Поиск нейтрино от вспышек блазаров на Баксанском подземном сцинтилляционном телескопе

Унатлоков И.Б. и коллаборация БПСТ

Институт ядерных исследований РАН

39-я Всероссийская конференция по космическим лучам

ВККЛ-2026, 29 июня - 3 июля 2026, Дубна (МО)

Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп

БПСТ - многоцелевой детектор, предназначенный для широкого диапазона исследований в области физики космических лучей, элементарных частиц и нейтринной астрофизики.

Схема БПСТ

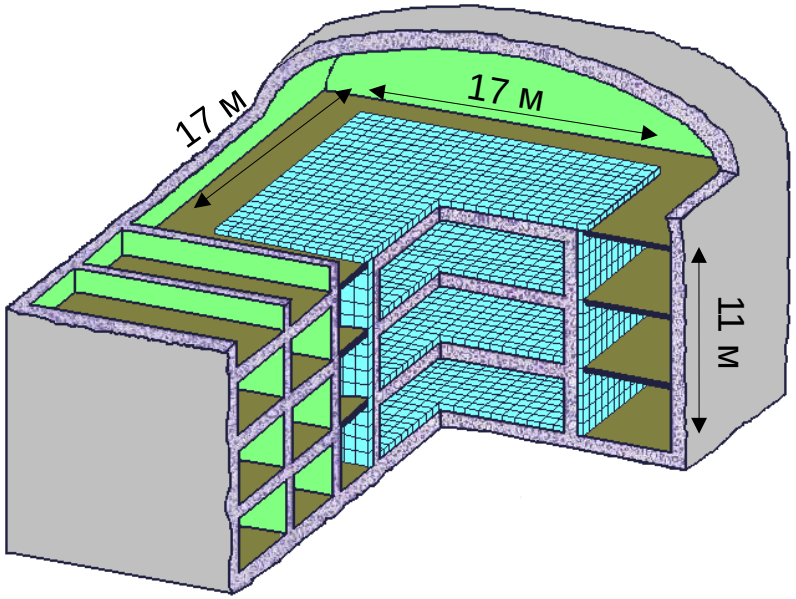
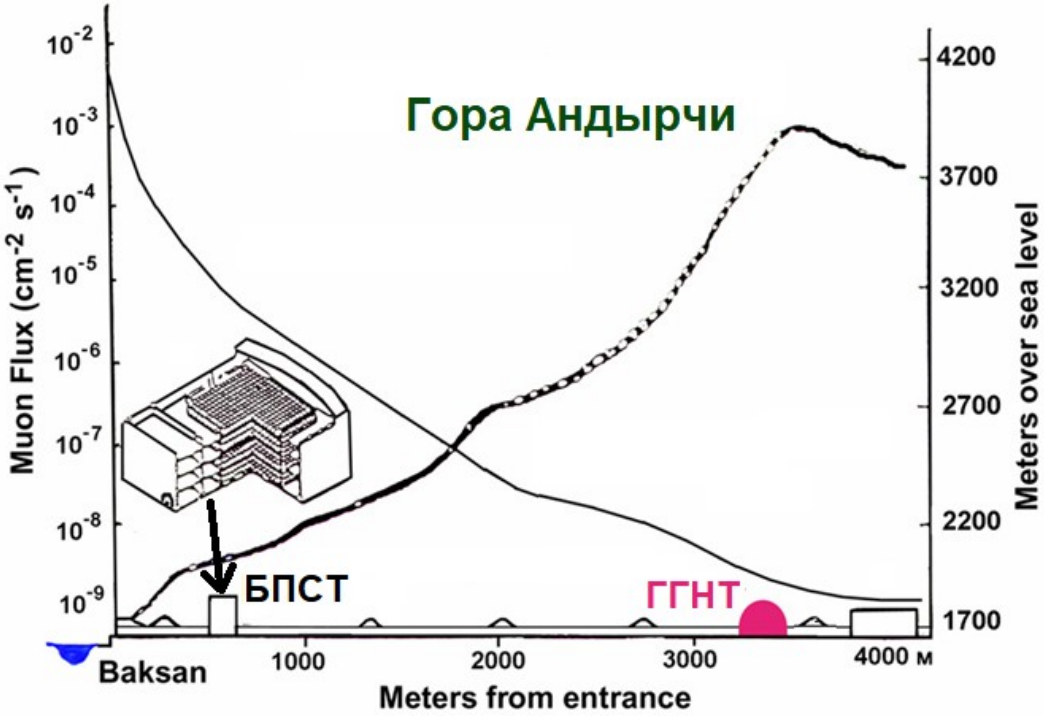


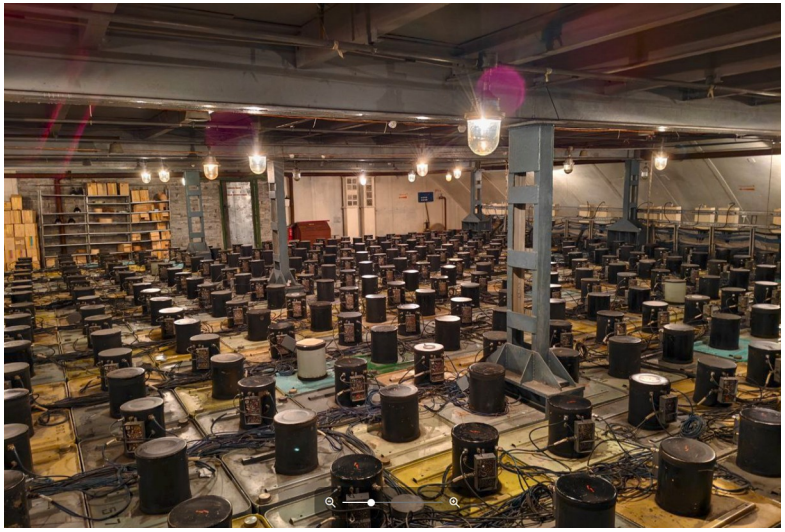
Схема расположения БПСТ в выработке горы Андырчи и зависимость потока мюонов от глубины



- Общая масса сцинтиллятора 330 тонн (3180 счетчиков).
- $h_{эфф}$ = 850 м.в.э.
- Угловое разрешение ≈1.6º.

Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп

Фотография горизонтальной плоскости



Счетчик БПСТ

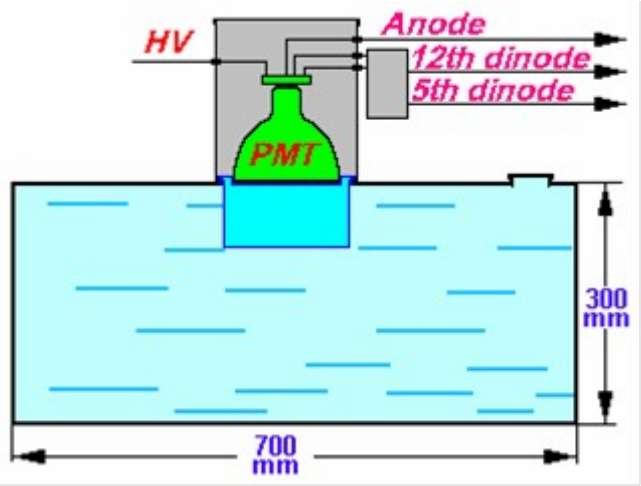
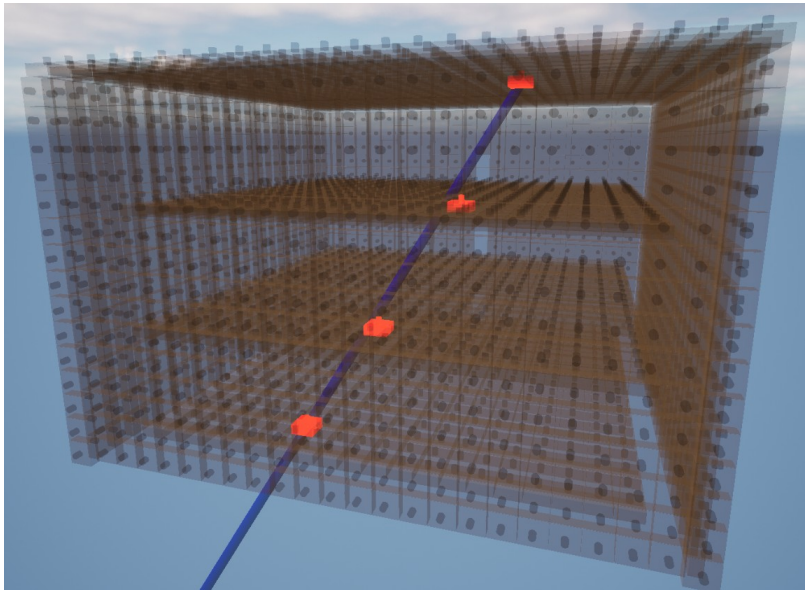


Схема события из нижней полусферы



Из нижней полусферы регистрируются мюоны, рожденные в реакции взаимодействия мюонного нейтрино (антинейтрино) с грунтом вокруг установки. При пороге регистрации 1 ГэВ неопределенность направления нейтрино ≈ 5º.

Блазары

Блазар — это активное ядро галактики с релятивистским джетом, направленным в сторону наблюдателя, обладающее одним или несколькими из следующих свойств:

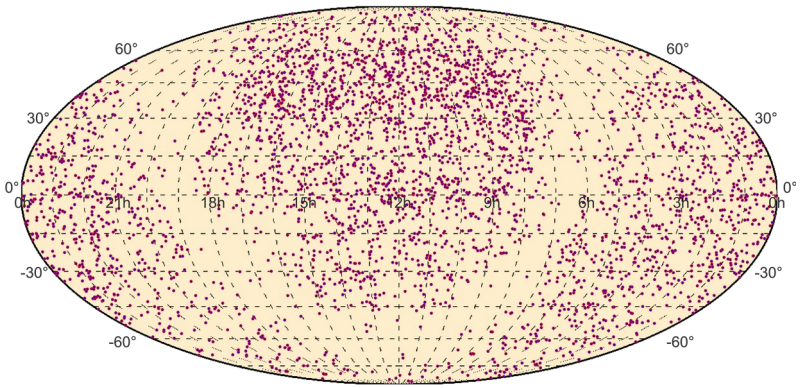
1. Интенсивное переменное излучение в гамма-диапазоне.
2. Интенсивное переменное радиоизлучение, связанное с плоским радиоспектром и, в отдельных случаях, со сверхсветовым движением.
3. Радио-, рентгеновский и/или гамма-джет с явными признаками релятивистского движения.
4. Спектральное распределение энергии с двумя пиками - с низкочастотным пиком в диапазоне от радио- до рентгеновского излучения и высокочастотным пиком в диапазоне от рентгеновского до гамма-излучения.
5. Очень слабые (с малой эквивалентной шириной — EW) широкие и/или узкие эмиссионные линии, указывающие на фотоионизацию незвездным источником излучения, на фоне высокопеременного непрерывного спектра.

Источник: H. Netzer (2013), The Physics and Evolution of Active Galactic Nuclei.

Каталог Roma-BZCAT (Всего 3561 блазаров):
https://heasarc.gsfc.nasa.gov/W3Browse/all/romabzcat.html
Вспышки блазаров:
https://www.astronomerstelegram.org/

Поиск источников нейтрино от блазаров из каталога Roma-BZCAT

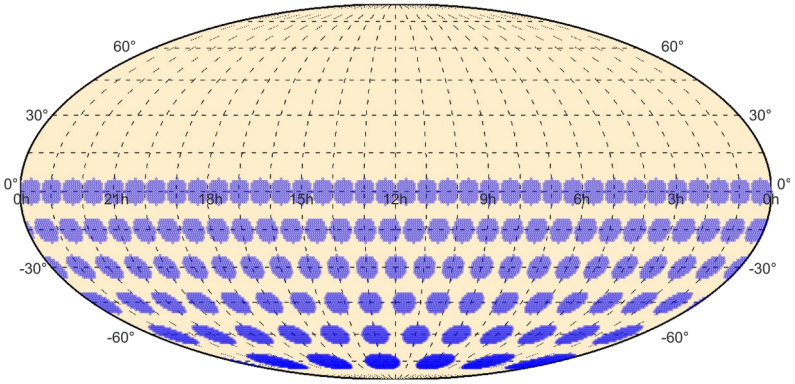
Координаты блазаров Roma-BZCAT (экваториальная система)

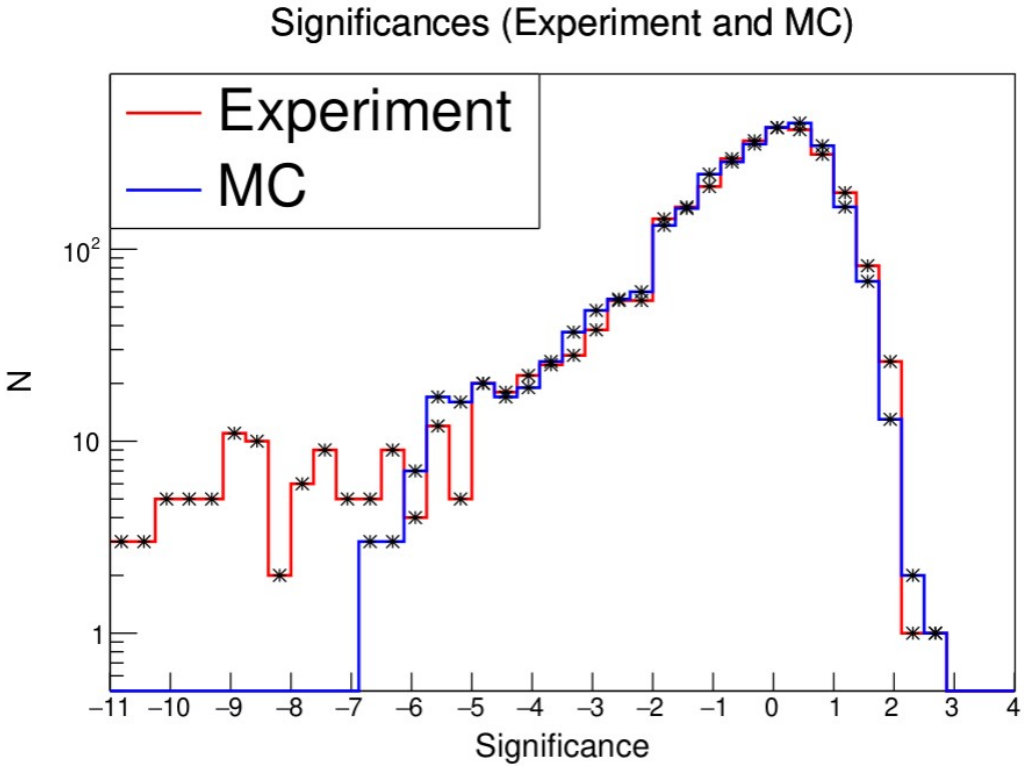


$$S = \frac{N_S}{\hat{\sigma}(N_S)} = \frac{N_{\mathrm{on}} - \alpha N_{\mathrm{off}}}{\sqrt{N_{\mathrm{on}} + \alpha^2 N_{\mathrm{off}}}}$$

$$\alpha = t_{\mathrm{on}}/t_{\mathrm{off}}$$

Если предполагаемый источник попадает в поле зрения БПСТ выбираются точки с «фоном» в том же склонении

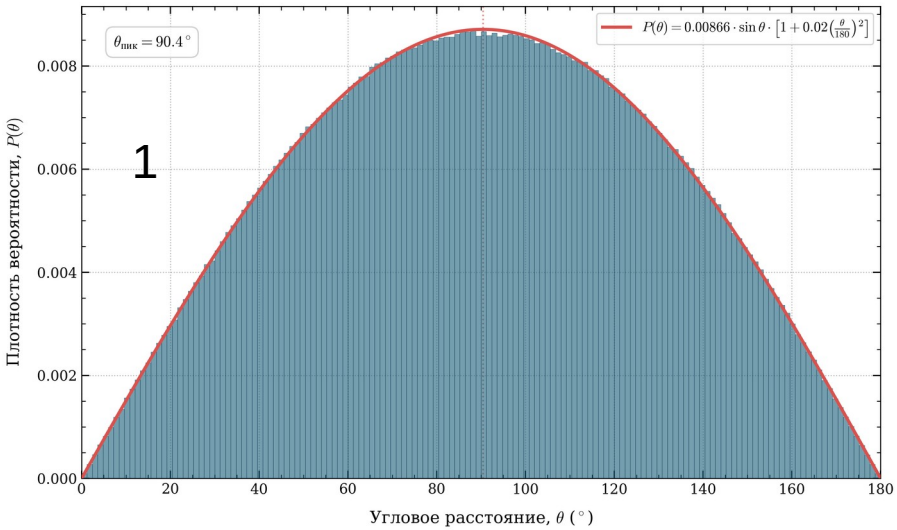


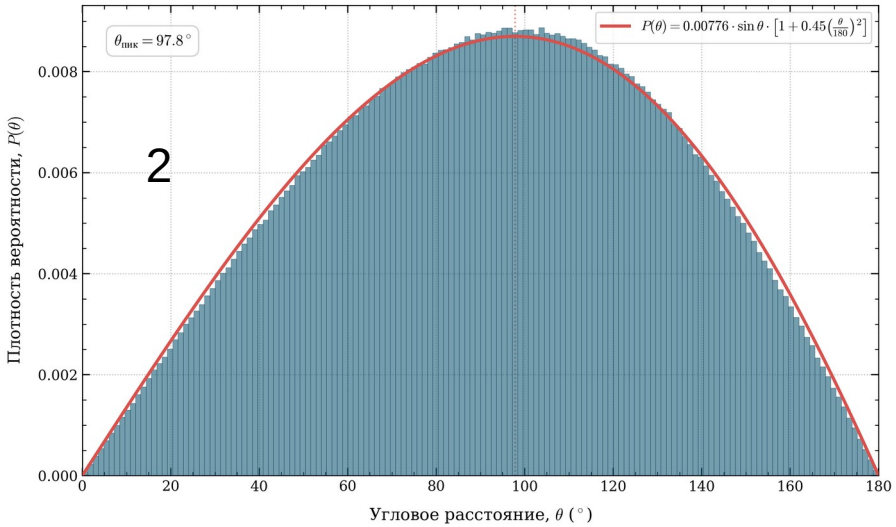


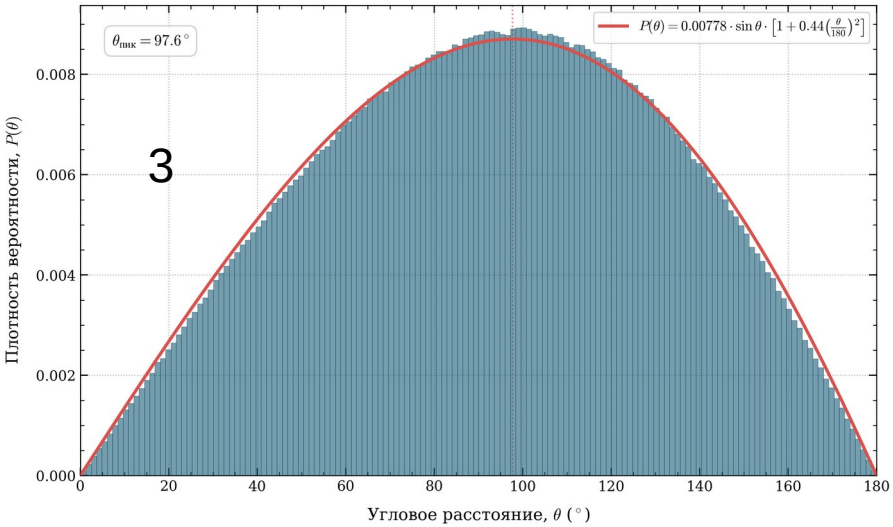
Угловые расстояния между событиями БПСТ и блазарами Roma-BZCAT

Всего блазаров в Roma-BZCAT: 3561
Мюонных нейтрино на БПСТ: 2021
На рисунках представлены распределения угловых расстояний между блазарами Roma-BZCAT и:

1) Случайными точками на небесной сфере.
2) Случайными событиями на БПСТ.
3) Мюонными нейтрино на БПСТ.



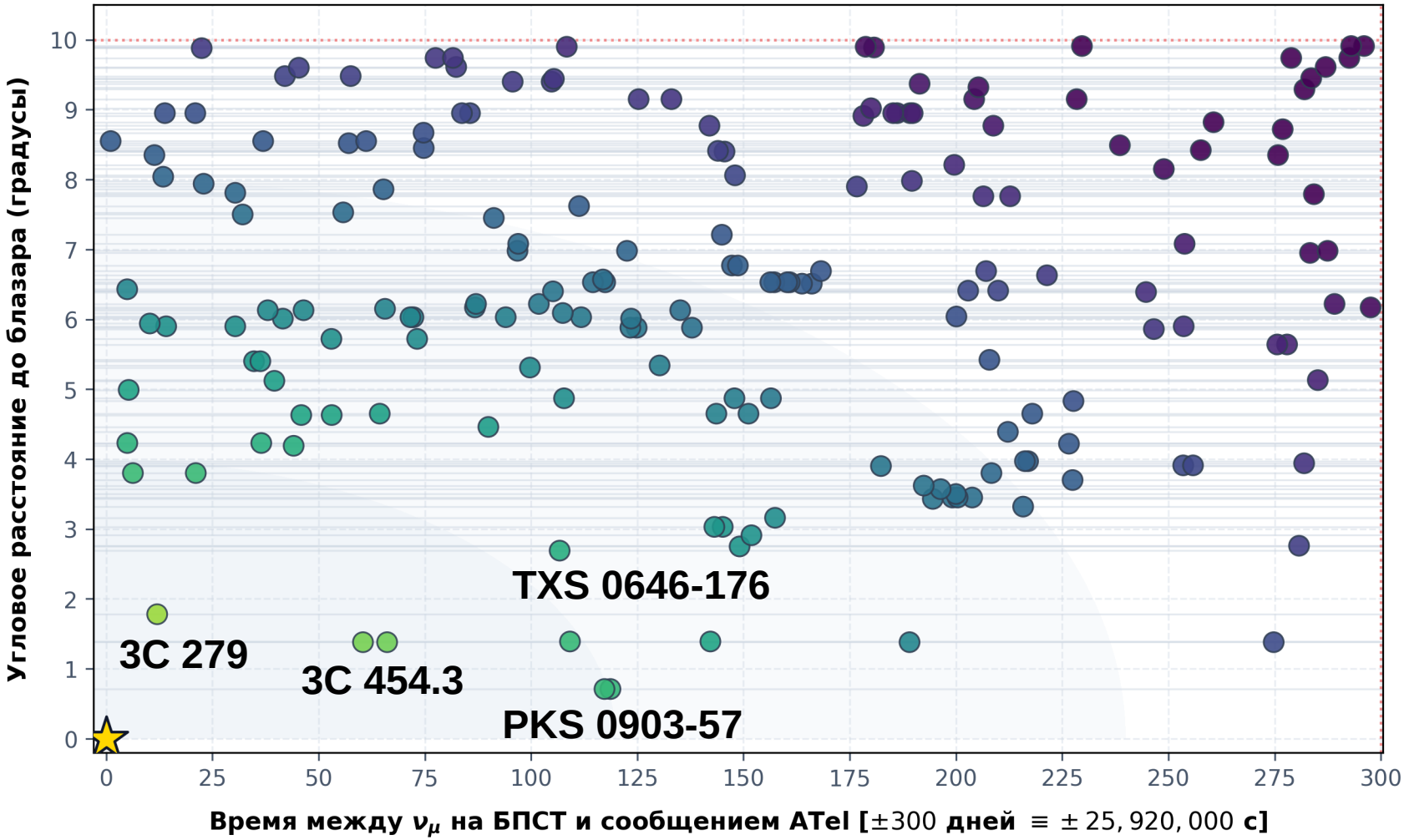




Поиск по ATel

Ключевые слова: Blazar + flare

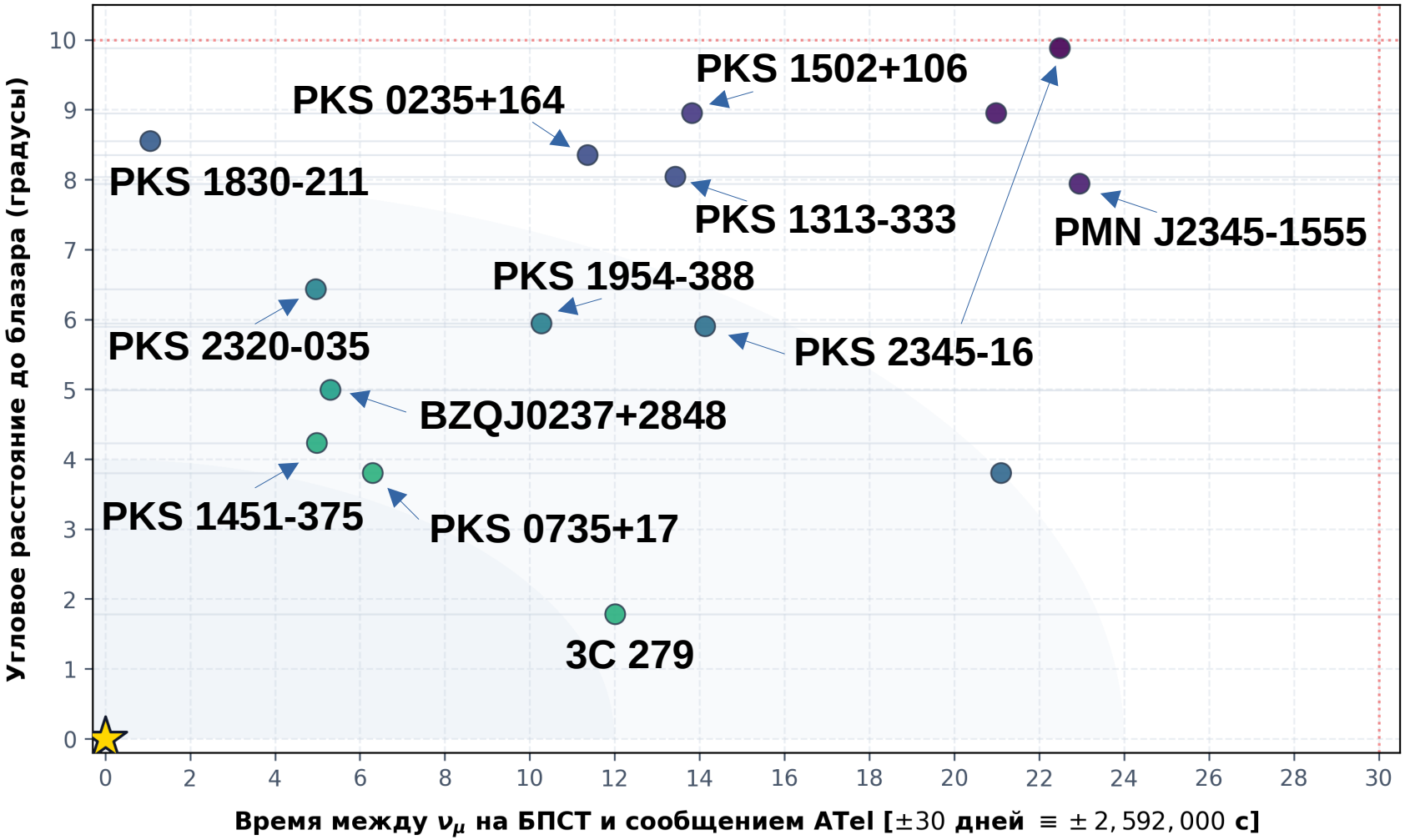
Найдено 445 сообщений



Поиск по ATel

Ключевые слова: Blazar + flare

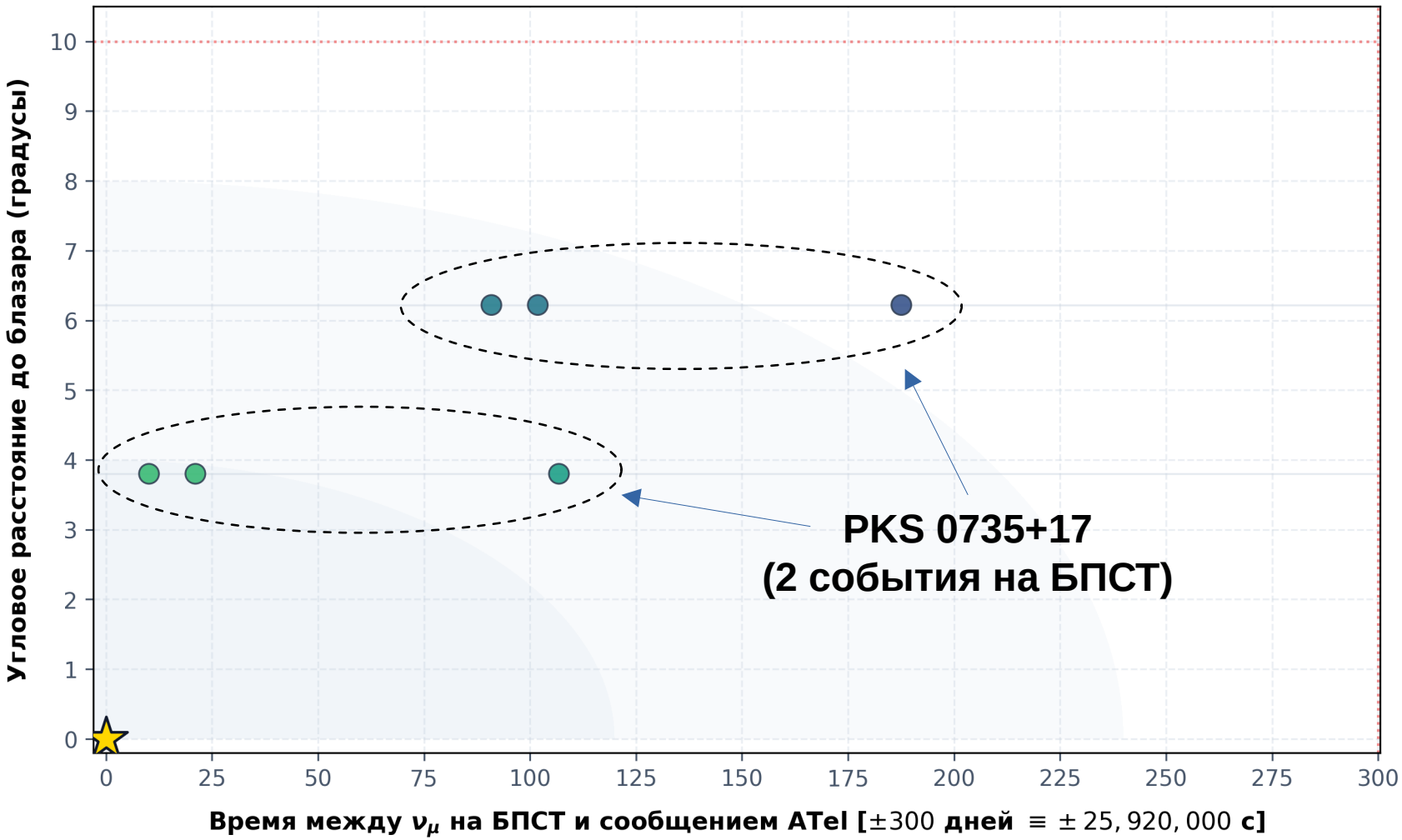
Найдено 445 сообщений



Поиск по ATel

Ключевые слова: Blazar + Baikal + GVD

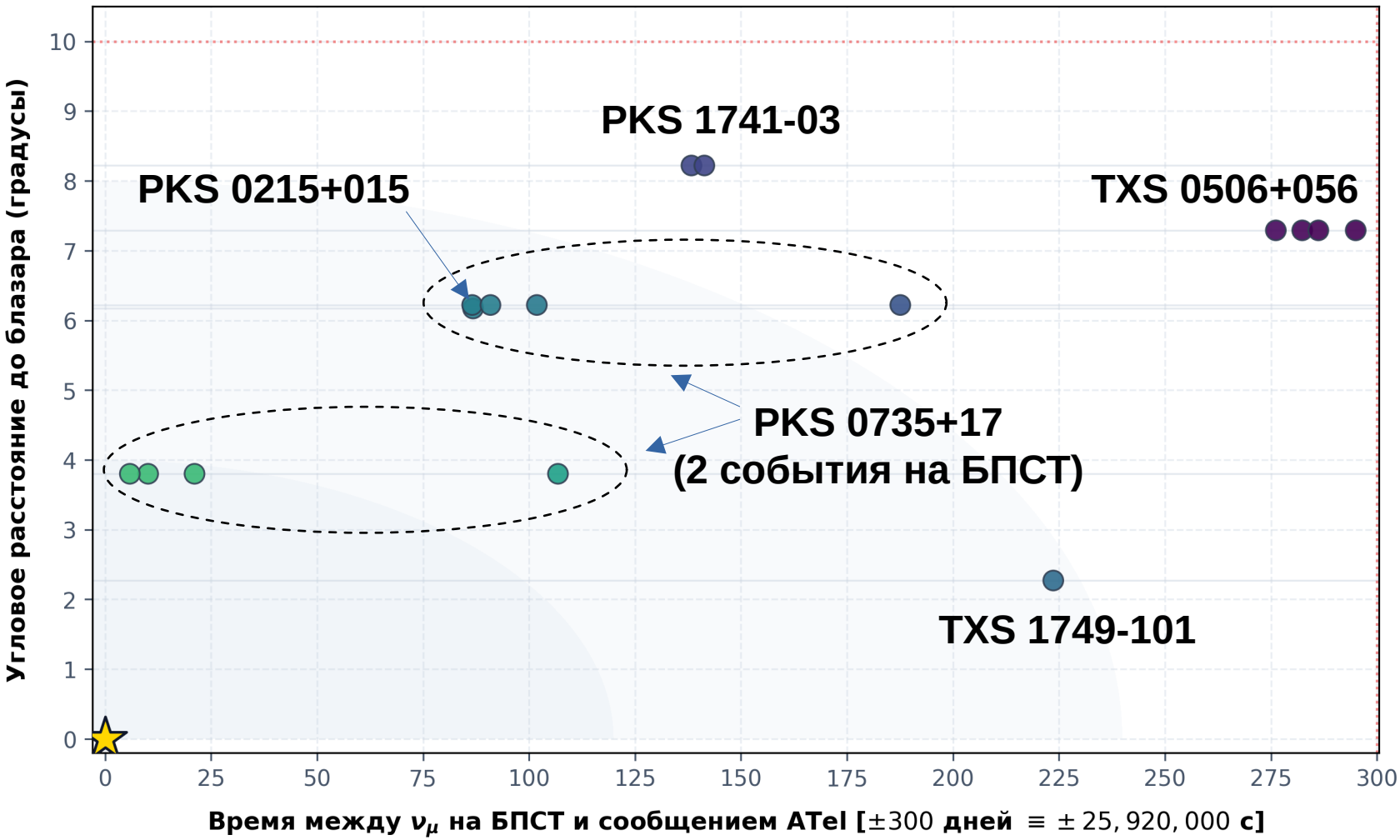
Найдено 3 сообщения



Поиск по ATel

Ключевые слова: Blazar + IceCube

Найдено 23 сообщения



Вспышка блазара PKS 0735+17 в декабре 2021 года

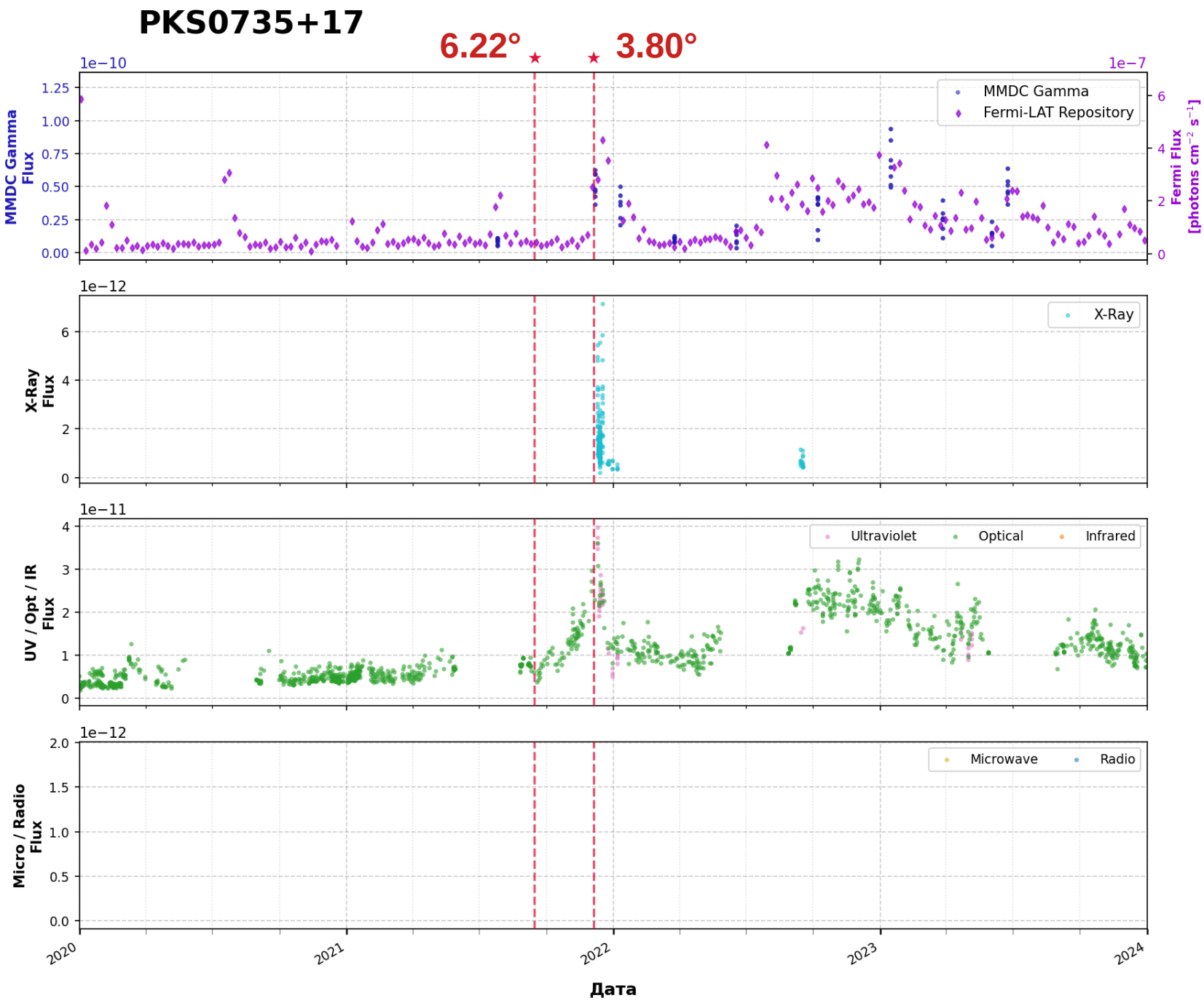
Кандидаты:

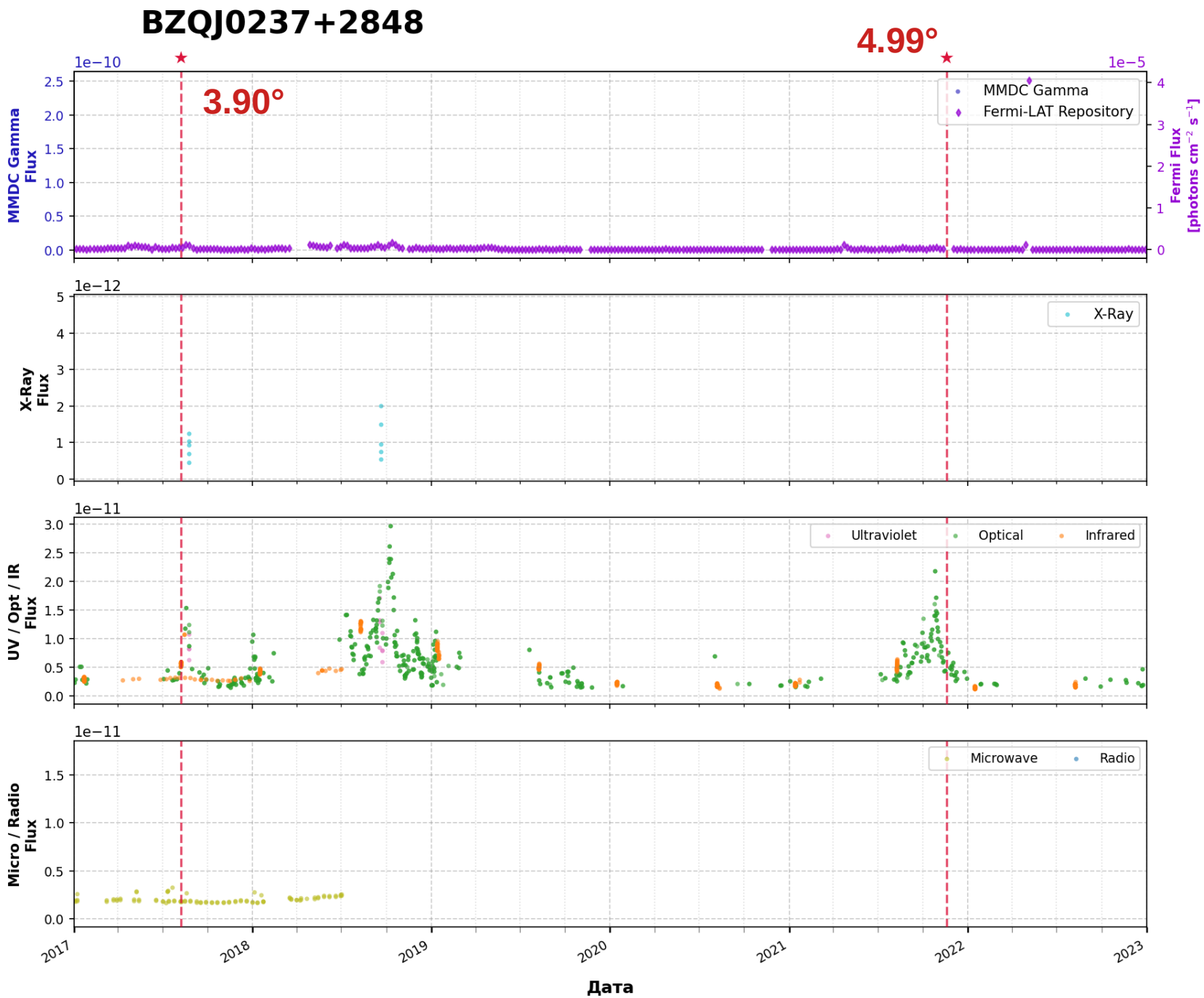
Установка	Расстояние до блазара	Энергия нейтрино	Дата	Время UT
БПСТ (1, *)	3.80°	≥ 1 ГэВ	4.12.2021	14:52:47
IceCube (2)	2.14°	172 ТэВ	8.12.2021	20:02:51
Baikal-GVD (3)	4.68°	43 ТэВ	8.12.2021	~23:59:00
KM3NeT (4)	0.99°	18 ТэВ	15.12.2021	08:51:31

1) https://www.astronomerstelegram.org/?read=15143
2) https://gcn.nasa.gov/circulars/31191
3) https://www.astronomerstelegram.org/?read=15112
4) https://www.astronomerstelegram.org/?read=15290

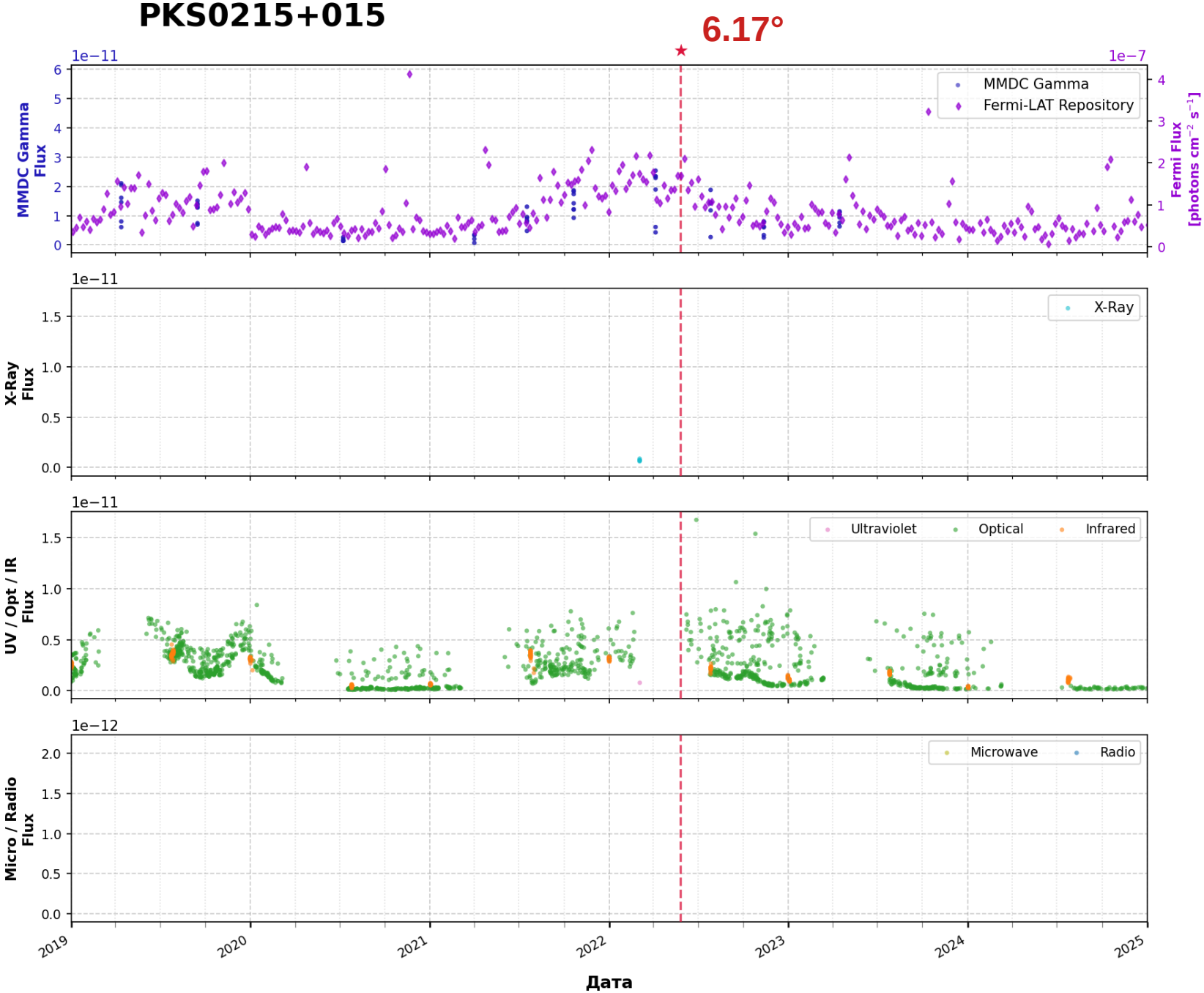
** V.B. Petkov et.al, The Search for Neutrino Events from the Blazar PKS 0735+17 at the Baksan Underground Scintillation Telescope, PoS, 2022, MUTO2022, 33*
http://dx.doi.org/10.22323/1.425.0033

Вероятность зарегистрировать на БПСТ одно и более событий из данной ячейки за время вспышки (~10 суток) ≈ 0.0025.

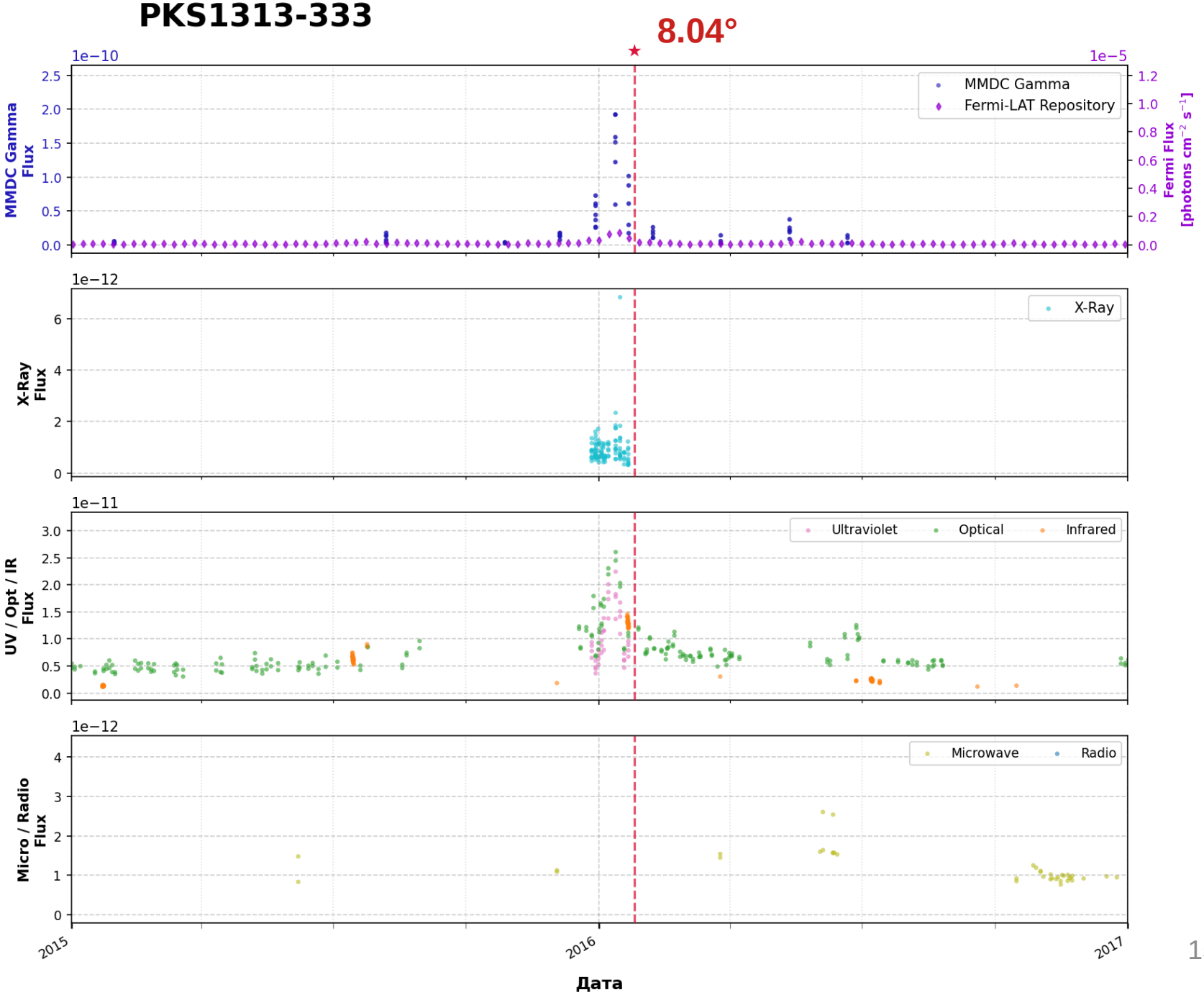

PKS0735+17
6.22°
3.80°
1e−10
1e−7
MMDC Gamma Flux
Fermi Flux [photons cm^{-2} s^{-1}]
MMDC Gamma
Fermi-LAT Repository
1e−12
X-Ray Flux
X-Ray
1e−11
UV / Opt / IR Flux
Ultraviolet
Optical
Infrared
1e−12
Micro / Radio Flux
Microwave
Radio
2020
2021
2022
2023
2024
Дата

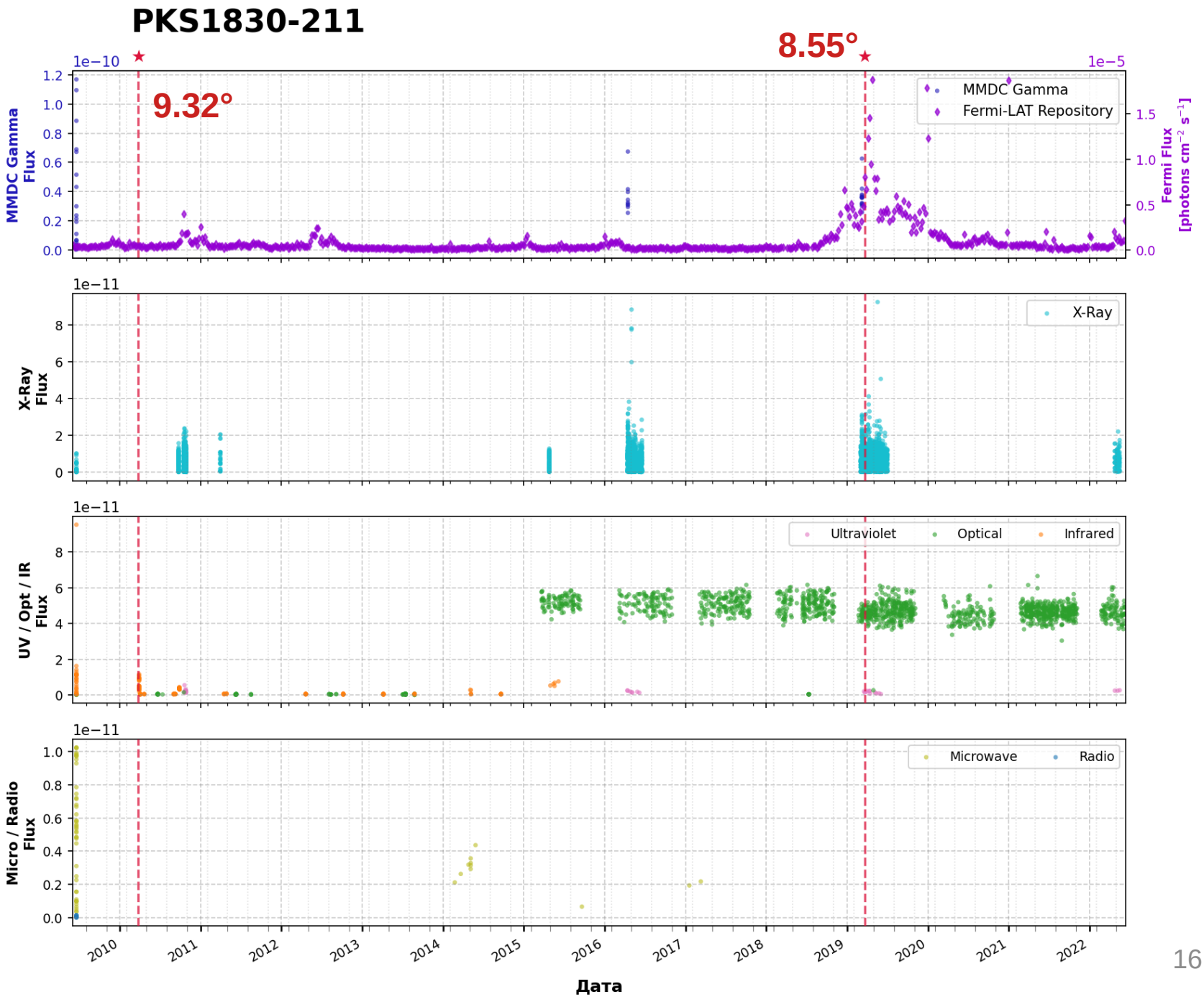

BZQJ0237+2848
3.90°
4.99°
1e−10
1e−5
MMDC Gamma Flux
Fermi Flux [photons cm^{-2} s^{-1}]
MMDC Gamma
Fermi-LAT Repository
1e−12
X-Ray Flux
X-Ray
1e−11
UV / Opt / IR Flux
Ultraviolet
Optical
Infrared
1e−11
Micro / Radio Flux
Microwave
Radio
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
Дата

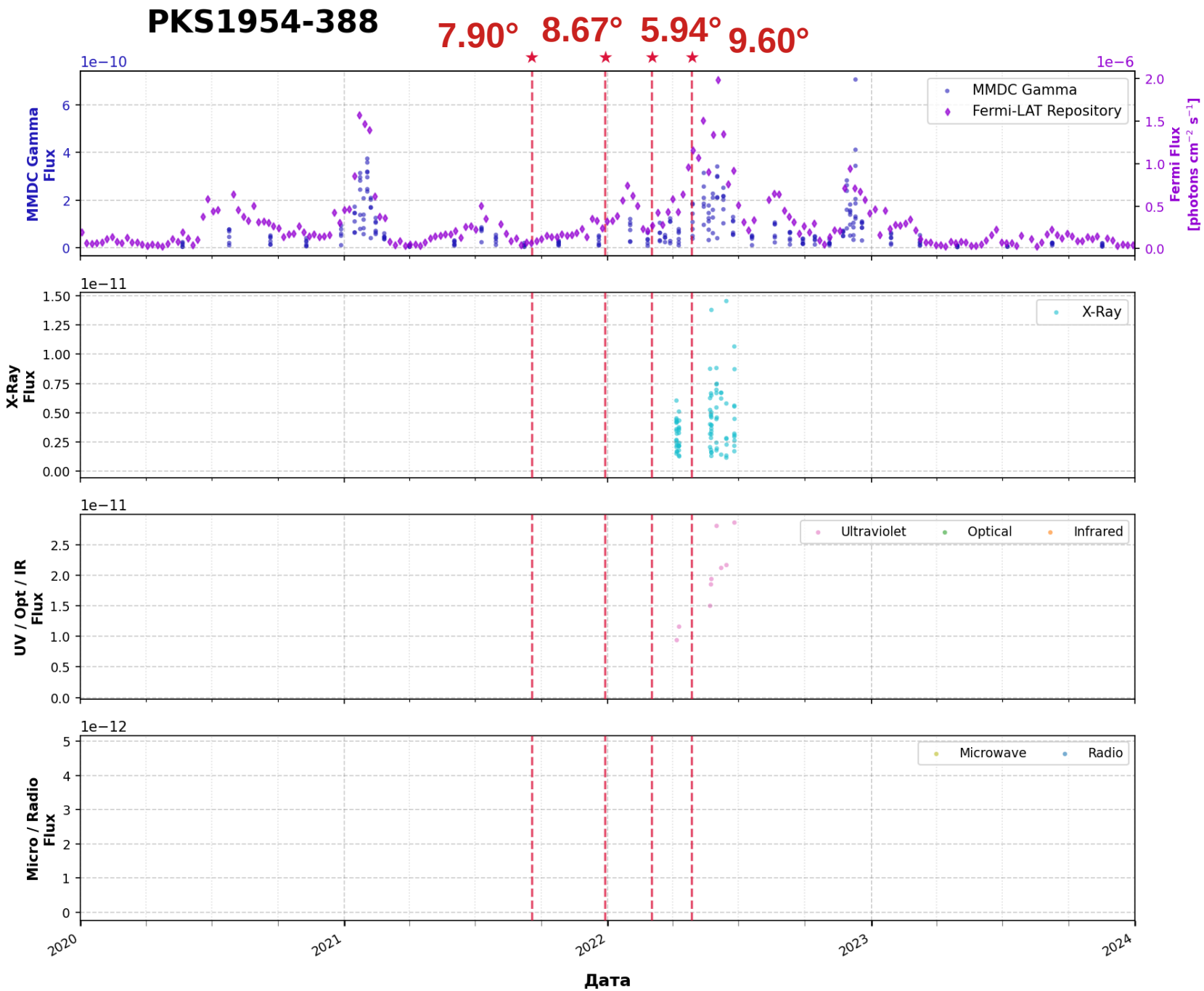
PKS0215+015

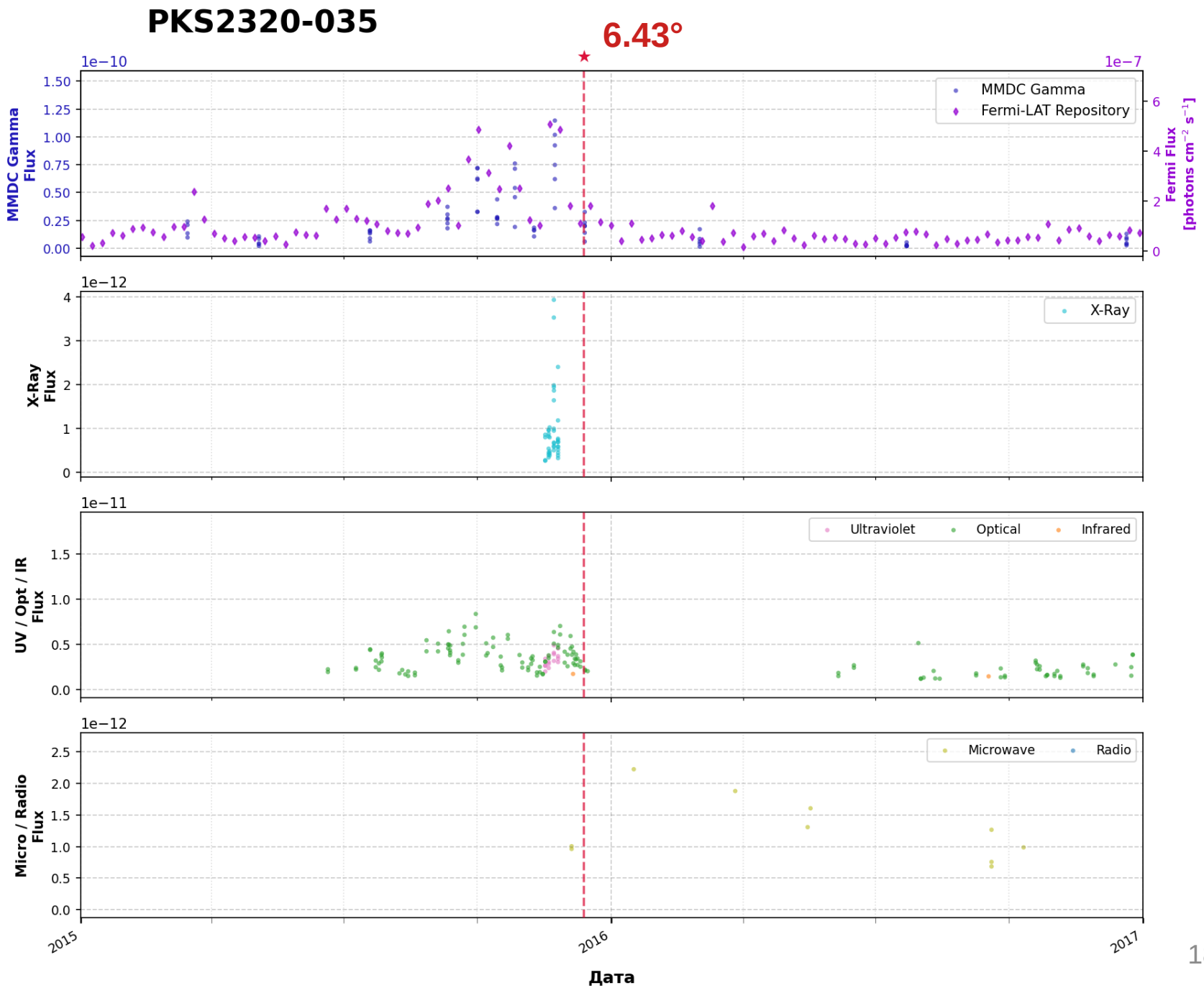

6.17°
1e−11
1e−7
MMDC Gamma Flux
Fermi Flux [photons cm^{-2} s^{-1}]
MMDC Gamma
Fermi-LAT Repository
X-Ray Flux
X-Ray
UV / Opt / IR Flux
Ultraviolet
Optical
Infrared
1e−12
Micro / Radio Flux
Microwave
Radio
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
Дата

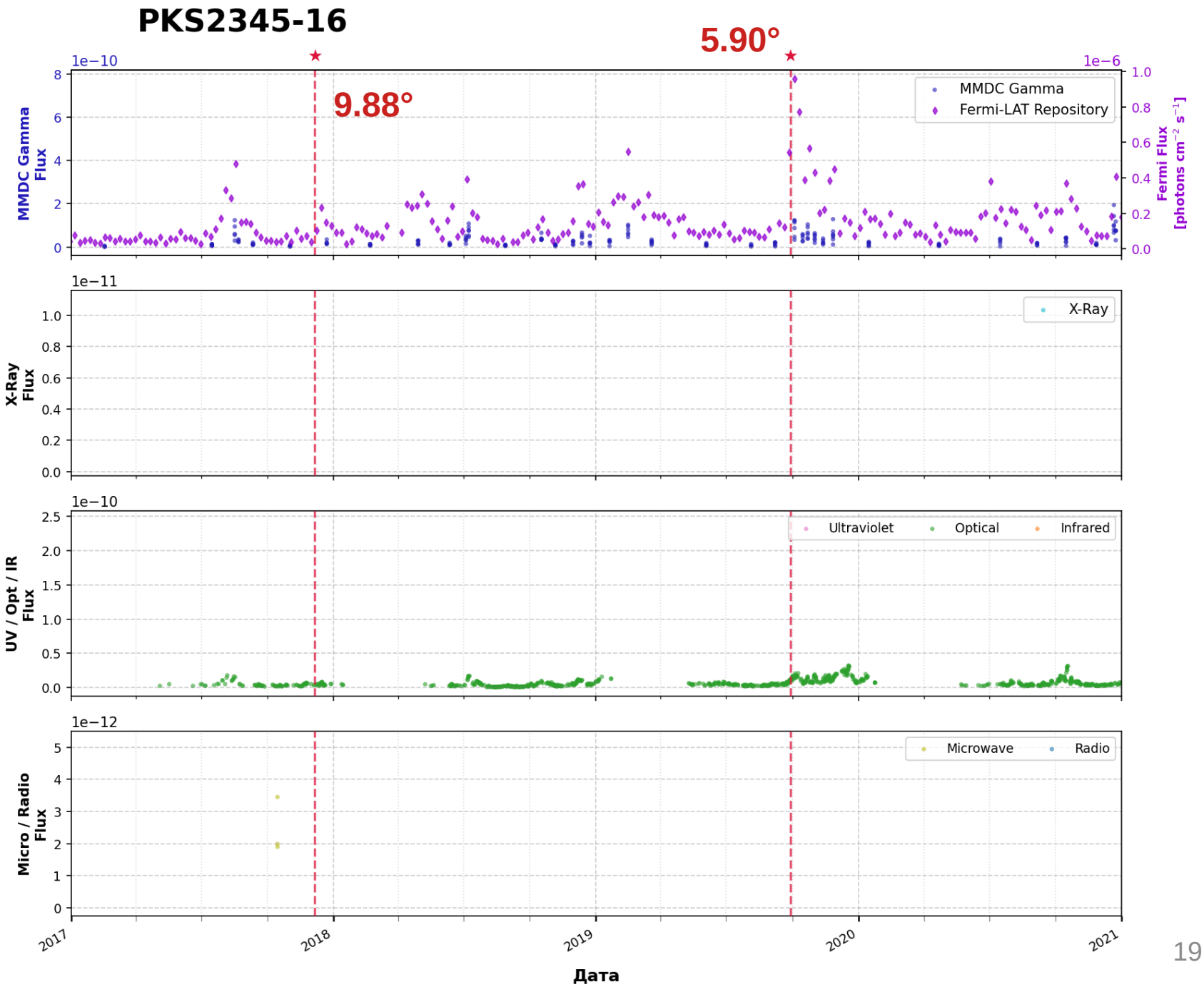
PKS1313-333

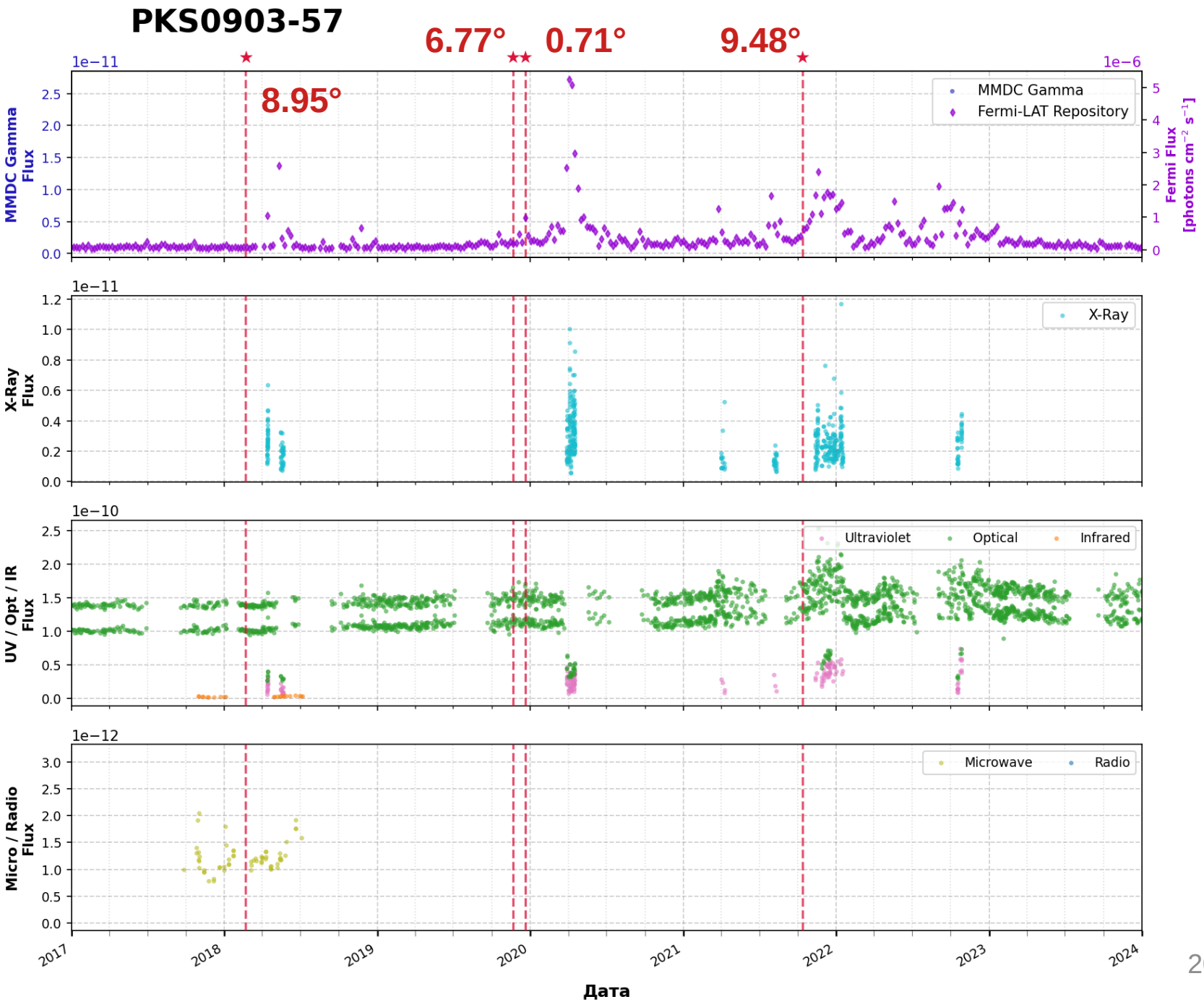

8.04°
1e−10
1e−5
MMDC Gamma Flux
Fermi Flux [photons cm^{-2} s^{-1}]
MMDC Gamma
Fermi-LAT Repository
1e−12
X-Ray Flux
X-Ray
1e−11
UV / Opt / IR Flux
Ultraviolet
Optical
Infrared
1e−12
Micro / Radio Flux
Microwave
Radio
2015
2016
2017
Дата


PKS1830-211
9.32°
8.55°
1e−10
1e−5
MMDC Gamma Flux
Fermi Flux [photons cm^{-2} s^{-1}]
MMDC Gamma
Fermi-LAT Repository
1e−11
X-Ray Flux
X-Ray
UV / Opt / IR Flux
Ultraviolet
Optical
Infrared
Micro / Radio Flux
Microwave
Radio
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
Дата


PKS1954-388
7.90°
8.67°
5.94°
9.60°
1e−10
1e−6
MMDC Gamma Flux
Fermi Flux [photons cm^{-2} s^{-1}]
MMDC Gamma
Fermi-LAT Repository
1e−11
X-Ray Flux
X-Ray
1e−11
UV / Opt / IR Flux
Ultraviolet
Optical
Infrared
1e−12
Micro / Radio Flux
Microwave
Radio
2020
2021
2022
2023
2024
Дата


PKS2320-035
6.43°
1e−10
1e−7
MMDC Gamma Flux
Fermi Flux [photons cm^{-2} s^{-1}]
MMDC Gamma
Fermi-LAT Repository
1e−12
X-Ray Flux
X-Ray
1e−11
UV / Opt / IR Flux
Ultraviolet
Optical
Infrared
1e−12
Micro / Radio Flux
Microwave
Radio
2015
2016
2017
Дата


PKS2345-16
5.90°
9.88°
1e−10
1e−6
MMDC Gamma Flux
Fermi Flux [photons cm^{-2} s^{-1}]
MMDC Gamma
Fermi-LAT Repository
1e−11
X-Ray Flux
X-Ray
1e−10
UV / Opt / IR Flux
Ultraviolet
Optical
Infrared
1e−12
Micro / Radio Flux
Microwave
Radio
2017
2018
2019
2020
2021
Дата


PKS0903-57
8.95°
6.77°
0.71°
9.48°
MMDC Gamma Flux
1e−11
MMDC Gamma
Fermi-LAT Repository
Fermi Flux [photons cm^{-2} s^{-1}]
1e−6
X-Ray Flux
1e−11
X-Ray
UV / Opt / IR Flux
1e−10
Ultraviolet
Optical
Infrared
Micro / Radio Flux
1e−12
Microwave
Radio
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
Дата

3C279
1.78°
1e−8
1e−5
MMDC Gamma Flux
Fermi Flux [photons cm^{-2} s^{-1}]
MMDC Gamma
Fermi-LAT Repository
1e−10
X-Ray Flux
X-Ray
1e−10
UV / Opt / IR Flux
Ultraviolet
Optical
Infrared
1e−11
Micro / Radio Flux
Microwave
Radio
2013
2014
2015
2016
Дата

Что делать?

- Отслеживать новости о вспышечной активности блазаров (Atel, GCN, ?).

- Сверять направление новых событий на БПСТ со списком блазаров в стадии вспышечной активности.

- Минимизировать время обнаружения и публикации данных о подозрительных событиях.

Кривые блеска блазаров взяты на веб-сайтах:
1) Markarian Multiwavelength Data Center (MMDC): https://mmdc.am/
2) Fermi LAT Light Curve Repository:
https://fermi.gsfc.nasa.gov/ssc/data/access/lat/LightCurveRepository/

Спасибо за внимание!