

Исследование источников гамма-излучения сверхвысоких энергий в эксперименте ШАЛОН

В.Г. Синицина, В.Ю. Синицина

Лаборатория Гамма-Астрономии Сверхвысоких Энергий

Отделение Ядерной Физики и Астрофизики

Физический институт им. П.Н. Лебедева, РАН

21.03.2017

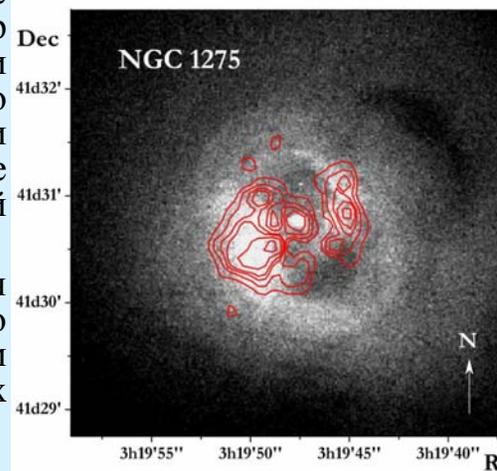
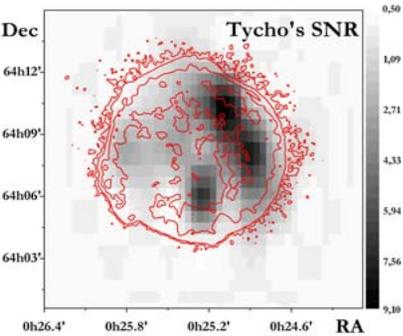
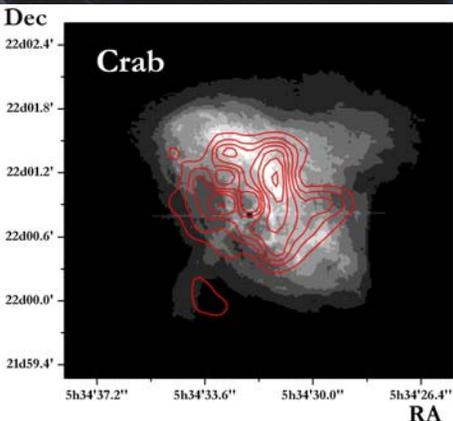
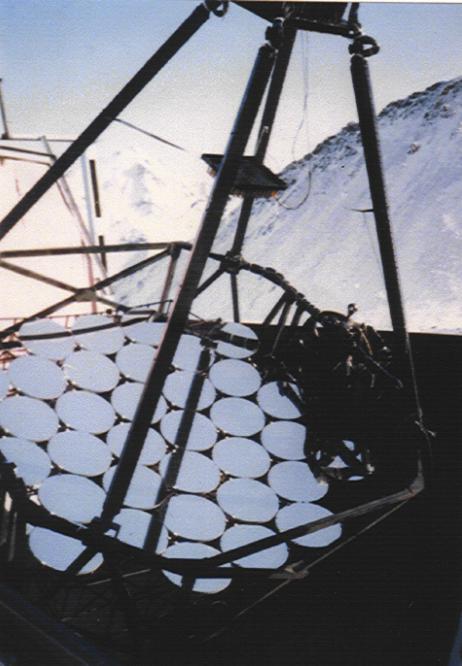


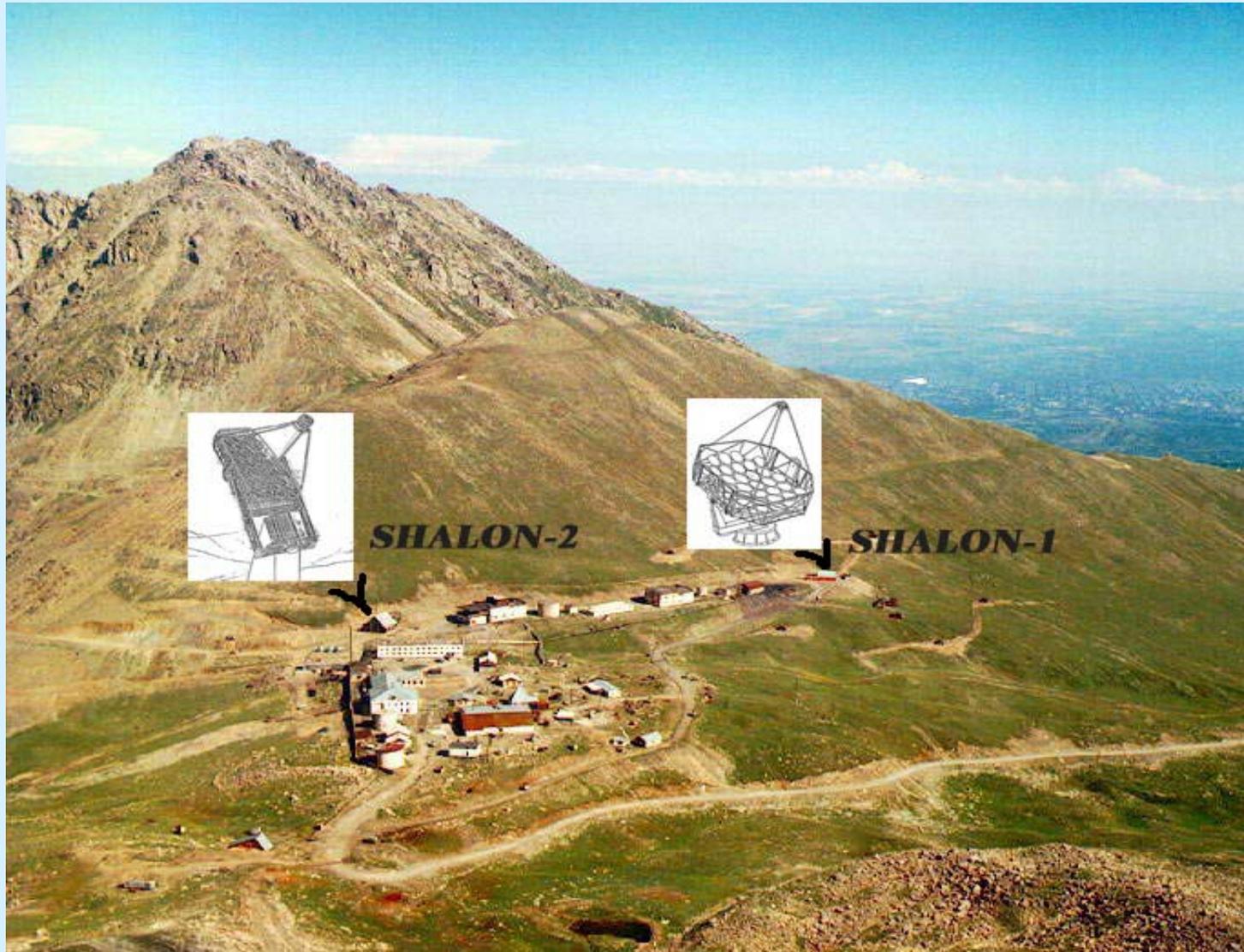
Эксперимент ШАЛОН

- Эксперимент ШАЛОН нацелен на решение ряда актуальных проблем современной астрономии, астрофизики. Среди которых обнаружение и исследование астрофизических источников гамма-излучения сверхвысоких энергий, исследование механизмов генерации гамма-квантов в таких объектах как двойные системы, сверхмассивные чёрные дыры; а также выяснение природы космических лучей сверхвысоких энергий и механизмов их генерации. Благодаря работе черенковских телескопов появляется информация о таких объектах нашей Галактики, как остатки сверхновых звёзд, и уникальная возможность проверки моделей рождения космических лучей в ударных волнах остатков сверхновых.

- Также, в эксперименте ШАЛОН проводятся исследования скоплений галактик, природы ядер галактик и космических источников с экстремальным энерговыделением, изучение межзвездной и межгалактической среды по наблюдениям внегалактических объектов при сверхвысоких энергиях. В настоящее время каталог метагалактических источников, наблюдаемых ШАЛОН, включает Активные Галактические Ядра, находящиеся на различных космологических расстояниях. Гамма-астрономические исследования квазаров и активных галактических ядер являются мощным инструментом изучения скорости образования крупномасштабных структур и объектов во Вселенной, и тем самым структуры и эволюции Вселенной в рамках теории Большого Взрыва, а также позволят пролить свет на природу скрытой темной материи и реликтовые объекты ранней Вселенной.

- Кроме того, в эксперименте ШАЛОН развивается альтернативный метод детектирования нейтрино сверхвысоких энергий на высотах гор – по широким атмосферным ливням, генерируемым нейтрино в горных хребтах.





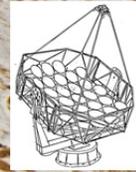
SHALON-2



SHALON-1



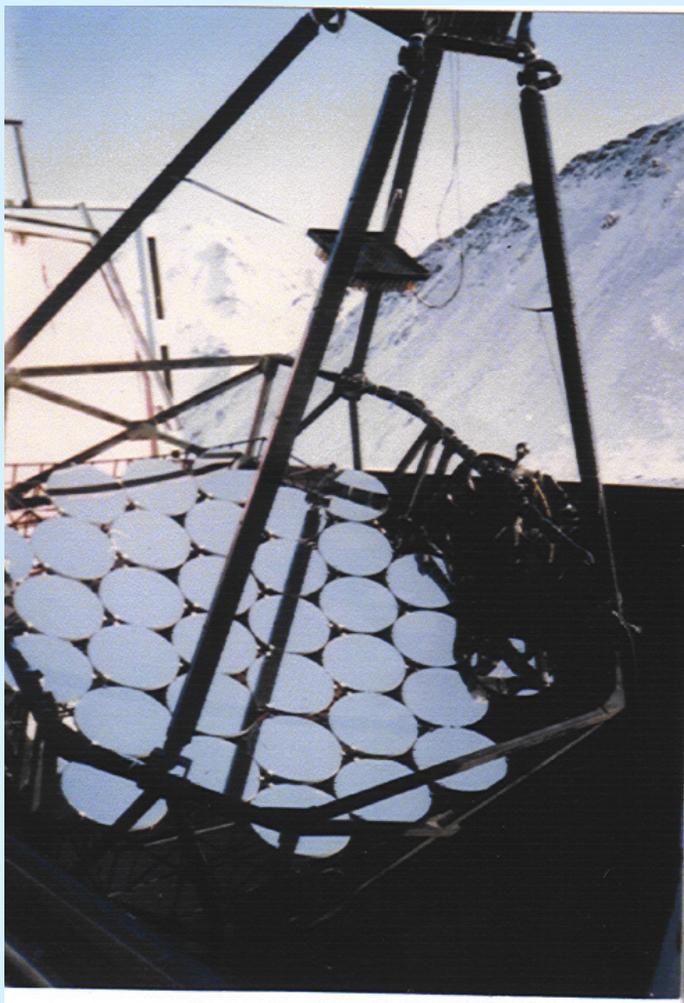
SHALON 2



SHALON 1

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 ≤0.1°
- Число фотоумножителей 144 (12x12)
- Угол обзора > 8°
- Вес 6 тонн
- Альт-азимутальная монтировка

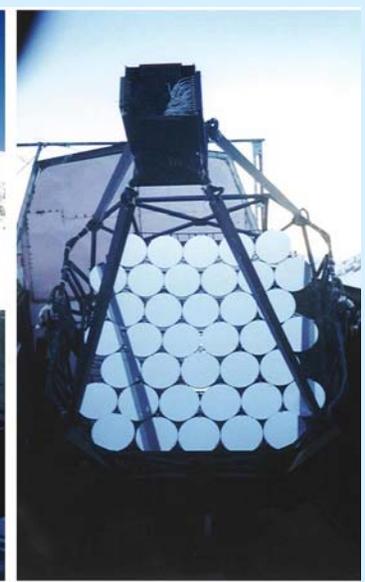
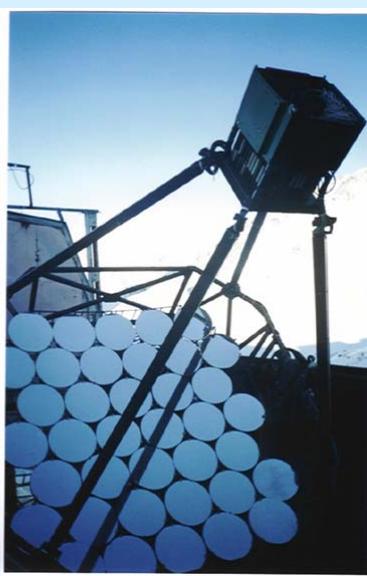
По переданной в Индию технической документации телескопа ШАЛОН в Атомном исследовательском центре им. Баба изготовлено несколько подобных телескопов для вновь открытой обсерватории, на одном меридиане с перевалом Джусалы-Кизень.



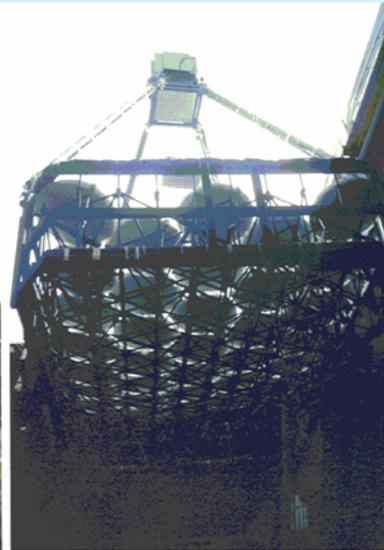
ВЫСОКОГОРНАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ШАЛОН АЛАТОО

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



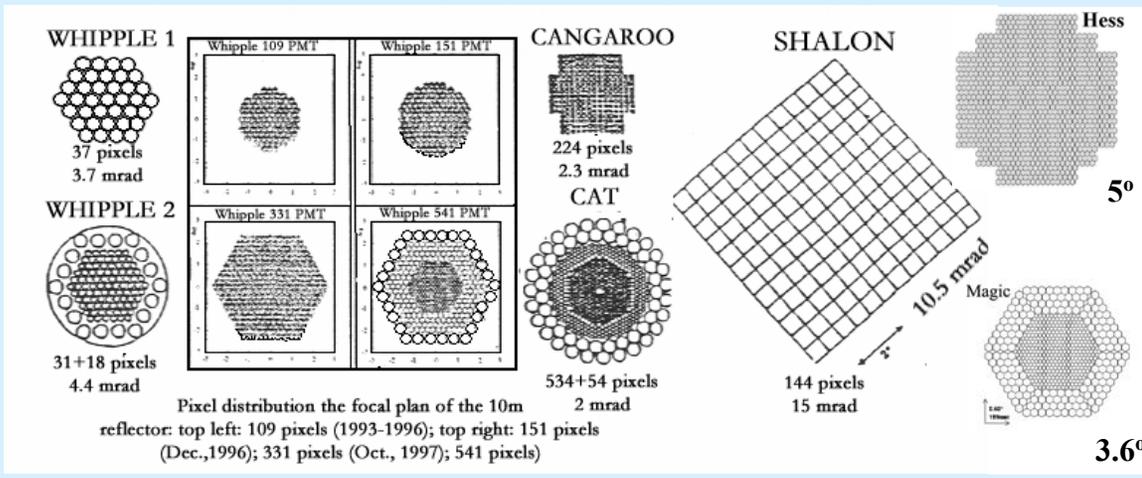
ШАЛОН-1



ШАЛОН-2

Каждый из телескопов стоит в обсерватории для предотвращения разрушающего влияния осадков, загрязнений и засветок на системы телескопов.

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 95% от всех, регистрируемых телескопом.

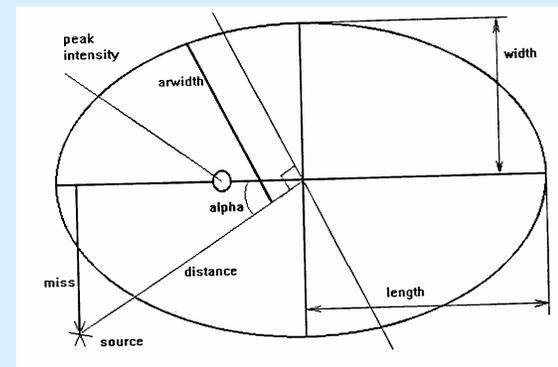
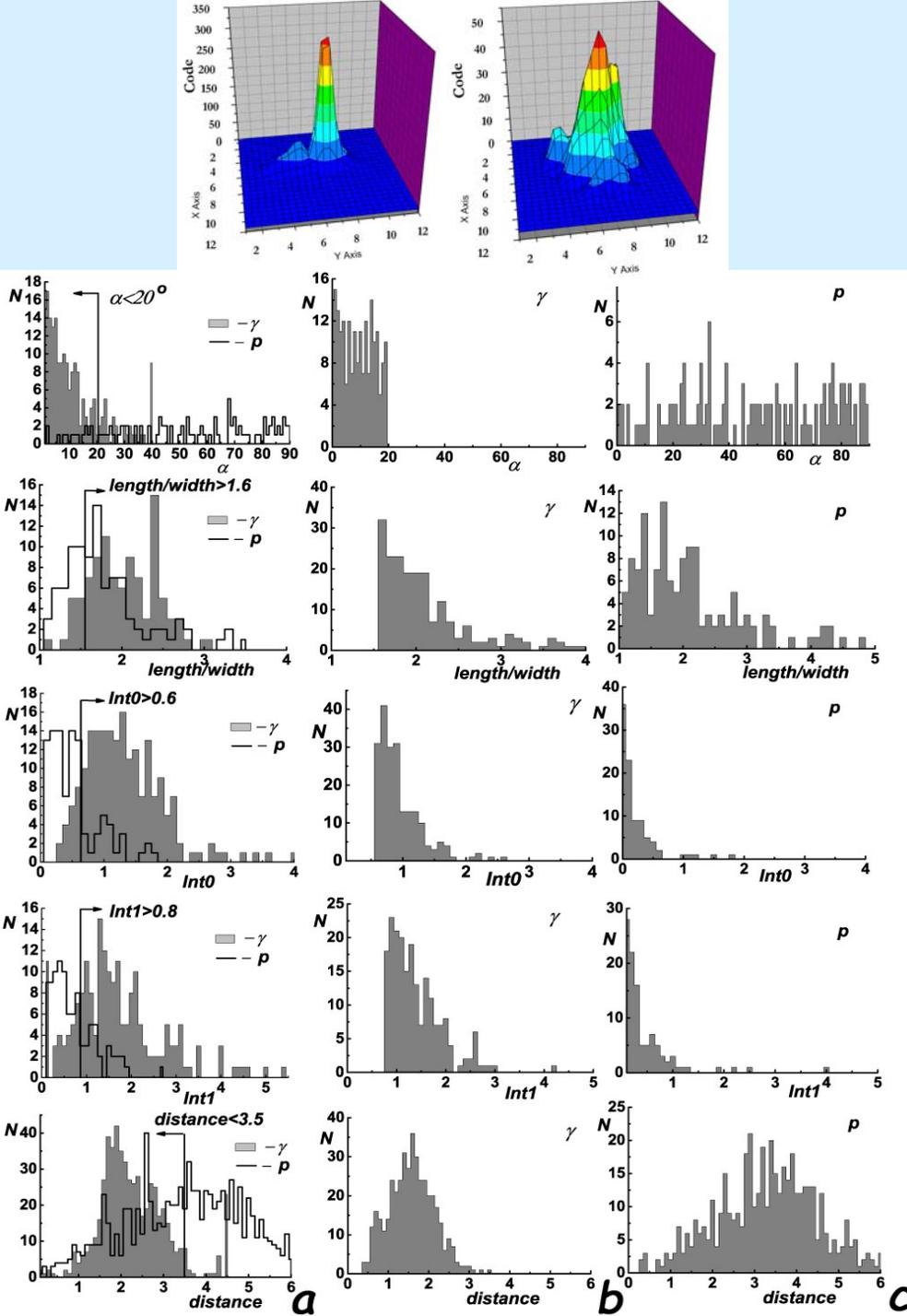


Направление прихода первичной частицы, при первичном анализе, определяется с точностью до 0.1° . Дальнейший, разработанный специально для телескопов ШАЛОН и основанный на методе регуляризации Тихонова, анализ улучшает точность определения до величины меньшей 0.01° .

Критерии отбора

- 1) $\alpha < 20^\circ$; отсекает 72% фона
- 2) $\text{Length}/\text{Width} > 1.6$; отсекает 49% фона
- 3) отношение интенсивности черенковского света в ячейке с наибольшим светом к интенсивности в восьми окружающих ячейках $\text{INT0} > 0.6$; отсекает 92% фона
- 4) отношение интенсивности черенковского света в ячейке с наибольшим светом к интенсивности во всех остальных ячейках, исключая девять ячеек в центре $\text{INT1} > 0.8$; отсекает 88% фона
- 5) расстояние между ячейкой, соответствующей направлению на источник и ячейкой с наибольшим потоком меньше 3.5 ячеек $\text{Distance} < 3.5$ отсекает 50% фона

Анализ распределений показал, что вклад фоновых – протонных событий в гамма-события составляет не более 10%, т. е. отсекается 99,93% фона, тогда как потеря гамма-квантов, по проведённым оценкам не превышает 35%, что учитывается в последующем анализе.

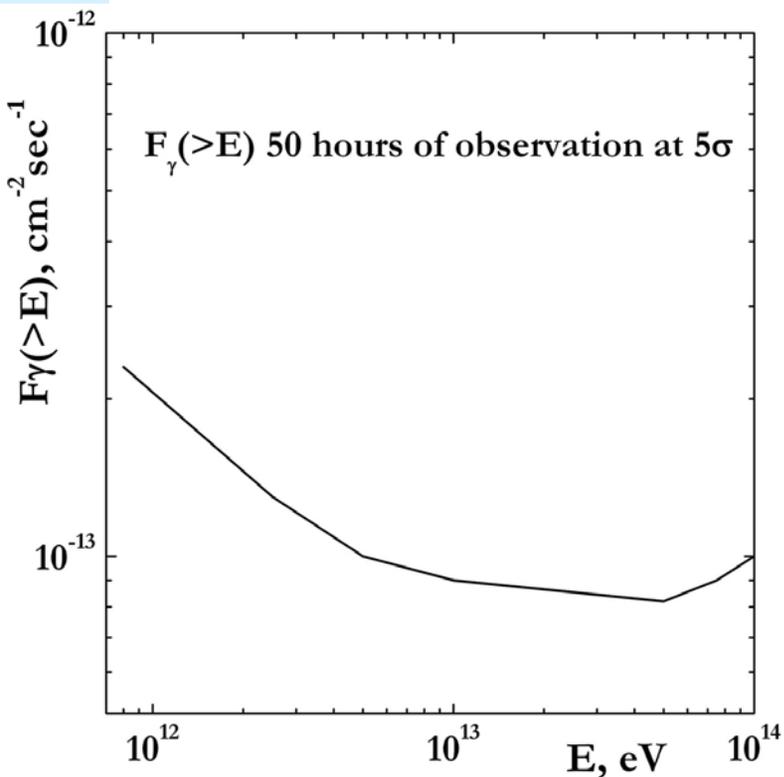


Одной из важнейших результирующих характеристик параметров телескопа вместе с применяемыми критериями отбора является чувствительность к потоку гамма-излучения. Чувствительность телескопа определяется как минимальный поток гамма-излучения, детектируемый на определённом уровне достоверности.

В гамма-астрономии принято говорить о чувствительности к потоку гамма-излучения, наблюдаемому от источника за 50 часов на уровне 5 σ .

Мы определяем σ в жёсткой формулировке Li&Ma формула 17 [Т.-Р. Li and Y.-Q. Ma, Analysis methods for results in gamma-ray astronomy Astrophys. J. 272, 317-324 (1983)].

$$\sqrt{2} \left\{ N_{\text{on}} \ln \left[\frac{1 + \alpha}{\alpha} \left(\frac{N_{\text{on}}}{N_{\text{on}} + N_{\text{off}}} \right) \right] + N_{\text{off}} \ln \left[(1 + \alpha) \left(\frac{N_{\text{off}}}{N_{\text{on}} + N_{\text{off}}} \right) \right] \right\}^{1/2}$$



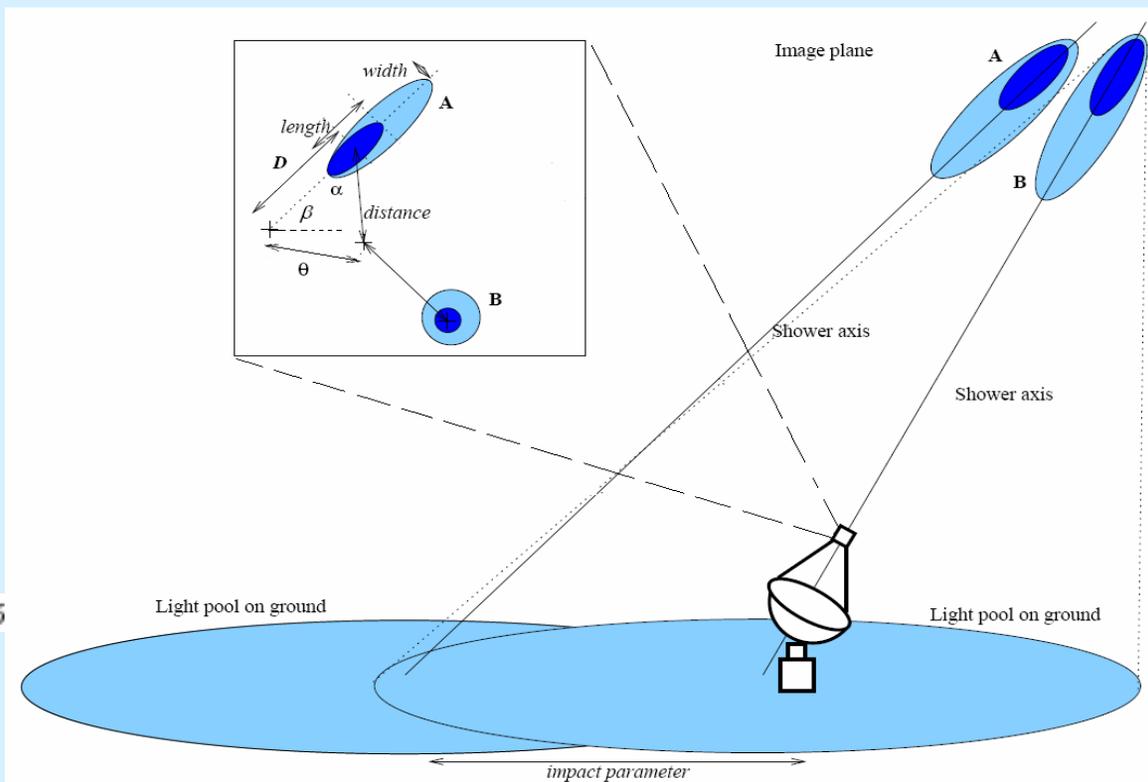
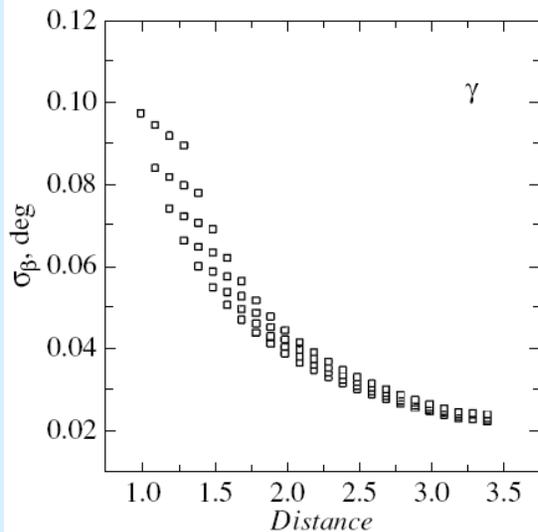
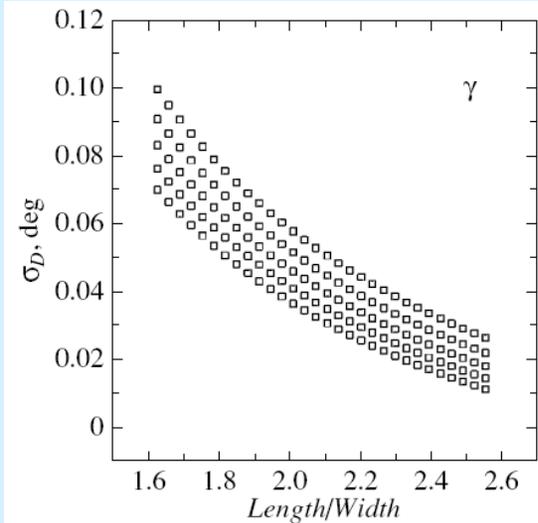
В диапазоне энергий от 800 ГэВ до 50 ТэВ, благодаря большому полю зрения телескопа, чувствительность ограничивается только фоном космических лучей, прошедших критерии отбора, при этом в рассматриваемом диапазоне спектр космических лучей известен: $F(>E) \sim E^{-1.72}$. **Минимальный детектируемый интегральный поток при энергии 1 ТэВ составляет**
 $\sim 2.1 \times 10^{-13} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$.

В диапазоне энергий 1 ТэВ – 50 ТэВ минимальный детектируемый интегральный поток падает до $\sim 8 \times 10^{-14} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$, а затем, при энергиях $> 50 \text{ ТэВ}$, увеличивается из-за ограниченного поля зрения телескопа.

Направление прихода первичной частицы, а затем и построение изображения производится в два этапа.

На первом этапе для каждого отобранного по описанным критериям отбора ливня ищутся координаты точки источника ливня на плоскости светоприемника. Изображение ливня в матрице характеризуется эллипсом с главной осью, представляющей собой проекцию оси ливня на плоскость светоприемника. Источник гамма-ливня находится на продолжении большой оси такого эллипса со стороны максимума ливня соответствующей началу каскада. Расстояние от центра тяжести изображения ливня до положения источника – D зависит от расстояния, на котором пришел ливень и, в результате вытянутости ливня, характеризуемого параметром $Length/Width$. Эту зависимость можно записать в виде $D = B \times [1 - (Length/Width)^{-1}]$. Оптимальное значение коэффициента пропорциональности $B = 5.1$ выбрано так, чтобы распределение направлений прихода ливней по углам было минимальным по ширине и центрировано по точке положения источника на матрице.

Вторая координата β представляет собой угол наклона большой оси эллипса и может быть определена через параметр $Distance$.

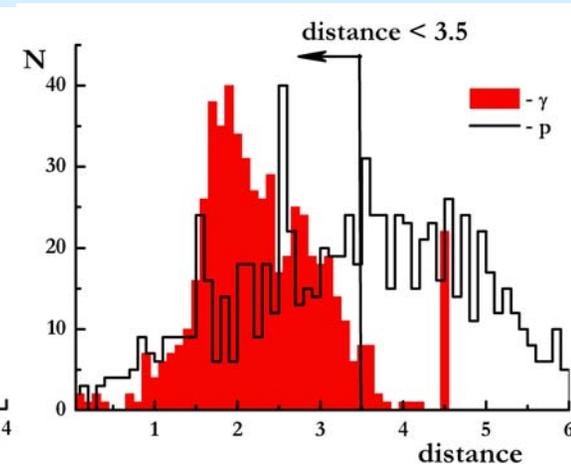
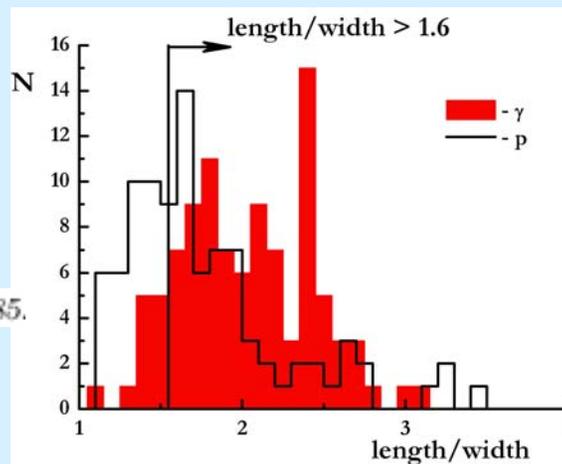
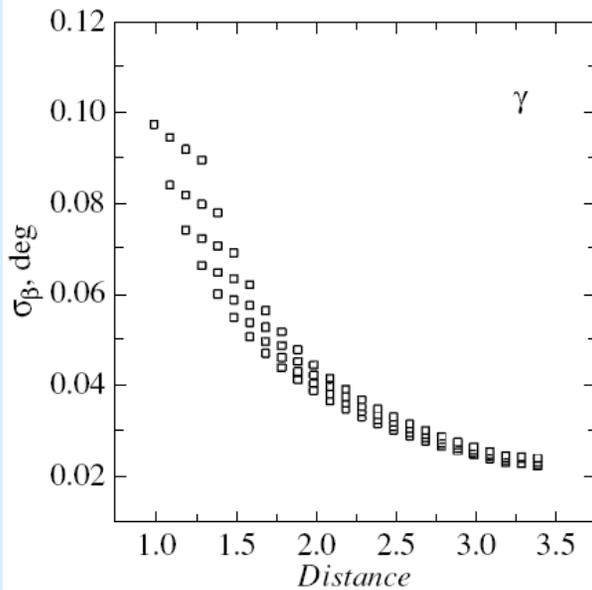
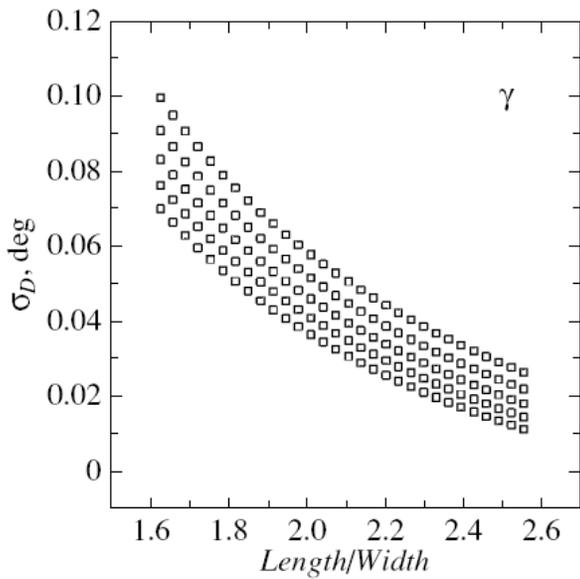


Направление прихода первичной частицы, а затем и построение изображения производится в два этапа.

На первом этапе для каждого отобранного по описанным критериям отбора ливня ищутся координаты точки источника ливня на плоскости светоприемника. Изображение ливня в матрице характеризуется эллипсом с главной осью, представляющей собой проекцию оси ливня на плоскость светоприемника. Источник гамма-ливня находится на продолжении большой оси такого эллипса со стороны максимума ливня соответствующей началу каскада. Расстояние от центра тяжести изображения ливня до положения источника – D зависит от расстояния, на котором пришел ливень и, в результате вытянутости ливня, характеризуемого параметром $Length/Width$. Эту зависимость можно записать в виде $D = B \times [1 - (Length/Width)^{-1}]$. Оптимальное значение коэффициента пропорциональности $B = 5.1$ выбрано так, чтобы распределение направлений прихода ливней по углам было минимальным по ширине и центрировано по точке положения источника на матрице.

Вторая координата β представляет собой угол наклона большой оси эллипса и может быть определена через параметр $Distance$.

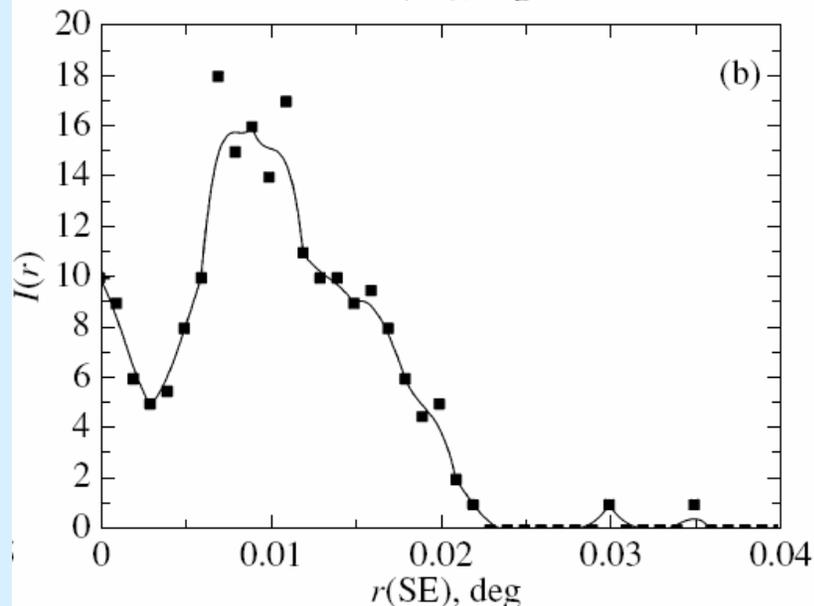
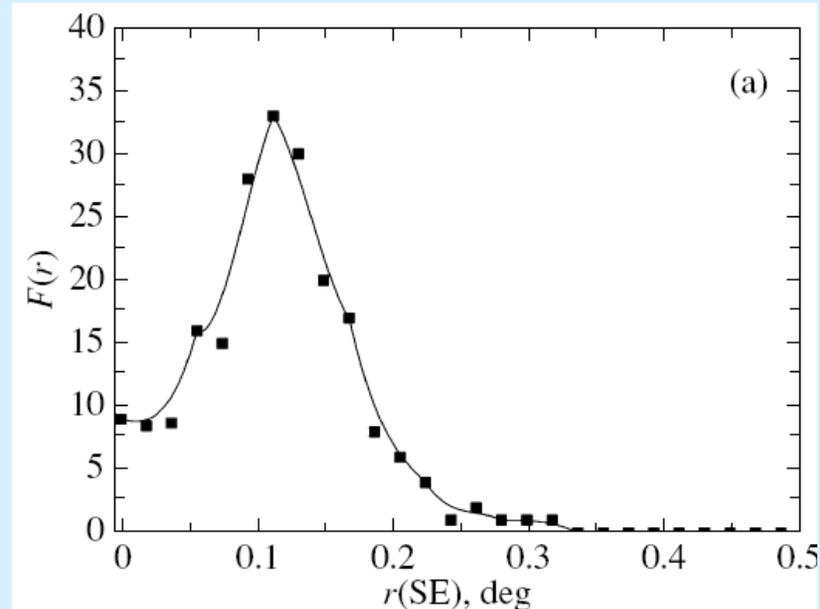
Точности определения каждой из этих координат составляют $0.07^\circ \pm 0.01^\circ$ и $0.045^\circ \pm 0.01^\circ$ соответственно для средних значений параметров $Length/Width$ и $Distance$.



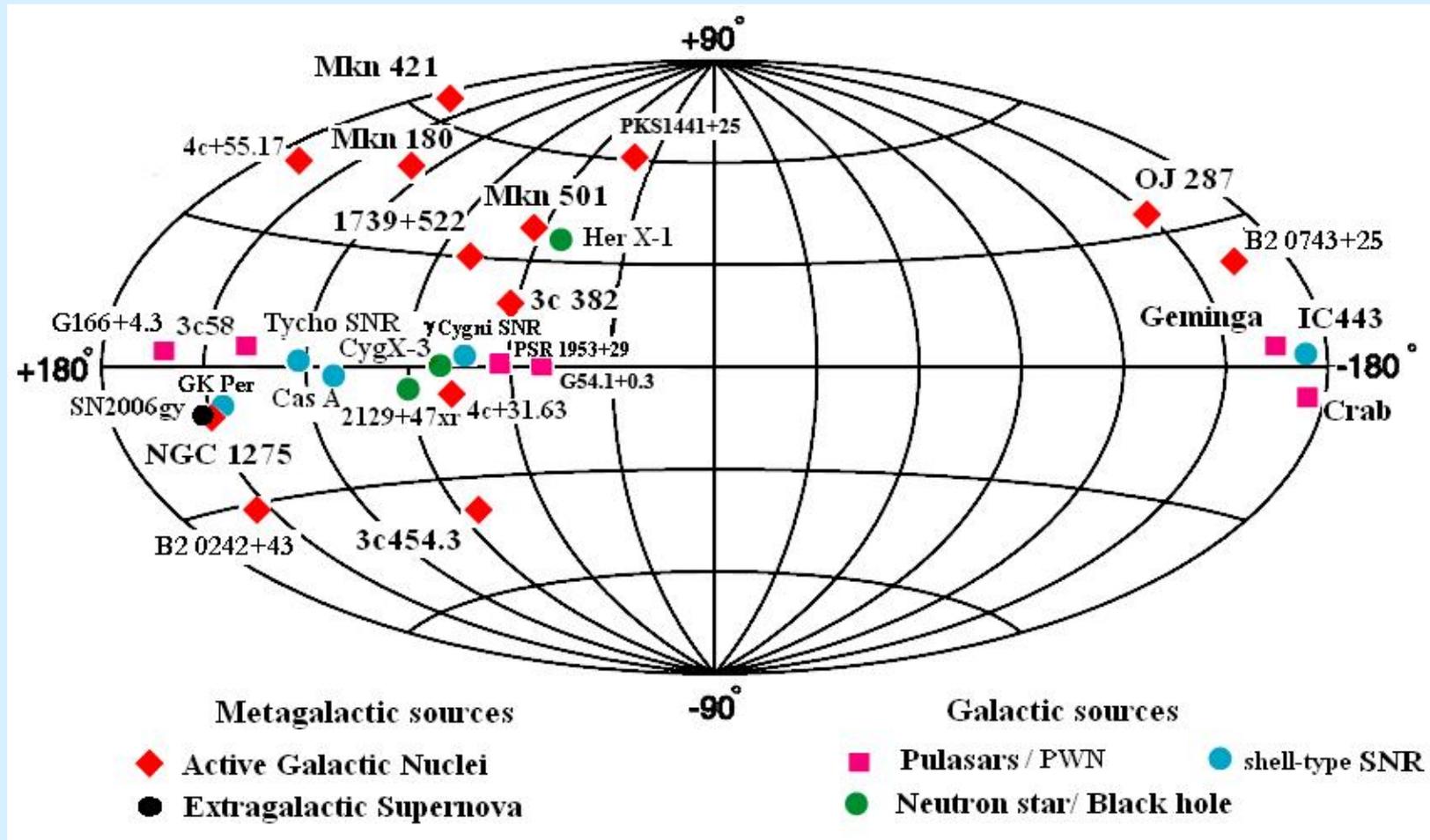
На втором этапе проводится дополнительный анализ координат источника гамма-ливней, полученных на первом этапе, и ищется распределение интенсивности гамма-излучения в источнике. Нахождение распределения интенсивности излучения гамма-квантов в источнике $I(r)$ сводится к решению интегрального уравнения Фредгольма 1-го рода:

$$F(z) = \int K(r, s)I(s)ds$$

где $K(r, s)$ – ядро, определяемое как Гауссово размытие точки с величинами полуширины σ_D , σ_β , определяемыми на первом этапе. Коррекция наблюдений (Гончарский, Черепашук, Ягола, 1985), приведенных на рис. а, проводилась решением интегрального уравнения в предположении, что его точное решение – гладкая неотрицательная функция, ограниченная сверху, угловые размеры источника ограничены, и решение заведомо находится внутри области, определяемой на первом этапе. На рис. б приведено скорректированное распределение интенсивности гамма-квантов $I(r)$, $r(SE)$ – расстояние на юго-восток от ядра NGC 1275 в градусах. В результате второго этапа точность нахождения координат источника гамма-ливней повышается в ~ 10 раз по сравнению с первым шагом, и становится возможным определение распределения интенсивности гамма-излучения в источнике и его окрестностях.



SHALON sky-map catalogue of γ -quantum sources 800 GeV – 100TeV (2016)



Об источнике заявляется как о зарегистрированном, если он обнаружен на уровне 5σ (Li&Ma формула 17) и тогда он включается в каталог (см. таблица и карта).

Дальнейшие наблюдения имеет своей целью получение сначала интегрального спектра, а затем, спектрального энергетического распределения и карты излучения.

Обновление данных для каждого источника каталога происходит 1 раз в 4-е года. Здесь имеется ввиду: обновление спектрального энергетического распределения, карты излучения и (если есть) сведений о потоках во время вспышек источника за прошедший период.

В случае стабильных источников наблюдения приостанавливаются, когда получено спектральное энергетическое распределение в максимально широком энергетическом диапазоне (т.е. последняя точка получена на уровне $\sim 3\sigma$ и достоверность не увеличилась за последние 25 часов наблюдений)

SHALON catalogue of γ -ray sources 800 GeV – 100TeV (2017)

Source	Source type	Observed Flux, $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	Distance		Detected** by SHALON	Detected at high energies Experiment/year	Detected at very high energies Experiment/year
<i>Galactic</i>			<i>kpc</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	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	–
G54.1+0.3	Plerion, PWN	$(0.97 \pm 0.35) \times 10^{-12}$	6.2		2015 ¹⁴	FermiLAT/2009	VERITAS/2010
* GK Per(Nova1901)	Classical Nova	$(0.31 \pm 0.14) \times 10^{-12}$	0.46		2015 ⁵⁴	–	–
* 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
* G166.0+4.3	Shell-type SNR	$(1.07 \pm 0.46) \times 10^{-12}$	4.5		2016		
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 ³⁸)
* 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 ¹⁴	–	(Whipple UL)
* M57	Planetary nebula	$(0.30 \pm 0.17) \times 10^{-12}$	0.7		2011 ¹³	–	–
<i>Extragalactic</i>			<i>Mpc</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	Extragal.Supernova	$(3.71 \pm 0.65) \times 10^{-12}$	73	0.019	2007 ⁹	–	–
IC 310	Radio Galaxy	$(0.89 \pm 0.09) \times 10^{-12}$	81	0.019	2017	FermiLAT/2010/	MAGIC/2010
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	$(0.26 \pm 0.07) \times 10^{-12}$	1576	0.306	2005 ⁸ (UL) 2010 ¹¹	FermiLAT/2009 ⁴¹	(MAGIC / 2009 UL) ⁴² MAGIC/2017
* 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	–
PKS 1441+25	FSRQ	$(0.52 \pm 0.23) \times 10^{-12}$	6133	0.939	2016 ⁵⁶	FermiLAT/2015	VERITAS/2015 ⁵⁵
B2 0218+357	FSRQ	$(0.48 \pm 0.22) \times 10^{-12}$	6250	0.944	2017 ⁵⁷	FermiLAT/2015	MAGIC/2015
* 1739+522 (4c+51.37)	FSRQ	$(0.49 \pm 0.05) \times 10^{-12}$	9913	1.375	2000 ⁶	FermiLAT/2010 ⁴⁶	–
* B2 0242+43	FSRQ	$(0.58 \pm 0.20) \times 10^{-12}$	16865	2.243	2015 ⁵⁵	FermiLAT/2010, 2011	–
* B2 0743+25	FSRQ	$(0.37 \pm 0.16) \times 10^{-12}$	23466	2.949	2015 ⁵⁵	FermiLAT/2010, 2011	–

TeV Gamma-ray emission from Supernova Remnants

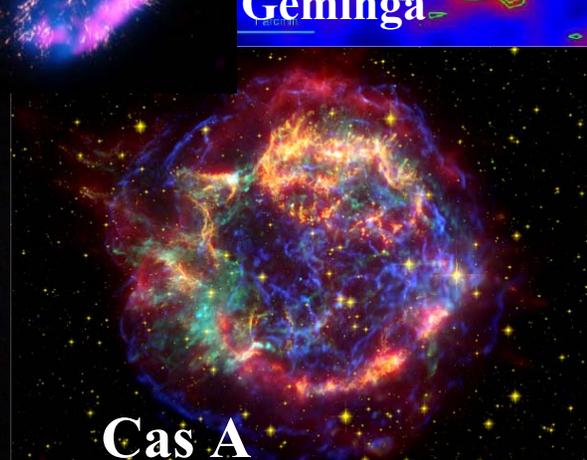
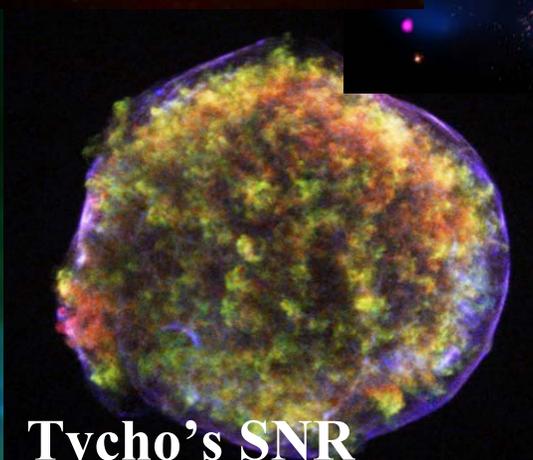
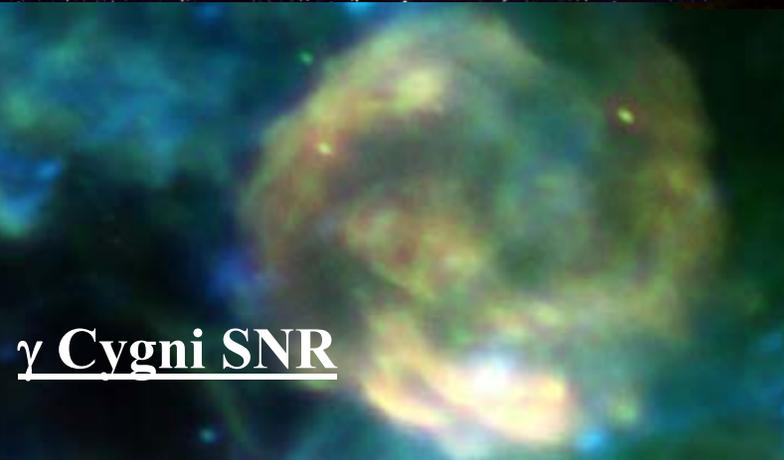
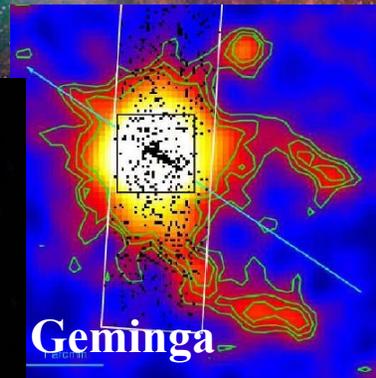
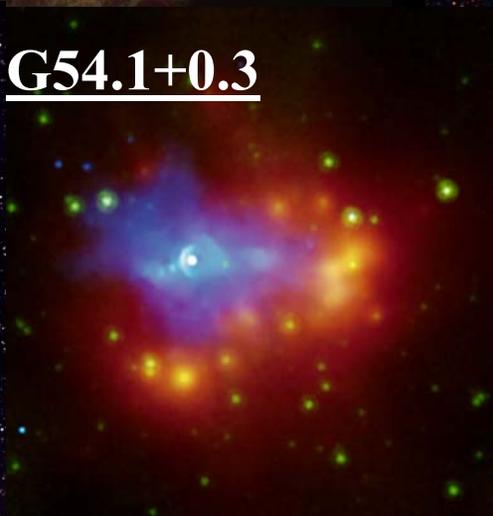
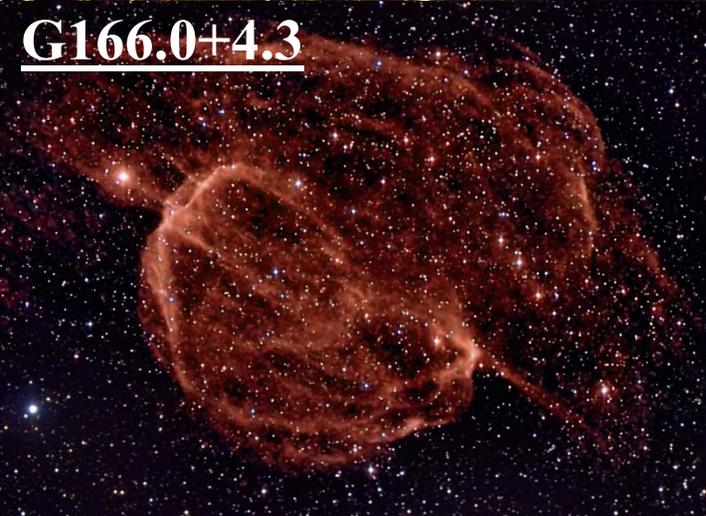
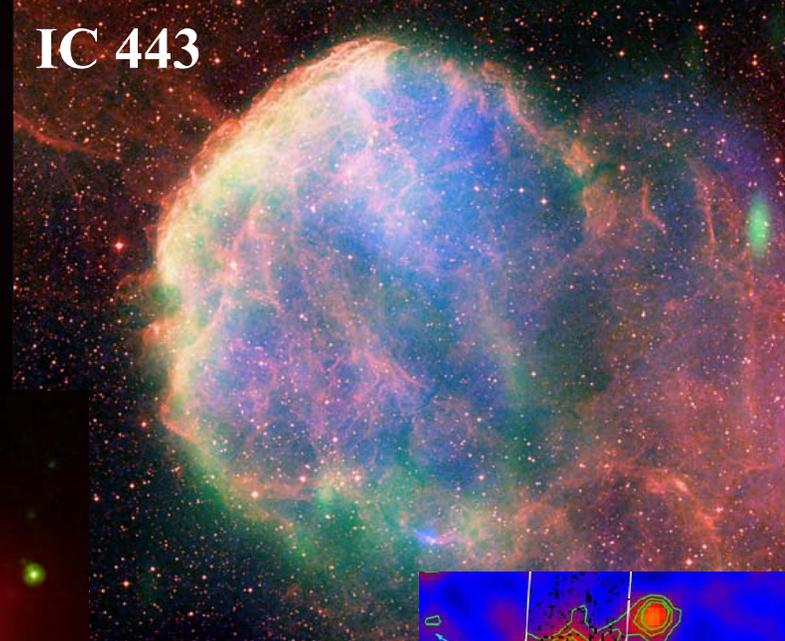


Table 1. The catalogue of galactic γ -ray sources by SHALON with parameters for spectrum fitting in form of power law with exponential cutoff $F(> E) \propto E^{k_\gamma} \times \exp(-E/E_{\text{cutoff}})$.

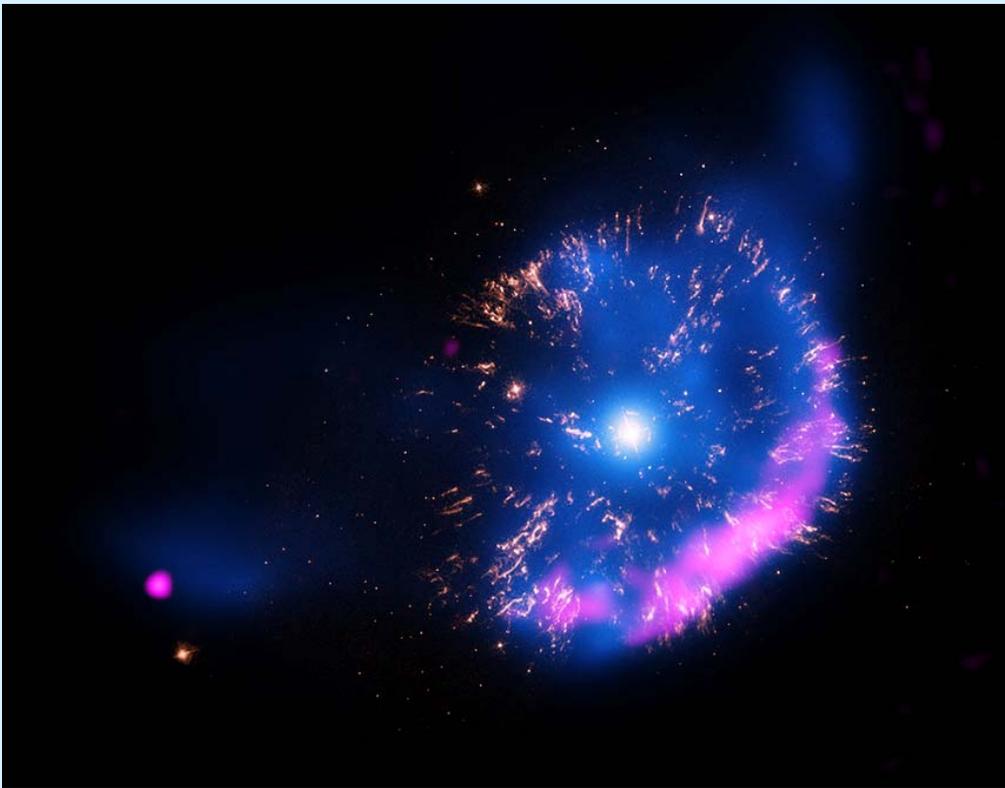
Sources	Observable flux ^a	k_γ	E_{cutoff} , TeV	Distance, kpc	Type
Crab Nebula	(2.12 ± 0.12)	-1.36 ± 0.09	19.0 ± 2.0	2.0	PWN
Geminga	(0.48 ± 0.07)	-0.39 ± 0.05	5.4 ± 1.0	0.25	PSR or PWN
3C 58	(0.56 ± 0.15)	-1.33 ± 0.12	—	3.2	PWN
G54.1+0.3	(0.97 ± 0.35)	-1.43 ± 0.14	—	6.2	PWN
Tycho's SNR	(0.52 ± 0.04)	-0.93 ± 0.09	35.0 ± 5.0	3.1–3.3	Shell-type SNR
Cas A	(0.64 ± 0.10)	-0.91 ± 0.11	10.3 ± 2.5	3.1	Shell-type SNR
IC 443	(1.69 ± 0.58)	-1.94 ± 0.16	—	1.5	Shell-type SNR
G166.0+4.3	(1.07 ± 0.46)	-1.95 ± 0.44	—	4.5	Shell-type SNR
γ Cygni SNR	(1.27 ± 0.11)	-0.93 ± 0.09	20.1 ± 4.2	1.5	Shell-type SNR
GK Per	(0.31 ± 0.14)	-1.90 ± 0.36	—	0.46	Classical Nova
Cyg X-3	(0.68 ± 0.04)	-1.15 ± 0.08	75.0 ± 10.2	10.0	HMX Binary
4U 2129+47	(0.19 ± 0.06)	-0.42 ± 0.12	10.0 ± 3.0	6.0	LMX Binary
Her X-1	(0.45 ± 0.18)	—	—	6.6	LMX Binary
M57	(0.30 ± 0.17)	—	—	0.7	Planetary nebula

^aIntegral flux at energy > 800 GeV in units of $10^{-12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Благодаря работе черенковских телескопов появляется информация о таких объектах нашей Галактики, как остатки сверхновых звёзд, и уникальная возможность проверки моделей рождения космических лучей в ударных волнах остатков сверхновых.



GK Per (Nova 1901)

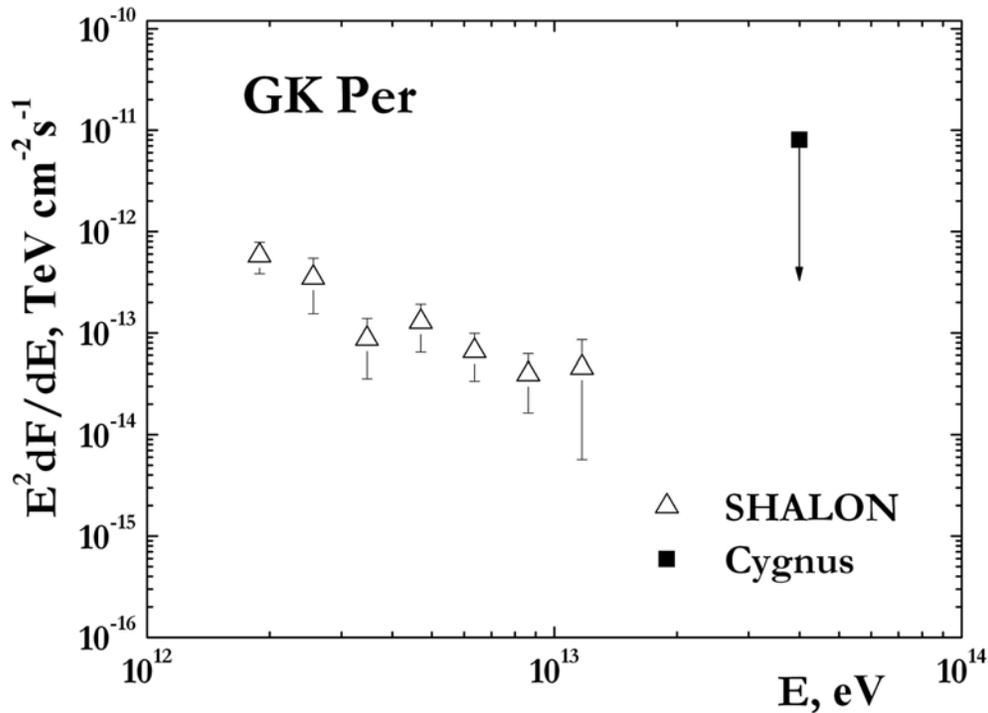


Nova Persei 1901 (GK Per) одна из наиболее интенсивно наблюдаемых и изучаемых во всём широком диапазоне электромагнитного спектра оболочек классических новых. Оптические данные демонстрируют взаимодействие выбросов новой и окружающего газа. Более того, остаток новой был зарегистрирован радиотелескопом VLA как источник нетеплового, поляризованного радио-излучения. Результаты этих наблюдений демонстрируют существование сжатой ударной волны межзвёздной среды. В рентгене оболочка вокруг GK Per впервые была открыта в наблюдениях ROSAT, а затем наблюдения продолжились телескопом Chandra. В наблюдениях Chandra, в частности, было обнаружено рентгеновское излучение от той же популяции электронов, что генерируют и радиоизлучение. Обнаружение рентгеновских лучей от оболочки остатка сверхновой, происходящих первично от тормозного излучения релятивистских электронов ускоренных на ударной волне, предполагает существование γ -излучения как в результате π^0 -распада, так и вторичных pp взаимодействий, а также возможного вклада от обратного комптоновского рассеяния. Результаты наблюдений Chandra показали, что GK Per имеет сходство с классом остатков сверхновых, которые взаимодействуют с молекулярными облаками, подобно OCH IC 443 ((3 ÷ 30)×103лет), но находящимся на более ранних этапах эволюции.

The composite image of GK Per:

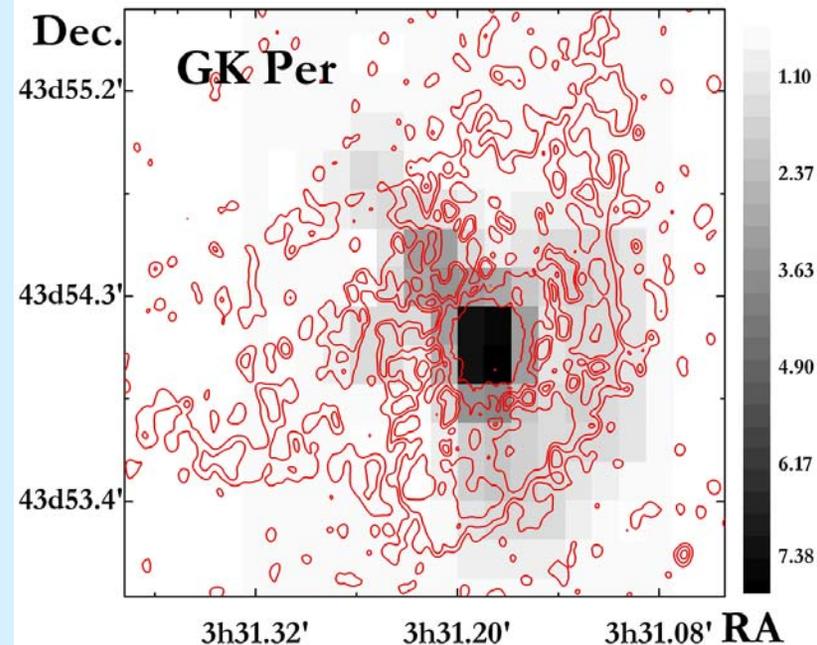
- X-rays (blue) from Chandra observations
- optical data (yellow) from NASA's Hubble Space Telescope
- radio data (pink) from the National Science Foundation's Very Large Array

GK Per (Nova 1901)



Анализ направлений прихода γ -ливней выявил основную область излучения, совпадающую с положением центрального источника GK Per, и наличие слабого излучения от оболочки, видимого, также, и в рентгене телескопом Chandra.

Впервые было обнаружено излучение сверхвысоких энергий от классической новой GK Per (Nova 1901), являющейся, по-видимому, ОСН оболочечного типа на раннем этапе эволюции, и её оболочки, видимой и в рентгеновском диапазоне энергий.



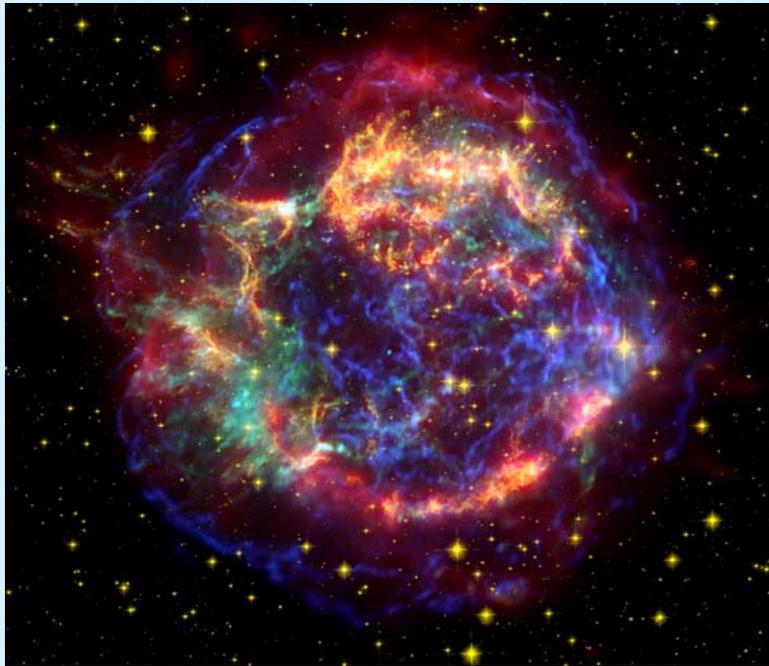
Спектральное энергетическое распределение γ -излучения сверхвысоких энергий от GK Per (Nova 1901) по данным телескопа ШАЛОН (2015)

Как источник, сопровождающий NGC 1275, GK Per систематически наблюдается телескопом ШАЛОН (111 часов с 1996 по 2012 год) в ясные безлунные ночи под зенитными углами от 5 до 35 градусов. При обработке данных наблюдений, GK Per был зарегистрирован телескопом ШАЛОН при энергиях больше 2 ТэВ на уровне 9.2 σ , определяемом по Li&Ma:

$$I_{GK Per} (>2\text{TeV}) = (0.29 \pm 0.13) \cdot 10^{-12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

**The image of GK Per by SHALON (grey scale);
Red lines - Chandra X-ray image of GK Per (Nova1901)**

Cassiopeia A (1680 yr.)



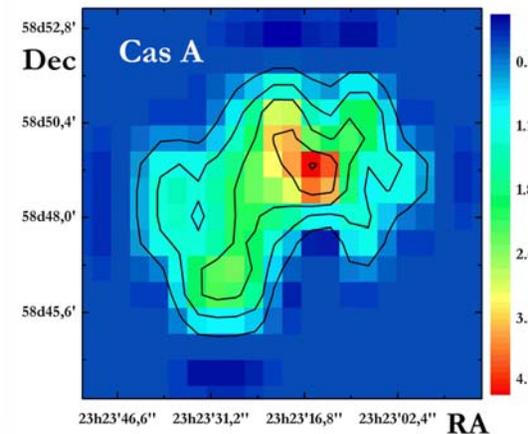
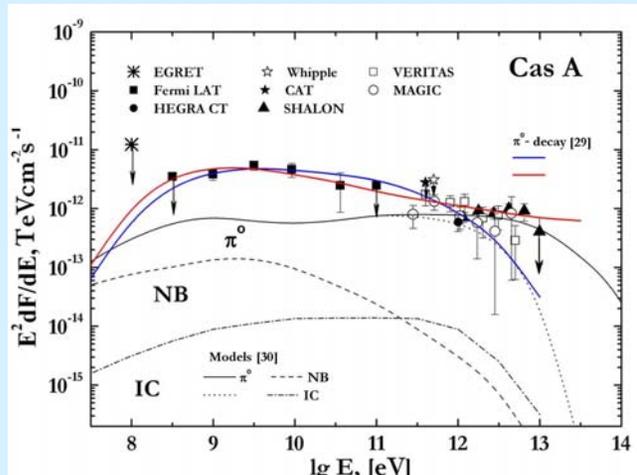
Кассиопея А (Cas A) самый молодой из исторических остатков сверхновых в нашей Галактике. Яркость излучения Кассиопеи А во всём наблюдаемом электромагнитном спектре делает этот источник уникальным объектом для изучения явлений в остатках сверхновых при высоких и сверхвысоких энергиях. Впервые Cas A был 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.

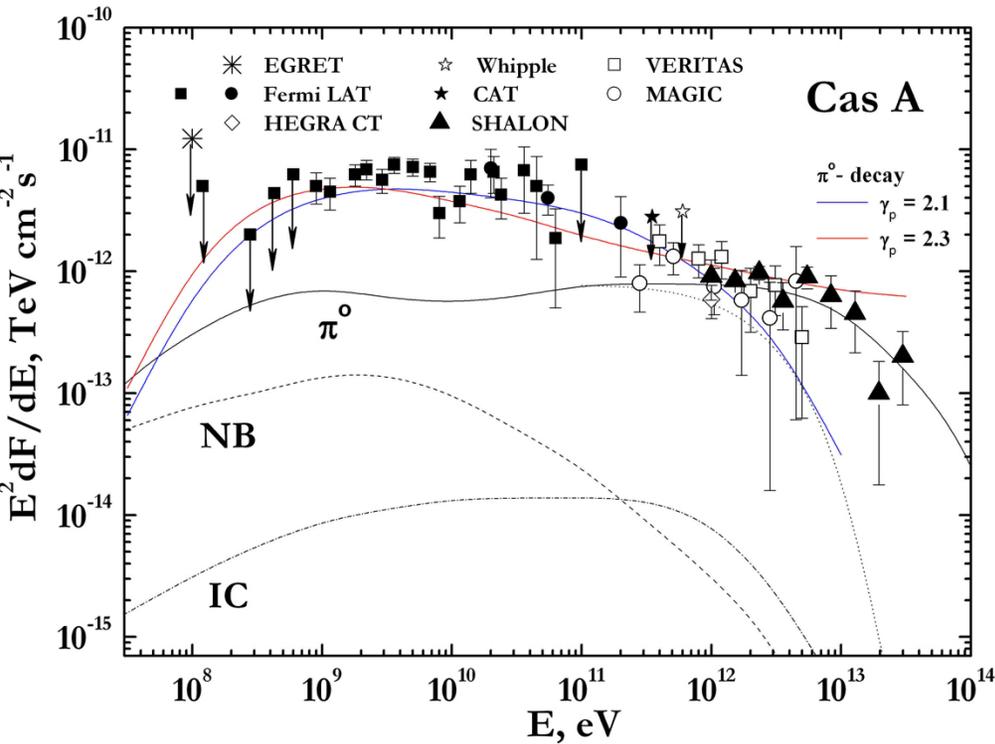
Infrared data from the Spitzer Space Telescope are colored red;
Optical data from the Hubble Space Telescope are yellow;
X-ray data from the Chandra Observatory are green and blue.

Cas A наблюдалась телескопом ШАЛОН 74 часа с 2010 по 2014 годы в ясные безлунные ночи под зенитными углами от 13 до 35 градусов 72 часа. Кассиопея А была зарегистрирована телескопом ШАЛОН при энергиях больше 0,8 ТэВ на уровне $19,1\sigma$ определяемом по методу Li&Ma. Среднее значение потока при энергиях больше 0.8 ТэВ для Cas A, 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 (1680 yr.)



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 π -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.

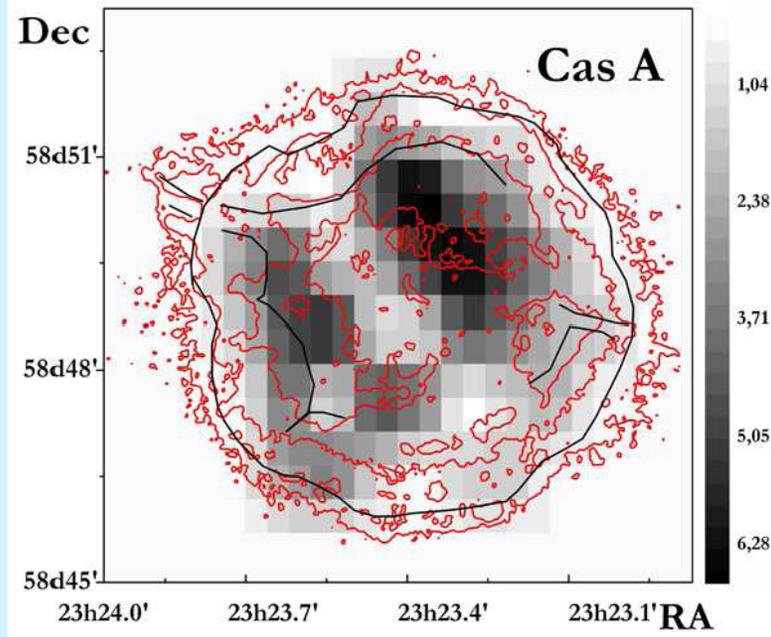
Спектральное энергетическое распределение γ -излучения высоких и сверхвысоких энергий по данным телескопа ШАЛОН (\blacktriangle) в сравнении с данными других экспериментов [Abdo et al. 2010; Berezhko E G, Pühlhofer G, Völk H J, 2003] .

The γ -ray source associated with the Cas A SNR was detected above 800 GeV in observations of 2010 – 2014 yy. with a statistical significance of 19.1σ Li&Ma with a γ -ray flux above 0.8 TeV :

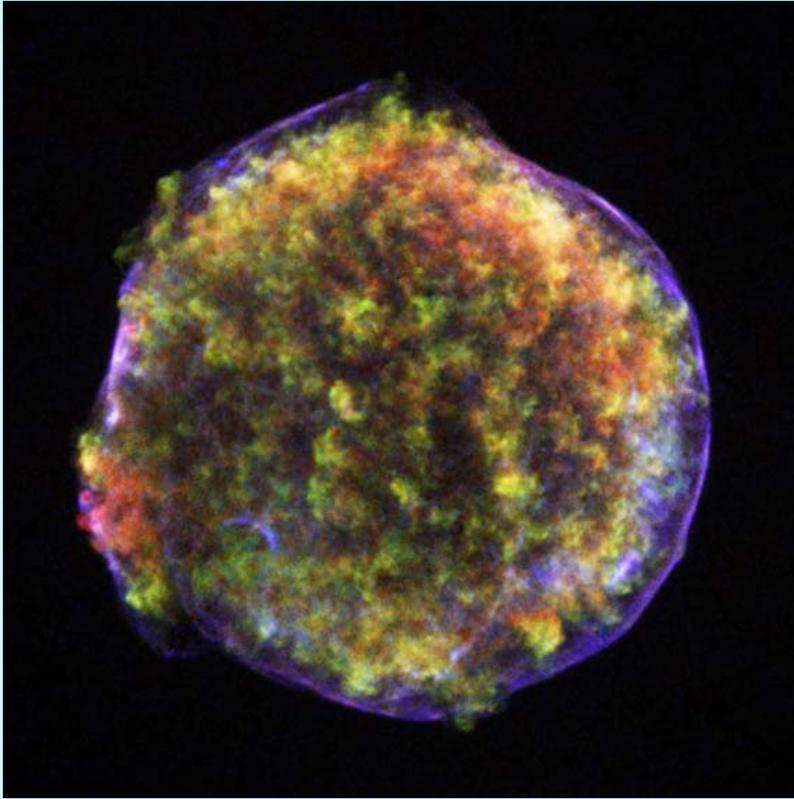
$$I_{\text{CasA}}(>0,8\text{TeV}) = (0,64 \pm 0,10) \times 10^{-12} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$$

Обнаружение γ -излучения от Cas A при энергиях 5–30 ТэВ и жесткий спектр при энергиях <1 ТэВ свидетельствует об адронном происхождении γ -лучей в Cas A.

**Chandra image of Cas A (X-ray) red lines ;
The grey scale image shows the TeV-image by SHALON**



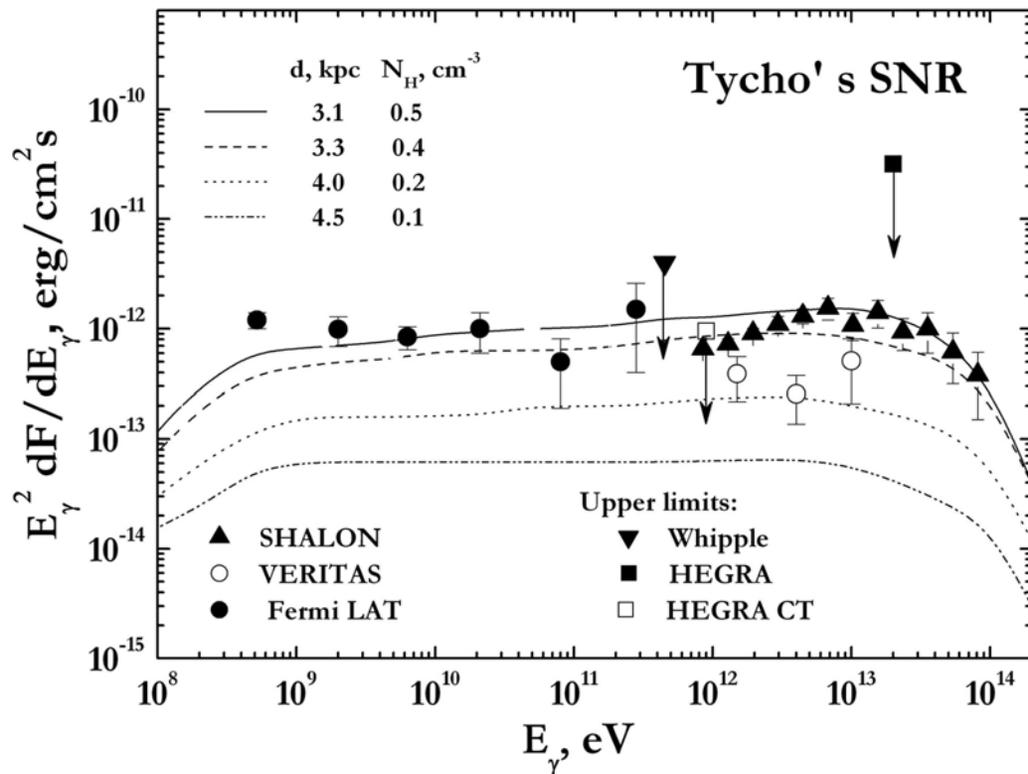
Tycho's SNR (1572yr)



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.

Tycho's SNR (1572yr)

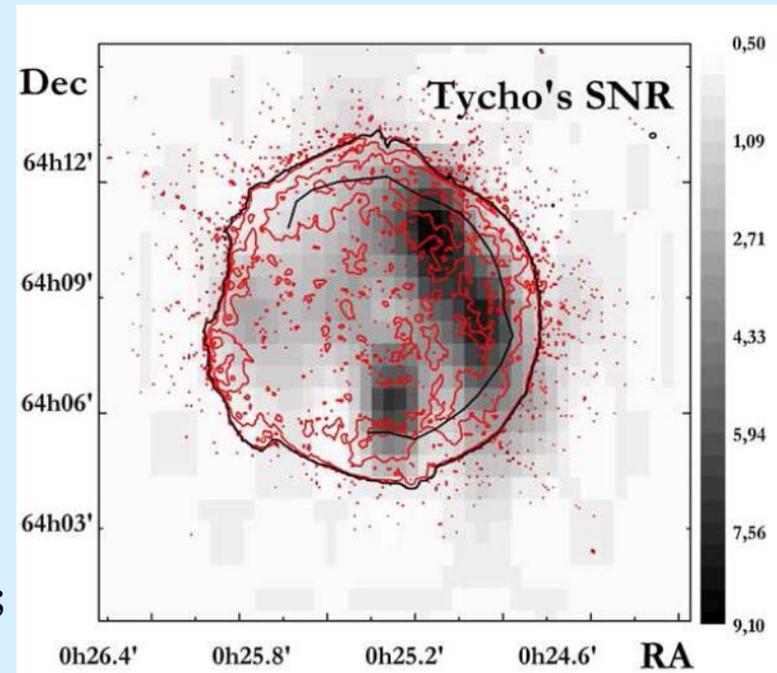


Ожидаемый поток γ -квантов от распада π^0 $F_\gamma \sim E_\gamma^{-1}$ простирается до ~ 30 ТэВ, тогда как поток гамма-квантов генерируемый процессом обратного комптоновского рассеяния обрезается выше нескольких ТэВ. Поэтому, обнаружение гамма-излучения при энергиях 10 - 80 ТэВ телескопом ШАЛОН является свидетельством адронного происхождения. Дополнительная информация о параметрах источника TychoSNR получена в рамках нелинейной кинетической теории из данных телескопа ШАЛОН: расстояние d находится в пределах 3.1–3.3 кпк, плотность межзвёздной среды $N_H = 0.4\text{--}0.5 \text{ cm}^{-3}$, при этом поток гамма-квантов от распада π^0 будет простирается почти до 100 ТэВ.

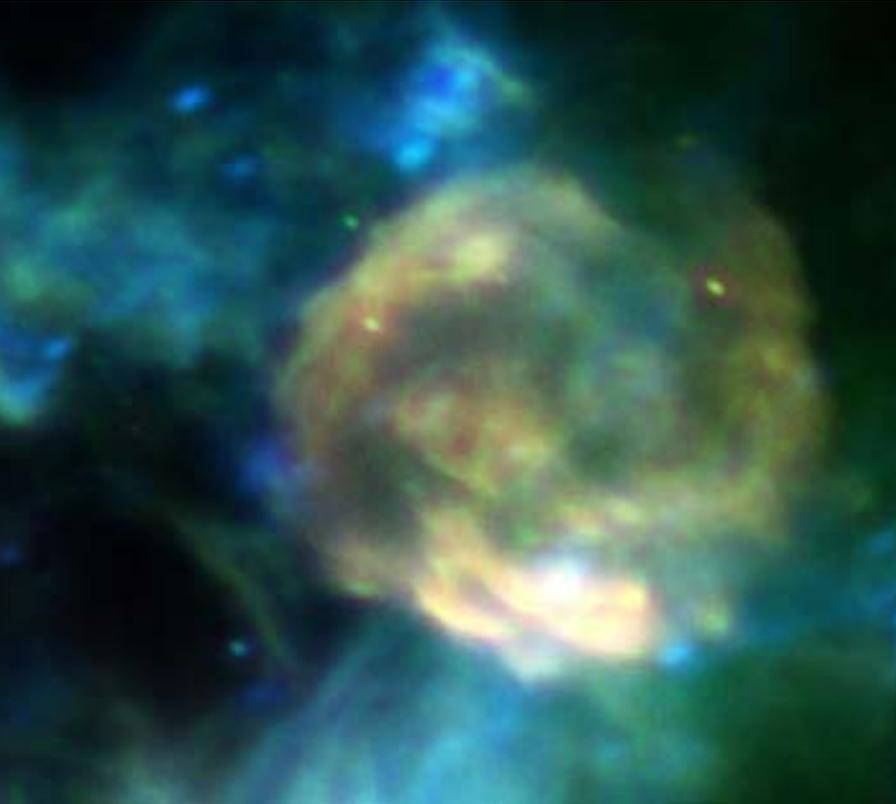
Recently, Tycho's SNR was also detected at GeV energy range by Fermi LAT (●) (2017). The Tycho's SNR spectral energy distribution by SHALON (▲) (1996 - 2010) comparing with VERITAS (○) (2009), Fermi LAT (●) (2010, 2011) and theoretical models [Volk H.J. Berezhko E.G. Ksenofontov L.T., 2008].

In observations of 1996 year a new galactic source was detected by SHALON5 in TeV energies. This object was identified with Tycho's SNRs with integral flux of $(0.52 \pm 0.04) \times 10^{-12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. statistical significance of 17σ Li&Ma.

**The image of Tycho's SNR by SHALON (grey scale);
Red lines - Chandra X-ray image of Tycho's SNR**



γ Cygni SNR

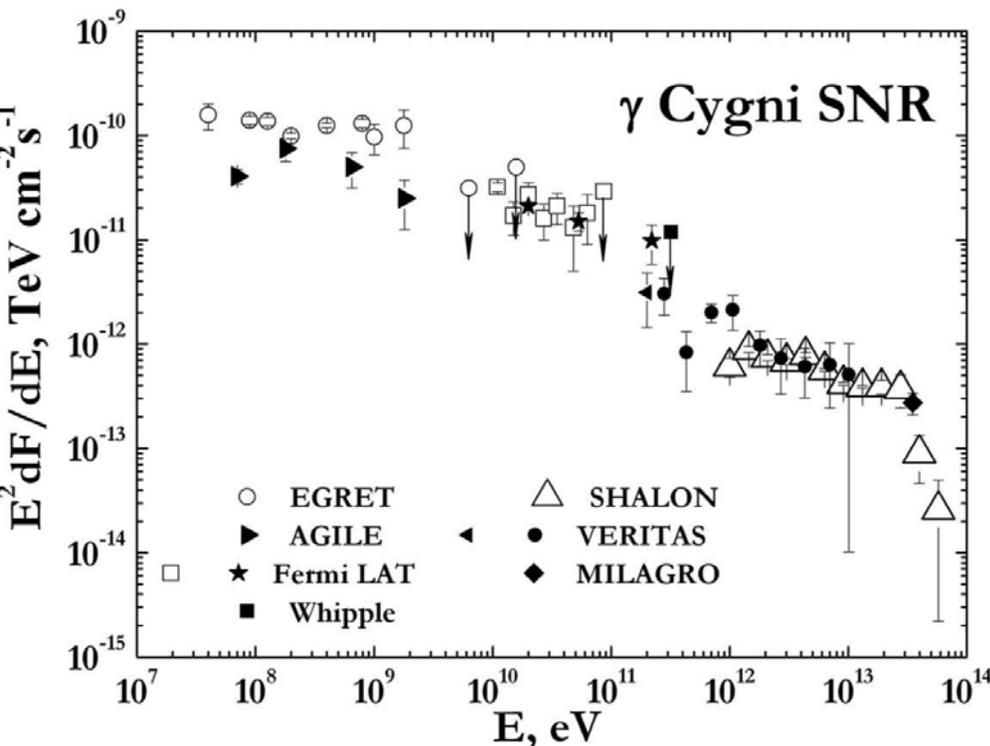


γ Cygni SNR – близкий остаток сверхновой оболочечного типа (1 – 2 кпк), который имеет угловые размеры $\sim 1^\circ$ и оболочечную структуру, видимую в радио и рентгеновском диапазоне энергий. γ Cygni SNR существенно старше таких остатков сверхновых как Cas A и Tycho's SNR, его возраст оценивается как 5000 – 7000 лет и, предположительно, ОЧН γ Cygni находится на стадии раннего адиабатического расширения. Наблюдения остатков сверхновых на разных этапах эволюции дают возможность установить механизм 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).

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

γ Cygni SNR (age of $\sim (5 \div 7) \times 10^3$ years)

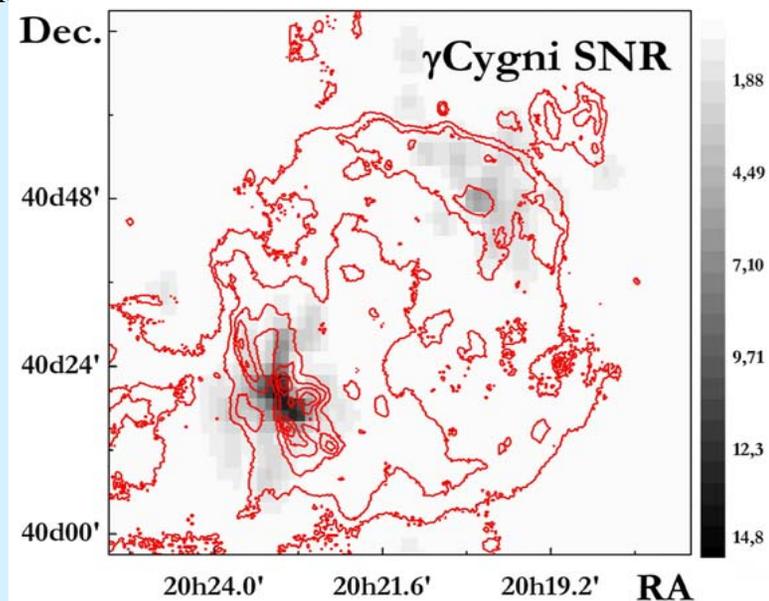


Особенности остатка сверхновой, видимые в рентгене, радио, а также и ТэВ-ом диапазоне энергий могут быть результатом наличия ударных волн, появившихся при взаимодействии выбросов сверхновой с окружающей средой. Излучение сверхвысоких энергий может происходить из-за обратного комптоновского рассеяния ускоренных электронов. Такие высокоэнергичные электроны также генерируют рентгеновское синхротронное излучение видимое по нетепловому степенному спектру. Но в [E. Aliu2013] было показано отсутствие такой компоненты рентгеновского излучения как в NW части, так и из положения SE оболочки, где наблюдаются максимум ТэВ-ого излучения.

Анализ направлений прихода γ -ливней выявил две области излучения в γ Cygni SNR: основная на юго-востоке оболочки OCH, и вторая на севере. При рассматриваемых энергиях $>0,8$ ТэВ основной вклад как в поток частиц, так и в поток энергии даёт область юго-восточного края оболочки OCH. Также области ТэВ-ого гамма-излучения коррелируют с NW и SE частями оболочки видимой в радио диапазоне 1420МГц на CGPS (red line)

The spectral energy distribution of the *gamma*-ray emission from γ Cygni SNR by SHALON (Δ , 240h) in comparison with other experiment data EGRET, AGILE, Fermi LAT, Whipple, VERITAS, MILAGRO (35 TeV).

ТэВ-ое гамма-излучение может происходить благодаря ускорению адронов на ударной волне, взаимодействующей с веществом окружающей среды. Произведённая в [I.V. Gosachinskij2001] оценка плотности показала, что она достаточна, чтобы из указанных областей наблюдался поток гамма-излучения, представленный на спектре. Таким образом, детектирование гамма-излучения с энергиями 0.8 – 50 ТэВ из NW и SE частей оболочки γ Cygni SNR указывает на адронное происхождение гамма-излучения в этом остатке сверхновой.



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



The composite image of IC 443 SNR.

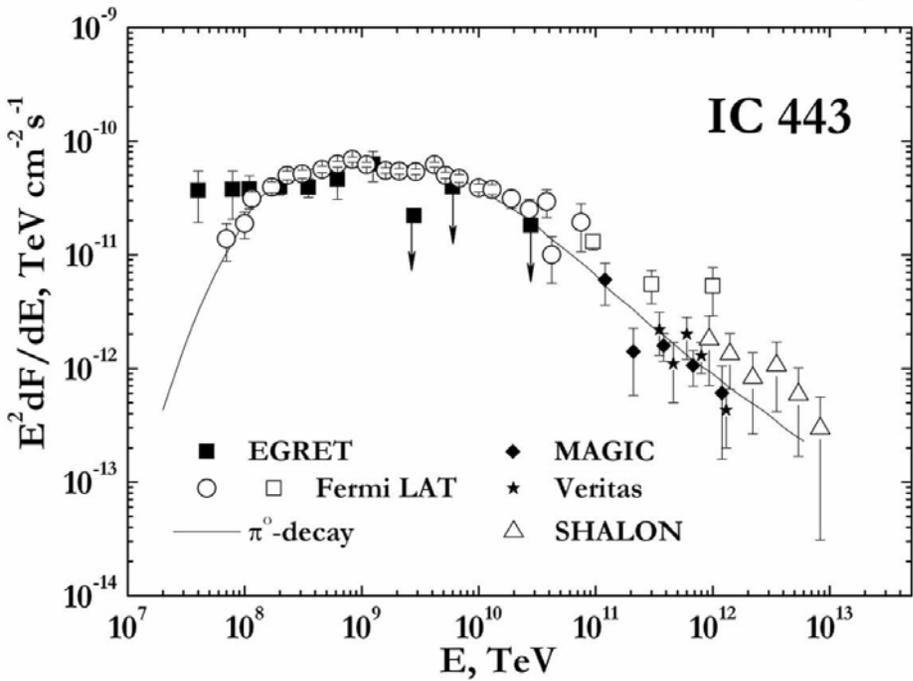
Radio data from the Dominion Radio Astrophysical Observatory are colored green;

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 $\sim (3-4) \times 10^3 \text{ у}$, другие склоняются к тому, что он старше, и возраст составляет $(20-30) \times 10^3 \text{ у}$. 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.

IC 443 SNR (age of $\sim (3 \div 30) \times 10^3$ years)



Для описания спектра γ -излучения IC443 с энергиями 100 МэВ – 7 ТэВ, как основной механизм генерации рассматривается распад π^0 -мезонов, рождённых в столкновениях ядер космических лучей с межзвёздным газом. Обратное комптоновское рассеяние не объясняет наблюдаемый спектр, т.к. нет известного яркого источника фотонов в данной области.

Анализ направлений прихода γ -ливней выявил корреляцию максимумов излучения в диапазоне энергий 800 ГэВ – 7 ТэВ с излучением наблюдаемым Fermi LAT [34], также ТэВ-ное излучение на юге и юго-западе коррелирует с расположением плотных выметаемых молекулярных облаков.

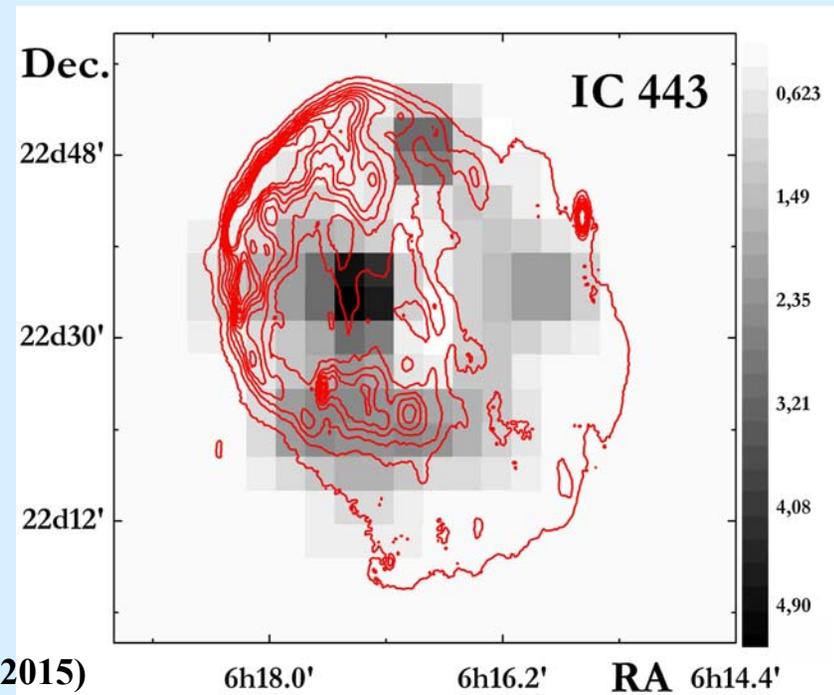
IC 443 был зарегистрирован в TeV γ -лучах телескопом MAGIC (2007), а затем подтверждён VERITAS (2009) и SHALON (2011-2016) (Δ). Гамма-излучение высоких энергий IC 443 было задетектировано EGRET (1995) и Fermi LAT (2010) в диапазоне энергий 500 MeV - 50 GeV. Сплошной линией показан спектр γ -квантов сверхвысоких энергий адронного происхождения. IC 443 was detected by SHALON (27h) with the integral flux above 0.8TeV:

$$I_{IC\ 443}(>0,8\text{TeV}) = (1,69 \pm 0,58) \cdot 10^{-12} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$$

with a statistical significance of 9.7σ (Li&Ma).

CGPS image of IC 443 (radio) red lines ;

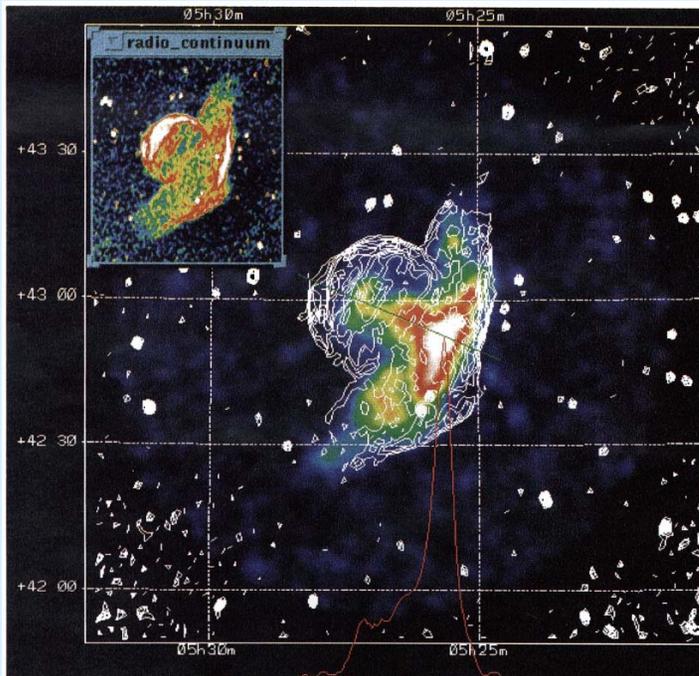
The grey scale image shows the TeV-image by SHALON (2011-2015)



G166.0+4.3 SNR (age of $\sim 24 \times 10^3$ years)



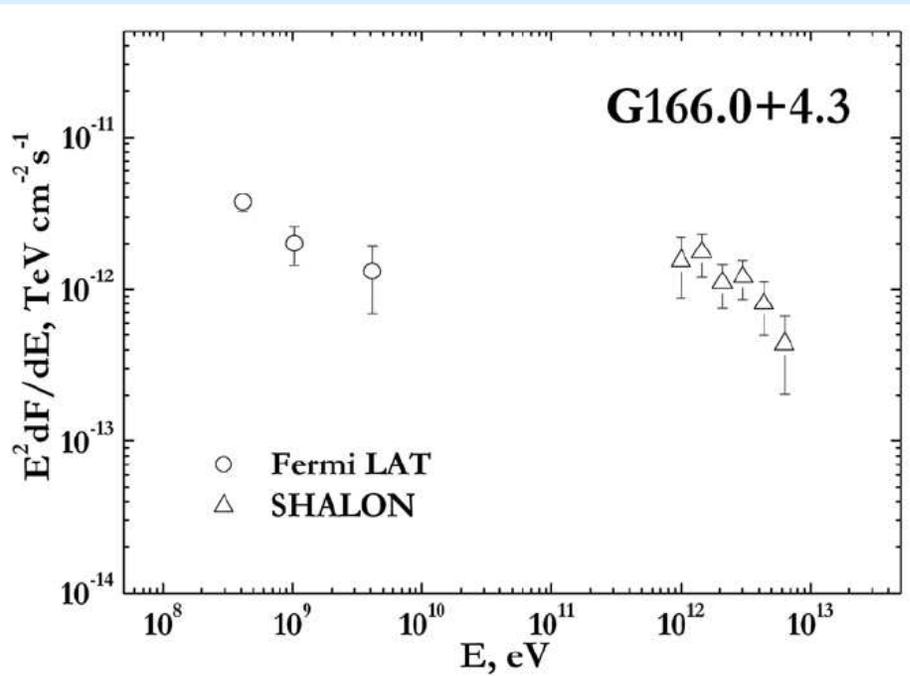
The radio astronomy image of G166.0+4.3 (CGPS)



G166.0+4.3 (VRO 42.05.01) является остатком сверхновой с необычной структурой, которая состоит из сферической оболочки на северо-востоке, пересекаемой большой крыловидной компонентой на юго-западе, расширяющуюся в среде с низкой плотностью.

Наблюдается существенное отличие в пространственном распределении излучения видимом в рентгене и в радио-диапазоне. Изображение, наблюдаемое в радио, имеет чёткую сферическую структуру с крыловидной компонентой с очень яркими краями. Тогда как изображение источника, видимое в рентгеновском диапазоне, не имеет такой структуры с яркими краями, а в основном представляет собой яркое пятно в области крыловидной компоненты. Поскольку такая структура остатка может быть результатом столкновения ударной волны с разрывом плотности в межзвёздной среде, G166.0+4.3 становится кандидатом для изучения ускорения частиц на ударных волнах в остатках сверхновых до высоких и сверхвысоких энергий.

G166.0+4.3 SNR (age of $\sim 24 \times 10^3$ years)



G166.0+4.3 наблюдалась телескопом ШАЛОН 21 час в 2015 и 2016 годах в ясные безлунные ночи под зенитными углами от 13 до 35 градусов. В результате излучение от G166.0+4.3 было зарегистрировано телескопом ШАЛОН при энергиях больше 0,8 ТэВ на уровне 6,2 σ определяемом по методу Li&Ma. Среднее значение потока при энергиях больше 0.8 ТэВ для G166.0+4.3, по данным телескопа ШАЛОН, составляет:

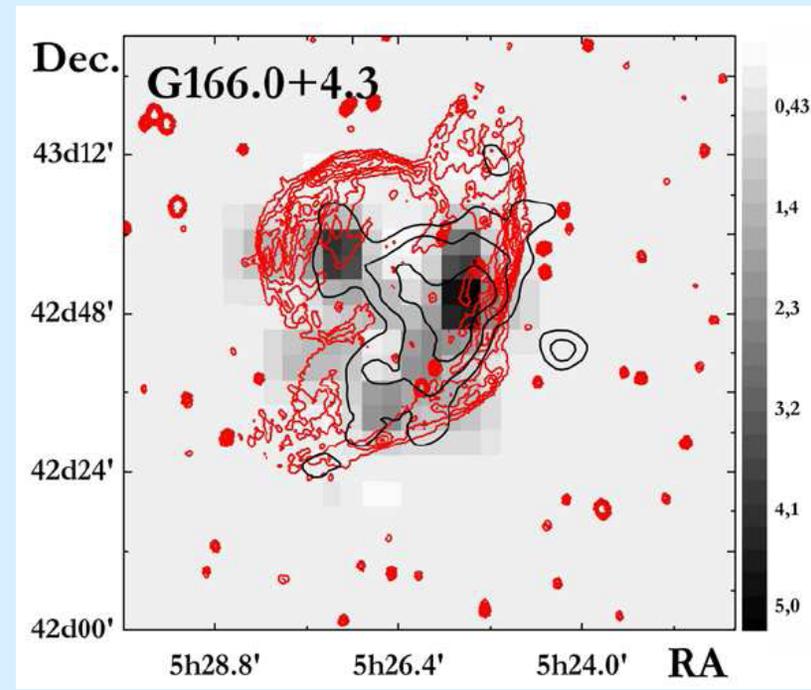
$$I_{CasA}(>0,8\text{TeV}) = (1,49 \pm 0,25) \cdot 10^{-12} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$$

Спектр в диапазоне энергий 0,8-6 ТэВ описывается степенным законом:

$$I(> E_\gamma) = (1.49 \pm 0.25) \times 10^{-12} \times E_\gamma^{-1.95 \pm 0.44}$$

Спектральное энергетическое распределение γ -излучения сверхвысоких энергий от G166.0+4.3 по данным телескопа ШАЛОН (2016) и Fermi LAT.

Области излучения сверхвысоких энергий по данным ШАЛОН коррелируют с северо-восточной и юго-западной компонентами видимыми в радио диапазоне энергий по данным CGPS (красные контуры). При этом ТэВ-ое излучение более существенно около запада, в крыловидной компоненте, где расположен максимум рентгеновского излучения видимый ROSAT (чёрные контуры).



The grey scale image shows the TeV-image by SHALON

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



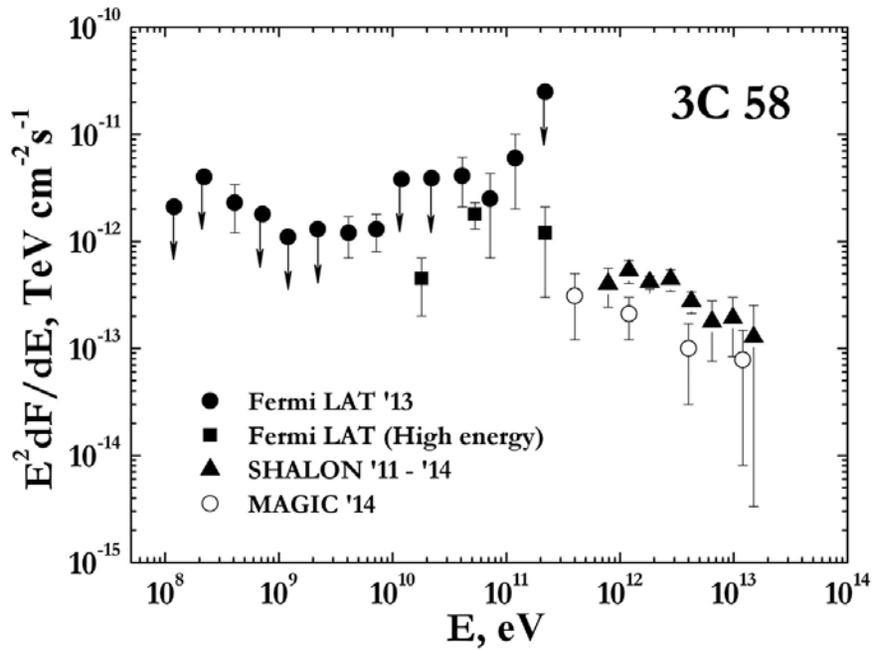
The composite image of 3c58

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, после чего 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.

3C 58 age of $\sim (2 \div 5) \times 10^3$ or exploded at 1181 y.



Объект 3C 58 подобен Crab по многим параметрам кроме существенного отличия в яркости и размере, наблюдаемых в радио и рентгеновском диапазоне. Эти различия могут быть объяснены разным возрастом остатков. Наблюдения 3C 58 в области высоких и сверхвысоких энергий могут помочь проследить эволюцию пульсарных туманностей от молодых, до более старых плерионов.

3C 58 наблюдался телескопом ШАЛОН 79,2 часа с 2011 по 2015 годы в ясные безлунные ночи под зенитными углами от 15 до 35 градусов. 3C 58 был впервые зарегистрирован телескопом ШАЛОН при энергиях больше 0,8 ТэВ на уровне 9.2σ с потоком. Недавно, 3C 58 был подтверждён в наблюдениях MAGIC.

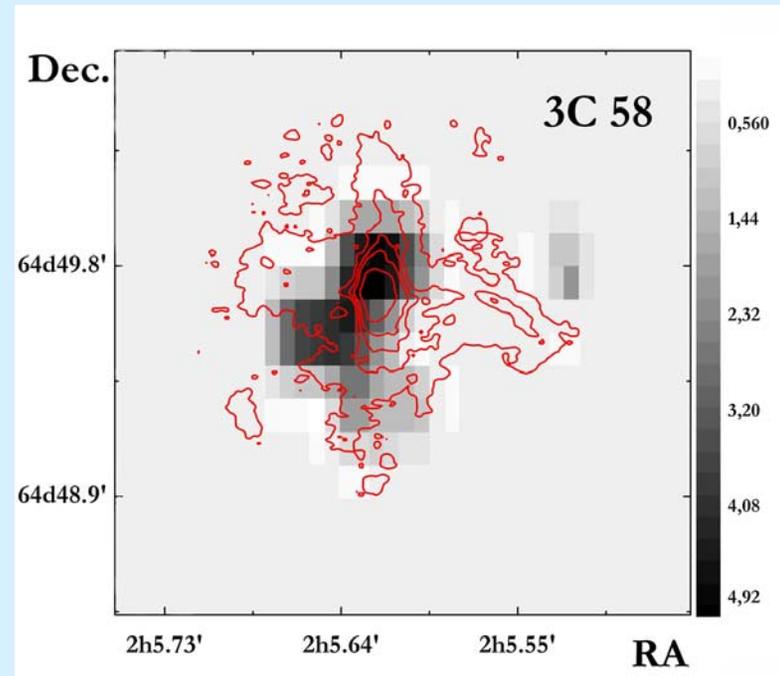
The spectral energy distribution of the γ -ray emission from 3C 58 by SHALON (▲) in comparison with other experiment data.

The integral energy spectrum of 3c58 can be well described by a power law with the index -1.33 ± 0.12 . The observed integral flux of 3c 58 above 0.8 TeV is

$$I_{3C58}(>0,8 \text{ TeV}) = (0,56 \pm 0,15) \times 10^{-12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}.$$

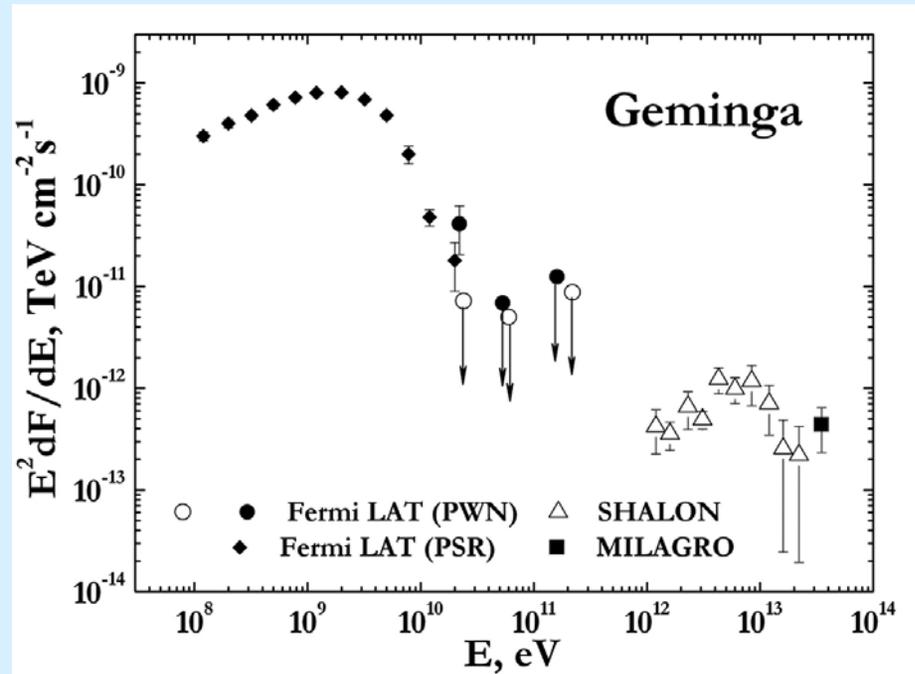
with a statistical significance of 9.2σ (Li&Ma).

Image of 3C 58 in the energy range 800 GeV -12 TeV by SHALON (grey scale); in comparison with data from X-ray by Chandra (red lines)



Geminga (age of $\sim 3\div 4 \times 10^5$ years)

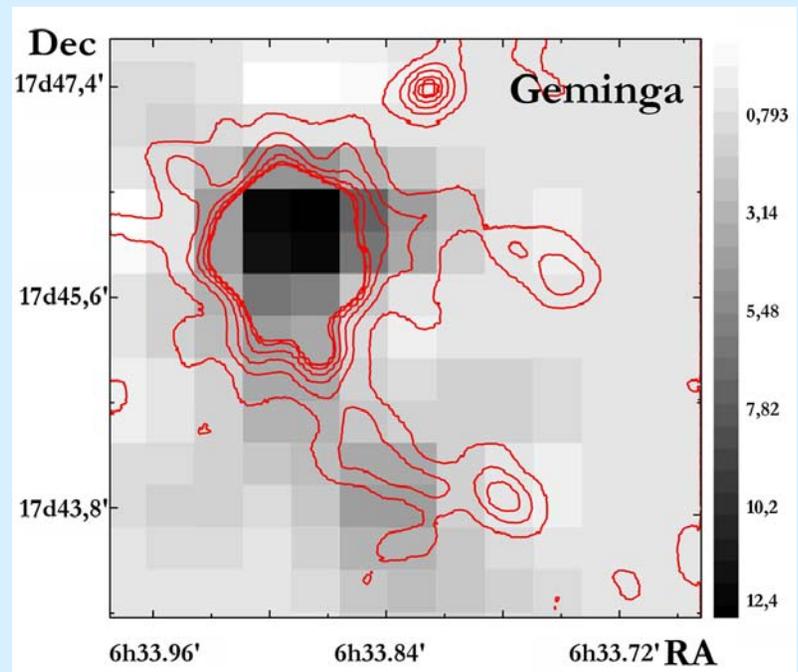
Geminga is the closest known pulsar to Earth. It is one of the brightest source of MeV – GeV γ -ray, but the only known pulsar that is radio-quiet. The observations of Geminga by SHALON in 1999 year had yielded the detection of γ -ray emission from this object and it have been intensively studied since then. Also this object it suggested to be a Geminga supernova remnant with expected age of $\sim 3.4 \times 10^5$ years. The extended VHE emission from Geminga (in SHALON, Milagro observations and Fermi LAT detection and upper limits) could arise from the PWN associated with the Geminga SNR.



The value Geminga flux obtained by SHALON (1999-2012) is lower than the upper limits published before. Its integral γ -ray flux at $E > 0.8 \text{ TeV}$ is found to be

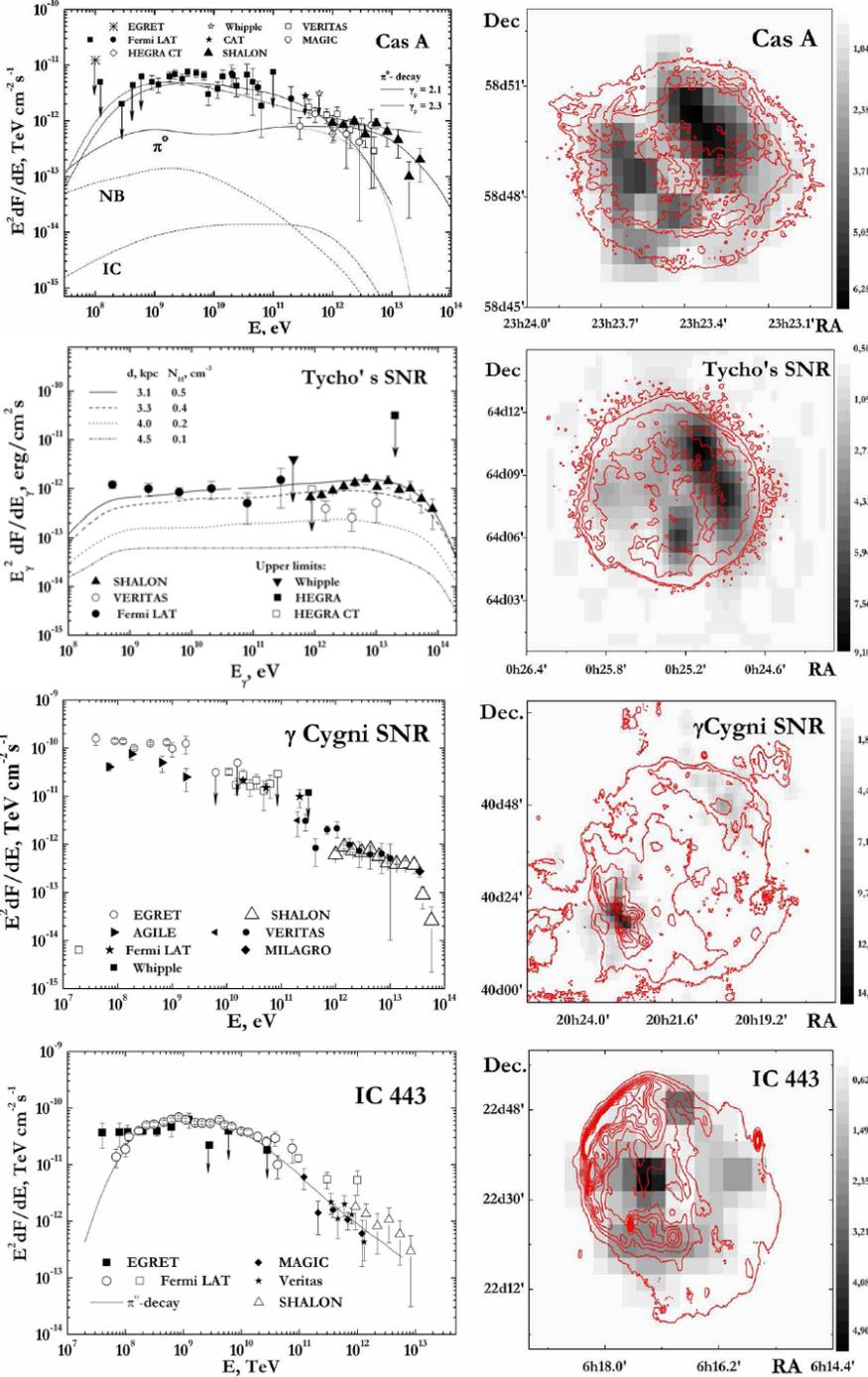
$$(0.48 \pm 0.07) \times 10^{-12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \quad (7.6\sigma \text{ Li\&Ma})$$

Image of Geminga in the energy range 800 GeV -15 TeV by SHALON (grey scale); in comparison with data from X-ray by Chandra (red lines)



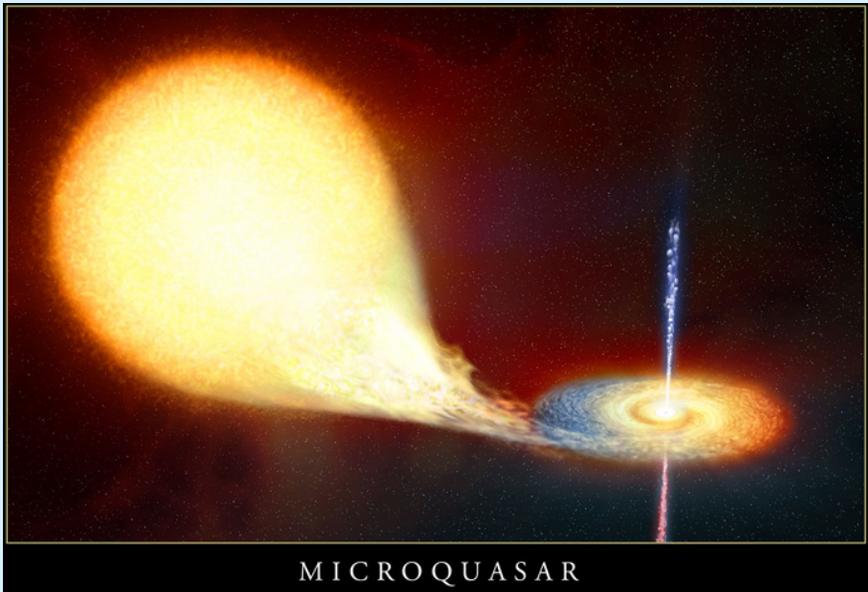
The TeV energy characteristics of shell-type SNRs at different ages

The observation results of Galactic shell-types supernova remnants on different evolution stages **GKPer (Nova 1901), Cas A (1680 yr), Tycho's SNR (1572yr), γ Cygni SNR age of $(5\div 7)\times 10^3$ yr and IC443 age of $(3\div 30)\times 10^3$ yr.** by SHALON mirror Cherenkov telescope are presented. The TeV γ -ray emission of classical nova GK Per, that could be a shell-type supernova remnant on early evolution stage, was detected for the first time by SHALON. Also, very high energy γ -rays from the shell of GK Per, visible in the X-rays, were detected with SHALON experiment for the first time. The experimental data have confirmed the prediction of the theory about the hadronic generation mechanism of very high energy γ -rays in Tycho's SNR, Cas A γ Cygni SNR and IC443.

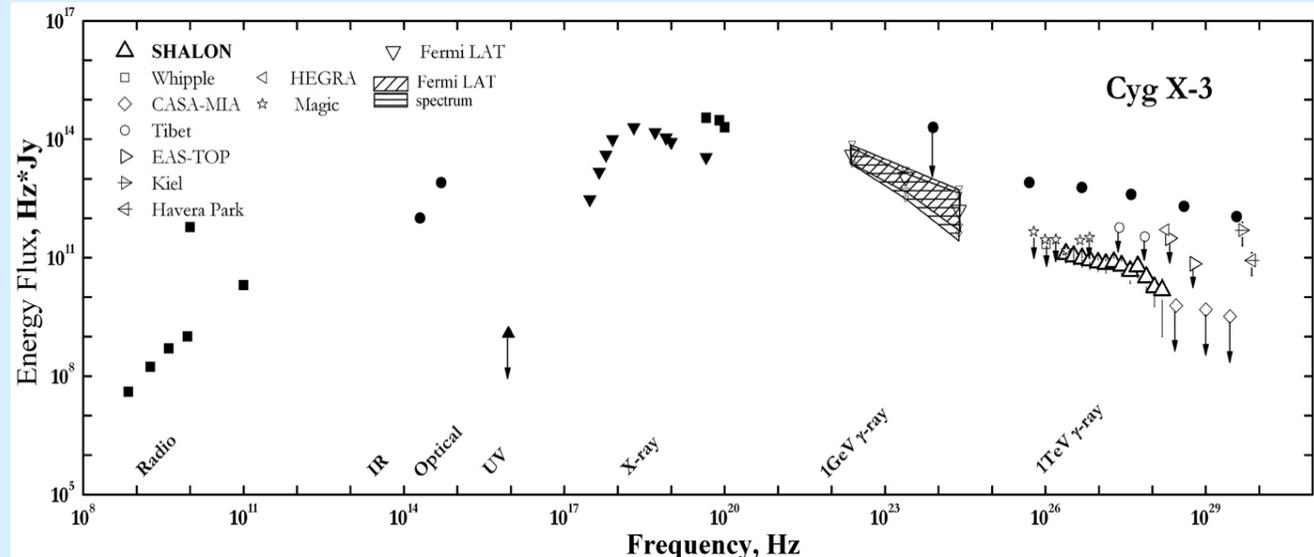


Cygnus X-3

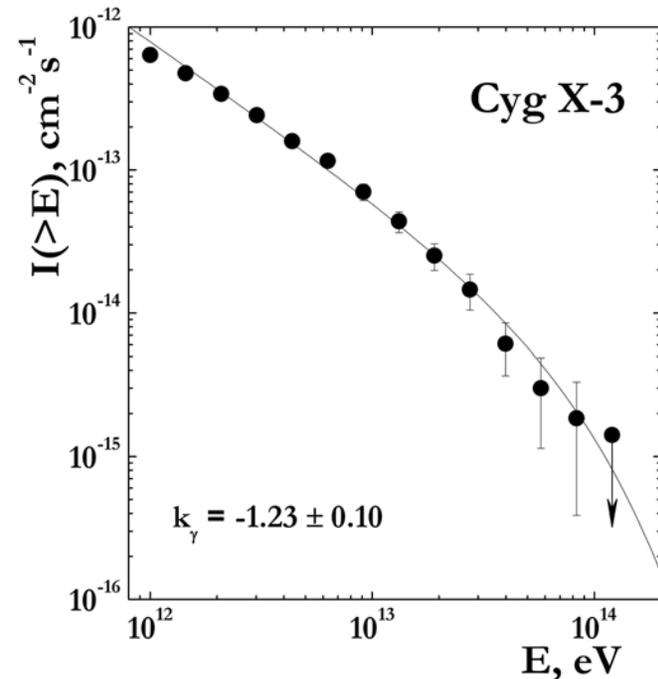
Cygnus X-3 – пекулярная двойная рентгеновская система открытая 50 лет назад, состоящей из звезды Вольфа-Райе и компактного объекта, который, возможно, является чёрной дырой. Этот объект наблюдается во всём диапазоне электромагнитного спектра. Cyg X-3 один из наиболее ярких рентгеновских источников, проявляющий 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 – 2016 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



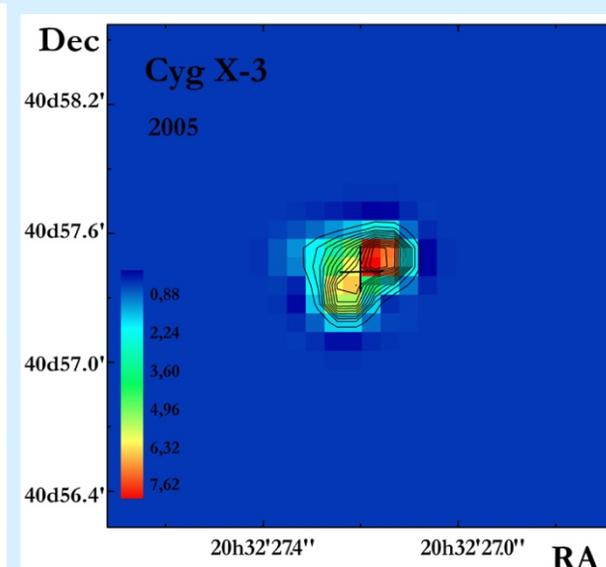
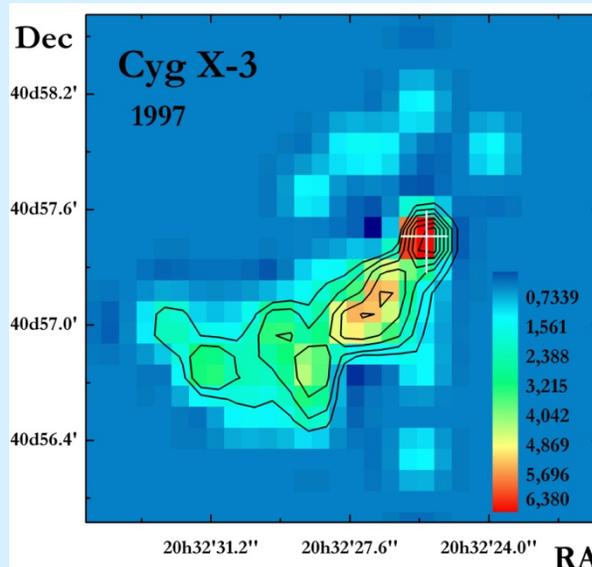
Cyg X-3 has been regularly observed since a 1995 with SHALON telescope during the 303.2 hours in total. All observations were made with the standard procedure of SHALON experiment during moonless nights with zenith angles from 4 to 35 degree. The gamma-ray source associated with the Cyg X-3 was detected above 800 GeV with a statistical significance of 41.2σ Li&Ma with a γ -ray flux above 800 GeV :

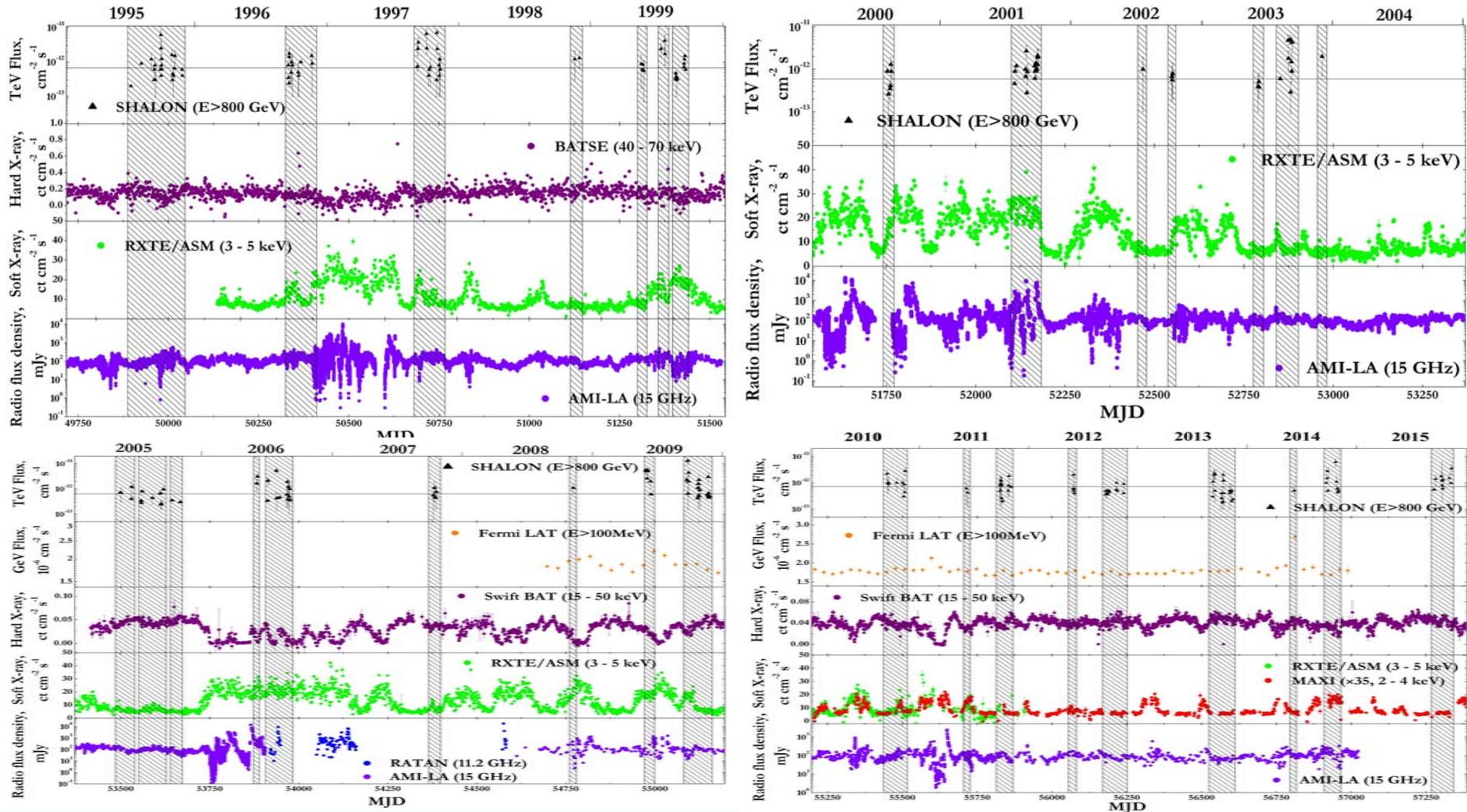
$$F(E_0 > 0,8 \text{ TeV}) = (6.8 \pm 0.4) \times 10^{-13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

The gamma-ray energy spectrum in the energy range from 800 GeV to 85 TeV is well described by a power law with an exponential cutoff,

$$I(>E_\gamma) = (6.8 \pm 0.4) \times 10^{-13} \times E_\gamma^{-1.08 \pm 0.09} \times \exp(-E_\gamma/75 \text{ TeV}) \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

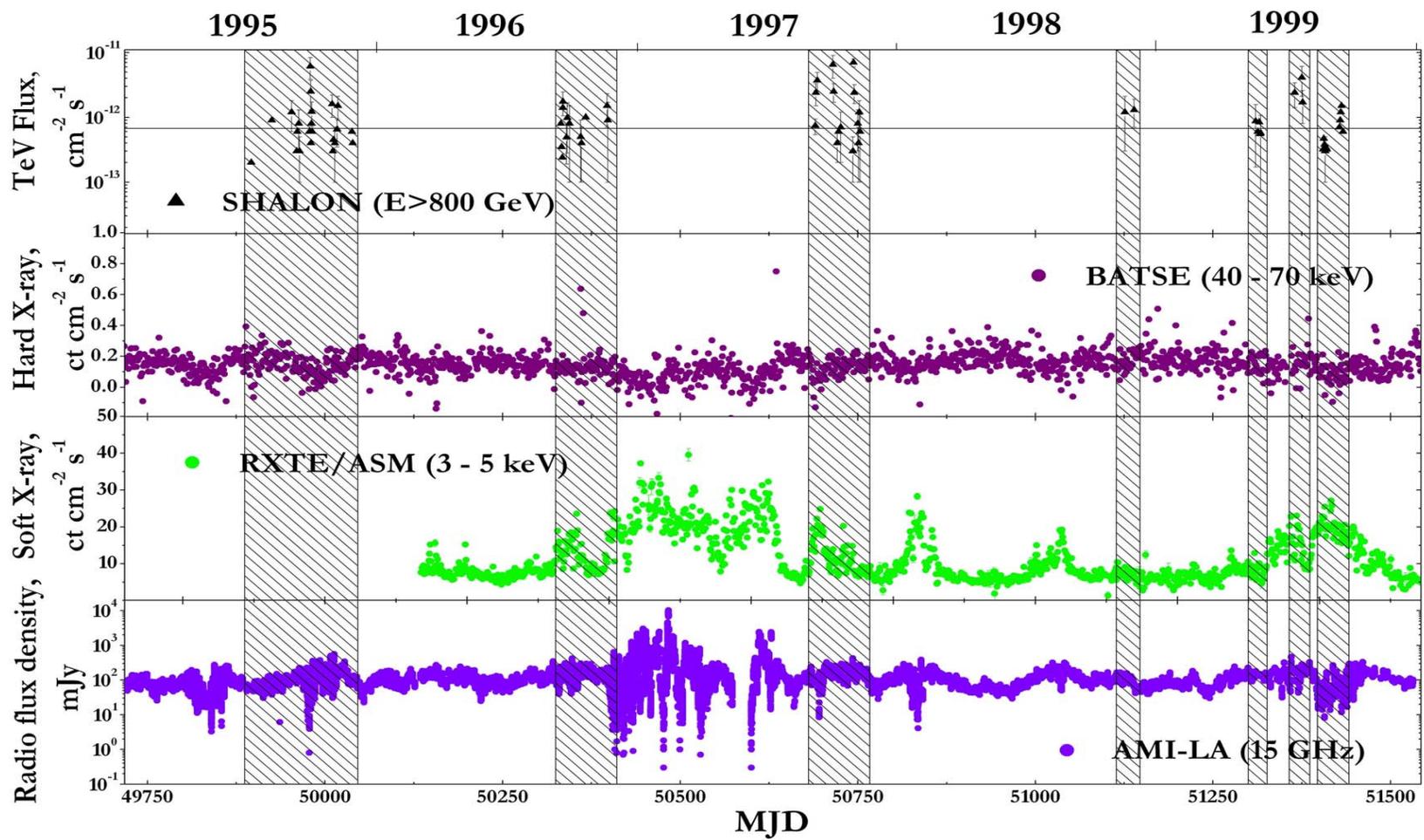
For example, the images of Cyg X-3 in silent period at 2005 and flaring period of 1997y are shown in comparison. There are no features revealed at flaring periods found at 2005y. The last two significant increase of very high energy gamma-quantum flux have detected in May 2009 and October 2011, which is correlated with flaring activity at lower energy range of X-ray and/or at observations of Fermi LAT. Earlier, in 1997, 2003 and 2006 a comparable increase of the flux over the average value was also observed





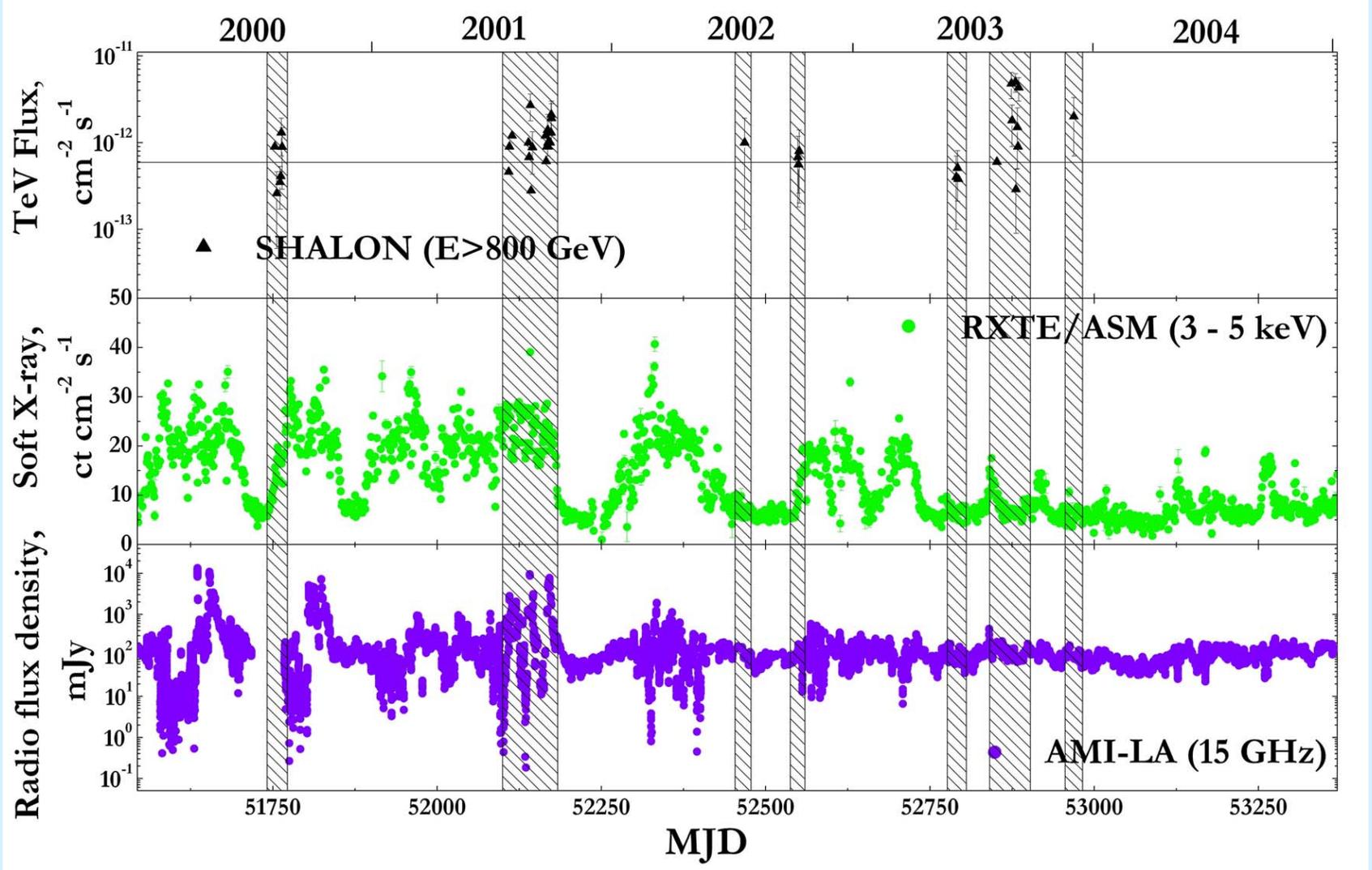
В течение всего времени наблюдения с 1995 года, Суг X-3 проявлял себя как нестабильный источник излучения сверхвысоких энергий. Были зарегистрированы периоды как с низким уровнем потока, в два раза меньше среднего значения, так и вспышки излучения с потоком в ~ 10 превышающим среднее значение.

Для выявления возможных корреляций излучения в разных диапазонах энергии, в том числе при высоких и сверхвысоких энергиях, были сопоставлены потоки гамма-излучения от Суг X-3, полученные телескопом ШАЛОН, с поведением источника в других диапазонах энергий). Для чего были совместно проанализированы доступные световые кривые Суг X-3, за период с 1995 по 2016 гг., в жёстком (15 – 50 кэВ, Swift/BAT, 40 – 70 кэВ, BATSE), мягком (3 – 5 кэВ, RXTE/ASM, 2 – 5 кэВ, MAXI) рентгеновских диапазонах, а также в радиодиапазоне 2,15, 4,8, 11,2 ГГц (РАТАН), 15 ГГц (RT/AMI и OVRO) и при высоких энергиях 100 МэВ – 100 ГэВ (данные эксперимента Fermi LAT) и данные телескопа ШАЛОН при сверхвысоких энергиях 800 ГэВ – 100 ТэВ.

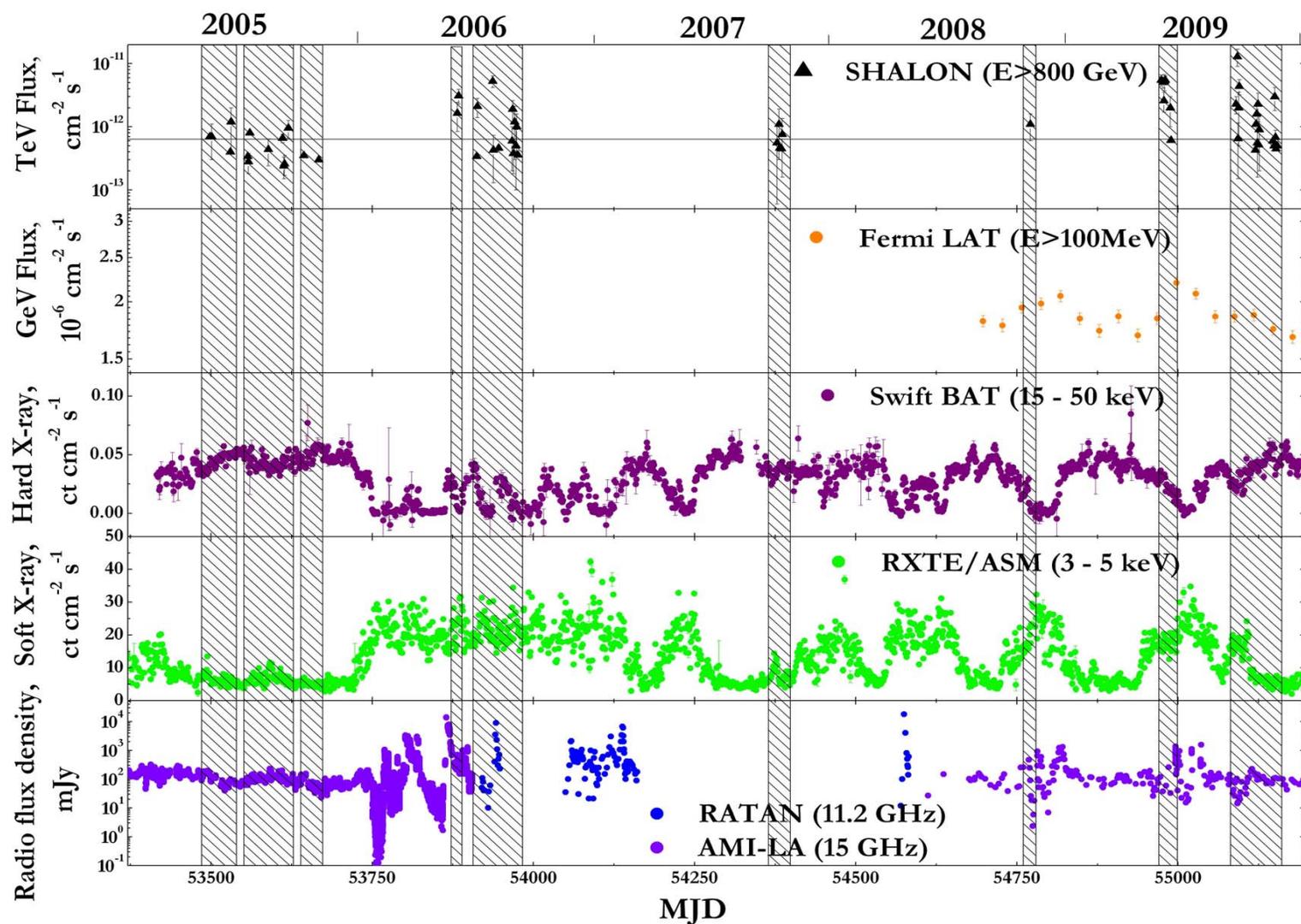


Обнаружено, что зарегистрированные телескопом ШАЛОН периоды высокой интенсивности и вспышки излучения Cyg X-3 при энергиях $> 800 \text{ ГэВ}$ происходили при определённом соотношении активности при низких энергиях, в радио и рентгеновском диапазонах.

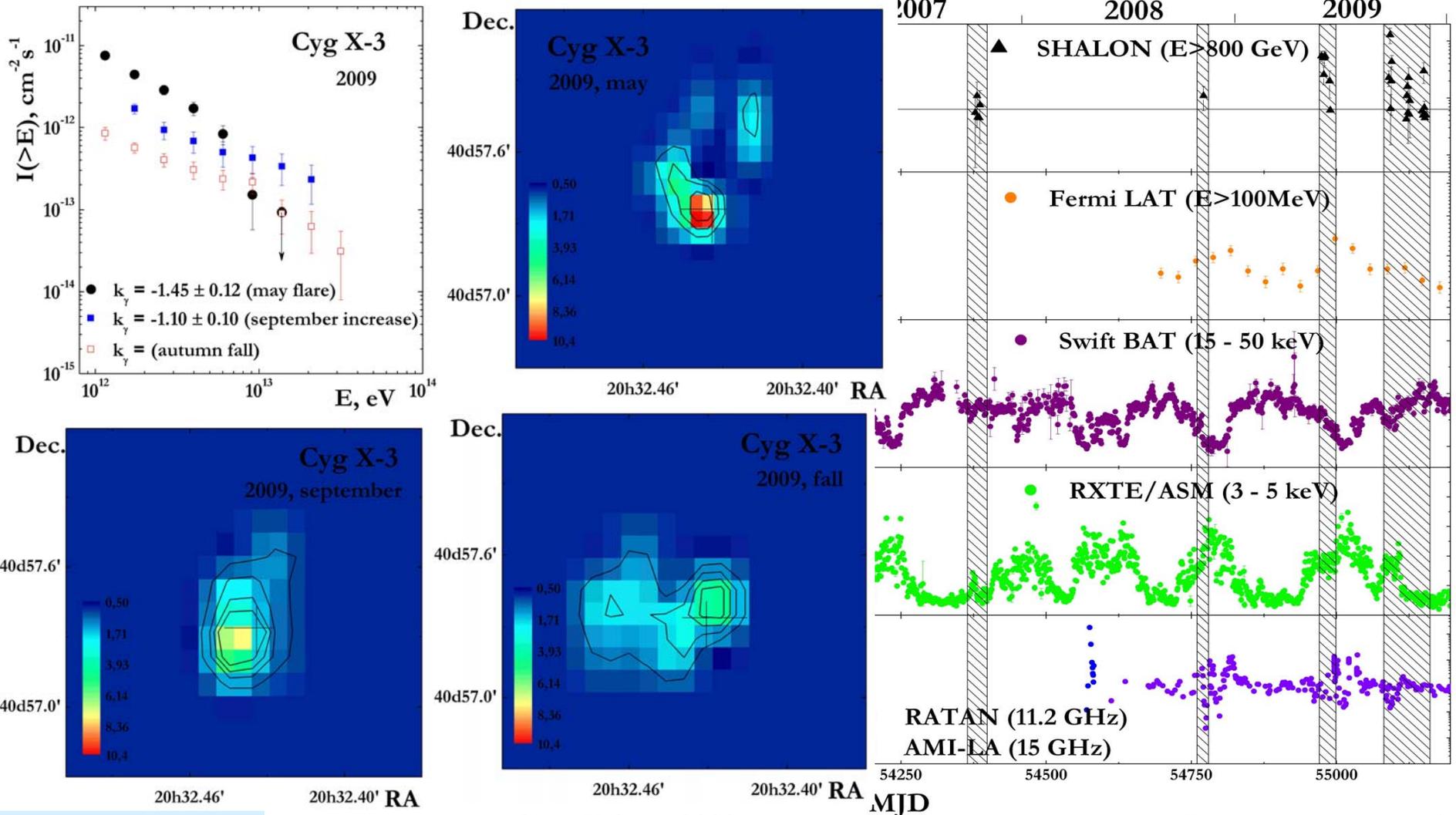
Повышенный поток ТэВ-ого гамма-излучения наблюдался в период низких потоков радиоизлучения на спаде до значений $\sim 10\text{-}20 \text{ mJy}$ за 4 – 7 дней до увеличения до уровня $\sim 300\text{--}600 \text{ mJy}$, так называемая средняя вспышка. (см. 1995 MJD 49979; 1996 MJD 50397; 1997 MJD 50693). При этом в диапазоне мягкого рентгеновского излучения регистрируется повышенная активность. В 2009 году при MJD 55092 наблюдалась вспышка излучения при сверхвысоких энергиях в момент очень низкой активности в радио диапазоне с потоком $\sim 14 \text{ mJy}$ на фоне повышенной активности в мягком рентгене. Последующей вспышки радио излучения не произошло, а поток повысился до уровня спокойного состояния $\sim 120 \text{ mJy}$.



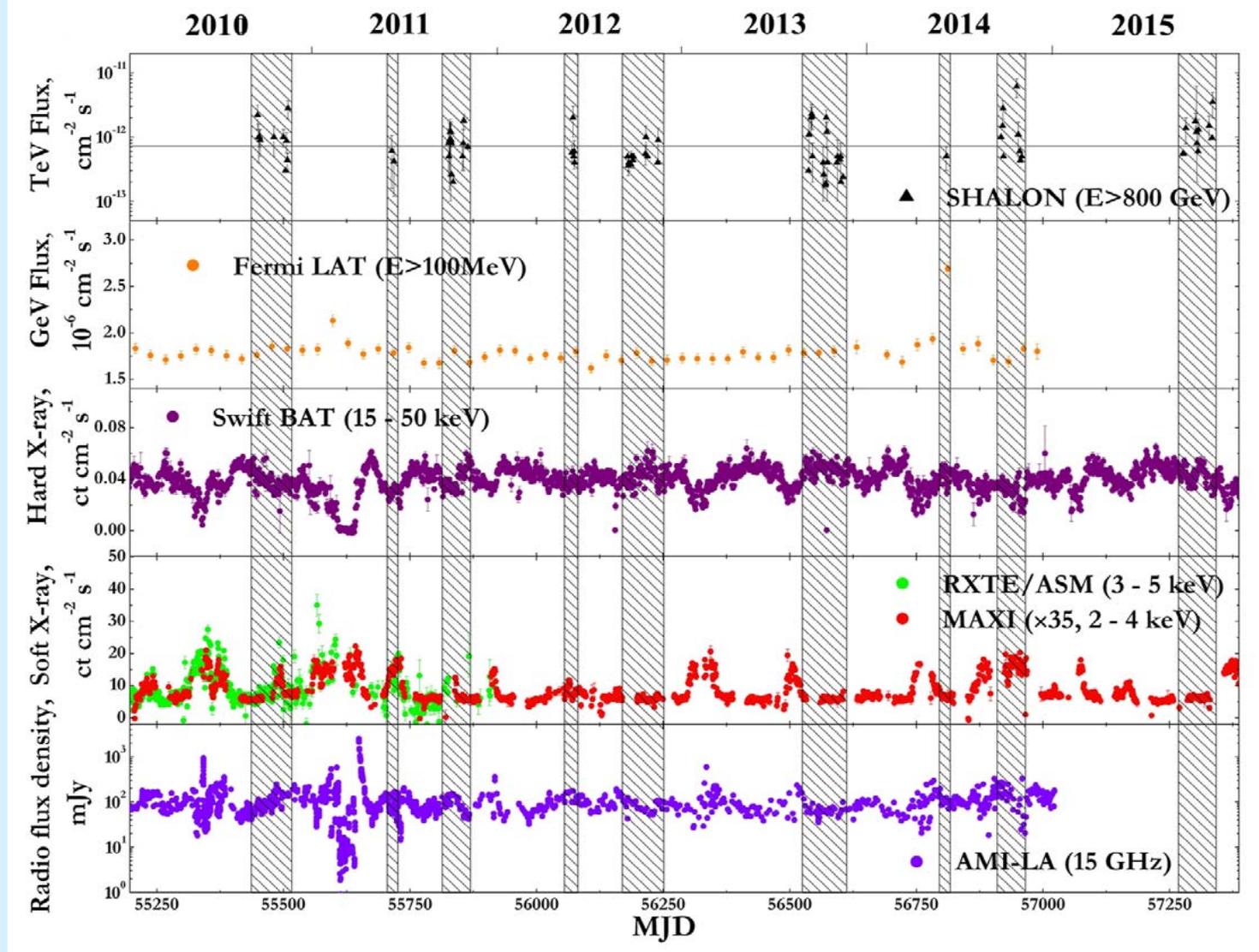
Во-вторых, увеличение потока ТэВ-ого излучения происходит в пределах 1-7 дней до большой, основной вспышки со значениями потока 1000 – 9000 мJy на фоне высокого уровня потока в мягком рентгене и низкого в жёстком рентгене. (см. 2001 MJD 52142; MJD 52172; 2006 MJD 53937; 2009 MJD 54988).



Повышенный поток ТэВ-ого гамма-излучения наблюдался в период низких потоков радиоизлучения на спаде до значений ~ 10 - 20 mJy за 4 – 7 дней до увеличения до уровня ~ 300 – 600 mJy, так называемая средняя вспышка. (см. 1995 MJD 49979; 1996 MJD 50397; 1997 MJD 50693). При этом в диапазоне мягкого рентгеновского излучения регистрируется повышенная активность. В 2009 году при MJD 55092 наблюдалась вспышка излучения при сверхвысоких энергиях в момент очень низкой активности в радио диапазоне с потоком ~ 14 mJy на фоне повышенной активности в мягком рентгене. Последующей вспышки радио излучения не произошло, а поток повысился до уровня спокойного состояния ~ 120 mJy.



Изменение характеристик излучения Cyg X-3 в 2009 году прослежены от вспышки (Рис. чёрные точки), произошедшей в период высоких потоков мягкого рентгеновского излучения и низкого уровня в жестком рентгене, за 8 дней до большой радио вспышки. Далее, в сентябре, наблюдалось повышение интенсивности ТЭВ-ных гамма-квантов (Рис. синие квадраты) при низких значениях потока радиоизлучения, на спаде, до уровня $\sim 10 \text{ mJy}$ на спаде световой кривой в мягком рентгене и при нарастании в диапазоне жёсткого рентгеновского излучения. Последующий спад интенсивности излучения сверхвысоких энергий характеризуется спектром на Рис. (пустые квадраты). При низких энергиях в указанный период наблюдались повышенные значения потоков излучения в жестком рентгене, низкий поток в мягком рентгене и спокойный в радио-диапазоне.



При анализе световой кривой полученной на телескопе ШАЛОН было отмечено, что периоды низкой интенсивности источника при сверхвысоких энергиях приходятся на интервалы низкой активности в радиодиапазоне и в мягком рентгене, при этом потоки жёсткого рентгеновского излучения высокие (см. 1998, 2005, 2012).

Отмечены, также, вспышки, происходящие на фоне высокого уровня потока в мягком рентгене и низкой активности в жёстком рентгене в пределах 2 - 6 дней после средних и радио-вспышек (1995, 1997, 1999, 2014).

В случаях, когда вспышка регистрировалась целиком, то есть регистрировались и повышение и спад интенсивности источника, длительность нарастания интенсивности составляла от 1 до 4-х дней, а спад – один день.

Cygnus X-3

Для надёжного отождествления обнаруженного источника с CygX-3, мы выполнили временной анализ для поиска орбитального периода 4.8 часа, который является особенностью Cyg X-3.

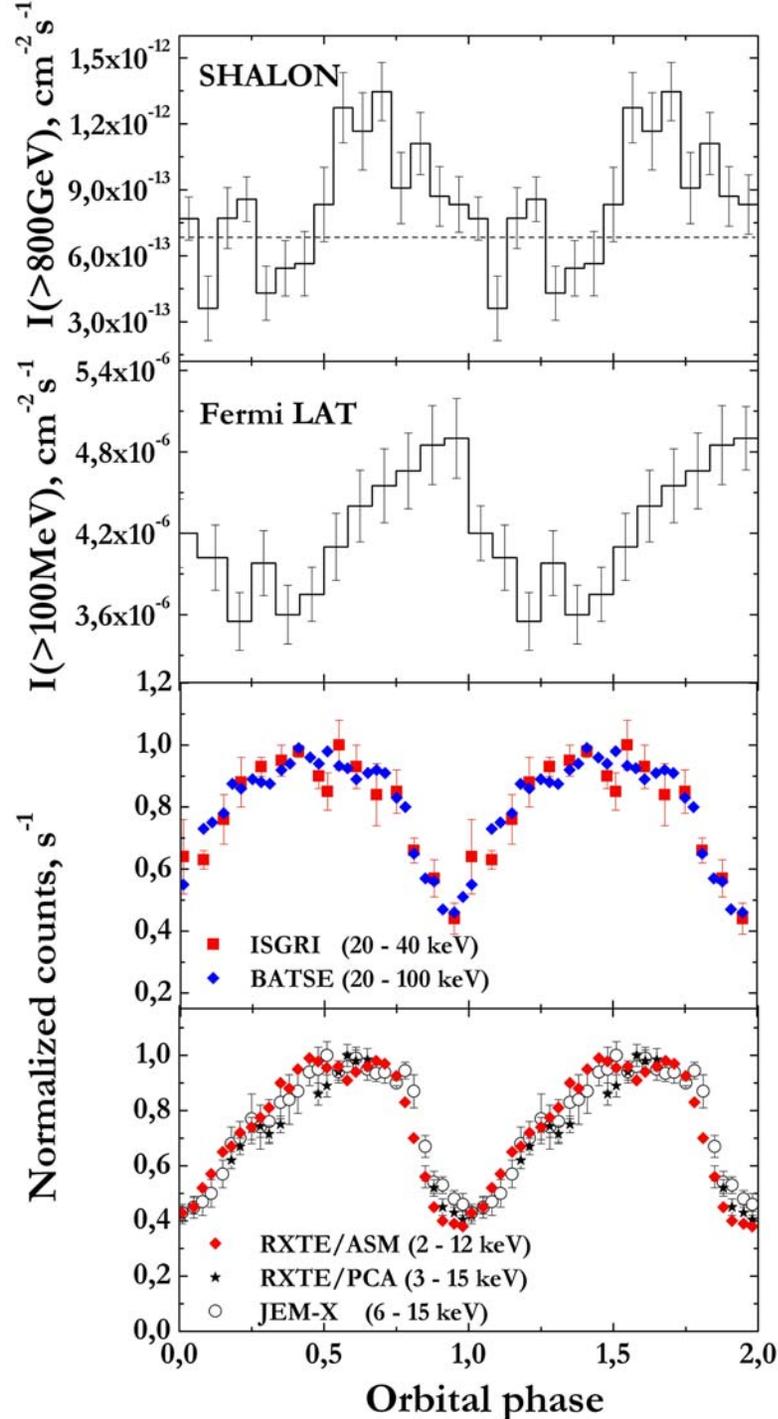
Световая кривая Cyg X-3 в области энергий >0.8 ТэВ, полученное с помощью телескопа ШАЛОН, свёрнутая с орбитальным периодом 4,8 часа.

Штриховая линия показывает уровень среднего интегрального потока Cyg X-3, регистрируемого телескопом ШАЛОН.

Световые кривые Cyg X-3 при низких энергиях свёрнутые с орбитальным периодом по данным экспериментов:

- Fermi LAT (100 МэВ – 100 ГэВ);
- ISGRI (20 – 40 кэВ);
- BATSE (20– 100кэВ);
- RXTE/ASM (2 – 12 кэВ)
- RXTE/PCA (3 – 15 кэВ);
- JEM-X (6 – 15 кэВ);

Свёртки световых кривых в представленных диапазонах энергий имеют одну и ту же асимметричную форму с медленным подъёмом и резким спадом. При этом кривые при высоких и сверхвысоких энергиях, в отличие от кривых в рентгене, имеют дополнительный локальный максимум в области (фазы 0.3 и 0.2 для экспериментов Fermi LAT и ШАЛОН соответственно) глобального минимума. Кроме того, наблюдается сдвиг фазы минимума кривых при разных энергиях. Так, минимум потока по данным ШАЛОН опережает минимум рентгена на ~ 0.2 по фазе и отстаёт на ~ 0.15 от минимума потока измеренного Fermi LAT. В работе было показано отставание ~ 20 минут между кривыми видимыми в мягком XTE/ASM (2–12 кэВ) и жёстком OSSE (44–130 кэВ) рентгене. Позже, было представлено незначительное, в пределах погрешности определения, отставание по фазе на $(5,5 \pm 8,6)$ минут между жёстким 40 – 100 кэВ (данные ISGRI) и мягким рентгеном в диапазоне 15 – 40 кэВ (данные IBIS).



Cygnus X-3

Для выяснения механизмов генерации излучения сверхвысоких энергий в источнике важным инструментом является спектр гамма-излучения, а в случае двойных систем возможное изменение спектра с орбитальной фазой может указывать на место происхождения. Энергетические спектры гамма-квантов с энергиями > 800 ГэВ от Cyg X-3 были построены для интервалов орбитальных фаз:

1) $0.0 \leq \varphi < 0.05$; $0.45 \leq \varphi \leq 1.0$;

Интервал орбитальной модуляции с наивысшим значением потока около нижнего соединения. Энергетический спектр излучения из интервала описывается с помощью относительно мягкого степенного закона с экспоненциальным обрезанием:

$$I(>E_\gamma) = (1.5 \pm 0.4) \times 10^{-12} \times E_\gamma^{-1.15 \pm 0.10} \times \exp(-E_\gamma/20 \text{ TeV}) \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

2) $0.12 \leq \varphi < 0.25$;

Дополнительный локальный максимум потока в области верхнего соединения соответствует интервалу. Энергетический спектр излучения из данного интервала орбитальной модуляции во всём диапазоне энергий от 800 ГэВ до 100 ТэВ хорошо описывается жёстким степенным спектром:

$$I(>E_\gamma) = (0.67 \pm 0.10) \times 10^{-12} \times E_\gamma^{-0.93 \pm 0.09} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

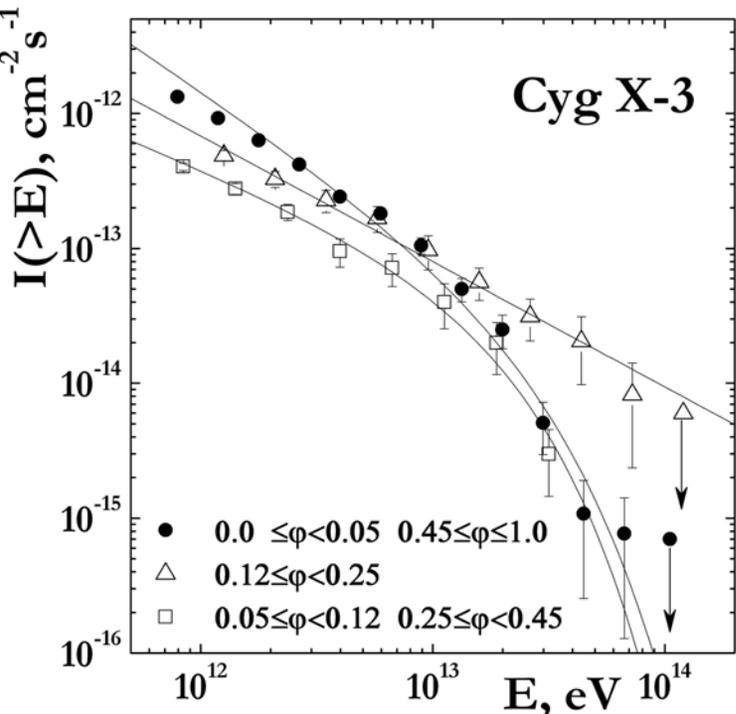
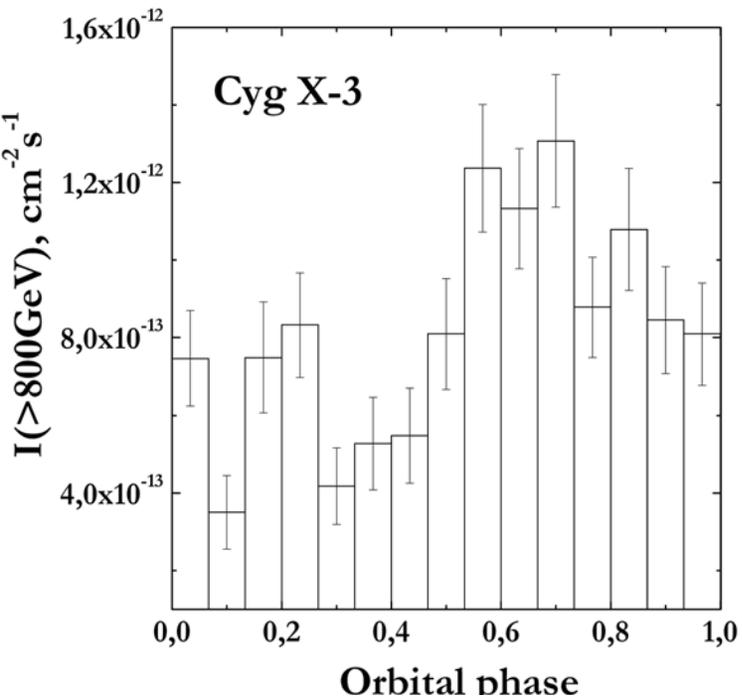
3) $0.05 \leq \varphi < 0.12$; $0.25 \leq \varphi \leq 0.45$;

Интервал соответствует орбитальной модуляции с минимальным потоком около верхнего соединения. Спектр излучения интервала описывается жёстким степенным законом с экспоненциальным обрезанием

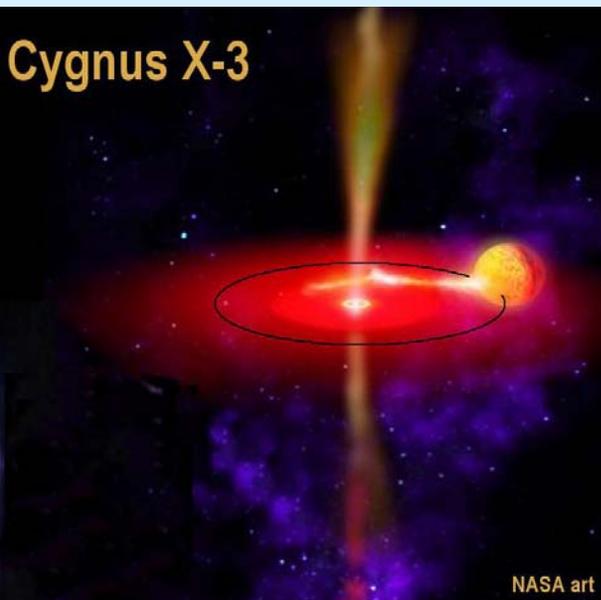
$$I(>E_\gamma) = (0.4 \pm 0.08) \times 10^{-12} \times E_\gamma^{-0.70 \pm 0.09} \times \exp(-E_\gamma/14.5 \text{ TeV}) \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

top: Световая кривая Cyg X-3, полученная с помощью телескопа ШАЛОН, свёрнутая с орбитальным периодом 4.8 часа.

bottom: Cyg X-3 phase resolved spectra by SHALON



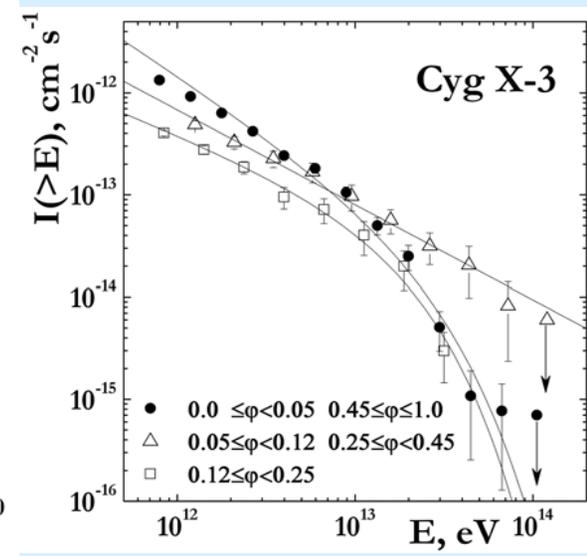
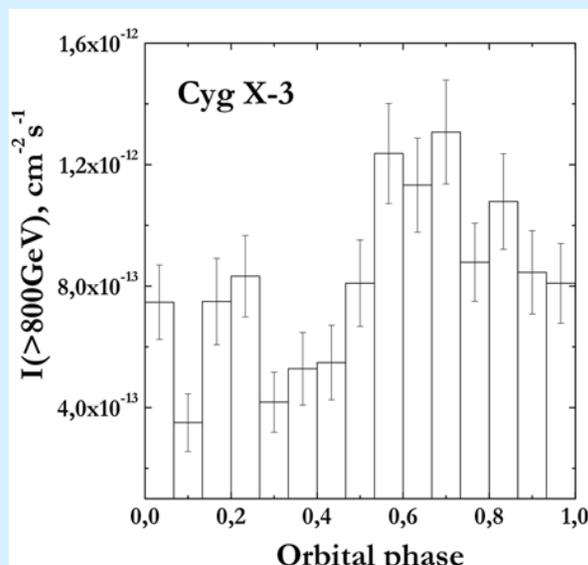
Cygnus X-3



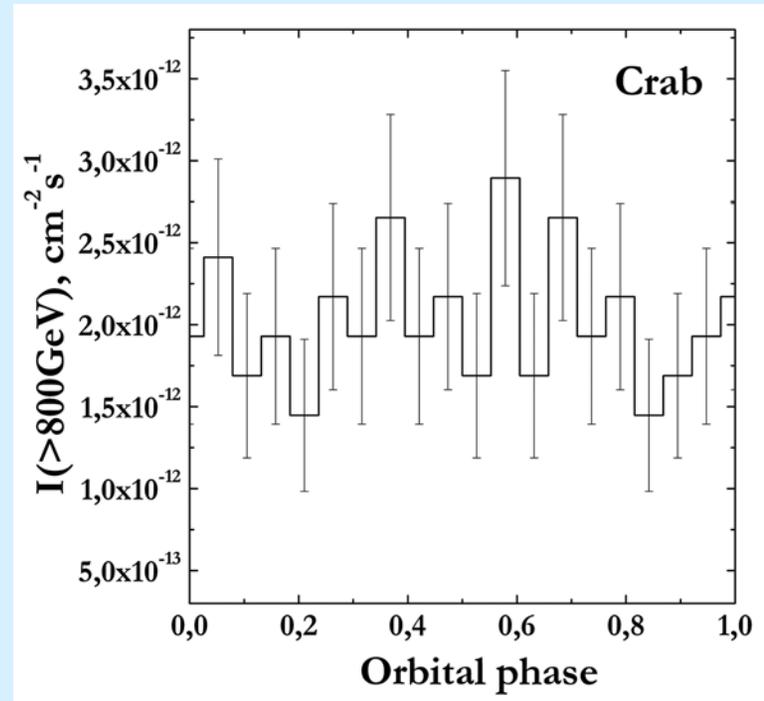
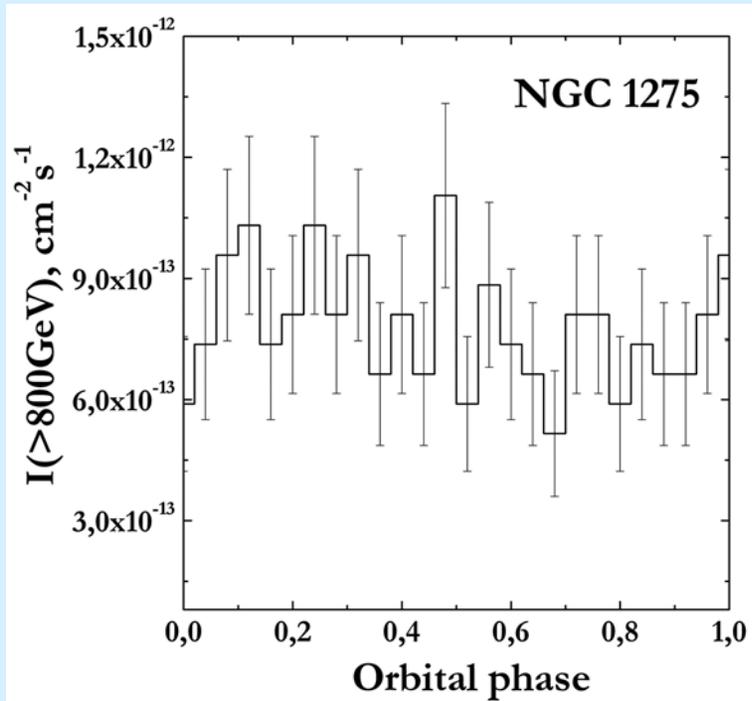
Cygnus X-3

Было отмечено, что вспышки активности Cyg X-3 в диапазоне энергий выше 0,8 ТэВ, происходят близко, в пределах 7-8 дней, к средним и большим радио-вспышкам. 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. При этом обнаруженная орбитальная модуляция излучения сверхвысоких энергий ставит ограничение на размеры излучающей области. Обратное комптоновское рассеяние фотонов (ветра) звезды-компаньона Вольфа-Райе на электронах сверхвысоких энергий естественный кандидат для объяснения излучения двойной системы при сверхвысоких энергиях. Обратное комптоновское рассеяние прямо рождает модуляцию потока гамма-излучения из-за орбитального движения. Максимум происходит в момент, когда фотоны звезды Вольфа-Райе перерассеиваются в направлении наблюдателя. Связь обнаруженная между ТэВ-ым гамма-излучением и вспышками радио-излучения предполагает, что электроны высоких энергий находятся в релятивистских джетах. Эти электроны высоких энергий располагаются в двух симметричных положениях в релятивистских выбросах.

Детектирование γ -излучения в интервале орбитальных фаз соответствующих верхнему соединению (дополнительный максимум) при сверхвысоких энергиях в широком диапазоне от 800 ГэВ до 100 ТэВ с жёстким спектром без признаков обрезания указывает на адронное происхождение обнаруженных фотонов. Вероятнее всего имеет место ускорение частиц благодаря взаимодействию джета с веществом звезды Вольфа-Райе в моменты затмения ею центрального объекта двойной системы



Световые кривые NGC 1275 и Crab Nebula, по данным телескопа ШАЛОН,
свёрнутые с орбитальным периодом Cyg X-3 4,8 часа.



SHALON observations of Active Galactic Nuclei

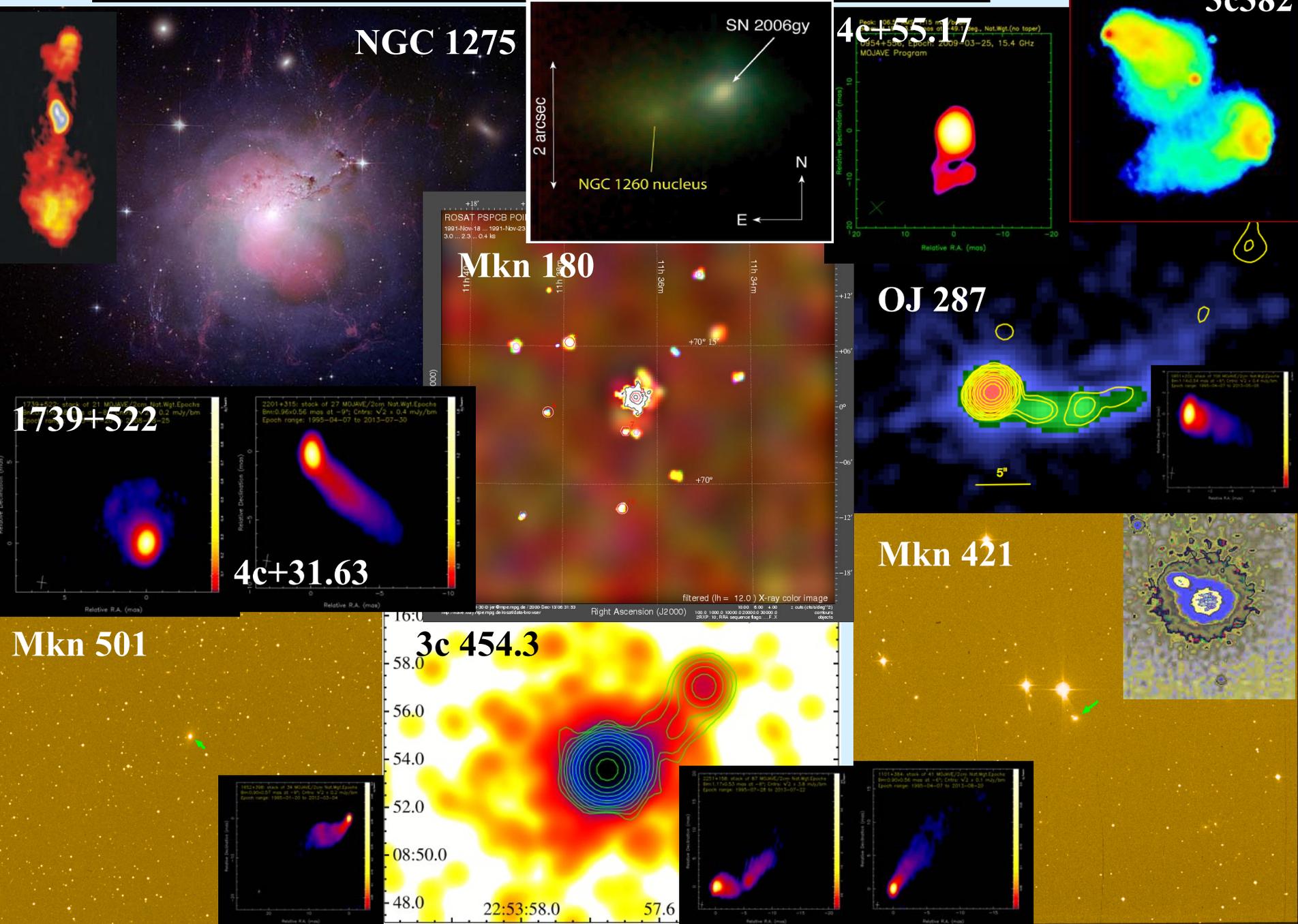


Table 1. The catalogue of extragalactic γ -ray sources observed by SHALON with parameters from fitting in the form of a power law with exponential cutoff $F(> E) \propto E^{k_\gamma} \times \exp(-E/E_{cutoff})$.

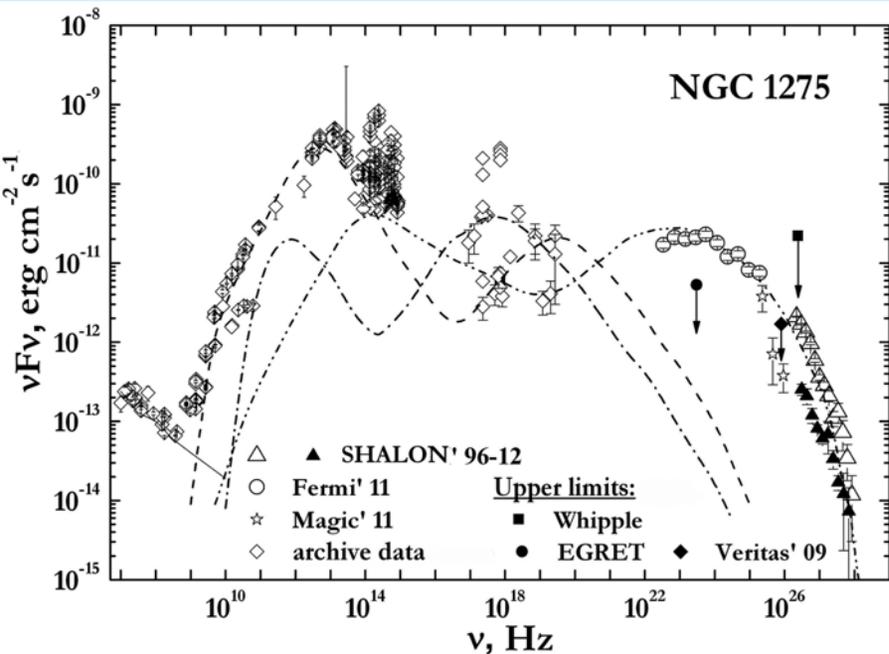
Sources	Observable flux ^a	k_γ	E_{cutoff} , TeV	Distance, z	Type
NGC 1275	(0.78 ± 0.05)	-2.18 ± 0.12	32 ± 7	0.018	Seyfert
SN2006 gy	(3.71 ± 0.65)	-3.10 ± 0.30	4.4 ± 1.9	0.019	SN
IC 310	(0.89 ± 0.09)	-0.84 ± 0.10	13 ± 3.9	0.019	RG
Mkn 421	(0.63 ± 0.05)	-1.51 ± 0.18	10 ± 3	0.031	BL Lac
Mkn 501	(0.86 ± 0.06)	-1.48 ± 0.15	11 ± 3	0.034	BL Lac
Mkn 180	(0.65 ± 0.09)	-1.84 ± 0.15	7.3 ± 2.2	0.046	BL Lac
3c382	(0.91 ± 0.14)	-1.05 ± 0.11	21 ± 7.0	0.0578	BLRG
4C+31.63	(0.73 ± 0.16)	-1.13 ± 0.16	10.4 ± 3.2	0.295	FSRQ
OJ 287	(0.26 ± 0.07)	-1.14 ± 0.11	9.5 ± 1.2	0.306	BL Lac
3C 454.3	(0.43 ± 0.07)	-0.52 ± 0.12	6.2 ± 1.0	0.859	FSRQ
4C+55.17	(0.90 ± 0.16)	-1.40 ± 0.15	5.4 ± 2.1	0.896	FSRQ
PKS 1441+25	(0.52 ± 0.23)	–	–	0.939	FSRQ
1739+522	(0.49 ± 0.05)	-0.50 ± 0.18	6.1 ± 1.2	1.375	FSRQ
B2 0242+43	(0.58 ± 0.20)	–	–	2.243	FSRQ
B2 0743+25	(0.37 ± 0.16)	–	–	2.979	FSRQ

^a Integral flux at energy > 800 GeV in units of $10^{-12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Проводятся исследования скоплений галактик, природы ядер галактик и космических источников с экстремальным энерговыделением, изучение межзвездной и межгалактической среды по наблюдениям внегалактических объектов при сверхвысоких энергиях. В настоящее время каталог метагалактических источников, наблюдаемых ШАЛОН, включает Активные Галактические Ядра, находящиеся на различных космологических расстояниях



NGC 1275 ($z = 0.018$)

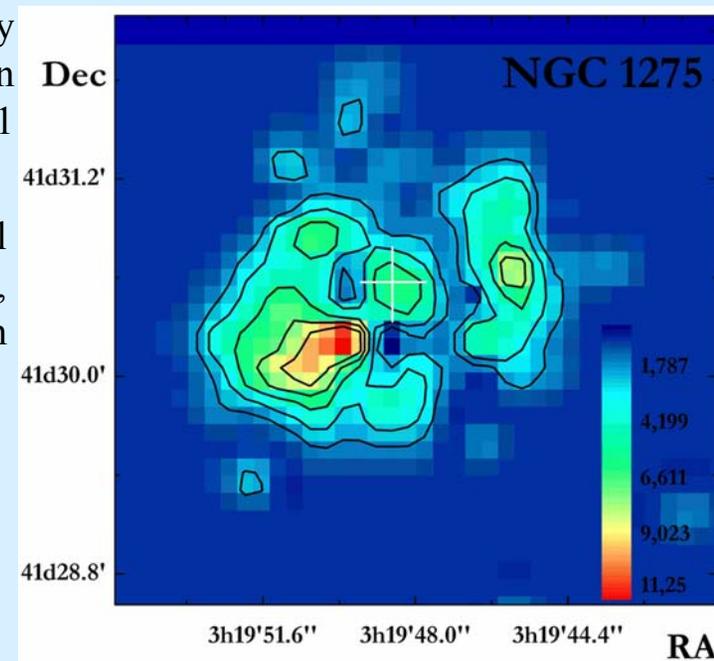


In 1996 year a new metagalactic source are detected by SHALON in TeV energies. This object was identified with Seyfert galaxy NGC 1275 ($z=0.0179$). The γ -ray emission from the position of NGC 1275 was detected above 800 GeV with a statistical significance of 31.4σ (for 271.2 hours). The integral γ -ray flux for this source is found to be $(0.78 \pm 0.05) \times 10^{-12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ at $E > 800 \text{ GeV}$. The energy spectrum of NGC 1275 at 0.8 to 20 TeV can be approximated by the power law $F(>E_0) \propto E^{k_\gamma}$, with $k_\gamma = -2.24 \pm 0.09$. The variations of the γ -ray flux on the year scale are no more than 20% of average value.

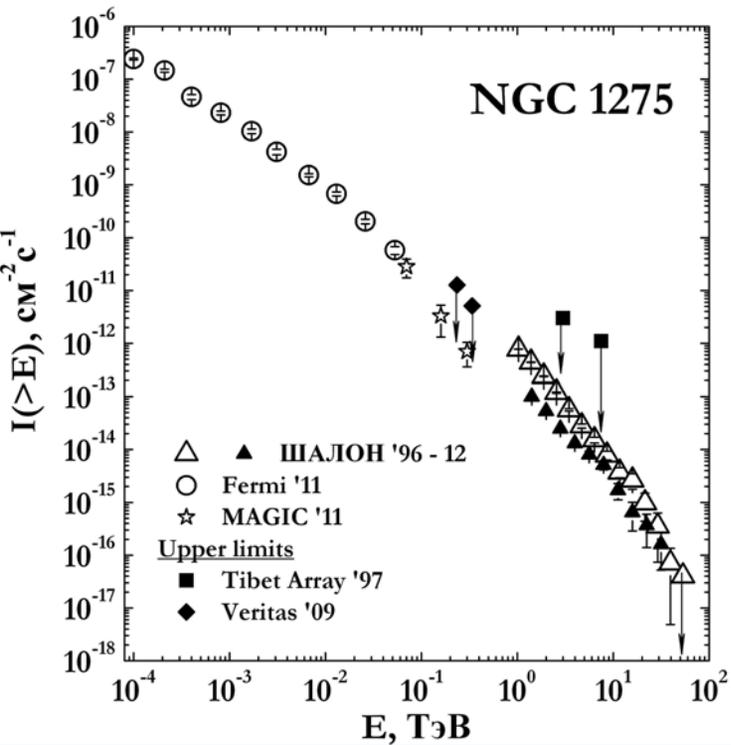
Overall spectral energy distribution of NGC 1275. The TeV energy spectrum of NGC 1275 from SHALON, 15 year observations in comparison with other experiments: Fermi LAT'09-11, MAGIC'10-11 and upper limits: EGRET'95, Whipple'06, Veritas'09 and models

The available high and very high energy data for NGC 1275 are well fitted in CM model with three components (Colafrancesco S et al. 2010), in which the most energetic and smaller blob produces a synchrotron self-Compton emission observed at γ -ray energies (red curve).

The Seyfert galaxy NGC 1275 has been also observed with Tibet Array ($>5\text{TeV}$) and Veritas telescope at energies about 300 GeV at 2009. The radio-galaxy NGC 1275 has been recently detected by Fermi as a source of high-energy γ -rays. NGC 1275 was recently detected at energies $>100 \text{ GeV}$ with MAGIC in observations of 2010 – 2011yy.

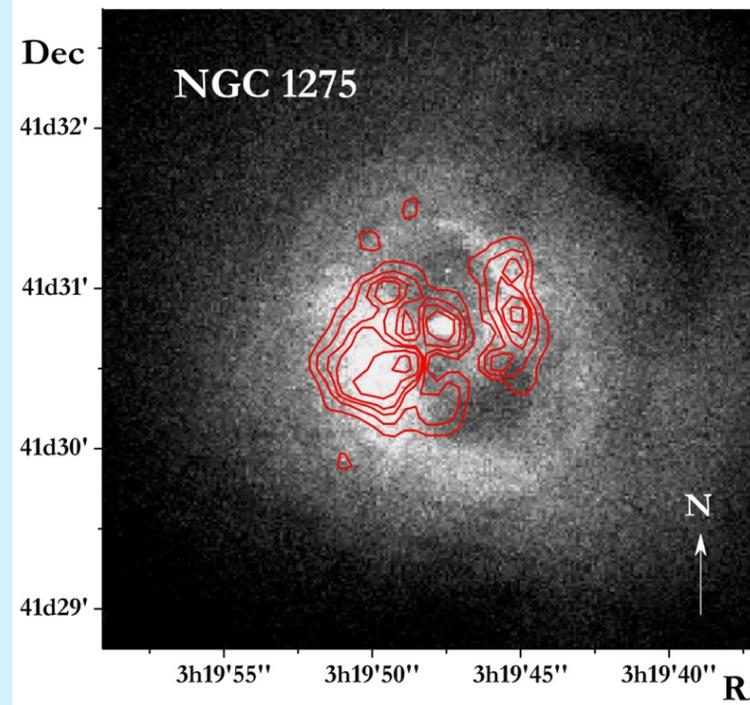


NGC 1275

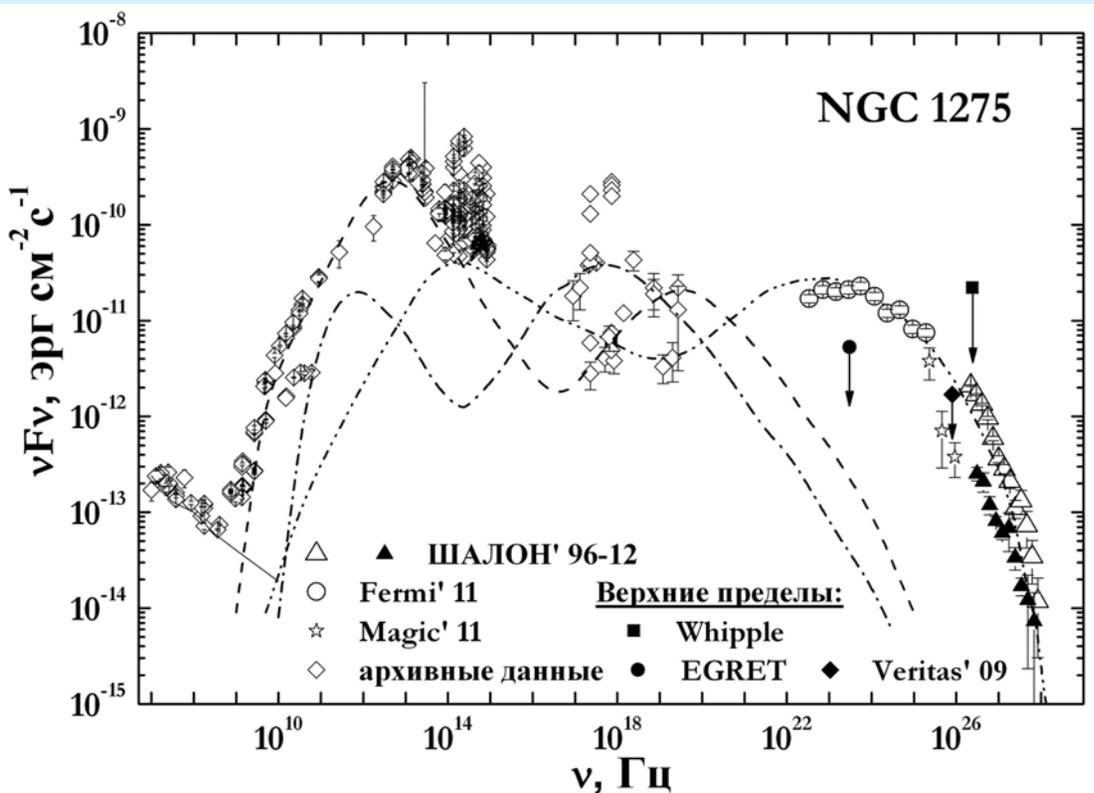


Для анализа излучения связанного с ядром дополнительно была выделена компонента излучения соответствующая центральной области NGC 1275 размером 32". Спектр, соответствующий излучению центральной области галактики NGC 1275 по данным телескопа ШАЛОН, представлен на рисунке чёрными треугольниками. Наблюдаемые 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.



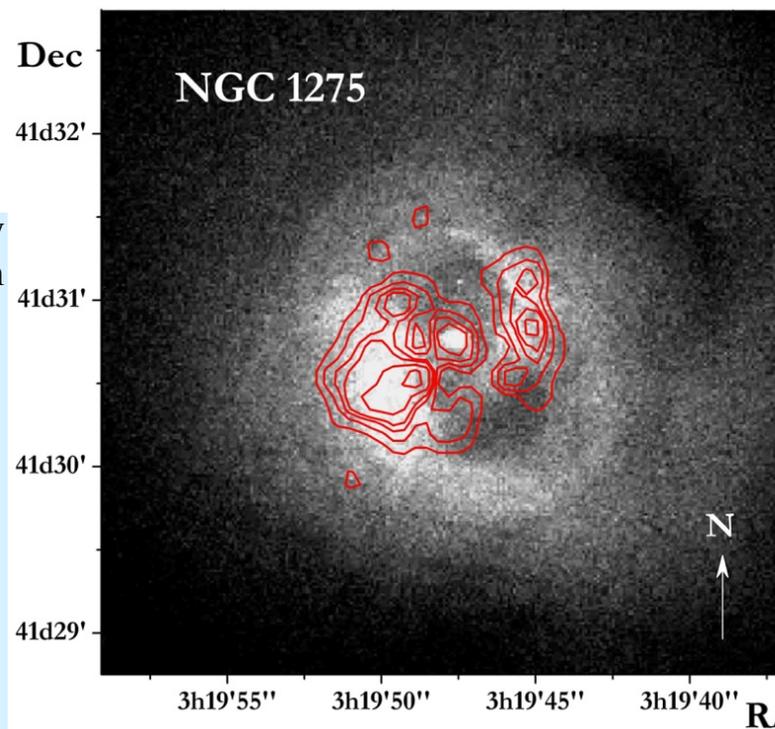
NGC 1275



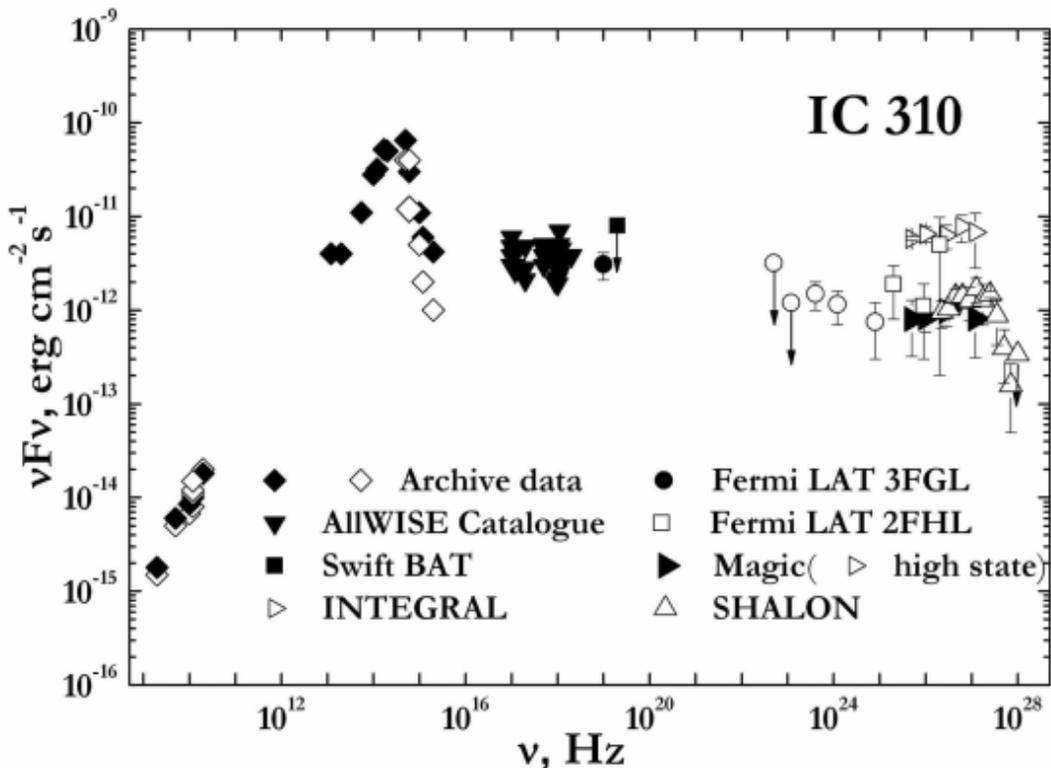
Overall spectral energy distribution of NGC 1275. The TeV energy spectrum of NGC 1275 from SHALON, 15 year observations in comparison with other experiments: Fermi LAT'09-11, MAGIC'10-11 and upper limits: EGRET'95, Whipple'06, Veritas'09 and models.

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.

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.



IC 310 (z = 0.019)

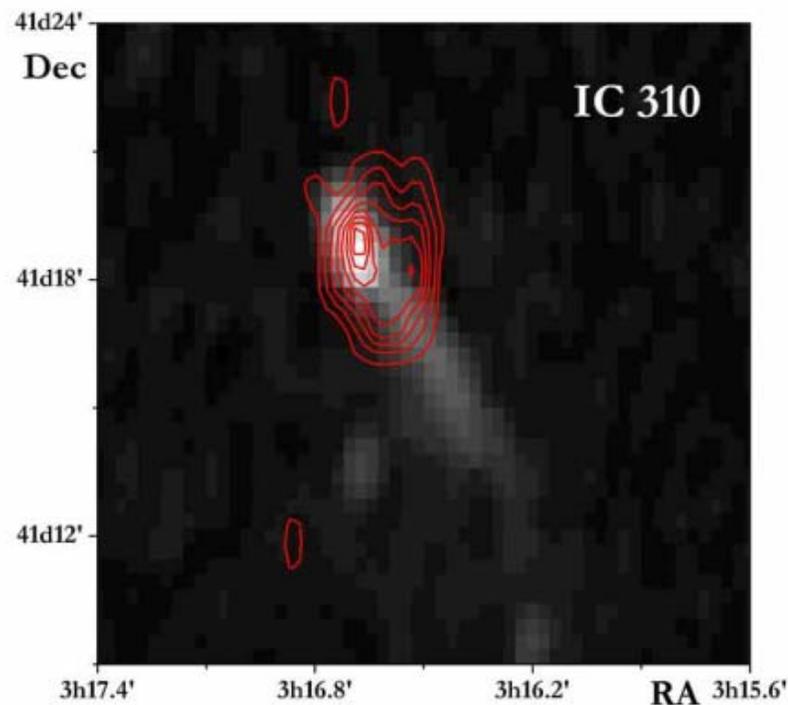


Overall spectral energy distribution of IC 310. The TeV energy spectrum of IC 310 from SHALON in comparison with other experiments: Fermi LAT'09-11, MAGIC'10-11.

The radio galaxy IC 310 (redshift of $z = 0.0189$) is located in the Perseus Cluster at 0.6° (about 1Mpc) from the cluster's central galaxy, NGC1275. It is one of the brightest objects of this Cluster of galaxies at radio frequencies and at X-ray energies.

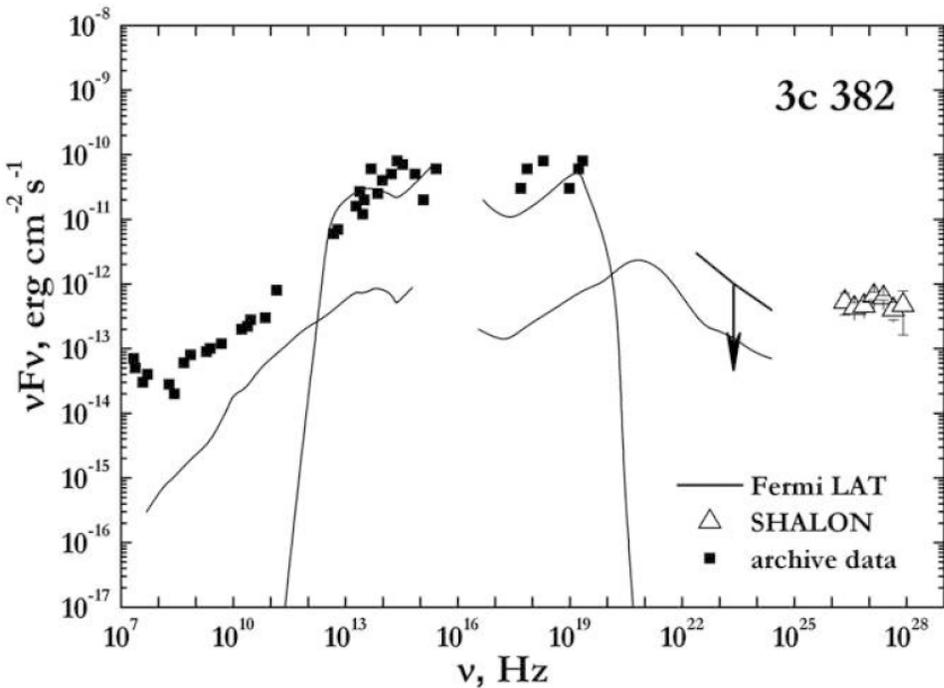
The γ -ray source associated with the IC 310 was detected above 0.8 TeV by SHALON (157h) with a statistical significance 17.2σ determined by Li&Ma.

The main TeV γ -ray emission region was revealed in observations of IC 310 corresponding to the core of the galaxy. It coincides with the position of "head" of radio structure of IC 310. Black-and-white scale presents a radio image of the IC 310 galaxy from WENSS survey, red lines show TeV structure of IC 310 by SHALON.



The radio morphology of such type of galaxies consists of a bright "head", which is located at the core of the galaxy, and "tail" of a radio lobe pointing away from the center of the cluster (Fig.). The jet direction is determined by the motion of galaxy through the medium of cluster. In the case of IC 310, the radio lobe with a length of about 400 kpc extends in the direction parallel to the line connecting IC 310 with the center of the Perseus cluster.

3C 382 ($z = 0.0578$)



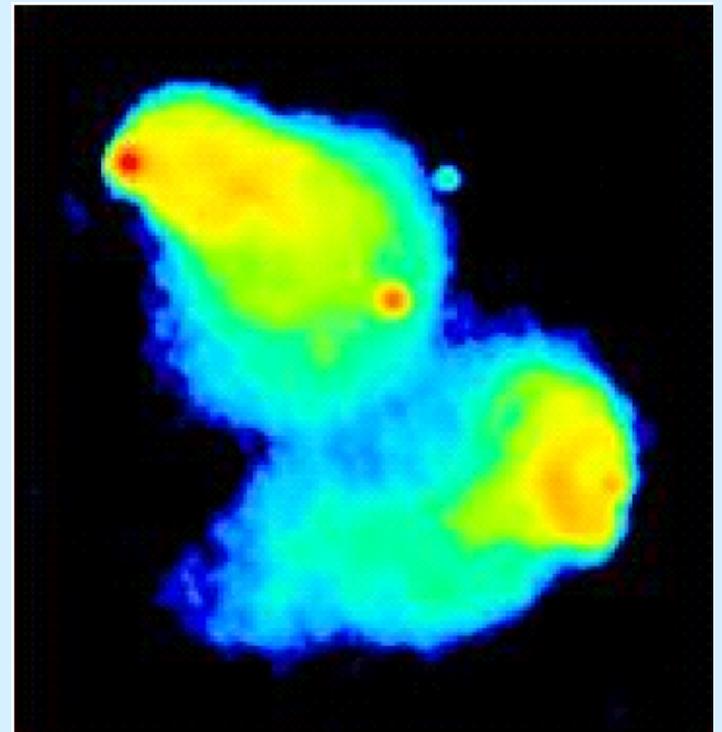
3C 382 is a typical Broad Line Radio Galaxy (BLRG), essentially identical to a quasar except that the optical luminosity. 3C382 is a well-known X-ray source. Its radio structure shows several quasar-like features. The core is very bright and there is a narrow jet with the compact hotspot and with the lobe opposite the jet. In contrast to blazars, the jets in BLRGs are not pointing directly toward the observer, and the relativistic beaming effects and the related jet dominance are only moderate, so it became possible to investigate both the accretion disk and the jet. In our observations we are mainly aimed on the searches for TeV γ -ray emission from 3c 382 and the comparison with estimations

The spectral energy distribution of 3c 382 by SHALON (open triangles) in comparison with other experiments.

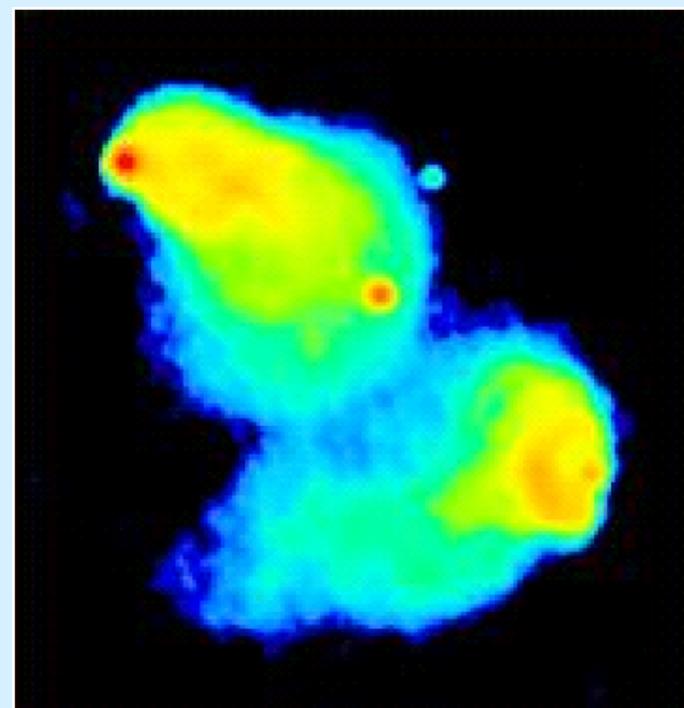
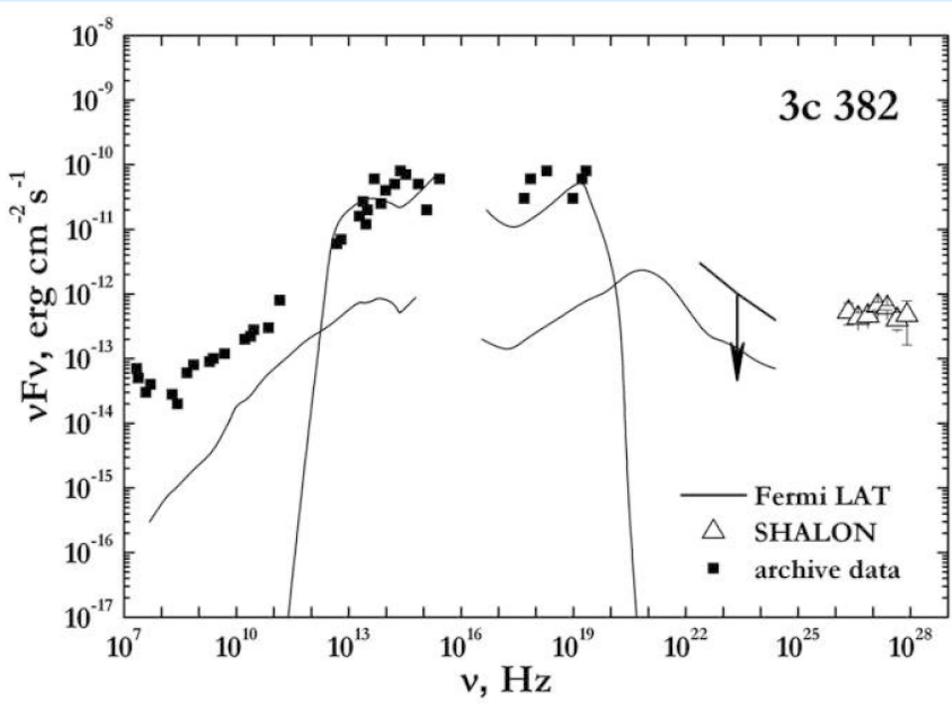
3C 382 has been detected by SHALON at TeV energies (in observations of 2009 - 2016 years, 46.3 hours in the total) with a statistical significance of 9.5σ . The observations of 3C 382 at the high energies with Fermi LAT have gave only the upper limit in the range 0.1-100 GeV.

The structure viewed in TeV γ -rays by SHALON can be result of heating of blowing interstellar medium by the jets similar to one observed in NGC1275 Seyfert galaxy. No significant emission was found from the position of core, that is clearly seen in the radio-image.

3C 382: 1477 MHz - structure by VLA.



3C 382



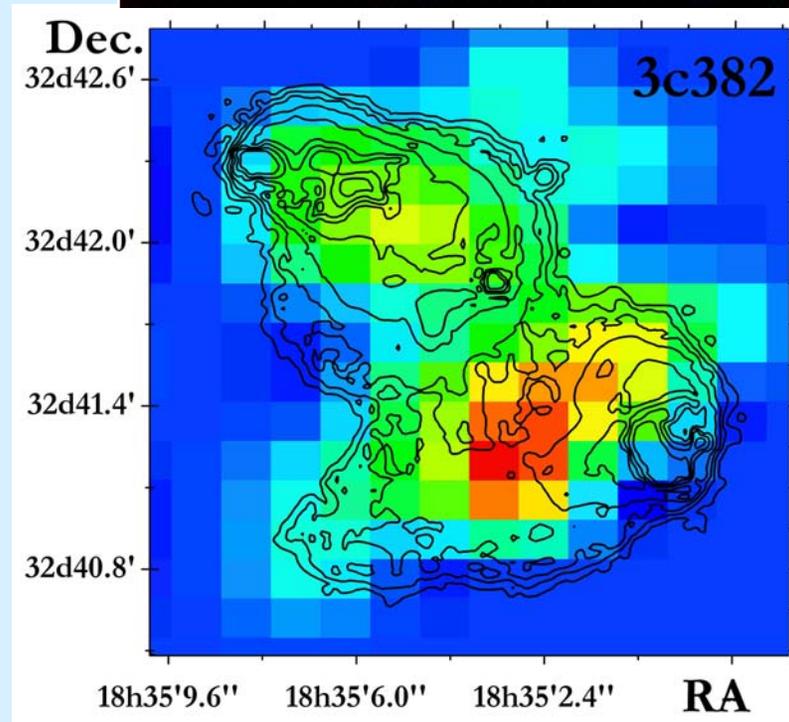
The spectral energy distribution of 3c 382 by SHALON (open triangles) in comparison with other experiments.

3C 382 has been detected by SHALON at TeV energies (in observations of 2009 - 2016 years, 46.3 hours in the total) with a statistical significance of 9.5σ . The observations of 3C 382 at the high energies with Fermi LAT have gave only the upper limit in the range 0.1-100 GeV.

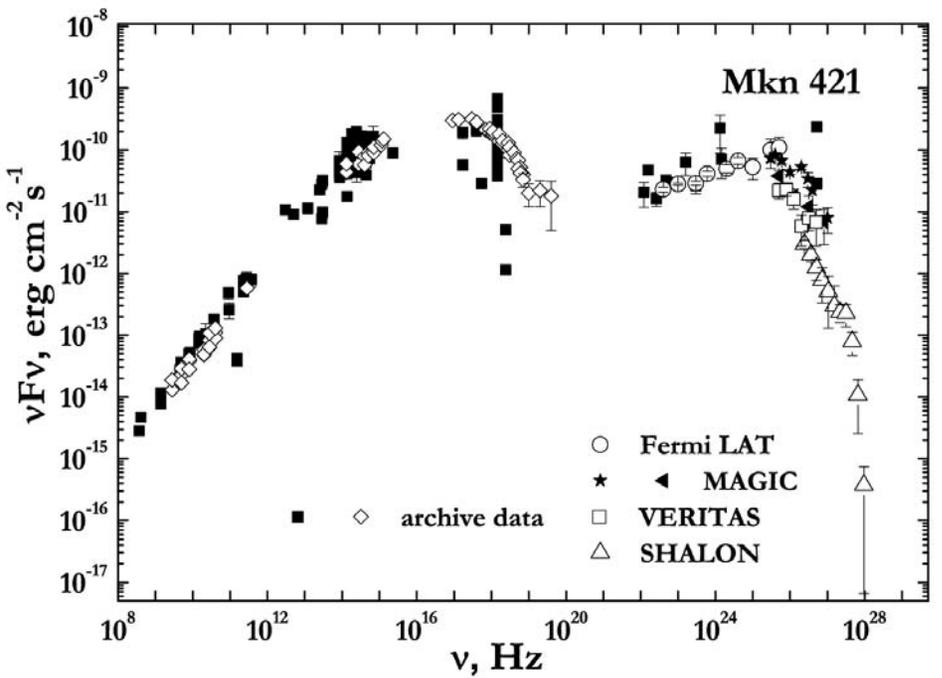
Структура, обнаруженная в ТэВ-ых гамма-лучах телескопом ШАЛОН может быть результатом “нагрева” выдуваемой межзвёздной среды джетом, подобно тому, что наблюдается в NGC 1275. При этом не обнаружено существенного излучения из области ядра, которое ясно видно на радио-изображении.

3C 382: (color scale) presents a SHALON at 0.8 - 35 TeV.

The contour lines show the 1477 MHz - structure by VLA.



Markarian 421 ($z = 0.031$)



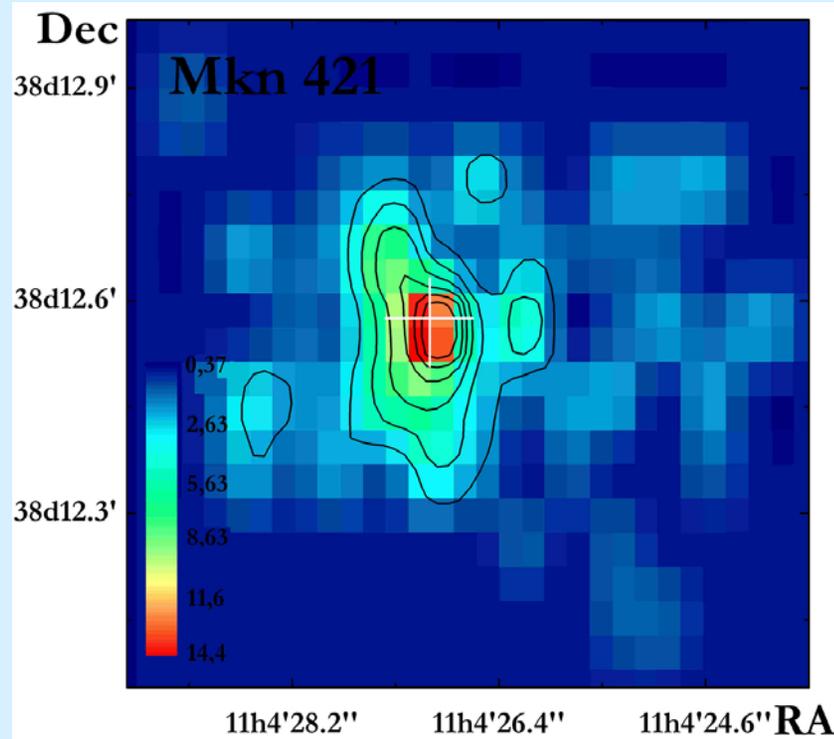
The **Bl Lac Mkn 421** was detected as the first and the nearest ($z = 0.031$) metagalactic source of blazar type of TeV energy γ -quanta in 1992 year using Whipple telescope. Presently this source is systematic studied by different experiments: VERITAS, SHALON, TACTIC, HESS, MAGIC. Mkn 421 is being intensively studied since 1994 by SHALON. As is seen from figure the SHALON results for this known γ -source are consistent with the data by best world telescopes. An image of γ -ray emission from Mkn 421 is also shown. The integral averaged for the period 1994 to 2014 (174h) γ -ray flux above 0.8 TeV was estimated as $(0.63 \pm 0.05) \times 10^{-12} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Within the range 1 - 10 TeV, the integral energy spectrum is well described by the power law $F(>E_0) \propto E^{k_\gamma}$, with $k_\gamma = -1.87 \pm 0.11$.

Extreme variability in different wavelengths including VHE γ -rays on the time-scales from minutes to years is the most distinctive feature of BL Lac objects.

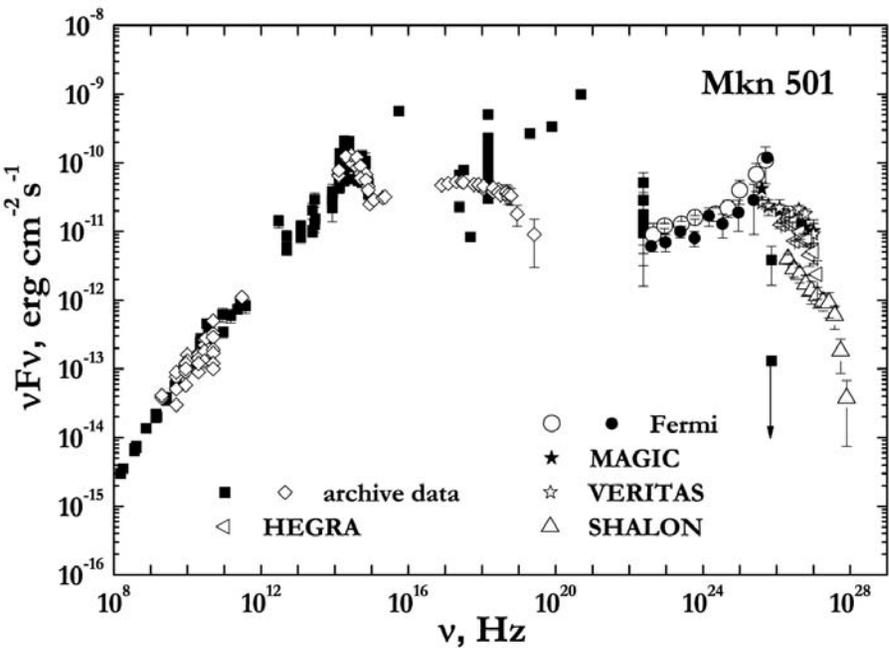
The increase of the flux over the average value was detected in 1997 and 2004 observations of Mkn 421 by SHALON and estimated to be

$(1.01 \pm 0.25) \times 10^{-12} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ and $(0.96 \pm 0.2) \times 10^{-12} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectively.

The similar variations of the flux over the average value was also observed with the telescopes of Whipple, HEGRA, TACTIC, HESS ($60^\circ - 67^\circ$), MAGIC (45°).

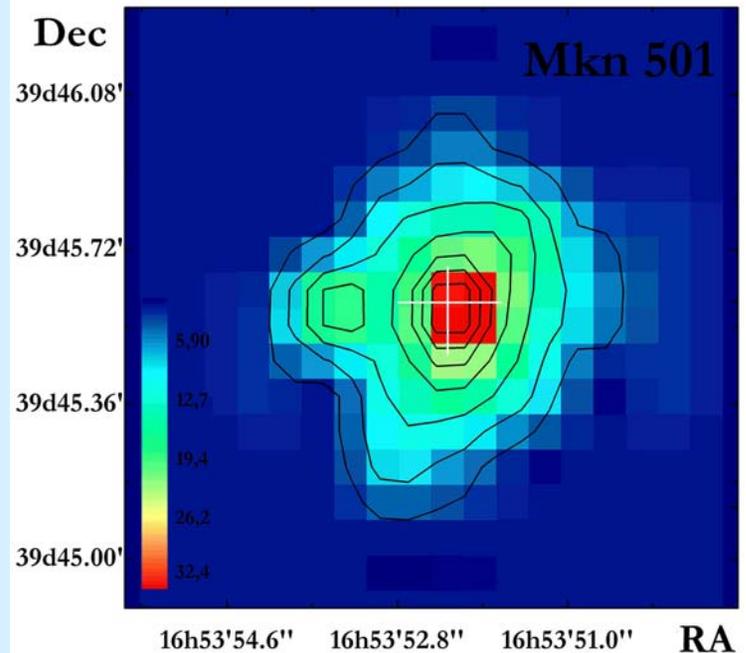


Markarian 501 ($z = 0.034$)



The detection of Mkn 421 as metagalactic VHE γ -ray source initiated a search for VHE emission from several other active galactic nuclear of blazar type. This led to the detection of BL Lac object **Mkn 501** ($z = 0.034$) by Whipple in 1995. In contrast to Mkn 421, EGRET had not detected this source, as significant source of γ -rays. So Mkn 501 was the first object to be discovered by as γ -ray source from the ground. An image of γ -ray emission from Mkn 501 by SHALON telescope is also shown. The integral average γ -ray flux above 0.8 TeV was estimated as $(0.86 \pm 0.06) \times 10^{-12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ and the power index of the integral spectrum is $k_{\gamma} = -1.87 \pm 0.13$. The significant increase of Mkn 501 flux was detected in 1997 with the VHE ground telescopes all over the world.

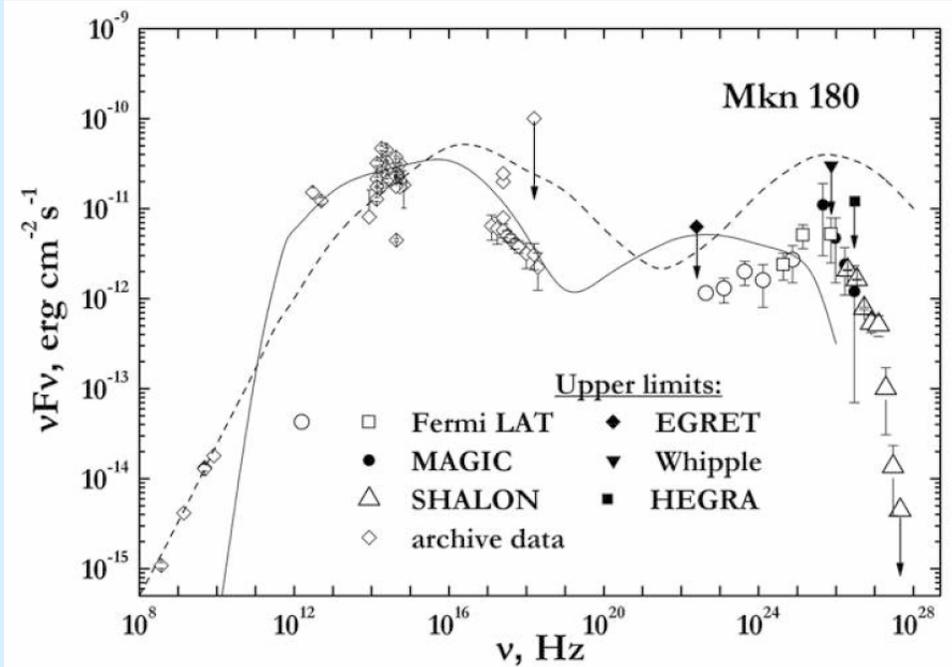
The integral γ -ray flux in 1997 and 2006 by by SHALON telescope was estimated as $(1.21 \pm 0.13) \times 10^{-12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ and $(2.05 \pm 0.23) \times 10^{-12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectively that is comparable with flux of powerful galactic source Crab Nebula by SHALON. The last flaring state of Mkn 501 at the very high energies was detected in the SHALON observational period between March and June 2009. The flux increase was detected at 23-24 April and 23-25 May with average flaring flux of $(3.41 \pm 0.70) \times 10^{-12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. This increase is correlated with the flaring activity at lower energy range in observations of Fermi LAT and VERITAS, MAGIC, Whipple.



Mkn 180 (z = 0.045)

Mkn 180 is a known extragalactic source of high frequency peaked BL Lac type (z = 0.045). As the VHE γ -ray emitting AGNi are variable in flux in all wavebands the correlations between low energy emission (for example X-ray) and γ -ray emission have been found. Recently, optical - TeV/GeV correlation was also found. Mkn 180 was detected in TeV γ -rays by MAGIC during an optical high state.

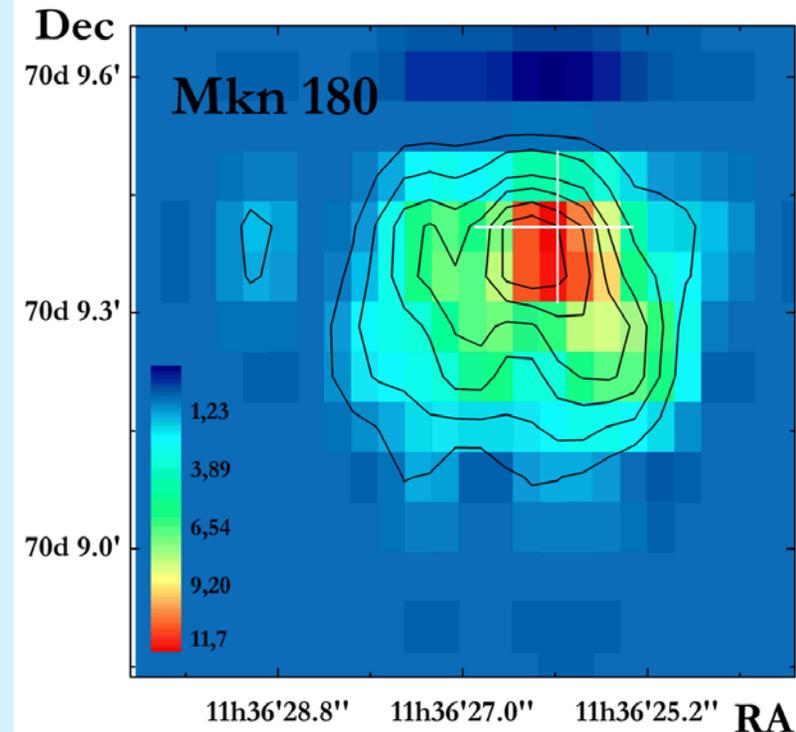
Earlier, Mkn 180 had been observed by HEGRA and Whipple but were only able to derive flux upper limits, and EGRET did not detect the source).



The spectral energy distribution of Mrk 180 from modern and archival observations.

Mkn 180 was observed by SHALON in 2007, 2009 - 2014, for a total of 81.0 hours, at zenith angles ranging from 25° to 34°. After the standard analysis, a clear excess corresponding to a 18.5 σ was determined. No evidence for flux variability was found. The measured integral energy spectrum of Mkn 180 can be well described by a power law with the index -2.16 ± 0.15 . The observed integral flux above 0.8 TeV is

$$F(E > 0.8\text{TeV}) = (0.65 \pm 0.09) \times 10^{-12} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}.$$



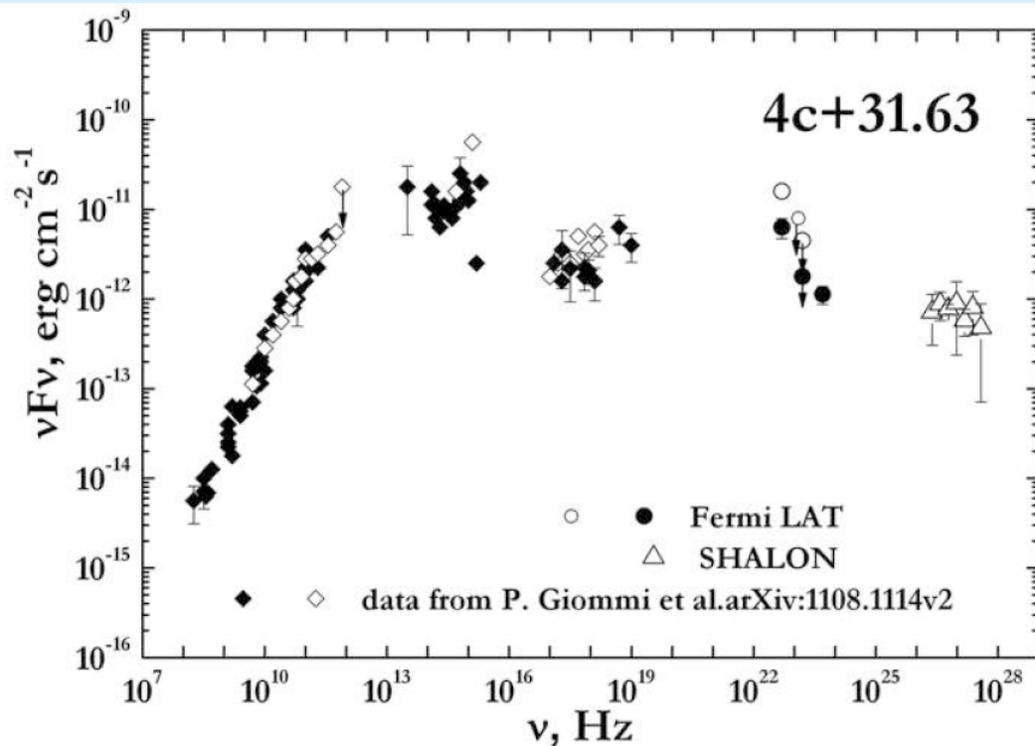
4c +31.63 (z = 0.295)

4C+31.63, at redshift $z = 0.295$, is the example of FSRQ class of objects.

To collect the data for FSRQ type sources at large distance range from $z < 0.3$ to extremely high z sources from first and second Fermi LAT AGN catalogue are observed by SHALON.

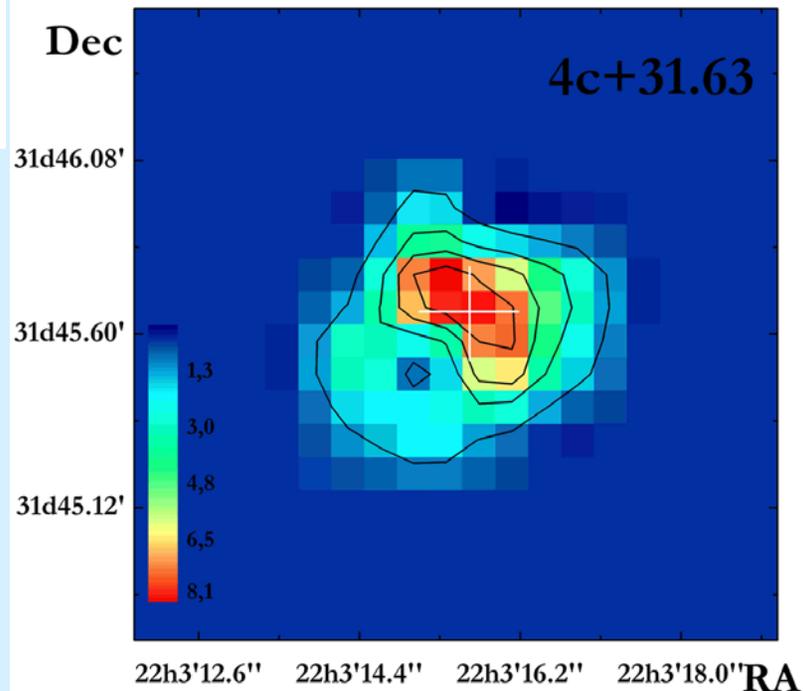
4C+31.63 was observed by SHALON in the 2012-2015 at the clear moonless nights, for a total of 45.7 hours, at zenith angles ranging from 12° to 35° . After the standard analysis, a clear excess corresponding to a 9.7σ (Li&Ma) was determined.

$$I_{4c+31.63}(>0,8\text{TeV}) = (0.73 \pm 0.16) \cdot 10^{-12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$



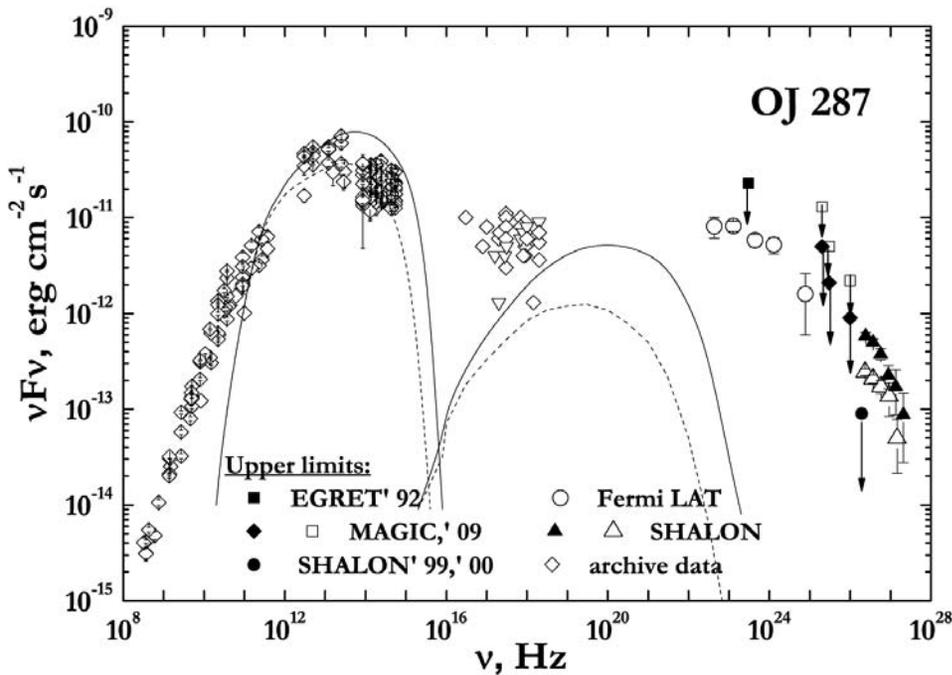
Spectral energy distribution of the gamma-ray emission from 4C+31.63 by SHALON (open triangles) in comparison with the experimental data at high energies by Fermi LAT (2011).

In observations of 2012 year a new metagalactic source are detected by SHALON in TeV energies. This object was identified with FSRQ type source 4c+31.63, previously detected at high energies with Fermi LAT. No high activity of 4C+31.63 in TeV energies was found.



OJ 287 ($z = 0.306$)

Spectral energy distribution of the γ -ray emission from OJ 287 by SHALON in comparison with other experiment data EGRET, Fermi/LAT, MAGIC and with theoretical predictions. The open triangles at TeV energies are SHALON spectrum of OJ287; an upper limit at > 0.8 TeV corresponds to SHALON observations in 1999, 2000; the black triangles are the gamma-ray spectrum at the increased flux period of 2010. OJ 287 is the weakest extragalactic source observed by SHALON

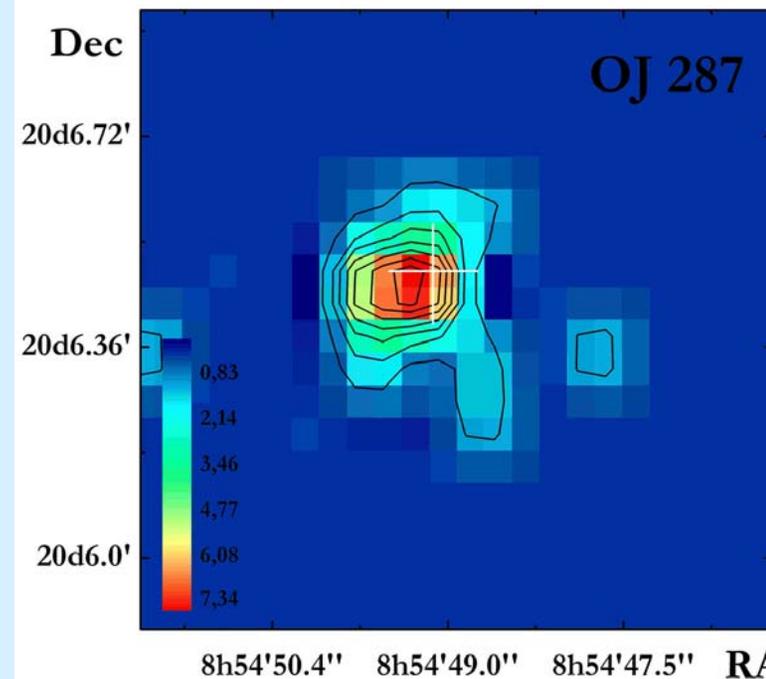


OJ 287 was observed by SHALON in 1999, 2000, 2008, 2009 and 2010, for a total of 47.3 hours, at zenith angles ranging from 22° to 34° . The observations of 1999 and 2000 years does not reveal a γ -ray flux from the position of OJ 287, but only an upper limit of $< 1.1 \times 10^{-13} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$.

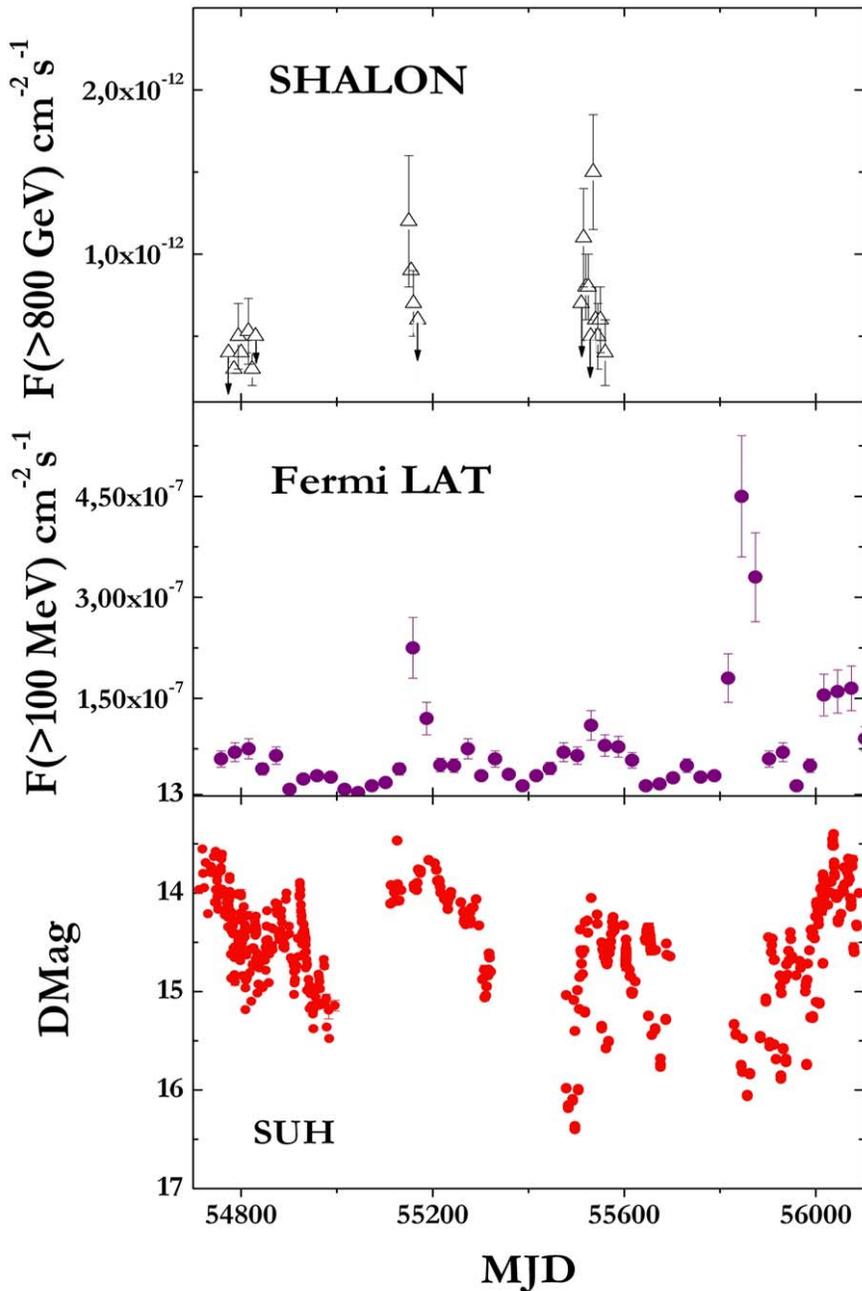
In observations of 2008, 2009 and 2010 (31.2 hours in total) the weak γ -ray flux was detected. An excess corresponding to a 6.9σ was determined. The observed integral flux is

$$F(E > 0.8 \text{TeV}) = (0.26 \pm 0.07) \times 10^{-12} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}.$$

The flux increase over the detected average flux was found at 14,15 November and 4, 5 December 2010. The average value of increase is $(0.63 \pm 0.15) \times 10^{-12} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ (statistical significance of $6.2s$) with the softer energy spectrum with a power law with the index -1.96 ± 0.16 . Also, the high flux was detected at 16 November 2009. The duration of the flux increase in December 2010 was 2 days with pick intensity $(1.16 \pm 0.51) \times 10^{-12} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$. No duration of intervals of flux increase were found in 2009, because the observations were interrupted due to weather conditions.



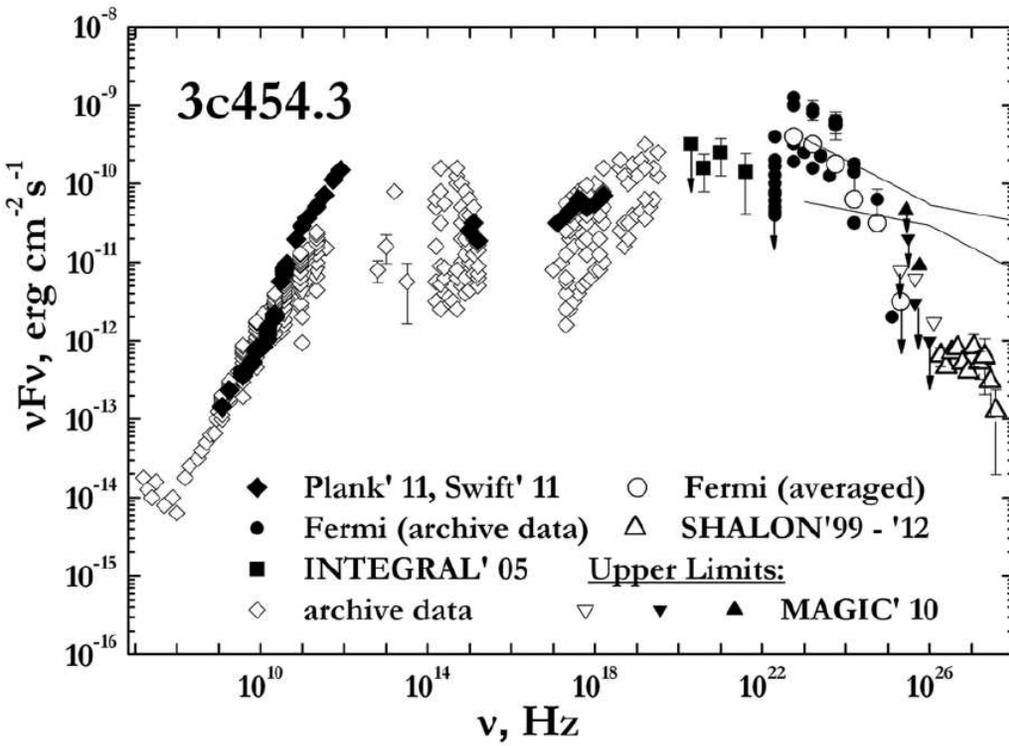
OJ 287



To reveal possible correlations of the emissions in various energy ranges, including those at high and very high energies, we compared the OJ287 γ -ray fluxes by SHALON in the periods when the observations were simultaneous with the ones by the Fermi LAT experiment and data in R-band (Suhora Astronomical Observatory). A slight local flux increase can be seen in the period of November 2010 in Fermi LAT data and at R-band, which corresponds to the above-mentioned γ -ray flux increase observed by SHALON in 2010. The increase of OJ 287 flux in 2009 SHALON data correlates with flares in MeV-GeV energies and R-band. It was shown that the GeV flares are produced due to interaction of moving plasma blobs with a standing shock. The flare correlations can indicate that the TeV emission observed by SHALON is very high energy population of particles formed the spectrum viewed by Fermi LAT, which produced by the synchrotron self-Compton process occurs in the jet away from the central core.

Comparison of OJ 287 light curve by SHALON in the energy range 800 GeV - 35 TeV with data in R-band and in the MeV-GeV energies by Fermi LAT

3c 454.3 (z = 0.859)



3c 454.3, at redshift $z = 0.859$, is a well-known example of blazar class of objects

Spectral energy distribution of the gamma-ray emission from 3c454.3 by SHALON (open triangles) in comparison with other experiment data, Fermi/LAT (2009 - 2011); upper limits by MAGIC (2010).

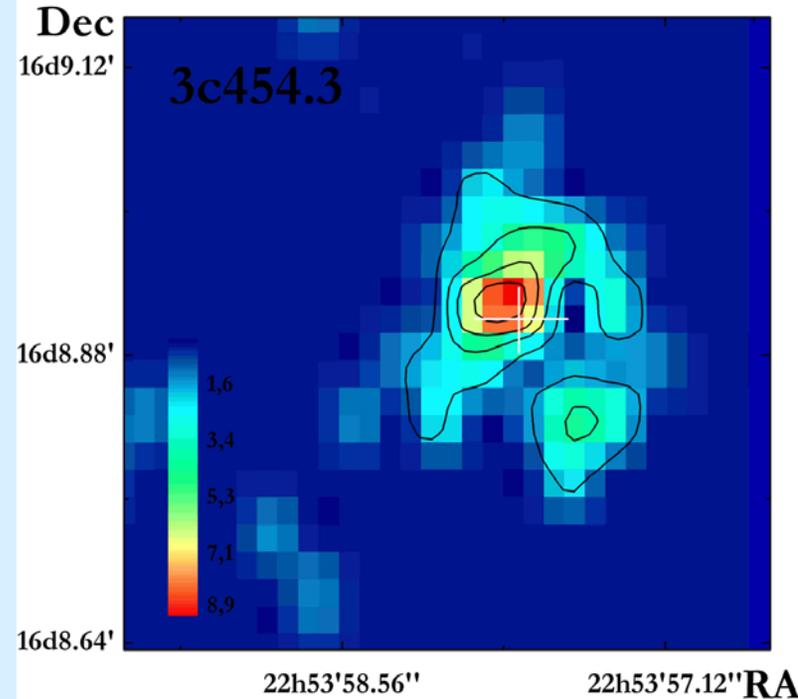
In 1998 year a new metagalactic source are detected by SHALON in TeV energies. This object was identified with FSRQ type source 3c454.3.

3C 454.3 was observed by SHALON in the period from 1998 to 2013, for a total of 69.2 hours, at zenith angles ranging from 18° to 35° . A clear excess corresponding to a 14.3σ was determined.

$$I_{3c454.3>(>0,8\text{TeV})} = (0.43 \pm 0.07) \cdot 10^{-12} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$$

3c 454.3 shows the significant flux variability in the different energy ranges including high and very high energies. The last significant flaring state of 3c454.3 at TeV energies was detected in the SHALON observational period of Nov. - Dec. 2010. The flare of TeV flux detected by SHALON at 10 November 2010 correlates with flux increase observed at high energies by Fermi LAT at phase of the plateau and flare in R-band. The flux increase was detected at 02-04 Dec. with flux of $(3.41 \pm 0.70) \times 10^{-12} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$. This increase is correlated with the flares at lower energy range in observations of Fermi LAT and corresponds to phase of increasing flux the post-flare. Very high energy flux variation time-scales observed by SHALON are similar to ones observed at high energies by Fermi LAT.

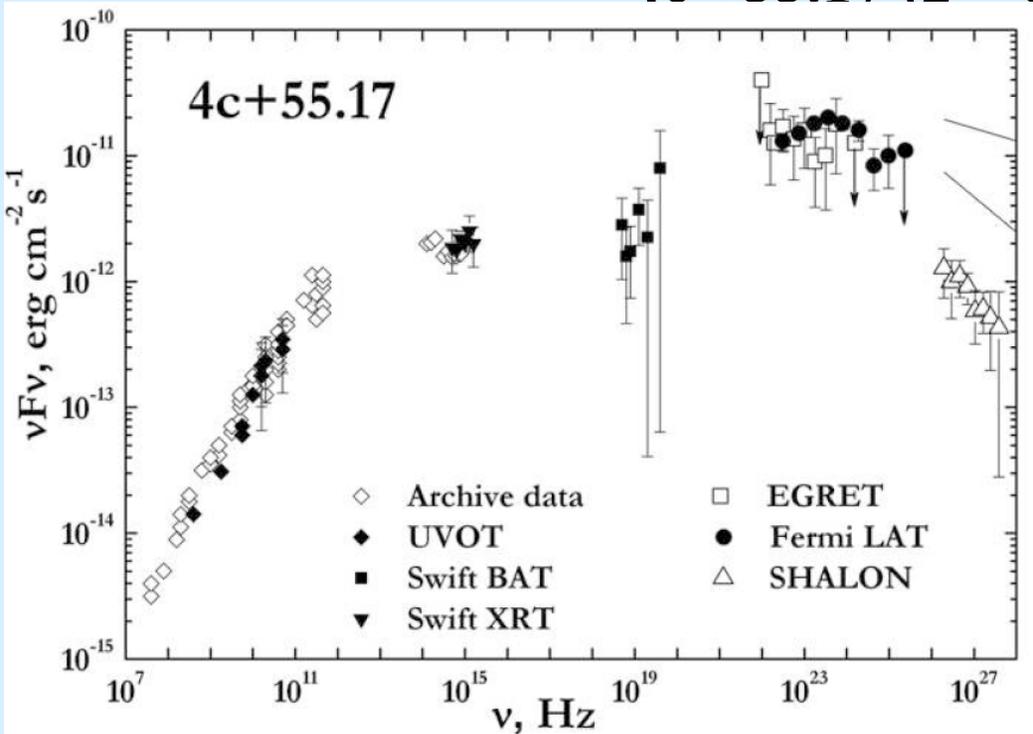
The short flaring times suggest the parsec-scale size regions of origin of TeV and MeV-GeV emission.



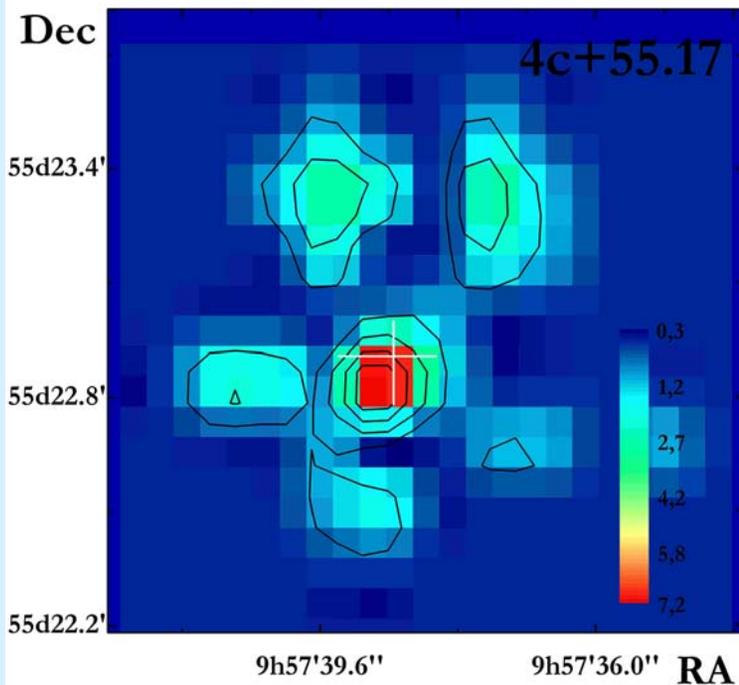
4c +55.17 (z = 0.896)

4C+55.17, at redshift $z = 0.896$, is the radio-loud active galaxy classified as a FSRQ.

В 2012 году телескопом ШАЛОН был обнаружен новый внегалактический источник ТэВ-ого гамма-излучения, он был идентифицирован с радиокварзаром с плоским спектром – 4C+55.17. Ранее, этот источник был задетектирован при высоких энергиях в экспериментах EGRET и Fermi LAT с необычно жёстким спектром в области энергий MeV-GeV. 4C+55.17 наблюдался телескопом ШАЛОН 61.2 ч в период с 2012 – 2016 год при зенитных углах $13^\circ - 35^\circ$. Поток при энергиях больше 0,8 ТэВ был определён на уровне $8,4\sigma$ (Li&Ma).



$$I_{4c+55.17(>0,8\text{TeV})} = (0.90 \pm 0.16) \cdot 10^{-12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$



Spectral energy distribution of the γ -ray emission from 4C+55.17 by SHALON (open triangles) in comparison with the experiment data by EGRET, Fermi LAT (2011).

4C+55.17 имеет структуру и спектральные свойства присущие блазарам типа FSRQ. Переменность излучения и вспышечная активность во всём энергетическом диапазоне, включая MeV-GeV, а также и ТэВ энергии, является отличительной особенностью объектов типа блазары. Но в случае 4C+55.17 переменности потока не было обнаружено ни в ТэВ-ой области на ШАЛОН, ни при высоких энергиях в наблюдениях Fermi LAT. Детектирование стабильного потока излучения от 4C+55.17 при высоких и сверхвысоких энергиях вместе со слабой переменностью в радиодиапазоне указывает на отсутствие особенностей-выбросов, обеспечивающих высокую активность во всех диапазонах энергий.

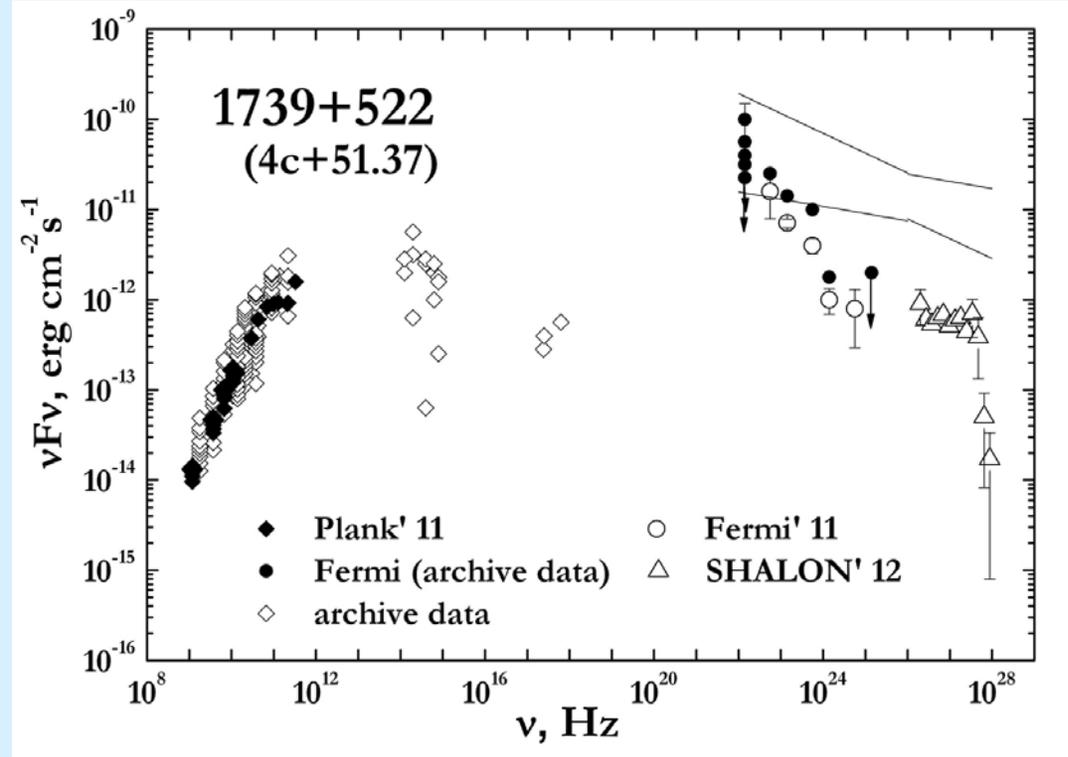
1739+522 ($z = 1.375$)

1739+522, at redshift $z = 1.375$, is a powerful example of blazar class of objects.

In 1999 year a new metagalactic source are detected by SHALON in TeV energies. This object was identified with FSRQ type source 1739+522 (4c+51.37).

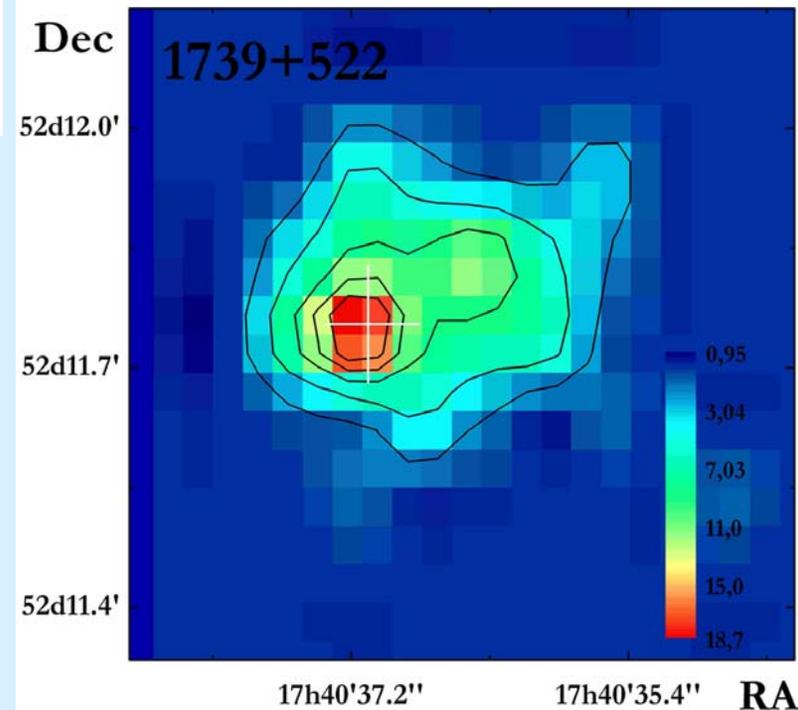
1739+522 was observed by SHALON in the period from 1999 to 2016, at the clear moonless nights, for a total of 119.8 hours, at zenith angles ranging from 14° to 35° . After the standard analysis, a clear excess corresponding to a 15.1σ (Li&Ma) was determined.

$$I_{1739+522}(> 0,8 \text{ TeV}) = (0.49 \pm 0.05) \cdot 10^{-12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

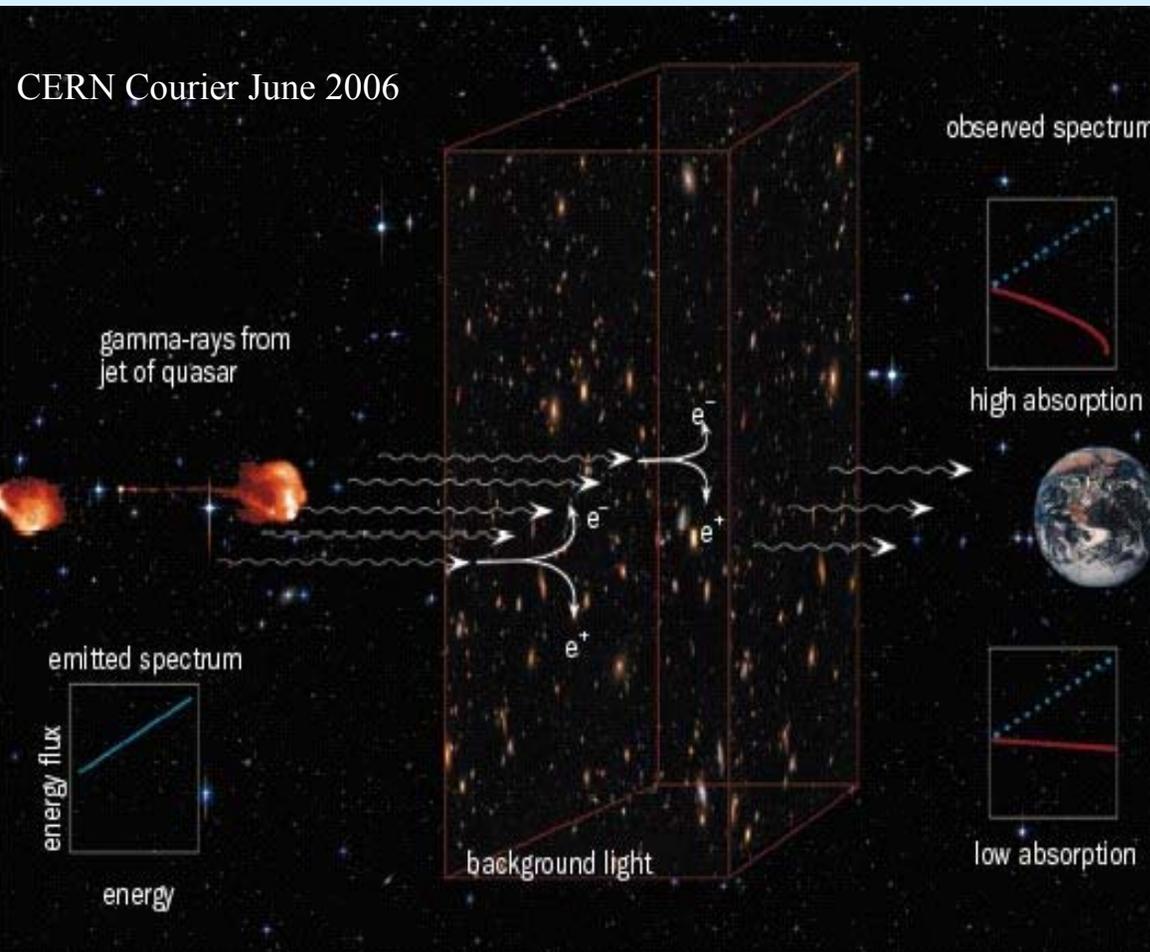


Spectral energy distribution of the gamma-ray emission from 1739+522 by SHALON (open triangles) in comparison with other experiment data Fermi/LAT (2009 - 2011). Lines at TeV energies limit the range of intrinsic spectrum in the source corrected on the extragalactic background light attenuation.

Two periods of TeV flux increase were detected since first detection of 1739+522. In observation of 2004 from 8 to 20 June the flux increase from level of average value up to $(1.93 \pm 0.60) \times 10^{-12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ at $E > 0.8 \text{ TeV}$ in peak at 12 June 2004 was recorded in two night observations. Similar high flux increase was detected at 12 May 2005, but no duration of flux increase were found, because the observations were interrupted due to weather conditions.



Metagalactic sources of very high energy gamma-quanta



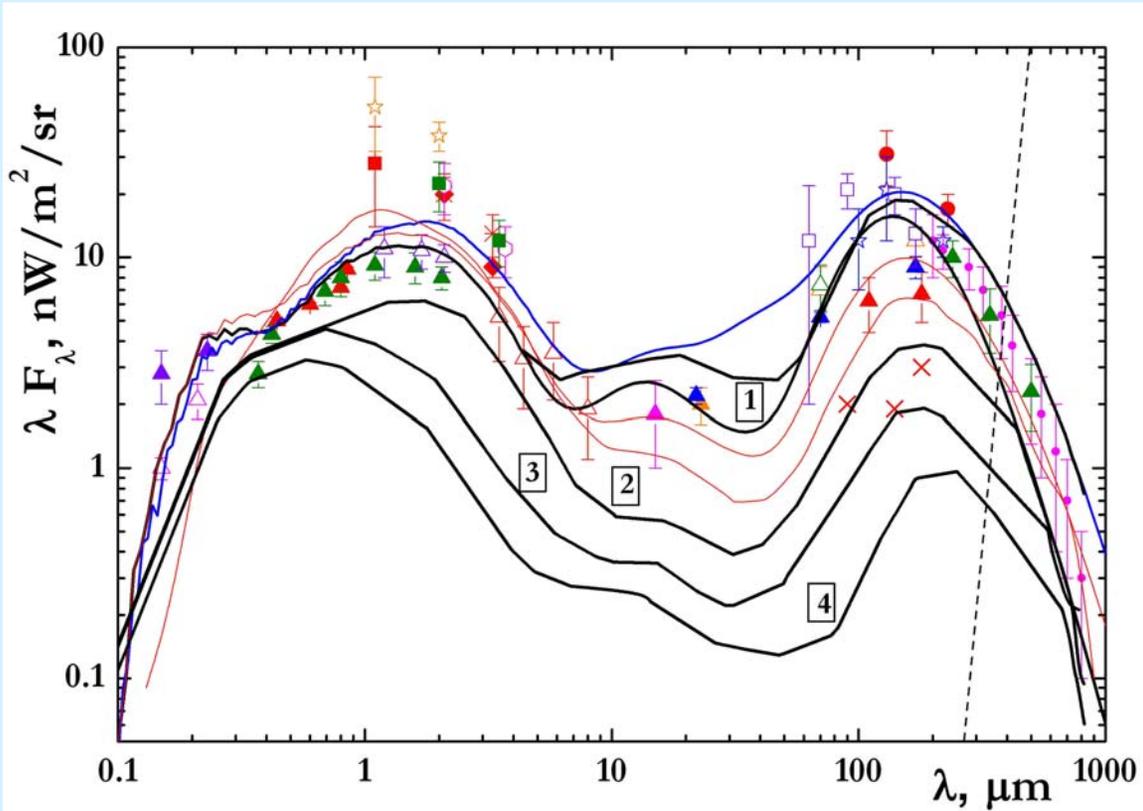
Наблюдения активных галактических ядер также может использоваться для изучения фонового излучения. Фоновое излучение состоит из излучения галактик, звёзд и горячей пыли, производимого за всю историю Вселенной. Его спектр содержит информацию о скорости формирования звёзд и галактик на ранних стадиях развития 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 позволяют определить поглощение на межгалактическом фоновом излучении (EBL) в видимой – инфракрасной области энергий.

$$\gamma_{HE} \gamma_{EBL} \rightarrow e^+ e^-$$

$$\Phi = \Phi_0 \cdot e^{-\tau(E,z)}$$

$$\tau(E, z_q) = \int_0^{z_q} dz' \frac{dt}{dz'} \int_0^2 dx \frac{x}{2} \int \frac{d\varepsilon}{2m^2c^2} \cdot n(\varepsilon, z') \sigma_{\gamma\gamma} \frac{1}{Ex(1+z)^2}$$

Extragalactic Background Light



Spectral energy distribution of EBL: measurements [9] and models [10, 11, 12, 13] and EBL shape constrained from observations of the extragalactic sources by SHALON:

- 1 – NGC 1275 ($z = 0.018$);
- Mkn 421 ($z = 0.031$);
- Mkn 501 ($z = 0.034$);
- Mkn 180 ($z = 0.046$);
- 3c382 ($z = 0.0578$);

(averaged EBL shape from best-fit model and Low-SFR model)

Upper 1 is for Mkn180 ($z = 0.046$)

- 2 – 3c+31.63 ($z=0.295$);
- OJ 287 ($z = 0.306$);

3 – EBL shape from constrained from observations of 3c454.3 ($z = 0.859$);
4c+51.17($z = 0.896$)

4 – EBL shape from constrained from observations of 1739+522 ($z = 1.375$)

It has mentioned that the observed spectra are modified by gamma-ray attenuation, i.e.

$F_{observed}(E) = F_{intrinsic}(E) \times \exp(\tau(E; z))$ where $\tau(E; z)$ is optical depth for pair creation for a source at redshift z , and at an observed energy E . According to the definition of the optical opacity the medium influences on the primary source spectrum at $\tau \geq 1$, but for $\tau < 1$ the medium is transparent, so the measuring of source spectrum in the both range of τ can give the intrinsic spectrum of the source to to constrain the EBL density. The optical depth for sources at redshifts from 0.031 to 1.375 was calculated with assumption of EBL shapes shown in figure. We used the averaged EBL shape from best-fit model and Low-SFR model (upper black curve 1) to calculate the attenuated spectrum of Mkn 421, Mkn 501, Mkn 180 and 3c382 in assumption of simple power low intrinsic spectrum of the source with spectrum index of $\gamma = 1.5 \div 1.8$, taken from the range of $\tau < 1$. The shapes of EBL density constrained from the spectra of the high redshift sources 4c.31.63, OJ287, 3c454.3, 4c+55.17 and 1739+522 are shown with curves 2, 3 and 4, respectively.

Extragalactic Background Light

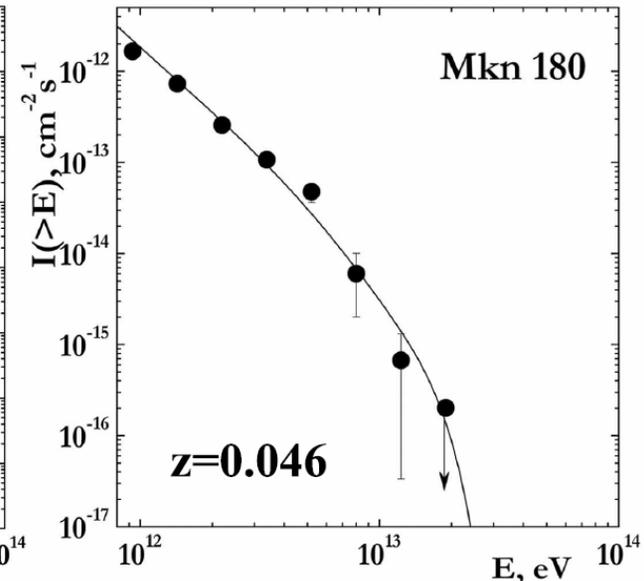
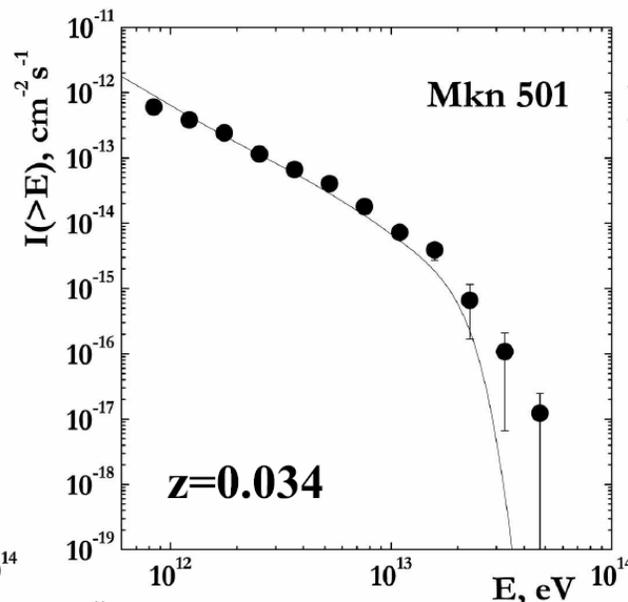
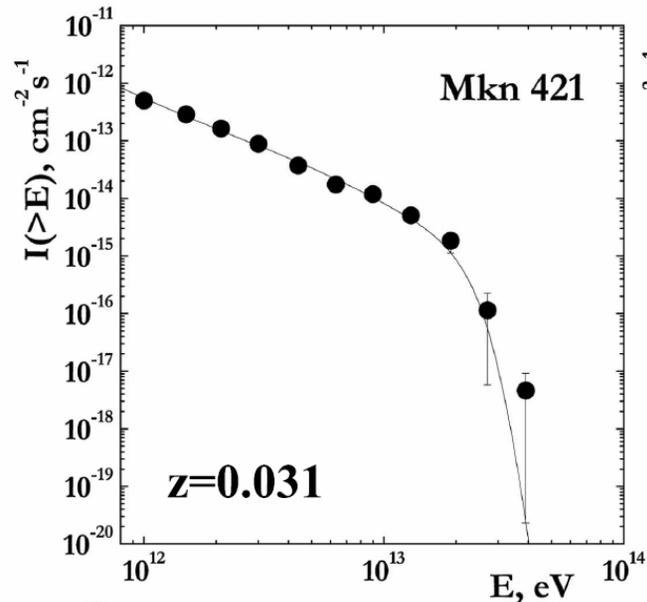
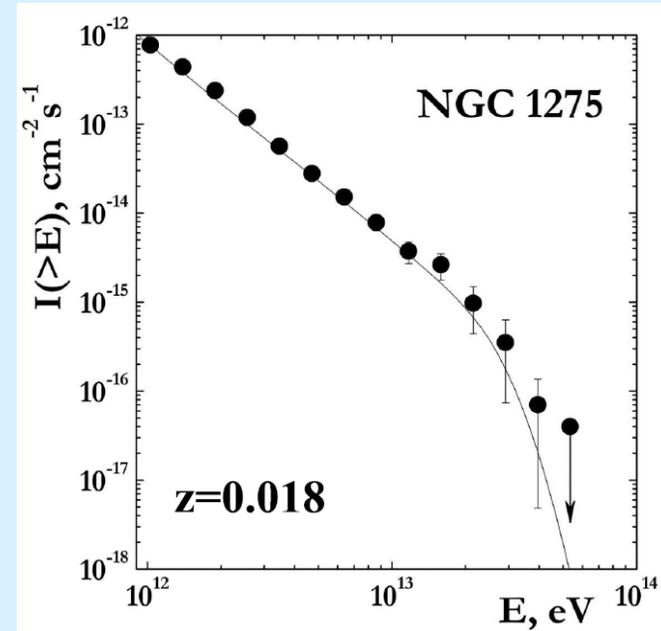
As it is seen from the spectra of close sources (NGC1275, Mkn 421, Mkn 501 and Mkn 180 spectra) the measured spectrum can be fitted by a power law with an exponential cutoff: $F(> E) \sim E^{-\gamma} \exp(-E/E_{\text{cutoff}})$ with power indices of about

$\gamma = 2.18 \pm 0.12$ for NGC 1275; $\gamma \sim 1.5 \pm 0.2$ for Mkn 421, Mkn 501 Mkn 180;

The value of E_{cutoff} ranges from 32 ± 7 TeV for NGC 1275 and 11 ± 3 TeV for Mkn421, Mkn 501

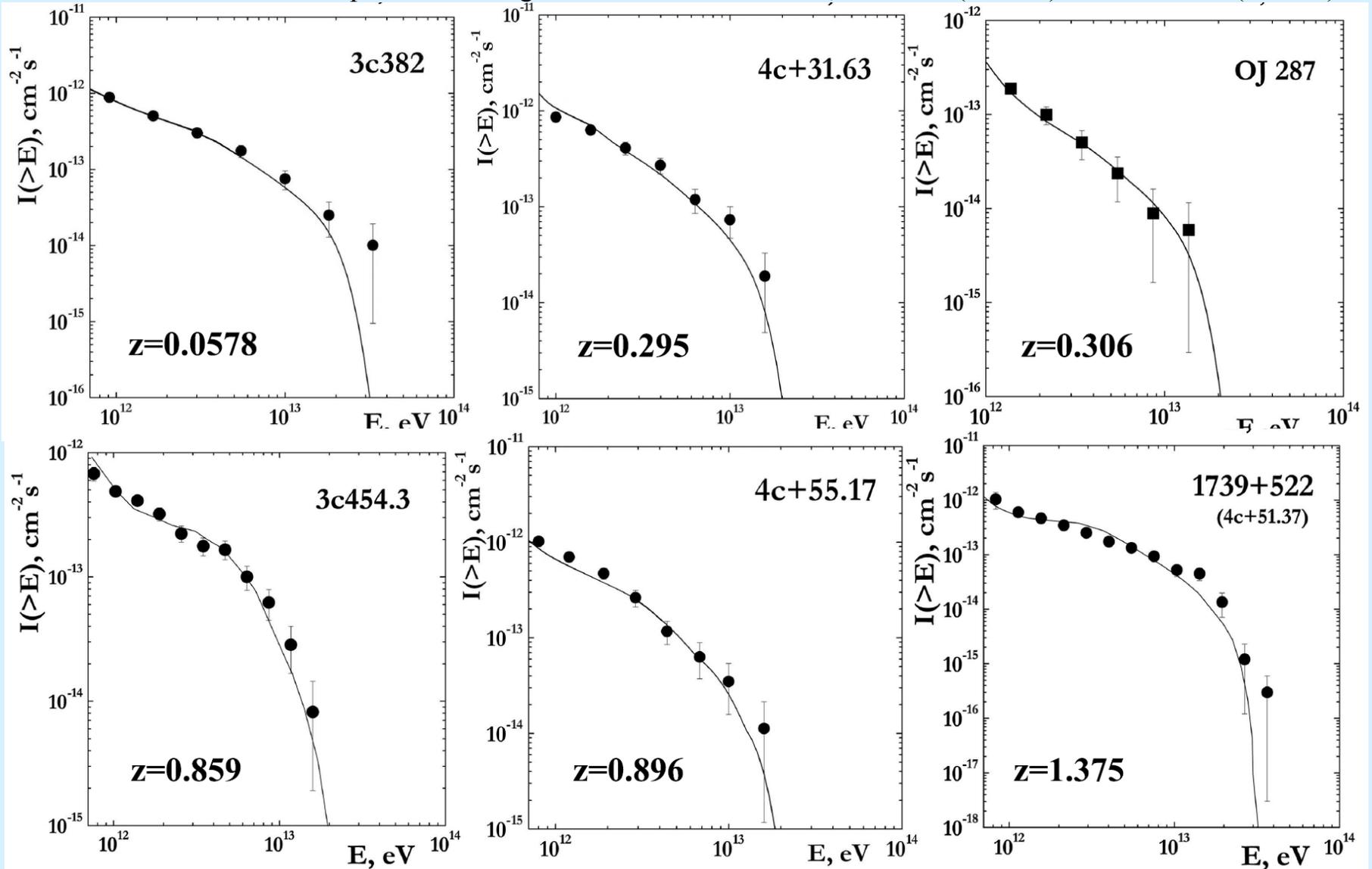
We used the EBL shape from Best-fit model and Low-SFR model (**curve 1**) to calculate the attenuated spectrum of Mkn 421, Mkn 501, Mkn 180 in assumption of simple power low intrinsic spectrum of the source with spectrum index of $\gamma = 1.5 \pm 0.3$, taken from the range of $\tau < 1$; As NGC 1275 is a nearest source its primary spectrum is weakly influenced by EBL and no significant dependence of spectrum change on models.

The measured spectra for NGC1275, Mkn421, Mkn501, Mkn 180 (black points) together with spectra attenuated by EBL (lines).

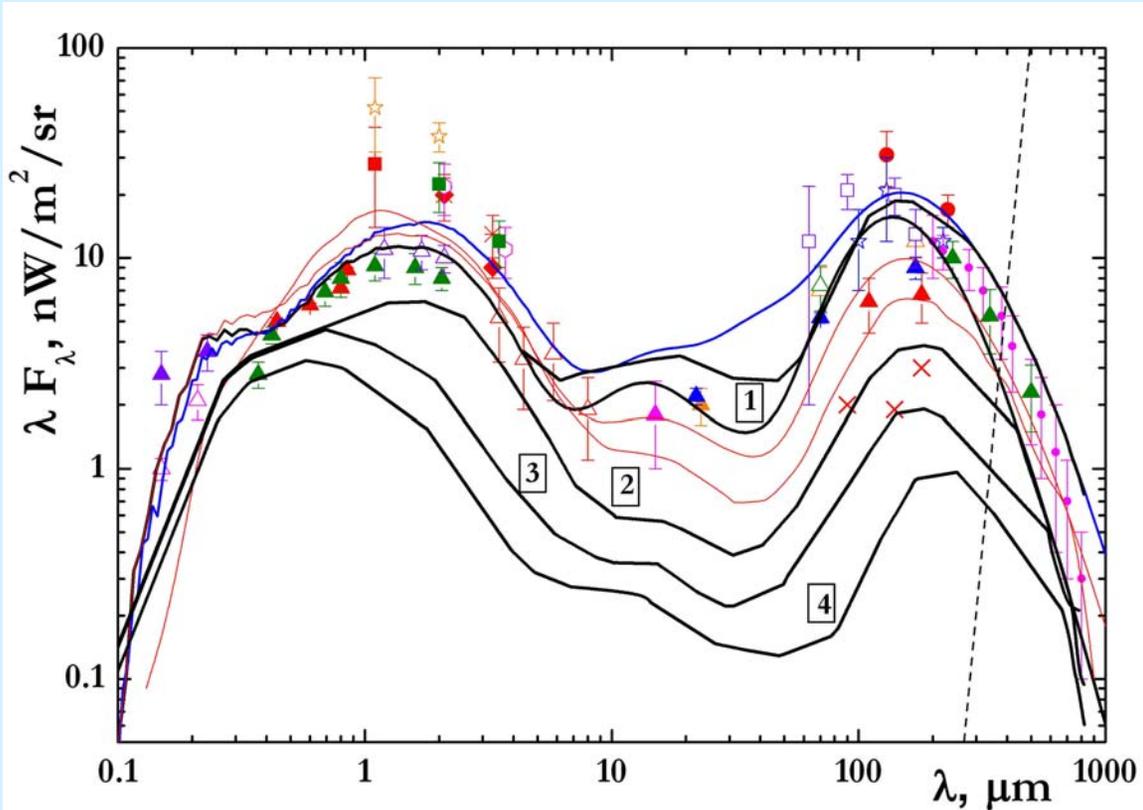


Extragalactic Background Light

The attenuated spectra of close sources 3c382 (curve 1 of EBL and $\gamma = 1.5 \pm 0.3$), middle redshift sources 4c+31.63 and OJ 287 (The shape 2 of EBL and $\gamma = 1.2 \pm 0.2$) and high redshift sources 3c454.3, 4c+55.17 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 $\gamma = 1.2 \pm 0.2$ for the range of $\tau > 1$. The shape 3 and 4 of EBL density is constrained from the observed spectra of the high redshift sources 3c454.3, 4c+55.17 (curve 3) and 1739+522 (curve 4).



Extragalactic Background Light



Spectral energy distribution of EBL: measurements [9] and models [10, 11, 12, 13] and EBL shape constrained from observations of the extragalactic sources by SHALON:

1 – NGC 1275 ($z = 0.018$);

Mkn 421 ($z = 0.031$);

Mkn 501 ($z = 0.034$);

Mkn 180 ($z = 0.046$);

3c382 ($z = 0.0578$);

(averaged EBL shape from best-fit model and Low-SFR model)

Upper 1 is for Mkn180 ($z = 0.046$)

2 – 3c+31.63 ($z=0.295$);

OJ 287 ($z = 0.306$);

3 – EBL shape from constrained from observations of 3c454.3 ($z = 0.859$);

4c+51.17($z = 0.896$)

4 – EBL shape from constrained from observations of 1739+522 ($z = 1.375$)

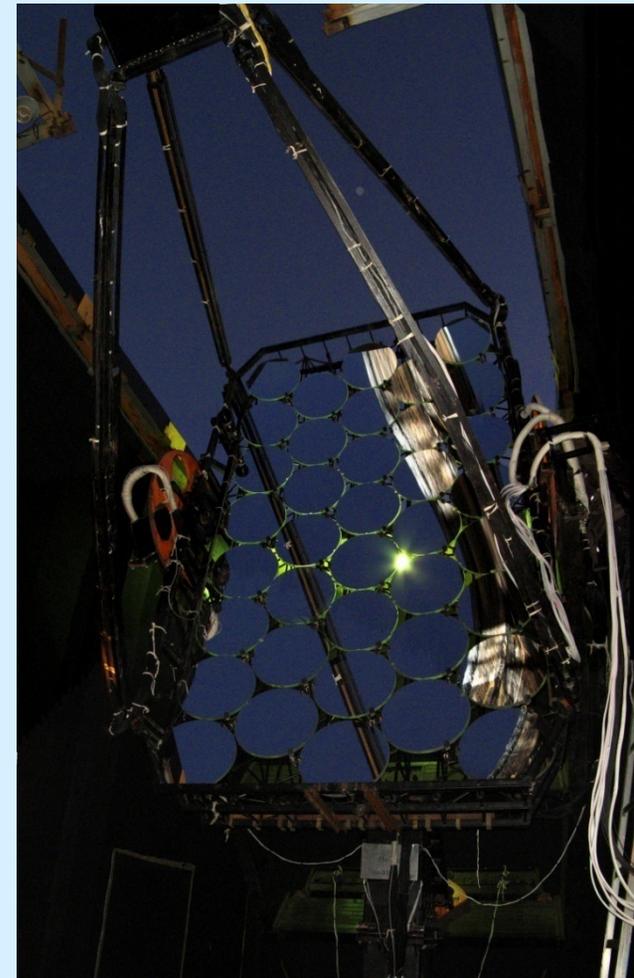
Обнаружение источников ТэВ-ого гамма-излучения с большими красными смещениями, свидетельствует о том, что внегалактическое фоновое излучение имеет меньшую среднюю плотность фотонов, и, следовательно, скорость формирования первых звезд была значительно ниже, чем предполагалось ранее.

B2 0242+43 and B2 0743+25 ($z > 2$)

При энергиях в диапазоне 10ГэВ – ТэВ спектры гамма-излучения источников находящихся на больших красных смещениях начинают сильно поглощаться, до сих пор ещё слабо изученным полем фотонов внегалактического фонового излучения. Для оценки горизонта для гамма-излучения в 2014 году на телескопе ШАЛОН начались наблюдения квазаров с красными смещениями >2 из первого и второго каталогов Активных галактических ядер, наблюдаемых Fermi LAT.

B2 0242+43, at redshift $z = 2.243$, радиогромкое активное галактическое ядро, относящийся к классу радиоквазаров с плоскими спектрами. B2 0242+43 наблюдался телескопом ШАЛОН 14ч в 2014 году. В результате из области B2 0242+43 при энергиях > 800 ГэВ было зарегистрировано гамма-излучение с потоком $(0.58 \pm 0.20) \times 10^{-12} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ на уровне 4.8σ . В конце ноября было зарегистрировано двукратное увеличение потока (над указанным уровнем). Исследования окрестностей B2 0242+43 радиусом $20'$ не выявило активных объектов, таких как гамма-всплески, или других мощных в широком энергетическом диапазоне, источников излучения, которые могли бы служить кандидатами в источники ТэВ-ого гамма-излучения. Список ближайших объектов включает два слабых источника радио-излучения и один рентгеновский источник, не подтвержденные с момента их первого обнаружения в 1999году.

B2 0743+25, at redshift $z = 2.979$, также относится к классу радиоквазаров с плоскими спектрами. B2 0743+25 наблюдался телескопом ШАЛОН 21ч в период с 2014 – 2016 год. Интегральный поток $(0.37 \pm 0.16) \times 10^{-12} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ определён на уровне 5.9σ . Также была исследована область радиусом $20'$ вокруг B2 0743+25 с целью выявить мощные источники излучения, которые могли бы быть распознаны как изучаемый далёкий квазар. Обнаружено 4-е объекта типа квазар, которые были идентифицированы по наблюдениям в V B U и не были обнаружены в радио-диапазоне, рентгене и в MeV-GeV энергиях. Проводятся дальнейшие наблюдения и исследования B2 0242+43, B2 0743+25 и областей вокруг них, чтобы надёжно установить источник излучения.



- Представлены результаты наблюдений галактических остатков сверхновых оболочечного типа, находящихся на разных этапах эволюции: **GKPer(Nova 1901)**, **Cas A**, **Tycho's SNR**, **γ Cygni SNR**, **IC443** и **G166.0+4.3** полученных с помощью зеркального черенковского телескопа ШАЛОН. Экспериментальные данные подтвердили предсказание теории об адронном механизме генерации γ -квантов сверхвысоких энергий в остатках сверхновых Tycho's SNR, Cas A, γ Cygni SNR and IC443.
- Впервые было обнаружено излучение сверхвысоких энергий от классической новой GK Per (Nova 1901), являющейся, по-видимому, ОСН оболочечного типа на раннем этапе эволюции, и её оболочки, видимой и в рентгеновском диапазоне энергий.
- **Cyg X-3** активно исследуется во всём диапазоне электромагнитного спектра от радиодиапазона до ультравысоких энергий. Представлены результаты долговременных наблюдений Cyg X-3 при энергиях 800 ГэВ – 100 ТэВ зеркальным черенковским телескопом ШАЛОН. Для надёжного отождествления обнаруженного источника с Cyg X-3, выполнен временной анализ и найден орбитальный период 4.8 часа, который является особенностью Cyg X-3. Обнаружена серия вспышек Cyg X-3 при энергиях > 800 ГэВ и их корреляция с активностью в рентгеновском и радио диапазоне. Результаты, полученные в широком диапазоне энергий от CygX-3 в том числе в течение периодов событий релятивистских выбросов очень важно для обнаружения связи и понимания разных компонент аккрецирующей двойной системы.



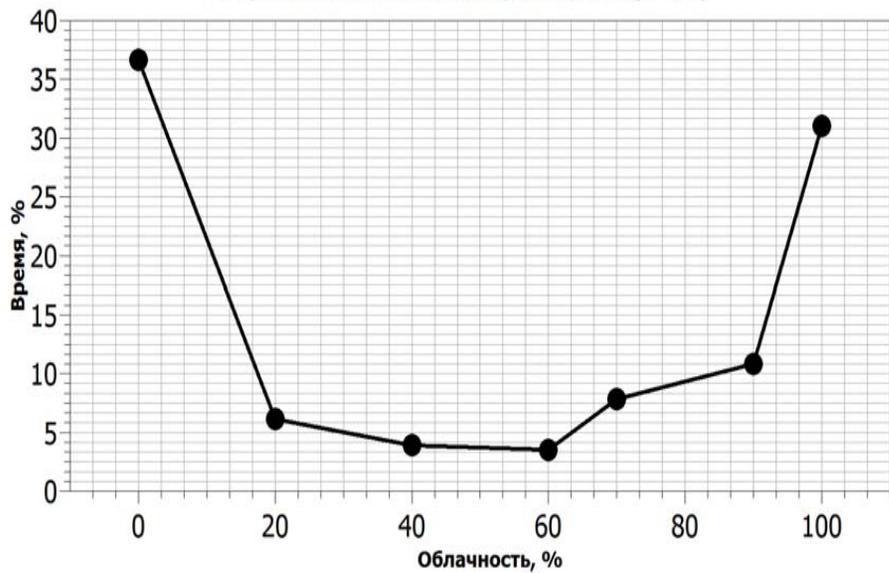
- Для **NGC 1275** данные, полученные при сверхвысоких энергиях, а именно изображения галактики и её окрестностей, а также переменность излучения, указывают на то, что ТэВ-ое гамма-излучение образуется в результате целого ряда процессов: а именно, часть этого излучения генерируется в результате релятивистских 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.

- **Структура 3C 382**, обнаруженная в ТэВ-ых гамма-лучах телескопом ШАЛОН может быть результатом “нагрева” выдуваемой межзвёздной среды джетом, подобно тому, что наблюдается в NGC 1275. При этом не обнаружено существенного излучения из области ядра, которое ясно видно на радио-изображении.

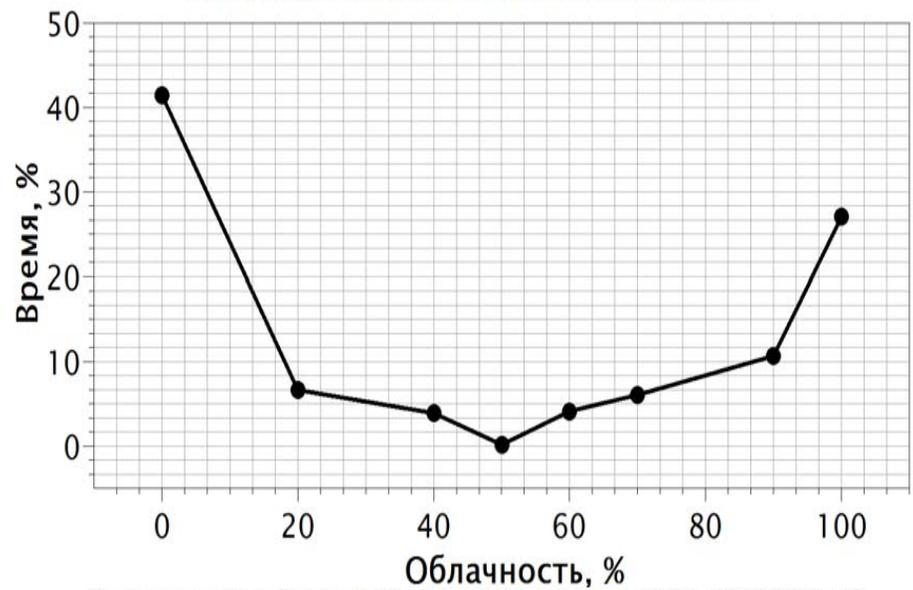
- За период с 1994-2016 гг. телескопом ШАЛОН наблюдались 16 внегалактических источников гамма-излучения сверхвысоких энергий. Получены спектральные энергетические распределения в широком диапазоне энергий. Обнаружение источников ТэВ-ого гамма-излучения с большими красными смещениями, свидетельствует о том, что внегалактическое фоновое излучение имеет меньшую среднюю плотность фотонов, и, следовательно, скорость формирования первых звезд была значительно ниже, чем предполагалось ранее.



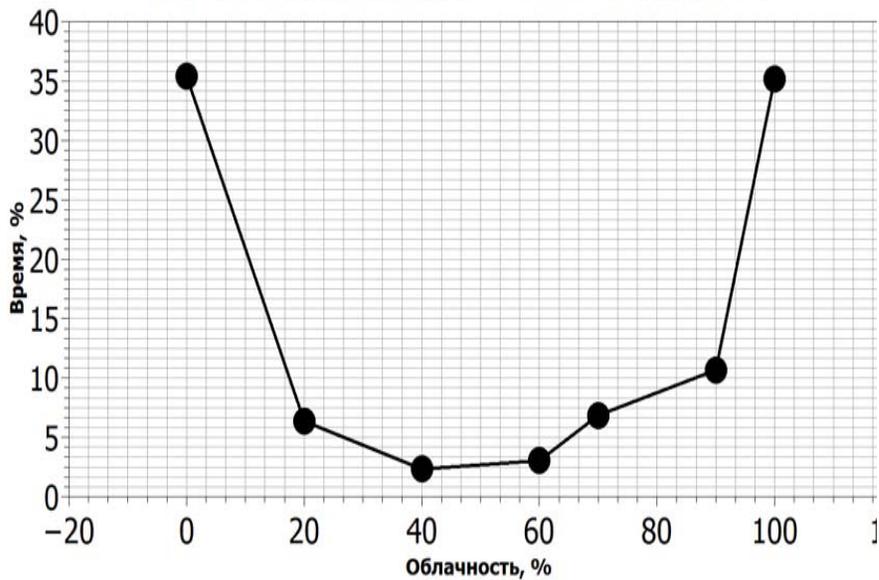
Распределение облачности по времени, 2011 (RP5.ru)



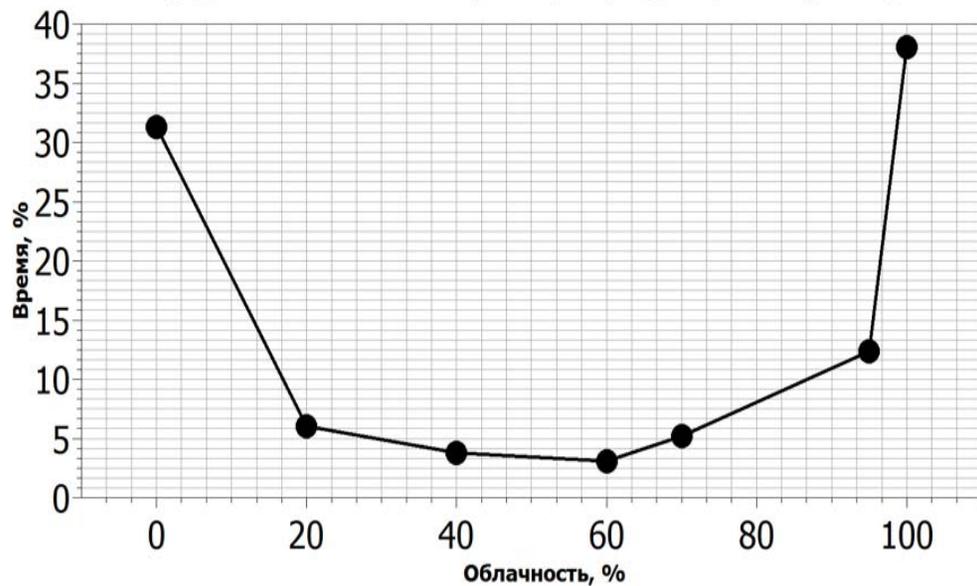
Распределение облачности по времени, 2012 год (RP5.ru)



Распределение облачности по времени, январь-июль 2013 (RP5.kz)

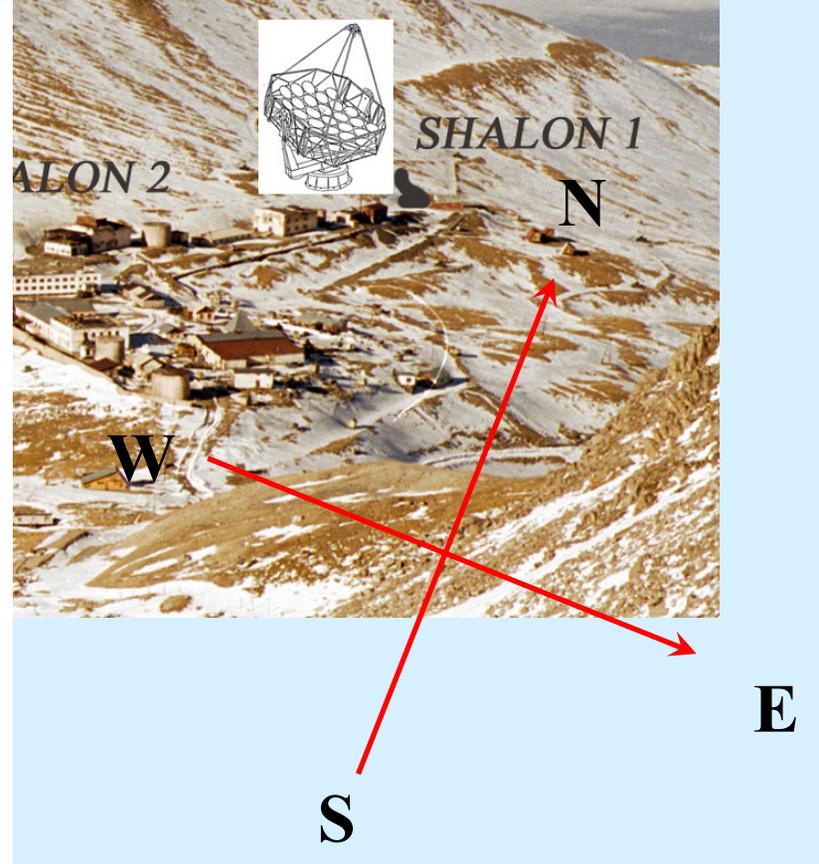
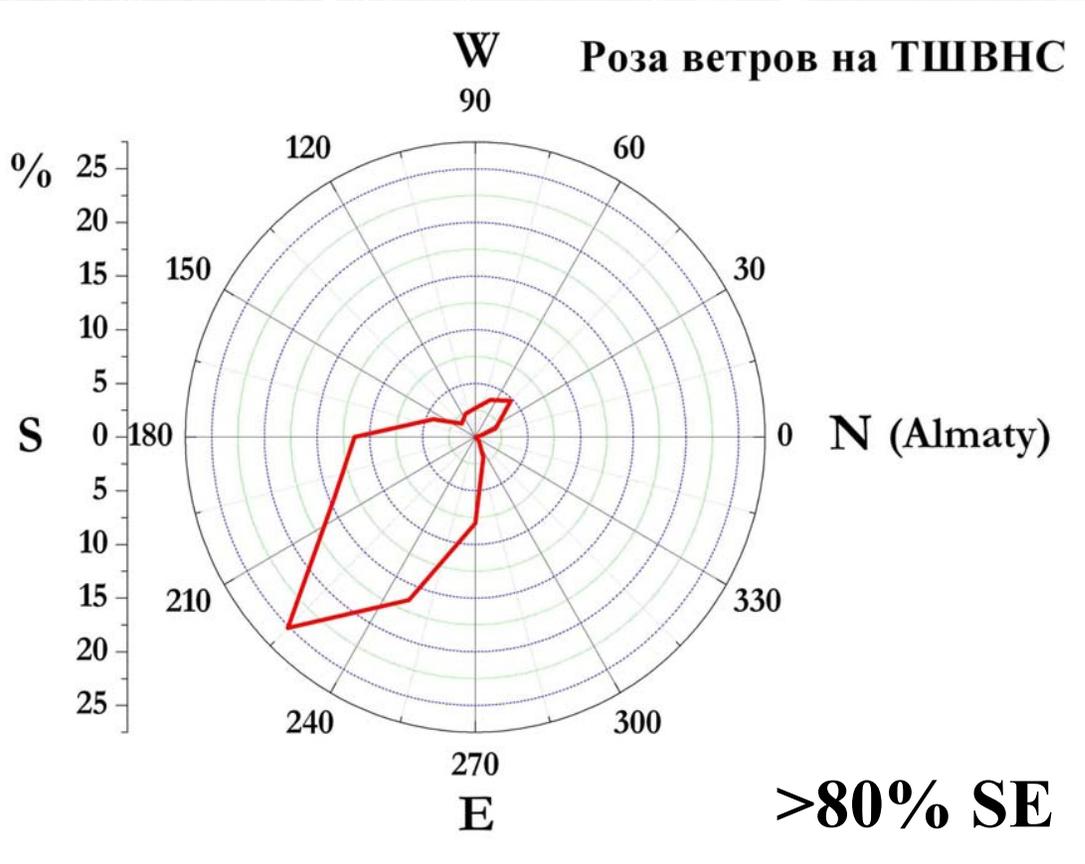
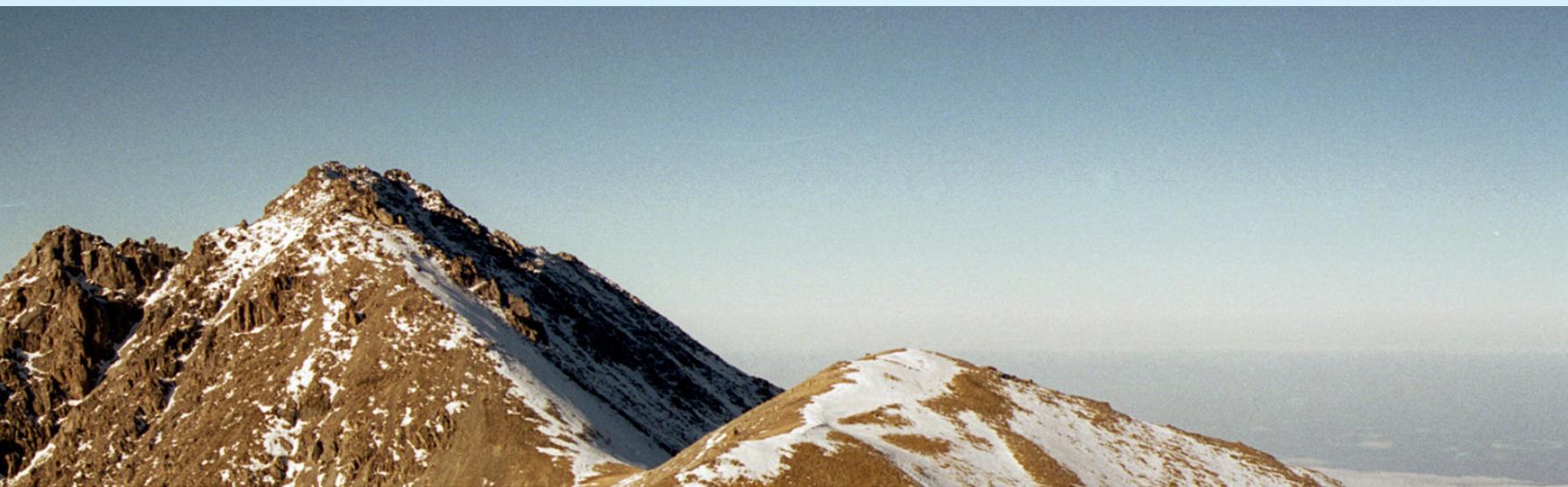


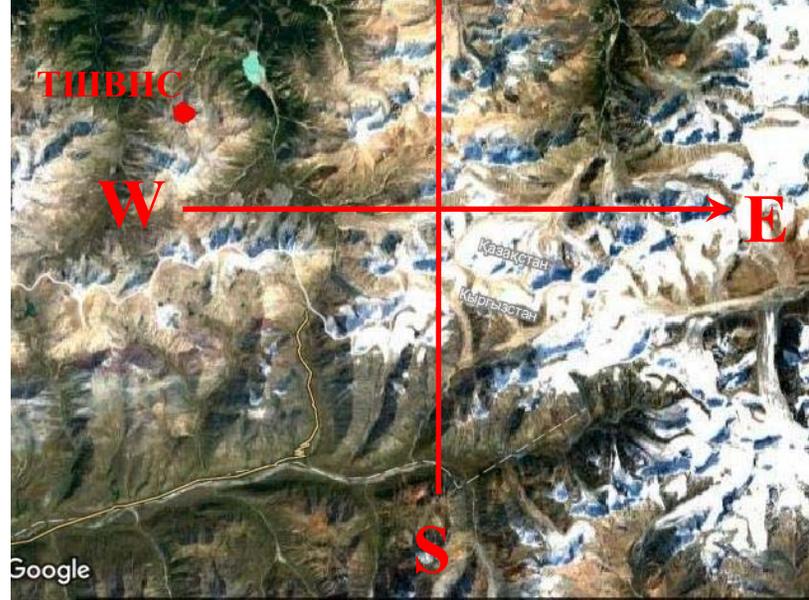
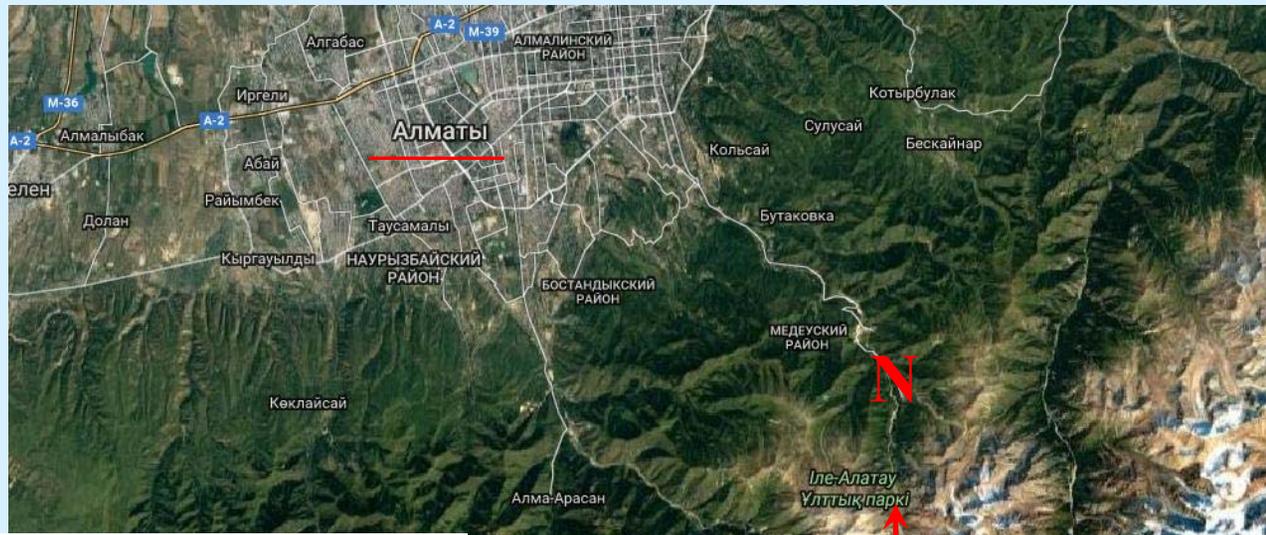
Распределение облачности по времени, август-декабрь 2016 (RP5.ru)



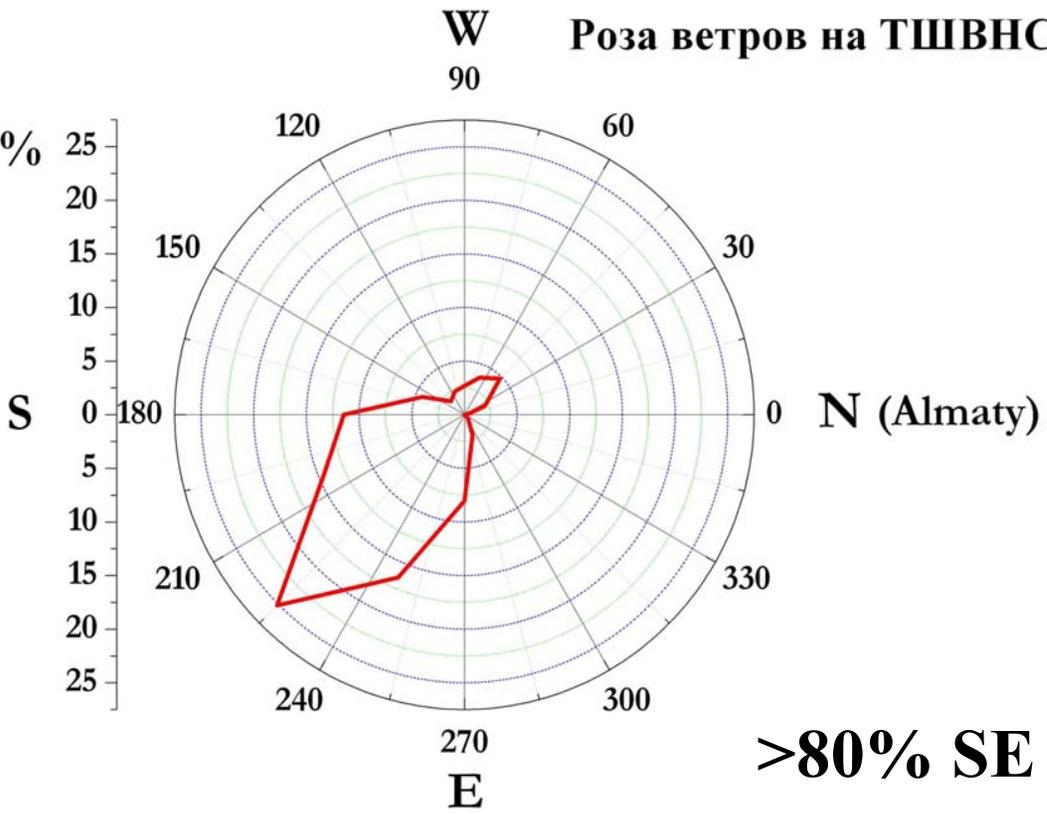
Яркость неба 21.2 - 21.6 зв.вел. с кв. угл. сек. в фильтре V.(apli.kz Тянь-Шаньская астрономическая обсерватория

Яркость неба 22 зв.вел./кв. угл. сек. в фильтре V (Памирская высокогорная обсерватория «САНКП»)]

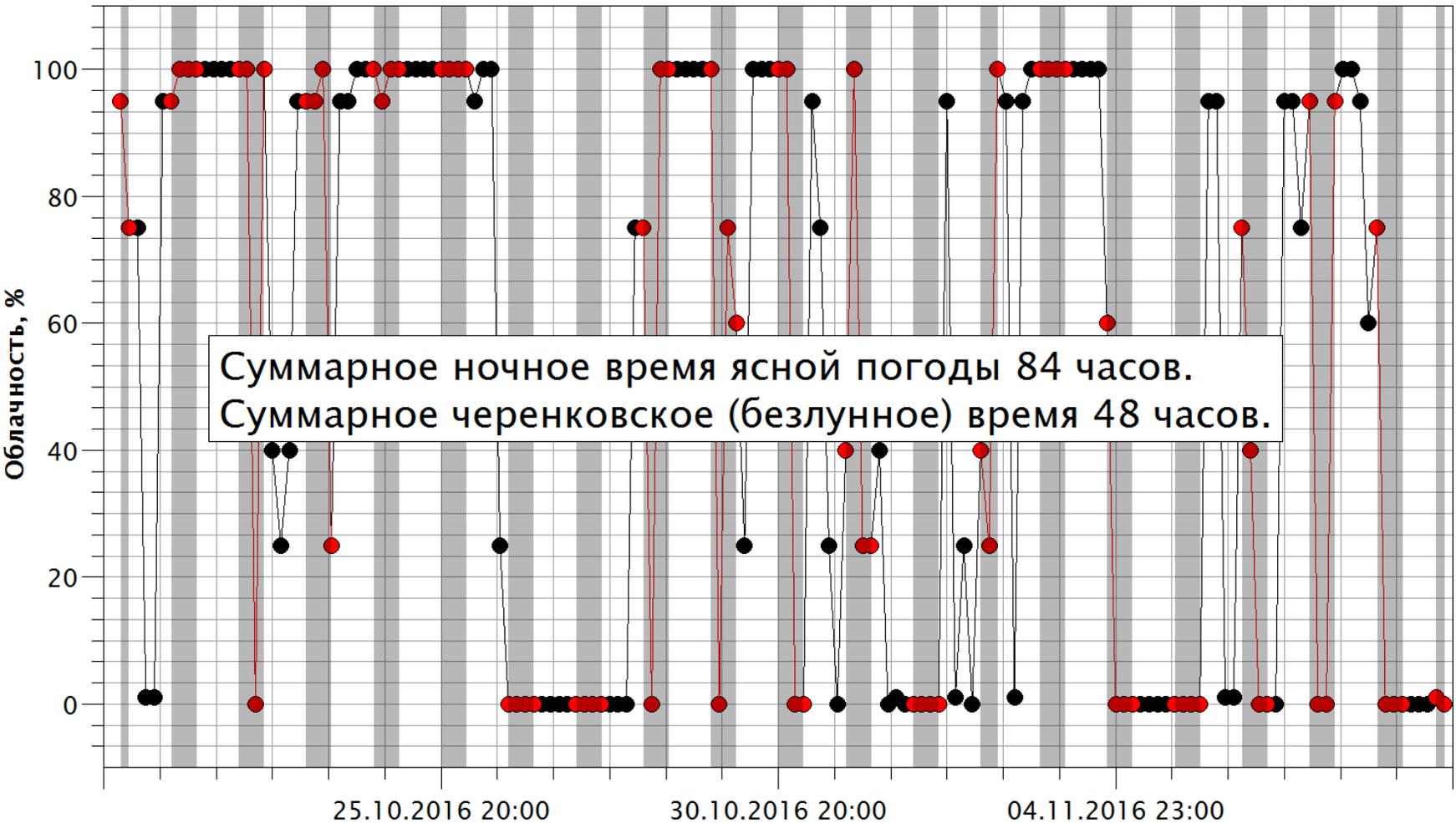




Роза ветров на ТШВНС



Доступное время наблюдения, октябрь–ноябрь 2016 (rp5.kz)



Доступное время наблюдения, март 2012 (rp5.kz)

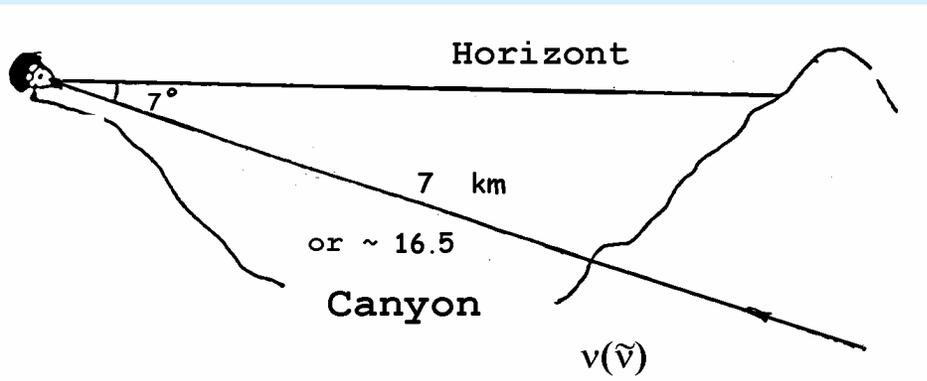


ПОИСКИ НЕЙТРИНО С ЭНЕРГИЕЙ $10^{13} - 10^{16}$ ЭВ ПО ШИРОКИМ АТМОСФЕРНЫМ ЛИВНЯМ, ГЕНЕРИРУЕМЫМ В ГОРНЫХ ХРЕБТАХ, ГАММА-ТЕЛЕСКОПОМ ШАЛОН



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 $> 7 \times 10^5 m^2$. 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.



97°

23.30.27
EVENT No 2

4	2	7	2.0	22	23	22	22	0	6	7	0
6	2	0	2	5	5	0	2	5	4	3	4
3	3	2	2	2	4	3	5	2	1	7	3
6	7	0	5	9	2	3	2	5	2	2	7
2	2	4	2	17	24	0	5	5	2	3	3
3	4	4	0	5	5	3	7	22	7	5	6
2	2	1	0	4	5	4	9	2	2	1	2
5	4	0	3	2	26	5	2	22	0	7	26
0	4	6	5	20	47	24	22	5	4	3	3
4	6	2	7	23	43	265	72	17	9	27	2
0	0	3	2.2	2	25	33	24	20	2	2	2
5	0	6	6	22	23	24	2	0	7	6	5

08.20.04
EVENT No 1

22:58:38.27

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	6	0	0	0	0	25	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	22	36	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0
0	0	0	0	12	5	0	0	14	22	0	0
0	0	0	0	0	0	0	50	52	7	0	0
0	0	0	0	5	0	0	5	8	22	4	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
0	0	0	0	0	0	0	5	7	0	53	0

EVENT No 4

23:45:46.2

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
0	0	8	0	0	0	0	0	0	67	6	0
0	0	6	0	0	0	0	0	0	28	0	0
0	0	0	0	0	0	20	0	8	22	0	0
0	0	0	0	0	0	7	20	6	7	0	0
0	0	0	0	0	0	6	27	0	6	0	0
0	0	6	6	0	0	0	24	42	5	0	0
0	0	0	10	0	0	22	37	6	0	0	0
0	0	0	0	0	0	26	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	20	40	27	0	0	0
0	0	0	0	0	0	22	75	0	0	0	0
0	0	0	8	0	22	22	22	10	0	0	0

12.20.04
EVENT No 6

2. 6: 7.70

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	23	42
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	22
0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	234	0
0	0	0	0	0	0	10	23	74	9	0	0
0	5	5	0	15	9	0	22	22	48	28	8
0	0	0	0	0	0	0	0	28	7	0	0
0	0	0	0	0	0	5	0	23	32	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0
0	0	0	8	0	0	0	22	7	0	0	0

10.01.05
EVENT No 2

23:27: 2. 2

24	27	8	8	0	22	22	22	5	5	0	6
30	0	26	7	0	0	0	0	0	0	0	0
24	246	63	79	23	0	0	0	0	0	0	0
20	68	98	27	22	8	5	0	0	0	0	0
0	7	284	65	45	0	0	23	0	0	28	0
0	10	0	52	23	23	0	0	0	0	0	0
0	9	23	42	43	0	26	29	0	0	0	0
0	0	0	0	42	22	0	29	5	9	23	0
0	0	0	0	12	5	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	16	0	20	5	8	225	8	0
0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	6	0	22	22	0	0	0	0	27

EVENT No 482

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	6	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	9	7	22	6	9	0	0	0	0
0	0	6	26	22	37	67	27	8	7	8	0
0	5	22	13	33	44	263	67	20	0	0	0
0	0	22	5	12	22	226	6	23	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	6	16	15	0	0
0	0	0	0	0	0	7	8	9	6	0	0

EVENT No 2228

0:27:25.35

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	5	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	9	7	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	5	22	0	9	0	0	0	0
0	0	0	0	0	25	22	0	5	0	0	0
0	0	0	0	0	25	52	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	225	44	20	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

EVENT No 226

2:29:32.92

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
0	0	0	0	0	0	0	5	26	22	0	0
0	0	0	0	0	0	22	29	22	0	0	0
0	0	0	0	6	8	28	22	9	0	0	0
0	0	8	0	8	22	52	23	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	26	0	0	0	0	0
0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	5	0
0	0	0	0	6	28	23	0	0	0	0	0
0	0	7	9	15	34	32	0	0	0	0	0
0	6	5	0	14	6	9	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0
0	7	7	7	5	5	0	0	0	0	0	0

EVENT No 2788

2:23:46. 6

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	5	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	43	28
0	0	0	0	0	0	0	0	20	37	203	50
0	0	0	0	0	0	0	0	7	35	20	6
0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	8	6
0	0	0	0	0	0	0	22	28	29	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

EVENT No 326

23: 8:49. 5

162	298	67	7	0	0	0	0	0	0	0	0
34	202	40	22	0	0	0	0	0	0	0	0
47	247	206	93	27	0	0	0	0	0	0	0
23	44	63	24	33	25	0	0	0	0	5	6
25	65	294	60	28	0	6	0	0	0	0	0
9	67	70	229	15	0	0	0	0	0	0	0
7	22	22	28	32	0	6	0	0	0	0	0
7	24	37	60	0	9	5	0	0	0	0	0
0	0	20	23	34	20	20	0	0	0	0	0
5	6	25	22	20	0	5	0	0	20	0	0
0	0	20	8	25	29	7	5	0	0	0	0
0	0	0	6	0	0	0	0	5	0	0	0

Наблюдения черенковских вспышек

под углом 97°

Черенковский телескоп ШАЛОН расположен на высоте 3338 м над уровнем моря. Горный хребет лежит в восточном направлении он имеет высоту более чем 4200 м и протяжённость порядка 20 км. Толщина вещества в поле зрения телескопа от 800 до 2000 км и площадь склона > 7*10⁵ м². Для телескопа, находящегося на расстоянии 7 км от горного склона, горная «тень» составляет ~ 7°. При таком расположении расстояние от телескопа до противоположного склона ~ 16.5 рад. единиц, что достаточно для развития электромагнитного каскада в условиях разреженной атмосферы. Целью наблюдений было выявить фоновые условия при отсутствии антропогенных источников света. В настоящее время, за 310 часов наблюдений было зарегистрировано 5 событий (97°), обладающих пространственно-временными характеристиками электронно-фотонного каскада. Энергия каскадов от 6 до 17.5 ТэВ. Изображения остальных 318 событий 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 .

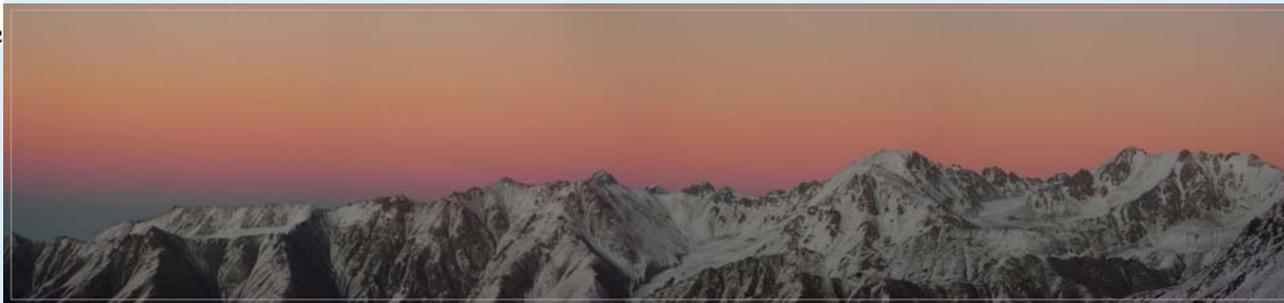
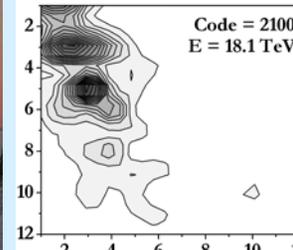
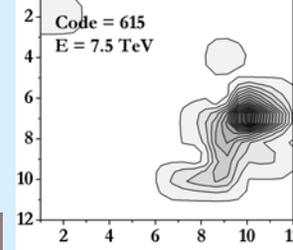
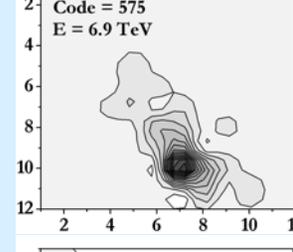
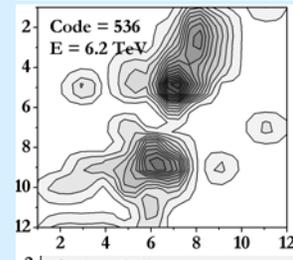
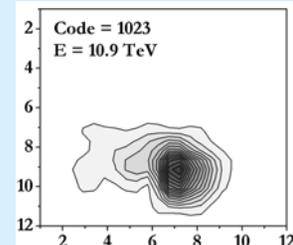
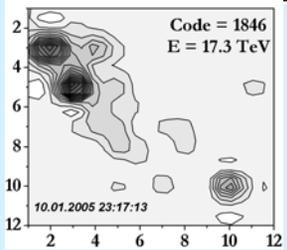
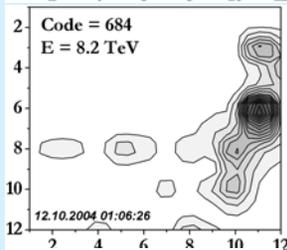
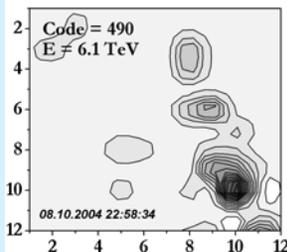
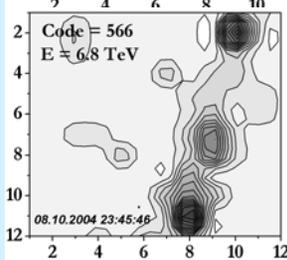
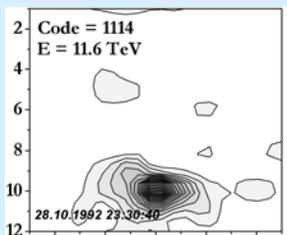


ПОИСКИ НЕЙТРИНО С ЭНЕРГИЕЙ $10^{13} - 10^{16}$ ЭВ ПО ШИРОКИМ АТМОСФЕРНЫМ ЛИВНЯМ, ГЕНЕРИРУЕМЫМ В ГОРНЫХ ХРЕБТАХ, ГАММА-ТЕЛЕСКОПОМ ШАЛОН

97°

0°

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

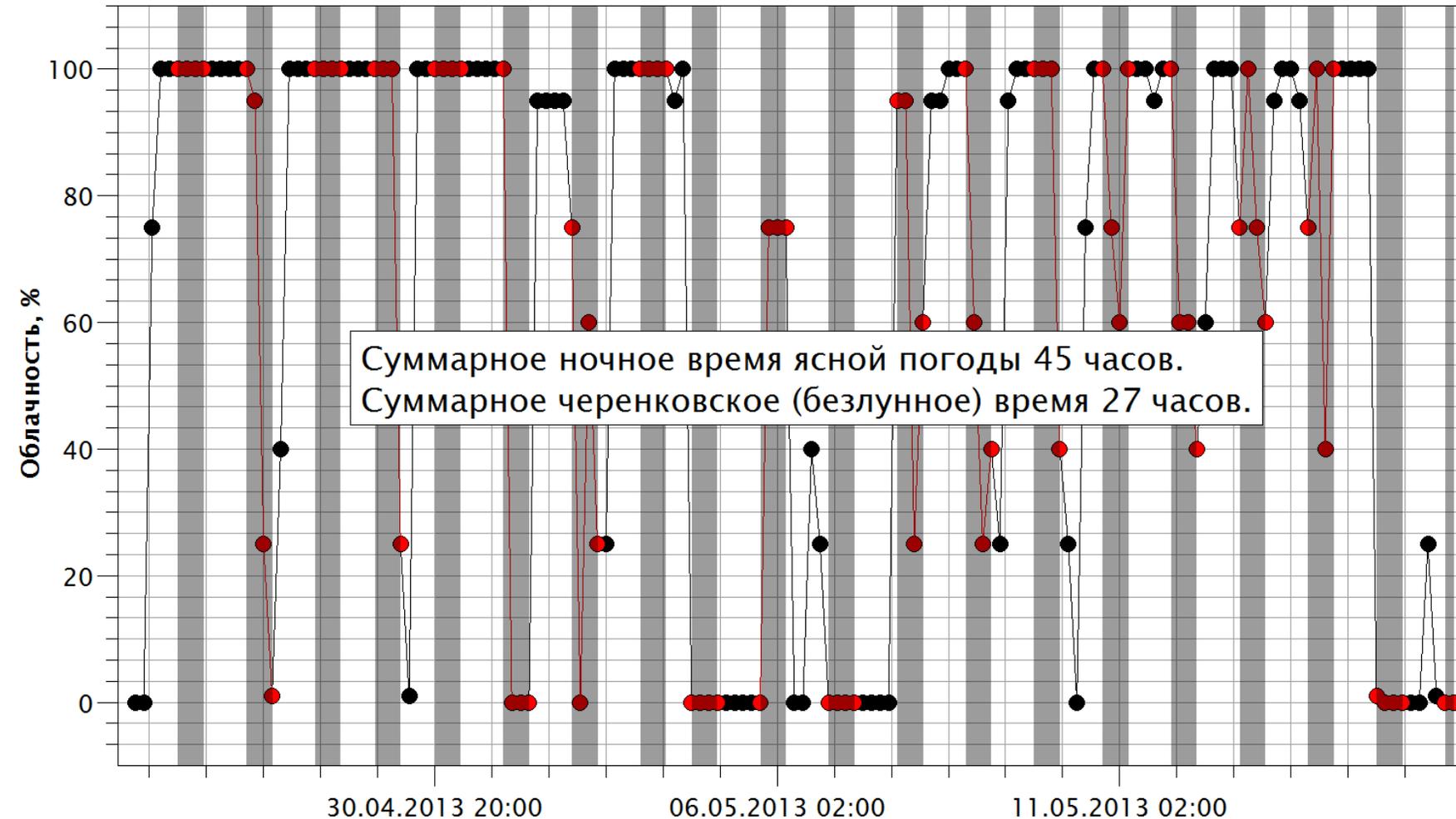
Продолжаются работы по поиску нейтрино с энергией $10^{13} - 10^{16}$ эВ по широким атмосферным ливням, генерируемым в горных хребтах гамма-телескопом ШАЛОН.

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].

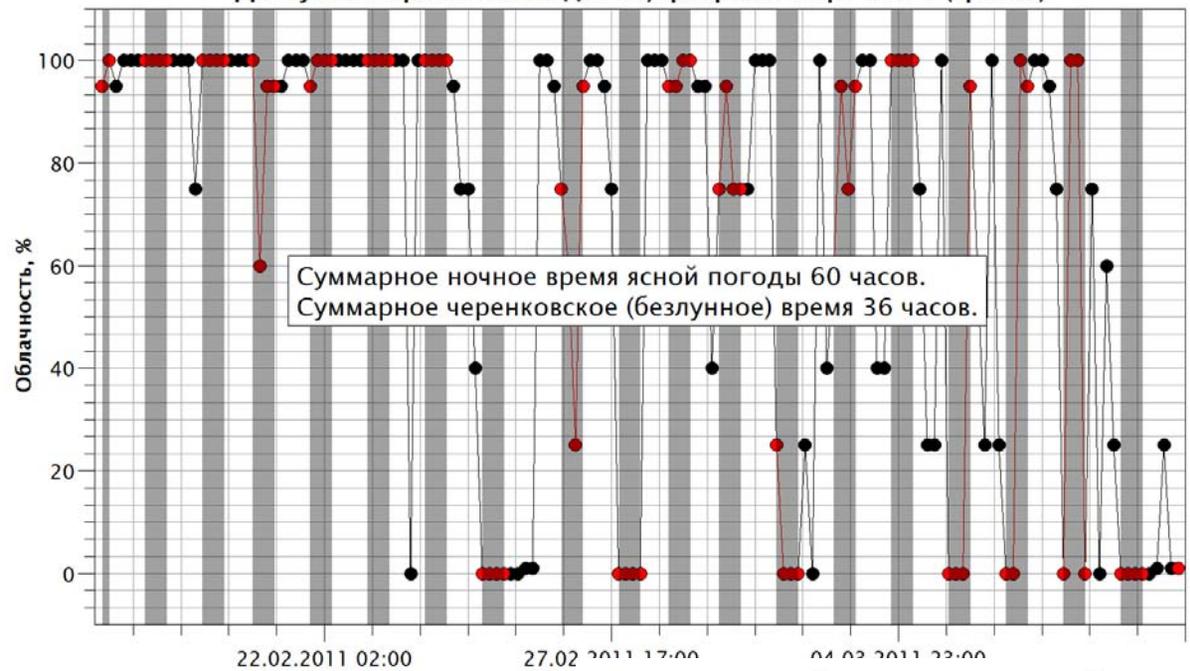
В настоящее время на телескопе ШАЛОН, за 355 часов наблюдений широких атмосферных ливней под большими зенитными углами – 97° зарегистрировано 5 событий с энергиями от 6 до 17 ТэВ, обладающих пространственно-временными характеристиками электронно-фотонного каскада от нейтрино. Возможным механизмом появления 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).



Доступное время наблюдения, апрель–май 2013 (rp5.kz)

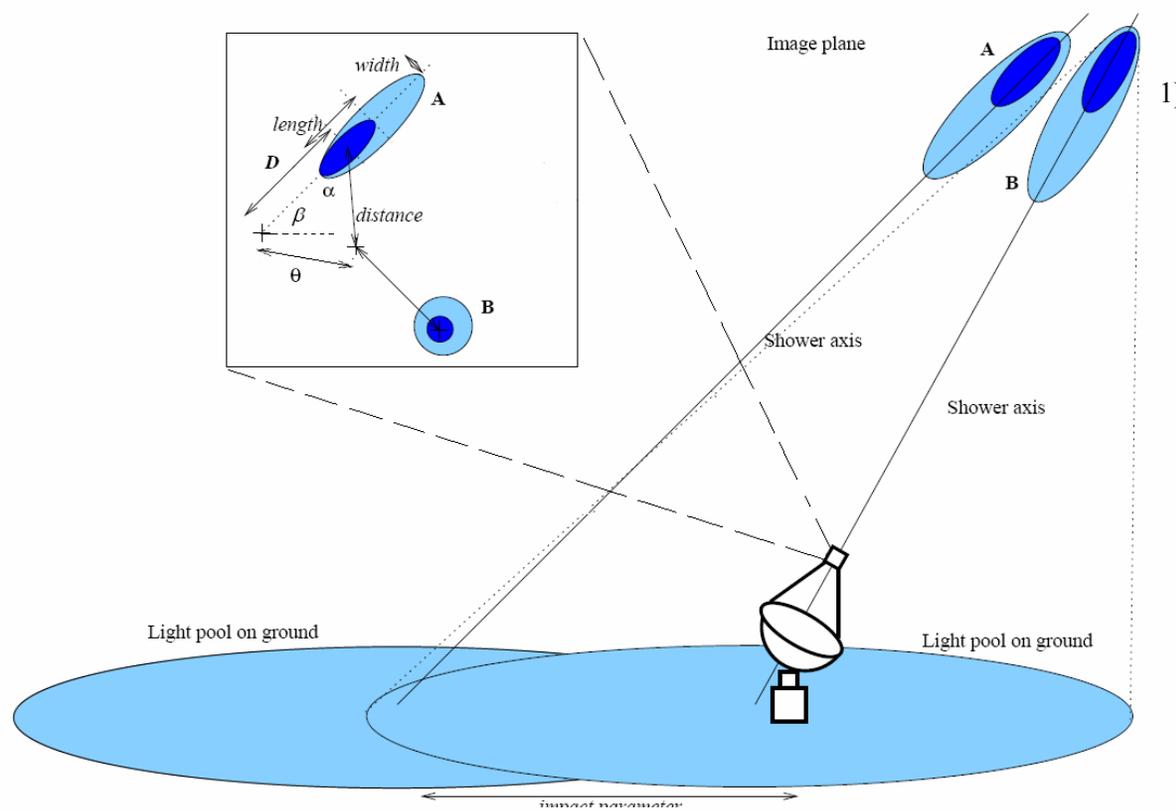


Доступное время наблюдения, февраль–март 2011 (gp5.kz)



Доступное время наблюдения, октябрь–ноябрь 2011 (gp5.kz)





Построение изображения делится на два этапа.
 1) Для каждого, отобранного с помощью критериев отбора, ливня ищутся координаты точки X следующим способом. Изображение ливня в матрице характеризуется эллипсом, с главной осью, представляющей собой проекцию оси ливня на плоскость светоприёмника. Положение источника находится на продолжении большой оси со стороны максимума ливня (соответствующей началу каскада). Расстояние от центра тяжести пятна до положения источника D зависит от расстояния на котором пришёл ливень и, в результате, вытянутостью ливня.

$$D = B \left(1 - \frac{1}{\text{length} / \text{width}} \right)$$

Оптимальное значение коэффициента пропорциональности $B = 5,1$ (э.я) было выбрано так, чтобы распределение направлений прихода ливней по углам было минимальным по ширине и центрировано по точке положения источника на матрице.

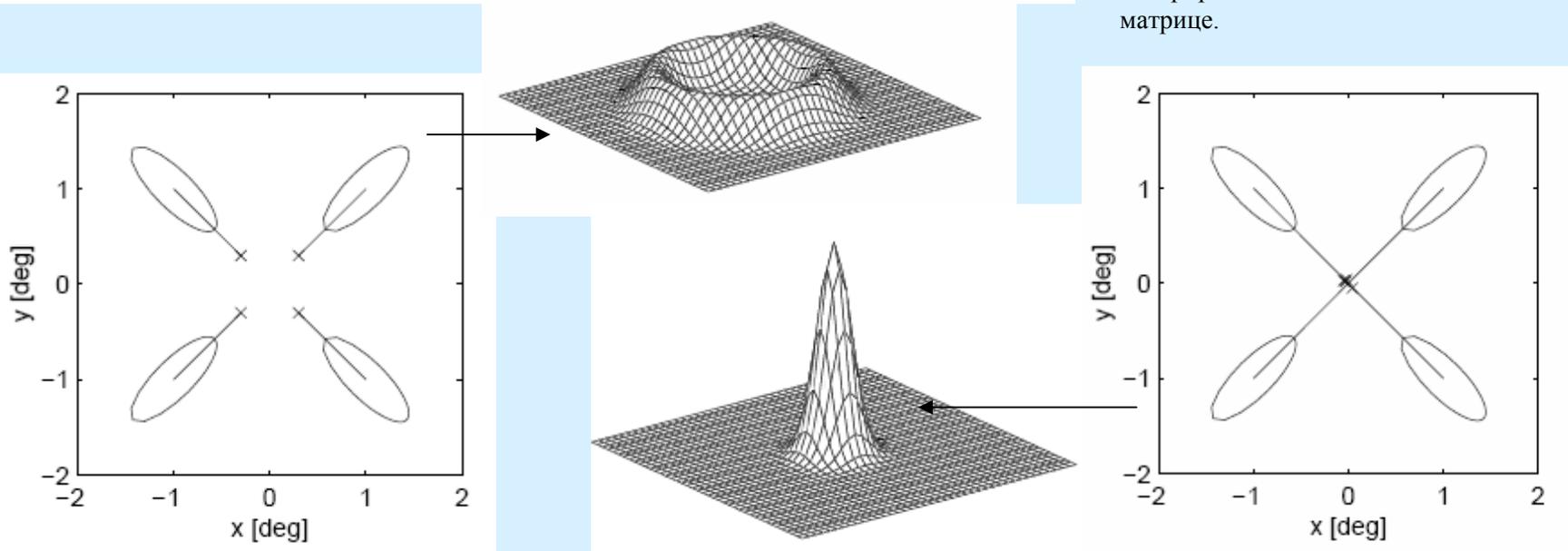


Table 1. Models Parameters (Tycho SNR)

d , kpc	N_H , cm^{-2}	σ	B_d , μG	B'_d , μG	K_{sp} , 10^{-4}	$F_{\gamma}^{\pi}/F_{\gamma}^{\text{IC}}$
3.1	0.5	5.25	420	360	4.2	40
3.3	0.4	5.15	412	350	5.1	27
4.0	0.2	4.85	388	320	9.5	7.7
4.5	0.1	4.6	368	309	15.	2.4

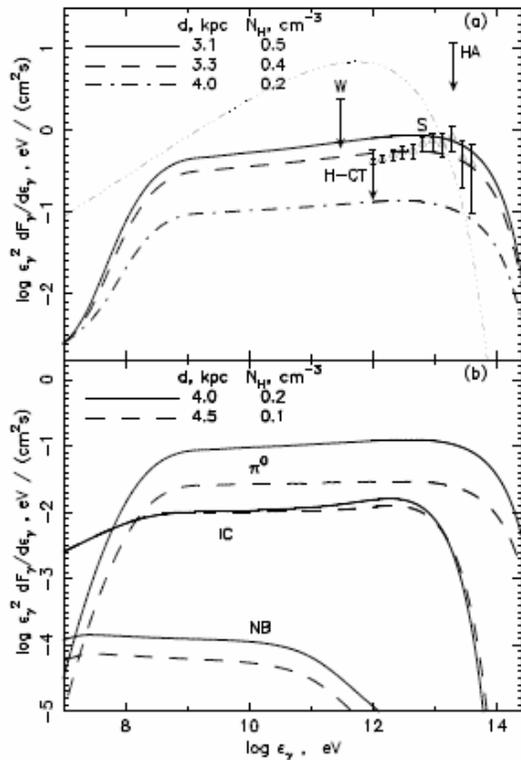


Fig. 4. Spectral energy distributions of the γ -ray emission from Tycho's SNR (total spectrum, which is the sum of all components, (a), and separately π^0 -decay, inverse Compton (IC) and non-thermal Bremsstrahlung (NB) components, (b)), as functions of γ -ray energy ϵ_γ , calculated for different source distances, together with the upper limits measured by the *HEGRA* (H-CT; Aharonian et al., 2001) and *Whipple* (W; Buckley et al., 1998) Cherenkov telescopes, the *HEGRA AIROBICC* (HA; Prah et al., 1997) upper limit, and data presented by *SHALON* (S; Simitsyna et al., 2007). The thin dot-dashed line in Fig. 4a represents the IC spectrum that is expected to be produced in the test particle case.

$10^{-2} \text{ eV}/(\text{cm}^2\text{s})$ at $10^8 < \epsilon_\gamma < 10^{13} \text{ eV}$ represents the possible limit. The contribution of non-thermal bremsstrahlung (NB) emission is negligibly small.

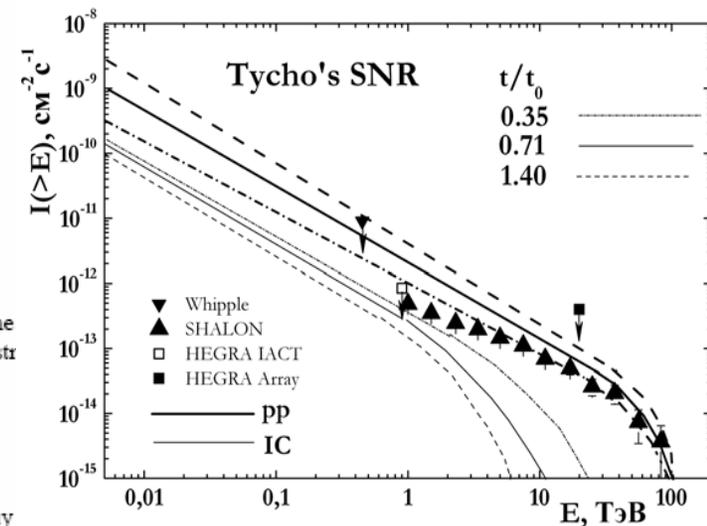
3.1. Simple IC emission model

The closeness of the predicted hadronic and IC γ -ray might at first sight also be seen to justify the simple consideration that a situation is possible or even likely in which no nuclear particles are accelerated at all, but only electrons. The observed upper limit on the γ -ray flux might then be explained by the IC γ -ray emission in the cosmic microwave background (CMB) radiation field of the same accelerated electrons which also produce the observed synchrotron emission.

A simple estimate of the expected IC TeV-emission can be obtained from the relation $\epsilon_\gamma F_{\gamma}^{\text{IC}} = \nu S_\nu w_{\text{ph}} / (B_d^2 / 8\pi)$ which is valid for the gamma ray energy $\epsilon_\gamma = 1.5 \times 10^{10} (h\nu/\text{eV})(10\mu\text{G}/B_d) \text{ eV}$ assuming that IC scattering takes place in the Thomson regime. Here $w_{\text{ph}} \approx 0.3 \text{ eV}/\text{cm}^3$ is the CMB energy density. Since according to Fig. 2 we have $\nu S_\nu \approx 100 \text{ eV}/(\text{cm}^2\text{s})$ for $h\nu = 1 \text{ keV}$ ($\nu \approx 2 \times 10^{17} \text{ Hz}$), the expected IC γ -ray energy flux at $\epsilon_\gamma = 15(10\mu\text{G}/B_d) \text{ TeV}$ produced by the same electrons is $\epsilon_\gamma F_{\gamma}^{\text{IC}} \approx 10(10\mu\text{G}/B_d)^2 \text{ eV}/(\text{cm}^2\text{s})$. These relations show that the IC γ -ray flux exceeds the *HEGRA* upper limit unless the interior magnetic field is considerably smaller than $10 \mu\text{G}$.

In order to illustrate the energy spectrum expected in the case of inefficient proton acceleration we present in Fig. 4a a IC γ -ray spectrum, calculated at $B_d = 20 \mu\text{G}$ with an electron energy distribution function $f_e(\epsilon) = A\epsilon^{-2} \exp(-\epsilon/\epsilon_{\text{max}})$, which corresponds to the test particle solution. The parameters A and $\epsilon_{\text{max}} = 13 \text{ TeV}$ in this expression were determined by fitting the observed synchrotron flux νS_ν at $\nu = 1 \text{ GHz}$ and $\nu = 3 \times 10^{18} \text{ Hz}$ (see Fig. 2 and 4).

As expected from the results of the nonlinear theory, this simple test particle theory which considers an inefficient production of nuclear CRs is quite inconsistent with the existing



Astronomy & Astrophysics,
v. 483 No. 2, 2008, pp. 529 – 535;
“Internal dynamics and particle
acceleration in Tycho's SNR”
H. J. Völk, E. G. Berezhko,
L. T. Ksenofontov

ШАЛОН интегральный поток:
 $F(>1 \text{ TeV}) = (4.16 \pm 0.42) \times 10^{-13} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

HEGRA верхний предел:
 $F(>1 \text{ TeV}) < 5.8 \times 10^{-13} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

Whipple верхний предел:
 $F(>0.4 \text{ TeV}) < 8 \times 10^{-12} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

Ann. Rev. Astron. Astrophys.,
v. 46, 2008, pp. 89 – 125;
“Supernova Remnants
of High Energy”
S.P. Reynolds