



Реконструкция параметров высокоэнергетического события установки «Ковёр-2» ассоциированного с гамма всплеском GRB221009A.

Коллаборация «Ковер-2»

Д. Д. Джаппуев, Ю. З. Афашоков, Дзапарова И.М., Джатдоев Т.А., Горбачева Е.А.,
И. С. Карпиков, М. М. Хаджиев, Н. Ф. Клименко, А. У. Куджаев, А. Н. Куреня, А. С. Лидванский,
О.И Михайлова, В.Б. Петков, Е.И. Подлесный, Н.А. Позднухов, В.С. Романенко, Г.И. Рубцов,
С. В. Троицкий, И. Б. Унатлоков, И. А. Вайман, А. Ф. Янин, К. В. Журавлёва

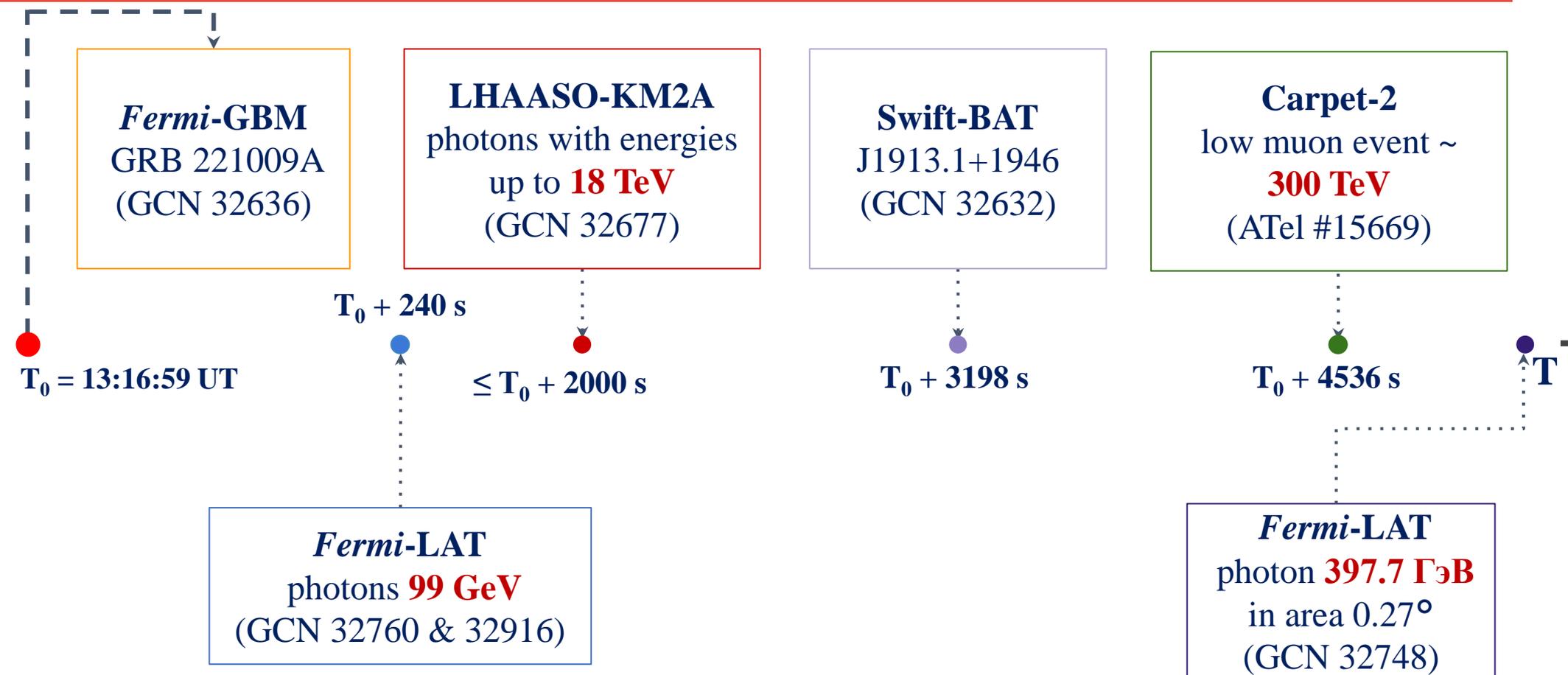
План доклада

- ◆ Гамма всплеск GRB221009A, регистрация и хронология наблюдения
- ◆ Анализ события ассоциированного с GRB221009A на установке «Ковёр-2»
- ◆ Сравнение результатов с другими экспериментами
- ◆ Интерпретация события

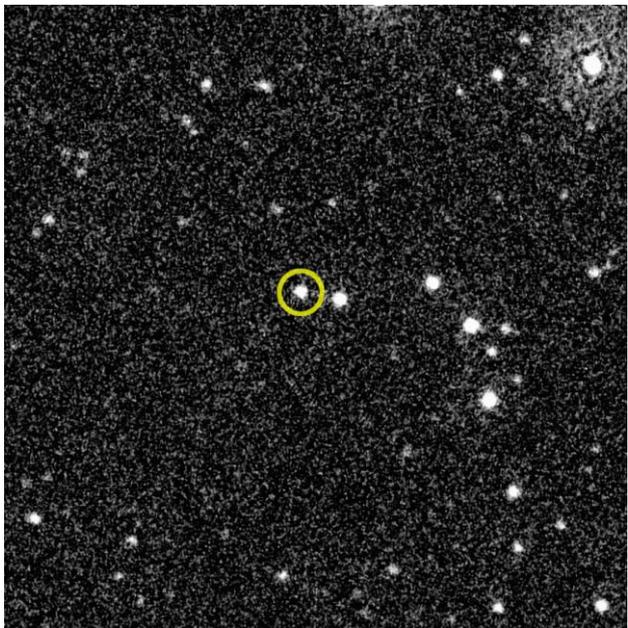
План доклада

- ◆ **Гамма всплеск GRB221009A, регистрация и хронология наблюдения**
- ◆ Анализ события ассоциированного с GRB221009A на установке «Ковёр-2»
- ◆ Сравнение результатов с другими экспериментами
- ◆ Интерпретация события

GRB221009A: хронология основных наблюдений

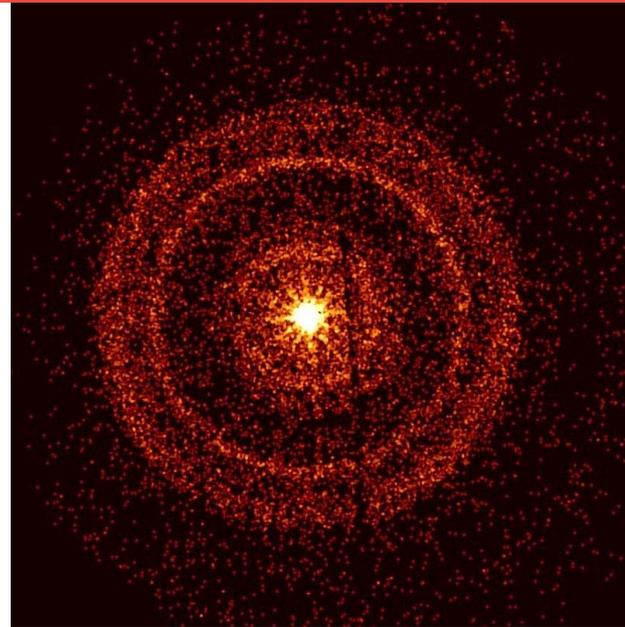


Гамма всплеск GRB221009A



Изображения, сделанные в видимом свете **Swift Ultraviolet/Optical Telescope**, показывают, как послесвечение **GRB 221009A** (обведено) исчезло в течение примерно 10 часов.

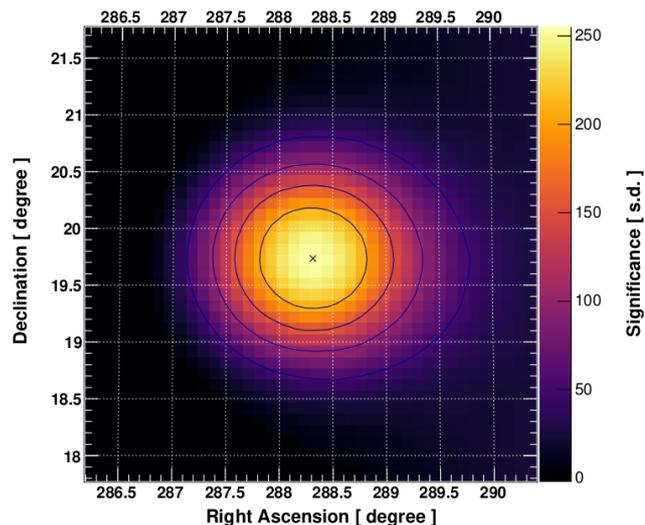
Размер изображения составляет около 4 угловых минут.



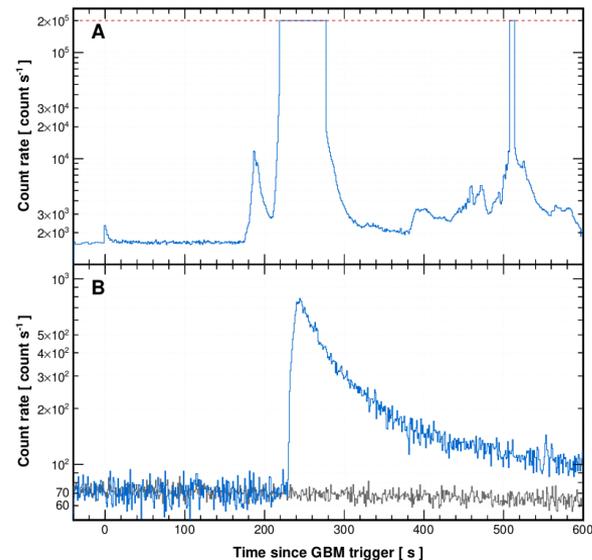
На рентгеновском изображении GRB 221009A, сделанном *Swift*, видны круглые кольца вокруг гамма-всплеска. Пыль в Млечном Пути рассеяла рентгеновское излучение гамма-всплеска, создав Ньютоновские кольца.

расстояние большое – красное смещение **$z=0.151$**

Наблюдение фотонов энергией около 18 ТэВ установкой LHAASO



Карта значимости LHAASO-WCDA обнаруженных событий связанных с гамма всплеском.



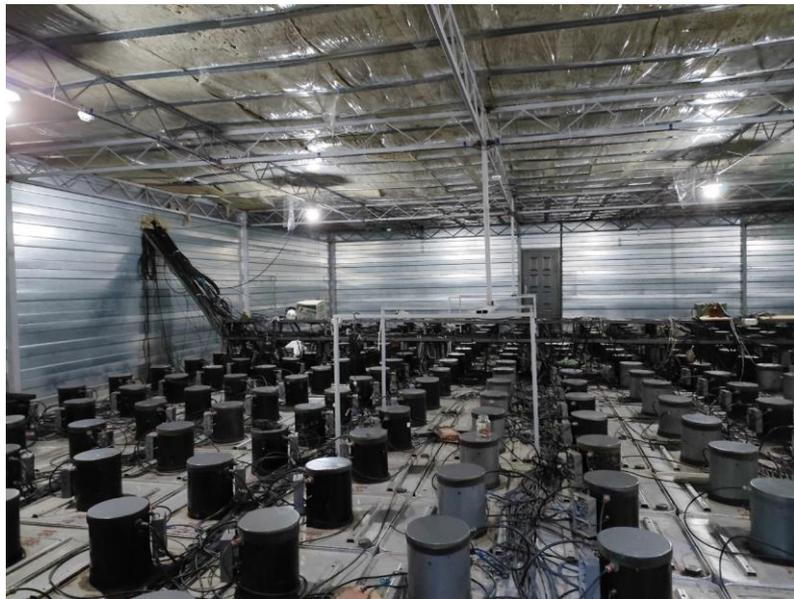
Сравнение кривых блеска измеренных Fermi/GBM и LHAASO-WCDA

В течение 2000 секунд после триггера Ферми GBM LHAASO наблюдал более 5000 фотонов высокой энергии с энергией около 18 ТэВ.

План доклада

- ◆ Гамма всплеск GRB221009A, регистрация и хронология наблюдения
- ◆ **Анализ события ассоциированного с GRB221009A на установке «Ковёр-2»**
- ◆ Сравнение результатов с другими экспериментами
- ◆ Интерпретация события

Установка «Ковёр-2»



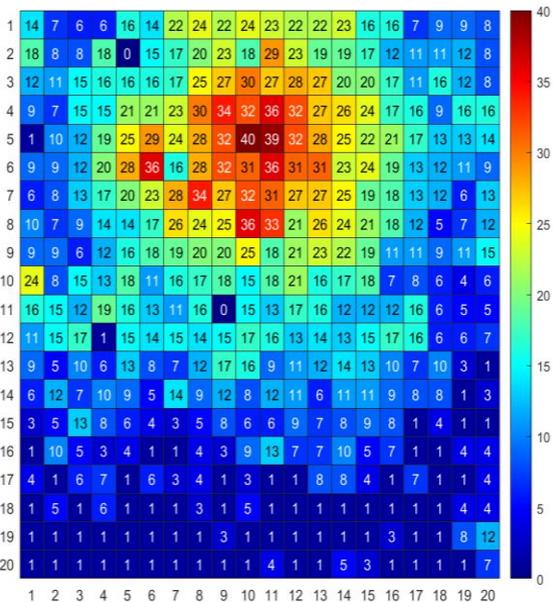
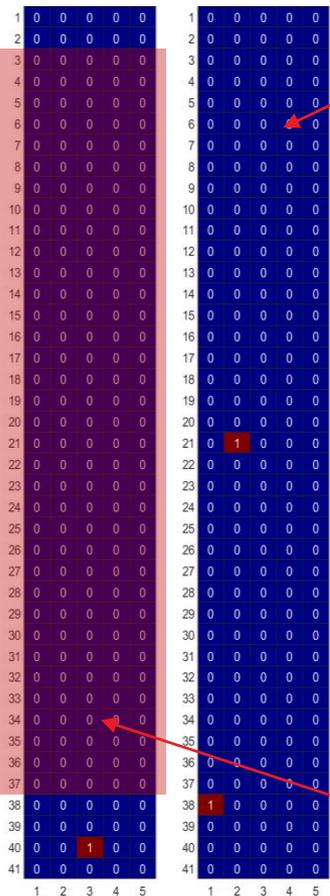
Carpet



Muon detector

«Ковёр-2», фотоно подобное событие связанное с гамма всплеском GRB221009A

«New» muon detectors



«old» muon detectors

- Carpet-2: ~230 TeV photon-like event 4536 sec after T0
- $N_e=36400$ (~300 TeV)
- arrival direction: RA=289.51°, DEC=18.44°, 1.78° from GRB (angular resolution 4.7°)
- zenith angle 26°
- 0 muons in 175 m² detector and
- 3 muons in 410 m² detector

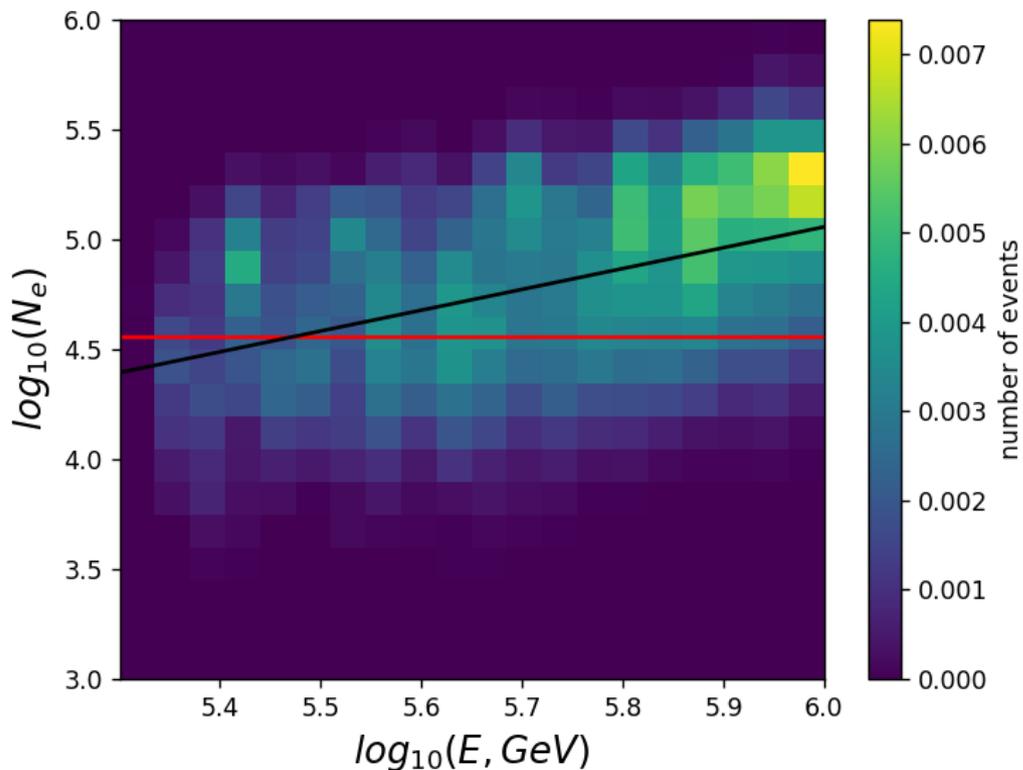
Poisson probability of a random coincidence of

175m²: **0.0033** (1442 work day, 5 muonless events, $N_e > 36400$)
2.95 sigma

410m²: **0.0036** (484 work day, 2 events $N_\mu \leq 3$ with $N_e > 36400$)
2.92 sigma

Оценка первичной энергии события гамма всплеска

Зависимость числа частиц N_e от первичной энергии фотонного ливня



Красная линия: $N_e = 36400$ (N_e события)

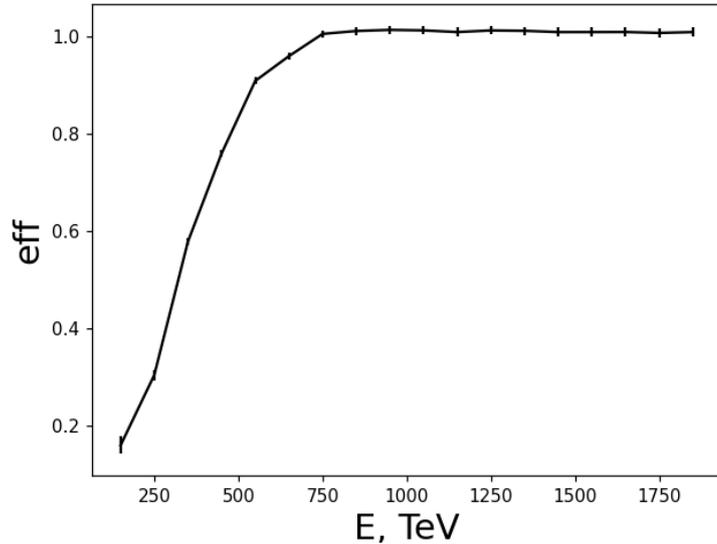
Черная линия: фит

Распределение N_e взвешенно с учётом
Наклона спектра фотонов -2
 $dN/dE \sim N^{-2}$

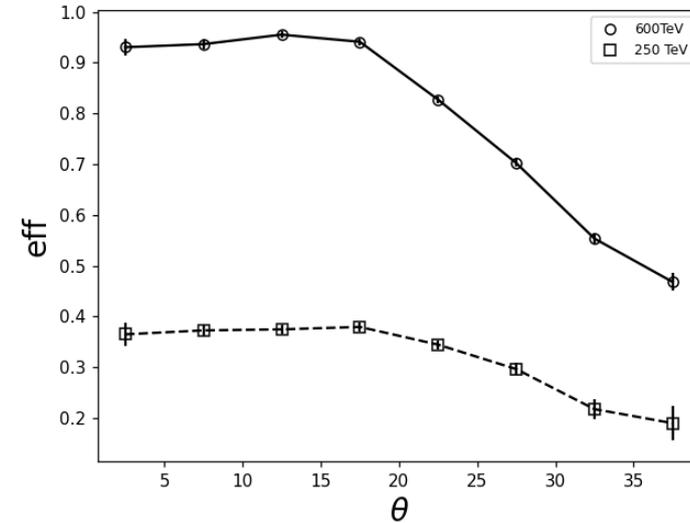
$$E_\gamma = 300(\pm 50) \text{TeV}$$

Эффективность регистрации события

eff = доля отобранных событий / доля брошенных на установку ливней



Зависимость эффективности регистрации от энергии

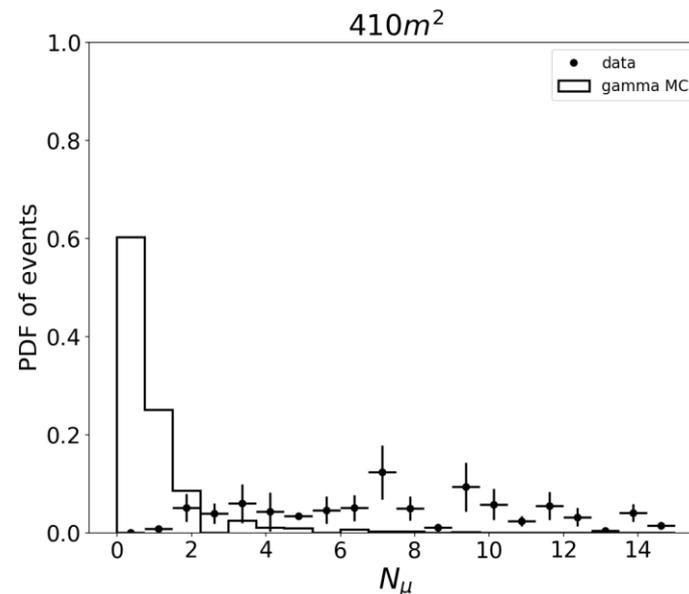
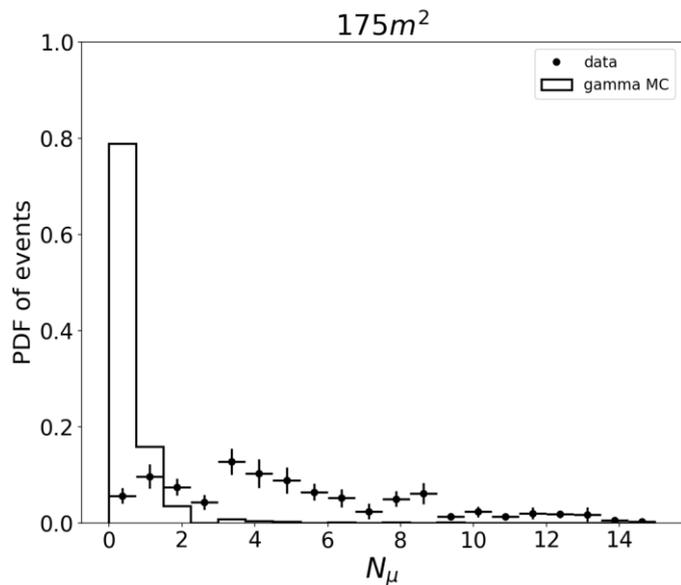


Зависимость эффективности регистрации от зенитного угла

$$A_{\text{eff}} = \text{eff} \times A_{\text{geom}}$$
$$A_{\text{geom}} = 12.82 \times 12.82 \text{ m}^2, \text{ eff} = 0.294,$$

$$A_{\text{eff}} = 48.37 \text{ m}^2$$

ПО МЮОННОЙ КОМПОНЕНТЕ ЛИВНЯ

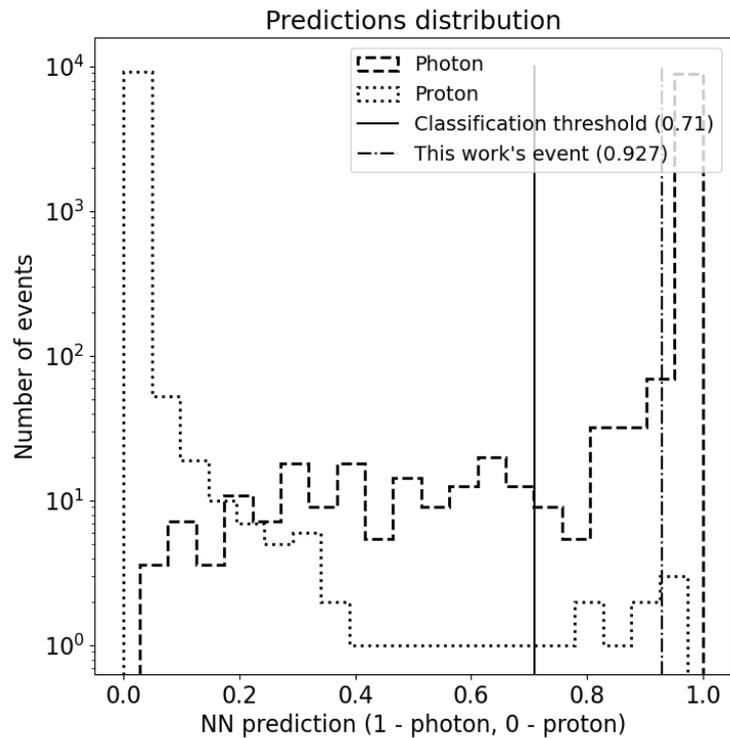
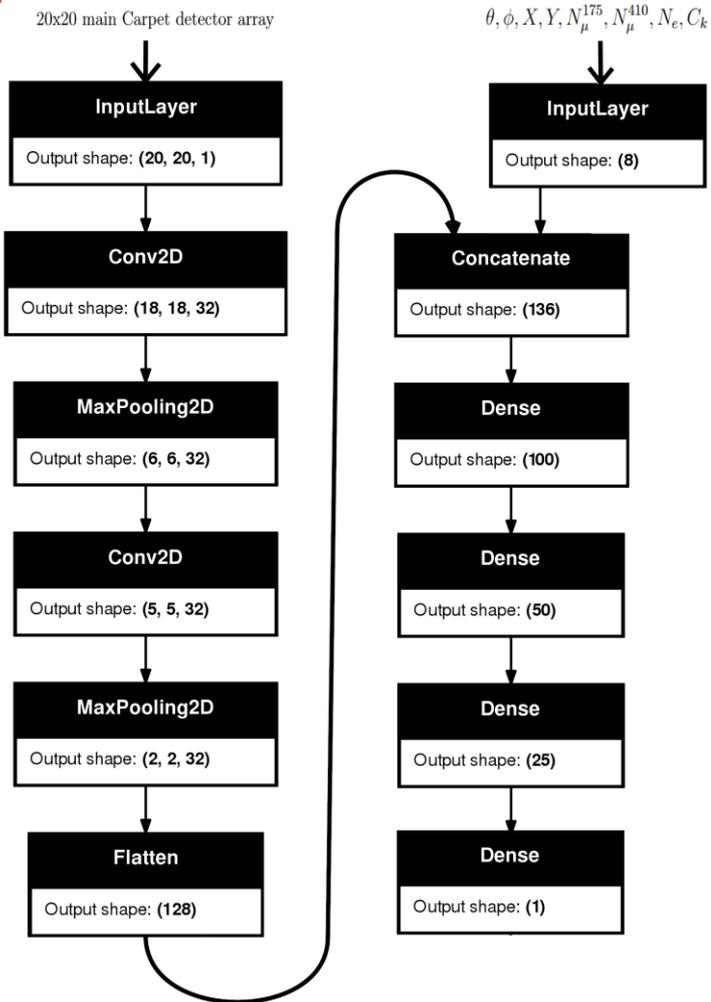


Для оценки адронного фона мы использовали данные отобранные с того же направления прихода (θ , φ), в котором находится гамма всплеск. Затем мы взвешивали события с учётом лог-нормального распределения с средним значением соответствующее N_e события. Так же добавлено двойное Гауссовское распределение по углам прихода. С учетом этих весов мы строим распределения отобранных событий по числу мюонов N_μ

P-value = 0.050 - доля событий с $N_\mu = 0$ в данных мюонного детектора 175m²

P-value = 0.079 - доля событий с $N_\mu \leq 3$ в данных мюонного детектора 410m²

Нейросетевая классификация фотонов



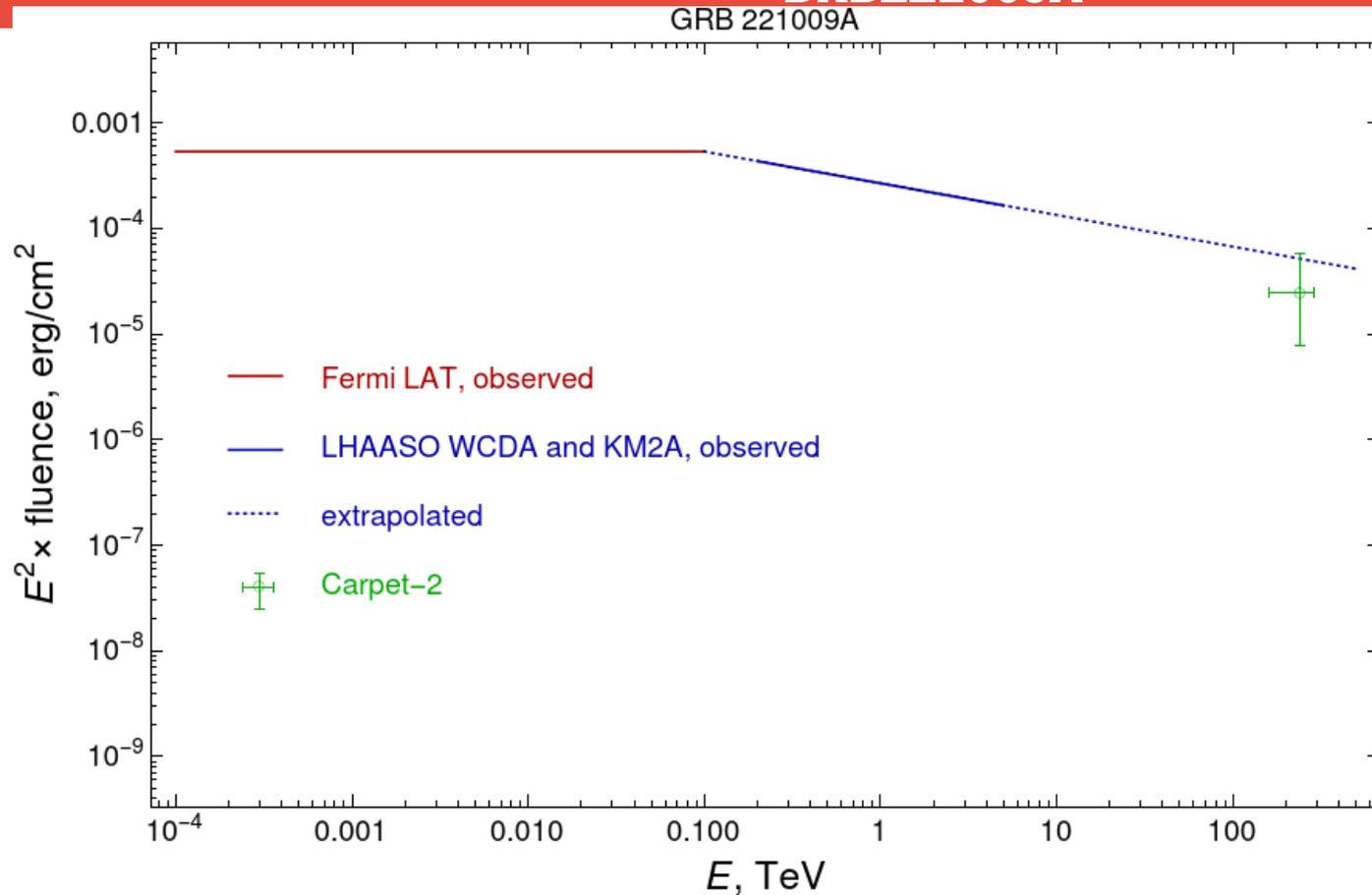
Распространение прогнозов нейросети.
Фотонному событию соответствует 1, протонному – 0.
Показаны порог классификации (сплошная линия) и событие,
анализируемое в данной работе (штрихпунктирная линия).

План доклада

- ◆ Гамма всплеск GRB221009A, регистрация и хронология наблюдения
- ◆ Анализ события ассоциированного с GRB221009A на установке «Ковёр-2»
- ◆ **Сравнение результатов с другими экспериментами**
- ◆ Интерпретация события

Сравнение флюенса фотонов от гамма всплеска

BRB221009A



$$\text{Fluence} = N_{\text{events}} / (dE \cdot dA) = 1.63(-0.45/+1.14) \times 10^{-10} \text{ erg}^{-1} \text{ cm}^{-2}$$

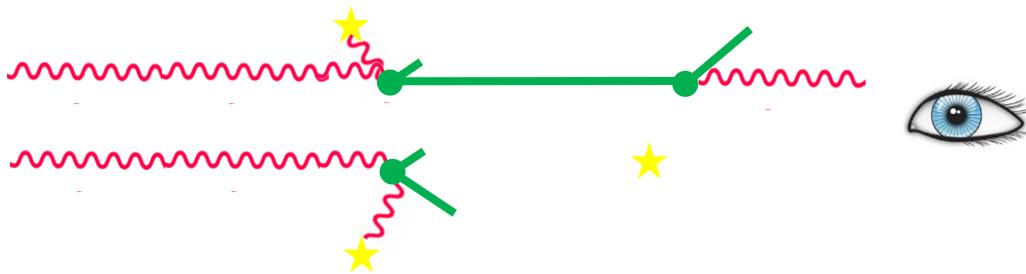
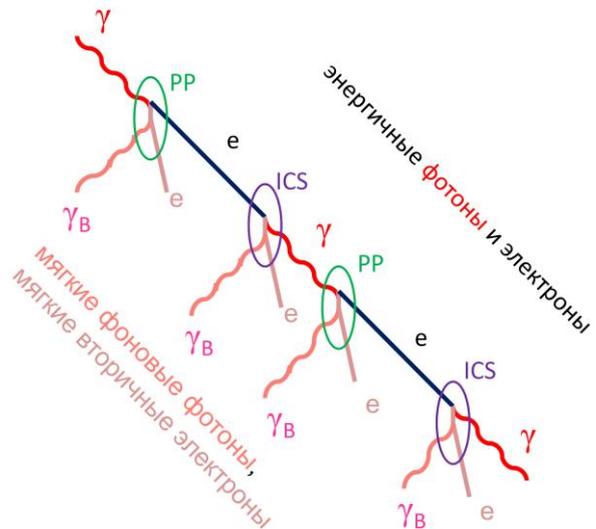
План доклада

- ◆ Гамма всплеск GRB221009A, регистрация и хронология наблюдения
- ◆ Анализ события ассоциированного с GRB221009A на установке «Ковёр-2»
- ◆ Сравнение результатов с другими экспериментами
- ◆ **Интерпретация события**

Интерпретация события связанного с гамма всплеском

Объяснение классической физикой:

1. Событие пришло от галактического источника - галактическая широта 4° - близко к плоскости Млечного Пути.
2. В той же области на небесной сфере находится источник наблюдаемый установкой HAWK.
3. Но такое событие из данного направления пришло 1 раз за 1442/484 дней и совпало с гамма всплеском
4. $p \sim 0.003$ (3 sigma).
5. До нас долетают вторичные фотоны рождаемые в ходе электромагнитного каскада или обрезания ГЗК,
6. в ходе которого протон рождает π^0 распадающийся на фотоны. Но расстояния для этих процессов большое.



Интерпретация события связанного с гамма всплеском

Объяснение новой физикой:

1. Рождение пар из-за рассеивания гамма излучения на реликтовых фотонах подавлено
2. нарушением Лоренц инвариантностью
3. Распад тяжелых, стерильных нейтрино.
4. Аксионподобные частицы — механизм «свет сквозь стену»

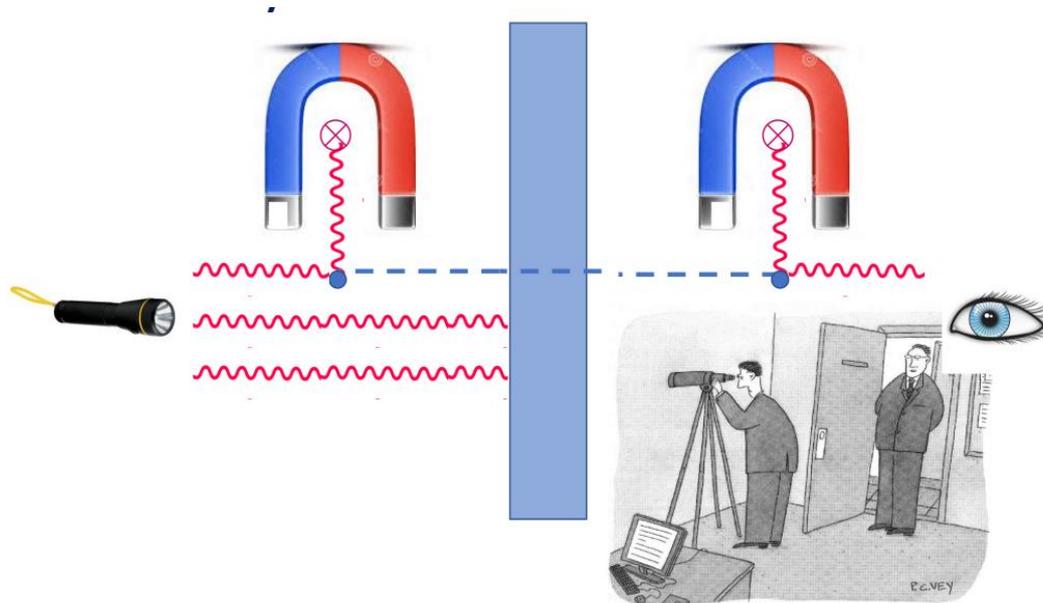
изменение дисперсионных соотношений

$$E_a^2 - p_a^2 = m_a^2 \pm |\delta_{a,n}| p_a^{n+2}$$



$$E_{\gamma_b}^{\text{th}} = \frac{m_e^2}{E_\gamma} - \frac{1}{4} \delta_{\gamma,n} E_\gamma^{n+1}$$

сдвиг пороговой энергии рождения пар



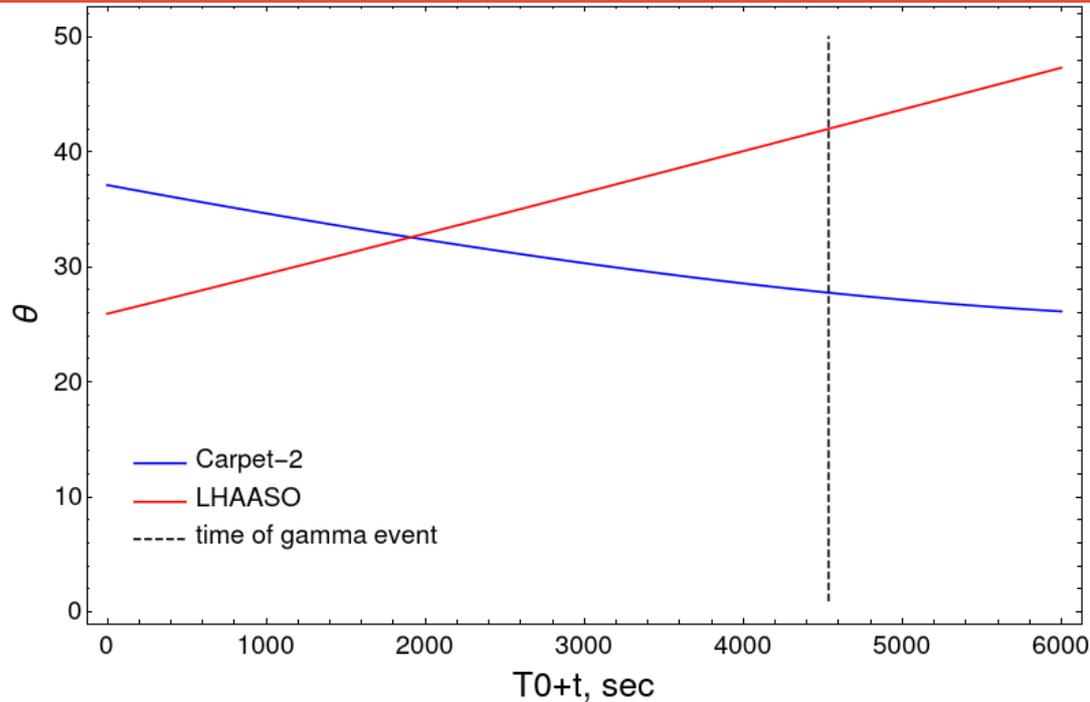
Заключение и выводы

- **GRB 221009A** – рекордный гамма-всплеск по яркости и по энергии фотонов
- расстояние большое – красное смещение **$z=0.151$**
- фотоны LHAASO (до **18 ТэВ**)
- фотоподобное событие, Ковер-2 (**~ 300 ТэВ**)
- из-за рождения пар на фоновых излучениях фотоны таких энергий до нас долетать не должны
- фотоны из Галактики? Каскады? Аксиоподобные частицы???

Даже при наличии крупных установок, подобных LHAASO, маленькие вроде Ковра, удаленные по географической долготе, могут дать важные результаты

Thank you for your attention!





Зависимость зенитного угла под которым виден гамма всплеск от времени наблюдения.
 От момента вспышки и течения времени наблюдения источник уходит из поля зрения LHAASO.
 В то время как через 1.5 часа вспышка попадает в поле зрения «Ковра-2»

LHAASO $\Theta_{\max} = 50^{\circ}$
 Carpet-2 $\Theta_{\max} = 40^{\circ}$

Архитектура используемой нейронной сети

