

Russian Academy of Sciences

*P.N. Lebedev*



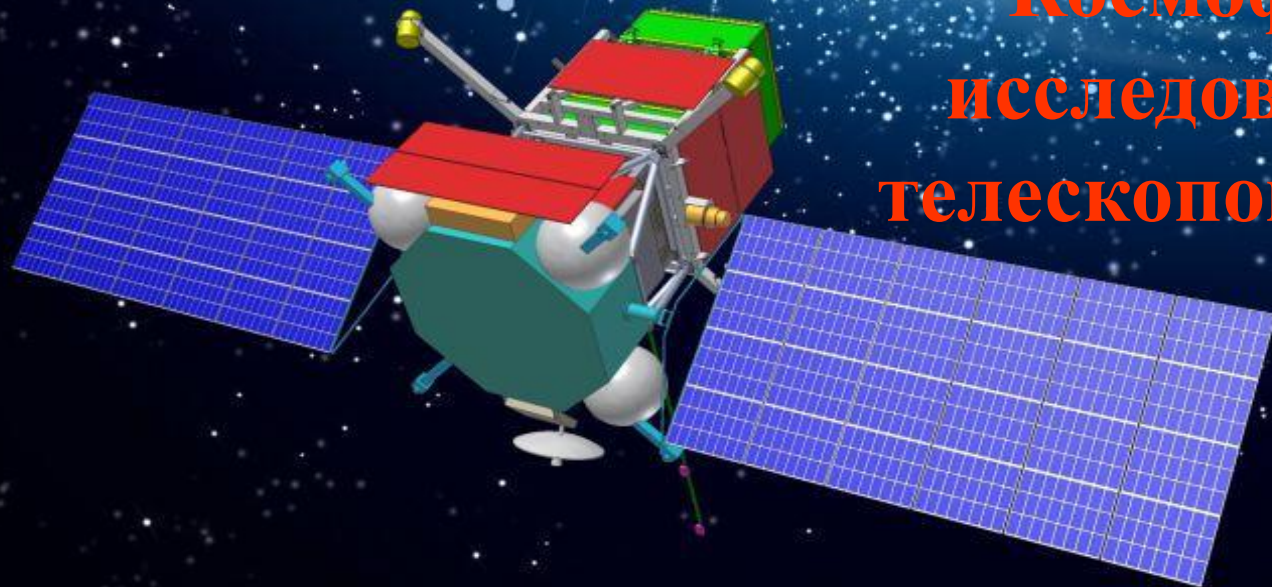
Physical  
Institute

L P I

**Топчиев Николай Петрович –  
д.ф.-м.н., заместитель научного  
руководителя проекта «ГАММА-400»**



**Космофизические  
исследования гамма-  
телескопом ГАММА-400**



НИЯУ МИФИ, Москва, 12 октября 2022 г.





**В.Л. Гинзбург**



**Л.В. Курносова**



**А.М. Гальпер**

Основателями проекта «ГАММА-400» были академик В.Л. Гинзбург и профессор ФИАН Л.В. Курносова. С 2009 г. научным руководителем ГАММА-400 стал профессор МИФИ А.М. Гальпер.

**Первые материалы по ГАММА-400 были представлены:  
Proc. 20<sup>th</sup> ICRC (Moscow, 1987) и  
Space Science Reviews, 49, 215 (1988)**

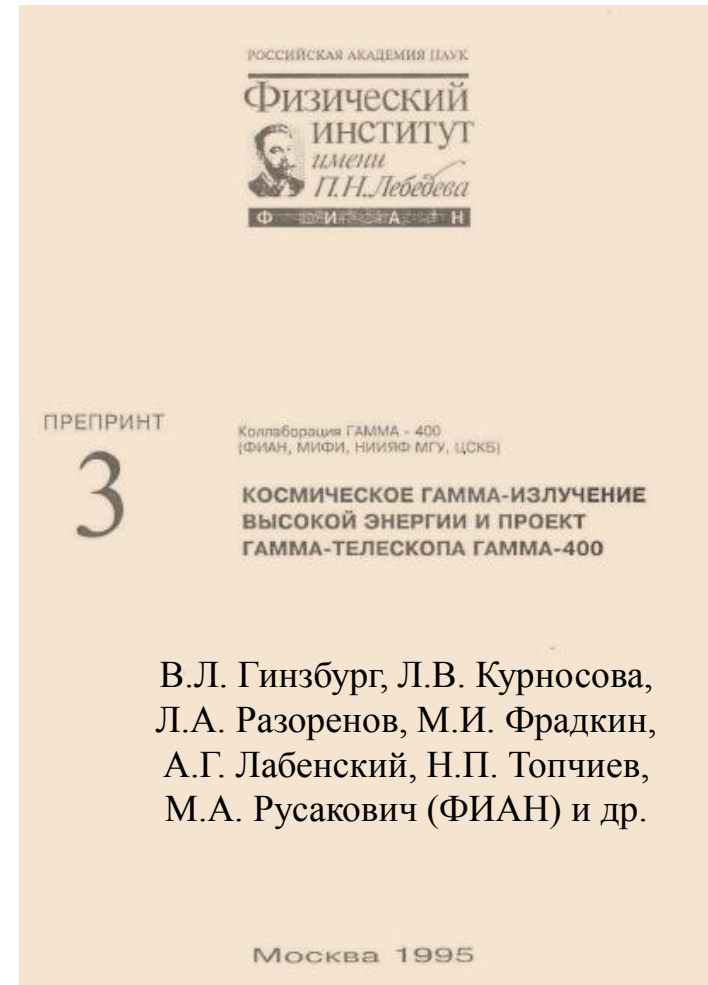
**SOME TASKS OF OBSERVATIONAL GAMMA-RAY  
ASTRONOMY IN THE ENERGY RANGE 5–400 GeV**

V. A. DOGIEL, M. I. FRADKIN, L. V. KURNOSOVA, L. A. RAZORENOV,  
M. A. RUSAKOVICH, and N. P. TOPCHIEV

*P. N. Lebedev Physical Institute of the Academy of Sciences of the USSR, Leninsky pr., 53,  
117924, Moscow, U.S.S.R.*

(Received 1 June, 1988)

**Abstract.** Brief discussion of the necessity to carry out gamma-ray observations in the uninvestigated energy range 5–400 GeV by instrument on the board of space vehicle is given. One of the possible versions of such gamma-telescope is described and some estimations of the possible statistics are made.



**ГАММА-400 – Гамма-Астрономическая Многофункциональная Модульная  
Аппаратура; 400 – первоначальная верхняя граница энергетического диапазона**

С 1999 г. проводились НИР по договорам с Роскосмосом, а с 2009 г. ОКР.

**В соответствии с Федеральными космическими программами РФ на 2009-2015 гг. и 2016-2025 гг. создается космический комплекс «ГАММА-400», включающий космическую обсерваторию для исследования гамма-излучения в диапазоне высоких энергий**

32. Создание космического комплекса, включающего космическую обсерваторию для исследований гамма-излучения в диапазоне высоких энергий (ОКР "Гамма-400").

Заказчик: федеральное государственное бюджетное учреждение "Российская академия наук"

космический комплекс "Гамма-400", включающий космическую обсерваторию с высоким угловым и энергетическим разрешением, обеспечивающий получение данных для определения природы "темной материи" во Вселенной, развития теории процессов в активных астрофизических объектах, происхождения высокоэнергичных космических лучей и физики элементарных частиц

срок активного существования космического аппарата - не менее 7 лет

# **ГАММА-400**

В состав космической обсерватории входят:

**космическая платформа «Навигатор»**

(АО «НПО Лавочкина») и

**комплекс научной аппаратуры «ГАММА-400»**

(КНА «ГАММА-400»)

**КНА «ГАММА-400»**

(ведущая организация – **ФИАН**) включает:

**гамма-телескоп ГАММА-400**

(**ФИАН, НИЯУ МИФИ, НИИСИ РАН, АО «НПО Лавочкина»**).

Дополнительно установлены:

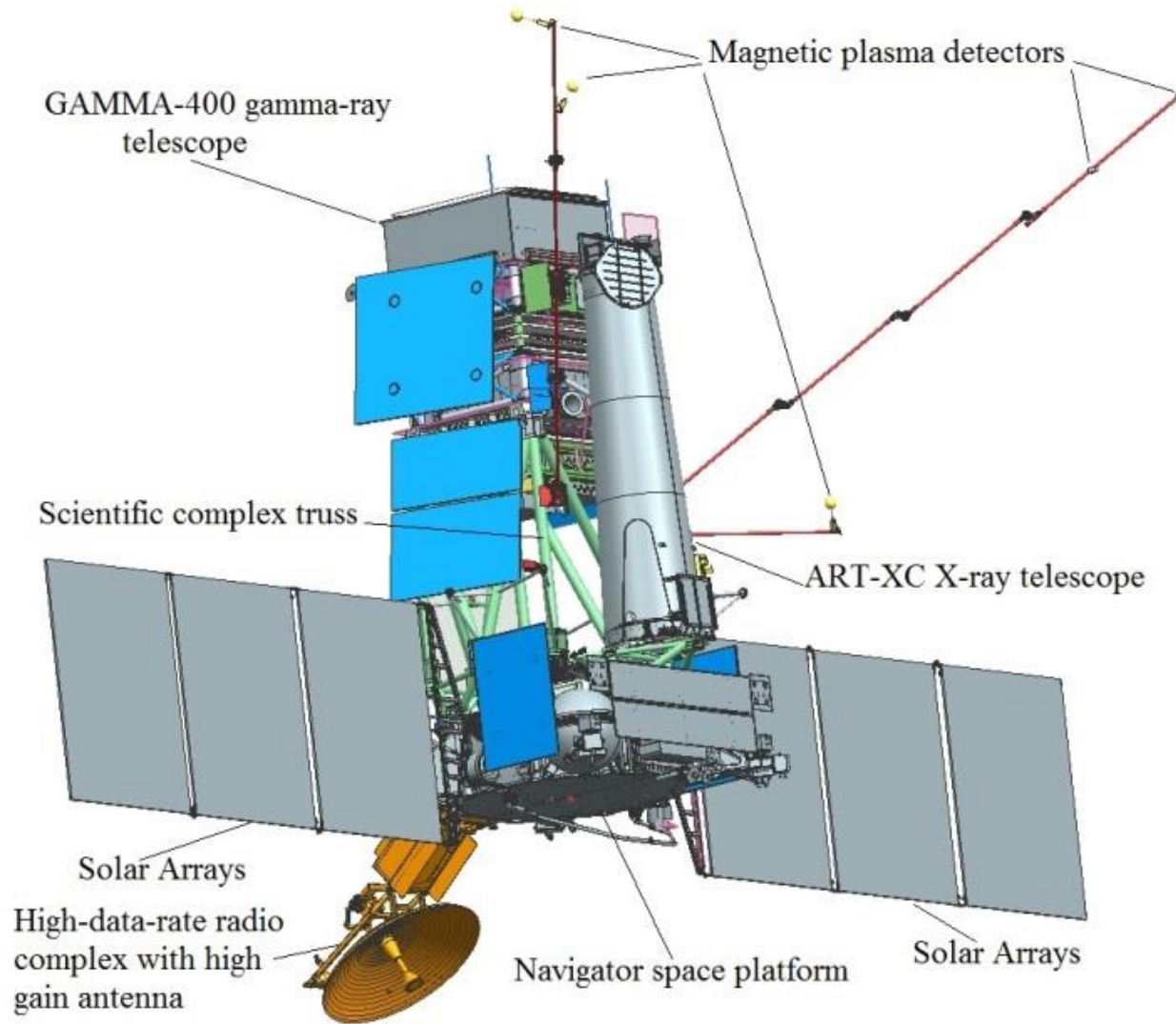
-рентгеновский телескоп ART-XC (5-30 кэВ) (ИКИ РАН)

-магнитно-плазменные детекторы ПЛАЗМА-400 (спектрометр солнечного ветра, спектрометр энергичных частиц, магнитометр - ИКИ РАН)

В 2021 г. был выполнен этап «Разработка дополнения к эскизному проекту (ДЭП)» по контракту с Госкорпорацией «Роскосмос». Разработку выполняли: ФИАН (головная организация), НИЯУ МИФИ, ИКИ РАН, ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, АО «НПО Лавочкина». Материалы ДЭП прошли успешную экспертизу АО «ЦНИИмаш», АО «Организация АГАТ», ФГУП «НПО «Техномаш», АО «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения», АО «Композит». Материалы ДЭП были рассмотрены комиссией Госкорпорации «Роскосмос» и сделан вывод, что **ДЭП считать выполненным и следует перейти на следующий этап – разработка рабочей конструкторской документации.**



# Облик КНА на платформе «Навигатор»



Гамма-телескоп ГАММА-400 и рентгеновский телескоп ART-XC расположены на ферме КНА соосно и с полями зрения  $\pm 45^\circ$  и  $\pm 0,2^\circ$ , соответственно. Конструкции приборов не затеняют друг друга.

# ОРБИТА КА «ГАММА-400» И РЕЖИМЫ НАБЛЮДЕНИЯ

Начальные параметры орбиты:

- апогей 300 000 км;
- перигей 500 км;
- наклонение  $51.4^\circ$ .



**Основной режим наблюдений:**

- длительные наблюдения (до 100 дней) Галактического центра и протяженных гамма-источников со сдвигом КА на  $1^\circ$  каждые сутки. Точность наведения «Навигатора» на источник -  $30''$ .

Под воздействием Солнца, Луны и Земли примерно через 6 месяцев орбита полностью выйдет из рад. поясов станет круговой с радиусом  $\sim 200\,000$  км.

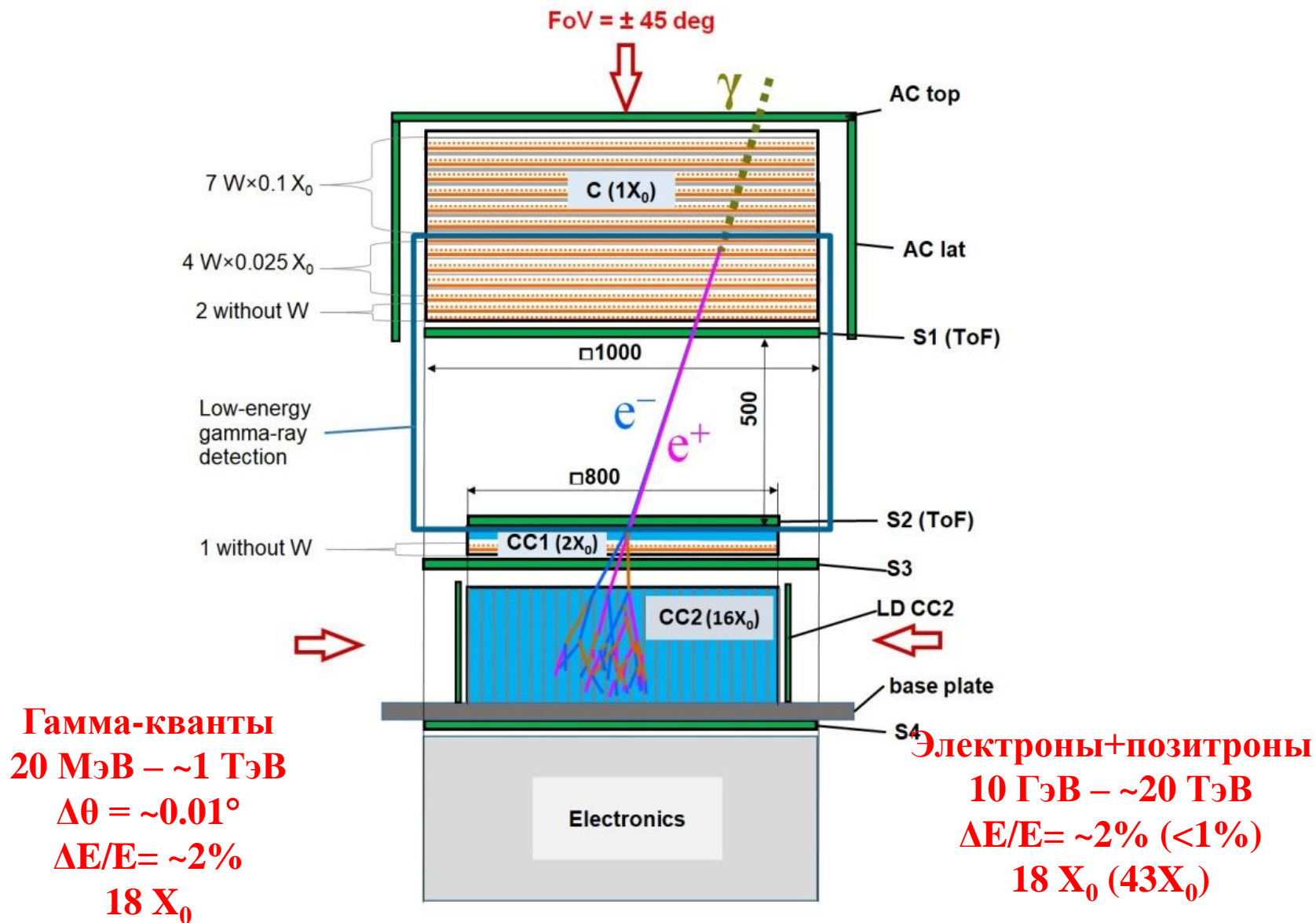
**Т.о. орбита будет вне радиационных поясов и не будет затеняться Землей.**





**В качестве наземной станции приема предлагается использовать радиоастрономический комплекс на базе радиотелескопа РТ-22 в Пушино (ФИАН).**

**В качестве запасной наземной станции приема информации рассматривается радиотелескоп РТ-22 Симеиз, Крым.**



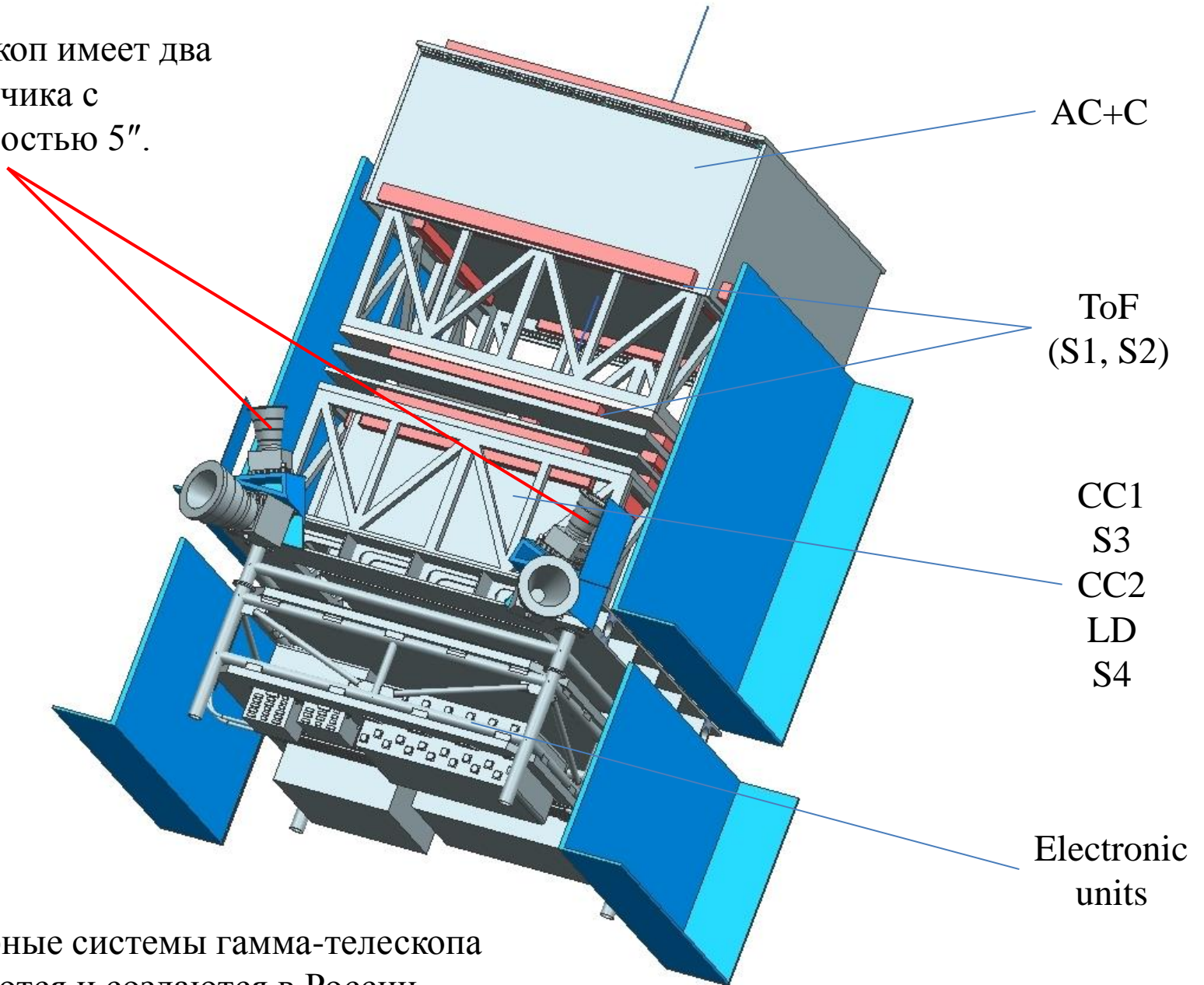
### Физическая схема гамма-телескопа ГАММА-400

AC, S1, S2, S3, S4, LD – сцинтилляционные пластиковые детекторы, C – SciFi сцинтилляционные фиберные детекторы, CC1 и CC2 – CsI(Tl) сцинтилляционные детекторы.

Все детекторные системы отработаны.

# Облик гамма-телескопа ГАММА-400

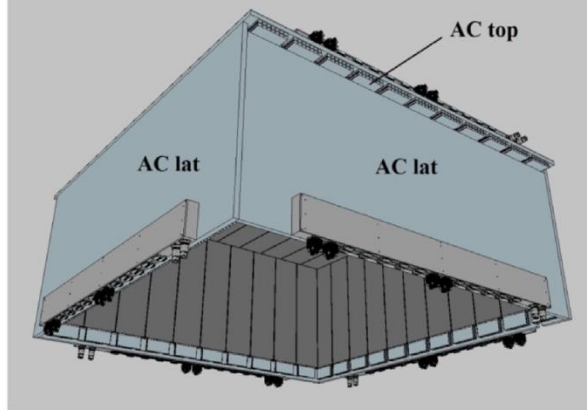
Гамма-телескоп имеет два звездных датчика с угловой точностью 5".



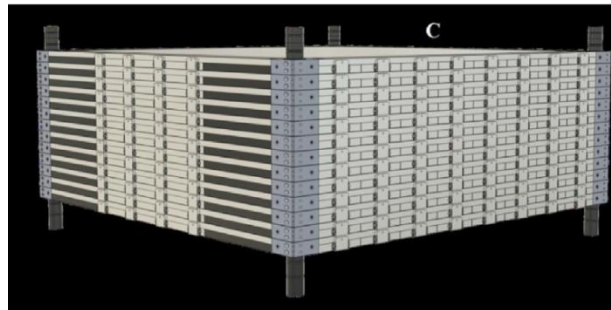
Все детекторные системы гамма-телескопа разрабатываются и создаются в России.



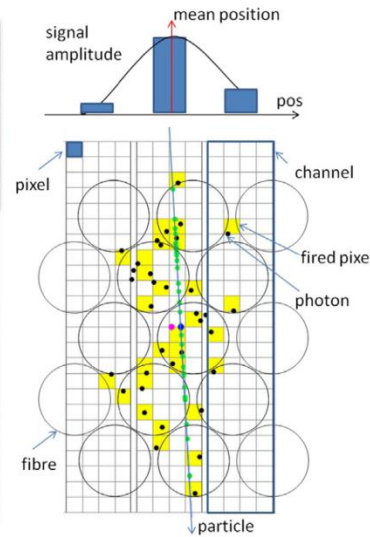
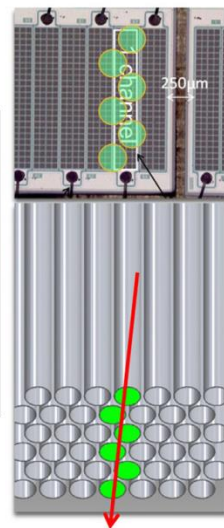
# Детекторные системы гамма-телескопа ГАММА-400: ACtop, AClat (a); C (b, c); S1(ToF), S2(ToF) (d); S3, S4 (e)



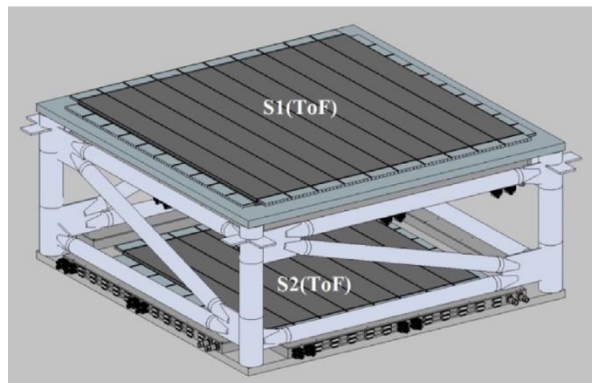
(a)



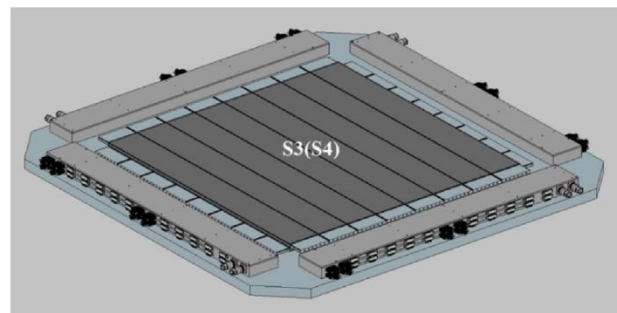
(b)



(c)

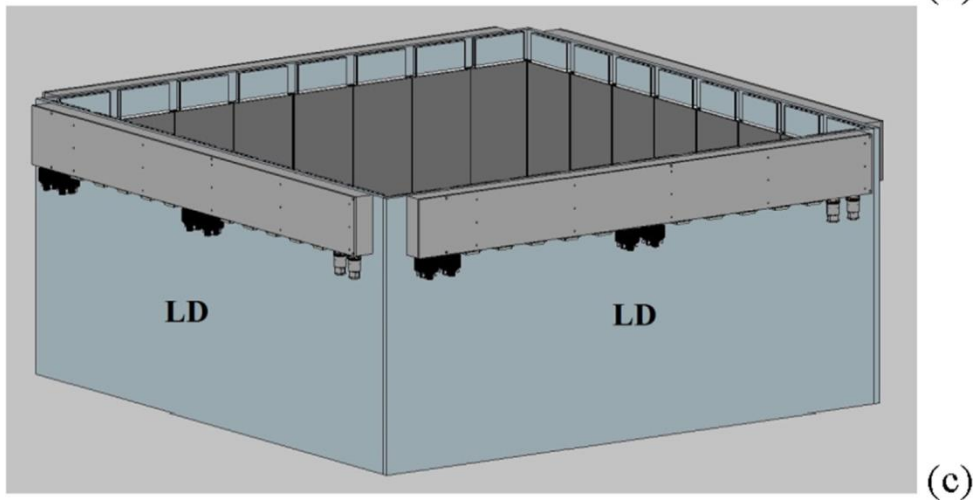
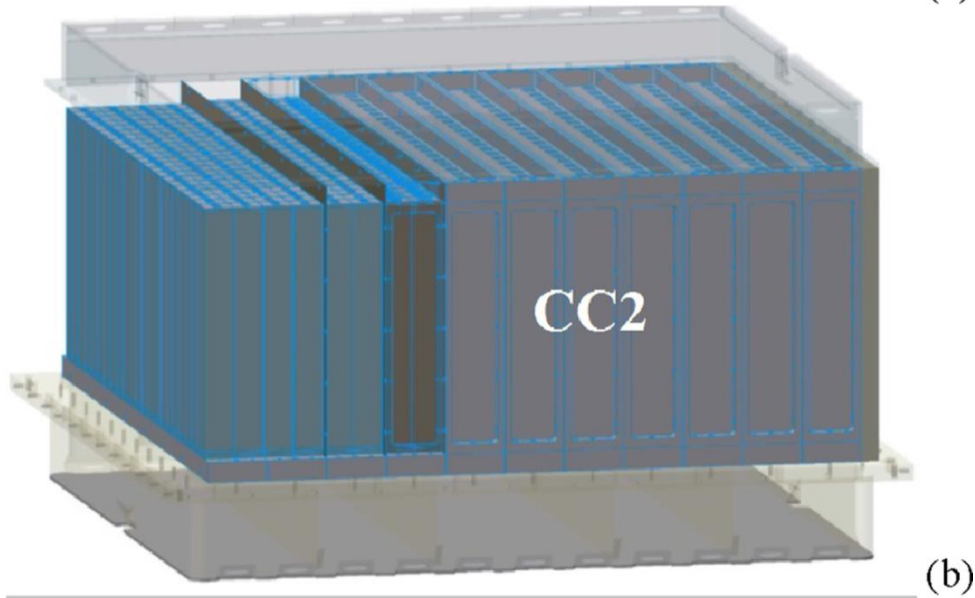
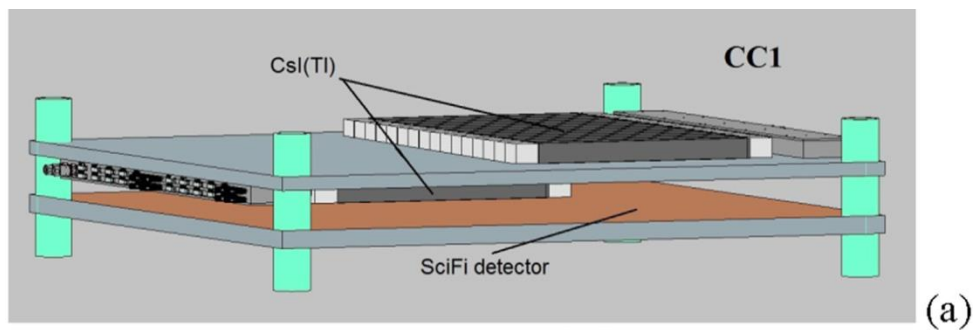


(d)



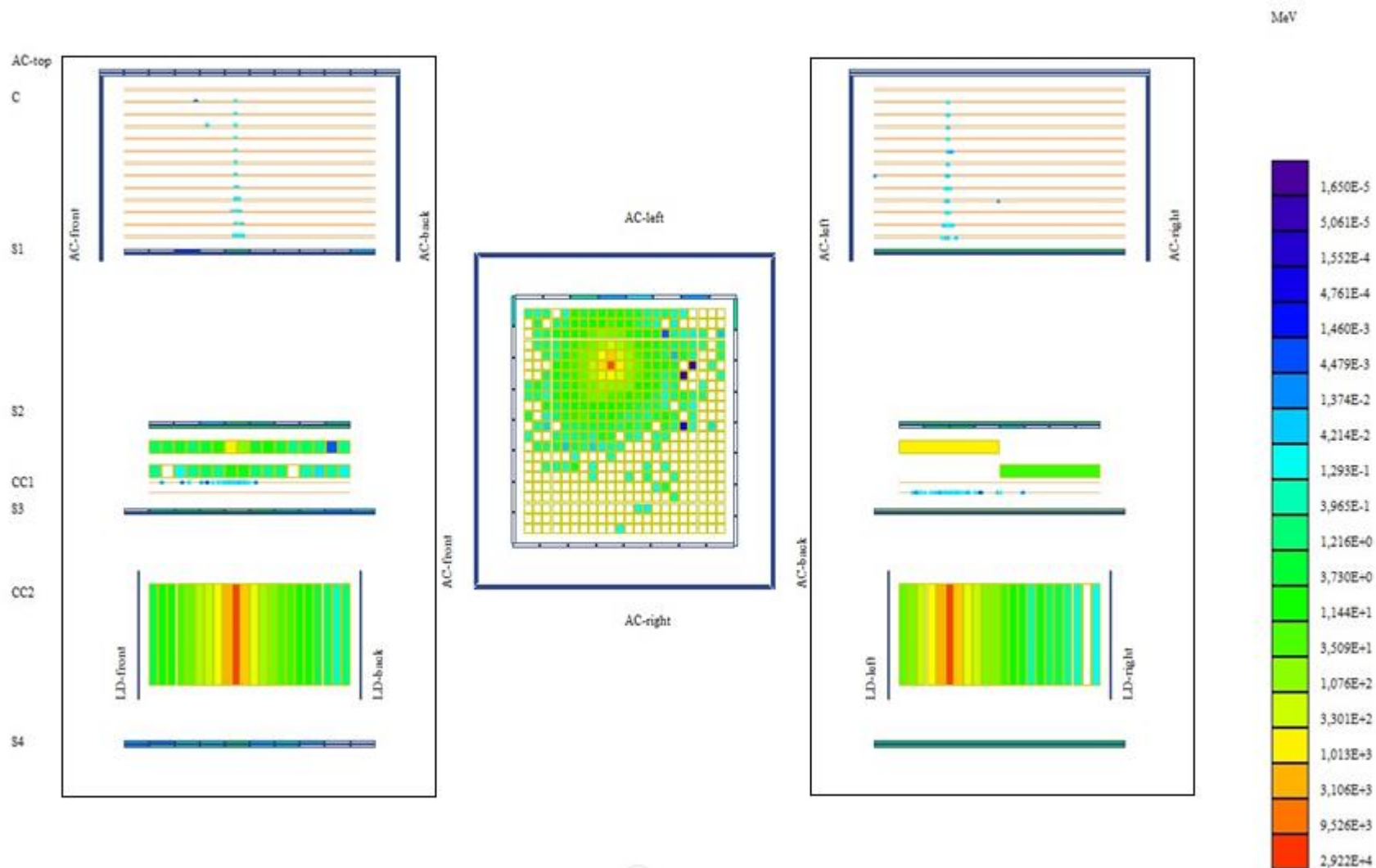
(e)

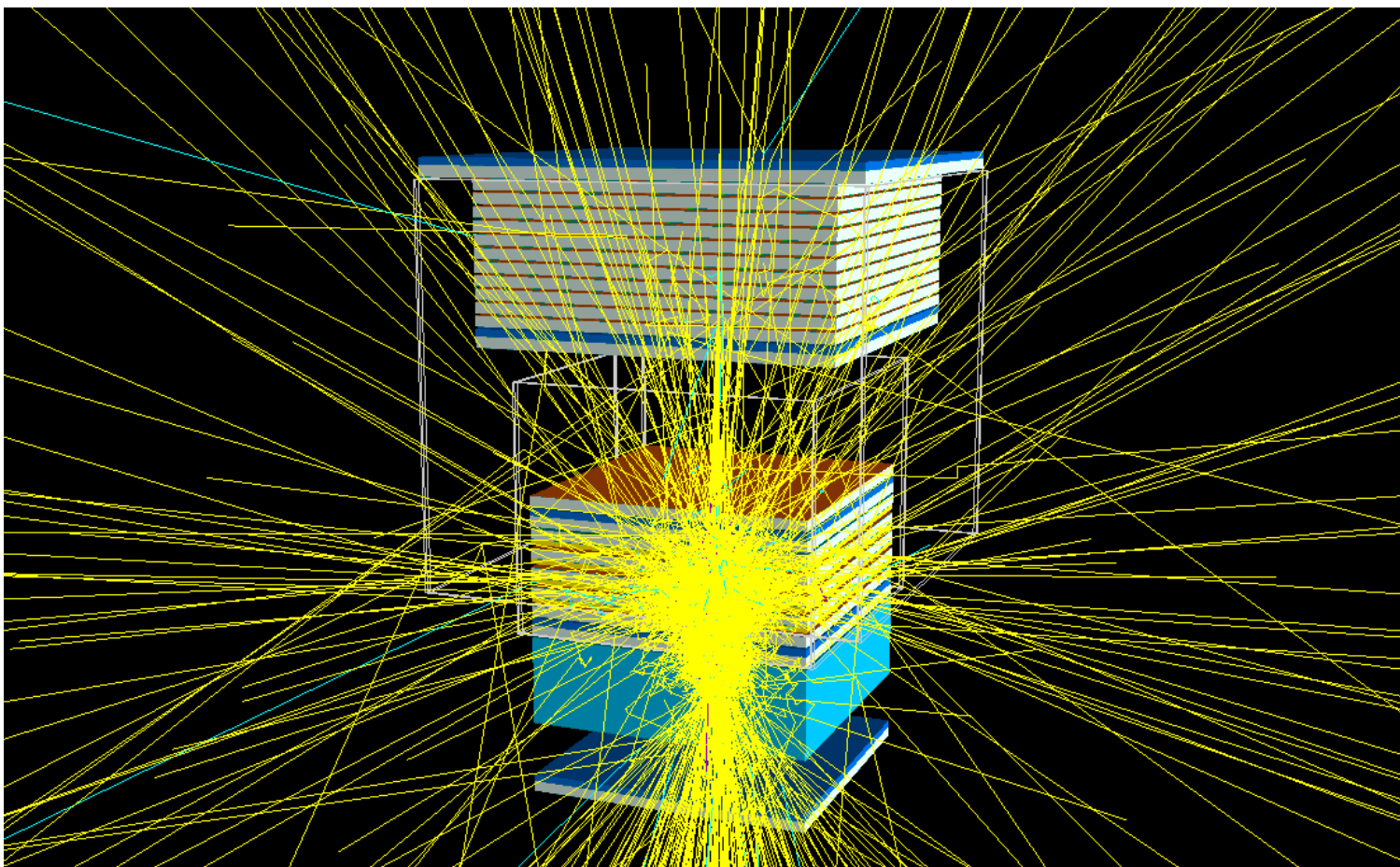




**Детекторные системы  
гамма-телескопа ГАММА-400:  
CC1 (a), CC2 (b), LD (c)**

# Симуляция регистрации 50-ГэВ гамма-кванта





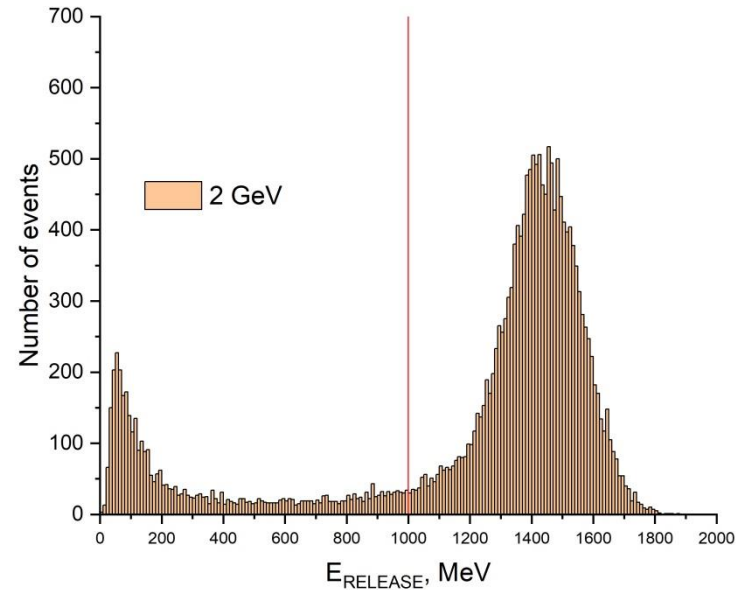
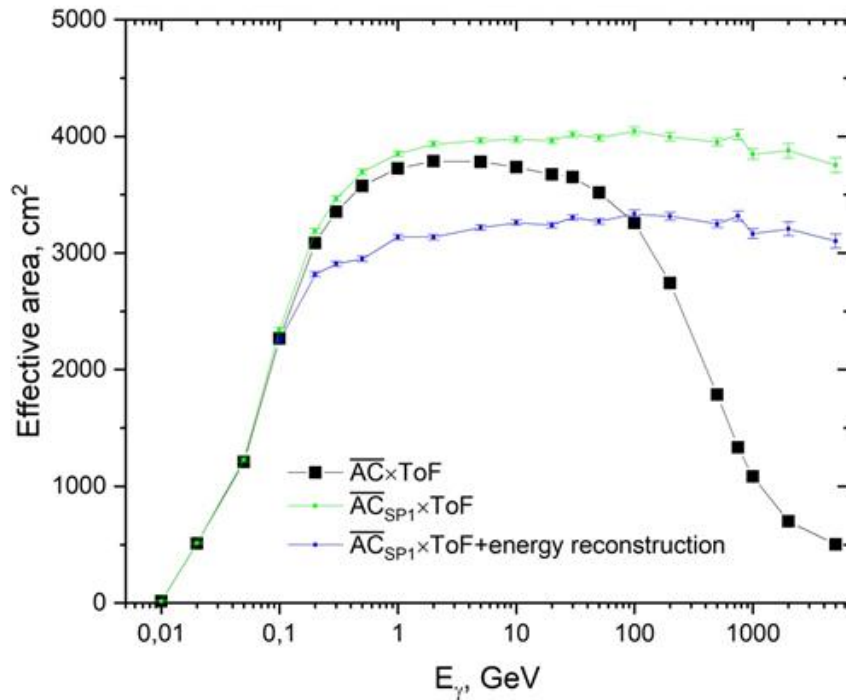
**Взаимодействие гамма-кванта ( $E_\gamma = 100$  ГэВ) с веществом гамма-телескопа ГАММА-400 с образованием частиц «обратного тока». Для устранения «обратного тока» используются методы сегментирования и времени пролета.**

Основной триггер:

$$\overline{AC}_{SP1} \times ToF$$

$$\overline{AC}_{SP1} = \overline{AC(\text{same position strip})} \mid [\text{timeAC} > \text{timeS1}]$$

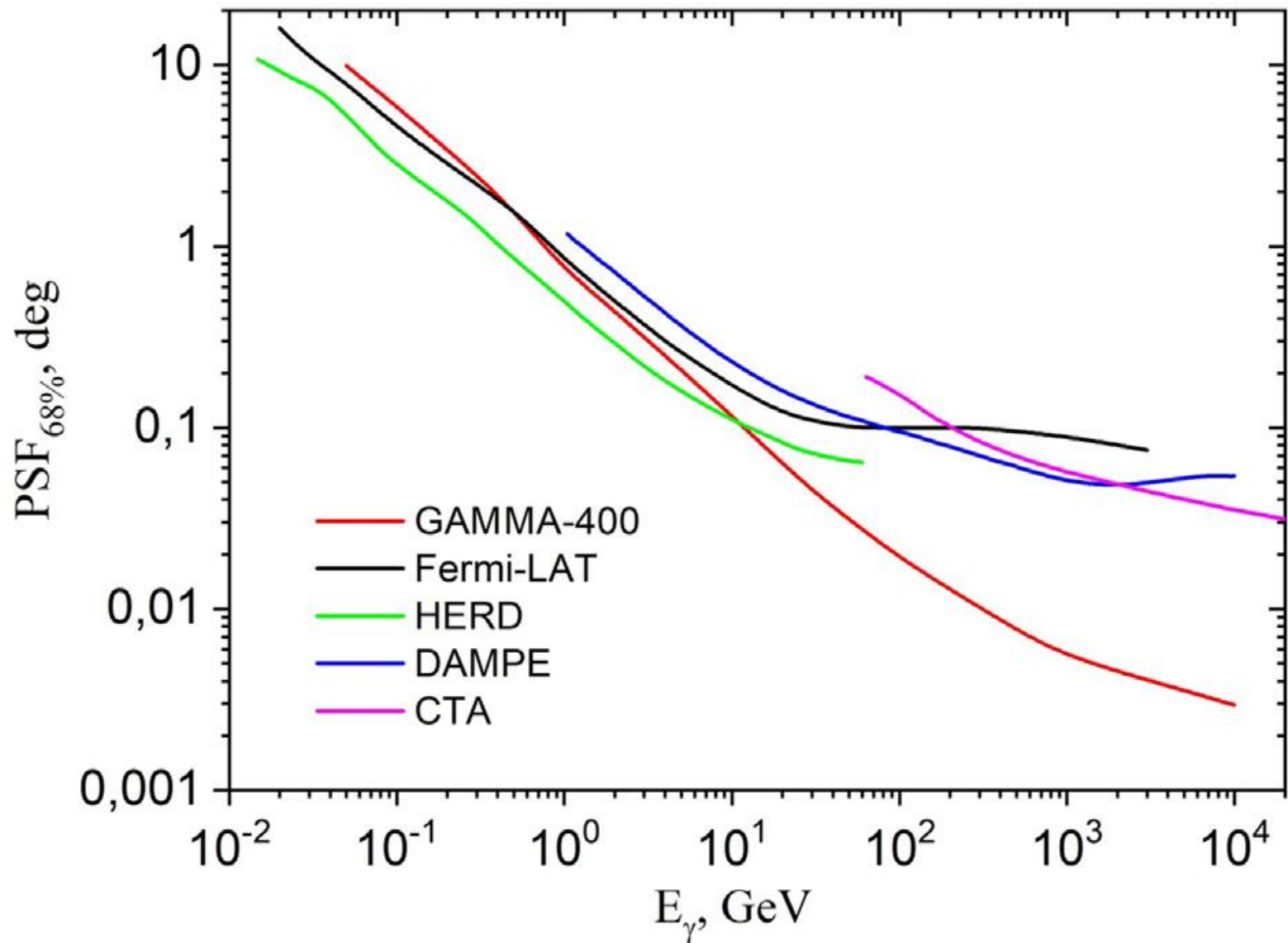
$$ToF = S1 \times S2 \times [\text{timeS1} < \text{timeS2}]$$



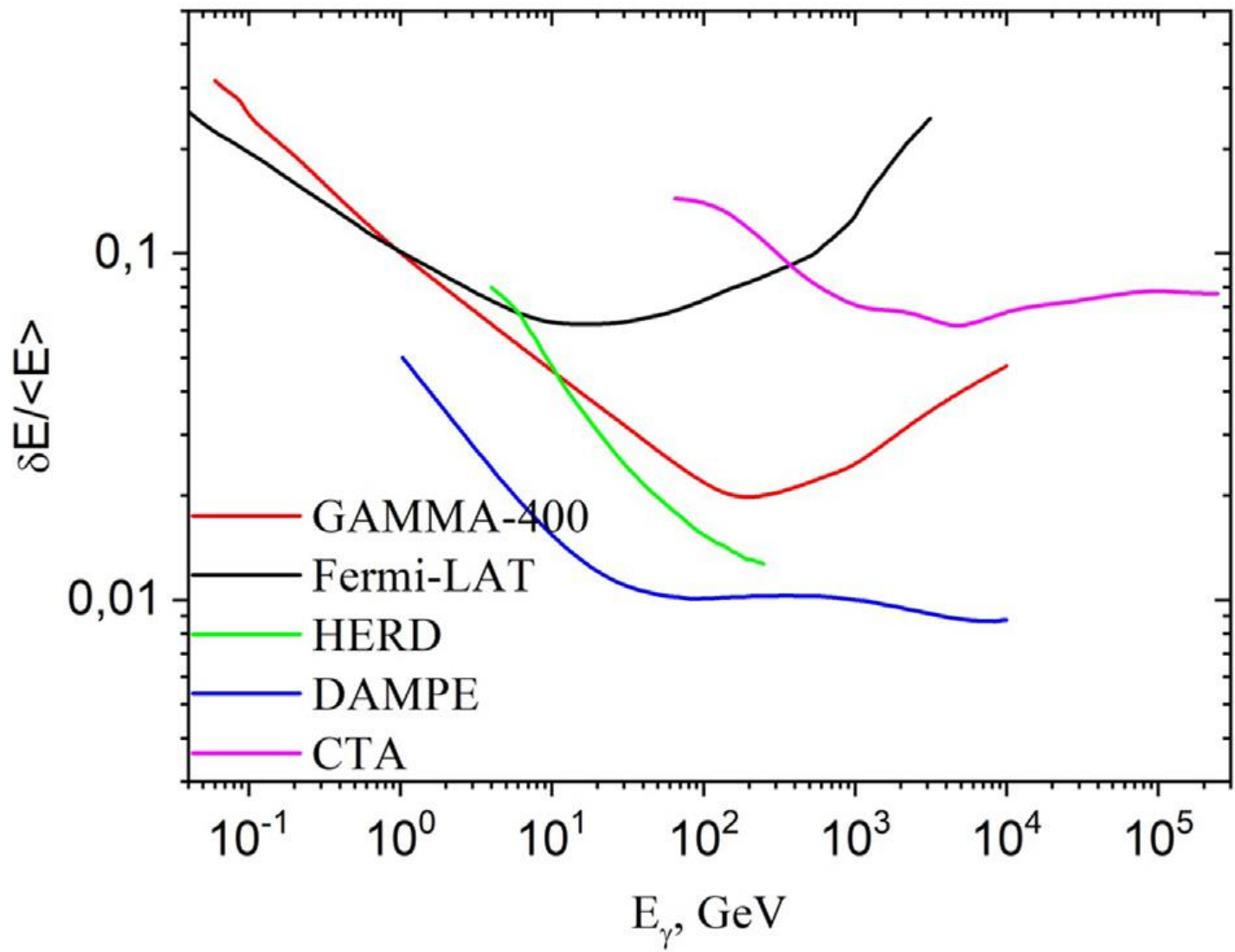
**Зависимость эффективной площади от энергии.**

При учете восстановления трека и энергии эффективная площадь снижается до 3200 см<sup>2</sup>



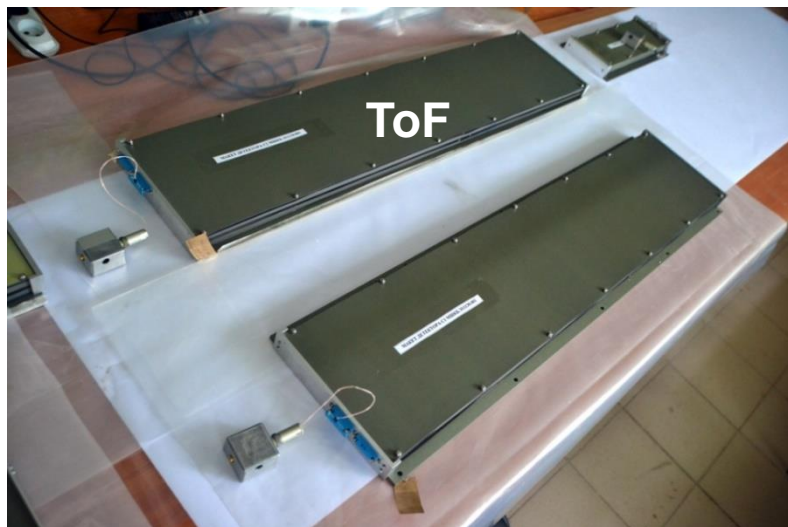
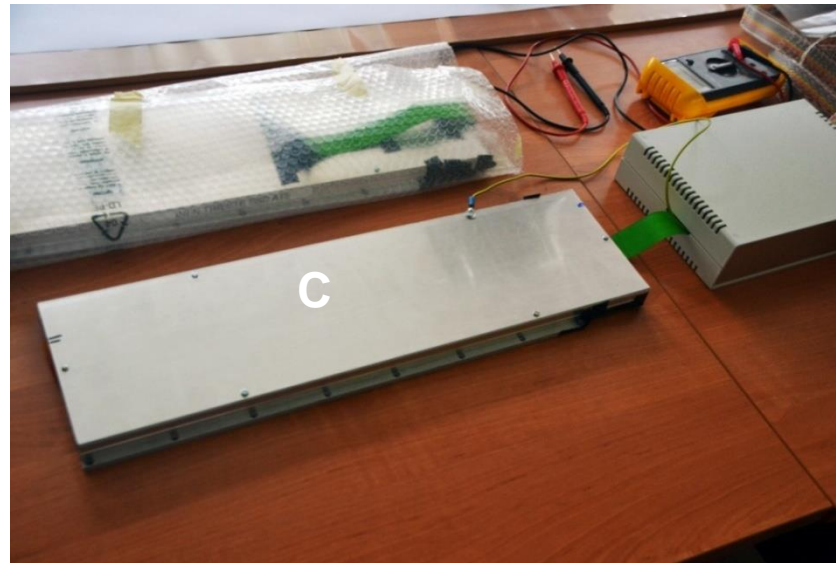
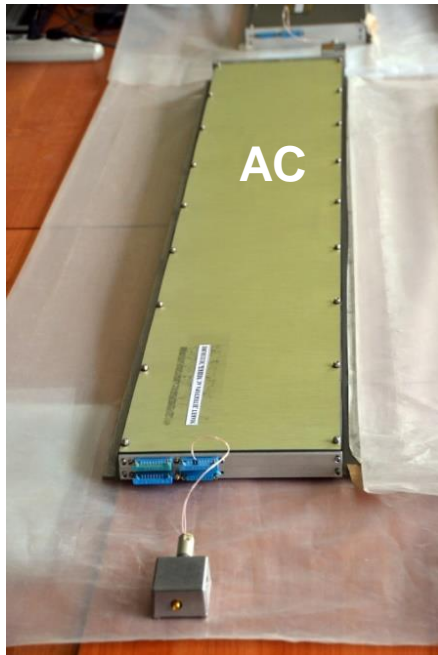


**Зависимость углового разрешения от энергии.**



**Зависимость энергетического разрешения от энергии.**

# Макеты детекторных систем ГАММА-400





**Контрольно-измерительная аппаратура для калибровки на  
синхротроне ФИАН (г. Троицк) на пучке позитронов  
в диапазоне энергий 200-300 МэВ**



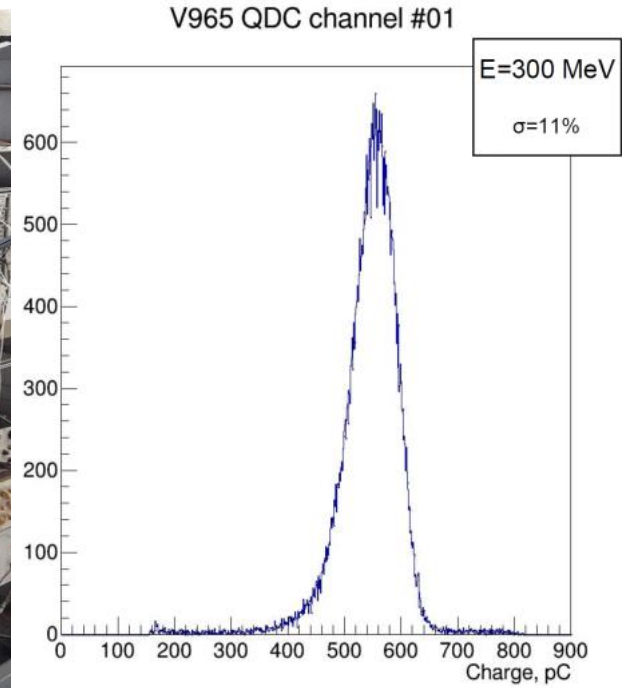


**Калибровка макетов детекторов ГАММА-400 на синхротроне ФИАН (г. Троицк) на пучке позитронов в диапазоне энергий 200-300 МэВ**



**Positron beam**





В результате испытаний на пучке позитронов с энергиями 200-300 МэВ на ускорителе С-25Р (ФИАН, Троицк) были получены следующие характеристики:

- эффективность регистрации заряженных частиц для АС – 0.9996;
  - временное разрешение АС – 200 пс;
  - коэффициент разделения частиц, летящих сверху-вниз от снизу-вверх, для ТоF – 1000;
  - временное разрешение ТоF – 200 пс;
- энергетическое разрешение калориметра СС2 – 11%



ФИАН



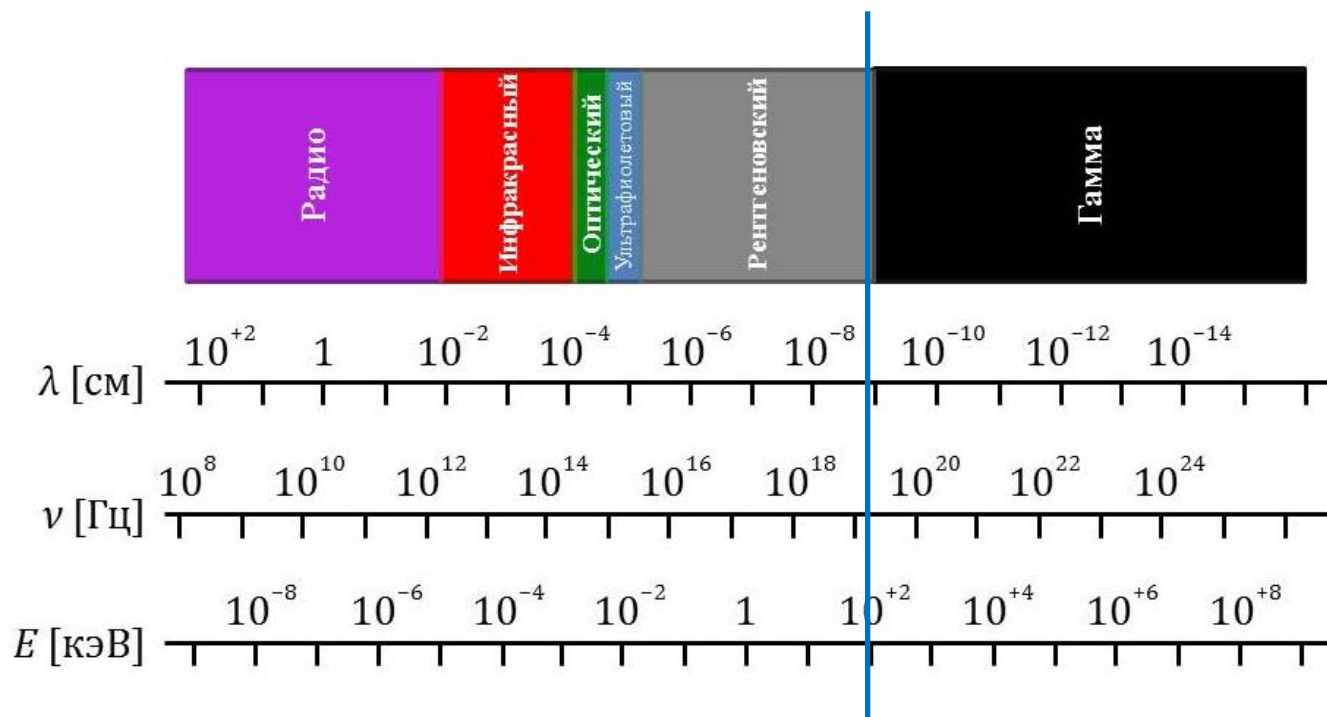
НИЯУ МИФИ

**Рабочие места по исследованию характеристик детекторных систем  
ГАММА-400 в ФИАН и НИЯУ МИФИ.**

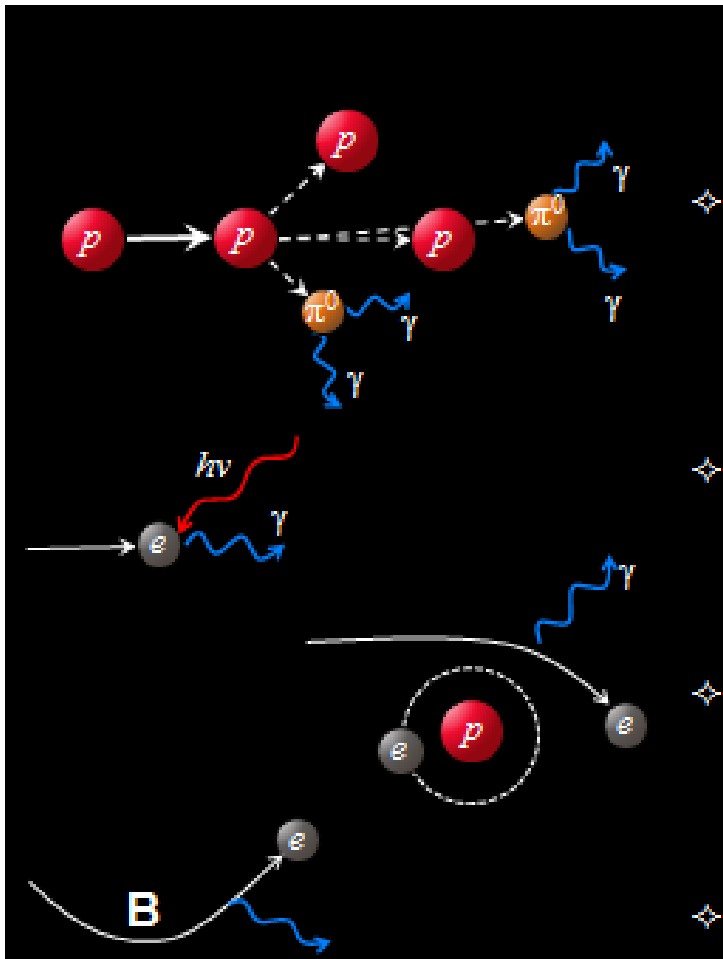


# Космическое гамма-излучение

Весь спектр космического электромагнитного излучения, возникающего в многочисленных физических процессах во Вселенной и достигающего верхней границы атмосферы Земли, традиционно представляется в виде спектральных диапазонов: от длинноволнового радиодиапазона до наиболее коротковолнового гамма-диапазона с длиной волны менее  $10^{-9}$  см (с энергией более  $100$  кэВ =  $0,1$  МэВ).



# Основные процессы образования гамма-излучения высоких энергий ( $E_\gamma > 100$ МэВ) и сверхвысоких энергий ( $E_\gamma > 100$ ГэВ)



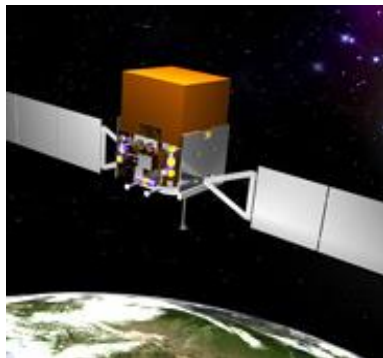
Взаимодействие протонов космических лучей с протонами межзвездного и межгалактического вещества

Обратный комптон-эффект - рассеяние релятивистских электронов на фотонах (световых, тепловых)

Тормозное излучение – взаимодействие релятивистских электронов с межзвездной средой

Синхротронное излучение – излучение релятивистских электронов в магнитных полях

# Исследование гамма-излучения на действующих космических аппаратах



## **AGILE**

Италия

с 2007 г.

100 МэВ – 50 ГэВ

## **Fermi-LAT**

США

с 2008 г.

50 МэВ – 1000 ГэВ

## **CALET**

Япония

с 2015 г.

1 ГэВ – 10 ТэВ

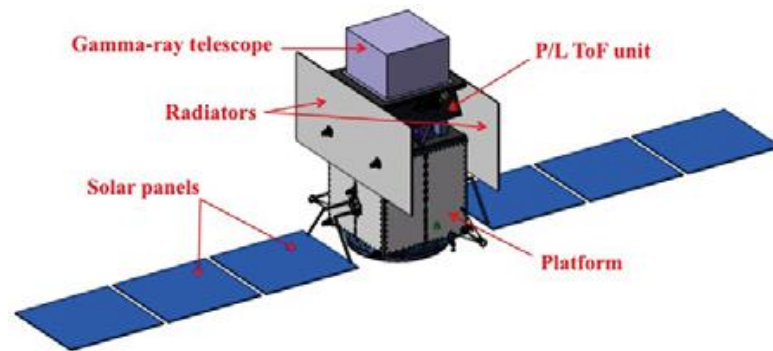
## **DAMPE**

Китай

с 2015 г.

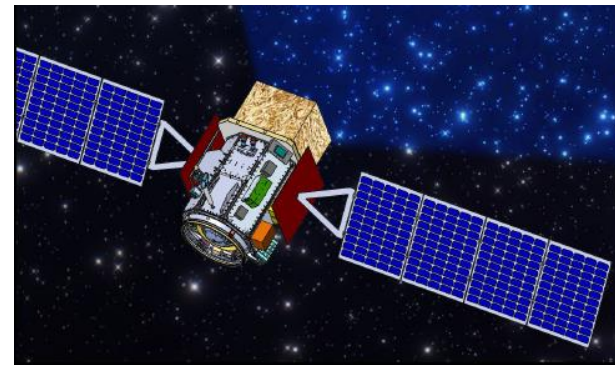
5 ГэВ – 10 ТэВ

# Планируемые исследования гамма-излучения до 10 ГэВ на космических аппаратах



**ASTROGAM**  
Европа

**0,3 МэВ – 3 ГэВ**

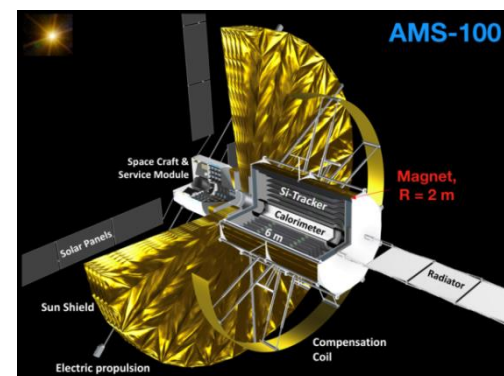
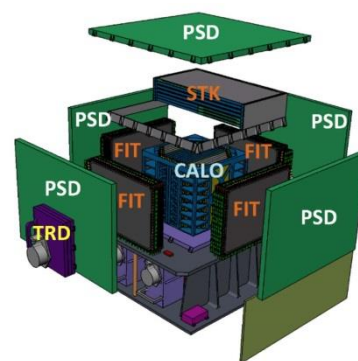
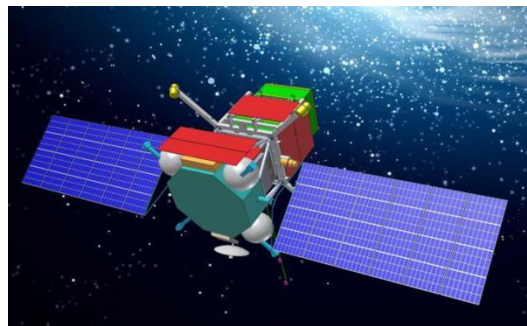


**AMEGO**  
США

**0,2 МэВ – 10 ГэВ**



# Планируемые исследования гамма-излучения более 10 ГэВ на космических аппаратах по сравнению с Fermi-LAT



**Fermi-LAT**

**США**

**с 2008 г.**

**100 МэВ – 300 ГэВ**

$\Delta\theta = \sim 0.1^\circ$

$\Delta E/E = \sim 10\%$

**8.5  $X_0$**

**ГАММА-400**

**Россия**

**~2030 г.**

**20 МэВ – ~1 ТэВ**

$\Delta\theta = \sim 0.01^\circ$

$\Delta E/E = \sim 2\%$

**18  $X_0$  (43 $X_0$ )**

**HERD**

**Китай**

**~2027 г.**

**1 ГэВ – 10 ТэВ**

$\Delta\theta = \sim 0.1^\circ$

$\Delta E/E = 1-2\%$

**55  $X_0$**

**AMS-100**

**Европа + США**

**~2039 г.**

**1 ГэВ – 10 ТэВ**

$\Delta\theta = \sim 0.01^\circ$

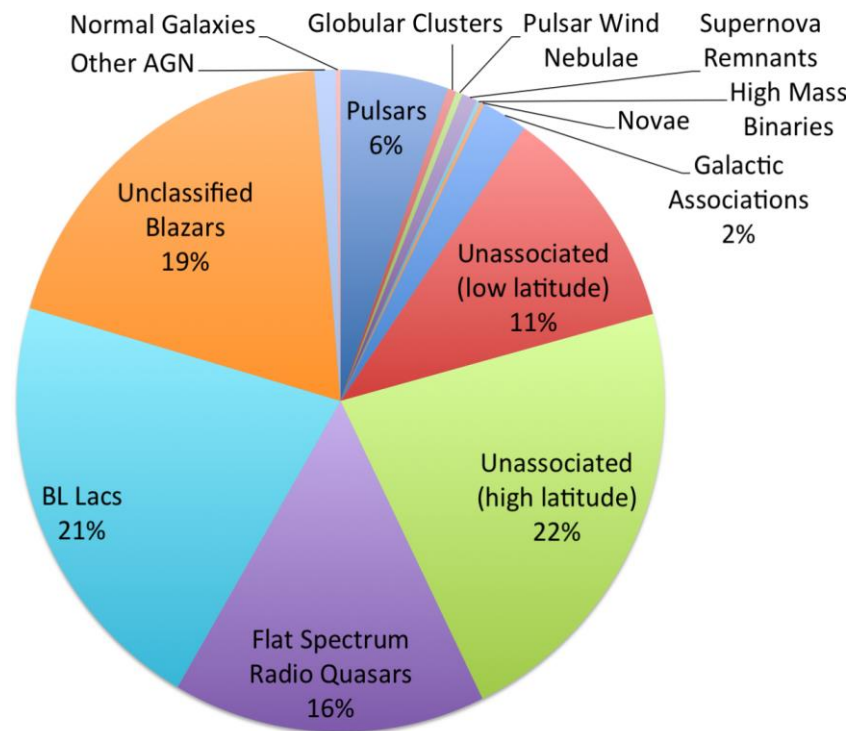
$\Delta E/E = 1-2\%$

**70  $X_0$**

# **Основные научные задачи гамма-телескопа ГАММА-400:**

- регистрация космического высокоэнергичного гамма-излучения (от 20 МэВ до ~1000 ГэВ);
- поиск особенностей в энергетических спектрах высокоэнергичного гамма-излучения, которые могут быть связаны с частицами темной материи;
- исследование гамма-излучения от Галактического центра, Галактической плоскости, Ферми пузырей, пульсарных туманностей Краб, Вела, Геминга, комплекса Лебедь X, блазаров и др.;
- исследование диффузного гамма-излучения;
- регистрация гамма-излучения при солнечных вспышках;
- регистрация гамма-всплесков;
- регистрация потоков электронов + позитронов до 20 ТэВ

# Результаты гамма-исследований от Fermi-LAT



**4FGL**,  $E_\gamma = 50 \text{ МэВ} - 1000 \text{ ГэВ}$

6658 гамма-источников

2157 (34%) неидентифицированы

(Astrophysical Journal Supplement Series, 260:53 (24pp), 2022)

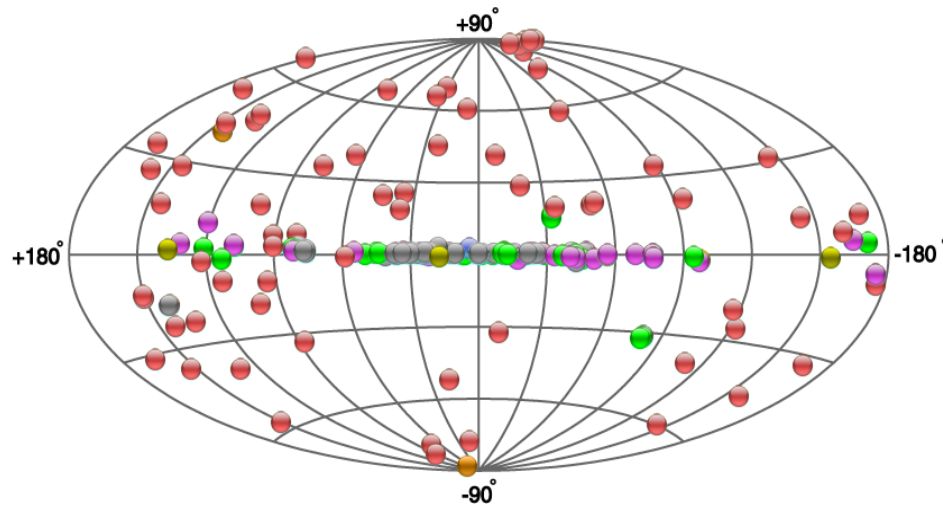
**Угловое разрешение  $\sim 0.1^\circ$  ( $E_\gamma > 10 \text{ ГэВ}$ ) Fermi-LAT  
недостаточно для идентификации многих гамма-источников**

# Сравнение основных параметров ГАММА-400 и Fermi-LAT

	<b>Fermi-LAT</b>	<b>ГАММА-400</b>
Орбита	круговая, 565 км	высокоэллиптическая, 500-300000 км (без затенения Землей)
Режим работы	обзор неба (3 часа)	наблюдение (до 100 дней)
Экспозиция/время работы	1/8	<b>1</b>
Энергетический диапазон	50 МэВ - 1000 ГэВ	~20 МэВ – ~1000 ГэВ
Эффективная площадь ( $E_\gamma > 1$ ГэВ)	~9000 см <sup>2</sup>	~4000 см <sup>2</sup>
Координатные детекторы - съем информации	Si стрипы бинарный	SciFi <b>аналоговый</b>
ВПС	-	<b>ВПС (L = 50 см)</b>
Угловое разрешение	~0,1° ( $E_\gamma = 100$ ГэВ)	<b>~0,01° (<math>E_\gamma = 100</math> ГэВ)</b>
Калориметр - толщина	CsI(Tl) ~8,5X <sub>0</sub>	CsI(Tl)+SciFi <b>~18X<sub>0</sub> (43X<sub>0</sub>)</b>
Энергетическое разрешение	~10% ( $E_\gamma = 100$ ГэВ)	<b>~2% (<math>E_\gamma = 100</math> ГэВ)</b>
Объем информации	15 Гбайт/день	100 Гбайт/день



# Результаты исследований гамма-излучения от наземных гамма-телескопов



Распределение (в галактических координатах) **~250 дискретных источников (250/6658 ~ 4% от источников Fermi-LAT)** для энергий более 100 ГэВ по данным каталога источников TeVCat (<http://tevcat.uchicago.edu/>), гамма-излучение от которых зарегистрировано наземными установками H.E.S.S., VERITAS, MAGIC, HAWC, LHAASO

**Угловое ( $\sim 0,1^\circ$ ,  $E_\gamma \sim 100$  ГэВ) разрешение наземных телескопов недостаточно для идентификации многих гамма-источников**

	Космические гамма-телескопы						Наземные установки
	Низкие энергии			Высокие энергии			
	ASTROGAM	AMEGO	Fermi-LAT	ГАММА-400	HERD	AMS-100	СТА
Страна	Европа	США	США	Россия	Китай	Европа +США	
Диапазон энергий, $\gamma$	0,3 МэВ – 3 ГэВ	0,2 МэВ - 10 ГэВ	50 МэВ – 1000 ГэВ	20 МэВ - 1000 ГэВ	0,5 ГэВ – 10 ТэВ	1 ГэВ – 10 ТэВ	> 50 ГэВ
Вид наблюдения	Сканирование	Сканирование	Сканирование	Источник	Сканирование	Сканирование	Сканирование
Орбита	Круговая, ~550 км	Круговая, ~550 км	Круговая, ~550 км	Высоко-апогейная, ~200 000 км	Круговая, ~400 км	L2, 1,5 млн. км	
Угловое разрешение	0,1°	1°	0,1°	~0,01°	0,1°	~0,01°	0,1°
Энергетическое разрешение	20%	10%	10%	~2%	1-2%	1-2%	15%

Характеристики разрабатываемых гамма-телескопов по сравнению с Fermi-LAT

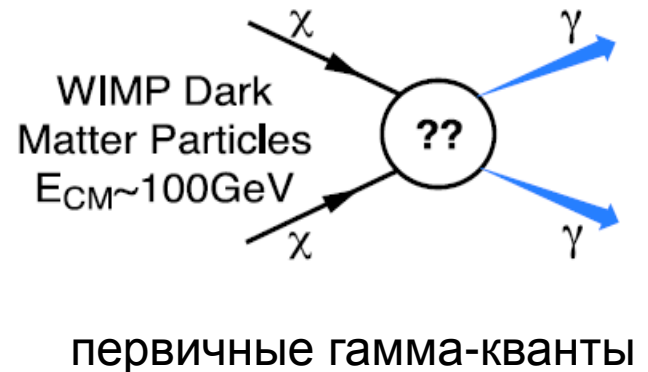
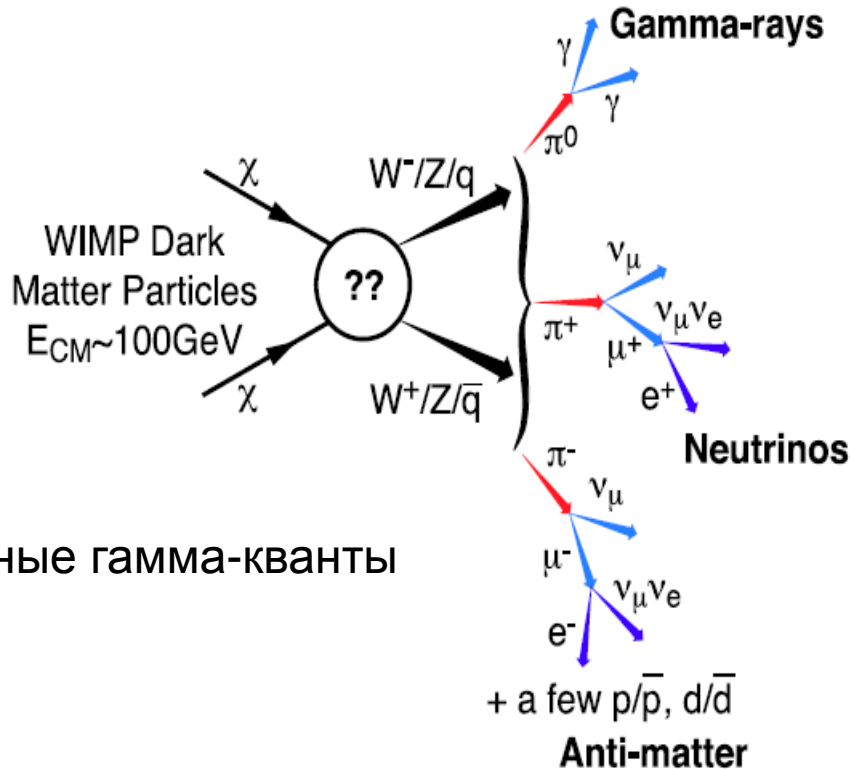
# Поиск особенностей в энергетических спектрах высокоэнергичного гамма-излучения, которые могут быть связаны с частицами темной материи



В результате проведения прецизионных измерений реликтового микроволнового излучения в космических экспериментах WMAP и Planck определен массовый состав Вселенной

# Возможные каналы аннигиляции WIMP с образованием гамма-квантов, электронов и позитронов

$$b\bar{b}, t\bar{t}, \tau^+\tau^-, \mu^+\mu^-, e^+e^-, Z^0Z^0, Z^0\gamma, W^+W^-, HH, \dots$$



Среди огромного количества возможных кандидатов на роль частиц темной материи рассматриваются суперсимметричные частицы, аксионоподобные частицы и др. Чаще всего рассматриваются и исследуются слабо взаимодействующие массивные частицы - вимпы (WIMP, Weakly Interacting Massive Particles), масса которых может лежать в диапазоне от  $\sim 10 \text{ ГэВ}$  до  $\sim \text{ТэВ}$ .

Основная задача - выявление особенностей в энергетических спектрах в виде аномального (дополнительного) потока или выделение моноэнергетических гамма-линий из фонового потока гамма-излучения.



# Сравнение возможностей Fermi-LAT и GAMMA-400 регистрировать гамма-линии от частиц темной материи

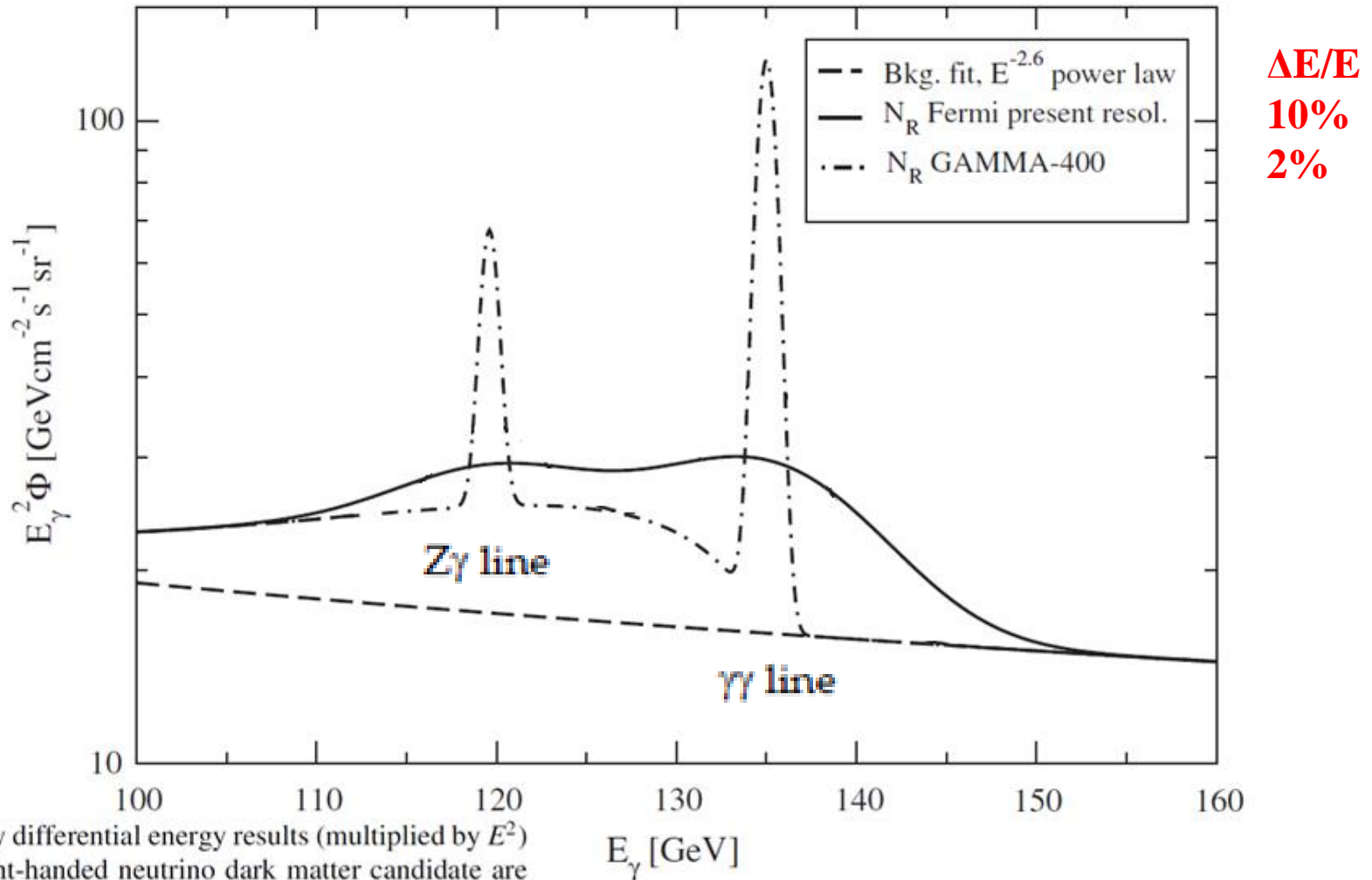


FIG. 3. The  $\gamma$ -ray differential energy results (multiplied by  $E^2$ ) for a 135 GeV right-handed neutrino dark matter candidate are shown, with the present Fermi-LAT energy resolution  $\Delta E/E = 10\%$  FWHM (solid line)

and with a future  $\gamma$ -ray instrument, such as GAMMA-400 [38] (dash-dotted line) with resolution at the one percent level. The extrapolated power-law  $\sim E^{-2.6}$  of the presently measured continuous  $\gamma$ -ray background is also shown.

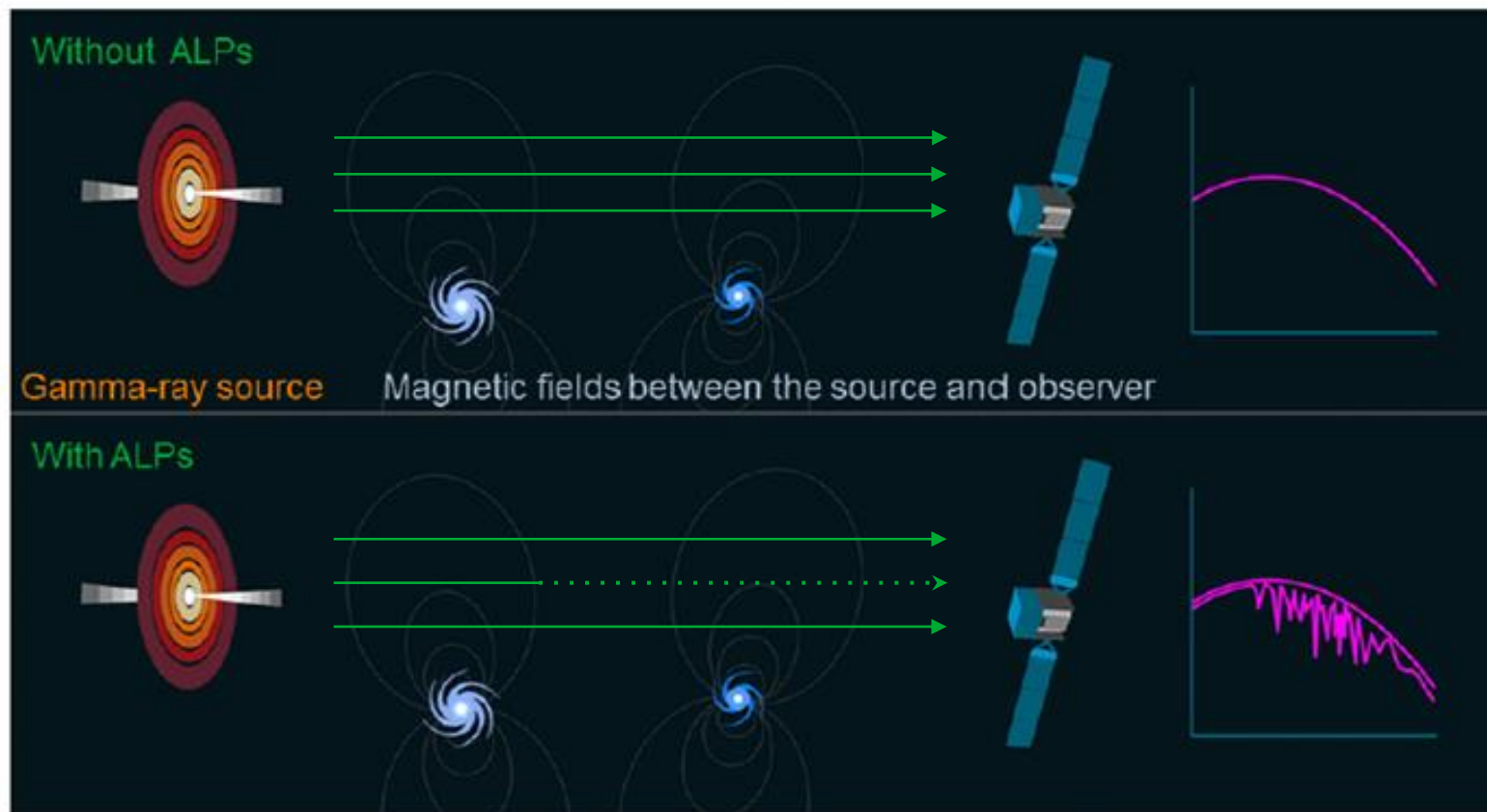
PHYSICAL REVIEW D **86**, 103514 (2012)

**130 GeV fingerprint of right-handed neutrino dark matter**

Lars Bergström\*

# Регистрация особенностей в энергетическом спектре гамма-излучения, вызванных преобразованием гамма-квантов в аксионоподобные частицы (Axion-Like Particles)

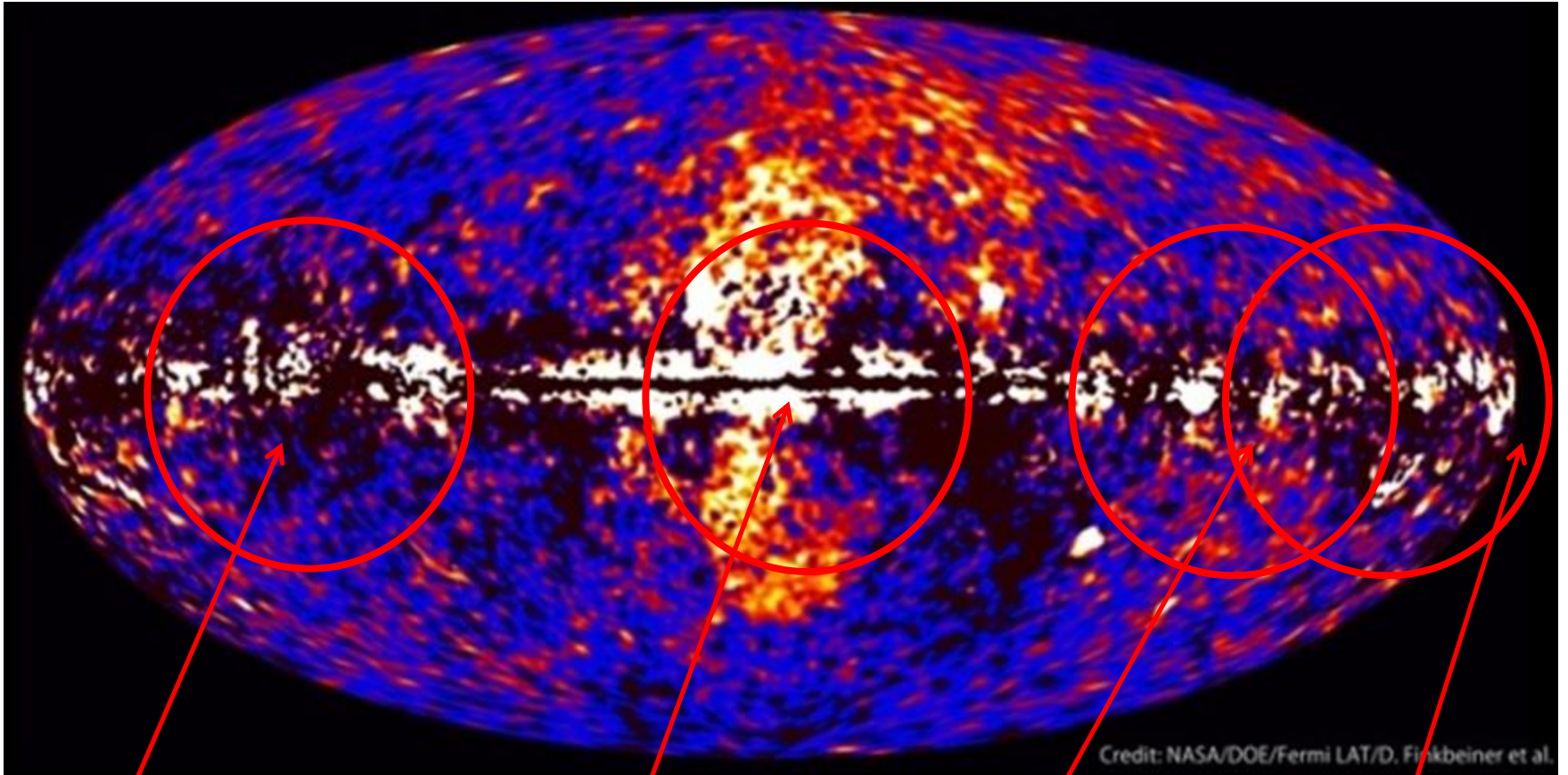
## ALP signature searches in pulsar and blazar spectra



$$\gamma + \mathbf{B} \leftrightarrow \gamma + ALP \text{ — conversion}$$

The key relevant parameters of ALP are its mass  $m_a$  and electromagnetic coupling constant  $g_{a\gamma}$ . These parameters define the character of spectral features due to conversion.

Исследования гамма-излучения от Галактического центра, Галактической плоскости, областей Краб, Лебедь, Вела, Геминга и др. с апертурой  $\pm 45^\circ$



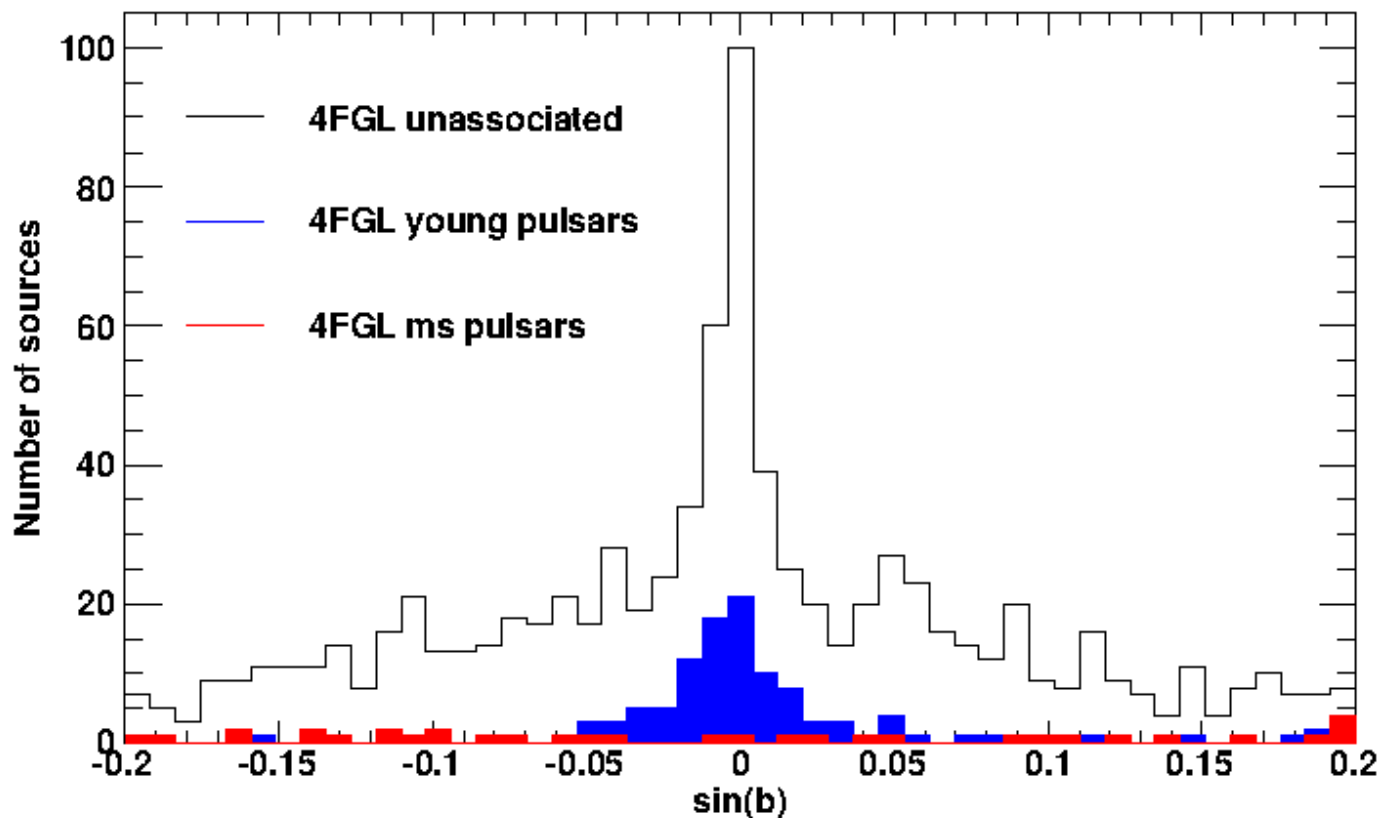
**Cygnus**

**Galactic Center,  
Fermi Bubbles**

**Vela**

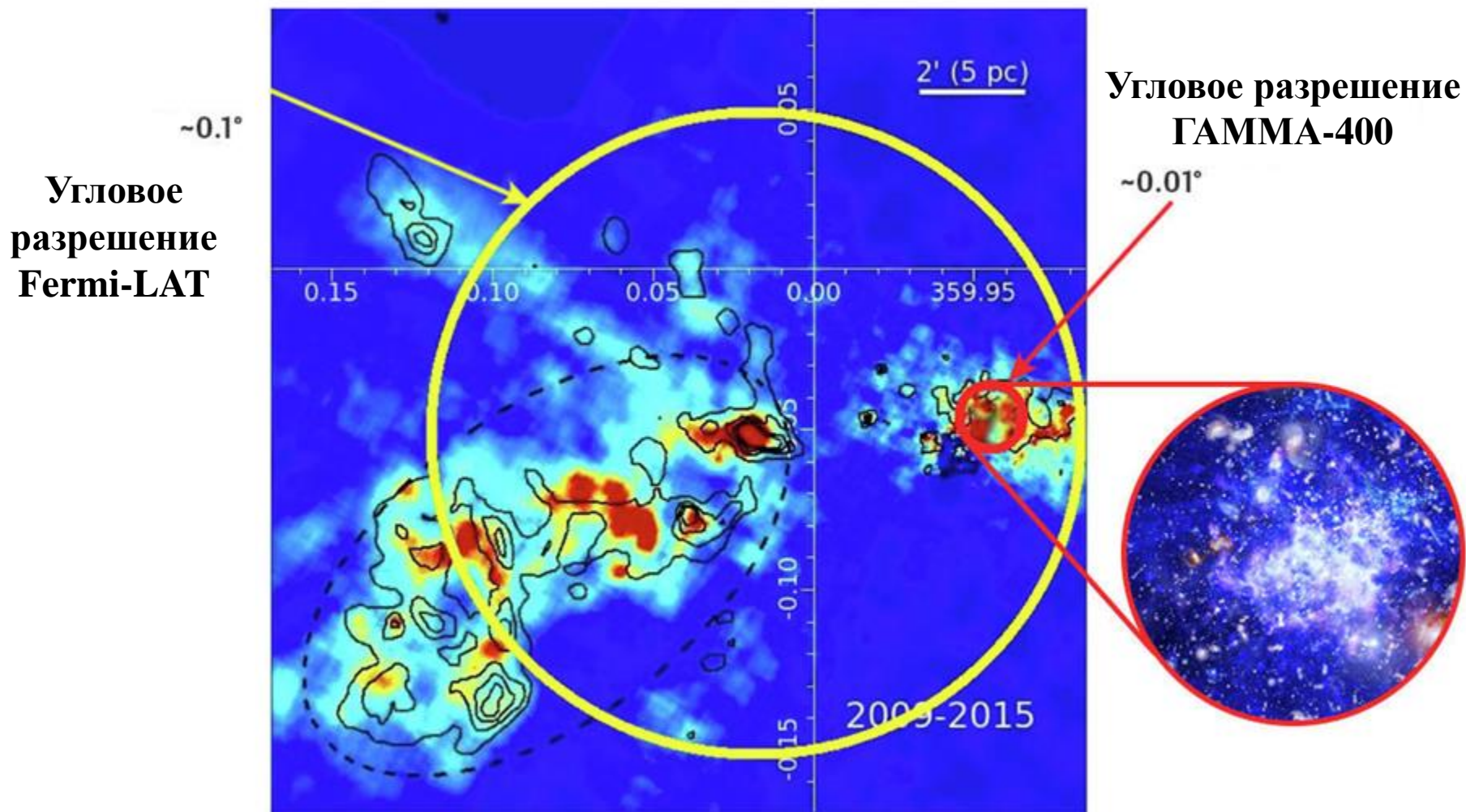
**Crab, Geminga**

По данным Fermi-LAT из 6658 дискретных источников 2157 источников не идентифицировано. Из рисунка видно, что их основная часть расположена в Галактической плоскости. Для их идентификации требуется высокое угловое разрешение – одна из задач ГАММА-400. Кроме того, по данным Fermi-LAT найдено около 80 протяженных источников. Их картографирование – задача для ГАММА-400. По данным Fermi-LAT в Галактическом центре имеется избыток гамма-излучения, который может быть объяснен либо наличием темной материи, либо гамма-излучением от миллисекундных пульсаров – еще одна задача для ГАММА-400.



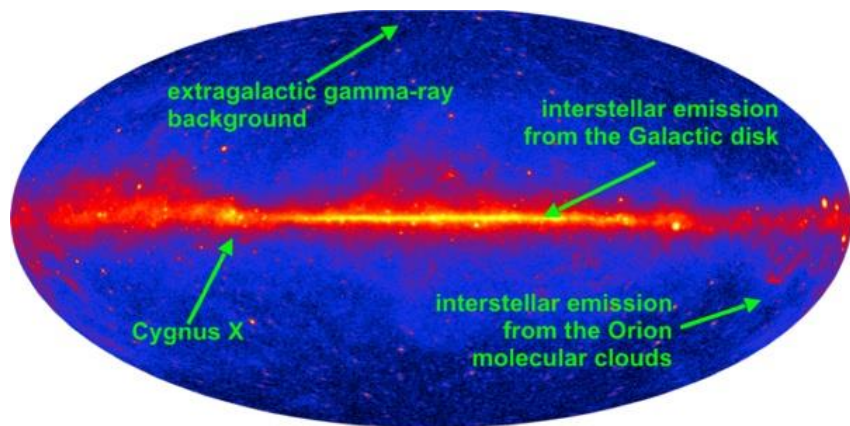


# Исследование Галактического центра и протяженных источников. Сравнение Fermi-LAT и ГАММА-400, используя рентгеновские наблюдения телескопа Chandra

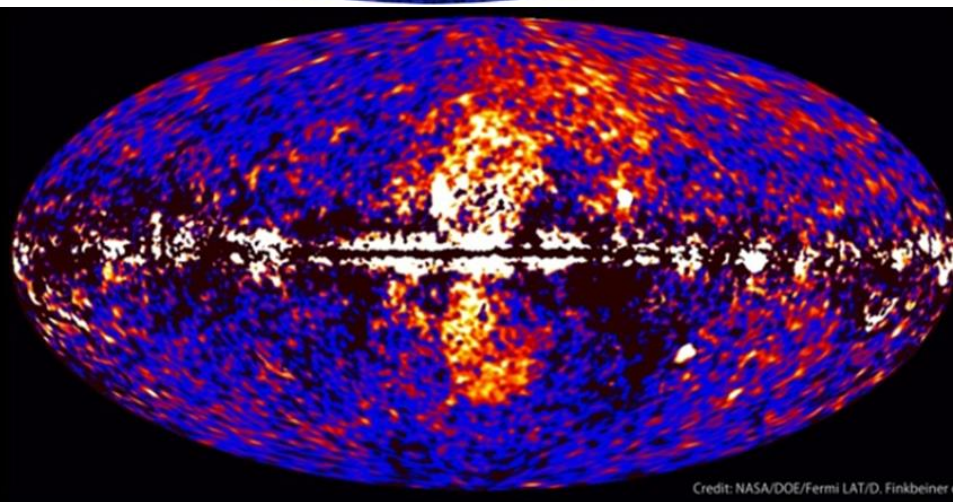


# Исследование диффузного высокоэнергичного диффузного гамма-излучения

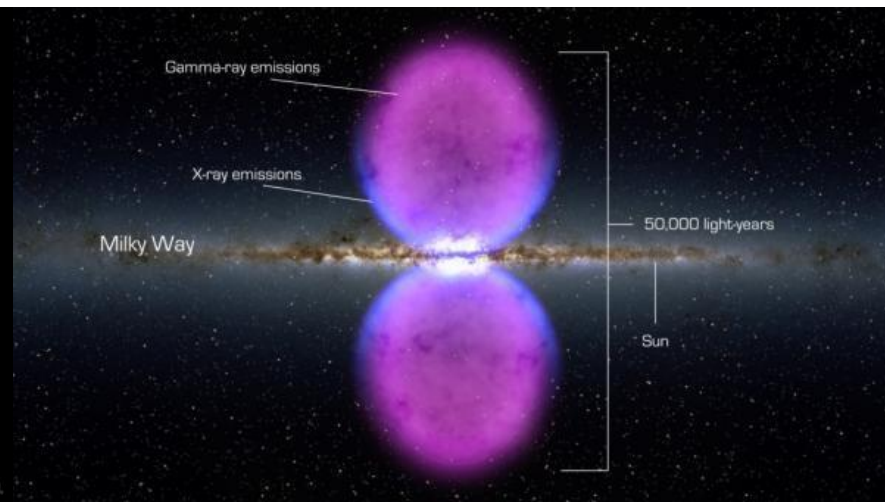
**80% всех зарегистрированных гамма-квантов с энергией более 100 МэВ относятся к диффузному излучению.**



Карта неба в гамма-лучах от Fermi-LAT и компоненты диффузного гамма-излучения : межзвездное излучение от Галактического диска (interstellar emission from the Galactic disk), внегалактическое фоновое гамма-излучение (extragalactic gamma-ray background).



Credit: NASA/DOE/Fermi LAT/D. Finkbeiner et al.



Анализ данных диффузного гамма-излучения, полученных Fermi-LAT в диапазоне энергий от 100 МэВ до 500 ГэВ выявил два гигантских пузыря, достигающих 55 град северной и южной галактической широты (Fermi bubbles).

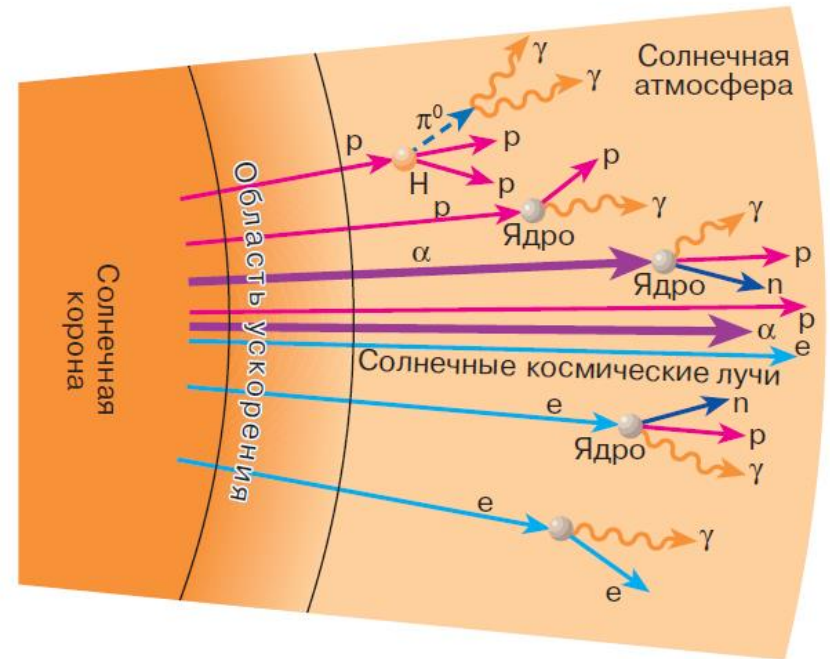
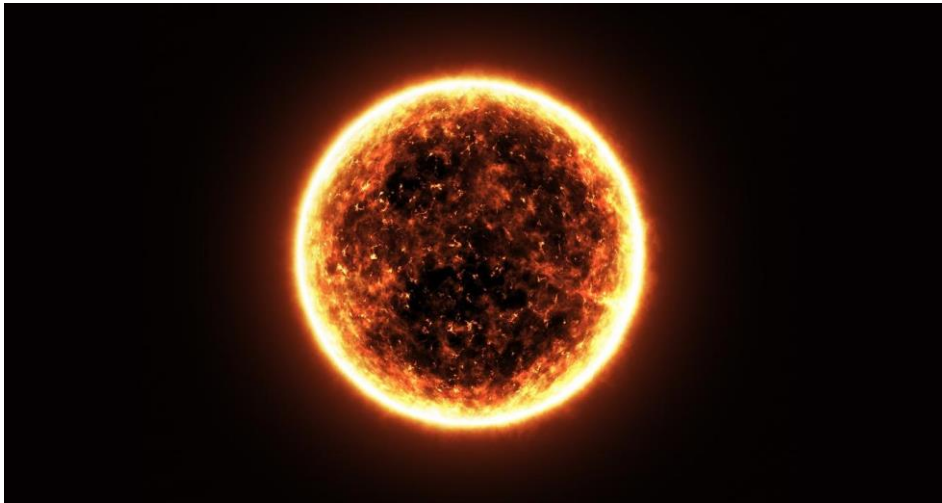


## Поиск и исследование гамма-всплесков

ГАММА-400 будет регистрировать около 10 гамма-всплесков в год в основной апертуре в энергетическом диапазоне выше 20 МэВ и около 20 гамма-всплесков в год в боковой апертуре в диапазоне выше 10 МэВ.



**Исследование гамма-излучения от Солнца**  
**в спокойное время (после взаимодействия космических лучей с фотонами и**  
**веществом солнечной атмосферы) и во время вспышек**



Исследование гамма-излучения высоких энергий от солнечных вспышек призвано выяснить роль ядерных процессов во вспышке, механизм ускорения частиц и взаимодействия ускоренных пучков с солнечной атмосферой.



# Одновременные наблюдения в различных областях астрономии :

**-гравитационно-волновые**

LIGO

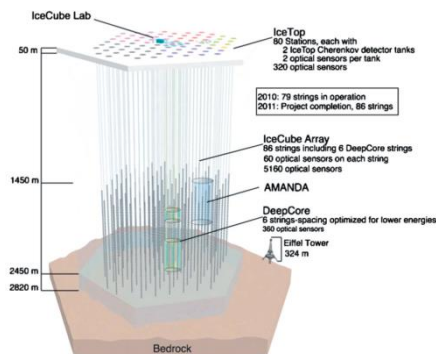
(Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory, США)



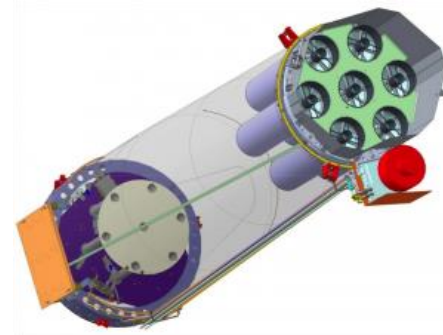
Virgo interferometer (Европа)



**-нейтринные (IceCube)**

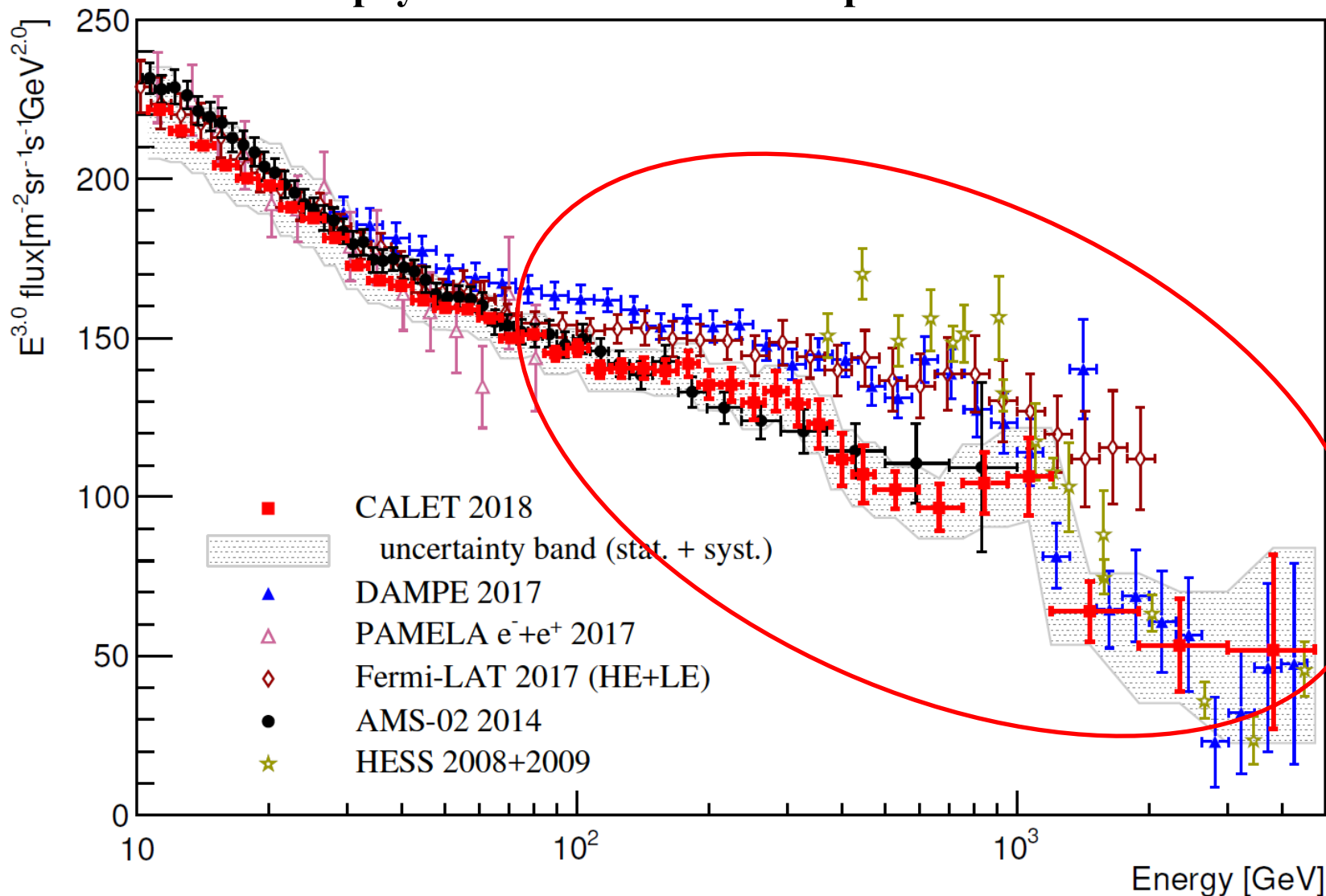


**-рентгеновские (ART-XC)**



**-космическая и наземная (СТА) гамма-астрономия**

**Измерение потоков электронов + позитронов в диапазоне 1 ГэВ – 20 ТэВ  
для уточнения спектров благодаря высокому энергетическому разрешению  
калориметра толщиной (18-43  $X_0$ ) при регистрации потоков  
сверху-вниз и с боковых направлений**



Сравнение характеристик при регистрации электронов + позитронов для ГАММА-400 (сверху-вниз и для боковых направлений) с характеристиками Fermi-LAT, PAMELA, AMS-2, CALET, DAMPE, HERD

	GAMMA-400		Fermi-LAT	PAMELA	AMS-2	CALET	DAMPE	HERD
Aperture	top-down	4 sides	top-down	top-down	top-down	top-down	top-down	5 sides
Acceptance, m <sup>2</sup> sr	~0.3	~0.5	2.5	0.02	0.4	0.1	0.3	3
Proton rejection factor	~10 <sup>4</sup>	~10 <sup>4</sup>	~10 <sup>4</sup>	~10 <sup>4</sup>	~10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>	>10 <sup>5</sup>
Calorimeter area, m <sup>2</sup>	0.7	4×0.24	0.85	0.06	0.42	0.1	0.36	5×0.4
Calorimeter thickness, X <sub>0</sub>	18	43	8.6	16	16	30	32	55

Количество статей, опубликованных авторами проекта «ГАММА-400», и ссылок на них за период 2017-2022 гг. в базах данных: Web of Science (WoS), Scopus, NASA Astrophysics Data System.

	WoS	Scopus	NASA/ADS
Количество статей	25	33	40
Количество ссылок	56	82	92



**2022**

**Advances in Space Research 69 (2022) 514-530**

*Capabilities of the GAMMA-400 gamma-ray telescope to detect gamma-ray bursts from lateral directions*

A A Leonov, A M Galper, N P Topchiev, I V Arkhangelskaja, A I Arkhangelskiy, A V Bakaldin, I V Chernysheva, O D Dalkarov, A E Egorov, M D Kheymits, M G Korotkov, A G Malinin, A G Mayorov, V V Mikhailov, A V Mikhailova, P Yu Minaev, N Yu Pappe, P Picozza, R Sparvoli, Yu I Stozhkov, S I Suchkov and Yu T Yurkin

**Advances in Space Research 70 (2022) 2773-2793**

*Gamma- and Cosmic-Ray Observations with the GAMMA-400 Gamma-Ray Telescope*

N.P. Topchiev, A.M. Galper, I.V. Arkhangelskaja, A.I. Arkhangelskiy, A.V. Bakaldin, R.A. Cherniy, I.V. Chernysheva, E.N. Gudkova, Yu.V. Gusakov, O.D. Dalkarov, A.E. Egorov, M.D. Kheymits, M.G. Korotkov, A.A. Leonov, A.G. Malinin, V.V. Mikhailov, A.V. Mikhailova, P.Yu. Minaev, N.Yu. Pappe, M.V. Razumeyko, M.F. Runtso, Yu.I. Stozhkov, S.I. Suchkov, Yu.T. Yurkin

**Известия РАН, серия физическая**

*Использование боковой апертуры гамма-телескопа ГАММА-400 для измерений потоков электронов и позитронов с энергиями до 10 ТэВ*

А.А. Леонов, А.М. Гальпер, Н.П. Топчиев, И.В. Архангельская, А.И. Архангельский, А.В. Бакалдин, О.Д. Далькаров, А.Е. Егоров, М.Г. Коротков, А.Г. Майоров, А.Г. Малинин, А.В. Михайлова, В.В. Михайлов, Н.Ю. Паппе, С.И. Сучков, М.Д. Хеймиц, И.В. Чернышева, Ю.Т. Юркин

**Известия РАН, серия физическая**

*Система антисовпадательных детекторов космического гамма-телескопа ГАММА-400, характеристики, полученные на основании измерений с прототипом системы на пучке позитронов*

А.И. Архангельский, И.В. Архангельская, А.М. Гальпер, О.Д. Далькаров, М.Г. Коротков, А.А. Леонов, Н.Ю. Паппе, С.И. Сучков, Н.П. Топчиев, М.Д. Хеймиц, Е.Н. Часовиков, Ю.Т. Юркин

**Proceedings of ECRS2022**

*Capabilities of GAMMA-400 gamma-ray telescope to detect electron+positron flux of TeV-energies from lateral directions*

V.V. Mikhailov, A.M. Galper, N.P. Topchiev, I.V. Arkhangelskaja, A.I. Arkhangelskiy, A.V. Bakaldin, I.V. Chernysheva, O.D. Dalkarov, A.E. Egorov, M.D. Kheymits, M.G. Korotkov, A.A. Leonov, A.G. Malinin, A.G. Mayorov, A.V. Mikhailova, N.Yu. Pappe, S.I. Suchkov, Yu.T. Yurkin

**Universe**

*The upcoming GAMMA-400 experiment*

N.P. Topchiev, A.M. Galper, I.V. Arkhangelskaja, A.I. Arkhangelskiy, A.V. Bakaldin, I.V. Chernysheva, O.D. Dalkarov, A.E. Egorov, M.D. Kheymits, M.G. Korotkov, A.A. Leonov, A.G. Malinin, V.V. Mikhailov, N.Yu. Pappe, S.I. Suchkov, Yu.T. Yurkin

**2022-2023 гг.**

- 1) Продолжение расчетов для регистрации гамма-квантов с целью улучшения физической схемы и характеристик гамма-телескопа, а также для улучшения методов отбора гамма-квантов от заряженных частиц
- 2) Продолжение расчетов для регистрации потоков электронов + позитронов как сверху-вниз, так и с боковых направлений
- 3) Проведение испытаний с макетами детекторных систем гамма-телескопа в лабораторных условиях и на ускорителях

# Заключение

- Внеатмосферные и наземные астрофизические исследования по гамма-астрономии высоких и сверхвысоких энергий позволяют получить чрезвычайно важную информацию: о физических условиях в дискретных астрофизических объектах, о свойствах межзвездного и межгалактического пространства, о природе темной материи.
- После Fermi-LAT запуск гамма-телескопа ГАММА-400 представляет уникальную возможность значительно улучшить данные о гамма-излучении высоких и сверхвысоких энергий, о потоках высокоэнергичных электронов и позитронов благодаря значительно лучшему угловому и энергетическому разрешению, большой площади, длительным непрерывным наблюдениям.
- Одновременное наблюдение источников гамма- и рентгеновским телескопами из космоса станет уникальным космическим экспериментом. Совместные наблюдения с наземными гамма-установками (СТА и др.), а также с гравитационно-волновыми (LIGO, Virgo) и нейтринными (IceCube) наземными экспериментами позволят существенно продвинуться в понимании происходящих в астрофизических источниках физических процессов.

Сайт ГАММА-400 - <http://gamma400.lebedev.ru/>