



*Институт ядерных исследований
Российской академии наук*

Регистрация фотона уникально высокой энергии от космического гамма-всплеска и интерпретация этого наблюдения

Романенко Виктор

От коллаборации «Ковер-3»

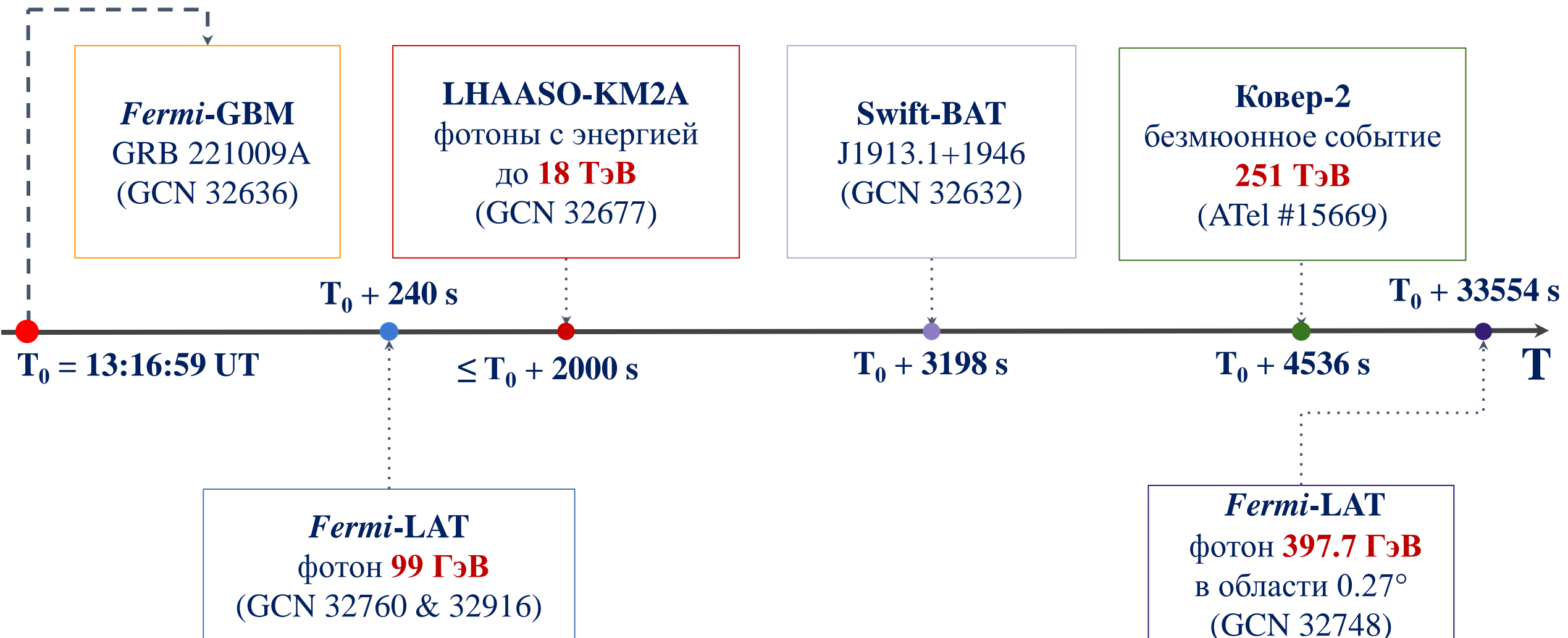
Заседание ученого совета ИЯИ РАН

Москва – 7 декабря 2022

- ❖ **Обзор события GRB 221009A**
- ❖ **Наблюдение фотоподобного события на установке «Ковер-2»**
- ❖ **Интерпретация наблюдения**

- ❖ **Обзор события GRB 221009A**
- ❖ Наблюдение фотоподобного события на установке «Ковер-2»
- ❖ Интерпретация наблюдения

Гамма всплеск GRB 221009A, $z=0.151$



Фотоноподобные событие 251 ТэВ, ATel #15669

Событие зафиксировано в **14:32:35 UT**,
через **1338 сек** после триггера **Swift-BAT**
и через **4536 сек** после триггера **Fermi-GBM**.

Восстановленное направление прихода:
RA=**289.51°**, Dec=**18.44°**, что составляет **1.78°** от области
локализации **GRB 221009A**, что находится в пределах
углового разрешения установки Ковер-2,
равного **4.7°** (90% CL).

Восстановленная энергия составляет **~251 ТэВ**.

В мюонном детекторе **175 м²**

мюонов **не зарегистрировано***

В пределах углового разрешения **90% CL** ожидается
приход одного фонового фотоноподобного ливня этой
энергии за **428 дней**, что соответствует пуассоновской
вероятности случайного совпадения **1.2×10^{-4}** ,
что соответствует **3.8** сигма (**pre-trial**)

Swift J1913.1+1946/GRB 221009A: detection of a 250- TeV photon-like air shower by Carpet-2

ATel #15669; *D. D. Dzhappuev, Yu. Z. Afashokov, I. M. Dzaparova, T. A. Dzhatdov, E. A. Gorbacheva, I. S. Karpikov, M. M. Khadzhiev, N. F. Klimenko, A. U. Kudzhaev, A. N. Kurenya, A. S. Lidvansky, O. I. Mikhailova, V. B. Petkov, E. I. Podlesnyi, N. A. Pozdnukhov, V. S. Romanenko, G. I. Rubtsov, S. V. Troitsky, I. B. Unatlov, I. A. Vaiman, A. F. Yanin, K. V. Zhuravleva (Carpet-2 group, INR RAS)*

on **12 Oct 2022; 13:56 UT**

Credential Certification: *Sergey Troitsky (st@ms2.inr.ac.ru)*

Subjects: VHE, UHE, Gamma-Ray Burst, Transient

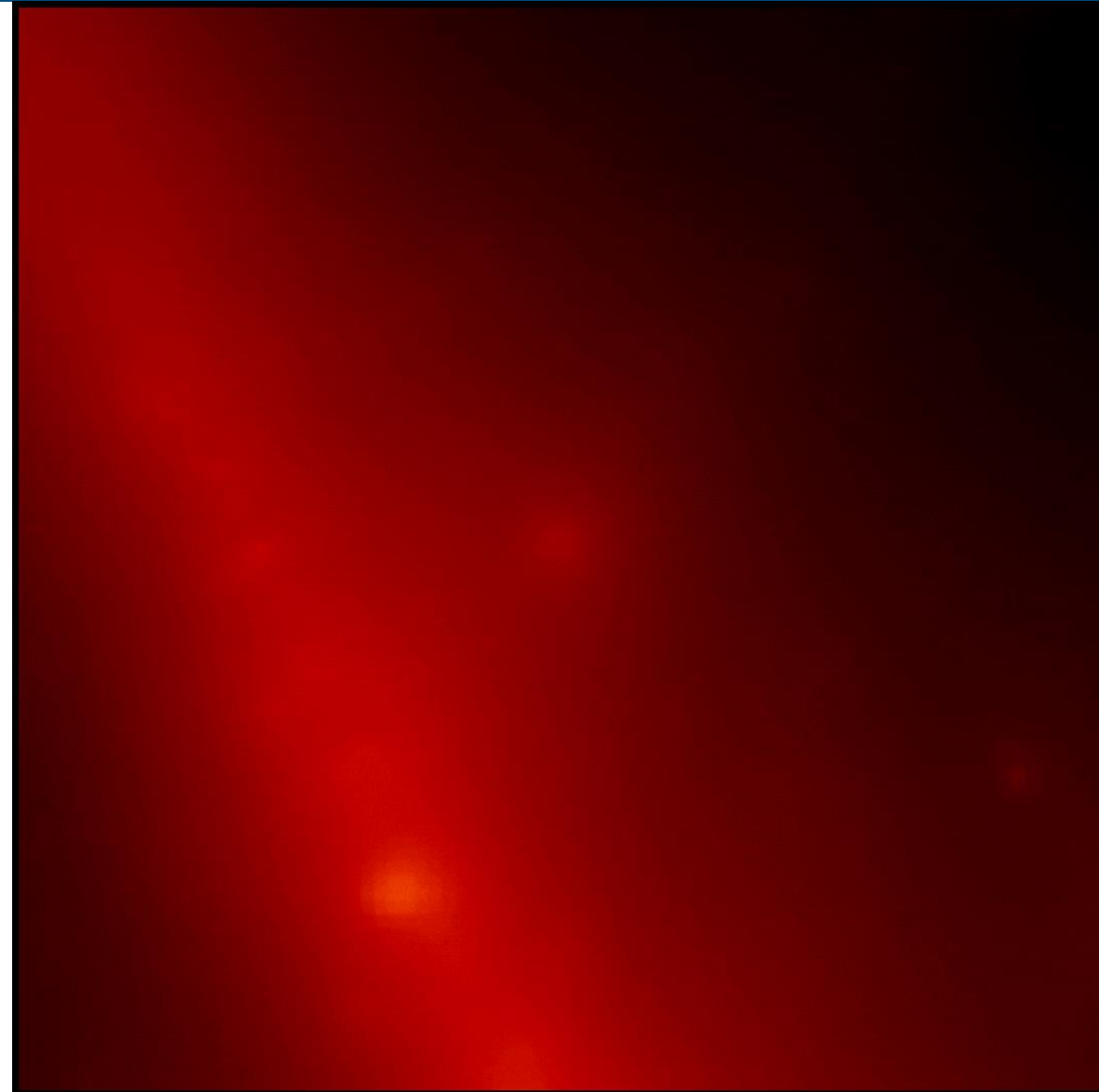
Referred to by ATel #: **15675**

Изображения, построенные на основе данных телескопа *Fermi-LAT*, полученных в течении 10 часов, показывает небо в гамма-лучах с центром в области локализации **GRB 221009A**.

На каждом кадре показаны гамма-лучи с энергией более **100 МэВ**.

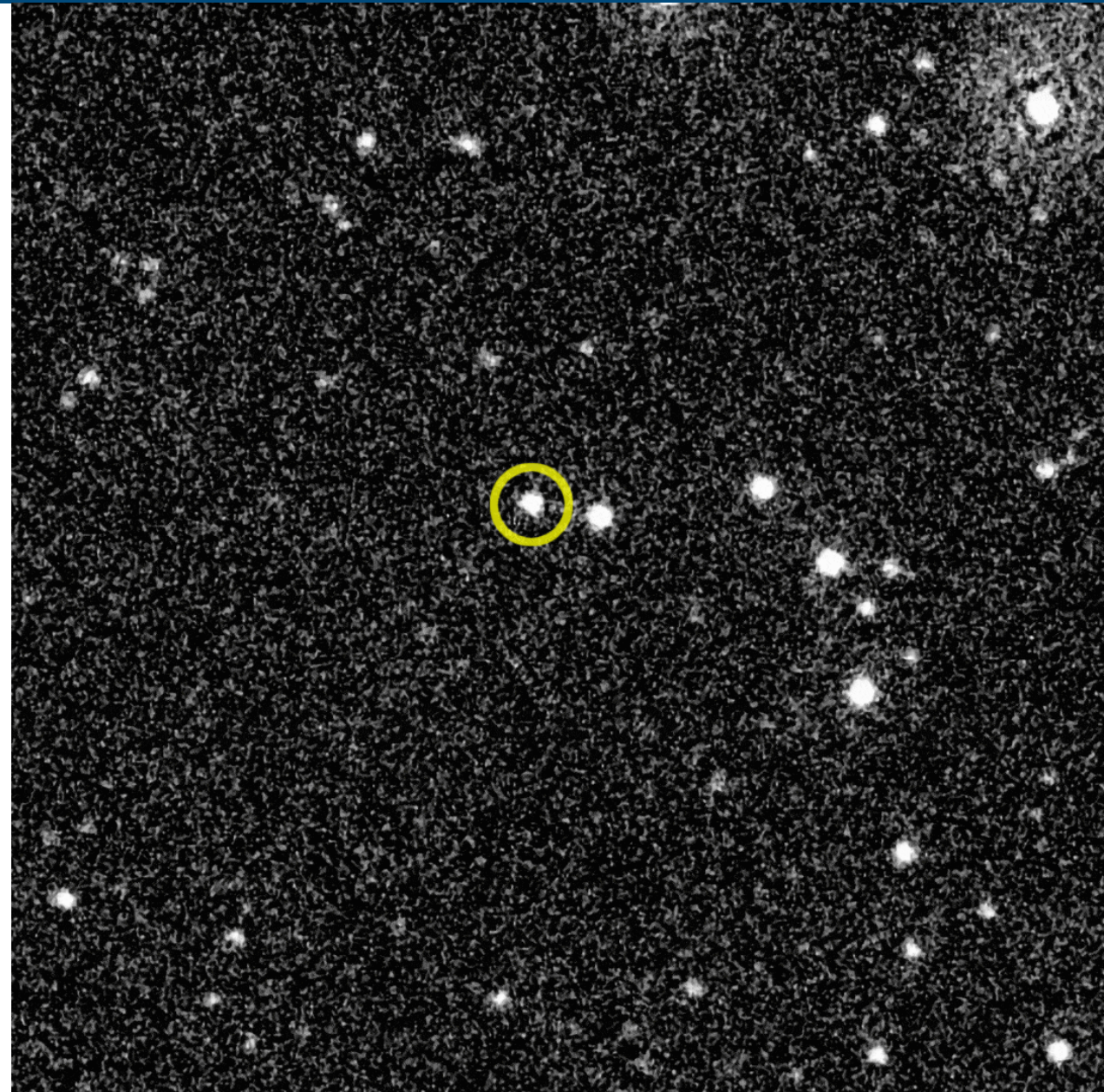
Более яркие цвета указывают на более сильный сигнал гамма-излучения.

Изображение имеет угол около 20 градусов.



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.



Цель: подготовка и публикация совместной работы в журнале **ApJ(/L/S) или **A&A****

Список участников

IXPE, XMMobservations (1 & 2), H.E.S.S., Stargate, Australian Radio group, Fermi-GBM, IceCube, KM3NeT, GRBAlpha, Oxford (and friends) radio group, Pan-STARRS, **MASTER**, **Konus-Wind**, Insight-HXMT, HEBS, GRANDMA, Fermi-LAT, SIRI, MuSCAT3+, NICER, MITSuME, MAXI, MAGIC, VERITAS, US radio + NUSTAR Group, O'Connor+, Swift, **Baikal-GVD**, Liverpool, **Carpet-2**, Zhang+, SRG/ART-XC, HAWC

LHAASO – от сотрудничества отказалась

- ❖ Обзор события GRB 221009A
- ❖ **Наблюдение фотоподобного события на установке «Ковер-2»**
- ❖ Интерпретация наблюдения

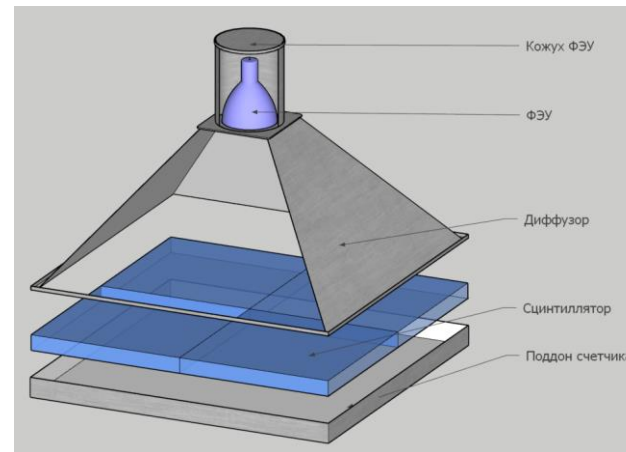
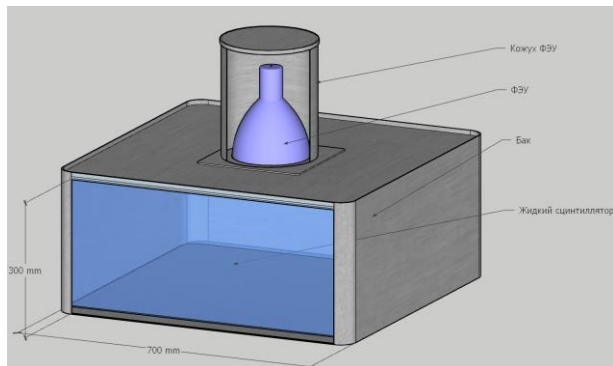
Установка «Ковер–2»

Наземная часть установки

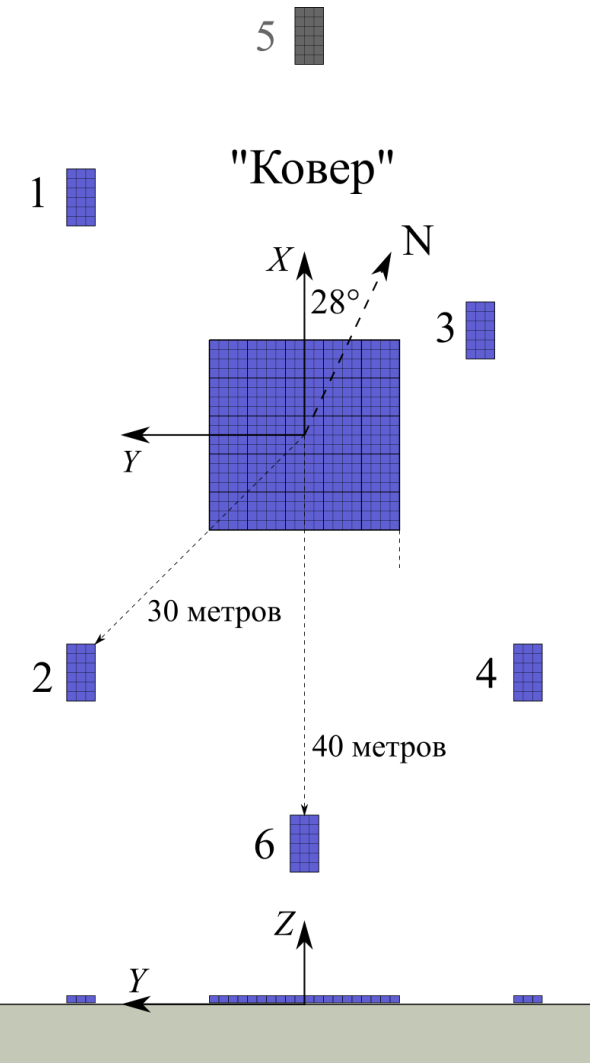
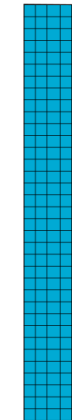
- «Ковер» – **400** счетчиков на основе жидкого сцинтиллятора, общей площадью **196 м²**
- **5** выносных пунктов регистрации, **18** счетчиков в каждом, на основе жидкого сцинтиллятора, площадь **9 м²**.

Подземный мюонный детектор

- **175** счетчиков на основе пластического сцинтиллятора, общей площадью **175 м²**
- **1 ГэВ** – пороговая энергия для вертикальных мюонов



Мюонный
детектор



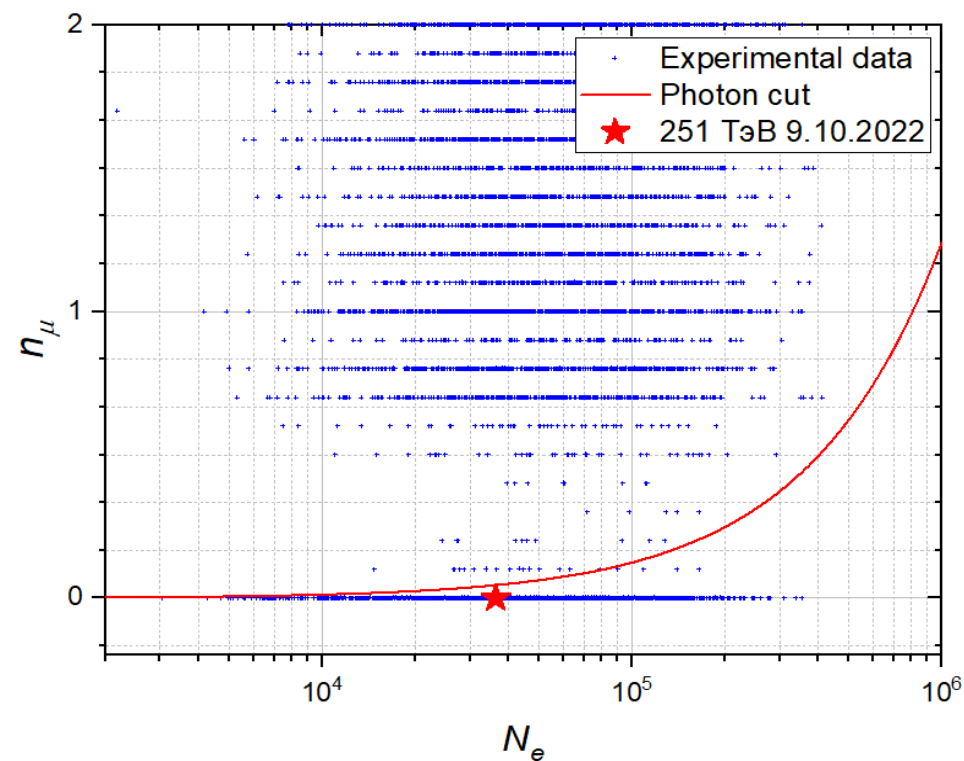
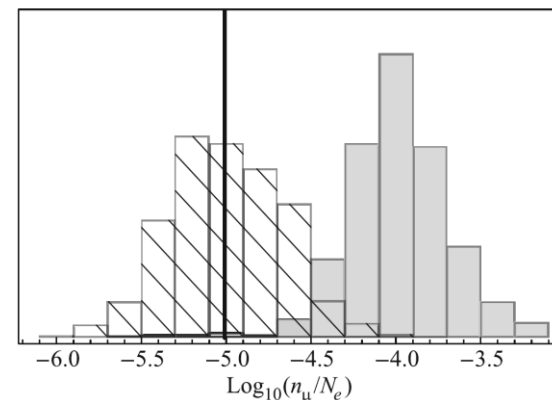
Критерии отбора фотоноподобных событий

К анализу допускаются события,
удовлетворяющие следующим критериям

- Кол-во сработавших счетчиков установки “Ковер” ≥ 300 ;
- Общее число частиц N_e в ливне $\geq 10^4$;
- Зенитный угол $\theta \leq 40^\circ$;
- Число мюонов в МД: $1 < n_\mu < 250$ (до 2018 года) ;
 $0 \leq n_\mu \leq 250$ (после 2018 года).

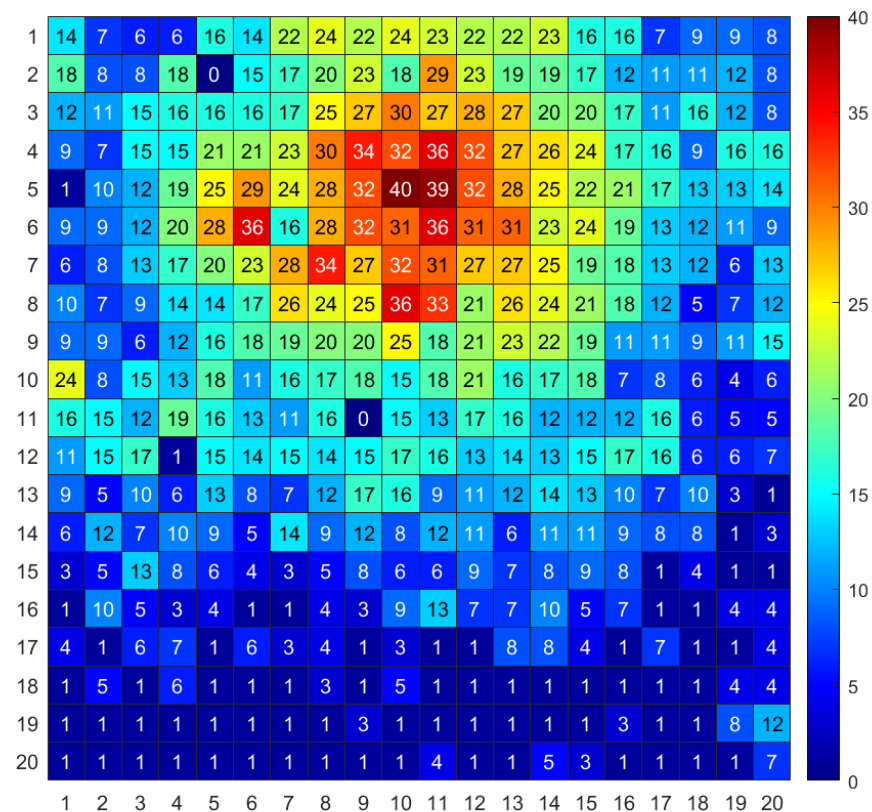
Критерии отбора фотоноподобных событий определялись
на основе моделирования фотонных ШАЛ

- $\min N_e$ фотонов: $E > 300$ ТэВ
- $\max n_\mu/N_e - 50\%$ для фотонов с энергией $E > 300$ ТэВ
(по результатам моделирования, для спектра E^{-2})

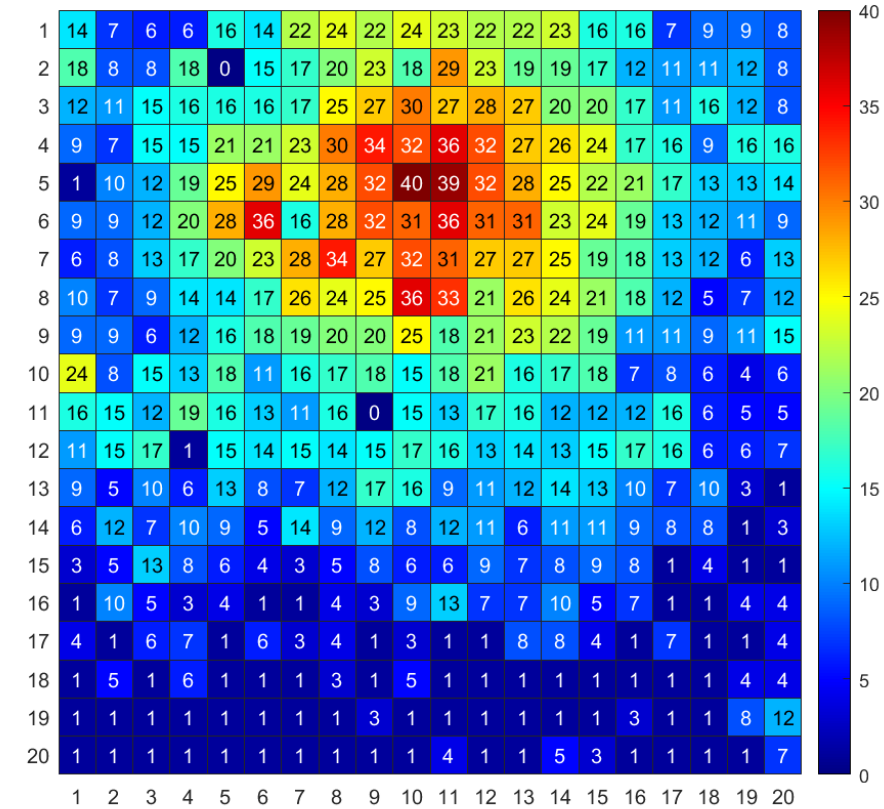
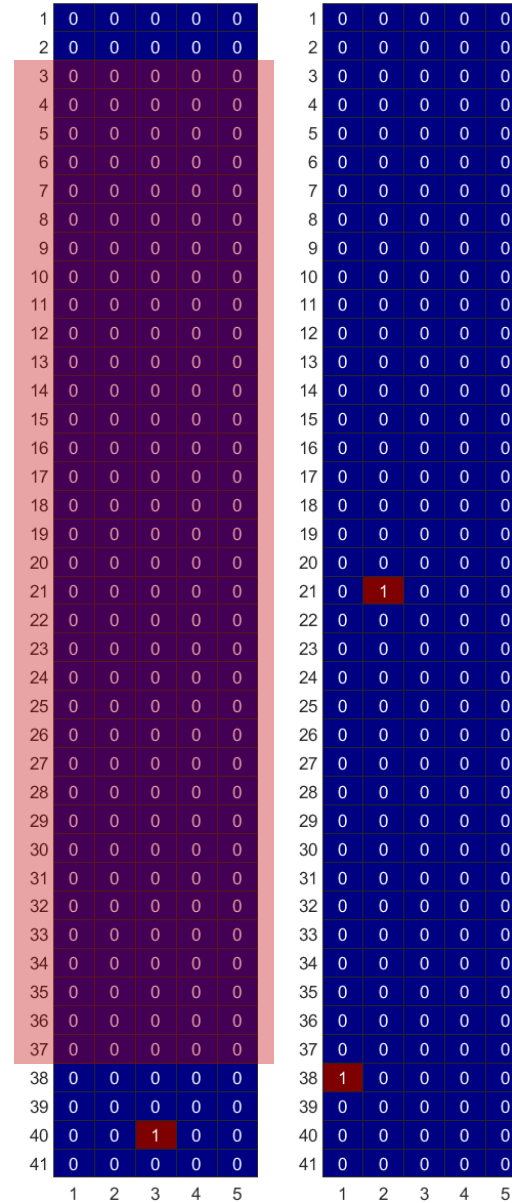
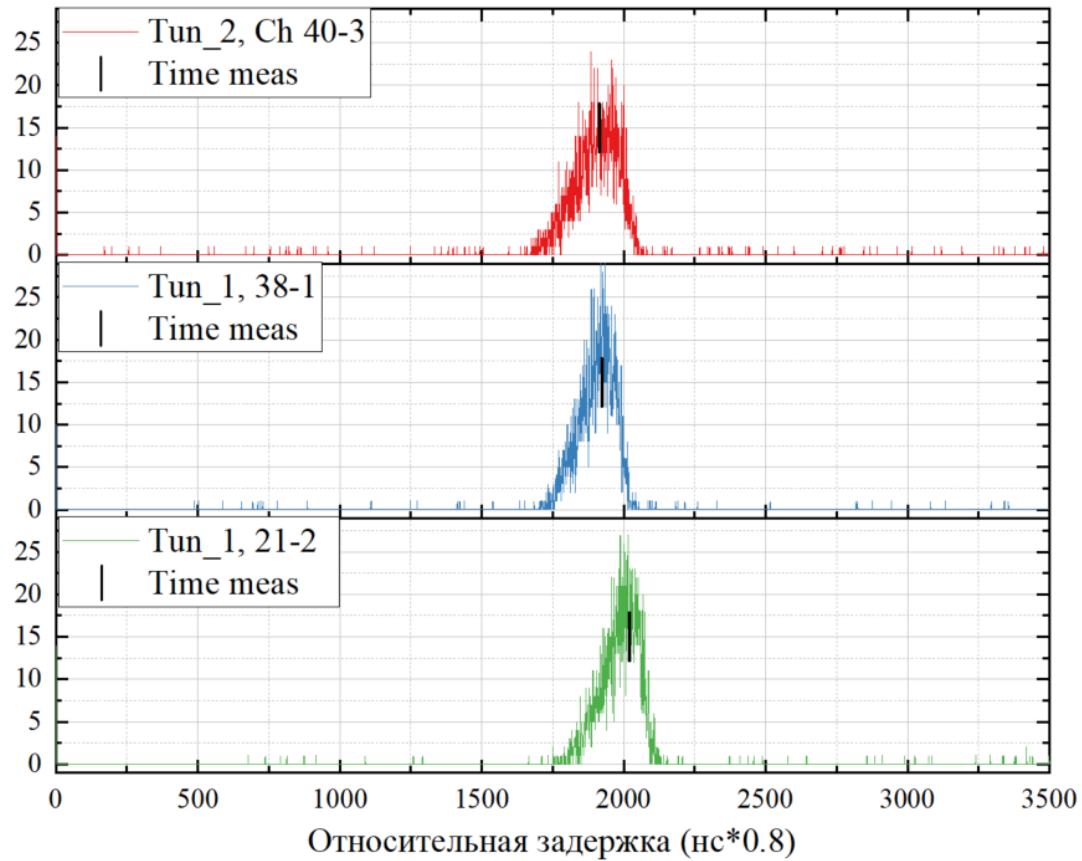


Изображение события 251 ТэВ, по данным установки «Ковер-2»

3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0



... и по данным установки «Ковер-2» + МД 410 м²



- ❖ Обзор события GRB 221009A
- ❖ Наблюдение фотоподобного события на установке «Ковер-2»
- ❖ **Интерпретация наблюдения**

Потенциальный галактический источник

Swift J1913.1+1946/GRB 221009A: Galactic sources of > 100 TeV-photon in spatial coincidence with the 250-TeV photon-like air shower reported by Carpet-2

ATel #15675; *Nissim Fraija (UNAM), Magda Gonzalez(UNAM), for the HAWC Collaboration*

on 13 Oct 2022; 19:30 UT

Credential Certification: *Hugo Alberto Ayala Solares (hgayala@psu.edu)*

Subjects: Gamma Ray, TeV, VHE, A Comment

[Tweet](#)

A 250 TeV-photon like air shower was possibly associated with GRB 221009A in ATel #15669.

We note that [3HWC J1928+178](#) reported in the Third HAWC Catalog (<https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-4357/abc2d8/pdf>) is a source of photons up to 140.5 TeV. This source is consistent with the location of 250 TeV-photon event reported by Carpet-2 within the 90% uncertainty.

HAWC is most sensitive to sources transiting directly at declinations of 19.0 degrees.

It is worth noting that the Galactic source [LHAASO J1929+1745](#) (<https://www.nature.com/articles/s41586-021-03498-z>) reported with maximum energy photons up to 700 TeV could also be a source candidate of 250 TeV-photon event.

	Ковер-2	3HWC J1928+178	LHAASO J1929+1745
RA, °	289.51	292.10	292.25
Dec, °	18.44	17.82	17.75

Table 1: Characteristics of the pulsars located in the vicinity of [3HWC J1928+178](#) taken from the ATNF catalogue [6].

	PSR J1928+1746	PSR J1930+1852	PSR J1932+1916
celestial coordinates (ra °, dec °)	(292.18, 17.77)	(292.62, 18.87)	(293.08, 19.28)
galactic coordinates (l °, b °)	(52.93, 0.11)	(54.1, 0.26)	(54.67, 0.09)
distance (kpc)	4.3	6.2	-
age (kyr)	82.6	2.9	35.4
period (s)	0.069	0.14	0.21
spin down power (erg s ⁻¹)	1.6 × 10 ³⁶	1.2 × 10 ³⁷	4.1 × 10 ³⁵

[arXiv:2108.13005v1 \[astro-ph.HE\]](#)

LHAASO Source	Possible Origin	Type	Distance (kpc)	Age (kyr) ^a	L_s (erg/s) ^b	Potential TeV Counterpart ^c
LHAASO J1929+1745	PSR J1928+1746	PSR	4.6	82.6	1.6 × 10 ³⁶	2HWC J1928+177, 2HWC J1930+188,
	PSR J1930+1852	PSR	6.2	2.9	1.2 × 10 ³⁷	HESS J1930+188, VER J1930+188
	SNR G54.1+0.3	SNR	6.3 ^{+0.8} _{-0.7} ^d	1.8 – 3.3 ^k	—	

Cao Z. et al //Nature. – 2021.

Диффузное γ -излучение от галактического диска

Measurement of very-high-energy diffuse gamma-ray emission from Galactic plane with LHAASO-KM2A

PoS(ICRC2021)859

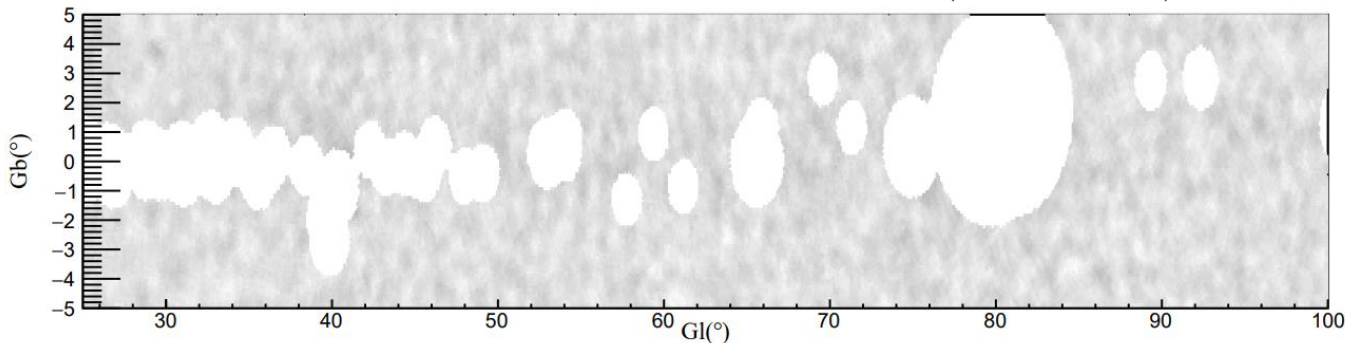


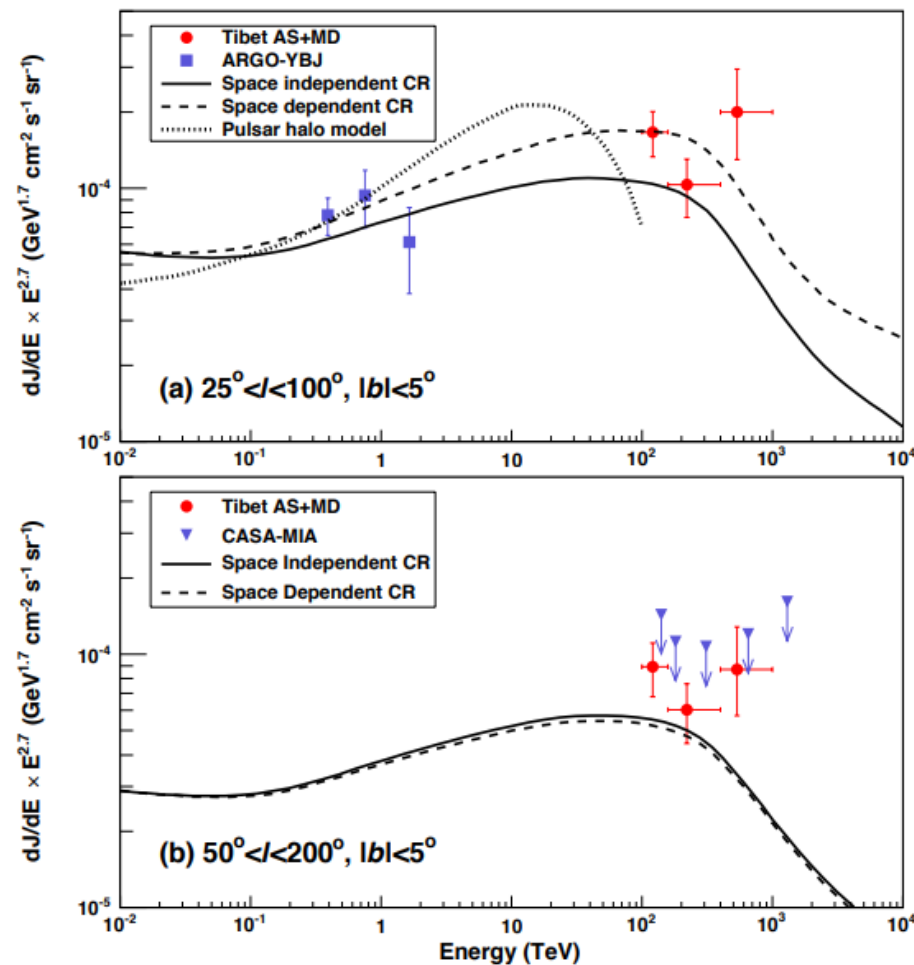
Figure 2: Map of IGP after extracting sources. White spaces indicate masked regions.

Energy(log(E/TeV))	N_{on}	N_b	N_s	significance
1.0-1.2	2291024	2281916.5	9107.5	6.03
1.2-1.4	801892	796833.8	5058.2	5.66
1.4-1.6	64240	62371.2	1868.8	7.45
1.6-1.8	8367	7570.2	796.8	9.00
1.8-2.0	4782	4426.7	355.3	5.27
2.0-2.2	561	415.8	145.2	6.76
2.2-2.4	133	55.4	77.6	8.81
2.4-2.6	33	19.9	13.1	2.67
2.6-2.8	21	4.4	16.6	5.71
2.8-3.0	2	2.0	0.0	0.03

Table 1: Measurements of GDE excess at each energy bin. N_{on} , N_b and N_s represents sum of the event count, sum of the background count and excess of the region IGP respectively. The significance here is \sqrt{TS} .

First Detection of sub-PeV Diffuse Gamma Rays from the Galactic Disk ...

Phys. Rev. Lett. 126, 141101

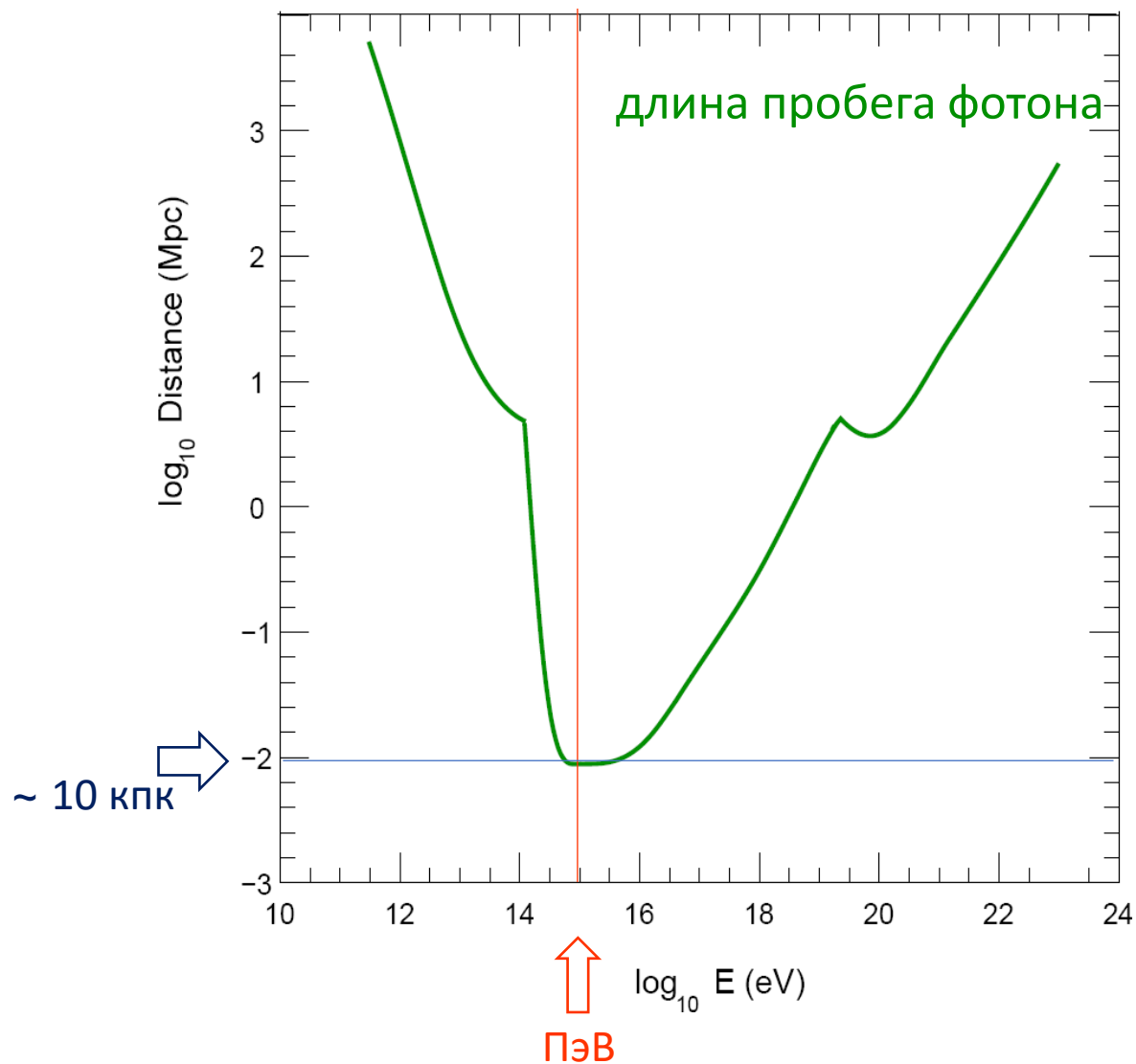


энергичными фотонами на фоновом излучении

Для $z = 0.151$ (GRB 221009A)

оптическая толщина:

- для 18 ТэВ, 15 ± 5
- для 251 ТэВ, > 3000

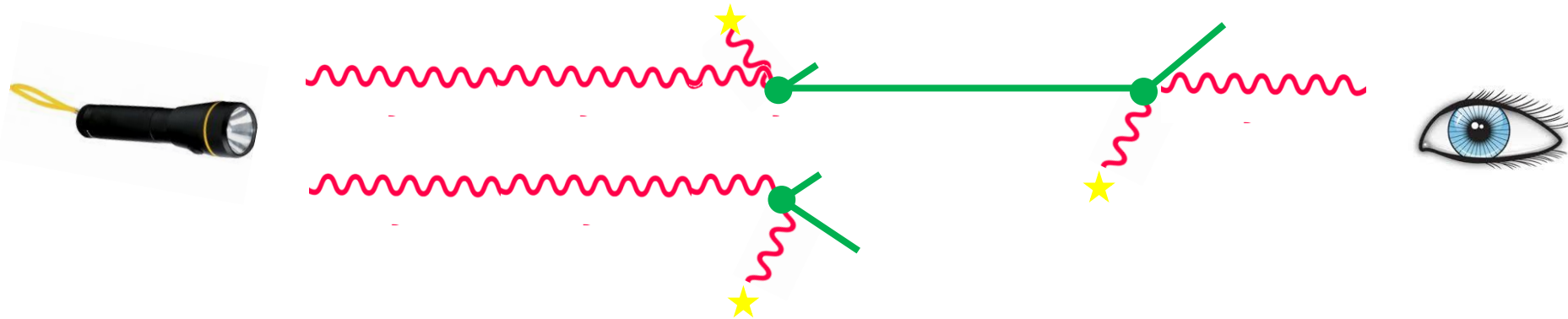
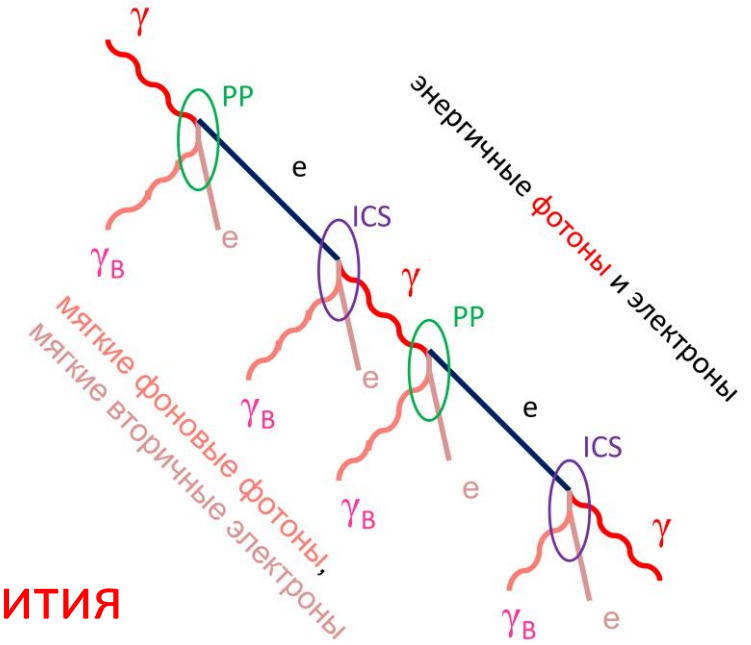


Фотоны не из источника?

Электромагнитные каскады дают вторичные фотоны

Dzhatdov et al.

- заряженные частицы разных энергий следуют разными траекториями
- расстояние до GRB много больше характерной длины развития каскада

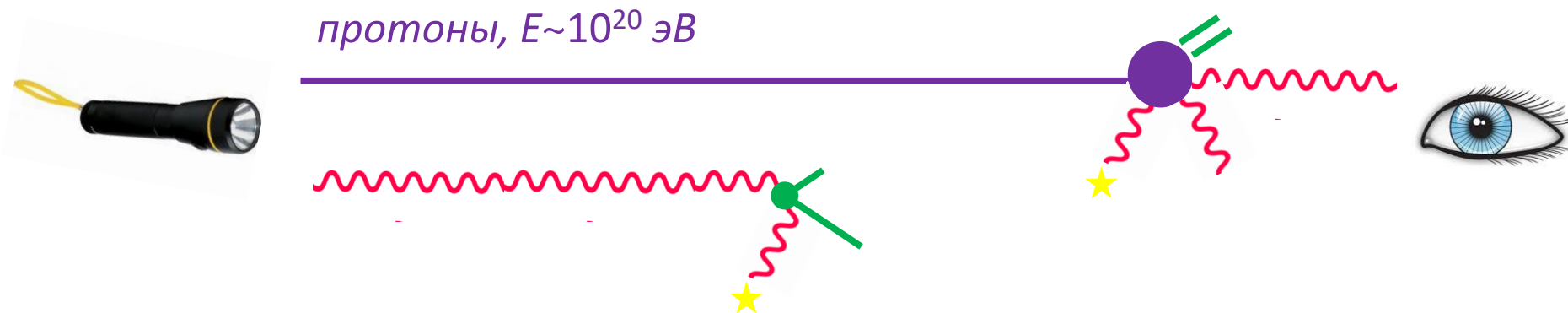


Фотоны не из источника?

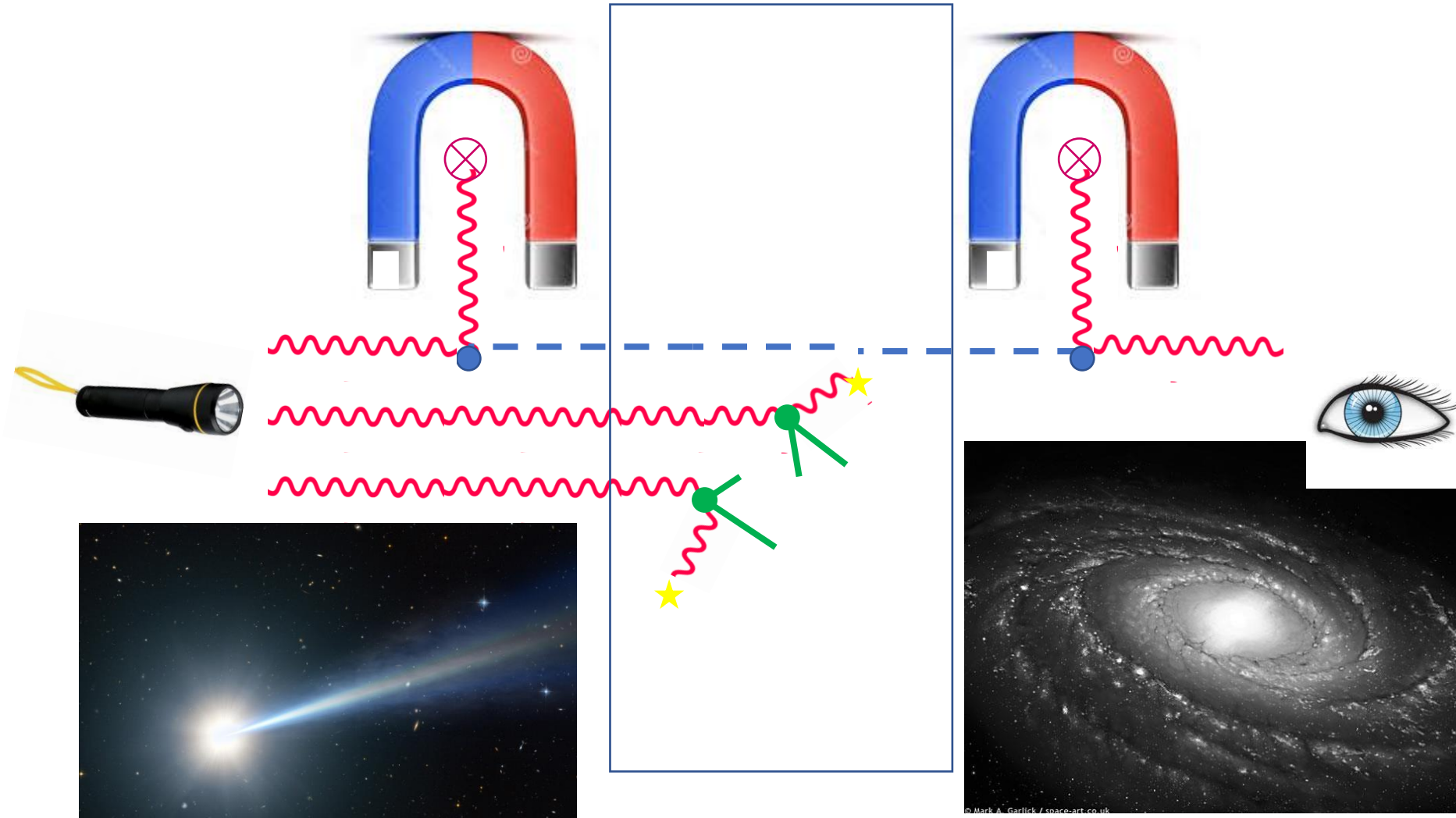
- те же источники рождают протоны сверхвысоких энергий
- ГЗК-процесс дает вторичные фотоны (из распадов π_0)

Essay, Kusenko

- заряженные частицы разных энергий следуют разными траекториями
- трудно объяснить отсутствие временной задержки
- расстояние до GRB заметно больше ГЗК-радиуса



Аксионоподобные частицы: свет сквозь Вселенную



- **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 (**251 ТэВ**)
- из-за рождения пар на фоновых излучениях фотоны таких энергий до нас долетать не должны
- фотоны из Галактики? Каскады? Аксиноподобные частицы???

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

Спасибо за внимание!

*D. D. Dzhappuev^a, Yu. Z. Afashokov^a, I. M. Dzaparova^{a,b}, T. A. Dzhatdov^{a,c}, E. A. Gorbacheva^a, I. S. Karpikov^a,
M. M. Khadzhiev^a, N. F. Klimenko^a, A. U. Kudzhaev^a, A. N. Kurenaya^a, A. S. Lidvansky^a, O. I. Mikhailova^a,
V. B. Petkov^{a,b}, E. I. Podlesnyi^{c,a}, N. A. Pozdnukhov^{c,a}, V. S. Romanenko^a, G. I. Rubtsov^a, S. V. Troitsky^{a1)},
I. B. Unatlokov^a, I. A. Vaiman^a, A. F. Yanin^a, K. V. Zhuravleva^a
(Carpet-2 Group)*

*^aInstitute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences,
60th October Anniversary prospect 7A, 117312 Moscow, Russia*

^bInstitute of Astronomy, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119017 Russia

^cM.V. Lomonosov Moscow State University, 1-2 Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia