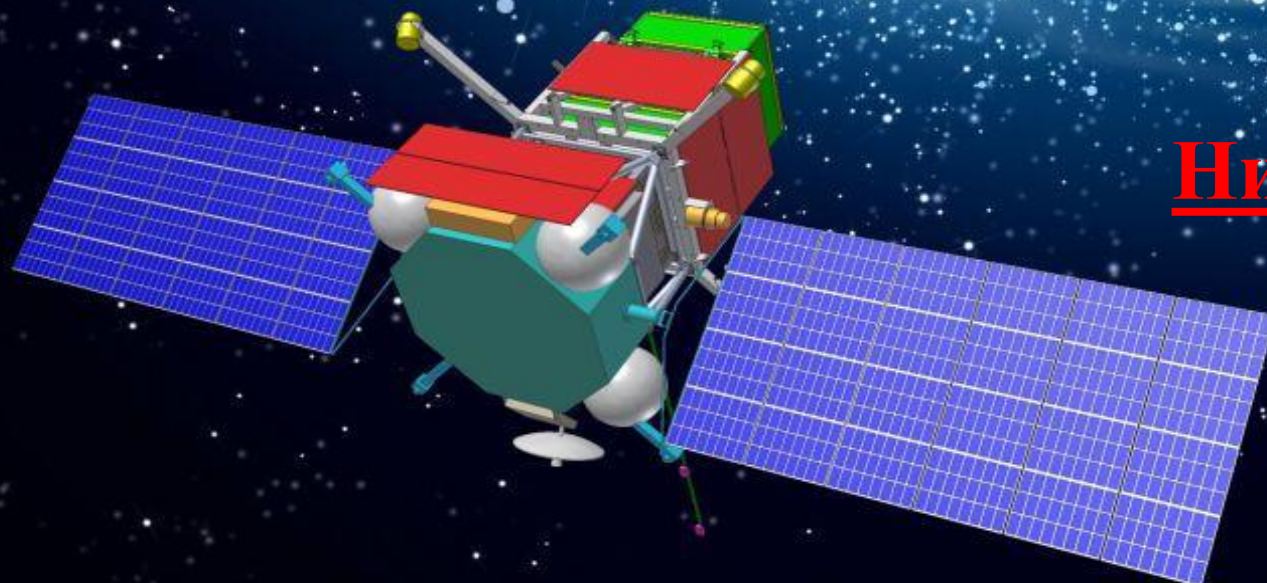


Новые методы разработки научной аппаратуры для регистрации гамма-излучения высоких и сверхвысоких энергий в космическом эксперименте «ГАММА-400»



Николай Топчиев

Комплекс научной аппаратуры «ГАММА-400»

(головная организация по КНА «ГАММА-400» – ФИАН,
соисполнители МИФИ, НИИСИ РАН, НИИЭМ, ФТИ)

предназначен для:

- регистрации космического высокоэнергичного гамма-излучения (от 100 МэВ до 3000 ГэВ);
- поиска особенностей в энергетических спектрах высокоэнергичного гамма-излучения и электрон-позитронной компоненты, которые могут быть связаны с частицами «темной материи»;
- регистрации потоков высокоэнергичных электронов+позитронов и ядер;
- регистрации высокоэнергетического гамма-излучения, потоков электронов+позитронов, ядер при солнечных вспышках
- поиска и исследования гамма-всплесков.

Гамма-телескоп ГАММА-400

Звездные датчики (2)

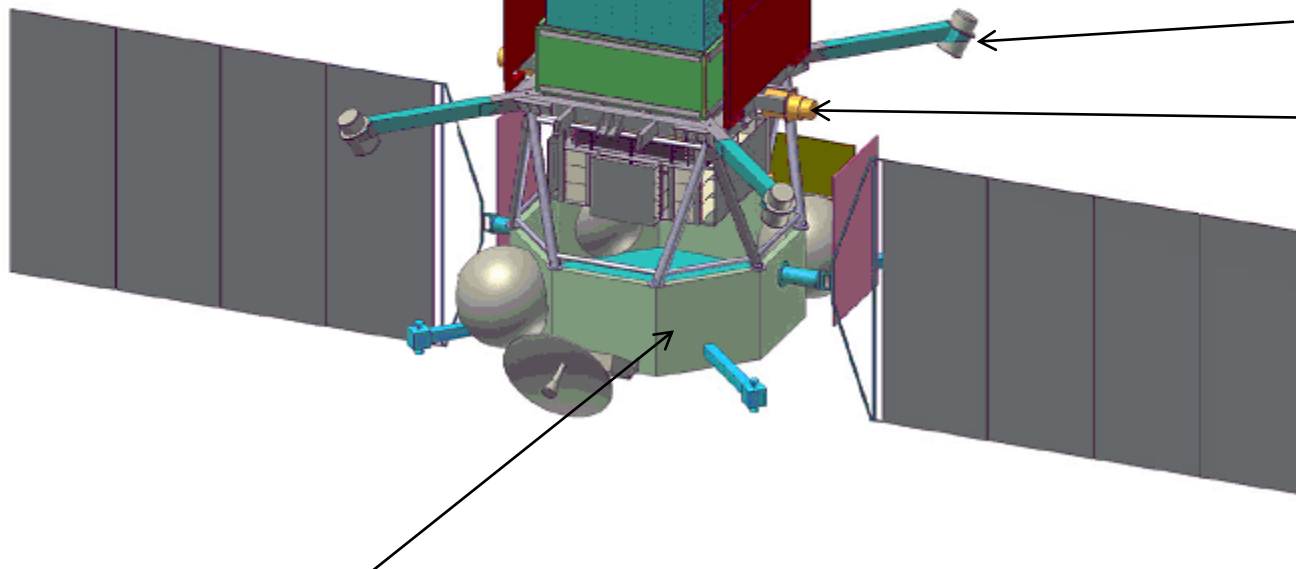
Магнитометры (2)

СОТР

**Система регистрации
гамма-всплесков
«КОНУС-ФГ»**

4 детектора направления

**2 спектрометрических
детектора**



Платформа «Навигатор»
(НПО им. С.А. Лавочкина)

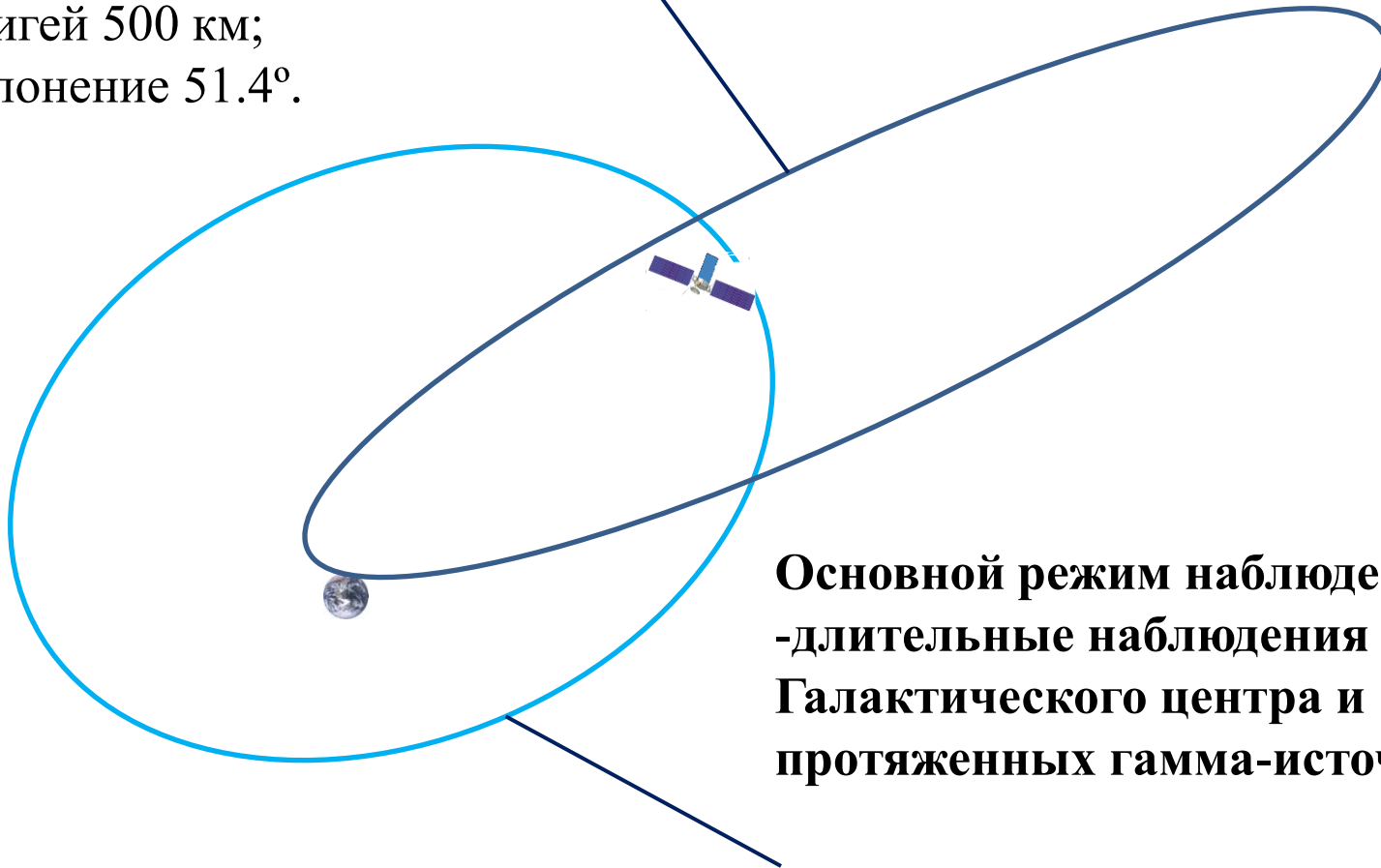
**КНА «ГАММА-400» на
платформе «Навигатор»**

ОРБИТА ГАММА-400 И РЕЖИМЫ НАБЛЮДЕНИЯ

Начальные параметры орбиты:

- апогей 300 000 км;
- перигей 500 км;
- наклонение 51.4° .

**Согласно ФКП 2016-2025 запуск
обсерватории намечен на 2023 г.**

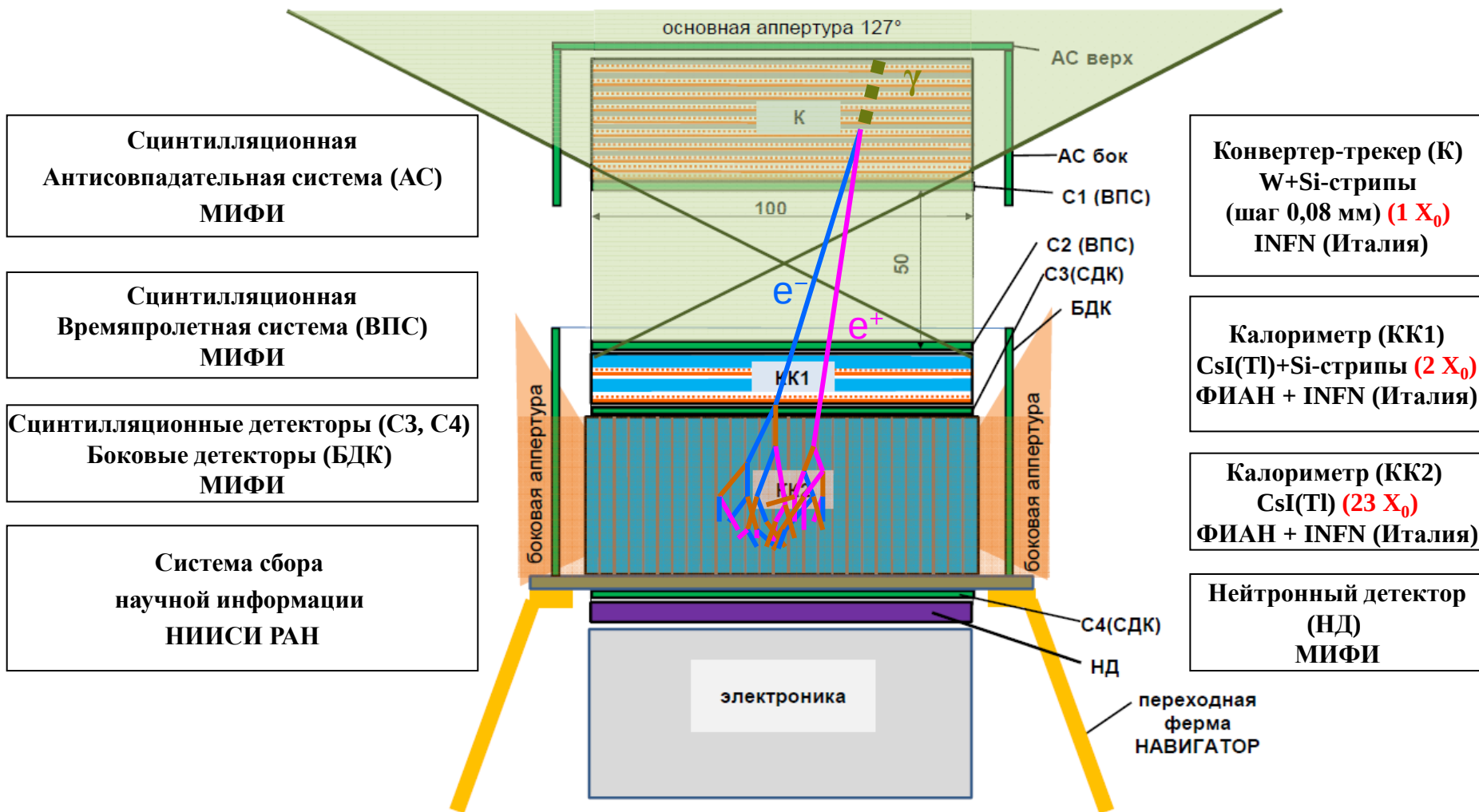


Основной режим наблюдений:
-длительные наблюдения (до 100 дней)
Галактического центра и
протяженных гамма-источников

Под воздействием Солнца, Луны и Земли примерно через 6 месяцев орбита полностью выйдет из рад. поясов станет круговой с радиусом ~ 200000 км.

Т.о. орбита вне радиационных поясов и не затеняется Землей

Физическая схема гамма-телескопа ГАММА-400



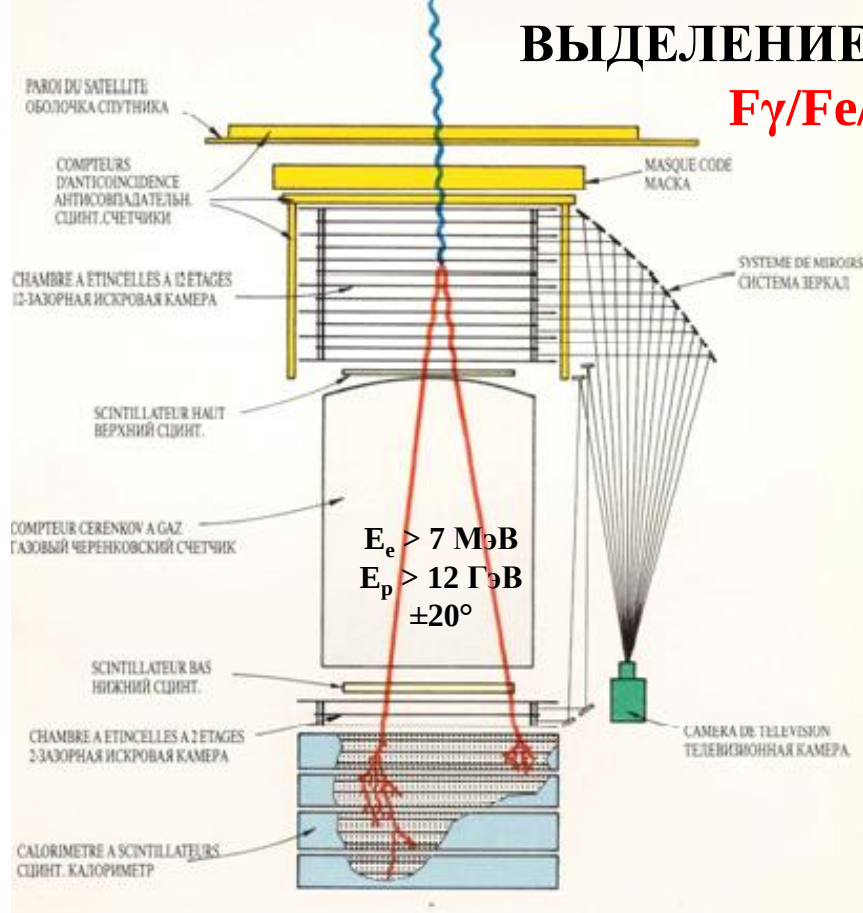
1 - гамма-кванты,
электроны + позитроны
 $X_0 = 1 + 25$ р.е.д., $\lambda_0 = 1.2$ я.д.
(для вертикальных событий)

$\Delta\theta \sim 0,01^\circ$
 $\Delta E/E \sim 1\%$
($E_\gamma > 100$ ГэВ)

2 - электроны + позитроны и
ядра
 $X_0 = 54$ р.е.д., $\lambda_0 = 2.5$ я.д.
(для боковых событий)

ВЫДЕЛЕНИЕ ГАММА-КВАНТОВ

$$F_{\gamma}/F_e/F_p = 1/10^2/10^5$$



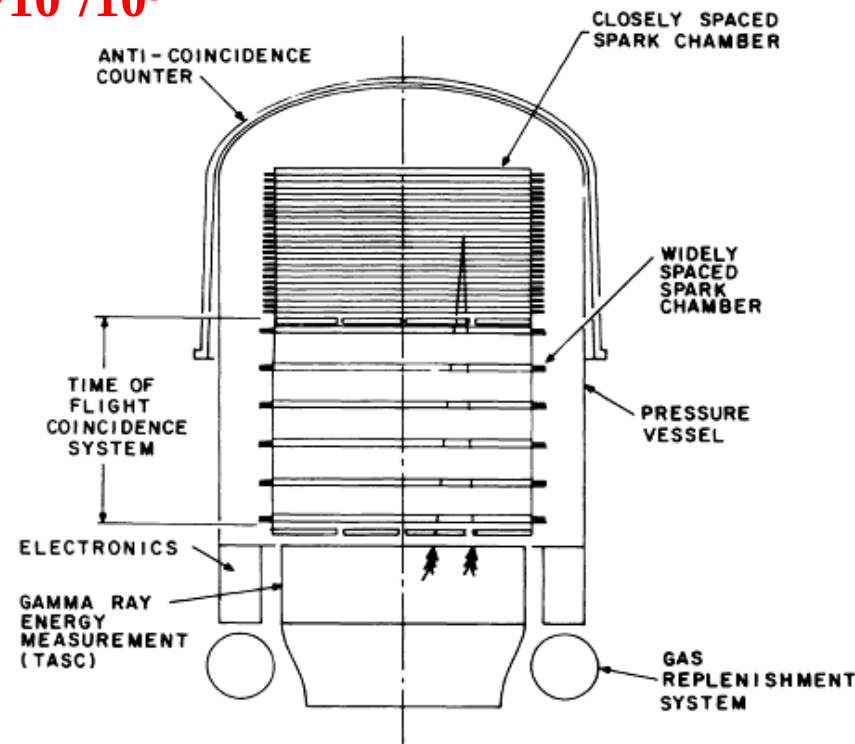
ГАММА-1

Период работы: 1990-1992 гг.

Диапазон энергий: 50 МэВ - **5 ГэВ**

Характеристики:

$S_{\text{эфф}} = 1400 \text{ см}^2$, $\Delta\vartheta = 1,2^\circ$ (300 МэВ),
 $\Delta E/E = 34\%$ (550 МэВ),
 широкозазорные ИК, ГЧС,
 сцинт.-свинц. калориметр – 7.4 р.е.д.



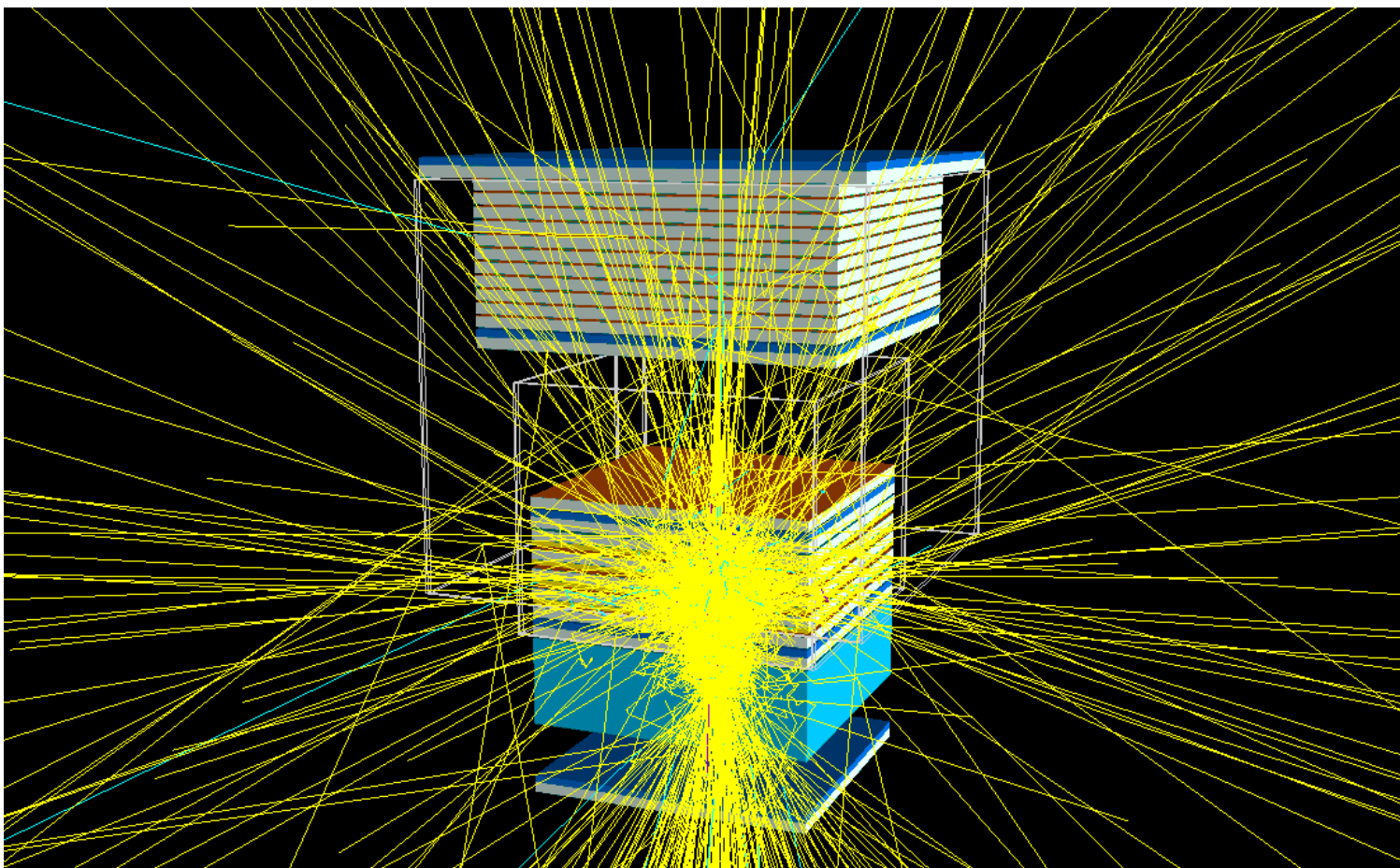
EGRET

Период работы: 1991-2000 гг.

Диапазон энергий: 30 МэВ - **30 ГэВ**

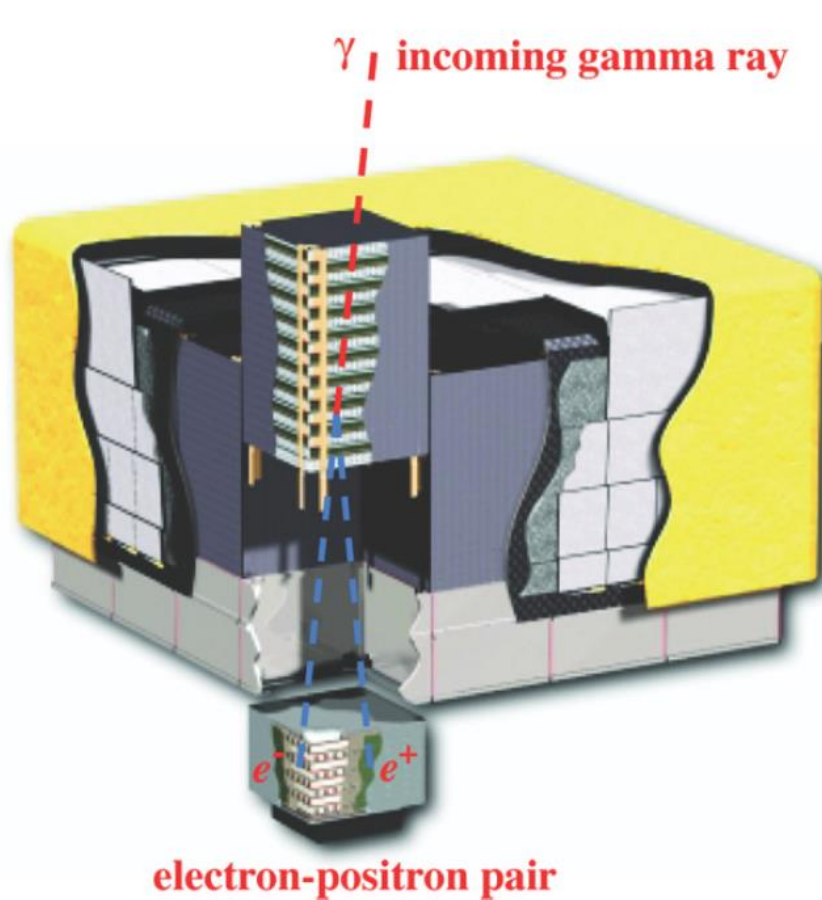
Характеристики:

$S_{\text{эфф}} = 6000 \text{ см}^2$, $\Delta\vartheta = 0,2^\circ$ (300 МэВ),
 $\Delta E/E = 15\%$ (550 МэВ),
 узко- и широкозазорные ИК,
 NaI(Tl) калориметр – 8 р.е.д.

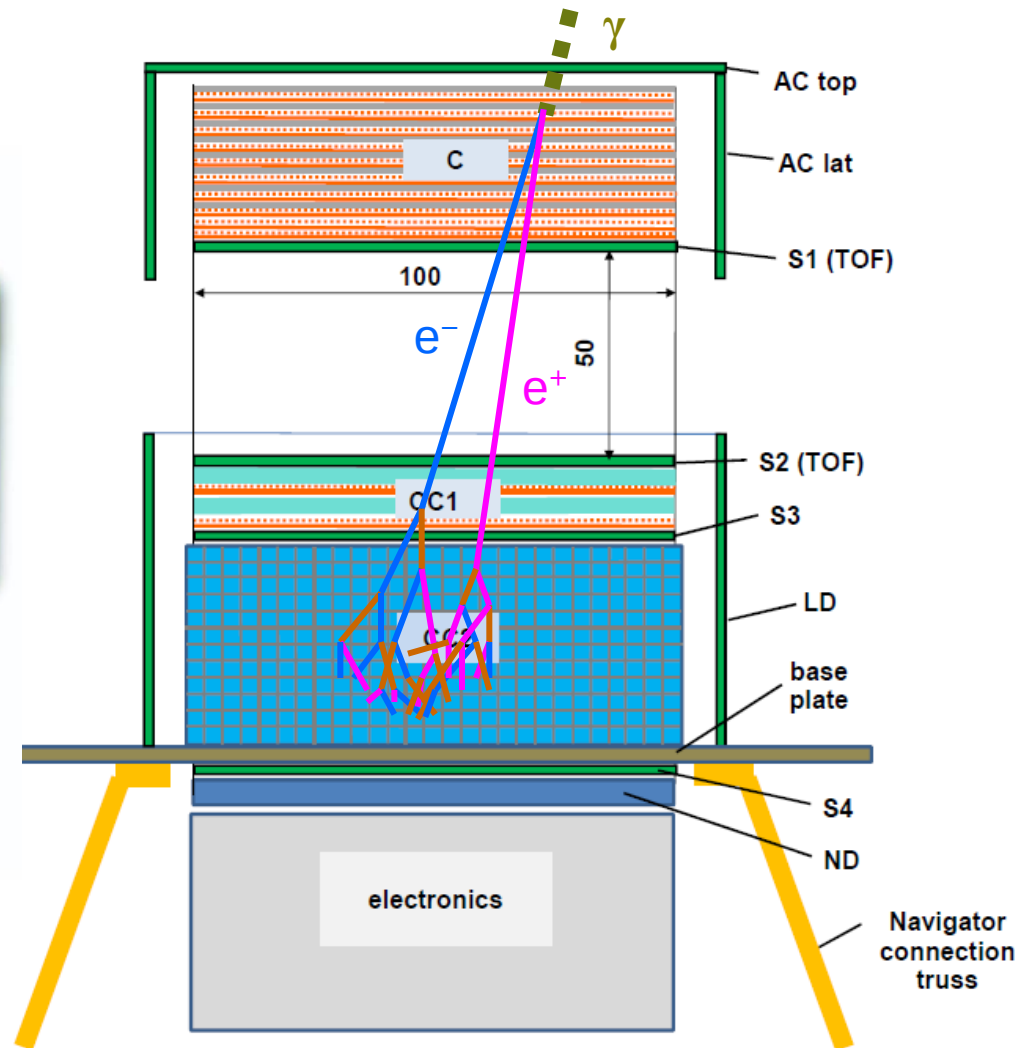


**Взаимодействие гамма-кванта ($E_\gamma = 100$ ГэВ) с веществом
гамма-телескопа ГАММА-400 с образованием частиц
«обратного тока»**

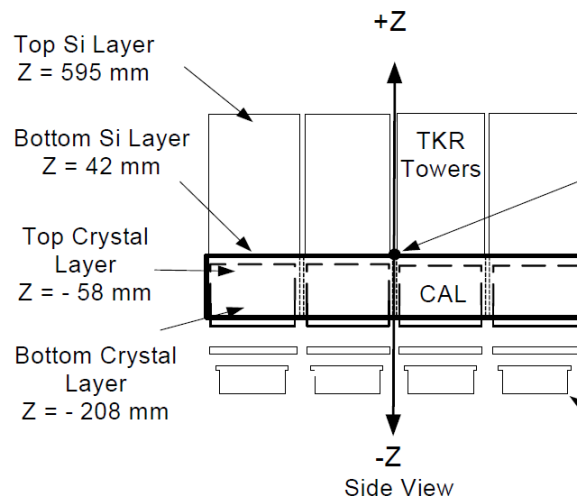
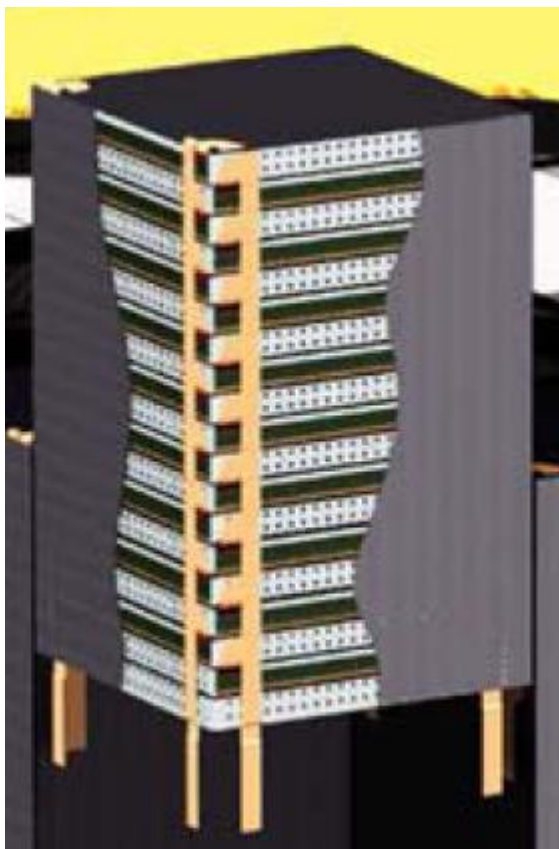
Сравнение гамма-телескопов Fermi-LAT и GAMMA-400



Fermi-LAT



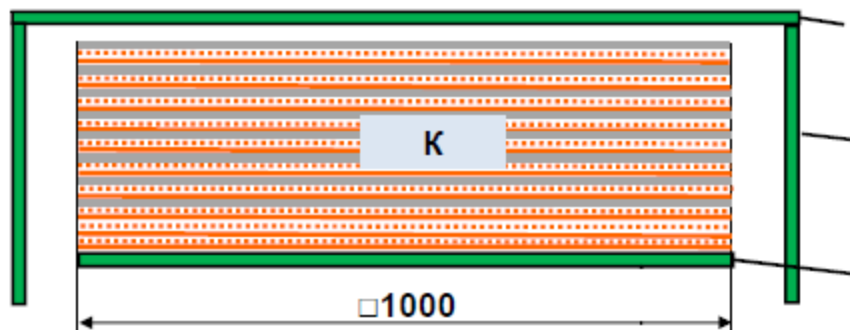
GAMMA-400



Fermi-LAT:
Вид нижней части
трекера и
калориметра

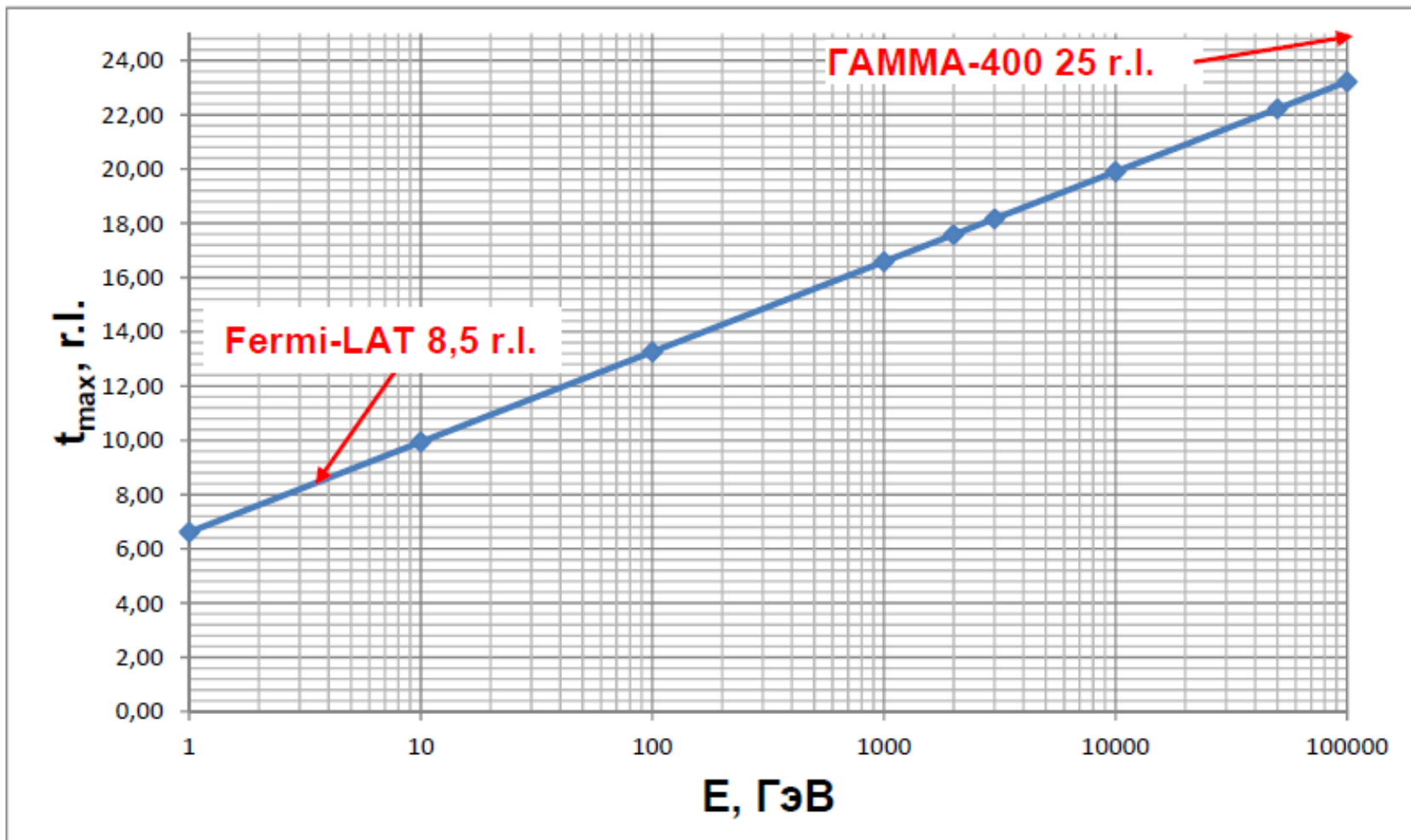
Fermi-LAT – конвертер ($1,5X_0$)

- 12 слоев $W(0,03X_0) + Si(x, y)$ – front
- 4 слоя $W(0,18X_0) + Si(x, y)$ – back
- 2 слоя $Si(x, y)$
- шаг 0, 225 мм
- бинарный съем информации



ГАММА-400 – конвертер ($1X_0$)

- 8 слоев $W(0,1X_0) + Si(x, y)$
- 2 слоя $Si(x, y)$
- шаг 0, 08 мм
- аналоговый съем информации



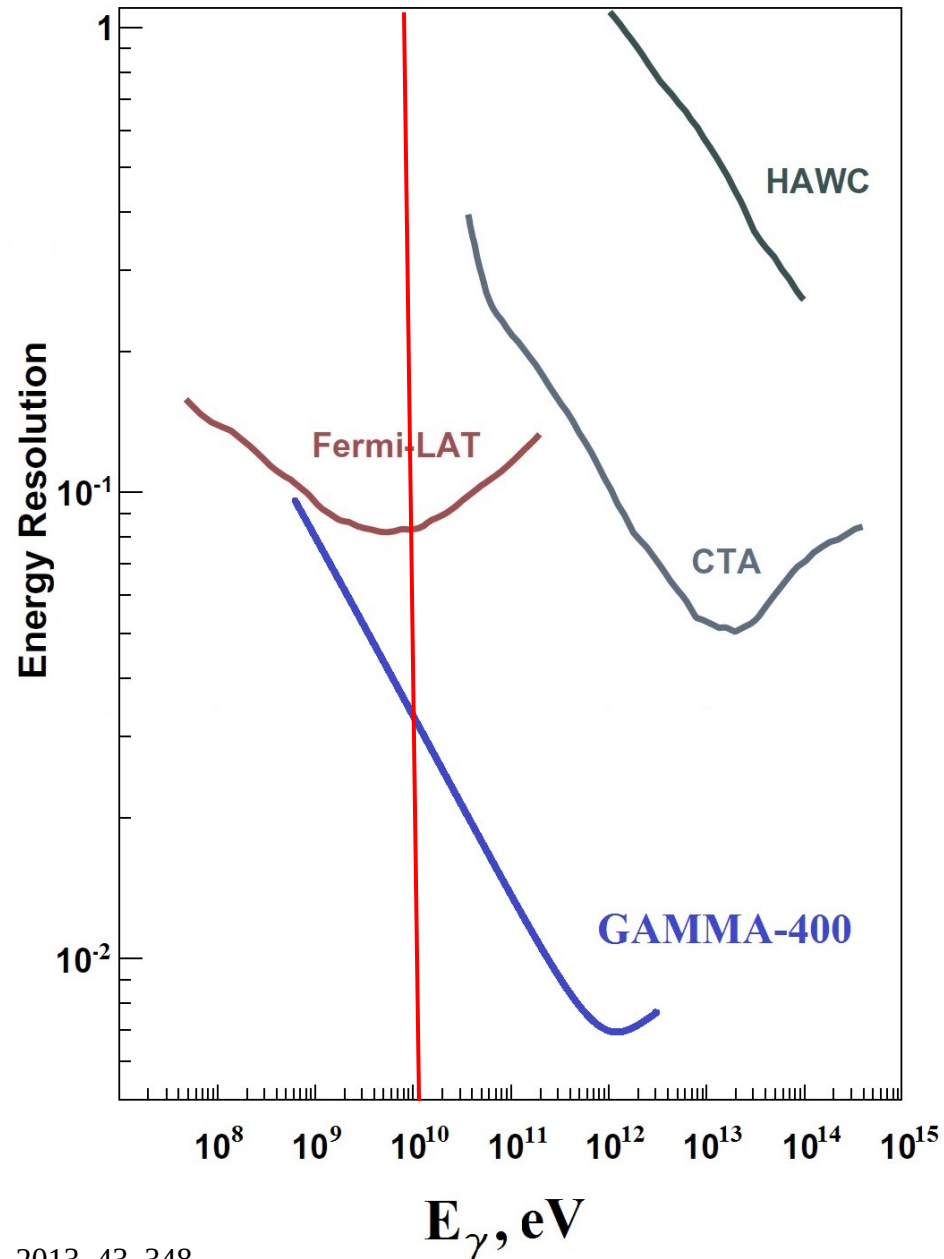
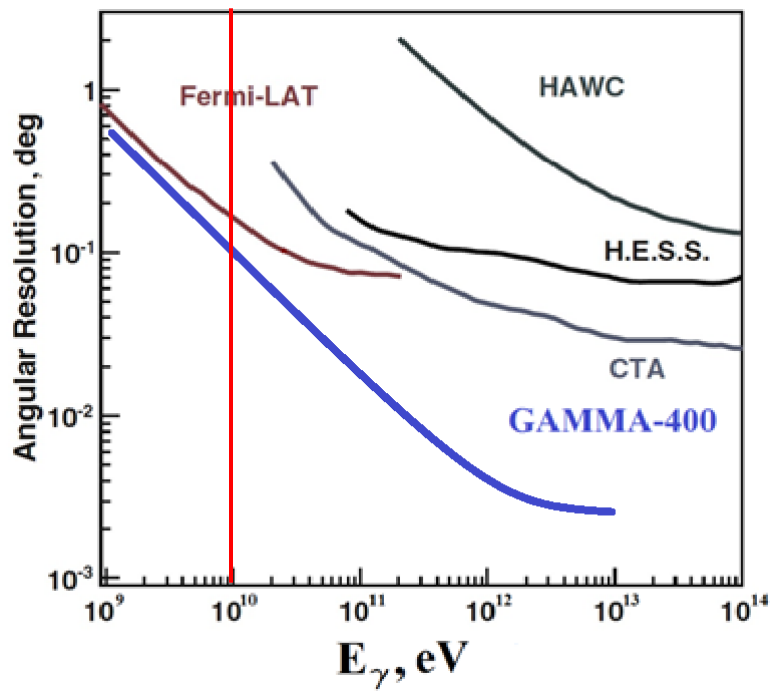
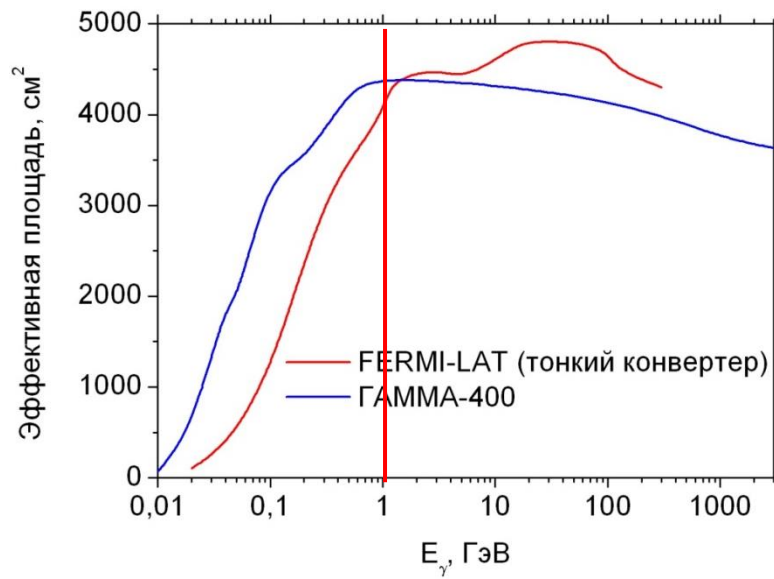
Зависимость положения максимума ливня, который развивается в калориметре, в зависимости от энергии вертикально падающих гамма-квантов для ГАММА-400 и Fermi-LAT.

Сравнение гамма-телескопов Fermi-LAT и ГАММА-400

СИСТЕМА	Fermi-LAT	ГАММА-400
Антисовпадательная -эффективность -методы подавления ОТ	0,9997 сегментация однослойные сц. дет-ры	0,999995 сегментация двухслойные сц. дет-ры временной метод
Времяпролетная -пролетная база, мм -временной метод подавления ОТ	нет	500 да
Конвертер -шаг, мкм -съем информации	Si(стрипы)+W 225 Бинарный	Si(стрипы)+W 80 Аналоговый
Калориметр - толщина	CsI(Tl) 8,5 р.е.д.	КК1 - 2 р.е.д. CsI(Tl)+Si КК2 - 23 р.е.д. CsI(Tl)
Нейтронный детектор - доп. выделение гамма-квантов - режекция протонов от электронов	нет	есть
Триггерная - триггер	$\overline{AC}x(3 \text{ стрип. пл.}) \times Ecal(100 \text{ MeV})$	$\overline{AC}xВПС$ 11

Сравнение основных параметров ГАММА-400 и Fermi-LAT

	Fermi-LAT	ГАММА-400
Орбита	круговая, 565 км	высокоэллиптическая, 500-300000 км (без затенения Землей)
Режим работы	обзор неба (3 часа)	наблюдение (до 100 дней)
Экспозиция/время работы	1/7	1
Энерг. диапазон	20 МэВ - 300 ГэВ (γ , e)	100 МэВ – 3 ТэВ (γ) 100 МэВ – 20 ТэВ (e)
Эффект. площадь ($E_\gamma > 1$ ГэВ)	$\sim 6500 \text{ см}^2$ (total) $\sim 4000 \text{ см}^2$ (front)	$\sim 4000 \text{ см}^2$
Коорд. детекторы	Si стрипы (шаг 0.23 мм)	Si стрипы (шаг 0.08 мм)
Угловое разрешение	$\sim 0.2^\circ$ ($E_\gamma = 10$ ГэВ) $\sim 0.1^\circ$ ($E_\gamma > 100$ ГэВ)	$\sim 0.1^\circ$ ($E_\gamma = 10$ ГэВ) $\sim 0.01^\circ$ ($E_\gamma > 100$ ГэВ)
Калориметр - толщина	CsI(Tl) $\sim 8.5X_0$	CsI(Tl)+Si $\sim 25X_0$
Энерг. разрешение	$\sim 10\%$ ($E_\gamma = 10$ ГэВ) $\sim 10\%$ ($E_\gamma > 100$ ГэВ)	$\sim 3\%$ ($E_\gamma = 10$ ГэВ) $\sim 1\%$ ($E_\gamma > 100$ ГэВ)
Коэфф. режекции протонов	$\sim 10^4$	$\sim 5 \times 10^5$
Масса	2800 кг	4100 кг
Объем информации	15 Гбайт/день	100 Гбайт/день

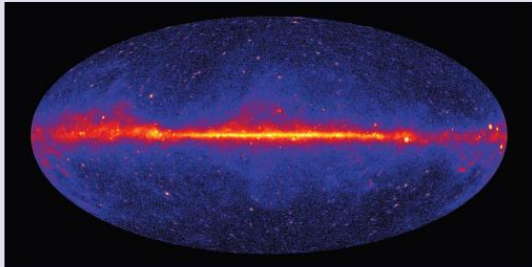


Сравнительные характеристики работавших, существующих и планируемых космических и наземных гамма-телескопов

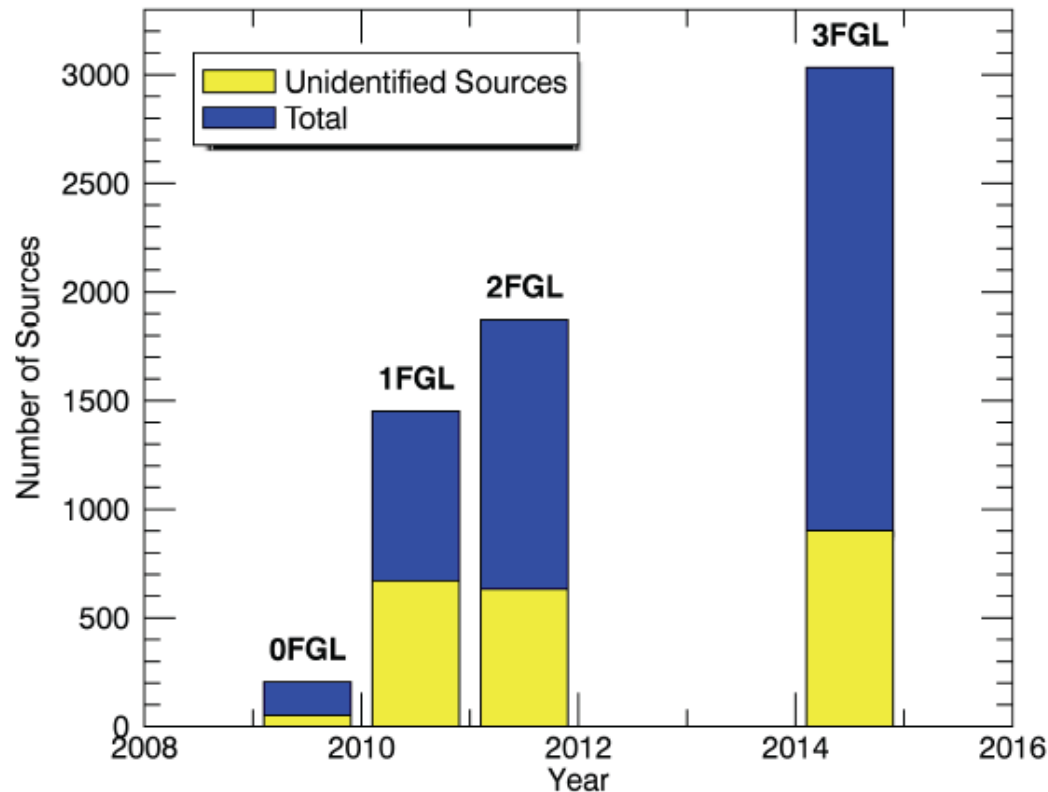
	КОСМИЧЕСКИЕ ГАММА-ТЕЛЕСКОПЫ				НАЗЕМНЫЕ ГАММА-ТЕЛЕСКОПЫ			
	EGRET	AGILE	Fermi-LAT	ГАММА-400	Н.Е.С.С.-II	MAGIC-II	VERITAS	СТА
	США	Италия	США	Россия	Намибия	Испания, Канарские о-ва	США, Аризона	
Годы работы	1991-2000	2007-	2008-	2023	2012-	2009-	2007-	2018
Диапазон энергий, ГэВ	0,03-30	0,03-50	0,02-300	0,1-3000	> 30	> 50	> 50	> 20
Эффективная площадь, м ²	0,2	0,1	0,4 (front)	0,4	10 ⁵	10 ⁵	10 ⁵	10 ⁶
Угловое разрешение ($E_\gamma > 100$ ГэВ)	0,2° ($E_\gamma \sim 0,5$ ГэВ)	0,1° ($E_\gamma \sim 1$ ГэВ)	0,1°	~0,01°	0,07°	0,07° ($E_\gamma = 300$ ГэВ)	0,1°	0,1° ($E_\gamma = 100$ ГэВ) 0,03° ($E_\gamma = 10$ ТэВ)
Энергетическое разрешение ($E_\gamma > 100$ ГэВ)	15% ($E_\gamma \sim 0,5$ ГэВ)	50% ($E_\gamma \sim 1$ ГэВ)	10%	~1%	15%	20% ($E_\gamma = 100$ ГэВ) 15% ($E_\gamma = 1$ ТэВ)	15%	20% ($E_\gamma = 100$ ГэВ) 5% ($E_\gamma = 10$ ТэВ)

Анализ гамма-астрономических результатов

γ -ray sky



	Энергет. диапазон	Кол-во источников	Кол-во неидент.
3FGL(4 года)	0,1-300 ГэВ	3033	992
AGILE	0,03-50 ГэВ	47	8
TevCat	> 100 ГэВ	158	



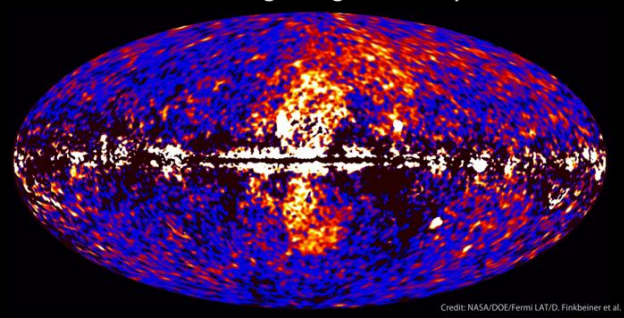
50 GeV – 2 TeV

51,000 photons $E > 50$ GeV
 18,000 photons $E > 100$ GeV
 2,000 photons $E > 500$ GeV

Оценка числа фотонов, которые будут зарегистрированы ГАММА-400 при наблюдении **центра Галактики** по данным потоков 3FGL (эффект. площадь = 4000 см², T_{набл} = 1 год)

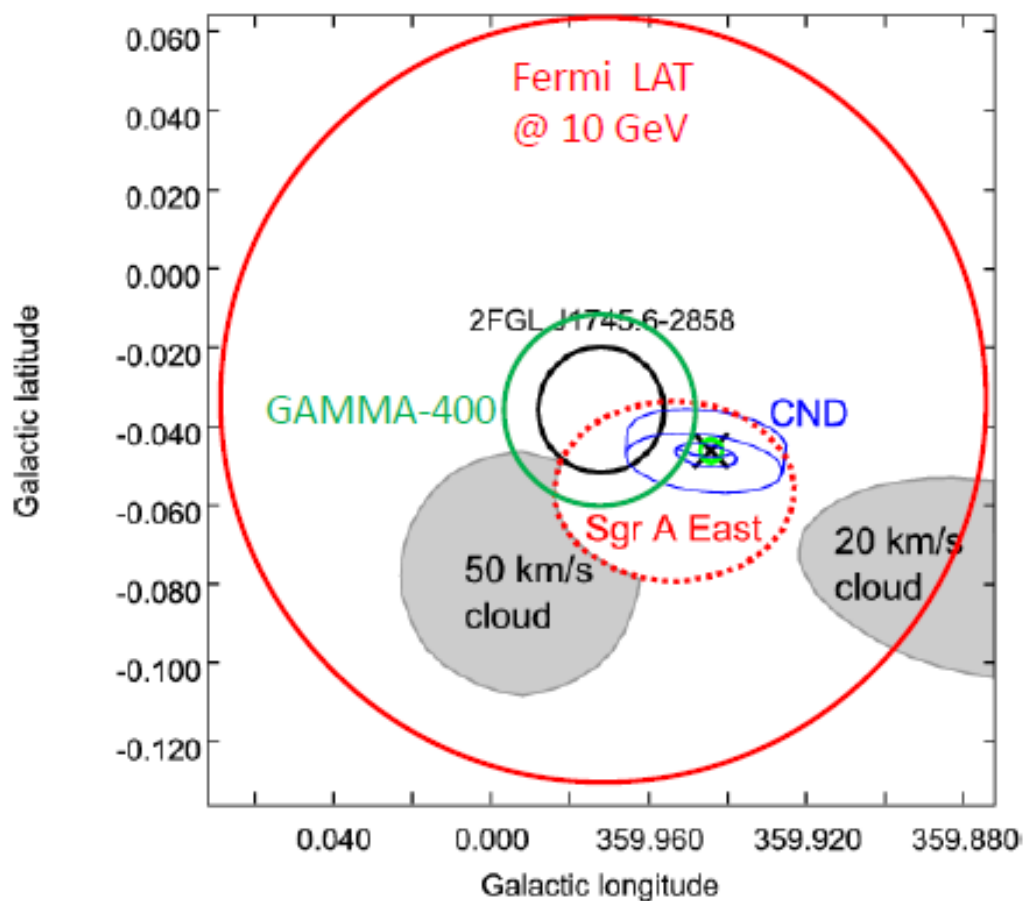
Name (3FGL)	Long	Lat	Name (Tevcat)	Nph (1-100 GeV)	Nph (10-100 GeV)
3FGL J1713.5-3945e	347.33	-0.47	RX J1713.7-3946	572	118
3FGL J1802.6-3940	352.44	-8.47		1277	28
3FGL J1718.0-3726	349.72	0.162	SNR G349.7+00.2	550	36
3FGL J1823.6-3453	358.67	-9.93		220	28
3FGL J1745.6-2859c	359.95	-0.04	Galactic Center	2748	126
3FGL J1746.3-2851c	0.149	-0.10		3472	58
3FGL J1800.8-2402	5.956	-0.45	HESS J1800-240	1298	35
3FGL J1809.8-2332	7.388	-2.05		8044	76
3FGL J1801.3-2326e	6.527	-0.25	W 28	6747	137
3FGL J1805.6-2136e	8.604	-0.21	HESS J1804-216	3051	142
3FGL J1833.6-2103	12.1671	-5.7		2585	38
ИТОГО				30563	822

Fermi data reveal giant gamma-ray bubbles



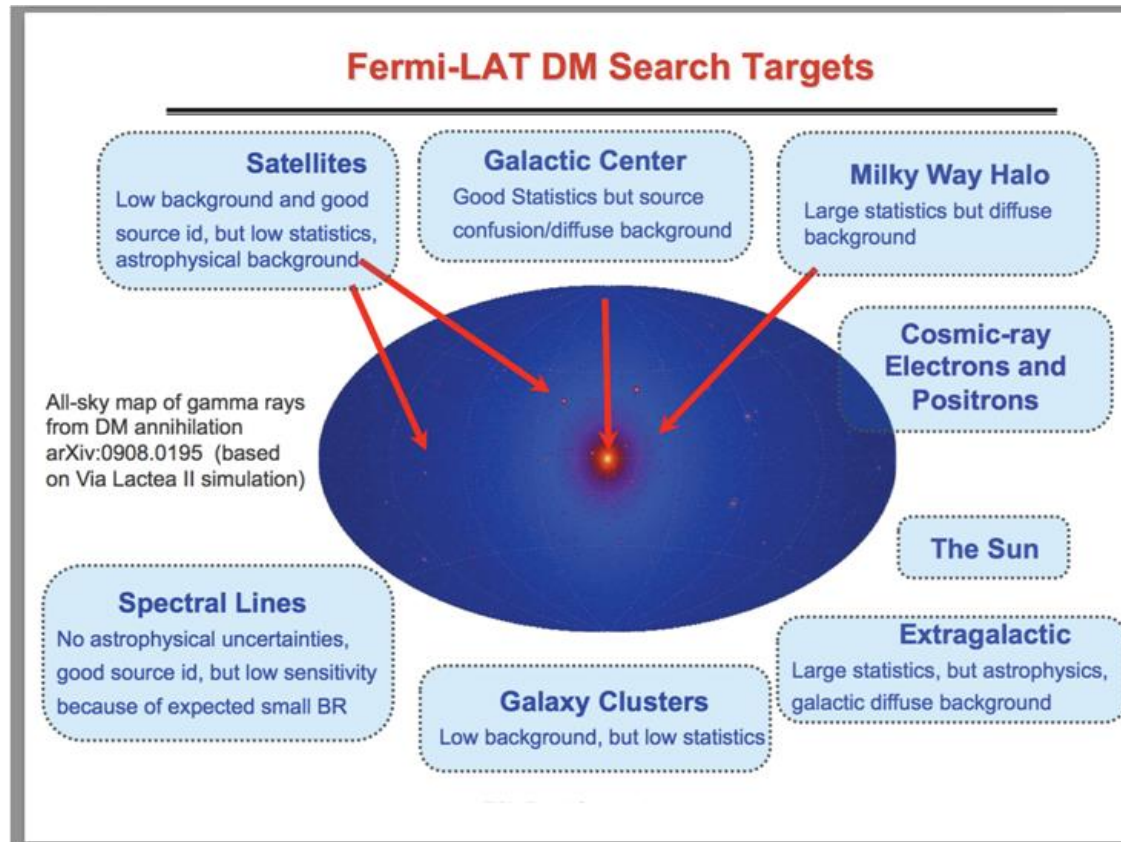
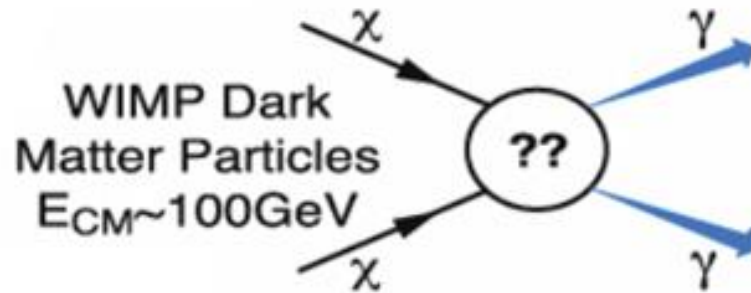
Кроме того, будут наблюдаться области:
Crab, Cygnus, Vela

Источник J 1745.6-2858



В. Догель, Д. Чернышов

Поиск гамма-линий от частиц темной материи



Сравнение возможностей ГАММА-400 и Fermi-LAT по выделению гамма-линий от частиц темной материи

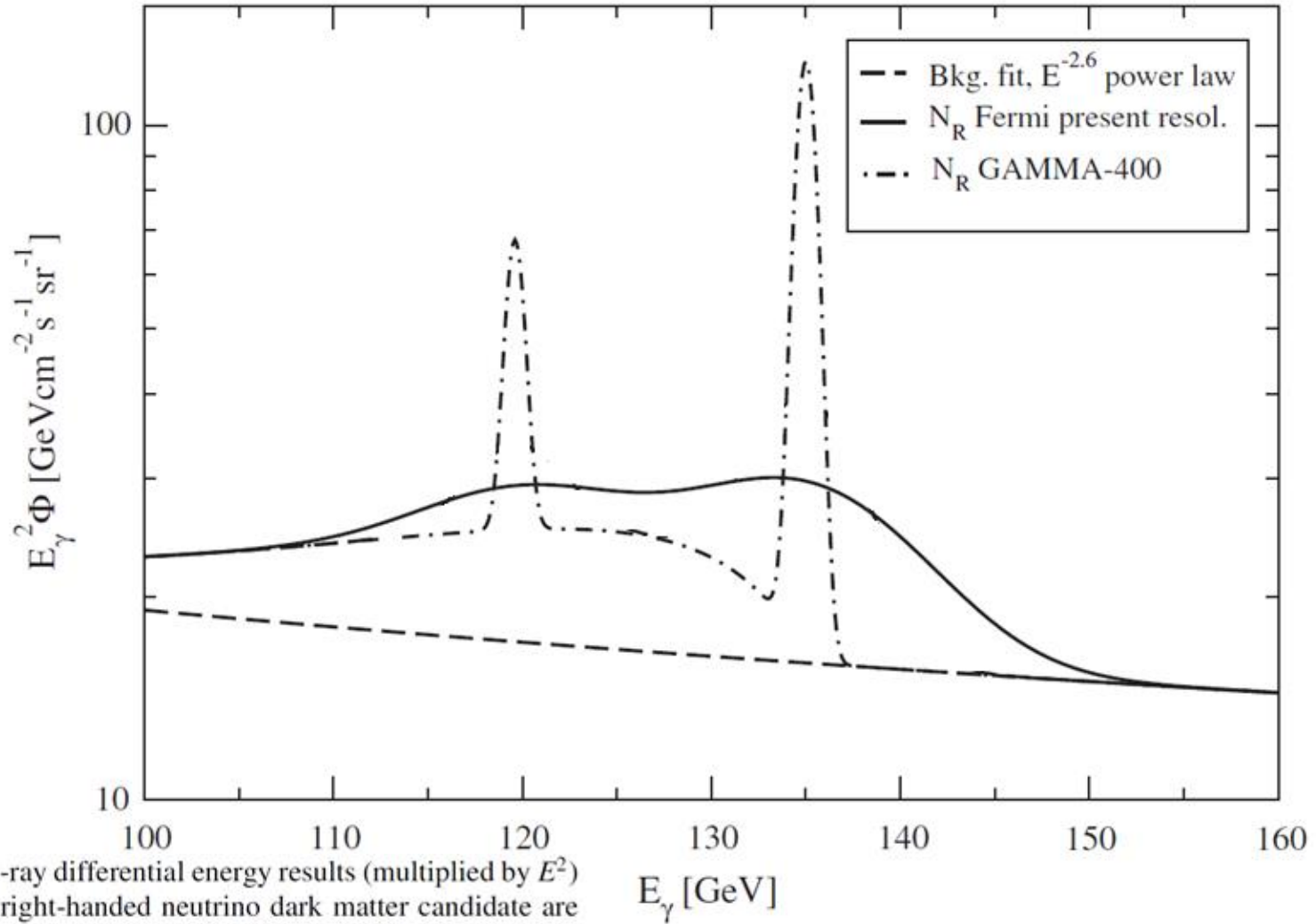


FIG. 3. The γ -ray differential energy results (multiplied by E^2) for a 135 GeV right-handed neutrino dark matter candidate are shown, with the present Fermi-LAT energy resolution $\Delta E/E = 10\%$ FWHM (solid line)

and with a future γ -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 γ -ray background is also shown.

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

130 GeV fingerprint of right-handed neutrino dark matter

Lars Bergström*

Заключение

- Проект ГАММА-400 представляет уникальную возможность провести измерения потоков высокоэнергичного гамма-излучения, электронов + позитронов, ядер с непревзойденной точностью. Запуск ГАММА-400 планируется примерно в 2023 г.
- ГАММА-400 обеспечит углубленные исследования в наиболее прорывных задачах, таких как:
 - исследование центра Галактики, неотожествленных источников, структуры протяженных источников
 - поиск следов частиц темной материи в спектрах высокоэнергичного гамма-излучения и электронов+позитронов;
 - происхождение космических лучей, их образование и ускорение до высоких энергий.