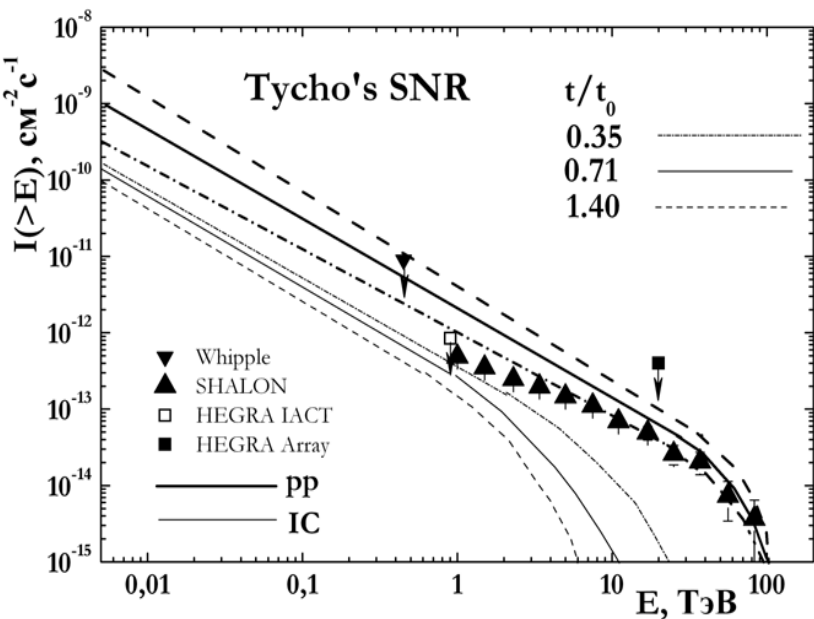
Остаток сверхновой Тихо Браге наблюдался атмосферным Черенковским телескопом ШАЛОН высокогорной обсерватории на Тянь-Шане. Этот объект уже давно рассматривается как кандидат в источники адронов космических лучей в Северном Полушарии, хотя казалось, что чувствительность существующего поколения Черенковских телескопов возможно слишком мала для его обнаружения.

Среднее значение потока при энергиях больше 0.8 ТэВ для Тихо Браге, слабого в рентгеновском диапазоне и наблюдаемого в области радио - излучения, составляет

$$I_{\text{Tycho}} = (5.2 \pm 0.4) \cdot 10^{-13} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}.$$



The images of Tycho's SNR by SHALON; right – energy image of Tycho's SNR



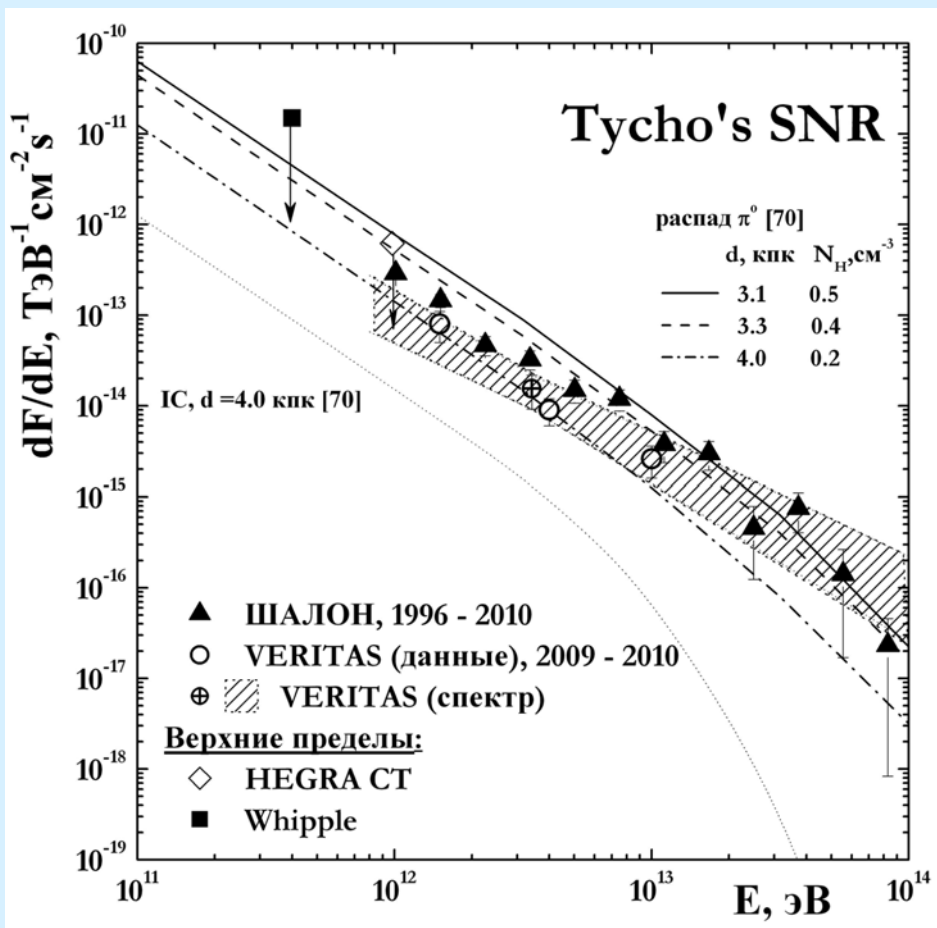
The integral average gamma-ray flux above 0.8 TeV was estimated as

$$I_{\text{Tycho}} = (0.52 \pm 0.04) \times 10^{-12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

Спектр гамма-излучения от остатка сверхновой Тихо со степенным показателем $k_\gamma = -0.96 \pm 0.06$

Кинетическая нелинейная теория ускорения космических лучей в сверхновых связывает газодинамику взрыва с ускорением частиц. В работе [Бережко, Voek], для описания свойств остатка сверхновой Тихо Браге использовалась нелинейная кинетическая модель ускорения космических лучей в остатках сверхновых. Кинетическая нелинейная модель ускорения космических лучей в остатках сверхновых была применена к Tycho's SNR для сравнения результатов модели с недавно полученными в наблюдениях очень низкими верхними пределами потока гамма-квантов при ТэВ - ных энергиях. Фактически, HEGRA не обнаружила Тихо Браге, но был установлен очень низкий верхний предел при энергиях $> 1 \text{ ТэВ}$. Эта величина находится в согласии с в 4 раза более высоким значением, опубликованным ранее коллаборацией Whipple, если полагать для сравнения спектральный индекс равный -1.1. Поток гамма-квантов от распада π^0 оказался несколько больше, чем поток от обратного комптоновского рассеяния при 1 ТэВ, и сильно доминирующим над ним при 10 ТэВ. Предсказанный поток гамма-квантов находится в согласии с верхними пределами опубликованными коллаборацией Whipple и HEGRA.

Ожидаемый поток гамма-квантов от распада π^0 $F_\gamma \sim E_\gamma^{-1}$ простирается до $\sim 30 \text{ ТэВ}$, тогда как поток гамма-квантов генерируемый процессом обратного комптоновского рассеяния обрывается выше нескольких ТэВ. Поэтому, обнаружение гамма-излучения при энергиях 10 - 80 ТэВ телескопом ШАЛОН является свидетельством адронного происхождения.



Недавно ОСН Тихо также был обнаружен телескопом VERITAS в наблюдениях 2008 - 2010 годов. На рисунке представлено сравнение дифференциального спектра остатка сверхновой Тихо по данным телескопов ШАЛОН (1996 - 2010) и VERITAS (2009) вместе с теоретическими предсказаниями (Volk, Berezhko, 2008, Astron.&Astrophys.).

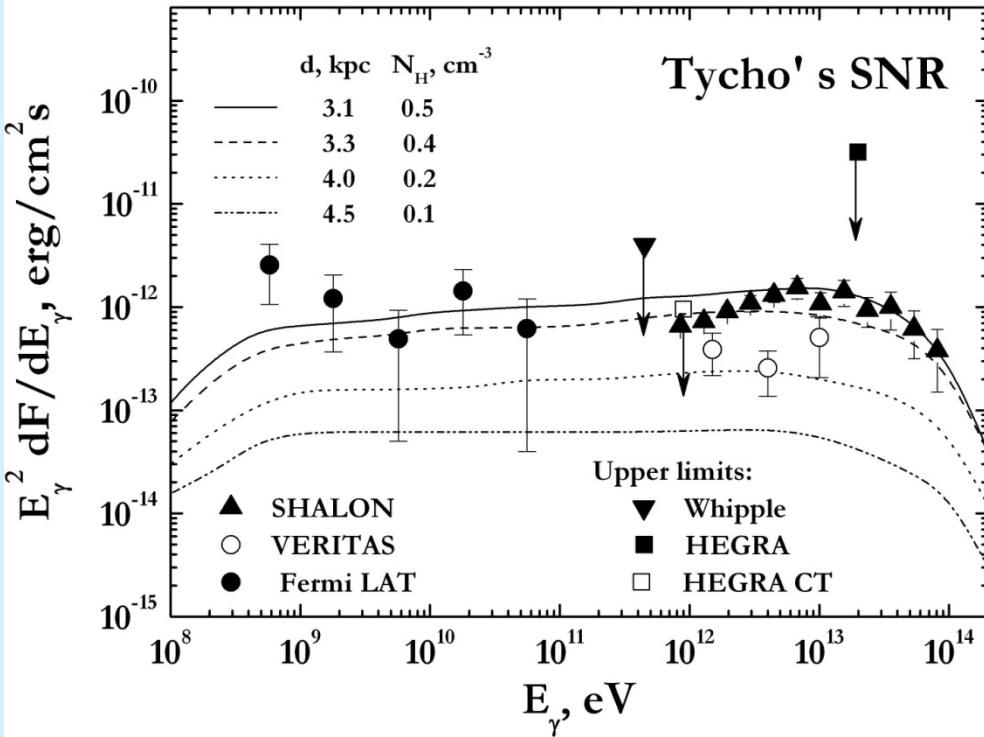
Остаток сверхновой Тихо наблюдался телескопом ШАЛОН 123 часа в разные годы (с 1996 по 2010) в ясные безлунные ночи под зенитными углами от 16 до 35 градусов. Наблюдения проводились по стандартной для телескопа ШАЛОН методике одновременного получения информации о фоне космических лучей и ливнях, инициированных гамма-квантами, в одном и том же сеансе наблюдений.

Остаток сверхновой Тихо был зарегистрирован телескопом ШАЛОН при энергиях больше 0.8 ТэВ на уровне 17σ определяемом по методу Li&Ma.

Энергетический спектр гамма-квантов остатка сверхновой Тихо наблюдаемый телескопом ШАЛОН во диапазоне энергий от 0,8 до 80 ТэВ хорошо описывается степенным законом с экспоненциальным обрезанием:

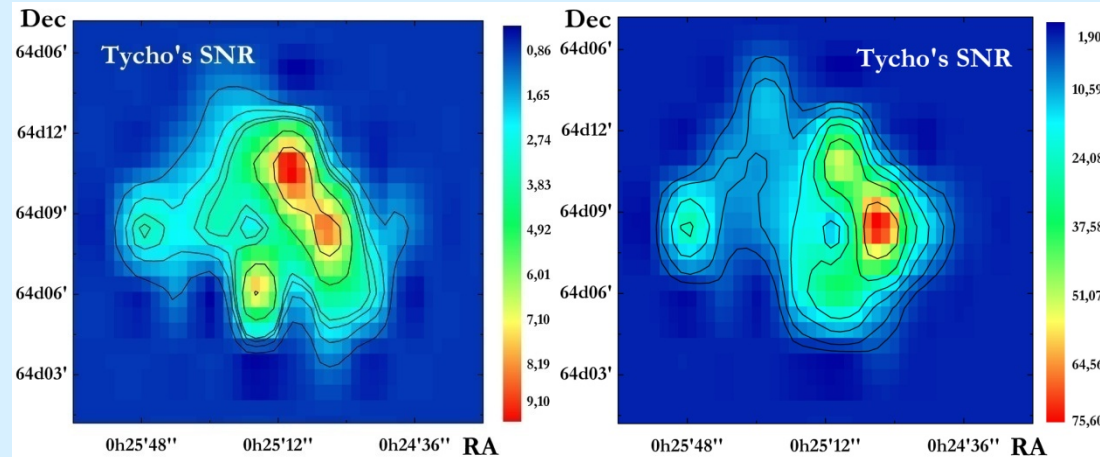
$$I(>E_\gamma) = (0.48 \pm 0.09) \times E_\gamma^{-0.93 \pm 0.09} \exp(-E_\gamma/35 \text{ ТэВ})$$

Tycho's SNR

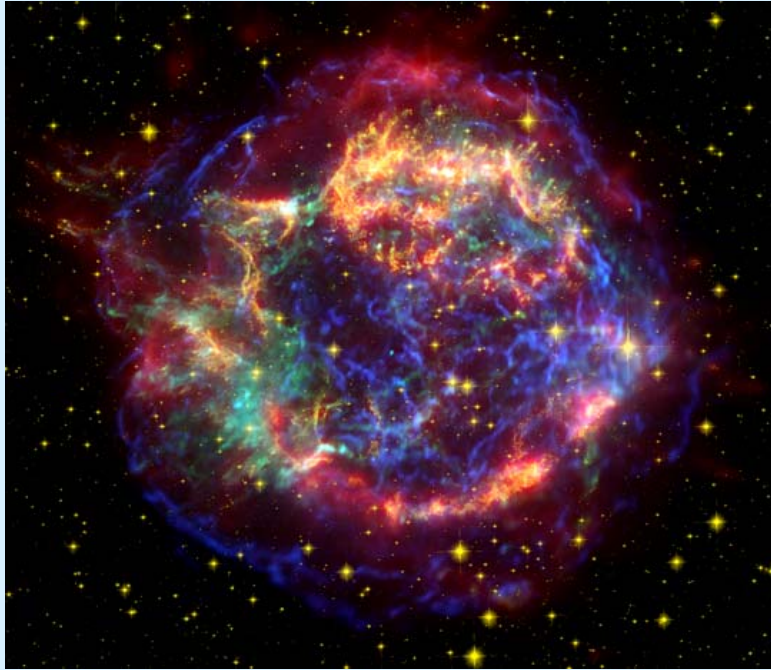


На рисунке представлено спектральное энергетическое распределение гамма-квантов от Тихо Браге рассчитанное в предположении энергии взрыва сверхновой равной $E_{\text{SN}} = 1.2 \times 10^{51}$ эрг для четырёх расстояний d и соответствующих плотностей межзвёздной среды N_H . Дополнительная информация о параметрах источника Тихо Браге получена в рамках нелинейной кинетической теории из данных телескопа ШАЛОН: расстояние d находится в пределах 3.1 – 3.3 кпк, плотность межзвёздной среды $N_H = 0.4 - 0.5 \text{ см}^3$, при этом поток гамма-квантов от распада π^0 будет простирается почти до 100 ТэВ.

Recently, Tycho's SNR was also detected at GeV energy range by Fermi LAT (●) (2010, 2011). The Tycho's SNR spectral energy distribution by SHALON (▲) (1996 - 2010) comparing with VERITAS (○) (2009), Fermi LAT (●) (2010, 2011) and theoretical models.



Cassiopeia A (1680 yr.)



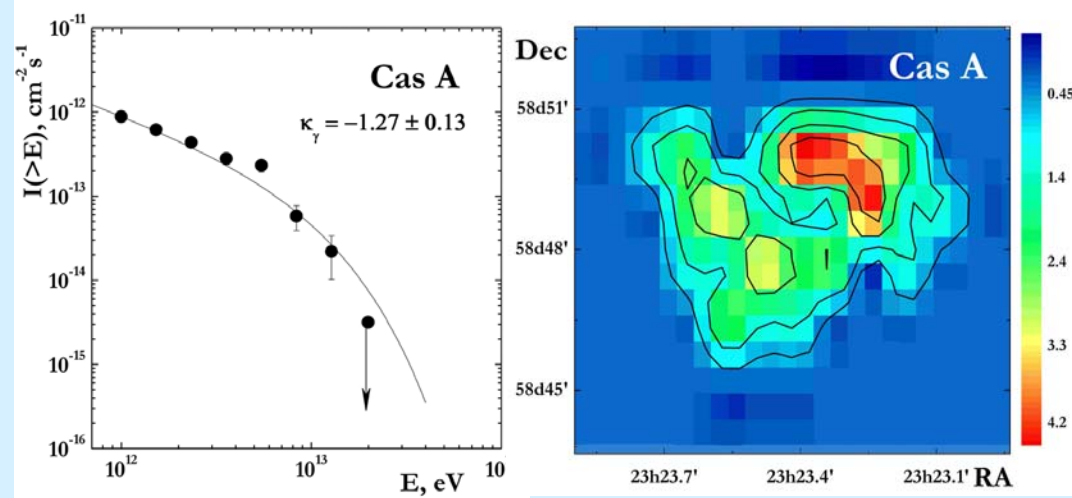
Кассиопея А (Cas A) самый молодой из исторических остатков сверхновых в нашей Галактике. Яркость излучения Кассиопеи А во всём наблюдаемом электромагнитном спектре делает этот источник уникальным объектом для изучения явлений в остатках сверхновых при высоких и сверхвысоких энергиях. Впервые Cas A был обнаружен в ТэВ-ном диапазоне энергий телескопом HEGRA (2001) и, позднее, подтверждён телескопами MAGIC (2007) и VERITAS (2010). При высоких энергиях от 500 МэВ до 50 ГэВ излучение от Cas A было открыто в эксперименте Fermi LAT (2010).

The composite image of Cas A SNR.

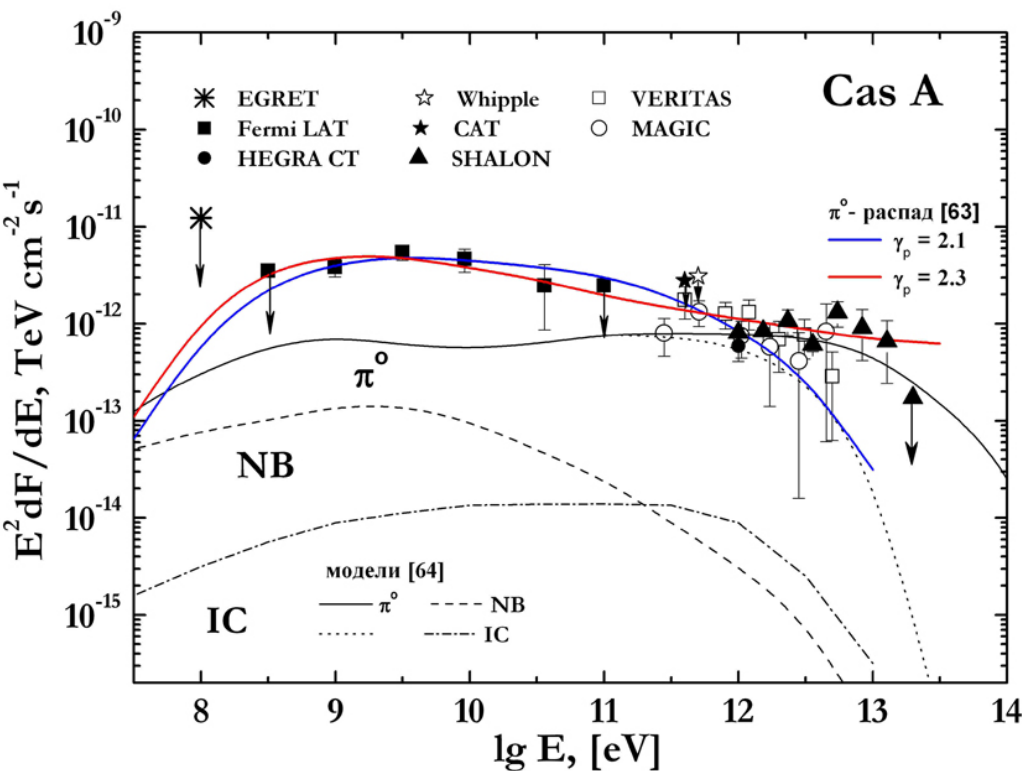
Infrared data from the Spitzer Space Telescope are colored red;
Optical data from the Hubble Space Telescope are yellow;
X-ray data from the Chandra Observatory are green and blue.

Кассиопея А наблюдалась телескопом ШАЛОН 68 часов с 2010 по 2013 годы в ясные безлунные ночи под зенитными углами от 13 до 35 градусов. Кассиопея А была зарегистрирована телескопом ШАЛОН при энергиях больше 0,8 ТэВ на уровне $13,2\sigma$ определяемом по методу Li&Ma. Среднее значение потока при энергиях больше 0.8 ТэВ для Кассиопея А, по данным телескопа ШАЛОН, составляет:

$$I_{CasA}(>0,8\text{TeV}) = (0,64 \pm 0,10) \cdot 10^{-12} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$$



Cassiopeia A

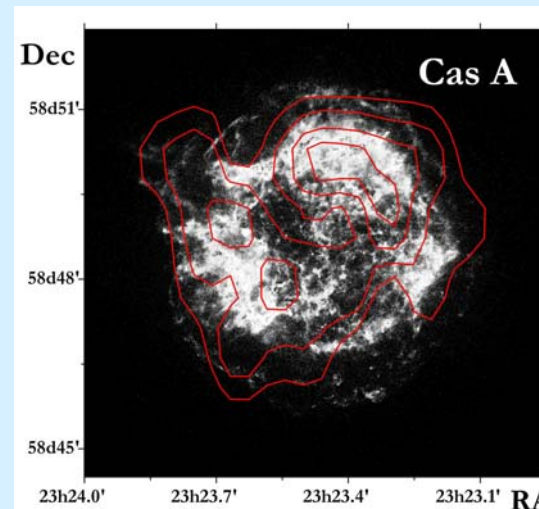


Для описания спектра γ -излучения Cas A, наблюдаемого в диапазоне энергий 500 МэВ – 10 ТэВ, рассматриваются два основных механизма генерации γ -квантов высоких и сверхвысоких энергий: обратное комптоновское рассеяние и распад нейтральных пи-мезонов, рождённых в столкновениях ядер космических лучей с межзвёздным газом. Сплошными линиями показаны спектры в случае адронного происхождения γ -излучения сверхвысоких энергий. Штрих-пунктирная кривая представляет собой спектр γ -квантов полученный в процессе от обратного комптоновского рассеяния. Поток γ -лучей рождённых в процессе обратного комптоновского рассеяния при $B = 0,3$ мГ имеет значения в $\sim 5 - 8$ раз меньше наблюдаемого в экспериментах; при $B = 0,12$ мГ спектр γ -излучения имеет обрезание при энергиях порядка 10 ТэВ.

The spectral energy distribution of the γ -ray emission from Cas A by SHALON ($\blacktriangle$) in comparison with other experiment data Fermi LAT, HEGRA, MAGIC, VERITAS, EGRET, CAT, Whipple and with theoretical predictions [Abdo A A et al. 2010; Berezhko E G, Pühlhofer G, Völk H J, 2003].

Обнаружение гамма-излучения от Кассиопеи А при энергиях $\sim 5 - 15$ ТэВ и жесткий спектр при энергиях < 1 ТэВ свидетельствует в пользу адронного происхождения гамма-излучения в Кассиопее А

Chandra image of Cas A (X-ray);
The contour lines show the TeV-image by SHALON



IC 443 age of $(3 \div 30) \times 10^3 \text{yr.}$



The composite image of IC 443 SNR.

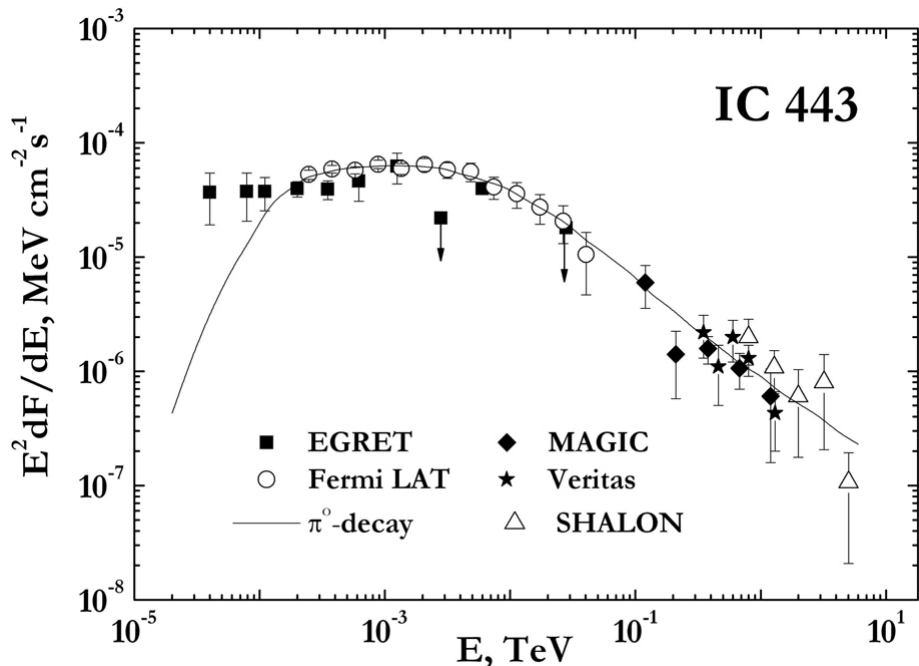
Radio data from the Dominion Radio Astrophysical Observatory are colored green;

Optical data from the Digitized Sky Survey are red;

X-ray data from the Chandra X-ray Observatory are blue.

Остаток сверхновой (ОСН) IC 443 является известным источником радио, оптического, рентгеновского и МэВ – ТэВ-ого γ -излучения. IC443 это остаток сверхновой оболочечного типа, имеющий угловой размер $\sim 45'$ в радиодиапазоне. Он имеет сложную структуру и состоит из двух оболочек-сегментов разного радиуса. Возраст этого остатка не определён: некоторые оценки указывают на то, что это молодой ОСН с возрастом $\sim (3-4) \times 10^3 \text{y}$, другие склоняются к тому, что он старше, и возраст составляет $(20-30) \times 10^3 \text{y}$. IC 443 является одним из ОСН, который наилучшим образом подходит для исследования связи между остатками сверхновых, молекулярными облаками и источниками гамма-квантов высоких и сверхвысоких энергий. Последние наблюдения дали указание на то, что IC 443 взаимодействует с окружающим остаток сверхновой межзвёздным веществом. Близкое расположение плотных выметаемых молекулярных облаков и областей излучения ГэВ-ТэВ-ных гамма-лучей, зарегистрированных EGRET, Fermi LAT, MAGIC и VERITAS позволяет рассматривать этот остаток сверхновой в качестве источника космических лучей.

Остаток сверхновой IC 443



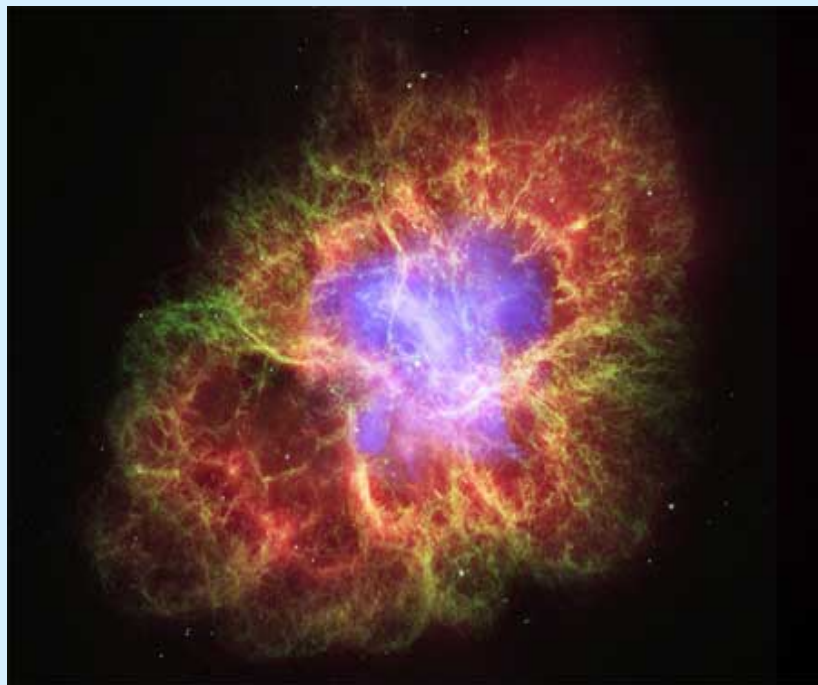
IC 443 was detected in TeV *gamma*-rays, first by MAGIC (2007) and later confirmed by VERITAS (2009) and SHALON (2011). The high energy *gamma*-ray emission from IC 443 was detected with EGRET (1995) and then with Fermi LAT (2010) in the range 500 MeV - 50 GeV.

Для описания спектра гамма-излучения IC443, наблюдаемого в диапазоне энергий 100 МэВ – 4 ТэВ, распад нейтральных пи-мезонов, рождённых в столкновениях ядер космических лучей с межзвёздным газом рассматривается как основной механизм генерации гамма-квантов высоких и сверхвысоких энергий. (Обратное комптоновское рассеяние не может рассматриваться для объяснения наблюдаемого спектра, т.к. нет известного яркого источника фотонов в данной области.)

На рисунке представлено спектральное энергетическое распределение излучения IC443 по данным телескопа ШАЛОН (Δ) вместе с теоретическими предсказаниями для данного источника и в сравнении с данными других экспериментов: EGRET, Fermi LAT, MAGIC, VERITAS. Сплошной линией показан спектр для адронного происхождения гамма-излучения сверхвысоких энергий.

TeV gamma-rays from Galactic sources:

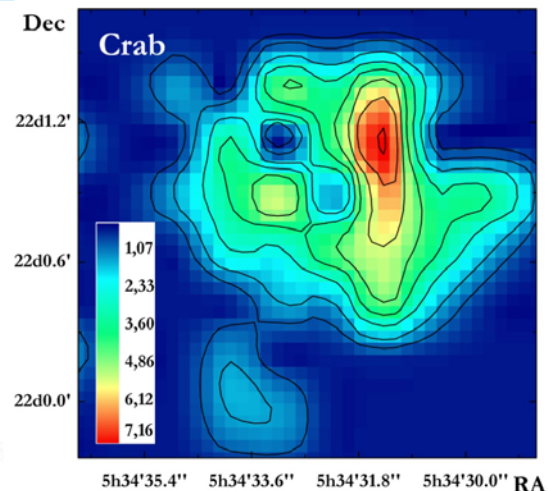
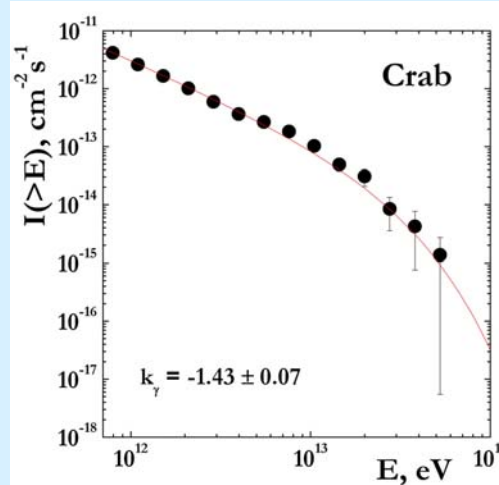
Crab Nebula (1054yr)

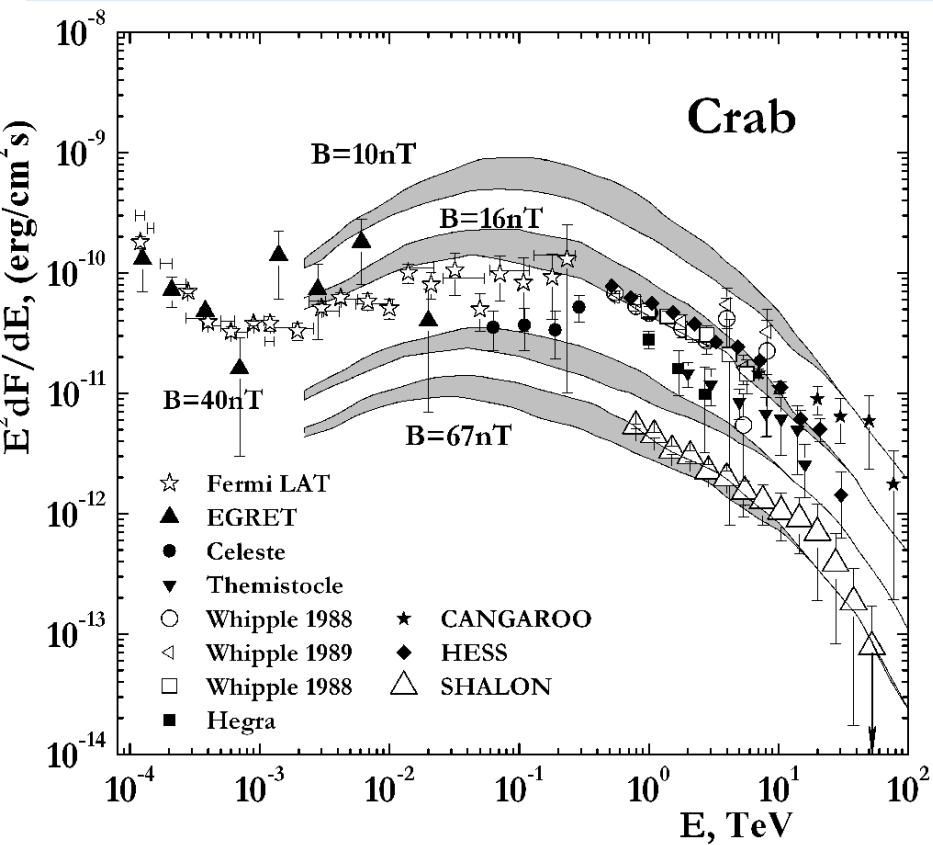


Как и в других диапазонах электромагнитного спектра, Крабовидная туманность является эталонным источником для ТэВ-ной γ -астрономии. Возможно, наиболее важным является тот факт, что этот источник со стабильным потоком может использоваться для калибровки черенковских телескопов, расположенных как в Северном, так и в Южном полушарии. Однако, совсем недавно, спутниковые эксперименты AGILE и Fermi LAT сообщили о вспышке в 4-е раза превышающий номинальный поток источника в диапазоне энергий от 100 МэВ до 2 – 5 ГэВ, который предполагался абсолютно стабильным и, следовательно, использовался как «стандартная свеча» - Крабовидная туманность. При этом в наблюдениях наземных телескопов MAGIC и VERITAS], в тот же период времени, повышение потока обнаружено не было.

Крабовидная туманность была зарегистрирована телескопом ШАЛОН при энергиях больше 0,8 ТэВ на уровне $36,1\sigma$ определяемом по методу Li&Ma. Энергетический спектр гамма-квантов источника в диапазоне энергий от 800 ГэВ до 30 ТэВ хорошо описывается степенным законом:

$$I(> E_\gamma) \sim E_\gamma^{-1.43 \pm 0.07}$$





Изображение центральной части Крабовидной туманности – $200'' \times 200''$ в рентгеновском диапазоне энергий 0,2 – 4,1 кэВ, полученное телескопом Chandra. В этой области энергии основной вклад в поток даёт тор, окружающий пульсар. Контурными представлена структура Крабовидной туманности, видимая в ТэВ-ных гамма-лучах телескопом ШАЛОН в области энергий 0,8 – 30 ТэВ.

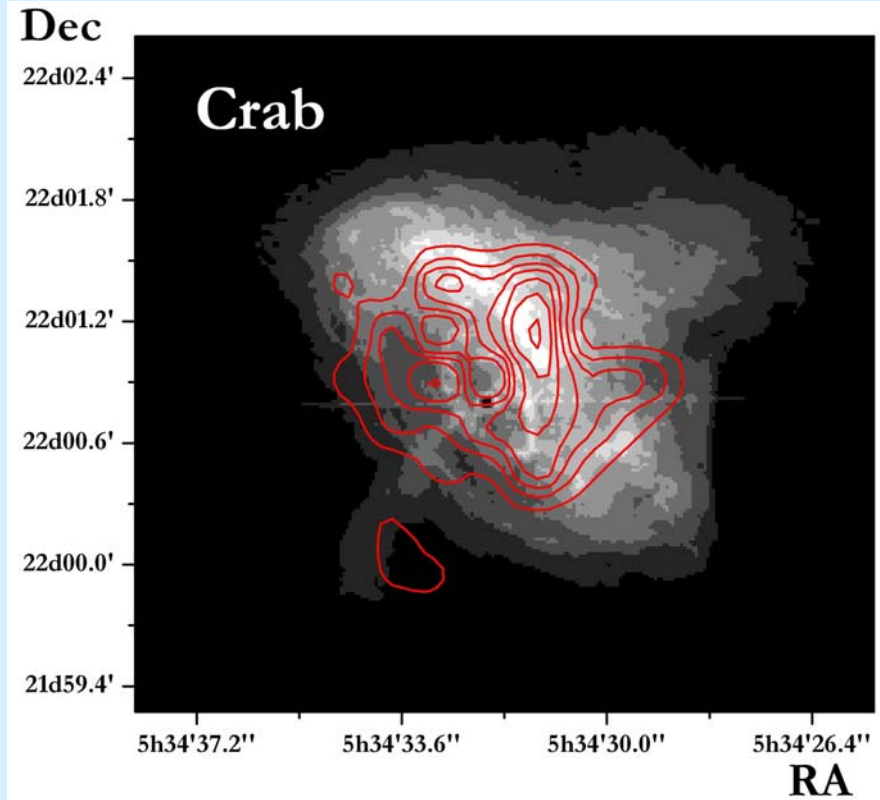
Изображение источника Крабовидная туманность в рентгене (Chandra), контур – данные телескопа ШАЛОН

Для описания спектра γ -квантов с энергией $>0,8$ ТэВ была использована модель обратного комптоновского рассеяния, описанная в литературе [Hillas, 1998].

Наблюдаемый телескопом ШАЛОН-1 спектр γ -квантов хорошо согласуется с рассчитанным спектром γ -квантов, генерированным в процессе обратного комптоновского рассеяния низкоэнергичных фотонов на релятивистских электронах в изображаемых областях туманности, если взять среднее значение величины магнитного поля равным 67 нТ

Спектр Crab по данным ШАЛОН в сравнении с данными других экспериментов и расчеты в предположении различных значений магнитного поля в источнике:

67 нТ – эксперимент ШАЛОН



3c 58(SN1181) age of $(2 \div 5) \times 10^3 \text{yr.}$ or 1181y.?



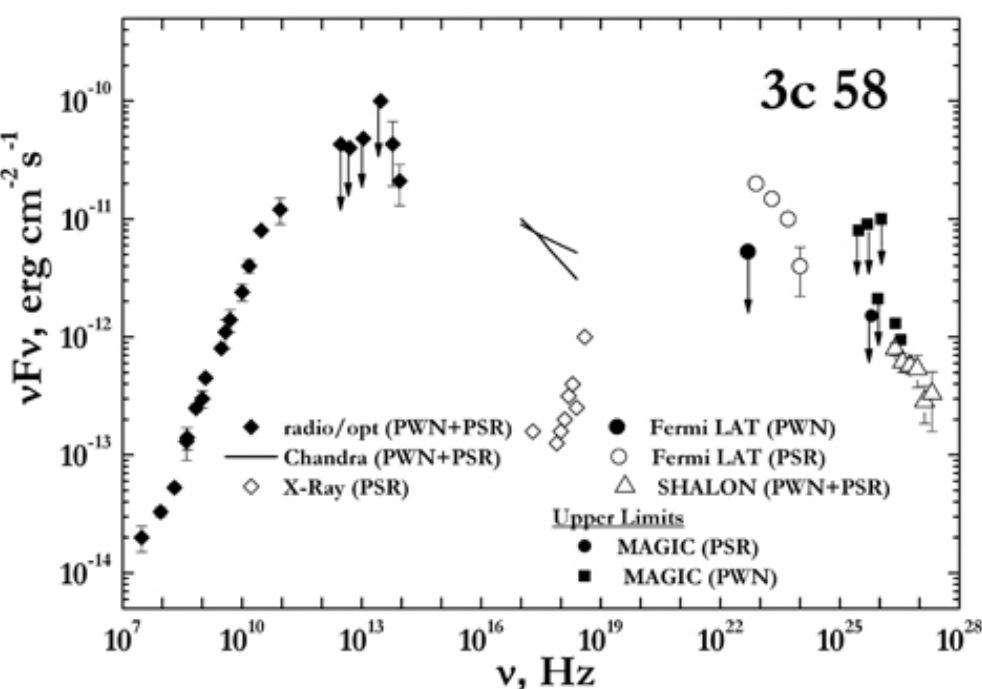
The composite image of 3c58

Optical data from the 1.3m McGraw-Hill
are yellow;

X-ray data from the Chandra X-ray Observatory
are blue.

Источник радио излучения 3c 58 первоначально был ассоциирован с историческим остатком сверхновой SN1181. По структуре распределения его радиояркости он классифицирован как плерион, подобно остатку сверхновой Крабовидная туманность. В дальнейшем рентгеновский точечный источник в центре 3c58 был идентифицирован как возможный пульсар, а в последующих исследованиях было определено расстояние до объекта – 3.2 кпк. В результате в рентгеновском диапазоне телескопом Чандра был открыт пульсар J0205+6449, за чем последовало обнаружение слабых пульсаций от PSRJ0205+6449. После этого казалось, что объяснение подпитки туманности было получено. Но возникли серьёзные проблемы. Система 3C58/J0205+6449 совпадает по своим координатам с 828-ти летним остатком сверхновой SN1181. Однако, динамический возраст пульсара (5400лет) определённый из скорости замедления пульсара, также как и динамический возраст 5000 ± 2250 лет, соответствующий средней скорости расширения 3C58, определённый из сравнения радио изображений в 1973 и 1998 годах телескопом VLA, не соответствуют возрасту исторической сверхновой SN1181.

Остаток сверхновой 3с58 (SN1181)



Спектральное энергетическое распределение излучения 3С 58 по данным телескопа ШАЛОН (Δ) вместе в сравнении с данными других экспериментов

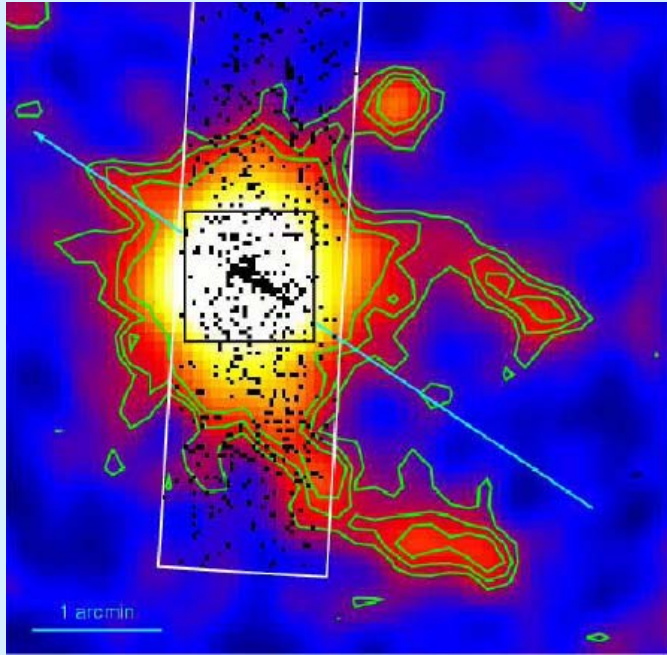
Наблюдения 3С 58 в области высоких и сверхвысоких энергий могут помочь проследить эволюцию пульсарных туманностей от молодых, подобных Крабу, до более старых плерионов.

Объект 3С 58 подобен ОШ Крабовидная туманность: оба имеют туманность с плоским радио спектром, нетепловое рентгеновское излучение протяжённой структуры и рентгеновское излучение от точечного источника, происходящее от центрального пульсара. Но, в то же время, эти два источника существенно отличаются друг от друга и по своей светимости и по размеру. В радиодиапазоне туманность 3с 58 имеет размеры почти в два раза большие, чем у Краба, а её светимость более чем на порядок меньше, тогда как светимость 3С 58 в рентгеновском диапазоне энергий меньше почти в 2000 раз. Эти различия могут быть объяснены разным возрастом остатков.

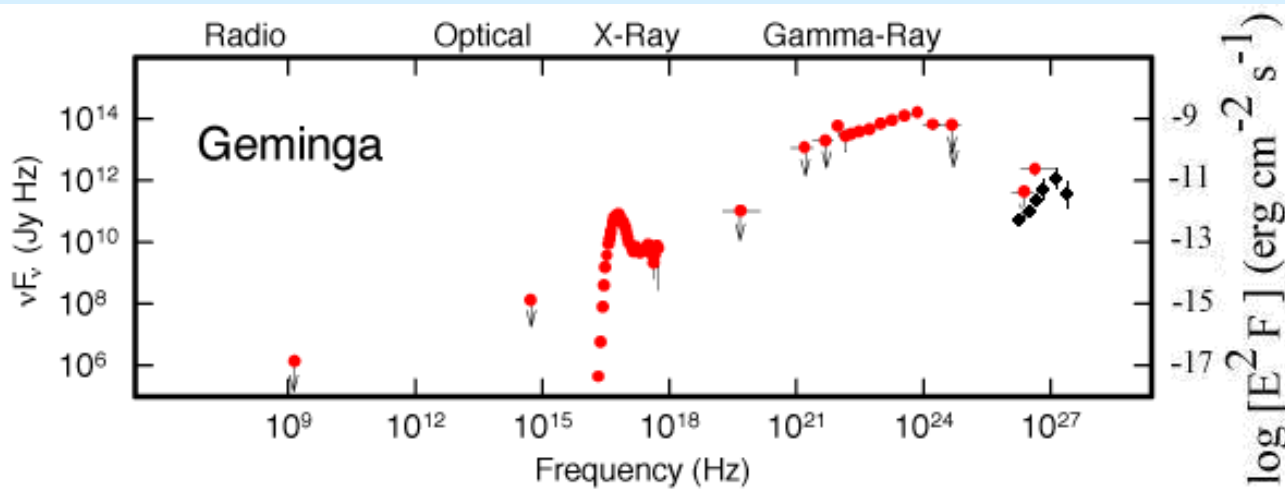
3С 58 наблюдался телескопом ШАЛОН 51 час в 2012 и 2013 годах в ясные безлунные ночи под зенитными углами от 13 до 35 градусов. Обработка полученных в эксперименте ливней проводилась по стандартной процедуре. 3С 58 был зарегистрирован телескопом ШАЛОН при энергиях больше 0,8 ТэВ на уровне 9,8σ определяемом по методу Li&Ma. Интегральный спектр γ-квантов источника хорошо описывается степенным законом: $I(>E_\gamma) \sim E_\gamma^{-1.33 \pm 0.12}$. Среднее значение потока при энергиях больше 0.8 ТэВ для 3С 58, по данным телескопа ШАЛОН, составляет:

$$I_{3C58}(>0,8\text{ТэВ}) = (0,54 \pm 0,15) \cdot 10^{-12} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}.$$

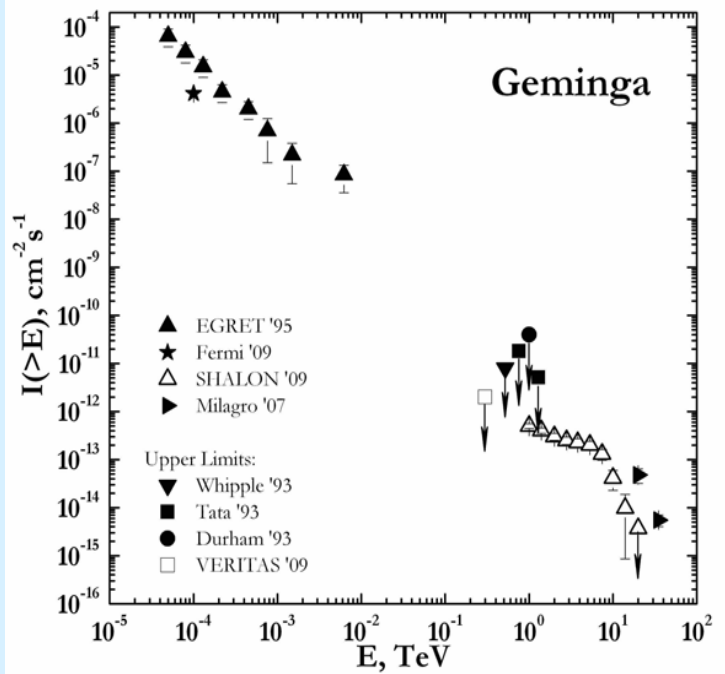
Geminga (age $\sim 3.4 \times 10^5 \text{ yr}$)



A neutron star in the constellation Gemini is the second brightest source of high-energy gamma-rays in the sky, discovered in 1972, by the SAS-2 satellite. For nearly 20 years, the nature of Geminga was unknown, since it didn't seem to show up at any other wavelengths. In 1991, an regular periodicity of 0.237 second was detected by the ROSAT satellite in soft X-ray emission, indicating that Geminga is almost certainly a pulsar. Geminga is the closest known pulsar to Earth; and it's the only known pulsar that is radio-quiet.



The broadband energy spectrum of Geminga. Upper limits correspond to that of pulsed flux whereas the data points represent the total flux [M.S. Jackson, J.P. Halpern and E.V. Gotthelf, ApJ, 578 (2002) 935]. Black points are SHALON data.

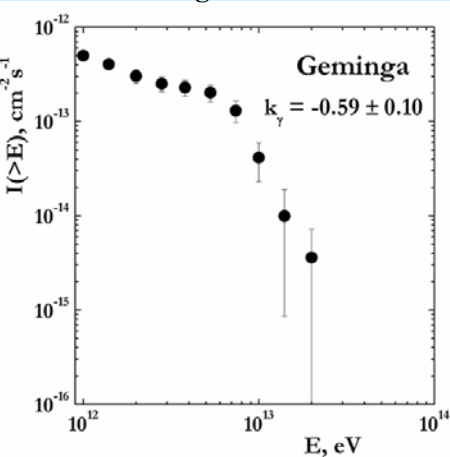


Geminga is one of the brightest source of MeV - GeV gamma-ray.

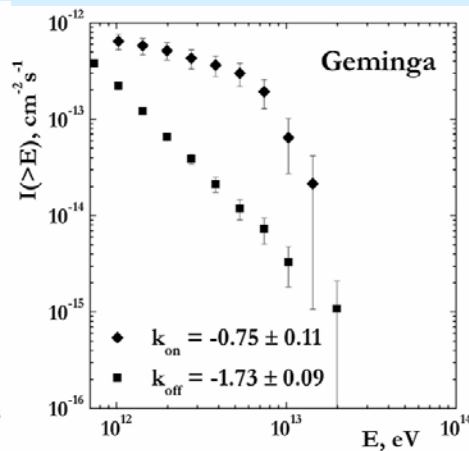
Geminga has been the object for study at TeV energies with upper limits being reported by three experiments Whipple'93, Tata'93 and Durham'93 and very recently by VERITAS. Also Geminga has observed with Milagro at energies of 20 TeV and 35 TeV and Fermi LAT at energies 30 MeV - 200 GeV. The spectrum by Fermi is fitted with a power law with exponential cutoff in the form: $dN/dE = N_0 \times (E^{-\gamma}) \exp(-E/E_0)$, where $N_0 = (1.19 \pm 0.08) \times 10^{-6} \text{ GeV}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $\gamma = 1.3 \pm 0.05$, $E_0 = (2.47 \pm 0.19) \text{ GeV}$. The images of gamma-ray emission from Geminga by SHALON telescope are presented. The value Geminga flux obtained by SHALON is lower than the upper limits published before. Its integral gamma-ray flux is found to be $(0.48 \pm 0.10) \times 10^{-12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ at energies of $> 0.8 \text{ TeV}$. Within the range 0.8 - 6 TeV, the integral energy spectrum is well described by the single power law $I(>E_\gamma) \propto E_\gamma^{-0.59 \pm 0.10}$. The energy spectrum of supernova remnant Geminga $F(E_0 > 0.8 \text{ TeV}) \propto E^k$ is harder than Crab spectrum.

The gamma-ray flux detected by SHALON from this source is

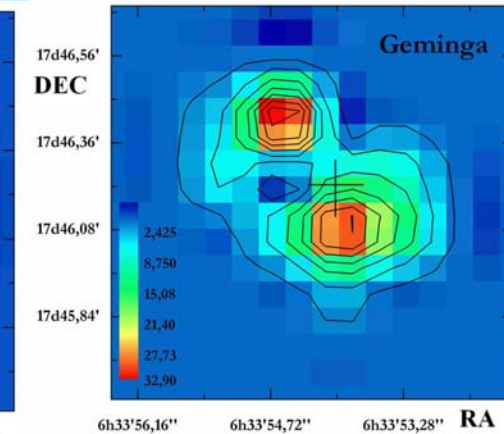
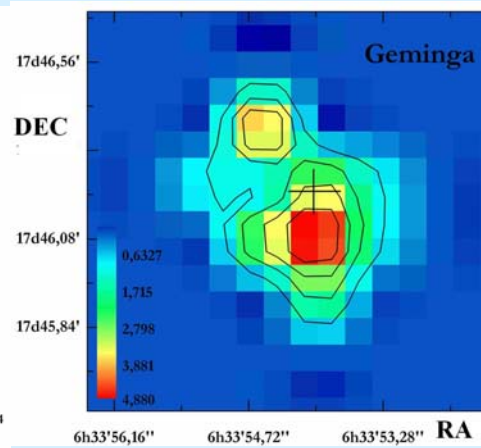
$$F_{\text{Geminga}}(E_0 > 0.8 \text{ TeV}) = (0.48 \pm 0.07) \times 10^{-12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$



The Geminga γ -quantum spectrum with power index $k_\gamma = -0.59 \pm 0.10$

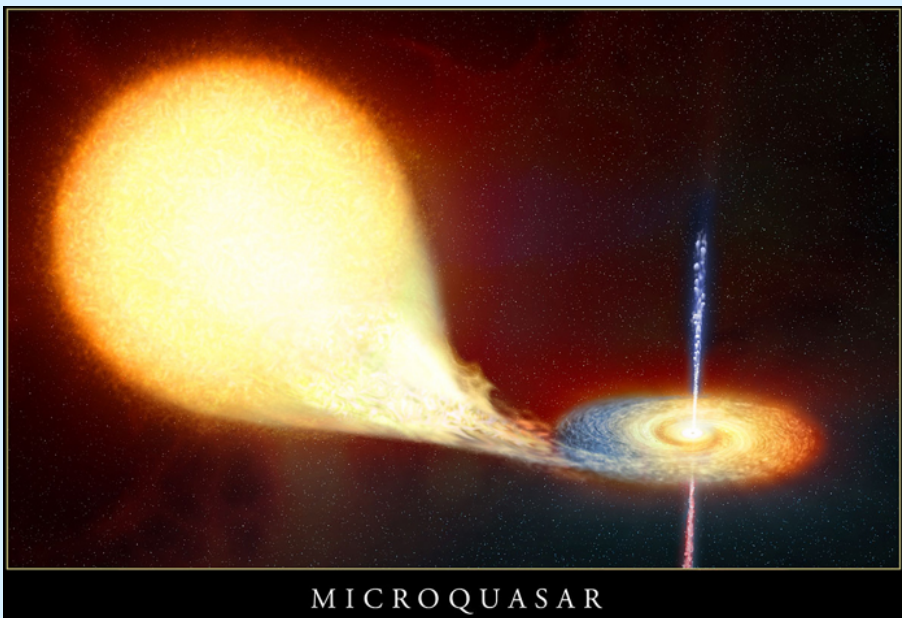


The event spectrum from Geminga with background $k_{\text{ON}} = -0.75 \pm 0.11$ and spectrum of background events – $k_{\text{OFF}} = -1.73 \pm 0.09$



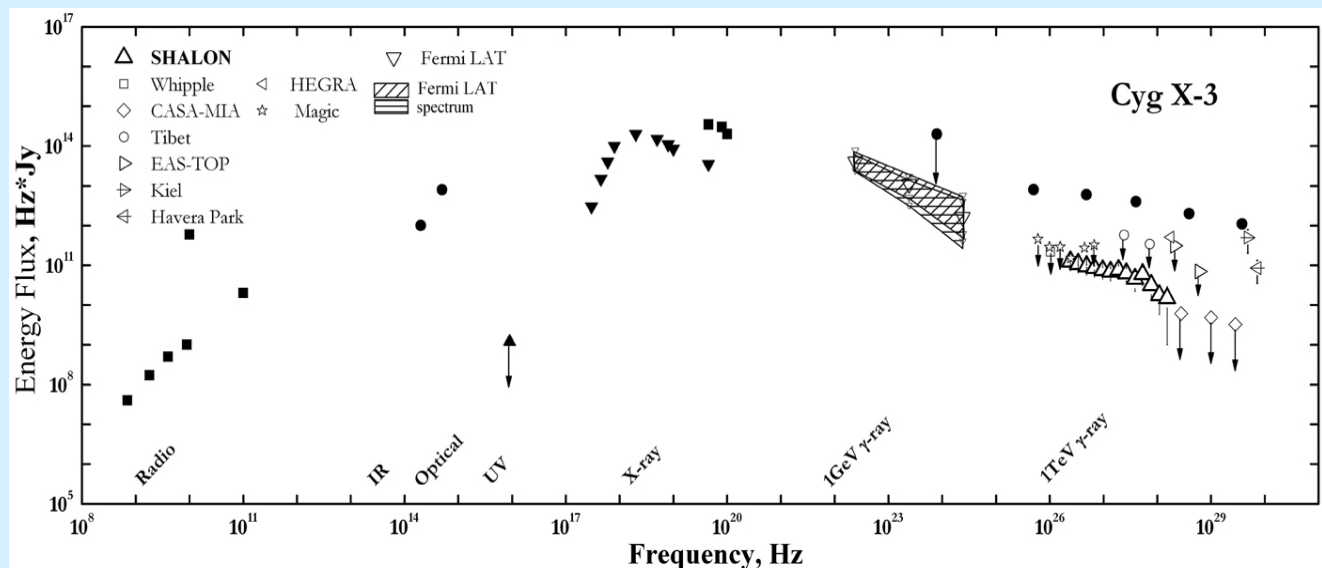
The images of Geminga by SHALON

Cygnus X-3



Cygnus X-3 – пекулярная двойная рентгеновская система открытая более 40 лет. Этот объект наблюдается во всём диапазоне электромагнитного спектра. Это один из наиболее ярких рентгеновских источников, проявляющий как быструю переменность, так и длительные периоды высокой и низкой интенсивности излучения. Также он является наиболее сильным источником радио излучения среди рентгеновских двойных систем; обнаруживает и гигантские радио выбросы и релятивистские джеты. При этом активность в радио диапазоне тесно связана с рентгеновским излучением на различных периодах. Основываясь на регистрации высокоэнергичных гамма-лучей, было высказано предположение о том, что Cyg X-3 может быть одним из наиболее мощных источников заряженных частиц космических лучей в Галактике.

Спектральное энергетическое распределение гамма-излучения от Cyg X-3. Δ — данные наземного черенковского телескопа ШАЛОН (за период 1995 – 2012 гг.) в сравнении с данными других экспериментов: TIBET, HEGRA, EAS-TOP, Whipple, CASA-MIA, Kiel, Haveria Park. Чёрные точки представляют архивные данные из Cordova, (1986).



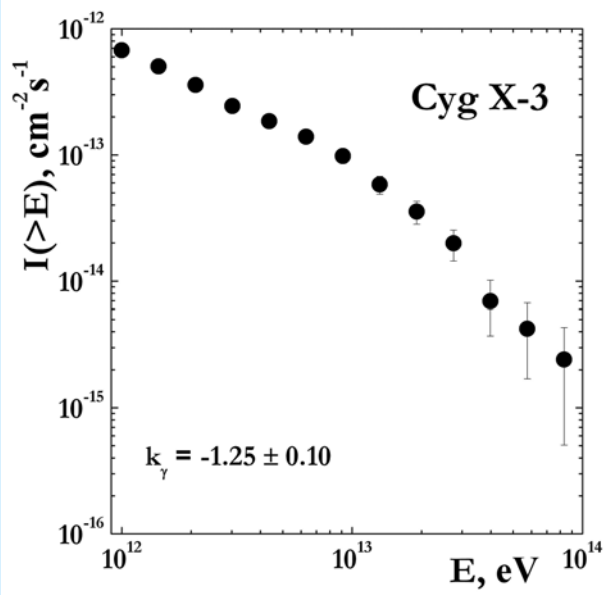
Cygnus X-3

На высокогорном (3340 м) зеркальном черенковском телескопе ШАЛОН ведутся уникальные долговременные наблюдения массивной двойной системы Cyg X-3. Рентгеновская двойная система Cyg X-3, систематически наблюдается телескопом ШАЛОН с 1995 года (всего 267 часов) со средним значением потока γ -квантов:

$$F(E_0 > 0.8 \text{ ТэВ}) = (6,8 \pm 0,5) \times 10^{-13} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}.$$

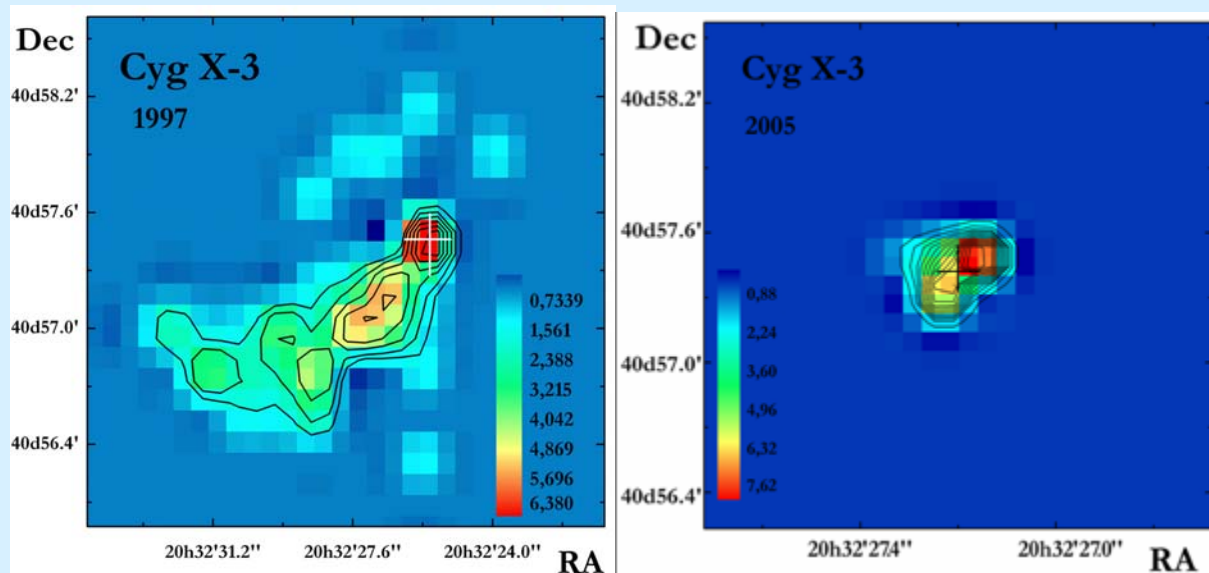
Достоверность регистрации Cyg X-3 телескопом ШАЛОН при энергиях больше 0.8 ТэВ составляет 32.8σ по определению Li&Ma.

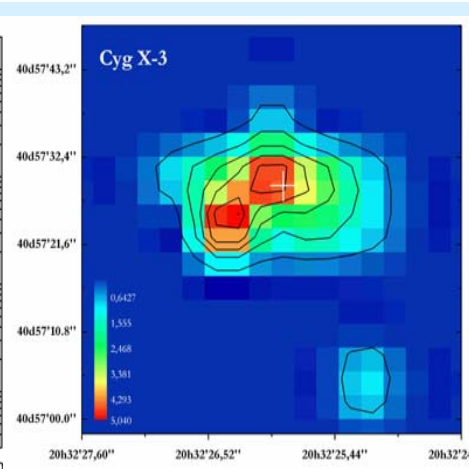
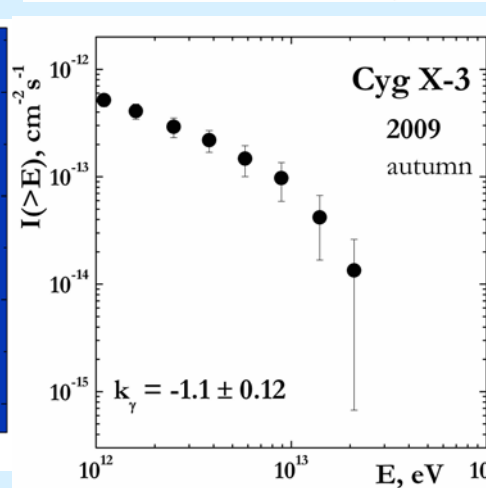
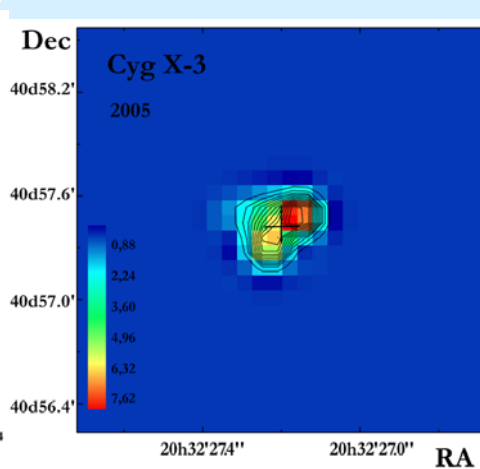
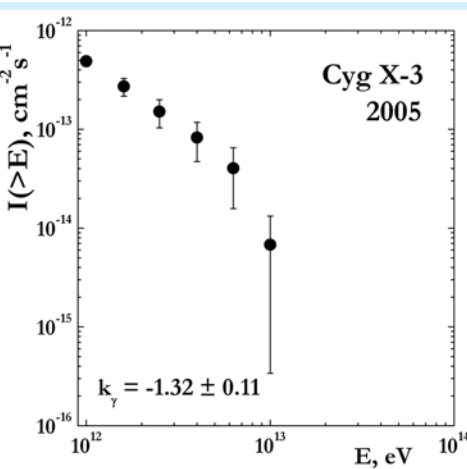
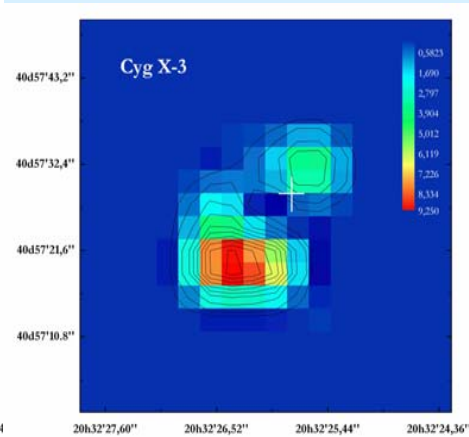
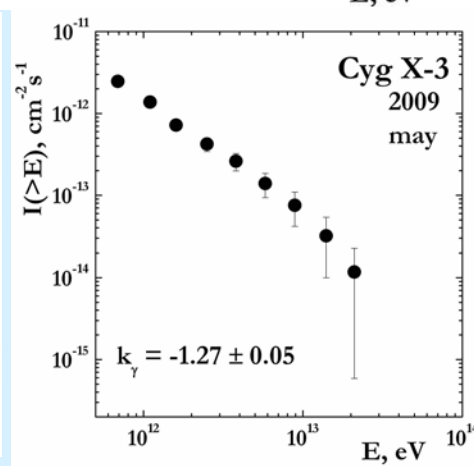
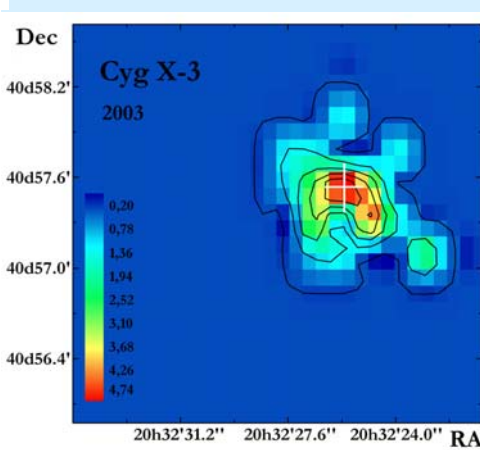
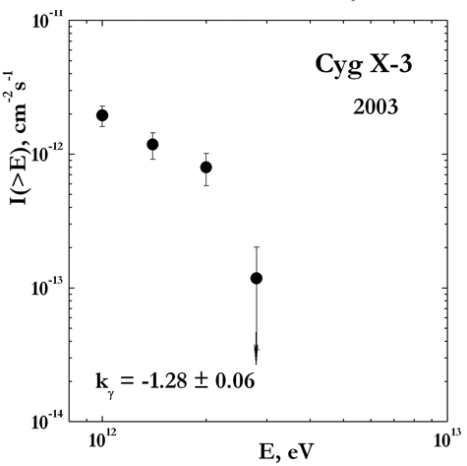
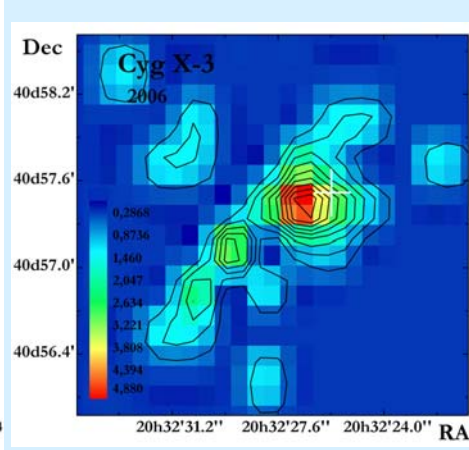
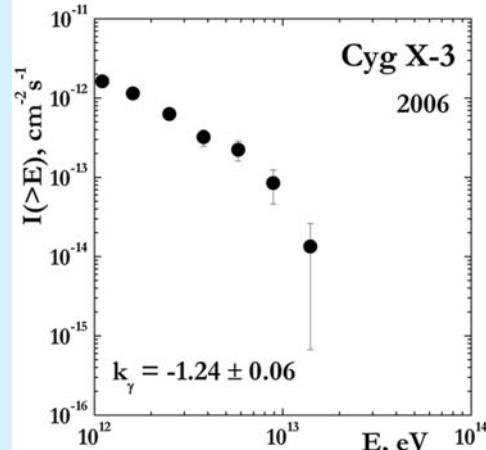
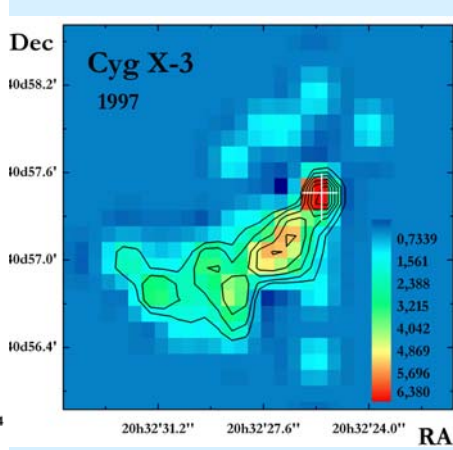
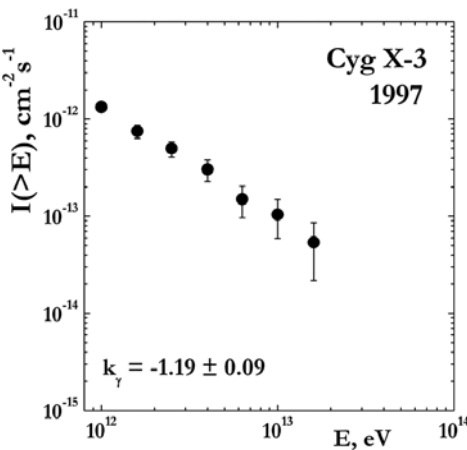
Энергетический спектр γ -квантов в наблюдаемом диапазоне энергий от 0,8 ТэВ до 85 ТэВ хорошо описывается единым степенным законом $F(E_0 > 0,8 \text{ ТэВ}) \sim E^{\kappa_\gamma}$, где $\kappa_\gamma = -1,25 \pm 0.10$.

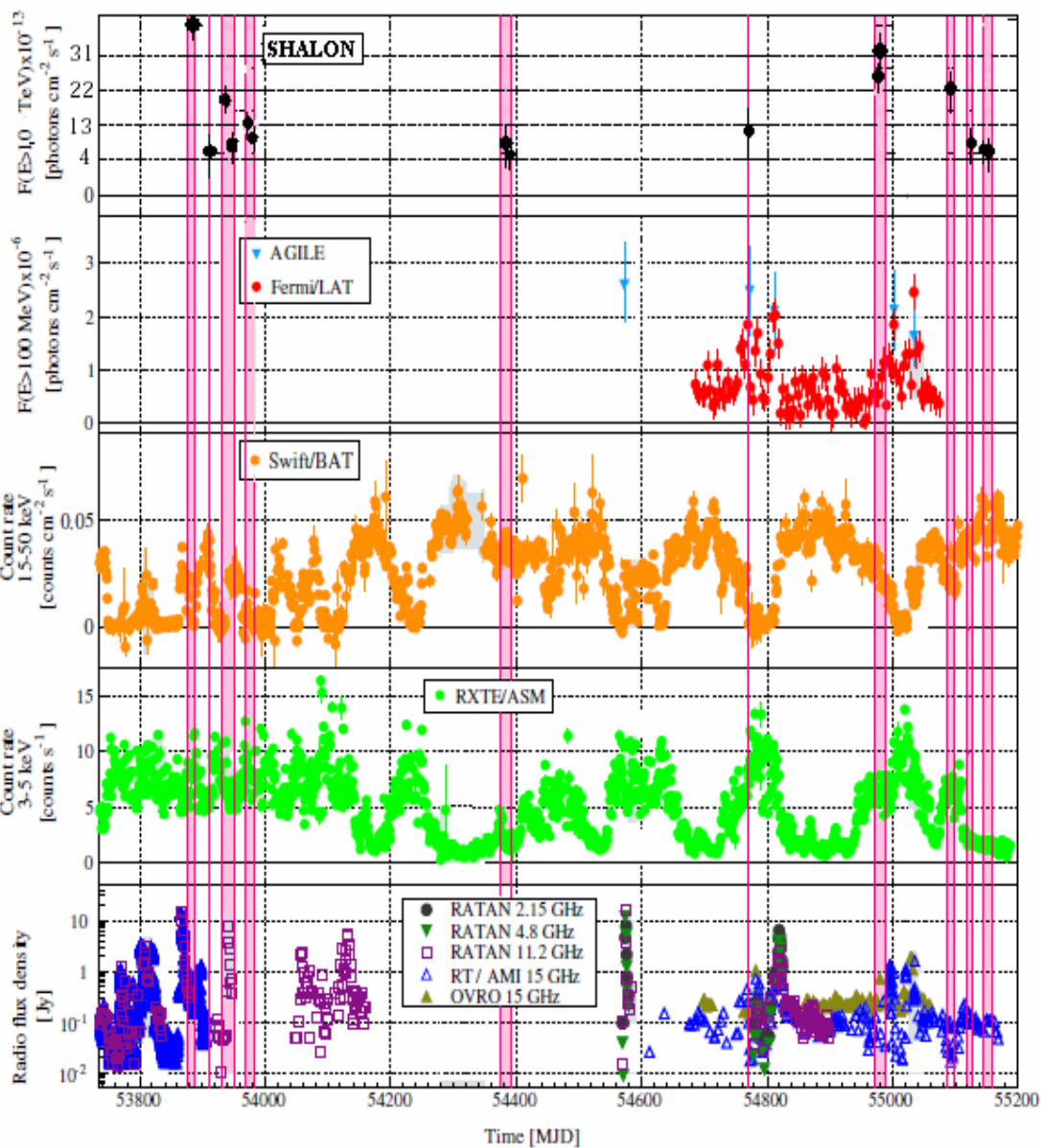


По данным наблюдений телескопом ШАЛОН при вспышках были обнаружены выбросы-джеты, напоминающие джеты квазаров и активных галактик. Последние повышения потока источника были отмечены в мае 2009 года и октябре 2011, которые коррелировали с активностью Cyg X-3 в области низких энергий в рентгене и, наблюдаемой при высоких энергиях телескопом Fermi LAT. Ранее, в 1997, 2003 и 2006 годах, были обнаружены сопоставимые увеличения потока γ -квантов сверхвысоких энергий.

Для сравнения приведены изображения Cyg X-3 в спокойный период 2005 года и в период вспышки 1997 года.



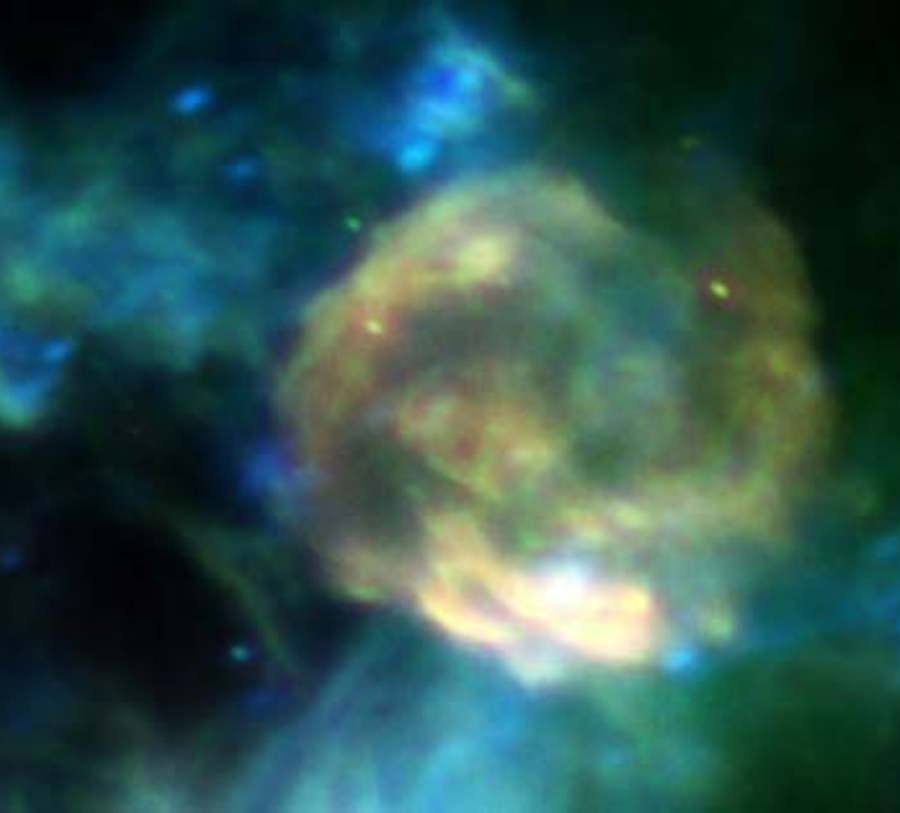




В результате, за весь период наблюдений объекта Cyg X-3 телескопом ШАЛОН было отмечено восемь повышений потока γ -квантов с энергиями выше 0,8 ТэВ. Для выявления возможных корреляций вспышек при сверхвысоких энергиях с поведением источника в других диапазонах энергий, были совместно проанализированы доступные световые кривые Cyg X-3, за период с 2005 по 2009 гг., в жёстком (15 – 50 кэВ, Swift/BAT), мягком (3 – 5 кэВ, RXTE/ASM) рентгеновских диапазонах, а также в радиодиапазоне 2,15, 4,8, 11,2 ГГц (РАТАН), 15 ГГц (RT/AMI и OVRO).

Обнаружена антикорреляция уровня жёсткого рентгеновского потока и потока γ -квантов сверхвысоких энергий в периоды перечисленных вспышек, при этом, наблюдается корреляция мягкого рентгеновского и ТэВ-ого γ -излучения. Было отмечено, что вспышки активности Cyg X-3 в диапазоне энергий выше 0,8 ТэВ, происходят близко, в пределах 4 - 5 дней, к радиовспышкам. По-всей видимости, такое поведение связано с мощными выбросами масс из центральных областей вокруг черной дыры, сопровождающимися распространением релятивистских ударных волн, в которых происходит быстрая и эффективная генерация релятивистских электронов и магнитных полей. Подобное описанному поведению потока γ -квантов сверхвысоких энергий по отношению к активности в диапазоне мягкого рентгеновского излучения и радиодиапазоне было обнаружено и в период активности 1997 года. Увеличение потока γ -квантов с энергией $>0,8 \text{ ТэВ}$ в 2003 году не укладывается в эту схему: оно происходило в спокойный, в диапазоне 3 – 5кэВ, период. В среднем, корреляция потоков γ -квантов сверхвысоких энергий и в диапазоне мягкого рентгеновского излучения прослеживается за весь период наблюдений на телескопе ШАЛОН с 1996 (данные ASM доступны с 1996 года).

γ Cygni SNR

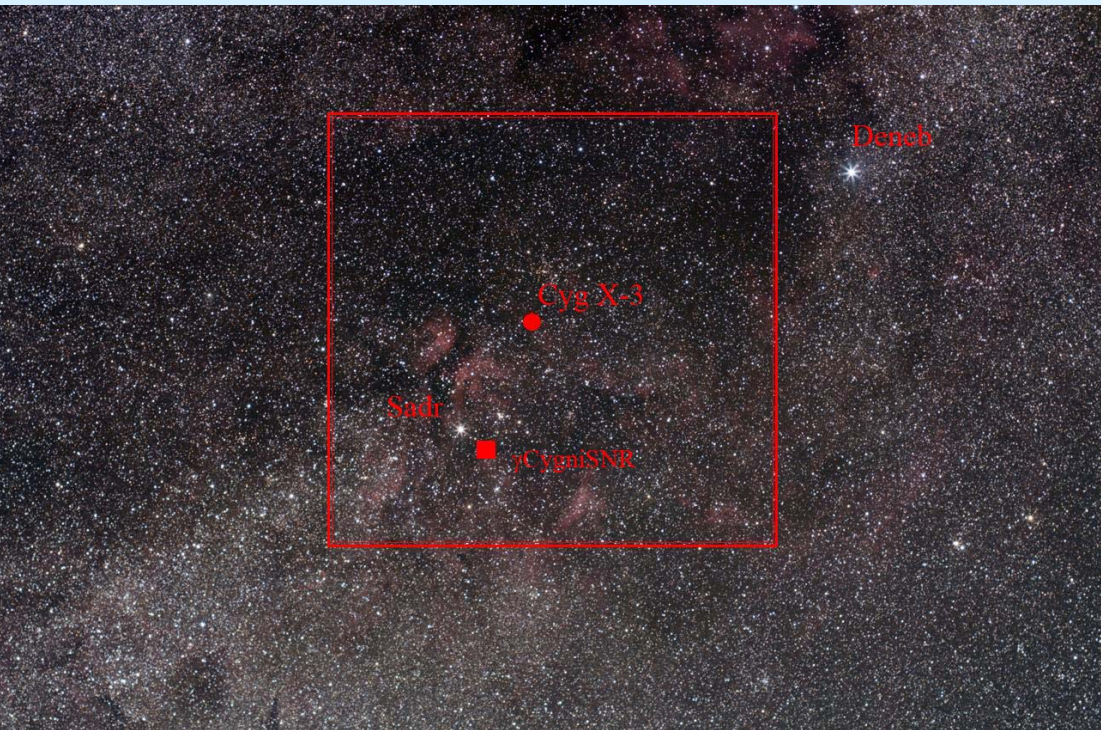


The radio astronomy image of γ Cygni SNR, from the Canadian Galactic Plane Survey (CGPS)

γ Cygni SNR – близкий остаток сверхновой оболочечного типа (1 – 2 кпк), который имеет угловые размеры $\sim 1^\circ$ и оболочечную структуру, видимую в радио и рентгеновском диапазоне энергий. γ Cygni SNR существенно старше таких остатков сверхновых как Cas A и Tycho's SNR, его возраст оценивается как 5000 – 7000 лет и, предположительно, ОЧН γ Cygni находится на стадии раннего адиабатического расширения. Наблюдения остатков сверхновых на разных этапах эволюции могут помочь в установлении механизмов ускорения космических лучей до энергий вплоть до 10^{15} эВ.

Область Лебедя (Cygnus-X), к которой относится и описанная двойная система Cyg X-3, содержит ряд потенциальных источников ГэВ-ого и ТэВ-ого излучения, некоторые из которых были обнаружены при высоких энергиях телескопом Fermi LAT (2009 - 2013) и ранее телескопом EGRET (1995, 1996), а также при сверхвысоких энергиях установкой Milagro (2011) и черенковскими телескопами Whipple (1998) и HEGRA (1996).

γ Cygni SNR



В поле зрения телескопа ШАЛОН, на расстоянии $\sim 2^\circ$ на юго-запад от Cyg X-3, находится известный источник радио и рентгеновского излучения, остаток сверхновой (ОСН) γ Cygni SNR (или G78.2+2.1). Таким образом, благодаря большому полю зрения телескопа ШАЛОН ($> 8^\circ$), наблюдения Cyg X-3 автоматически сопровождаются наблюдениями ОСН γ Cygni.

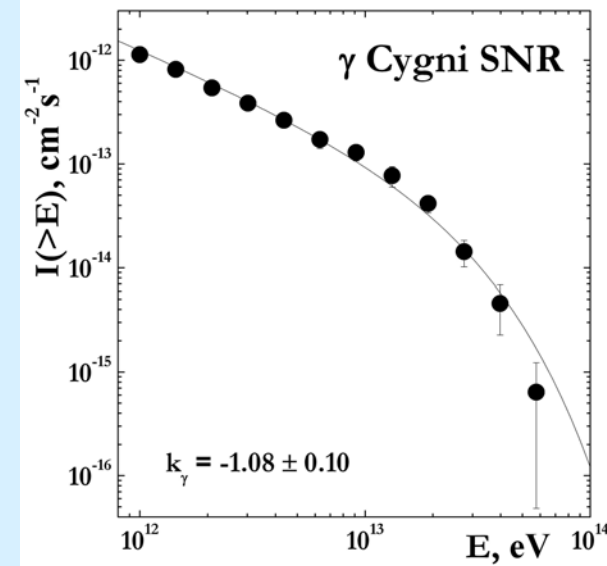
Поле зрения телескопа ШАЛОН при наблюдениях Cyg X-3

Как источник, сопровождающий Cyg X-3, γ Cygni SNR систематически наблюдается телескопом ШАЛОН с 1995 по настоящее время (260 часов). Среднее значение потока при энергиях больше 0,8 ТэВ для γ Cygni SNR составляет :

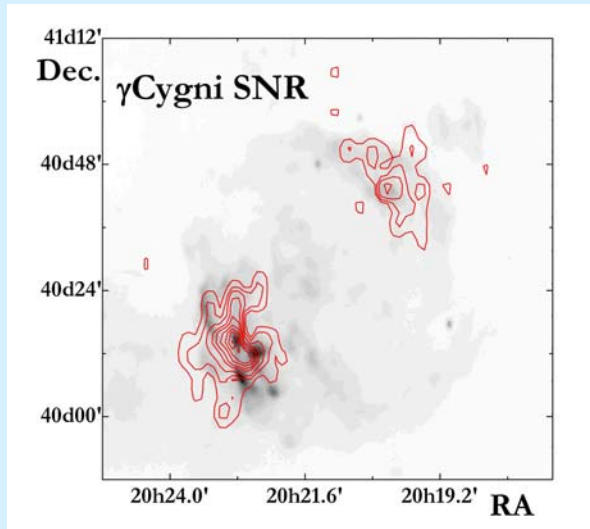
$$I_{\gamma\text{Cygni SNR}}(>0,8\text{TeV}) = (1,27 \pm 0,11) \cdot 10^{-12} \text{ см}^{-2}\text{сек}^{-1}$$

γ Cygni SNR

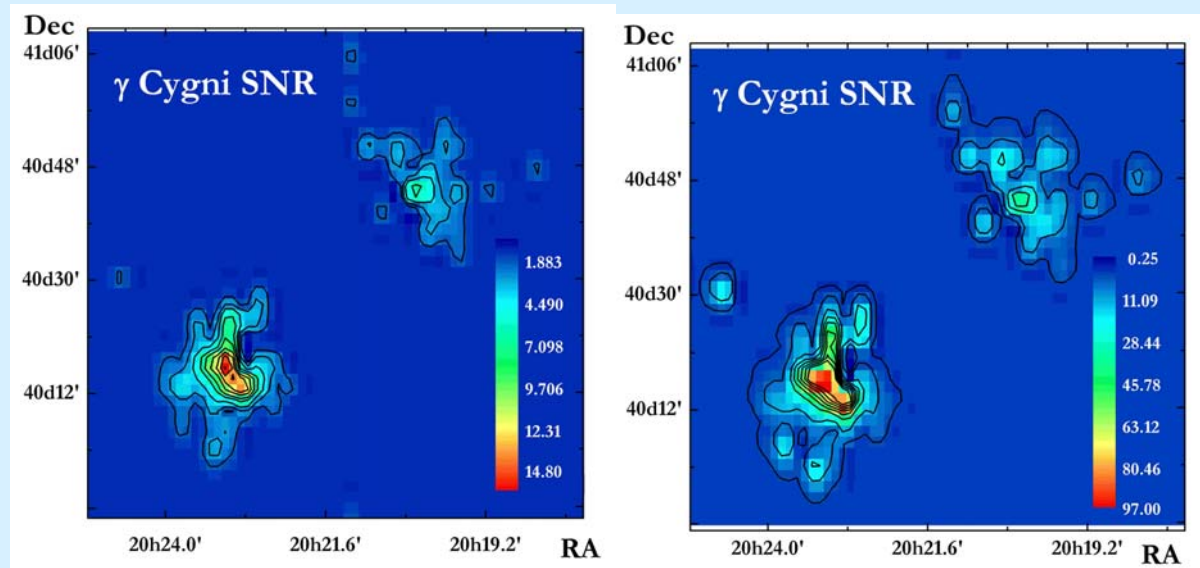
Наблюдения проводились по стандартной для телескопа ШАЛОН методике получения информации о фоне космических лучей и ливнях, инициированных γ -квантами, в одном и том же сеансе наблюдений. При обработке данных наблюдений, γ Cygni SNR был зарегистрирован телескопом ШАЛОН при энергиях больше 0.8 ТэВ на уровне 14σ определяемом по Li&Ma. Достоверность регистрации в данном случае ниже, чем у источников с данным потоком и спектром за указанное количество часов наблюдений, т.к. источник наблюдался в меньшем эффективном поле зрения по сравнению со стандартной процедурой наблюдения источников в эксперименте ШАЛОН. Соответствующие поправки на эффективное поле зрения внесены при определении характеристик источника. При обработке данных наблюдений Cug X-3 по критериям отбора относительно самого Cug X-3 и с привязкой к γ Cygni SNR, количество γ -ливней общих и для первого и второго источника составило 2,4%. Распознавание принадлежности общих ливней к каждому из перечисленных источников произведено по определению углового расстояния между направлением прихода ливня и координатами источника. В результате количество γ -ливней от Cug X-3 уменьшилось на $\sim 1\%$, что не меняет величину приведённого выше потока γ -излучения от источника.



The γ -ray integral spectrum by SHALON at energies 0.8 – 28 TeV is compatible with a power law: $I(>E_\gamma) \propto E_\gamma^{-1.08 \pm 0.10}$

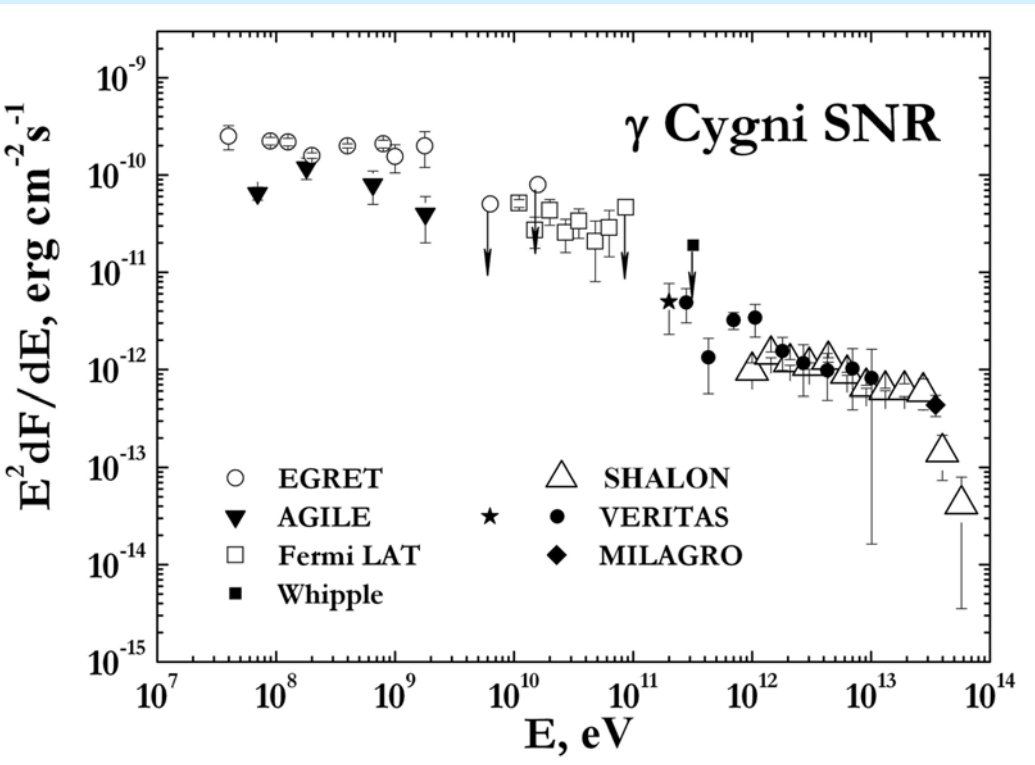


Radio image of γ Cygni SNR (CGPS); The contour lines show the TeV-image by SHALON



The images of γ Cygni SNR by SHALON

γ Cygni SNR



The spectral energy distribution of the *gamma*-ray emission from γ Cygni SNR by SHALON (Δ) in comparison with other experiment data EGRET, AGILE, Fermi LAT, Whipple, VERITAS, MILAGRO.

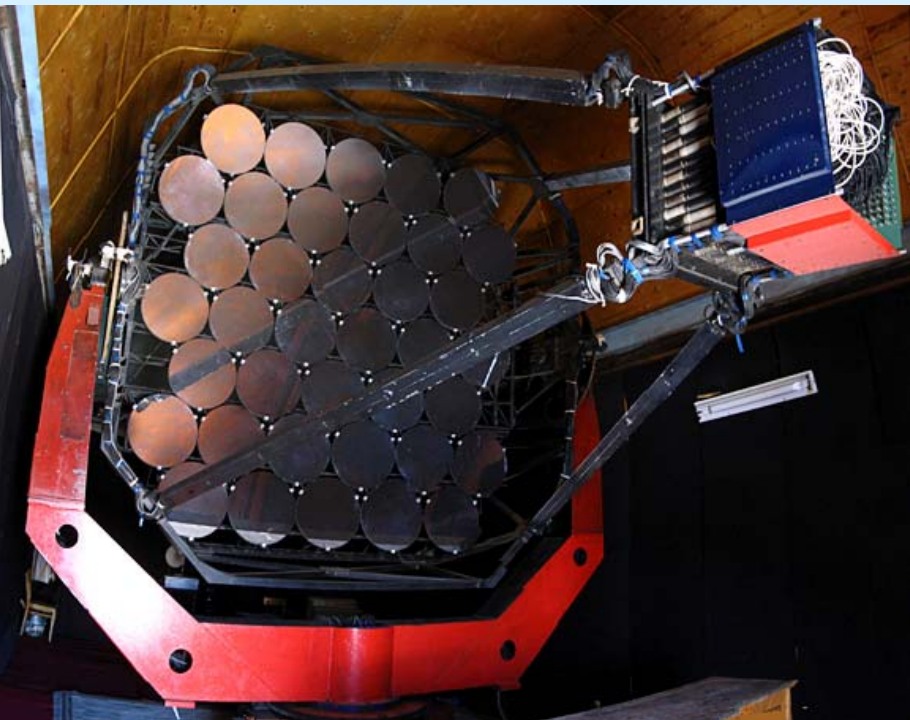
В области высоких энергий, данные по γ Cygni SNR, были получены, в разные годы, на спутниковых экспериментах EGRET в 1995, Fermi LAT (2009-2011) AGILE 2010; на наземном телескопе VERITAS (см. $\star$) при энергии 200 ТэВ был зарегистрирован протяжённый источник VERJ2019+407 коррелирующий с положением северной части оболочки OCH. При сверхвысоких энергиях ~ 35 ТэВ, излучение из области OCH было обнаружено на установке MILAGRO (2011). На рис. представлено сравнение спектрального энергетического распределения γ Cygni SNR по данным телескопов ШАЛОН (1995–2012), EGRET (1995), AGILE (2010), Fermi LAT (2009 – 2011) и VERITAS (2009), MILAGRO (2011).

Результаты исследований γ Cygni SNR, полученные телескопом ШАЛОН, были подтверждены в наблюдениях наземным черенковским телескопом VERITAS

Энергетический спектр γ -квантов остатка сверхновой γ Cygni в наблюдаемом диапазоне энергий от 0,8 ТэВ до 50 ТэВ хорошо описывается степенным законом с экспоненциальным обрезанием :

$$I(>E_{\gamma}/1\text{ТэВ})=(1,12\pm0,11)\times10^{-12}\times(E_{\gamma}/1\text{ТэВ})^{-0,93\pm0,09}\exp(-E_{\gamma}/20\text{ТэВ})$$

ТэВ-ное гамма-излучение от остатков сверхновых Tycho's SNR, Cas A, IC 443, γ Cygni SNR и Crab, 3c58, Geminga



Представлены результаты наблюдений двух типов галактических остатков сверхновых: остатков сверхновых оболочечного типа Тихо, Кассиопея А, IC443 и γ Cygni SNR и плериона Крабовидная туманность, 3c58(SN1181), Геминги (предположительно плериона), полученных с помощью зеркального черенковского телескопа ШАЛОН. Экспериментальные данные подтвердили предсказание теории об адронном механизме генерации гамма-квантов сверхвысоких энергий (0.8–100 ТэВ) в остатке сверхновой Тихо. Полученные данные свидетельствуют о различной природе происхождения гамма-излучения сверхвысоких энергий в обсуждаемых объектах.

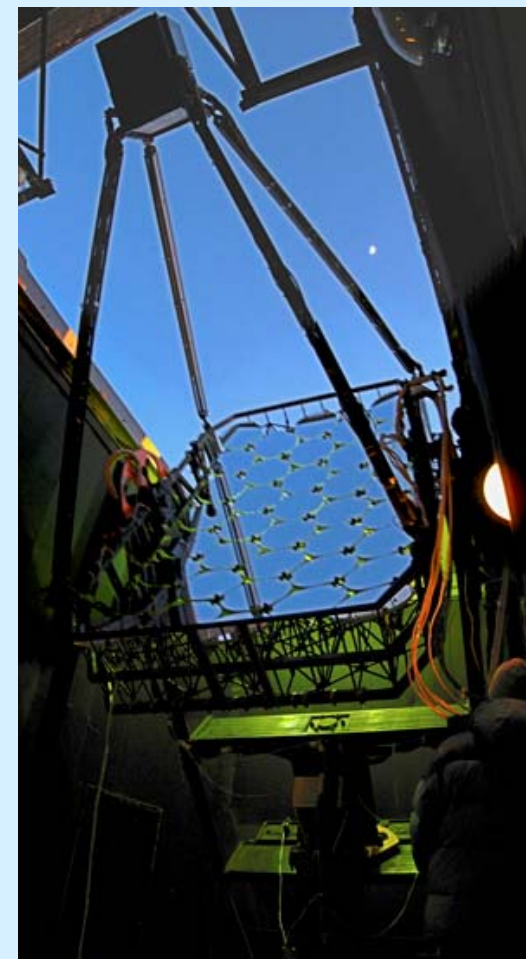


TeV GAMMA-RAY EMISSION from METAGALACTIC SOURCES

The gamma-astronomical researches are carrying out with SHALON mirror telescope at the Tien-Shan high-mountain observatory. During the period 1992 - 2012, SHALON has been used for observations of the metagalactic sources Mkn421, Mkn501, NGC1275, OJ 287, 3c454.3, 1739+522 and galactic sources Crab Nebula, Cygnus X-3, Tycho's SNR, Geminga, 2129+47XR.

SHALON catalogue of metagalactic γ -quantum sources

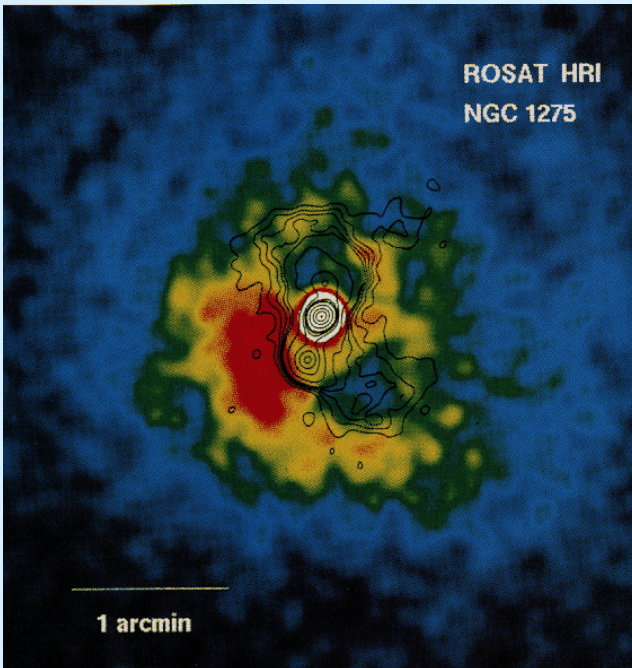
Source	Observable flux, $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	z	Source type
NGC 1275	$(0.78\pm0.05)\times10^{-12}$	0.0179	Syfer Galaxy
SN2006 gy	$(3.71\pm0.65)\times10^{-12}$	0.019	Extragalactic Supernova
Mkn 421	$(0.63\pm0.05)\times10^{-12}$	0.031	BLLac
Mkn 501	$(0.86\pm0.06)\times10^{-12}$	0.034	BLLac
Mkn 180	$(0.65\pm0.09)\times10^{-12}$	0.046	BLLac
3c382	$(0.95\pm0.33)\times10^{-12}$	0.0579	Radio Galaxy
4c+31.63	$(0.72\pm0.22)\times10^{-12}$	0.295	FSRQ
OJ 287	$(0.26\pm0.07)\times10^{-12}$	0.306	BLLac
3c4543	$(0.43\pm0.07)\times10^{-12}$	0.859	FSRQ
4c+55.17	$(0.68\pm0.17)\times10^{-12}$	0.896	FSRQ
1739+522	$(0.53\pm0.05)\times10^{-12}$	1.375	FSRQ



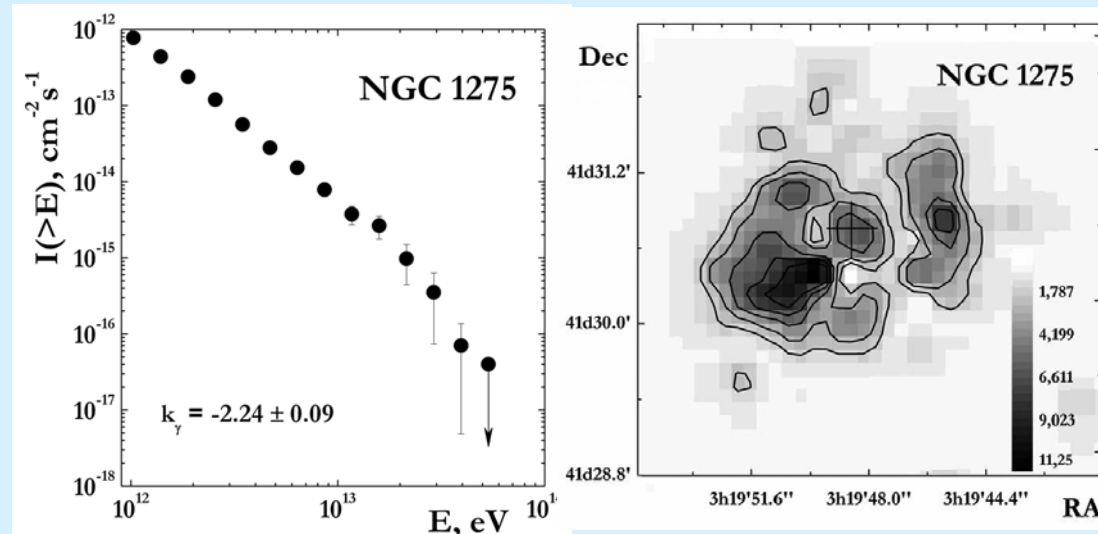
NGC 1275

Скопление галактик в созвездии Персея, как и другие скопления, уже давно рассматриваются как возможные кандидаты в источники γ -излучения высоких и сверхвысоких энергий генерированного различными механизмами. Скопление галактик Персея с центральной галактикой NGC1275 идеально подходит как для изучения физики релятивистских выбросов из активного ядра галактики, так и для выявления подпитывающей скопление роли центральной галактики. Это Скопление является одним из наиболее изученных скоплений, благодаря близости (~ 100 мпк или $z=0.0179$) и яркости. NGC 1275 относится к классу Сейфертовских галактик и является мощным источником радио- и рентгеновского- излучения.

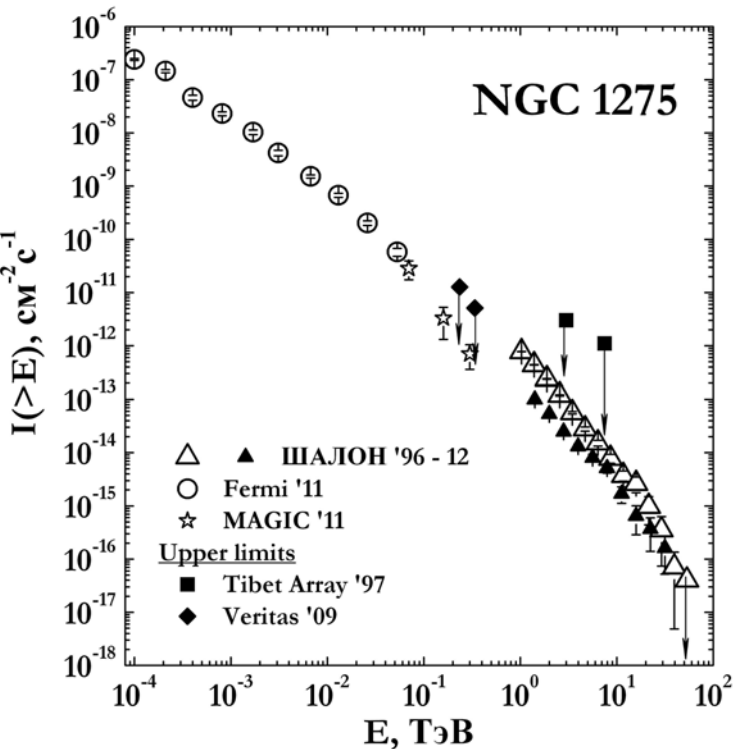
Изображение источника NGC 1275 в рентгене (ROSAT). Контурами представлена радио-структура источника по данным наблюдений VLA. Максимумы радио- и рентгеновского излучения совпадают с активным галактическим ядром NGC 1275. Тогда как, рентгеновское излучение практически полностью исчезает в окрестности радио-лобов.



В эксперименте ШАЛОН проводятся долговременные исследования центральной галактики скопления - NGC 1275. Представлены результаты пятнадцатилетних наблюдений NGC 1275 при энергиях 800 ГэВ – 40 ТэВ, обнаруженной телескопом ШАЛОН в 1996 году с потоком $(0.78 \pm 0.05) \times 10^{-12} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$, энергетический спектр с показателем степенного спектра $\gamma = -2.24 \pm 0.09$ и его изображение. Гамма-излучение от NGC 1275 было зарегистрировано телескопом ШАЛОН на уровне $29,6\sigma$ определяемом по Li&Ma.

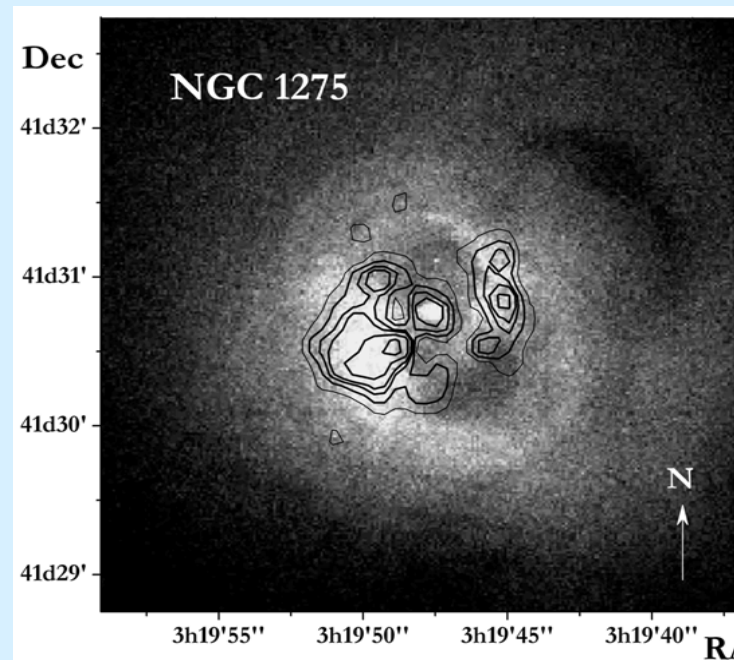


NGC 1275

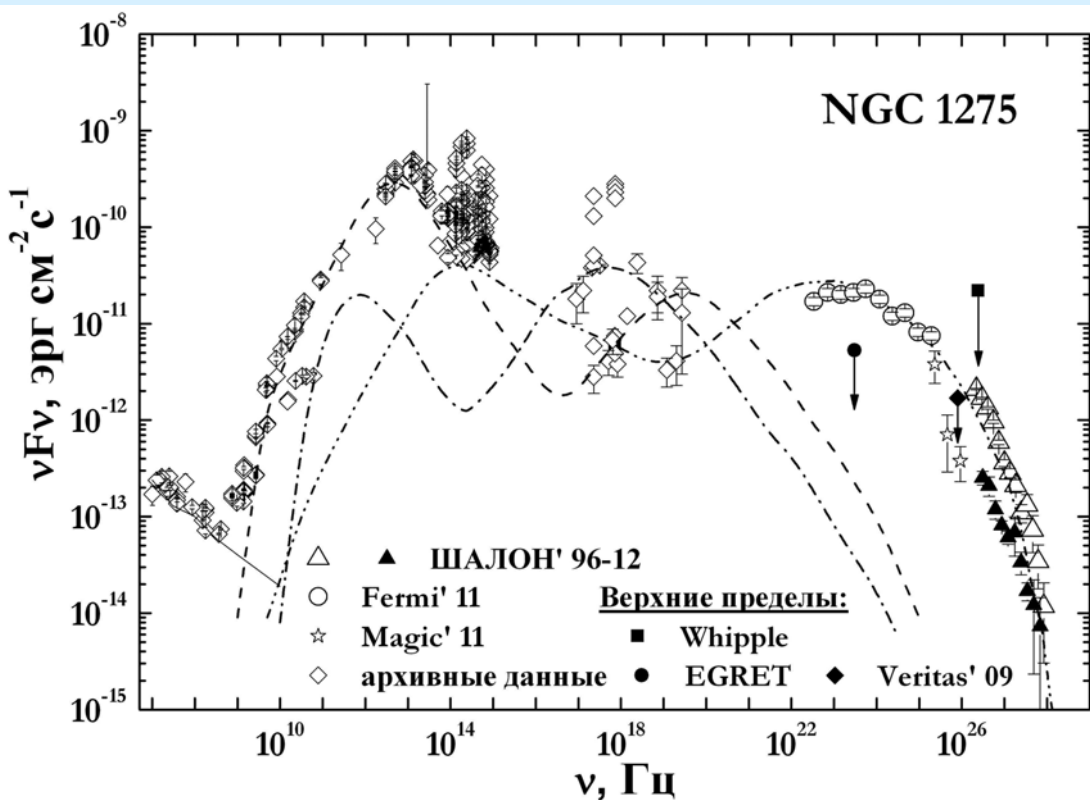


Для анализа излучения связанного с ядром дополнительно была выделена компонента излучения соответствующая центральной области NGC 1275 размером 32". Спектр, соответствующий излучению центральной области галактики NGC 1275 по данным телескопа ШАЛОН, представлен на рисунке чёрными треугольниками. Наблюдаемые телескопом ШАЛОН области излучения γ -квантов сверхвысоких энергий NGC 1275 хорошо коррелирует с областями излучения фотонов в диапазоне 1,5–3,5 кэВ. Также найдена корреляция излучения с энергиями 0,8 – 40 ТэВ и рентгеновского излучения и в диапазоне 0,3 – 7 кэВ. Формирование протяжённой структуры вокруг NGC 1275, пространственно совпадающей с областями рентгеновского излучения, может происходить благодаря механизмам связанным с генерацией рентгеновской структуры (Фабиан и др., 2000, 2006; Чуразов и др., 2000).

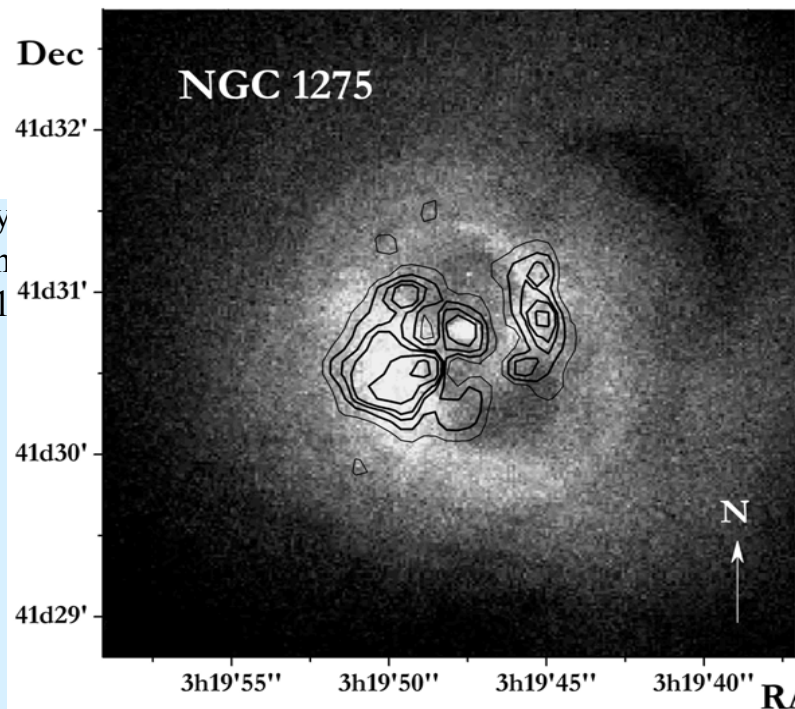
Распределение яркости рентгеновского излучения и наблюдаемого ТэВ-ного излучения демонстрирует резкое увеличение интенсивности сразу за пределами пузырей, надуваемых центральной чёрной дырой и видимых в радио диапазоне. Это свидетельствует о том, что генерирующие рентгеновское излучение частицы, выметаются из области радиолобов под давлением космических лучей и магнитных полей, генерирующихся в выбросах центра галактики NGC 1275 (Фабиан и др., 2006; Чуразов и др., 2000). Образование структур, видимых в ТэВ-ных гамма-лучах, происходит благодаря взаимодействию космических лучей сверхвысоких энергий с газом внутри скопления Персея и подогреву межзвёздного газа на границе пузырей, надуваемых центральной чёрной дырой, находящейся в галактике NGC 1275.



NGC 1275



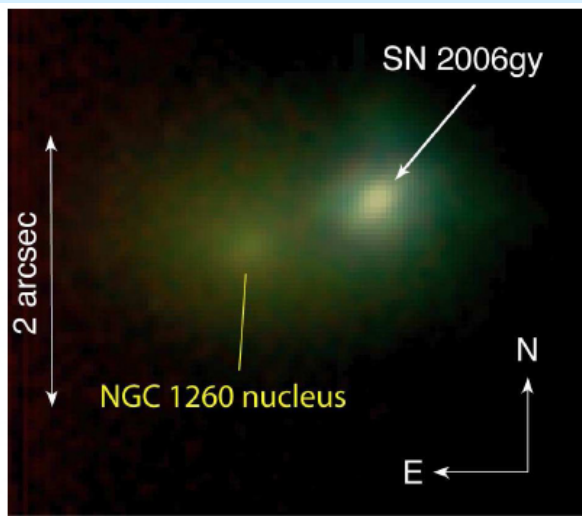
Полученные данные при сверхвысоких энергиях, а именно изображения галактики и её окрестностей, а также переменность излучения, указывают на то, что ТэВ-ое гамма-излучение образуется в результате целого ряда процессов: а именно, часть этого излучения генерируется в результате релятивистских выбросов в самом ядре галактики NGC 1275. Тогда как наличие протяжённой структуры вокруг NGC 1275 свидетельствует о взаимодействии космических лучей и магнитных полей, генерирующихся в выбросах центра галактики, с газом скопления Персея.



Overall spectral energy distribution of NGC 1275. The TeV energy spectrum of NGC 1275 from SHALON, 15 year observations in comparison with other experiments: Fermi LAT'09-11, MAGIC'10-11 and upper limits: EGRET'95, Whipple'06, Veritas'09 and models.

Наличие излучения в диапазоне энергий 1 - 40 ТэВ из центральной области размером $\sim 32''$ вокруг ядра галактики NGC 1275 (чёрные треугольники), а также кратковременная переменность излучения, указывает на происхождение излучения сверхвысоких энергий в результате генерации джетов, выбрасываемых центральной сверхмассивной чёрной дырой галактики NGC 1275.

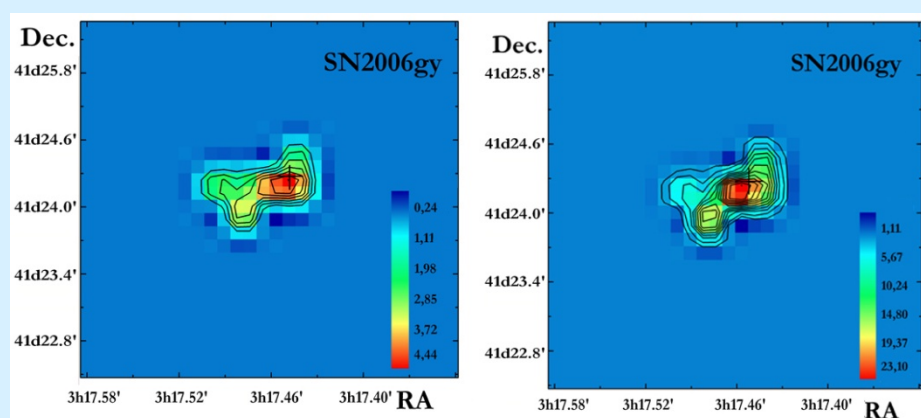
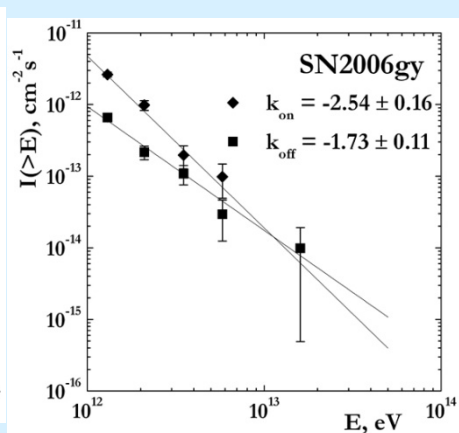
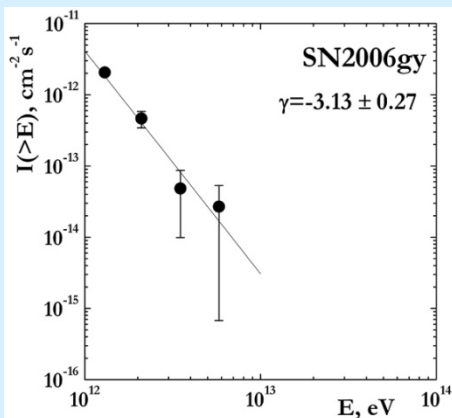
SN2006 gy



Laser guide star adaptive optics image of SN 2006gy and the nucleus of NGC 1260, showing a clear offset of the SN from the galaxy center. Blue is J band (1.25 μm), green is H band (1.65 μm), and red is Ks band (2.2 μm) on the Shane 3-m telescope at Lick Observatory. [Smith et. al, 2007]

The flux increase was detected from the region NGC 1275 in autumn 2006. The detailed analysis of gamma-shower direction turned out the detection of metagalactic object. This object was identified with the supernova SN 2006gy that is about 10 minutes away from NGC 1275.

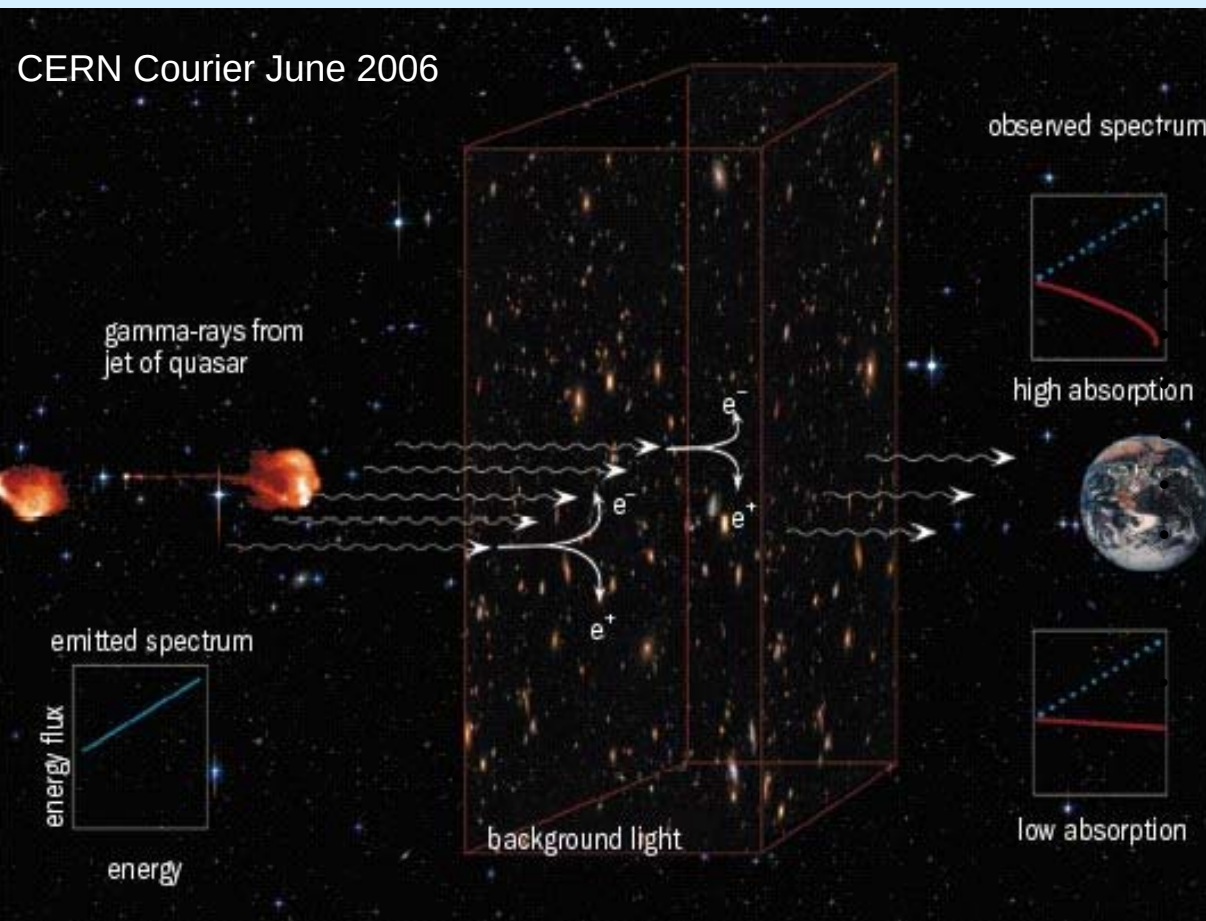
Observations had been done in cloudless nights of moonless periods of 2006 Sep., Oct., Nov. Dec. and then during the winter of 2007. No flux increase was found in September observations. In the flare, observed on Oct. 22, the flux increased 6 times from the NGC 1275 and stayed on this level all Oct. moonless period. The integral gamma-ray flux for SN 2006gy is found to be $(3.71 \pm 0.65) \times 10^{-12} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ at energies of $> 0.8 \text{ TeV}$. The energy spectrum of SN2006 gy at 0.8 to 7 TeV can be approximated by the power law $F(>E_0) \propto E^{k_\gamma}$, with $k_\gamma = -3.13 \pm 0.27$. An images of gamma-ray emission from SN2006 gy by SHALON telescope are presented. Follow-up observations on end of Nov. Showed that the flux of SN2006 gy had dropped to a flux level of about $(0.69 \pm 0.17) \times 10^{-12} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ and was constant during the Nov. Dec. period. The results of observation analysis of 2007 have no revealed TeV gamma-ray emission from region of SN 2006gy. So, the explosion of extragalactic supernova was observed at TeV energies for the first time with SHALON Cherenkov telescope.



МЕТАГАЛАКТИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ГАММА-КВАНТОВ С ЭНЕРГИЕЙ 1-100ТэВ

Наблюдения активных галактических ядер также может использоваться для изучения фонового излучения. Фоновое излучение состоит из излучения галактик, звёзд и горячей пыли, производимого за всю историю Вселенной. Его спектр содержит информацию о скорости формирования звёзд и галактик на ранних стадиях развития Вселенной. ТэВ-ные фотоны от далёких источников взаимодействуют, в основном, с инфракрасным фоном фотонов путём резонансного процесса $\gamma + \gamma \rightarrow e^+e^-$. Затем, всё ещё релятивистские, электроны сами могут излучать гамма-кванты меньших энергий, чем первичный, и.т.д., В результате, первичный спектр источника становится искаженным в зависимости от спектра фонового излучения. Таким образом, жёсткие спектры наблюдаемых АГЯ с красным смещением 1.6 – 1.8 позволят определить поглощение на межгалактическом фоновом излучении (EBL) в видимой – инфракрасной области энергий.

CERN Courier June 2006



За период с 1992-2013 гг. наблюдались 11 метагалактических источников:

NGC 1275 $z = 0.0179$;

SN 2006gy $z = 0.019$;

Mkn 421 $z = 0.031$;

Mkn 501 $z = 0.034$;

Mkn 180 $z = 0.046$;

3c382 $z = 0.0578$;

4c+31.63 $z = 0.295$

OJ 287 $z = 0.306$;

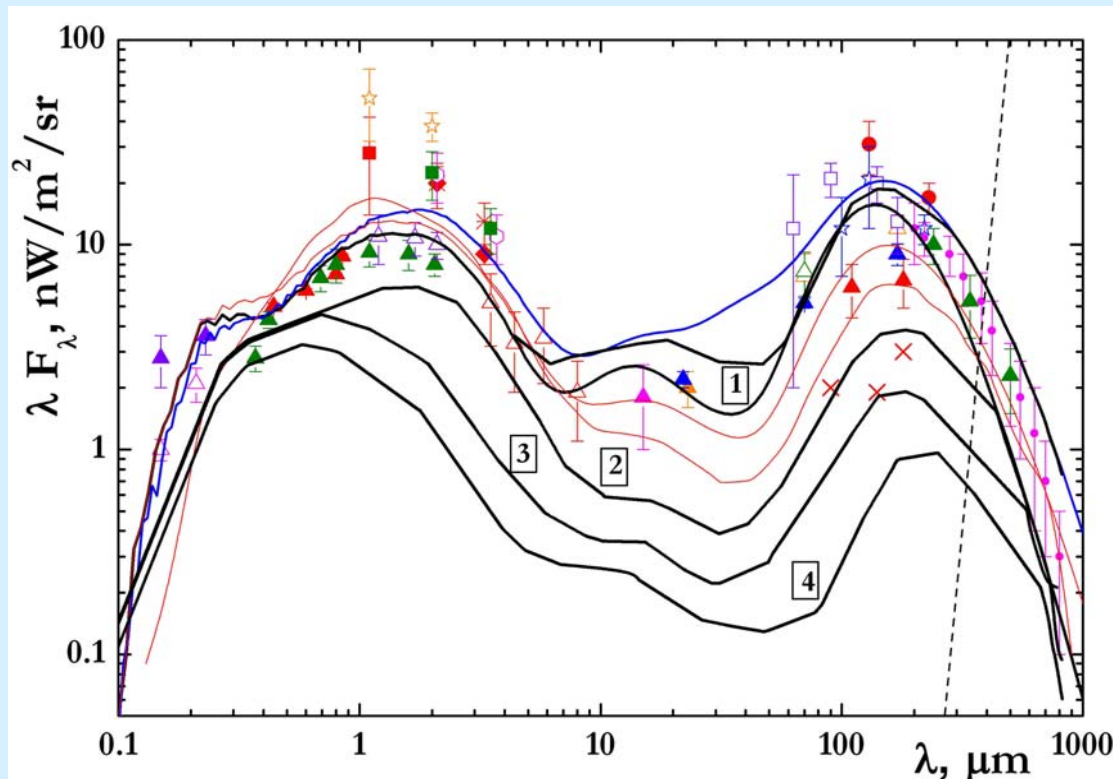
3c454.3 $z = 0.859$;

4c+55.17 $z = 0.896$

1739+522 $z = 1.375$;

Существование далёких источников в ТэВ-ном диапазоне энергий говорит о том, что Вселенная более прозрачна для гамма-квантов сверхвысоких энергий, чем это предполагалось ранее, на основании прямых измерений и модельных предсказаний EBL.

Extragalactic Background Light



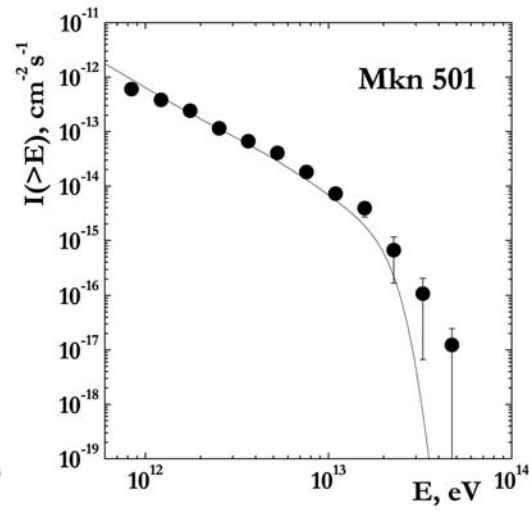
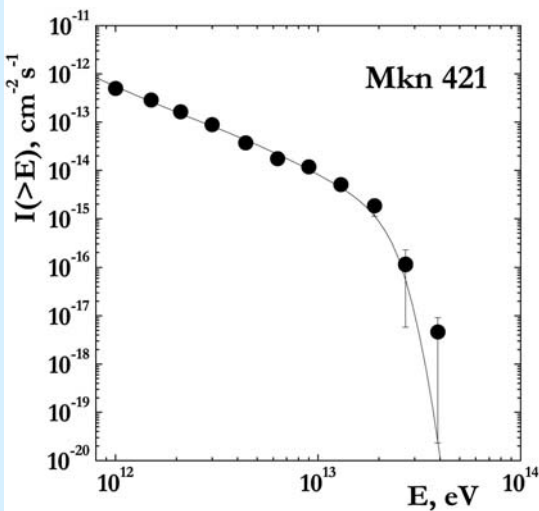
Спектральное энергетическое распределение внегалактического фонового излучения (EBL): модели [Stecker et. al, 2006, Kneiske et. al 2004], экспериментальные данные [R.C. Gilmore, et al., ArXiv:1104.0671];
1 – усреднённый спектр EBL из best-fit model и Low-SFR model, а также восстановленный спектр EBL из наблюдений ШАЛОН: NGC1275, Mkn421, Mkn501 и Mkn180; спектры EBL восстановленные из наблюдений ШАЛОН:
2 – OJ 287 ($z=0.306$);
3 – 3c454.3 ($z=0.859$),
4c+55.17 ($z=0.896$);
4 – 1739+522 ($z=1.375$).

В эксперименте ШАЛОН, при энергиях 800 ГэВ – 100 ТэВ, проведены наблюдения Активных Галактических Ядер (АГЯ), находящихся на различных расстояниях с красными смещениями от 0.0179 до 1.375 [6, 7, 10, 13, 16, 19].

Обнаружение источников ТэВ-ого гамма-излучения с большими красными смещениями, свидетельствует о том, что внегалактическое фоновое излучение имеет меньшую среднюю плотность фотонов (см. Рис.), и, следовательно, скорость формирования первых звезд была значительно ниже, чем предполагалось ранее. Также, возможная интерпретация наблюдаемого излучения сверхвысоких энергий от далёких АГЯ, в перерассеянии первичных ТэВ-ых фотонов на частицах тёмной материи, так называемых WISP – слабо взаимодействующих лёгких частицах, кандидатами в которые служат аксионоподобные частицы. .

Extragalactic Background Light

The measured spectra for Mkn 421, Mkn 501, OJ287,3c454.4 and 1739+522 (black squares)
together with spectra attenuated by EBL (lines)

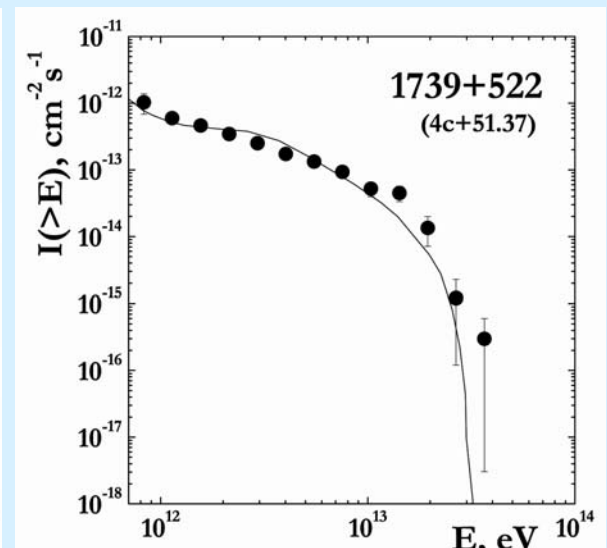
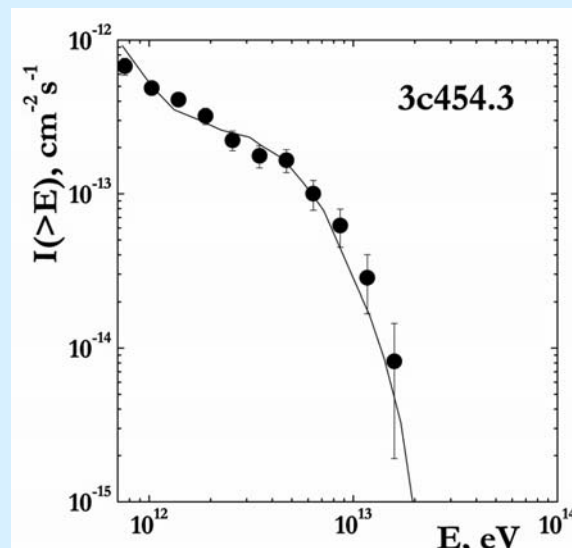
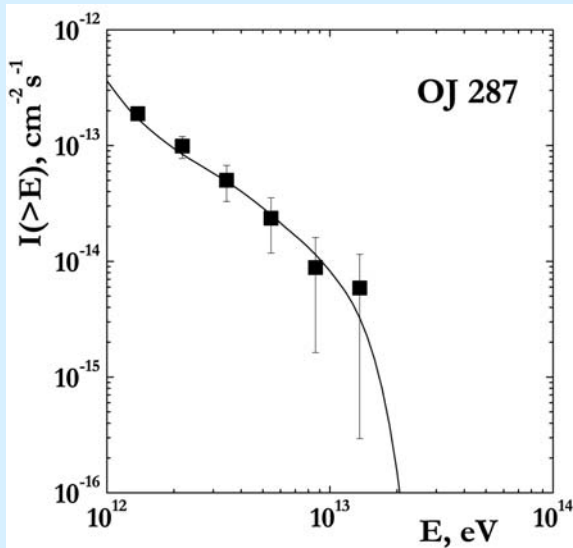


The attenuated spectra of Mkn 421 and Mkn 501 in assumption of simple power low intrinsic spectrum of the source with spectrum index of $\gamma = 1.5$, taken from the range of $\tau < 1$.

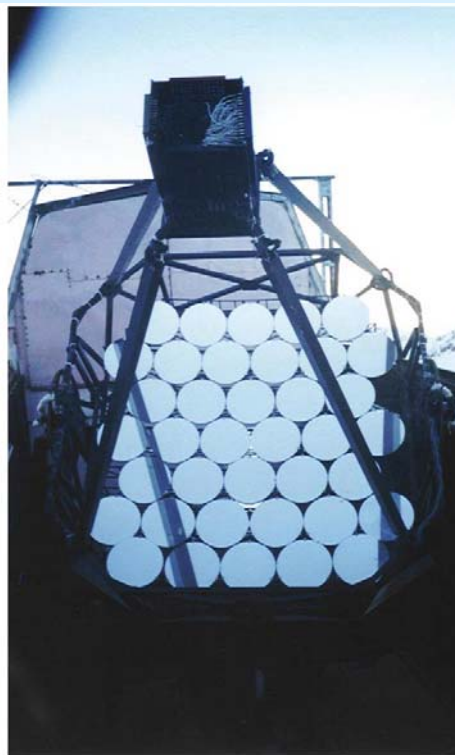
The result is shown with thin line; the black points are observational data for Mkn 421 and Mkn 501 respectively.

The attenuated spectra for OJ287, 3c454.3 and 1739+522 (in assumption of simple power low intrinsic spectrum of the source) are shown with thin lines; the black points are the observational data.

For these sources the slope of intrinsic spectrum is taken $\gamma = 0.9 \div 1.2$.



ПОИСКИ НЕЙТРИНО С ЭНЕРГИЕЙ $10^{13} - 10^{16}$ ЭВ ПО ШИРОКИМ АТМОСФЕРНЫМ ЛИВНЯМ, ГЕНЕРИРУЕМЫМ В ГОРНЫХ ХРЕБТАХ, ГАММА-ТЕЛЕСКОПОМ ШАЛОН



Начат поиск локальных источников нейтрино с энергией $10^{13} - 10^{16}$ эВ по широким атмосферным ливням, генерируемым в горных хребтах в пяти и более километрах от гамма-телескопа. Проводится анализ результатов наблюдений широких атмосферных ливней на высоте 3338 м над уровнем моря с помощью гамма-телескопа ШАЛОН при зенитных углах 72° , 76° , 84° , 97° . При наблюдениях под большими зенитными углами эффективность регистрации черенковского света со всей толщи атмосферы значительно убывает из-за рассеяния и поглощения в атмосфере.

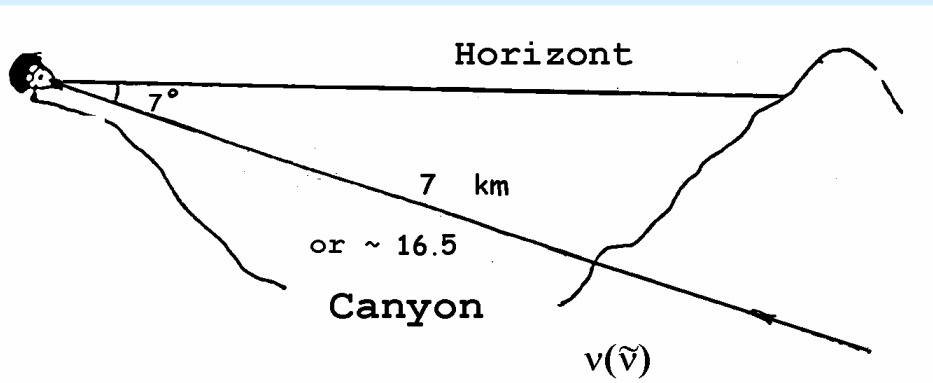
Зеркальная телескопическая система ШАЛОН с площадью составного зеркала 11.2 м^2 и светоприёмником из 144 фотоумножителей с угловым разрешением $< 0.1^\circ$ имеет наибольшие в мире угловые размеры матрицы фотоумножителей более 8° . Это позволяет вести контроль фона от заряженных частиц космического излучения и прозрачность атмосферы непрерывно в процессе наблюдений, а также расширяет площадь наблюдения и, соответственно, эффективность наблюдений. Именно это позволяет начать поиск локальных источников нейтрино с энергией $10^{13} - 10^{16}$ эВ по широким атмосферным ливням, генерируемым в горных хребтах в пяти и более километрах от гамма-телескопа (аббревиатура ШАЛОН – широкие атмосферные ливни от нейтрино).

ПОИСКИ НЕЙТРИНО С ЭНЕРГИЕЙ $10^{13} - 10^{16}$ ЭВ ПО ШИРОКИМ АТМОСФЕРНЫМ ЛИВНЯМ, ГЕНЕРИРУЕМЫМ В ГОРНЫХ ХРЕБТАХ, ГАММА-ТЕЛЕСКОПОМ ШАЛОН



Нейтринные телескопы регистрируют черенковское излучение, генерированное в воде или во льду при прохождении релятивистских заряженных частиц, рождённых при столкновениях нейтрино с нуклонами вещества детектора. Поскольку сечение взаимодействия нейтрино чрезвычайно мало, для регистрации нейтрино требуются детекторы гигантских размеров. Выдвигались и некоторые альтернативные подходы к решению этой проблемы. Один из которых – использовать вещество земли (гор) как рабочий объём для конверсии нейтрино в лептон, который, затем, при выходе из грунта, даёт широкий атмосферный ливень, а ливень, в свою очередь может быть зарегистрирован черенковским телескопом. Наблюдения ШАЛ, инициированных вторичными частицами от взаимодействий нейтрино, под углами $\sim 7^\circ$ к горизонту из горных склонов кажутся привлекательными, так как горные цепи экранирует долину от фона ливней космических лучей и сильно проникающих частиц, таких как мюоны и единственной частицей, пришедшей из-под горизонта может быть нейтрино с энергией $> 10^{13}$ эВ. Каскад с начальной энергией $> 10^{13}$ эВ выходит из грунта в атмосферу с глубин до 300 г/см^2 без существенной потери суммарной энергии. При этом черенковское излучение широких атмосферных ливней, зародившихся в горном склоне от нейтрино из локальных источников и продолжающих своё развитие в атмосфере по направлению от звёздного источника, будет наблюдаемо при расстоянии от гамма-телескопа до наблюдаемого горного склона более 7.5 км на площади более $7 \cdot 10^5 \text{ м}^2$.

The observations of Cherenkov bursts under the 97 deg zenith angle



SHALON Cherenkov mirror telescope is located at 3338 m a.s.l. The mountain range lies in the east direction and is more than 4300 m a.s.l. The mountain range is about 20 km long. The mountain slope has a structure which is irregular on the scales less than typical shower size; it is covered with the forest. The thickness of matter in the telescopic field of view is from 2000 to 800 kms; viewed mountain slope area is $> 7 \times 10^5 \text{ m}^2$. For telescope located about 7kms away from the mountain slope horizontally, the shadow of mountain is about 7° in elevation.

In actual conditions the mirror telescope placement the distance till the opposite slope of the gorge is ~ 7 km or ~ 16.5 radiation units of length, that is quite enough for the development of an electromagnetic cascade till the structure characteristic for the rarefied atmosphere. Observations at 97° zenith angle have been done in cloudless nights in absence of artificial lights and dry air. Reconstruction of shower coming direction using the analysis of shower shape and position of shower maximum (in case of non-gamma shower) is performed with accuracy $< 0,5^\circ$ which is enough to judge on whether it upward shower or near horizontal. Horizontal and down going shower is out of field of view because of narrow-beaming of Cherenkov telescope relative to ice or water neutrino telescopes.

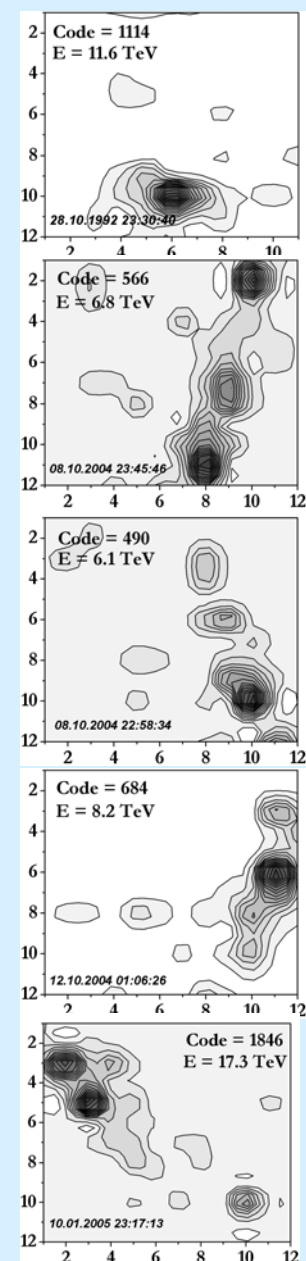


0°															
<u>EVENT No 462</u>															
2:23:46.33															
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	9	9	7	12	6	9	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	6	16	21	37	67	27	6	7	6	0	0	0	0	0
0	0	5	12	13	33	44	163	67	20	0	0	0	0	0	0
0	0	0	21	5	21	22	116	64	13	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	6	16	15	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	7	6	9	6	0	0	0	0	0	0	0
<u>EVENT No 1118</u>															
0:37:25.35															
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	7	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	9	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	5	21	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	25	22	0	5	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	25	52	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	115	44	10	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<u>EVENT No 226</u>															
2:29:32.91															
0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	5	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	5	26	12	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	12	29	12	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	26	22	9	0	0	0	0	0	0
0	0	6	0	6	11										

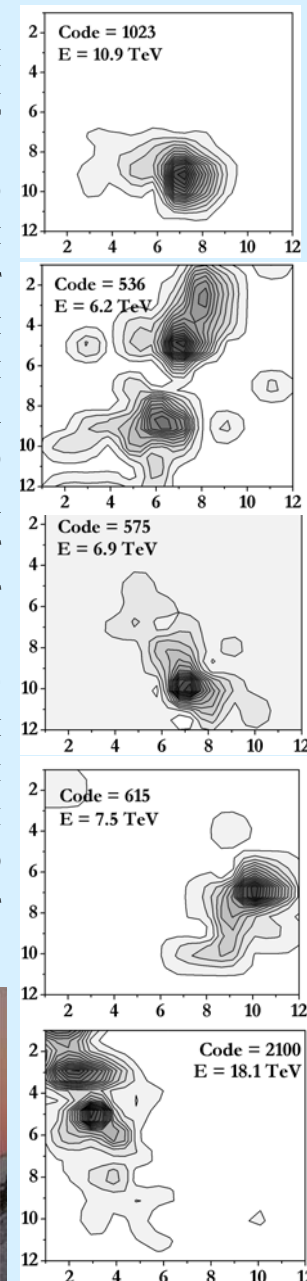
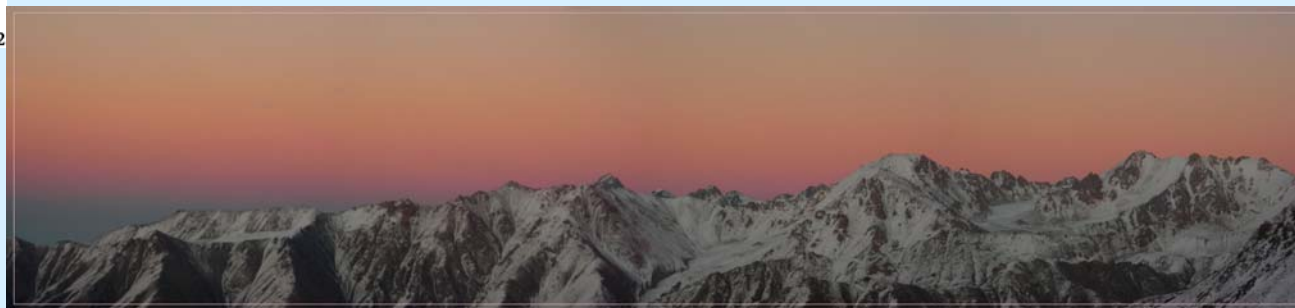
ПОИСКИ НЕЙТРИНО С ЭНЕРГИЕЙ $10^{13} - 10^{16}$ эВ ПО ШИРОКИМ АТМОСФЕРНЫМ ЛИВНЯМ, ГЕНЕРИРУЕМЫМ В ГОРНЫХ ХРЕБТАХ, ГАММА-ТЕЛЕСКОПОМ ШАЛОН

0°

97°



Наблюдения под углом 97° проводились в ясные безлунные ночи в отсутствии искусственных источников света. Было проведено 355 часов наблюдений под углом 97°, за это время было зарегистрировано 343 чернковских вспышки. Изображения 348 из них представляет собой или равномерно засвеченную матрицу, или хаотически расположенные области засветки. Эти события могут быть интерпретированы как отражение черенковского света ШАЛ от заснеженного склона горы, или как ионизационное свечение при вертикальном прохождении широкого атмосферного ливня в поле зрения телескопа. Но также было зарегистрировано 5 событий, обладающих пространственно-временными характеристиками электронно-фотонного каскада. Эти события выглядят как изображения широких атмосферных ливней записанных при наблюдениях в зенит, т.е. под углом 0°, и имеют энергию от 6 до 17.5 ТэВ. Фоном, к каскадам, наблюдаемым под 97°, могут быть «отражения» частиц ливня космических лучей от склона горы. Например, такие как, ливни, инициированные частицами, рождёнными во взаимодействиях космических лучей сверхвысоких энергий с веществом горного склона. Ещё один из источников частиц с большими поперечными импульсами это рождение пучков адронов (струй). Вероятность рождения струй в поле зрения телескопа мала по сравнению с вероятностью детектирования ливней, генерированных вторичными частицами от взаимодействия нейтрино сверхвысоких энергий с веществом. .



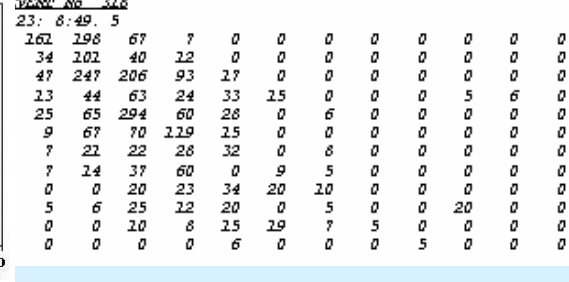
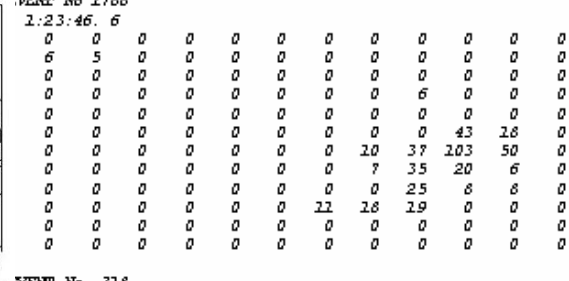
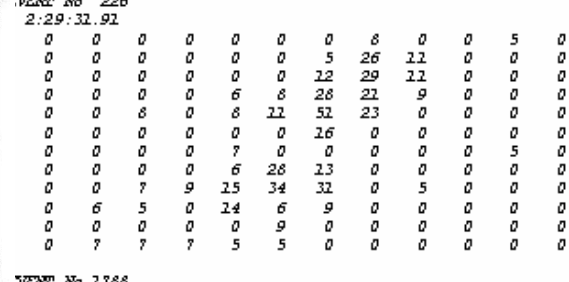
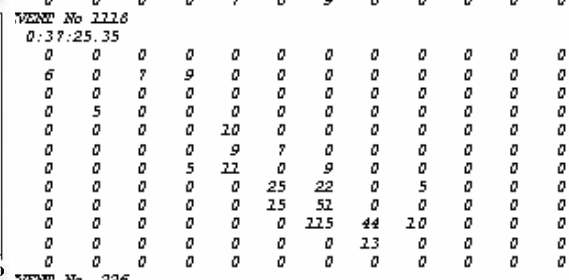
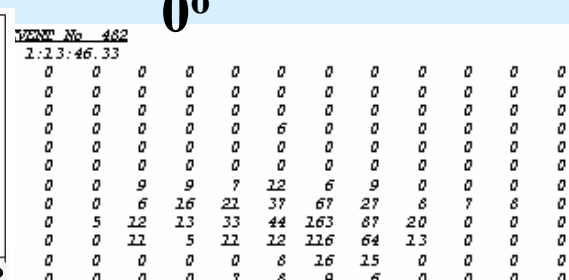
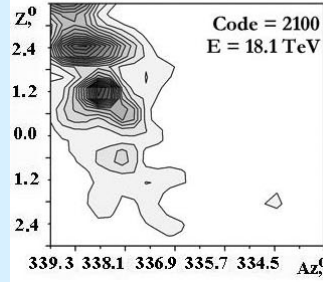
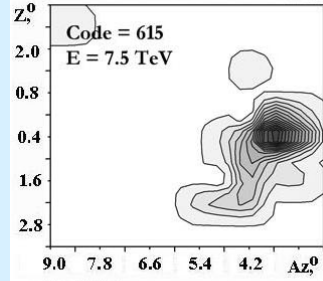
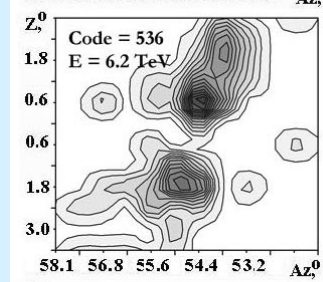
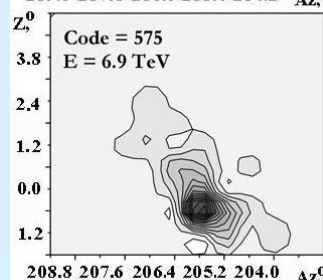
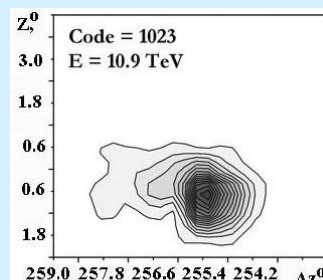
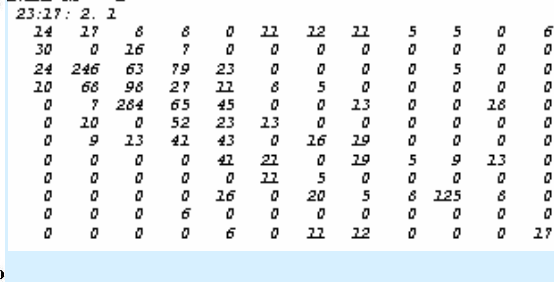
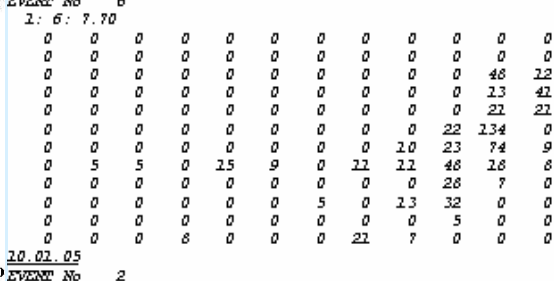
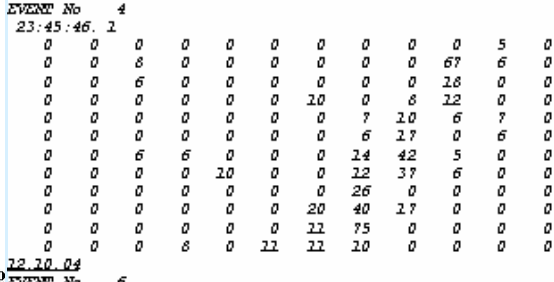
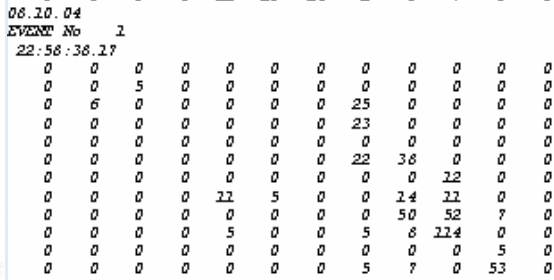
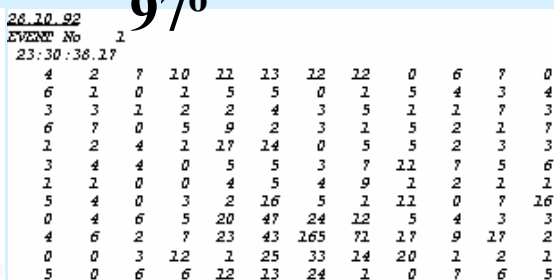
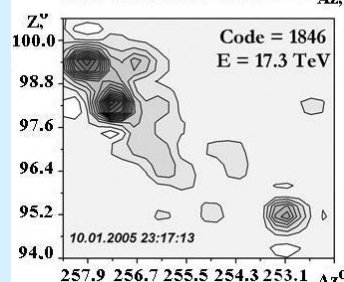
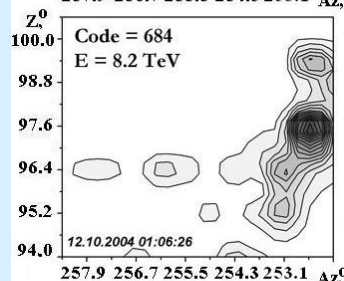
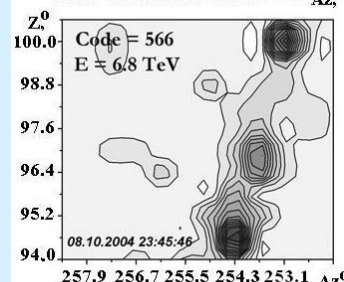
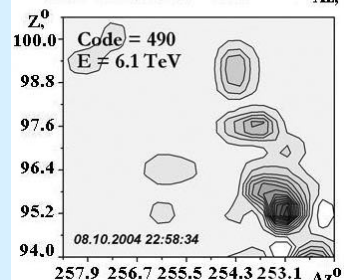
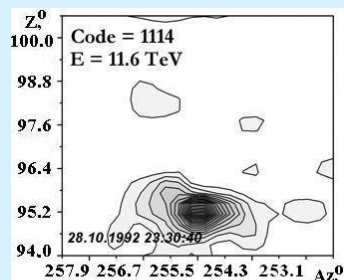
ПОИСКИ НЕЙТРИНО С ЭНЕРГИЕЙ $10^{13} - 10^{16}$ эВ ПО ШИРОКИМ АТМОСФЕРНЫМ ЛИВНЯМ, ГЕНЕРИРУЕМЫМ В ГОРНЫХ ХРЕБТАХ, ГАММА-ТЕЛЕСКОПОМ ШАЛОН

Продолжаются работы по поиску нейтрино с энергией $10^{13} - 10^{16}$ эВ по широким атмосферным ливням, генерируемым в горных хребтах гамма-телескопом ШАЛОН.

Нейтринные телескопы регистрируют черенковское излучение, генерированное в воде или во льду при прохождении релятивистских заряженных частиц, рождённых при столкновениях нейтрино с нуклонами вещества детектора. Поскольку сечение взаимодействия нейтрино чрезвычайно мало, для регистрации нейтрино требуются детекторы гигантских размеров. Выдвигались и некоторые альтернативные подходы к решению этой проблемы. Один из которых – использовать вещество земли (гор) как рабочий объём для конверсии нейтрино в лептон, который, затем, при выходе из грунта, даёт широкий атмосферный ливень, а ливень, в свою очередь может быть зарегистрирован черенковским телескопом [11].

В настоящее время на телескопе ШАЛОН, за 355 часов наблюдений широких атмосферных ливней под большими зенитными углами – 97° зарегистрировано 5 событий с энергиями от 6 до 17 ТэВ, обладающих пространственно-временными характеристиками электронно-фотонного каскада от нейтрино. Возможным механизмом появления таких событий может быть распад новых долгоживущих сильно-проникающих частиц, входящих в атмосферу из земли и, затем, распадающихся напротив телескопа и, в результате, дающих широкий атмосферный ливень. В качестве возможного объяснения могут рассматриваться сценарии с нестабильными массивными нейтрино [11]. Интересно, что одна из этих моделей совсем недавно предлагалась для объяснения превышения электронно-подобных событий в эксперименте MiniBooNE на ускорителе лаборатории Ферми (FermiLab).





По Проекту: Поиск и исследование локальных источников космического излучения сверхвысоких энергий (ФИАН им. П.Н. Лебедева)

1. В.Г. Синицина, В.Ю. Синицина "Долговременные наблюдения Cyg X-3 и γ Cygni SNR при сверхвысоких энергиях зеркальными черенковскими телескопами ШАЛОН", 2013, Краткие сообщения по физике ФИАН, (Москва: ФИАН), т.40№5, стр. 9 – 17.
2. В.Г. Синицина, С.И. Никольский, В.Ю. Синицина, "Долговременные наблюдения Сейфертовской галактики NGC 1275 и радиогалактики 3с382 при сверхвысоких энергиях зеркальными черенковскими телескопами ШАЛОН", 2013, Изв. РАН, Сер. Физ., т. 77№11, стр. 1609 - 1612.
3. В.Г. Синицина, В.Ю. Синицина, "Излучение галактики NGC 1275 при высоких и сверхвысоких энергиях и его происхождение", 2013, Письма в Астрономический Журнал, в печати.
4. V.G. Sinitsyna, V.Y. Sinitsyna "Cosmic ray production in Historical Supernova Remnants", 2013, J. Phys.: Conf. Ser. 409 012110.
5. V.G. Sinitsyna, S.I. Nikolsky, V.Y. Sinitsyna "Long-term observation of Seyfert Galaxies NGC 1275 and 3c 382 at TeV energies by SHALON", 2013, J. Phys.: Conf. Ser. 409 012111.
6. V.G. Sinitsyna, V.Y. Sinitsyna "Extragalactic Background Light expected from photon-photon absorption on spectra of Active Galactic Nuclei at distances from $z=0.018$ to $z=1.375$ ", 2013 J. Phys.: Conf. Ser. 409 012113.
7. V.G. Sinitsyna, A.Y. Alaverdyan, M.S. Andreeva, S.S. Borisov, I.A. Ivanov, I.P. Kozhukhova, Yu.B. Mamaeva, A.A. Malyshko, R.M. Mirzafatikhov, N.I. Moseiko, F.I. Musin, G.F. Platonov, S.I. Nikolsky, V.I. Shevtsov and V.Y. Sinitsyna "SHALON observations of High-Frequency- and Low-Frequency-Peaked BL Lac objects", 2013 J. Phys.: Conf. Ser. 409 012112.
8. V.G. Sinitsyna, V.Y. Sinitsyna "Very high energy gamma-ray emission of NGC 1275 and 3c382 and the possible activity nature of the Seyfert Galaxies", 2013, EPJ Web of Conferences, v. 52, 10005.
9. V.G. Sinitsyna, V.Y. Sinitsyna "Generation of Cosmic rays in Historical Supernova Remnants", 2013, EPJ Web of Conferences, v. 52, 10004.
10. V.G. Sinitsyna, V.Y. Sinitsyna "Extragalactic Background Light expected from photon-photon absorption on spectra of distant Active Galactic Nuclei", 2013, EPJ Web of Conferences, v. 52, 10006.
11. V.G. Sinitsyna, M. Masip, V.Y. Sinitsyna "Heavy neutrino decay at SHALON", 2013, EPJ Web of Conferences, v. 52, 09010.
12. V.G. Sinitsyna and V.Y. Sinitsyna, "Very high energy cosmic ray production in Historical Supernova remnants", 2013, Proc. Les Rencontres du Vietnam, Xth International Conference on Gravitation, Astrophysics and Cosmology, Quy Nhon, Vietnam – December 15-21, 2011, "Gravitation, Astrophysics and Cosmology" (Eds. Roland Triay and Jean Tran Thanh Van, Hanoi, Vietnam: "The Gioi" Publishers), pp. 107 – 110.

Публикации в 2013 году

По Проекту: Поиск и исследование локальных источников космического излучения сверхвысоких энергий (ФИАН им. П.Н. Лебедева)

13. V.G. Sinitsyna and V.Y. Sinitsyna, “Constraints of Extragalactic Background Light expected from observations of TeV extragalactic sources at distances from $z=0.0179$ to $z=1.375$ ”, 2013, Proc. Les Rencontres du Vietnam, Xth International Conference on Gravitation, Astrophysics and Cosmology, Quy Nhon, Vietnam – December 15-21, 2011 “Gravitation, Astrophysics and Cosmology” (Eds. Roland Triay, Jean Tran Thanh Van and Ludwik M.Celnikier,, Hanoi, Vietnam: “The Gioi” Publishers), pp. 111 – 113.
14. V.G. Sinitsyna and V.Y. Sinitsyna, “Generation of Cosmic rays in Shell-type and PWN Supernova Remnants”, 2013, Proc. IXth Les Rencontres du Vietnam, Inauguration Conference of the International Center for Interdisciplinary Science and Education (ICISE), Quy Nhon, Vietnam – August 11-17, 2013 “Windows on the Universe” (Eds. Jack Dumarchez, Jean Tran Thanh Van, Hanoi, Vietnam: “The Gioi” Publishers), pp. in print.
15. V.G. Sinitsyna and V.Y. Sinitsyna, “Very-High Energy Gamma-ray emission from γ Cygni SNR and Cyg X-3”, 2013, Proc. IXth Les Rencontres du Vietnam, Inauguration Conference of the International Center for Interdisciplinary Science and Education (ICISE), Quy Nhon, Vietnam – August 11-17, 2013 “Windows on the Universe” (Eds. Jack Dumarchez, Jean Tran Thanh Van, Hanoi, Vietnam: “The Gioi” Publishers), in print.
16. V.G. Sinitsyna, A.Y. Alaverdyan, M.S. Andreeva, K.A. Balygin, S.S. Borisov, I.A. Ivanov, A.M. Kirichenko, A.I. Klimov, I.P. Kozhukhova, Yu.B. Mamaeva, R.M. Mirzafatikhov, N.I. Moseiko, S.I. Nikolsky, V.Y. Sinitsyna “SHALON observations of Active Galactic Nuclei at red shift from $z=0.0179$ to $z=1.375$ ” 2013, “Astroparticle, Particle, Space Physics and Detectors Physics Applications” Proc. 14th ICATPP (Eds. S. Giani, C. Leroy, and P.G. Rancoita; Singapore: World Scientific), in print.
17. V.G. Sinitsyna, V.Y. Sinitsyna “Generation of Cosmic rays in Shell-type and PWN Supernova Remnants” 2013, “Astroparticle, Particle, Space Physics and Detectors Physics Applications” Proc. 14th ICATPP (Eds. S. Giani, C. Leroy, and P.G. Rancoita; Singapore: World Scientific), in print.
18. V.G. Sinitsyna, V.Y. Sinitsyna “Very-High Energy Gamma-ray emission from γ Cygni SNR and Cyg X-3” 2013, “Astroparticle, Particle, Space Physics and Detectors Physics Applications” Proc. 14th ICATPP (Eds. S. Giani, C. Leroy, and P.G. Rancoita; Singapore: World Scientific), in print.
19. V.G. Sinitsyna, A.Y. Alaverdyan, S.S. Borisov, V.Y. Sinitsyna “TeV gamma-ray spectra of Low- and High-red shifted AGN as a probe of EBL” 2013, “Astroparticle, Particle, Space Physics and Detectors Physics Applications” Proc. 14th ICATPP (Eds. S. Giani, C. Leroy, and P.G. Rancoita; Singapore: World Scientific), in print.

Конференции, Симпозиумы 2013 г.

Rencontres du Vietnam “Windows on the Universe” , 11 –17 августа, 2013 г., Quy Nhon, Vietnam – 2 доклада;
14th ICATPP Conference on Astroparticle,
Particle, Space Physics and Detectors
Physics Applications , 23 – 27 сентября, 2013 г., Como, Italy – 4 доклада;

Литература к каталогу телескопа ШАЛОН (2013)

1. V.G.Sinitsyna. "Intensity TeV gamma-rays Crab Nebula and Markarian-421 by SHALON-detected". 1995, Proc. Workshop, Towards a Major Atmospheric Cherenkov Detector - IV, (Padova, Italy) (Ed. M. Cresti, Padova; Univ. of Padova), pp. 133-140
- 1a. Sinitsyna, V. G., et al. 1997, in Proc. 25th Internat. Cosmic Ray Conf. (Durban, South Africa), ed. M. S. Potgeier, B. C. Raubenheimer, & D. J. van der Walt, 3, 273
2. А.Ю.Алавердян, С.П.Воробьев, Р.М.Мирзафатихов, С.И.Никольский, В.Г.Синицина, В.Б.Стригин, Г.Ф.Платонов **"Результаты наблюдений гамма-источников Лебедь X-3, Маркарян-421 и Крабовидной туманности в области энергий выше 1012 эВ."**, 1997, Изв. РАН, Сер. Физ., т. 61, №3., стр. 603 – 608
- 2a. .G.Sinitsyna **"Searches for gamma-quanta from local sources by a wide-angle imaging telescope"** Nuovo Cimento, 1996, v. 19C № 6, pp. 965-971.
3. V.G. Sinitsyna, Proc. Workshop, Towards a Major Atmospheric Cherenkov Detector – V, Kruger Park, 1997, (ed. O.De Jager), (Wesprint-Potchefstroom, South Africa), pp. 136-141.
4. V.G. Sinitsyna, A.Y. Alaverdyan, T.P. Arsov, S.P. Vorobiov, I.A. Ivanov, R.M. Mirzafatihov, S.I. Nikolsky, G.F. Platonov, V.Y. Sinitsyna, V.B. Striguin, 1998, Nucliar Physics B (Proc. Suppl.), , 75A, pp.352-355.
5. Sinitsyna V.G., **"The Supernova Remnants as The Main Sources of Gamma-Quanta With Energies More than 1TeV in Our Galactic"**, 2000, AIP (Conf. Proc.), v. 515, (Eds. B.L.Dingus, M.H Salamon, D.B. Kieda; Melville, New York:American Institute of Physics,) pp. 205 - 209.
6. V.G. Sinitsyna, T.P. Arsov, A.Y. Alaverdyan, I.A. Ivanov, S.I. Nikolsky, F.M. Musin, R.M. Mirzafatihov, G.F. Platonov, V.Y. Sinitsyna, A.N. Galitskov, I.V. Oblakov, and J.N. Capdevielle **"Detection of the new active galactic sources NGC 1275, 3c454.3 and 1739+522 in comparision with other previously observed metagalactic and galactic sources"**, 2001, Nuovo Cimento v. 24C № 4-5, pp. 785 – 795
7. V.G. Sinitsyna, T.P. Arsov, A.Y. Alaverdian, S.S. Borisov, R.M. Mirzafatikhov, F.I. Musin, S.I. Nikolsky, V.Y. Sinitsyna, G.F. Platonov, **"Gamma-rays at energy range 1 - 100 TeV from 2129+47XR and 10 years of Cygnus X-3 observations"**, 2006, 20thEuropean Cosmic Ray Symposium (by [Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas](http://www.lip.pt/events/2006/ecrs/proc/ecrs06-s5-84.pdf) and [Centro Multidisciplinar de Astrofísica](http://www.lip.pt/events/2006/ecrs/proc/ecrs06-s5-84.pdf), Lisbon, Portugal), <http://www.lip.pt/events/2006/ecrs/proc/ecrs06-s5-84.pdf>, S5 – 84
8. V.G. Sinitsyna, T.P. Arsov, S.S. Borisov, F.I. Musin, S.I. Nikolsky, V.Y. Sinitsyna, G.F. Platonov **"The TeV gamma emission of the far active galaxies 1739+522 (z=1.375), 3c454.3 (z=0.859) and Markarian 501 (z=0.034), Markarian 421 (z=0.031)"**, 2005, in Proc. 29th International Cosmic Ray Conference, (Pune, India), (Ed: B. S. Acharya, S. Gupta, S.Tonwar et al. Mumbai: Tata Institute of Fundamental Research), v. 4, pp. 395 - 398.
9. V.G. Sinitsyna, T.P. Arsov, F.I. Musin, S.I. Nikolsky, V.Y. Sinitsyna, G.F. Platonov, **"Very high energy gamma-ray emission of close metagalactic sources Mkn 421, Mkn 501 and NGC 1275."**, 2008, Proc. 30th International Cosmic Ray Conference, (Eds. Rogelio Caballero, Juan D'Olivo, Gustavo Medina-Tanco, Lukas Nellen, Federico A. Sánchez, José F. Valdés-Galicia, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City, Mexico), v. 3 (OG part2), pp. 873 – 876.
10. V.G. Sinitsyna, A.A. Boldyrev, S.I. Nikolsky, V.Y. Sinitsyna, **"Constraints of Extragalactic Background Light from observation of AGNi by SHALON Cherenkov telescope"**, 2009, Proc. 31th International Cosmic Ray Conference, (Lodz, Poland), icrc1478, <http://icrc2009.uni.lodz.pl/proc/pdf/icrc1478.pdf>
11. V.G. Sinitsyna, S.I. Nikolsky, V.Y. Sinitsyna **"Constraints of Extragalactic Background Light expected from observation of distant metagalactic sources 1739+522 (z=1.375) and 3c454.3 (z=0.859) (by SHALON Cherenkov telescopes)"** in Proc. of XVI International Symposium on Very High Energy Cosmic Ray Interactions ISVHECRI 2010, Batavia, IL, USA (28 June 2 July 2010), C72.

12. В.Г. Синицина, В.Ю. Синицина **"Остатки сверхновых Крабовидная туманность Кассиопея А и Тихо как источники космических лучей в нашей Галактике"**, 2011, Письма в Астрономический журнал, т. 37, № 9, с. 676 – 690
13. V.G. Sinitsyna, V.Y. Sinitsyna **" Historical Supernova Remnants as a Source of Cosmic Rays in our Galaxy"**, 2011, Proc. ICRW «Aragats-2011», (Ed. by B. Pattison and R. Martirosov), pp. 94 – 100
14. V.G. Sinitsyna, V.Y. Sinitsyna **"Cosmic ray production in historical supernova remnants"** 2012, Journal of Physics: Conference Series (JPCS), (Proc. of ECRS 2012, Moscow)in press
15. Weekes, T.C., et al. 1989, ApJ, 342, 379 (**Whipple Crab**)
16. Clear J et al. 1987, Astron.&Astrophys, 174, 85 (**COS-B Crab**)
17. P. L. Nolan et al., 1993, ApJ, 409, 710 (**EGRET Carb**)
18. Swanenburg B N **"Second COS B catalog of high-energy gamma-ray sources"** 1981 ApJ243 L69 (**COS-B Geminga**. 2CG 195+04 appeared with this name at 2nd COS-B catalog and then acquired name Geminga in Bignami, G. F.; Caraveo, P. A.; Lamb, R. C. **"An identification for 'Geminga' (2CG 195+04) 1E 0630+178 - A unique object in the error box of the high-energy gamma-ray source"** 1983, ApJ, 272, L9 – L13)
19. Mayer-Hasselwander, H. A., et al. **"High-energy gamma radiation from Geminga observed by EGRET"** 1994, ApJ, 421, 276 (**EGRET Geminga**)
20. A.A. Abdo **"TeV gamma-ray sources from a survey of the galactic plane with MILAGRO"** ApJ, 664:L91–L94, 2007 (**Milagro Geminga**)
21. Esposito, J. A., et al. **"EGRET Observations of Radio-bright Supernova Remnants"** 1996, ApJ, 461, 820 (EGRET IC 443) (Sturner, S. J., & Dermer, C. D. 1995, A&A, 293, L17 (**EGRET IC 443**))
22. J. Albert et al. **"Discovery of Very High Energy Gamma Radiation from IC 443 with the MAGIC Telescope"** 2007 ApJ, 664: L87–L90 (**Magic IC 443**)
23. V. A. Acciari et al. **"Discovery of TeV Gamma-ray Emission from Tycho's Supernova Remnant"** 2011 Astroph. J. Lett 730 L20 (**Veritas Tycho**)
24. F. Giordano et al., **"Fermi Large Area Telescope detection of the young Supernova Remnant Tycho"** 2011 .Astroph. J. Lett. 744(1), L2 (**Fermi Tycho**)
25. F. Aharonian et al., **"Evidence for TeV gamma ray emission from Cassiopeia A"** 2001 Astron.&Astrophys. 370, 112 -120 (**Hegra Cas A**)
26. A. A. Abdo et al., **"Fermi -LAT discovery of GeV gamma-ray emission from the young supernova remnant Cassiopeia A"** 2010 Astrophys. J. Lett. 710, L92 (**Fermi Cas A**)
27. A. A. Abdo et al., **"Discovery of pulsations from the pulsar J0205+6449 in SNR 3C 58 with the FERMI gamma-ray space telescope"** 2009, ApJ, 699:L102–L107 (**Fermi 3c58**)
28. Y. I. Neshpor et al., Ap. Sp. Sci. 61, 349 (1979). (**Crimea Cyg X-3**)?Stepanyan, A.A., Vladimirskii, B.M., Neshpor, Yu.I., and Fomin, V.P., *Izv. Krym. Astron. Obs.*, 1975, vol. 53, p. 2 ?
29. Mori, M., Bertsch, D. L., Dingus, B. L., et al. **"Cygnus x-3 and EGERT gamma-ray observations"** 1997, ApJ, 476, 842 (**EGRET CygX-3 without modulations**)
30. Abdo, A. A., et al. **"Modulated High-Energy Gamma-Ray Emission from the Microquasar Cygnus X-3"** 2009, Science, 326, 1512 (**Fermi CygX-3 period extracted**)
31. A. A. Abdo et al., **"FERMI discovery of gamma-ray emission from NGC 1275"** Astrophys. J. 699, 31 (2009) (**Fermi NGC1275**)
32. J. Alek'sic et al., **"Detection of very high energy -ray emission from NGC 1275 by the MAGIC telescopes"** Astron.&Astrophys. 539, L2 (2012) (**Magic NGC1275**)

33. Punch, M., et al. 1992, Nature, 358, 477 (**Whipple Mkn421**)
34. Quinn, J., et al. 1996, ApJ, 456, L83 (**Whipple Mkn501**)
35. Lin Y.C. et al.1992, ApJ, 401, L61 (**EGRET Mkn421**)
36. Thompson D.J. et al. 1995 “**The second EGRET catalog of high-energy γ -ray sources**” ApJSS (The Astrophysical Journal Supplement Series), V. 123, Issue 1, pp. 79-202. (**EGRET Mkn421**)
37. Kataoka J., et al. 1999, ApJ, 514:138 - 147 (**EGRET Mkn501**)
38. J. Albert et al., “**Discovery of very high energy g-rays from markarian 180 triggered by an optical outburst**” Astrophys. J., 2006, 648: L105 - L108 (**Magic Mkn180**)
39. Abdo, A. A., et al. “**FERMI observations of TeV-selected active galactic nuclei**” 2009, Astrophys. J, 707 pp. 1310–1333 (**Fermi Mkn180**)
40. J. Kataoka et al., “**Broad Line Radio Galaxies Observed with Fermi-Lat: The Origin of the GeV -Ray Emission**” Astrophys. J. 740, 29 (2011) (**Fermi 3c382**)
41. Abdo A.A. et al., “**Bright active galactic nuclei source list from the first three months of the fermi large area telescope all-sky survey**” Astrophys. J. 700, 597 (2009) (**Fermi OJ 287**)
42. Hayashida, M., et al., “**Multiwavelength observation from radio through very-high-energy -ray of OJ 287 during the 12-year cycle flare in 2007**” 2009, in Contribution to the 31st ICRC, Lodz, Poland, July 2009 (**Magic OJ 287**)
43. W. McConville et al. “**FERMI Large Area Telescope observations of the active galaxy 4c +55.17: steady, hard gamma-ray emission and its implications**” 2011 ApJ, 738:148 (12pp) (**Fermi 4c+55.17**)
44. A. A. Abdo, et al., “**Early fermi gamma-ray space telescope observations of the quasar 3c 454.3**” ApJ 699, 817 (2009). (**Fermi 3c454**)
45. H. Anderhub et al. “**MAGIC upper limits to the VHE gamma-ray flux of 3C 454.3 in high emission state**” A&A 498, 83–87 (2009) (**Magic 3c454**)
46. Abdo, A. A., Ackermann, M., Ajello, M., et al. “**The First Catalog of Active Galactic Nuclei Detected by the Fermi Large Area Telescope**” 2010, ApJ, 715, 429 (**Fermi 1739**)
47. P. L. Nolan et al., “**FERMI Large Area Telescope second source catalog**” ApJS 199, 31 (2012) (**Fermi 1739**)
48. Ю.И. Нешпор, А.В. Жовтан, Н.А. Жоголев, Е.М. Нехай, З.Н. Скирута, В.В. Фиделис, В. П. Фомин “**Результаты наблюдений гамма-источников сверхвысоких энергий Cyg X-3, и Cyg X-2 в Крыму**”, 2009, Изв. РАН, Сер. Физ., т. 73, №5., стр. 694 – 695
49. Ю.И. Нешпор, А.А. Степанян, Ю.Л. Зыскин, О.Р. Калекин, В.П. Фомин, Н.Н. Чаленко, В.Г. Шитов, “**Гамма-излучение сверхвысоких энергий пульсара Геминга**”, 2001, Письма в Астрономический журнал, т. 27, № 4, с. 228 – 223
50. V.G. Sinitsyna, V.Y. Sinitsyna “**Long-term observations of the Cyg X-3 and γ Cygni SNR at ultrahigh energies by SHALON mirror Cherenkov telescopes**, 2013, Bulletin of the Lebedev Physics Institute, (New York: Allerton Press, Inc.), v. 40(5), pp. 113 – 118.
51. A. Weinstein: *arXiv:1303.2271v1*