

**Наблюдения Активных Ядер Галактик с
красными смещениями $z = 0.0179 - 1.375$
на зеркальном черенковском телескопе
ШАЛОН**

В.Г. Синицина, А.Ю. Алавердян, М.С. Андреева,
К.А. Балыгин, С.С. Борисов, И.Г. Волох, И.А. Иванов,
А.М. Кириченко, А.И. Климов, И.П. Кожухова,
Ю.Б. Мамаева, Р.М. Мирзафатихов, Н.И. Мосейко,
С.И. Никольский, А.И. Паламарчук, В.Ю. Синицина

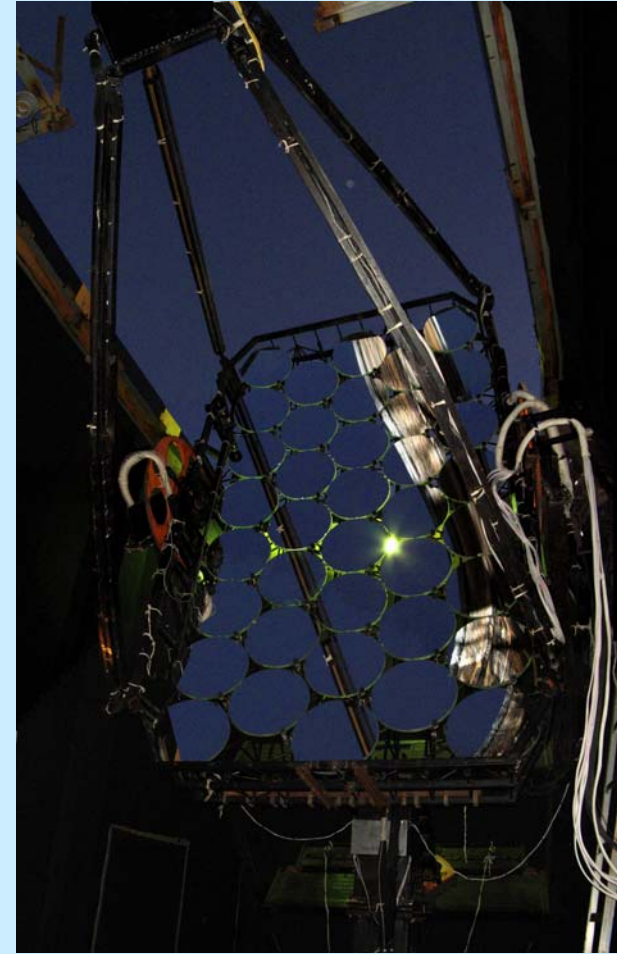
Физический институт им. П.Н. Лебедева



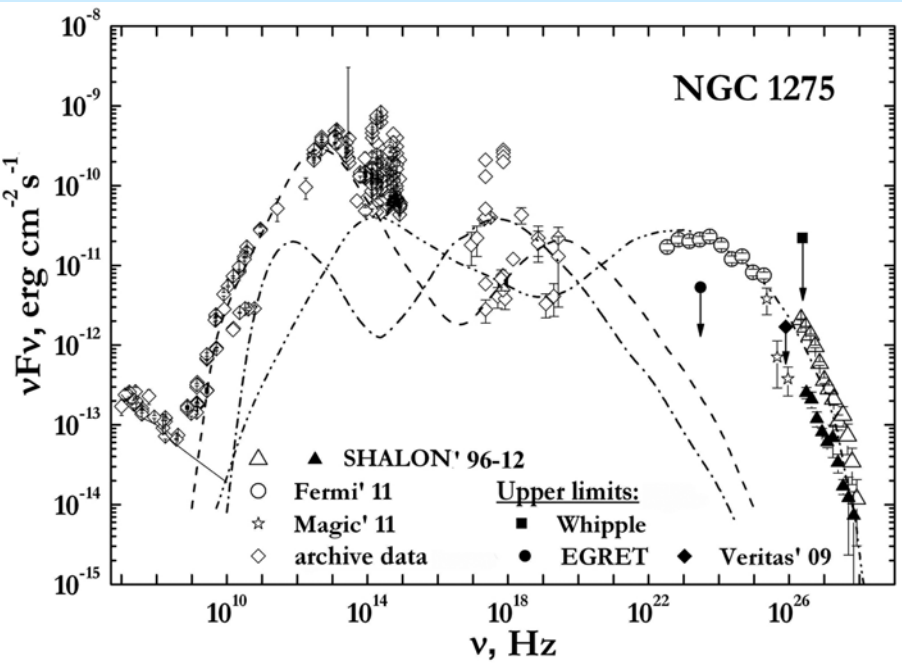


Very high energy gamma-ray emission of metagalactic sources

В эксперименте ШАЛОН, при энергиях 800 ГэВ – 100 ТэВ, проведены наблюдения Активных Галактических Ядер (АГЯ), находящихся на различных расстояниях с красными смещениями от 0.0179 до 1.375. Среди них такие известные блазары как Mkn 421 ($z=0.031$), Mkn 501 ($z=0.034$) и Mkn 180 ($z=0.045$). Представлены результаты долговременных наблюдений радио квазаров с плоскими спектрами, среди которых, например, такой известный во всех диапазонах энергий объект как 3с454.3 ($z=0.859$); квазар с большим красным смещением 1739+522 (4с+51.37) ($z=1.375$) и наблюдаемые Fermi LAT при высоких энергиях квазары 4с+31.63 ($z=0.295$), 4с+55.17 ($z=0.896$), а также известного объекта типа BL Lacerta - OJ 287 ($z=0.306$), который был недавно обнаружен в наблюдениях зеркальным черенковским телескопом ШАЛОН при сверхвысоких энергиях. Результаты наблюдений всех объектов представлены спектрами γ -излучения, спектральными энергетическими распределениями и изображениями при энергиях больше 800 ГэВ.



NGC 1275 (z=0.0179)



Спектральное энергетическое распределение гамма-излучения от NGC 1275. Δ , \blacktriangle – Данные наземного черенковского телескопа ШАЛОН. \circ – Данные телескопа Fermi LAT; а также данные телескопа Magic. Стрелками показаны верхние пределы по данным EGRET, Whipple и VERITAS.

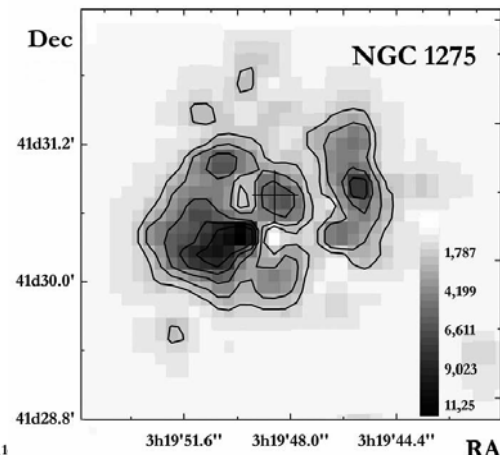
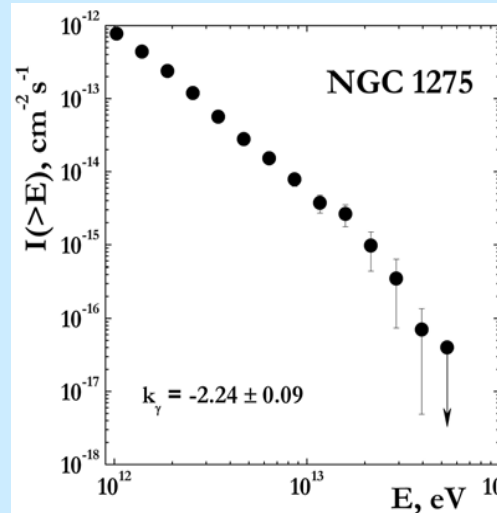
Недавно активная галактика NGC 1275 также была зарегистрирована наземным зеркальным черенковым телескопом MAGIC при энергиях выше 100 ГэВ в наблюдениях 2010–2011 гг.

В 1996 г. в наблюдениях зеркальным черенковым телескопом ШАЛОН был обнаружен новый метагалактический источник гамма-излучения сверхвысоких энергий $E > 800$ ГэВ. Положение источника излучения согласуется по своим координатам с сейфертовской галактикой NGC 1275.

Гамма-излучение от NGC 1275 было зарегистрировано телескопом ШАЛОН при энергиях больше 800 ГэВ на уровне 31.4σ определяемом по Li&Ma (за 271.2 hours). Среднее значение интегрального потока при энергиях больше 800 ГэВ для NGC 1275 составляет:

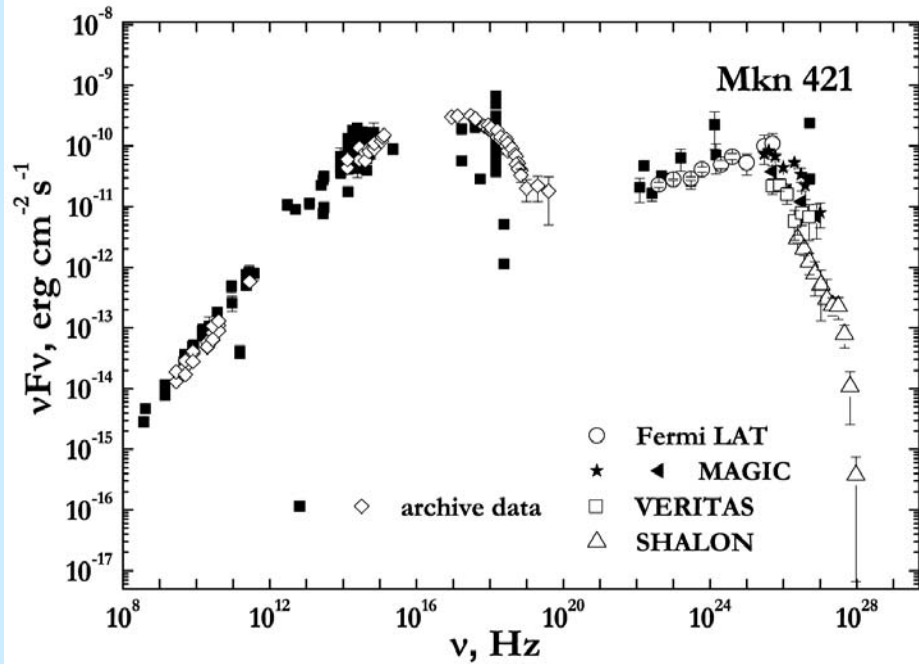
$(0.78 \pm 0.05) \times 10^{-12} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Наблюдаемые вариации потока гамма-излучения, в среднем, не превышают 20% от указанного значения.

Энергетический спектр гамма-квантов в наблюдаемом диапазоне энергий от 0.8 ТэВ хорошо описывается степенным законом с показателем -2.24 ± 0.09 .



Markarian 421 (z=0.031)

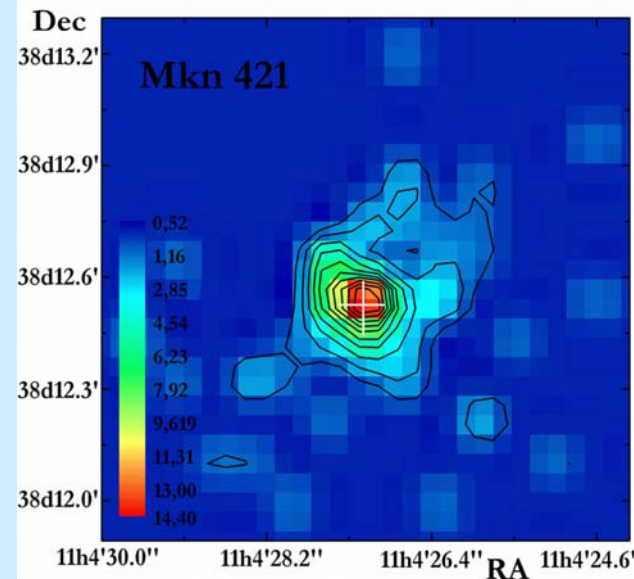
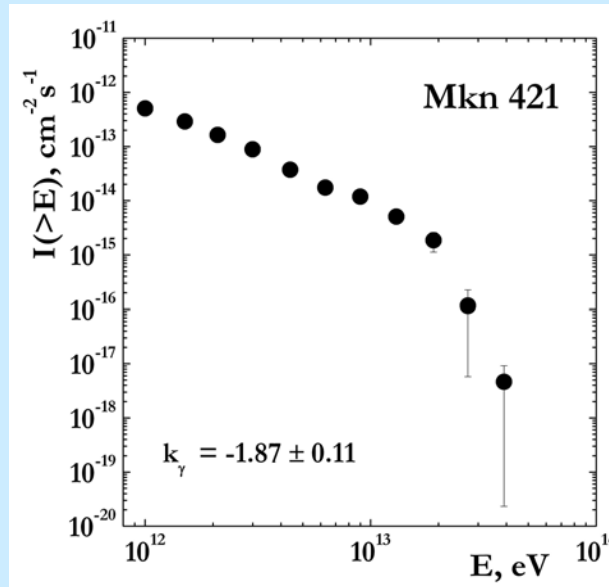
Активное галактическое ядро Маркарян 421, находящееся на расстоянии ~ 124 мпк ($z = 0.031$), стало первым и самым близким метагалактическим источником типа блазар, наблюдаемым в ТЭВ – ном диапазоне энергий. Маркарян 421 был впервые зарегистрирован черенковским телескопом Whipple в 1992 году. Прежде, несколько активных галактических ядер наблюдалось при высоких энергиях только спутниках (эксперимент EGRET). В настоящее время этот источник является объектом интенсивных исследований такими телескопами как VERITAS, SHALON, TACTIC, HESS, MAGIC. Систематические наблюдения Mkn 421 ведутся телескопом ШАЛОН с 1994 года и совпадают с данными наблюдений ведущих телескопов мира. Значение интегрального потока гамма-квантов, усреднённого за весь период наблюдений с 1994 по 2013 год, составляет $(0.63 \pm 0.05) \times 10^{-12}$ см²сек⁻¹. Интегральный спектр, полученный за указанный период времени в интервале энергий 1 – 10ТЭВ описывается степенной функцией с показателем $\gamma = -1.87 \pm 0.11$. Отличительной особенностью блазаров, (к которым относится Mkn421), является переменность излучения во всех диапазонах энергий на временных шкалах от минут до нескольких лет.



Повышение интенсивности при энергиях >1 ТЭВ зарегистрировано телескопом ШАЛОН в 1997 и 2004 годах. При этом значения потоков составило:

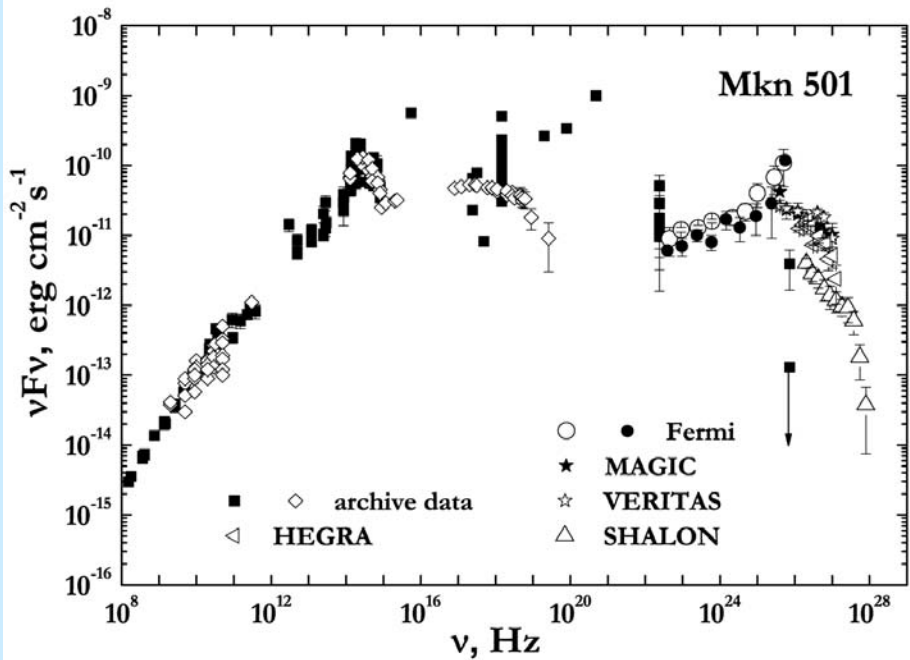
$(1.01 \pm 0.25) \times 10^{-12}$ см²с⁻¹ и $(0.96 \pm 0.2) \times 10^{-12}$ см²с⁻¹, соответственно.

Подобные изменения потока наблюдались также и телескопами Whipple, HEGRA, TACTIC, HESS (60о – 67°), MAGIC (45°).

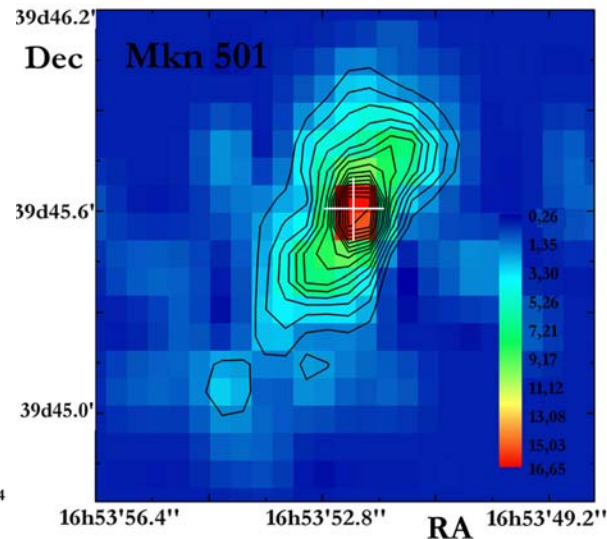
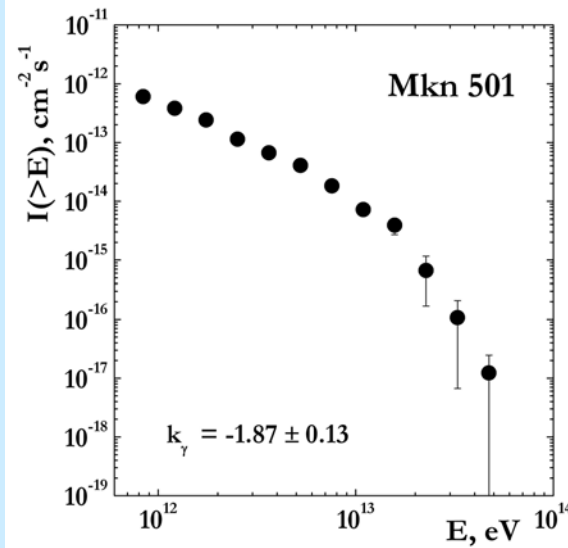


Markarian 501 (z=0.034)

Открытие Mkn421 при сверхвысоких энергиях инициировало поиски γ -излучения от активных галактических ядер, результатом которых стало открытие в 1995 году блазара Mkn 501 с красным смещением $z=0.034$ телескопом Whipple. В отличие от Mkn 421, этот источник, до своего открытия в ТэВ-ном диапазоне энергий, не наблюдался спутником EGRET в МэВ-ых энергиях. Результаты наблюдения Mkn 501 телескопом ШАЛОН совпадают с данными наблюдений телескопов Whipple, TACTIC, HESS, MAGIC. Средний поток γ -квантов от Mkn 501 равен $(0.86 \pm 0.06) \times 10^{-12} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$, а показатель степенного спектра $\gamma = -1.87 \pm 0.13$. Мощная вспышка Mkn501 была зарегистрирована в 1997 и 2006 годах действующими наземными телескопами. Интенсивность излучения γ -квантов по данным ШАЛОН составила $(1.21 \pm 0.13) \times 10^{-12} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ и $(2.05 \pm 0.23) \times 10^{-12} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ соответственно, что сопоставимо с величиной потока от такого мощного источника как Крабовидная туманность.



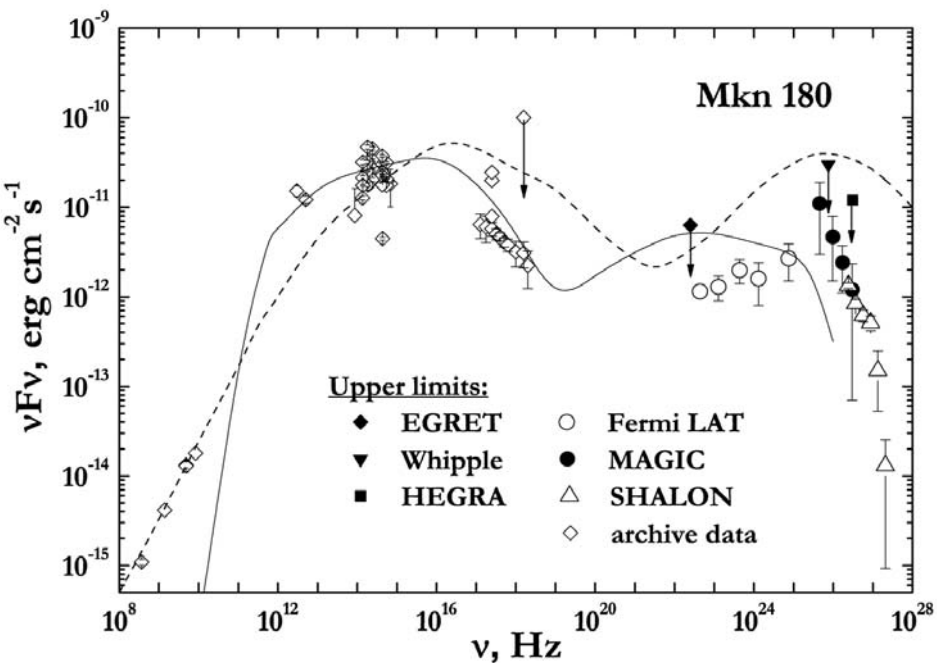
Последние повышения потока источника Mkn 501 при сверхвысоких энергиях были отмечены в период между мартом и июнем 2009 года. Повышения потока отмечены 23-24 апреля и 23-25 мая со средним значением: $(3.41 \pm 0.70) \times 10^{-12} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Это увеличение коррелировало со вспышкой наблюдаемой телескопами VERITAS, MAGIC, Whipple и при низких энергиях Fermi LAT.



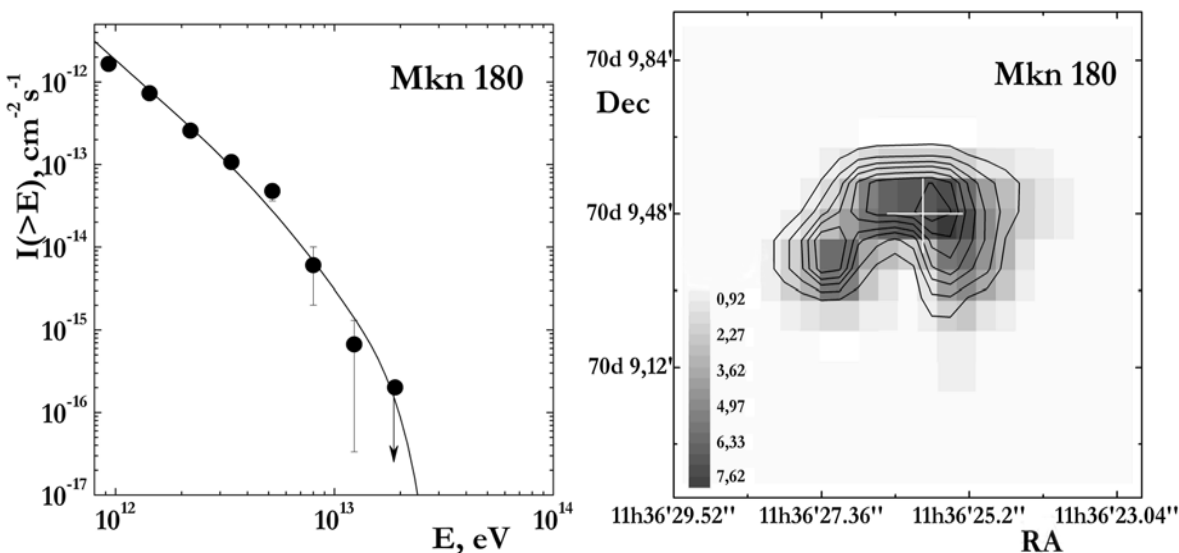
Mkn 180 (z=0.045)

Mkn 180, с красным смещением $z = 0.045$, известный метагалактический объект, относящийся к классу блазаров.

Активные галактические ядра, излучающее гамма-кванты сверхвысоких энергий, являются переменным во всех диапазонах энергий, при этом существует корреляция вспышечной активности при низких энергиях (например в рентгене) и при высоких энергиях. Недавно, также, была обнаружена и корреляция оптического и ТэВ-ного излучения. Mkn 180 был зарегистрирован как источник ТэВ-ого гамма-излучения телескопом MAGIC во время вспышки в оптическом диапазоне.



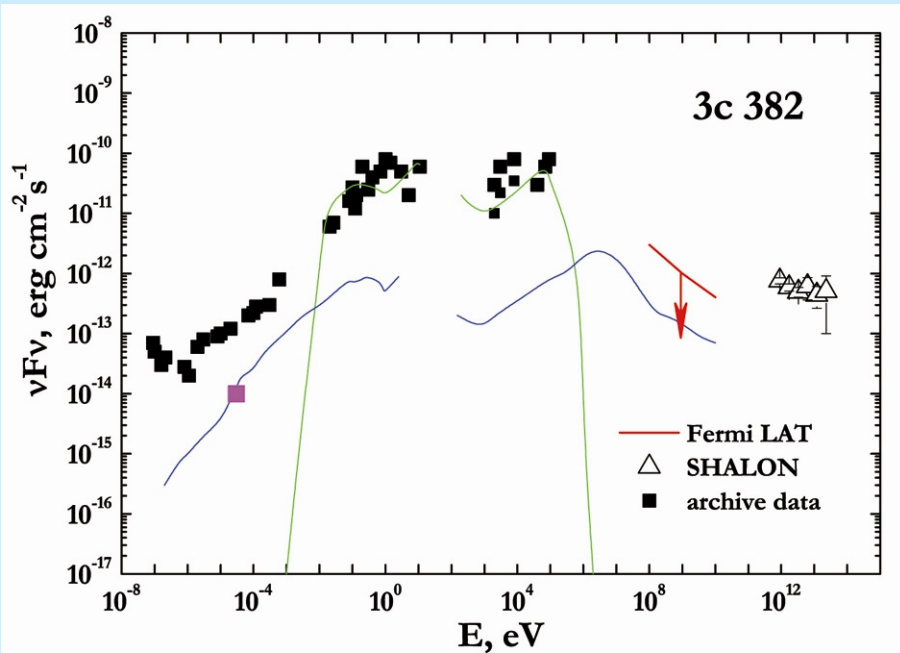
Спектральное энергетическое распределение γ -излучения от Mkn180. Δ — данные наземного черенковского телескопа ШАЛОН в сравнении с данными других экспериментов.



Mkn 180 наблюдался телескопом ШАЛОН 71. ч в разные годы (с 2007 по 2012) в ясные безлунные ночи под зенитными углами от 25° до 34° градусов. Гамма-излучение от Mkn 180 было зарегистрировано телескопом ШАЛОН при энергиях больше 800 ГэВ на уровне 14.4σ определяемом по Li&Ma. Переменности излучения обнаружено не было. Энергетический спектр гамма-квантов в наблюдаемом диапазоне энергий от 0.8 ТэВ хорошо описывается степенным законом с показателем -2.16 ± 0.15 . Средний поток γ -квантов от Mkn 180 равен

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

3c 382 (z=0.0578)



3c382 зарегистрирован как источник гамма-излучения сверхвысоких энергий в наблюдениях телескопа ШАЛОН (с 2009 по 2013 годы) на уровне 8.2σ определяемом по Li&Ma.. Средний поток γ -квантов от 3c382 при энергиях больше 0.8ТэВ равен

$$F(E > 0.8\text{TeV}) = (0.95 \pm 0.20) \times 10^{-12} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}.$$

Энергетический спектр гамма-квантов в наблюдаемом диапазоне энергий от 0.8 ТэВ хорошо описывается степенным законом с показателем -1.08 ± 0.11 .

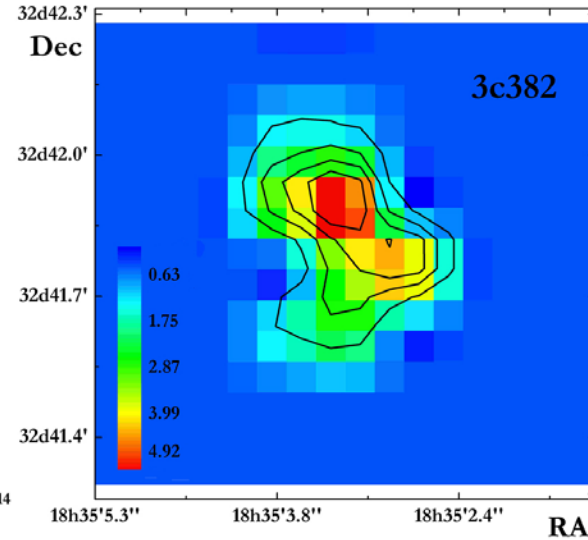
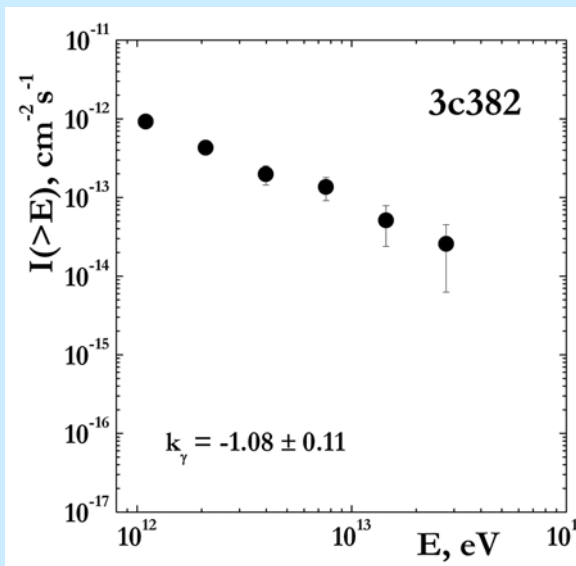
Наблюдения 3c 382 при высоких энергиях космическим телескопом Fermi LAT установили значение верхнего предела в диапазоне 0.1–100ГэВ.

Спектральное энергетическое распределение гамма-излучения от 3С 382. Δ — данные наземного черенковского телескопа ШАЛОН в сравнении с данными других экспериментов.

The 3c 382 observational data by SHALON:

Left: The γ -ray integral spectrum;

Right: 3c 382 image at energy range of > 800 GeV by SHALON;

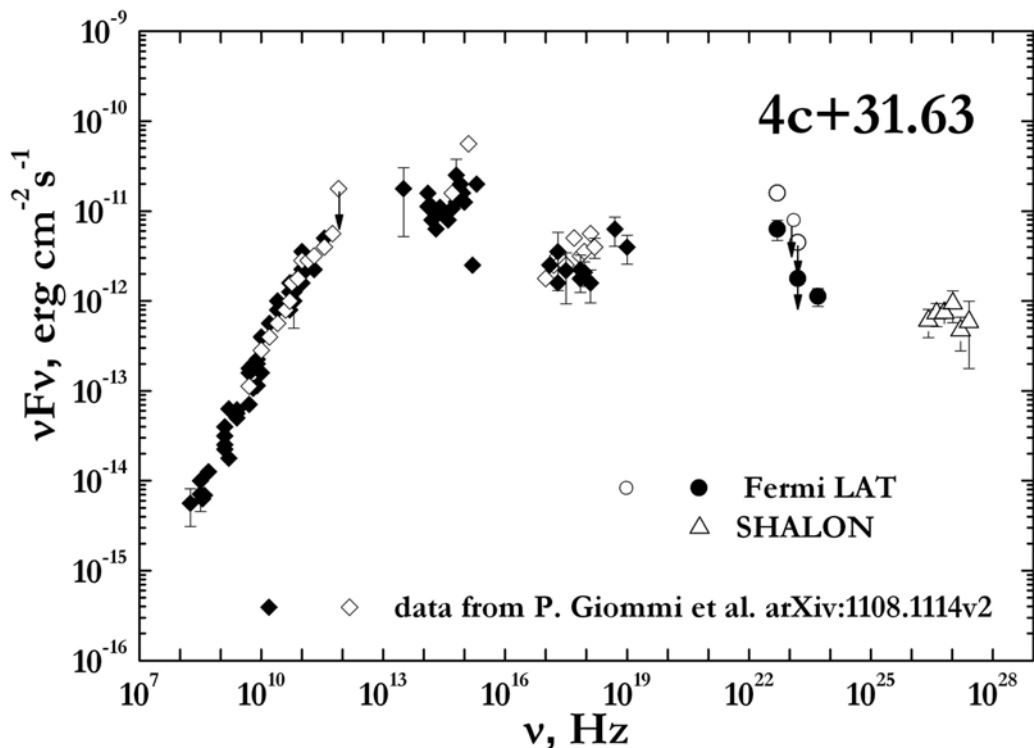


4c +31.63 (z=0.295)

4C+31.63, с красным смещением $z = 0.295$, метagalактический объект, относящийся к классу блазаров.

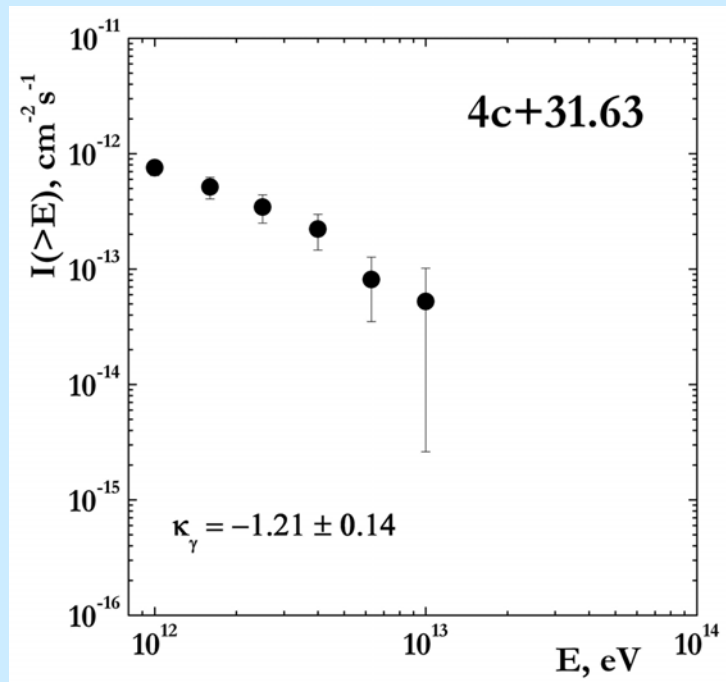
4C+31.63 наблюдался телескопом ШАЛОН 34ч в 2012, 2013гг. в ясные безлунные ночи под зенитными углами от 12° to 35° . После стандартного анализа γ -излучение от 4C+31.63 было зарегистрировано телескопом ШАЛОН при энергиях > 800 ГэВ на уровне 7.3σ .

$$I_{4c+31.63}(>0,8\text{ТэВ})=(0.72\pm 0.18)\cdot 10^{-12} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$$

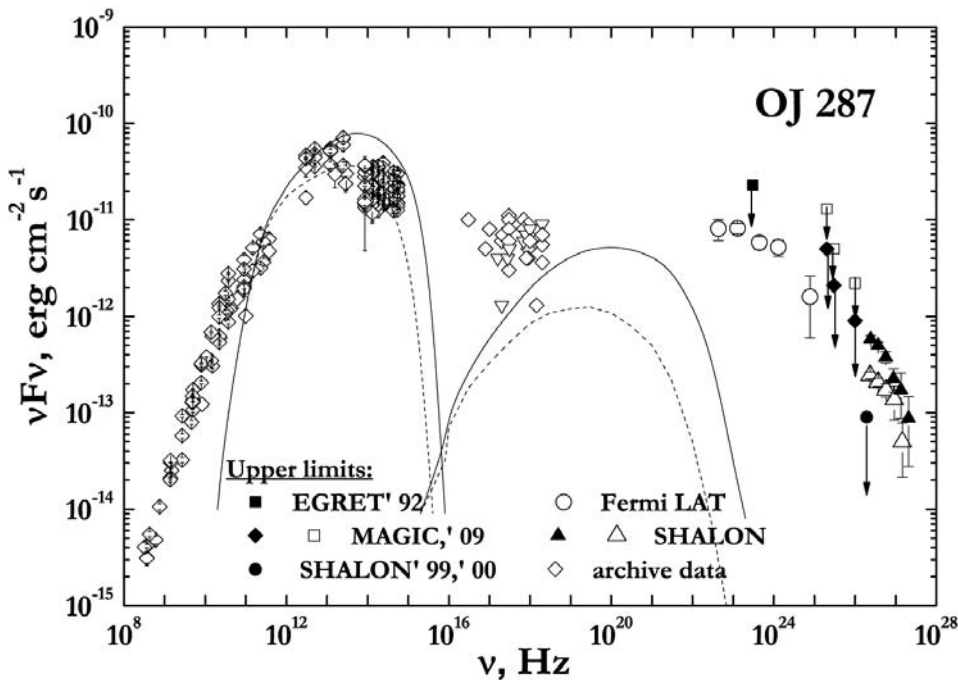


Спектральное энергетическое распределение гамма-излучения от 4C+31.63. Δ — данные наземного черенковского телескопа ШАЛОН в сравнении с данными других экспериментов: при высоких энергиях Fermi/LAT(2011).

В наблюдениях ШАЛОН 2012, 2013гг. был обнаружен новый метagalактический источник гамма-квантов сверхвысоких энергий. Положение источника излучения, согласуется по своим координатам с объектом 3C+31.63 типа FSRQ, зарегистрированным, прежде, космическим телескопом Fermi LAT при высоких энергиях.



OJ 287 (z=0.306)



Спектральное энергетическое распределение γ -излучения от OJ 287 по данным наземного черенковского телескопа ШАЛОН в сравнении с данными других экспериментов: EGRET, Fermi/LAT; верхние пределы MAGIC. Δ — данные наземного черенковского телескопа ШАЛОН; Верхние пределы при 0.8 ТэВ соответствуют данным наблюдений ШАЛОН в 1999 и 2000 годах; \blacktriangle - спектр, наблюдаемый ШАЛОН в период повышения потока γ -квантов 2010 года. OJ 287 самый слабый метагалактический источник, наблюдаемый телескопом ШАЛОН.

OJ 287 наблюдался телескопом ШАЛОН 47.3. ч в разные годы (1999, 2000, 2008 - 2010) под зенитными углами от 22° to 34° . В наблюдениях 1999 и 2000 годов установили только значение верхнего предела для гамма-излучения OJ 287 при энергии выше $0.8 < 1.1 \times 10^{-13} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$.

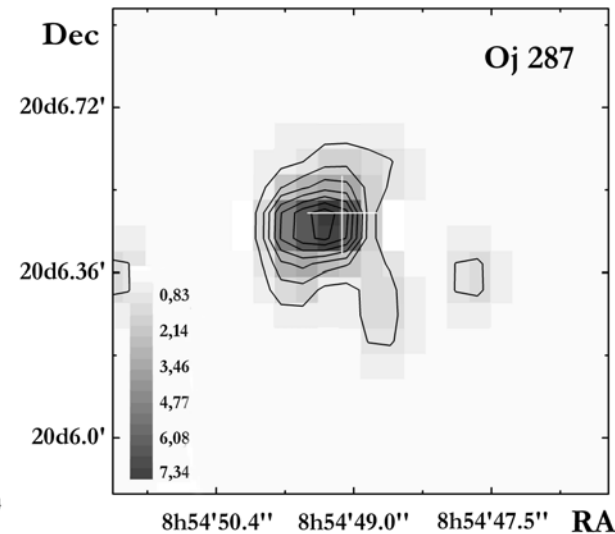
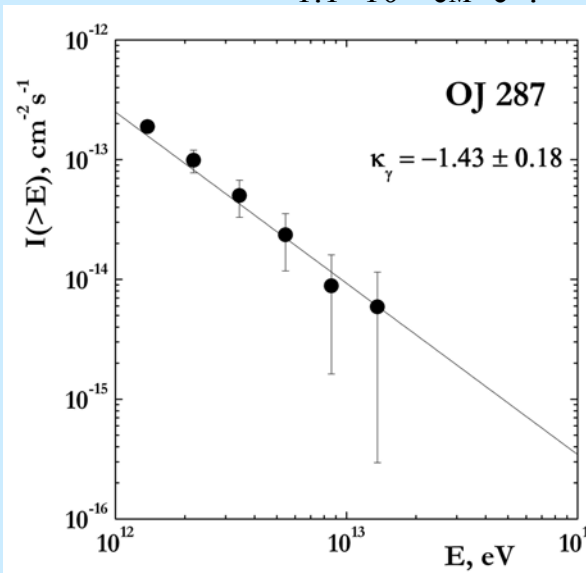
В наблюдениях ШАЛОН 2008 – 2010гг (31.2 часа) было обнаружено слабое γ -излучение от OJ287. Гамма-излучение было зарегистрировано телескопом ШАЛОН при энергиях > 800 ГэВ на уровне 6.9σ с интегральным потоком.

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

Повышения потока над средним значением были отмечены 14, 15 ноября и 4, 5 декабря 2010 года до величины

$$F(E > 0.8 \text{TeV}) = (0.63 \pm 0.15) \times 10^{-12} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}.$$

(на уровне 6.2σ) с более «мягким» спектром, с показателем -1.96 ± 0.16 .

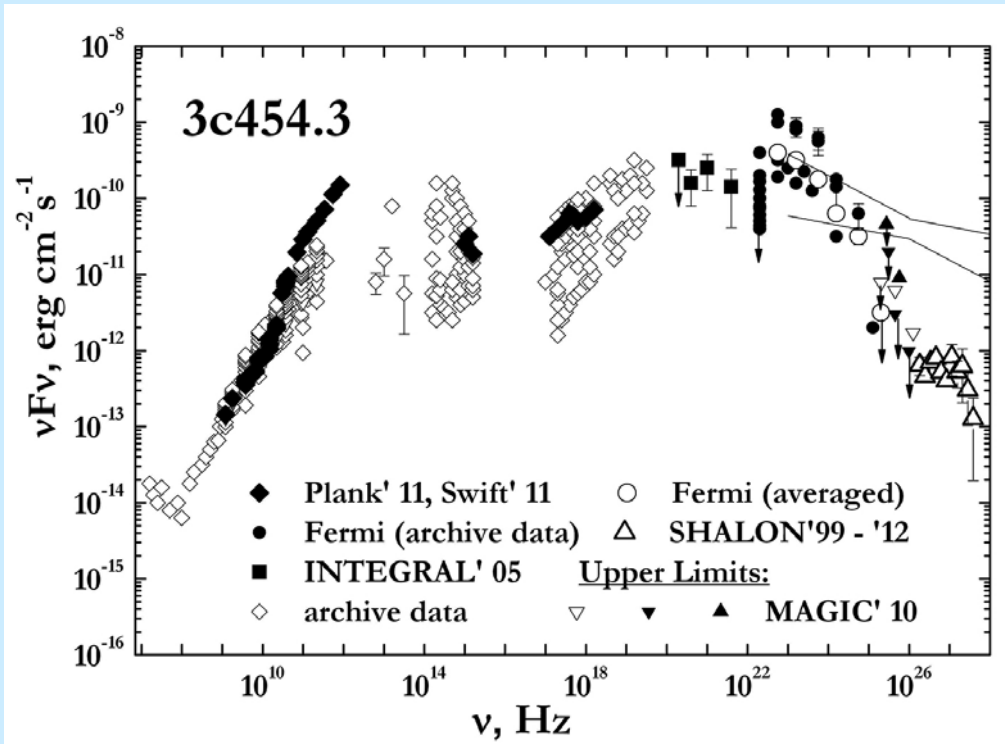


3c 454.3 (z=0.859)

3C 454.3, с красным смещением $z = 0.859$, известный, мощный метagalактический объект, относящийся к классу блазаров.

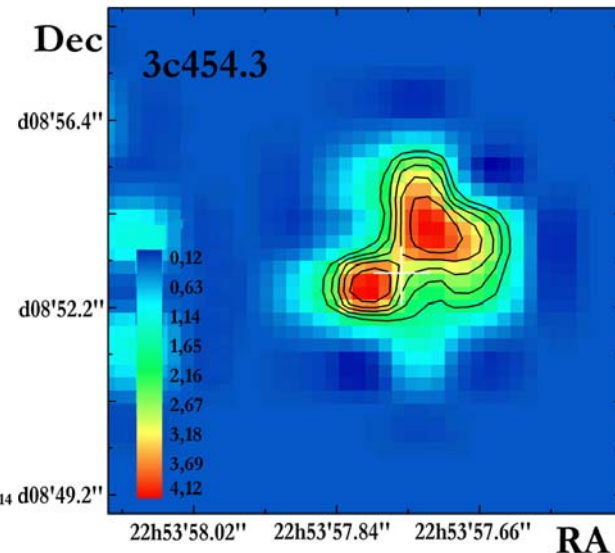
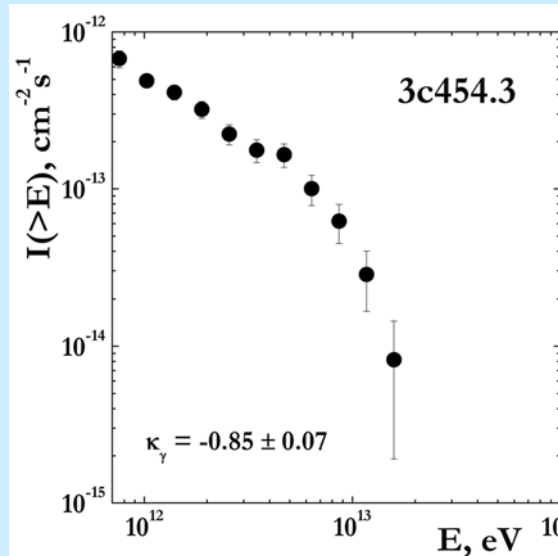
Спектральное энергетическое распределение гамма-излучения от 3C454.3. Δ — данные наземного черенковского телескопа ШАЛОН (за период 1998 – 2013 гг.) в сравнении с данными других экспериментов: Fermi/LAT(2009-2011); верхние пределы MAGIC (2010).

Радиоквazar с плоским спектром 3C454.3 был обнаружен при сверхвысоких энергиях в наблюдениях ШАЛОН 1998 года.

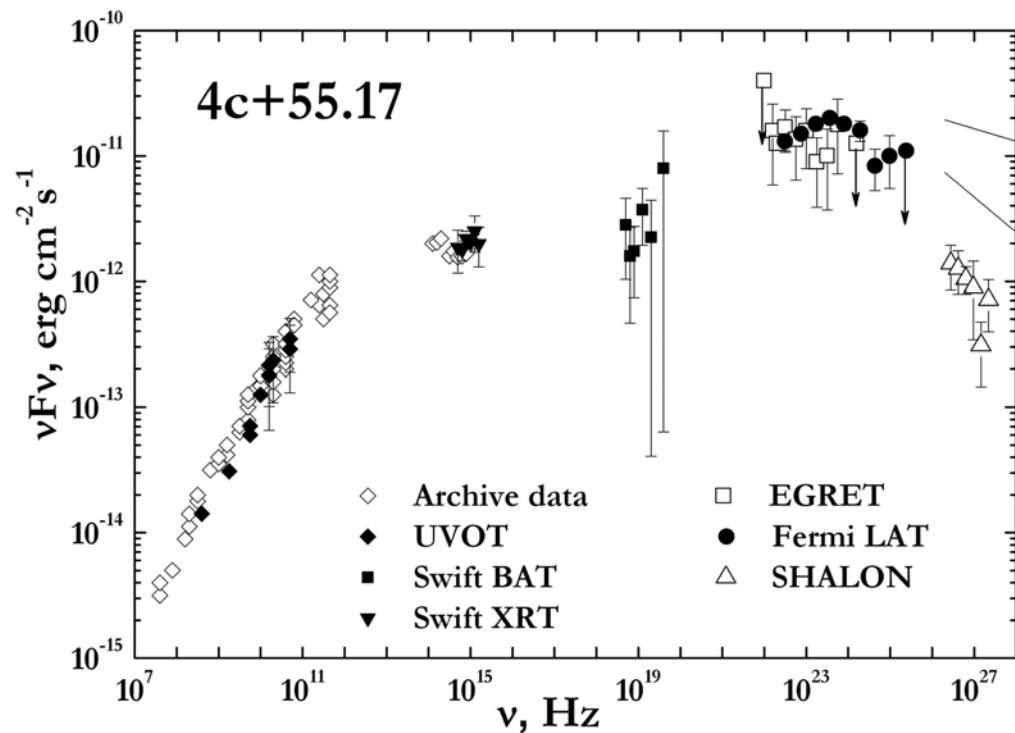


3C 454.3 наблюдался телескопом ШАЛОН 71ч. с 1998 по 2013год в ясные безлунные ночи под зенитными углами от 18° to 35° . После стандартного анализа γ -излучение от 4C454.3 было зарегистрировано телескопом ШАЛОН при энергиях > 800 ГэВ на уровне 12.2σ .

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



4c +55.17 (z=0.896)



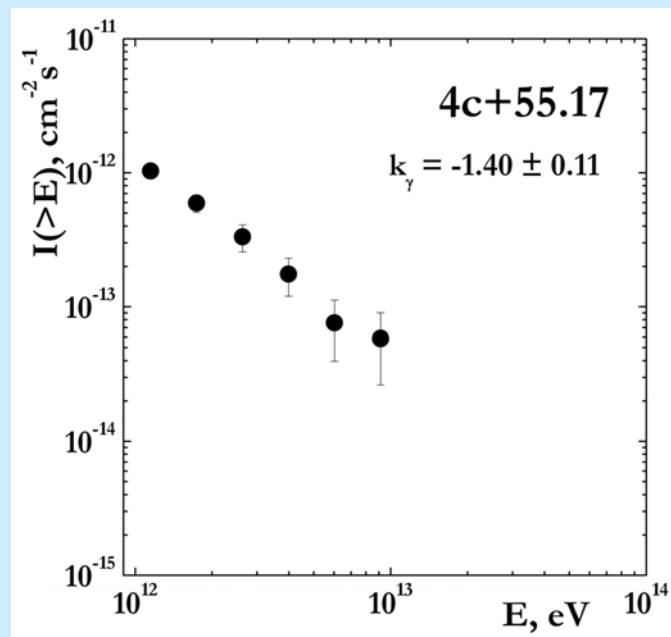
4C+55.17, с красным смещением $z = 0.896$, активное галактическое ядро, относящийся к классу радиоквazarов с плоскими спектрами.

4C+55.17 наблюдался телескопом ШАЛОН 23ч. В 2012 и 2013 году в ясные безлунные ночи под зенитными углами от 13° to 35° . После стандартного анализа γ -излучение от 4C+55.17 было зарегистрировано телескопом ШАЛОН при энергиях > 800 ГэВ на уровне 7.8σ .

$$I_{4c+55.17(>0,8\text{ТэВ})} = (0.93 \pm 0.23) \cdot 10^{-12} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$$

Спектральное энергетическое распределение гамма-излучения от 4C+55.17. Δ — данные наземного черенковского телескопа ШАЛОН в сравнении с данными других экспериментов: EGRET и Fermi/LAT(2011).

В наблюдениях ШАЛОН 2012, 2013гг. был обнаружен новый метагалактический источник гамма-квантов сверхвысоких энергий. Положение источника излучения, согласуется по своим координатам с объектом 3C+55.17 типа FSRQ, зарегистрированным, прежде, космическим телескопом EGRET и, позже, Fermi LAT при высоких энергиях.

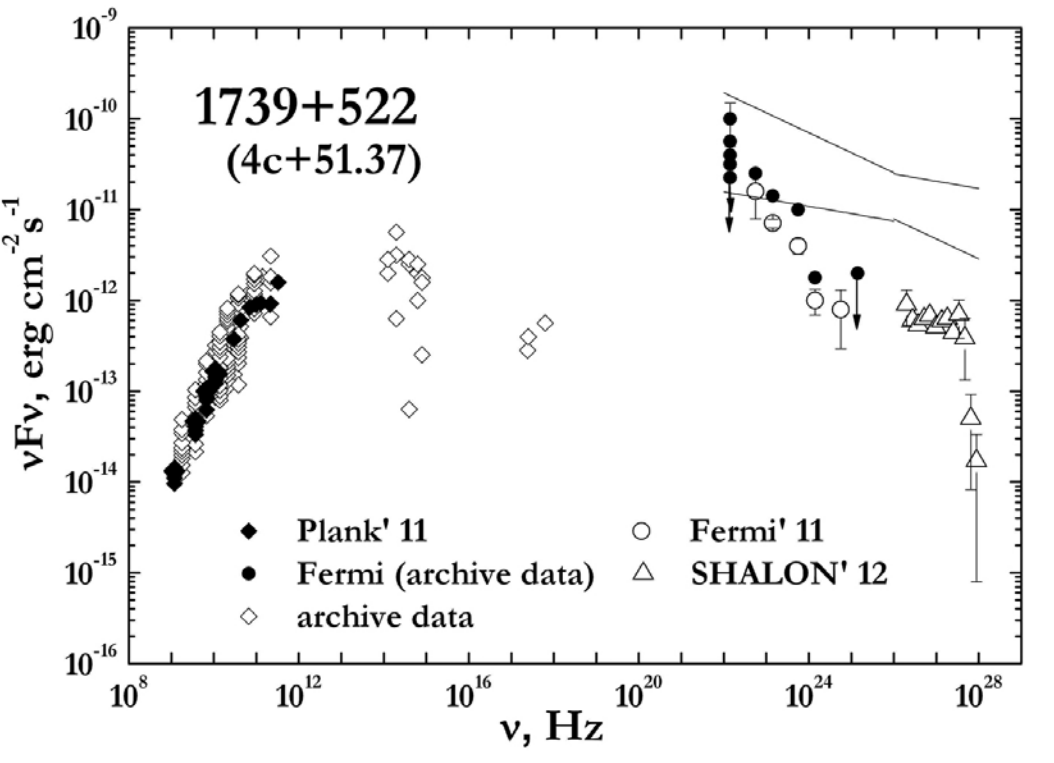


1739+522 (4c+51.37) (z=1.375)

1739+522, с красным смещением $z = 1.375$, мощный метагалактический объект, относящийся к классу блазаров.

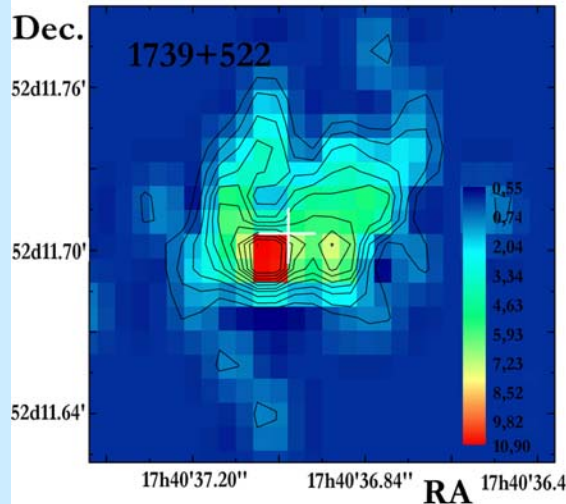
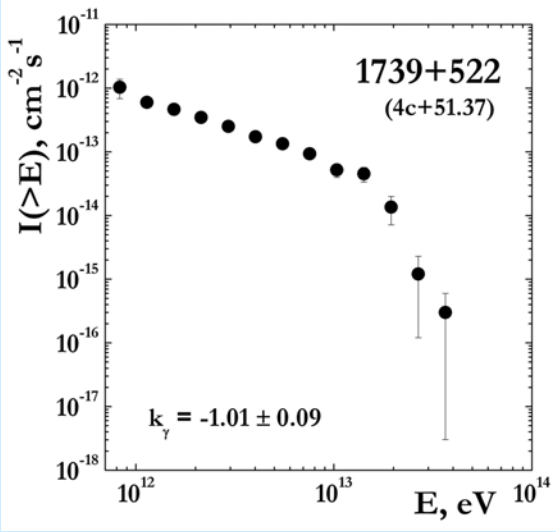
1739+522 наблюдался телескопом ШАЛОН 121ч. с 1999 по 2013год в ясные безлунные ночи под зенитными углами от 14° to 35° . После стандартного анализа γ -излучение от 4C454.3 было зарегистрировано телескопом ШАЛОН при энергиях > 800 ГэВ на уровне 15.3σ .

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



Спектральное энергетическое распределение гамма-излучения от 1739+522. Δ — данные наземного черенковского телескопа ШАЛОН в сравнении с данными других экспериментов: Fermi/LAT(2009 - 2011)

Радиокварзар с плоским спектром 1739+522 (4c+51.37) был обнаружен при сверхвысоких энергиях в наблюдениях ШАЛОН 1999 года.



Заключение

Радиогромкие активные ядра галактик, имеющее радио-излучение преимущественно из области ядра, а не протяжённых структур, часто относят к классу блазаров и к ним относят такие объекты, как радио квазары с плоскими спектрами и объекты типа VL Lacerta (лацертиды). Представлены результаты долговременных наблюдений радио квазаров с плоскими спектрами, среди которых, например, такой известный во всех диапазонах энергий объект как 3c454.3 ($z=0.859$); квазар с большим красным смещением 1739+522 (4c+51.37) ($z=1.375$) и наблюдаемые Fermi LAT при высоких энергиях квазары 4c+31.63 ($z=0.295$), 4c+55.17 ($z=0.896$), а также известного объекта типа VL Lacerta - OJ 287 ($z=0.306$), который был недавно обнаружен в наблюдениях зеркальным черенковским телескопом ШАЛОН при сверхвысоких энергиях. Результаты наблюдений всех объектов представлены спектрами γ -излучения, спектральными энергетическими распределениями и изображениями при энергиях больше 800 ГэВ. В наблюдениях были выявлена переменность излучения во всём широком диапазоне энергетического спектра, включая и область гамма-излучения сверхвысоких энергий. Представленные наблюдения ведутся на зеркальных черенковских телескопах ШАЛОН на Тянь-Шаньской высокогорной научной станции Физического института им. П.Н. Лебедева.

